

## 関口秀雄教授・川崎一郎教授のご退職に寄せて

関口秀雄先生、川崎一郎先生は、平成 22 年 3 月 31 日付けで京都大学を定年退職されました。両先生は長年にわたり、京都大学防災研究所において、関口先生は、特に沿岸域土砂環境学・水際地盤学の分野を中心に、また川崎先生は、特に地震学と固体地球物理学を中心に、それぞれ災害の学理の解明や防災研究において幅広い研究を行われるとともに、学内外で多方面にわたる活動を精力的に進めてこられ、その諸活動を通じて京都大学の教育と研究に大きく貢献されてきました。ここに両先生の功績の一端をご紹介します、所員一同心からの感謝を申し上げたいと存じます。

関口秀雄教授は、昭和 44 年 3 月京都大学工学部交通土木工学科を卒業、同年 4 月に京都大学大学院工学研究科修士課程交通土木工学専攻に入学、同課程を修了後、昭和 46 年 4 月、同博士課程に進学、昭和 49 年 3 月、同課程を単位修得退学されました。昭和 49 年 4 月に京都大学防災研究所助手に採用になり、昭和 50 年 3 月、京都大学工学博士号取得、昭和 53 年 11 月金沢大学工学部助教授に昇任、昭和 59 年 4 月京都大学防災研究所助教授に配置換、平成 4 年 4 月工学部助教授に配置換、平成 9 年 4 月京都大学防災研究所教授に昇任されました。また、平成 17 年 4 月から平成 19 年 3 月まで、同研究所附属流域災害研究センター長を務められました。

研究活動については、沿岸域土砂環境学、水際地盤学の分野で、沿岸低平地を構成する未固結堆積物の様々なスケールにわたる複雑な振舞いの把握と予測法に関する研究を進め、堆積物循環の不均衡による海岸侵食過程や、液状化・流動化にともなう急激な地形変化災害の研究において多大な貢献をされました。波浪や流れや地震動等の厳しい環境外力を受ける水際・水底堆積物のダイナミクスの要諦が、粒状土一流体系における相変化と移動境界の物理にあるとして、斬新な予測モデルを提案されました。さらに、洪水氾濫流や津波流動等による堆積物応答の帰結、すなわち破堤地形や津波堆積物に着目して、流域における災害環境の復原に関する研究を推進されました。

液状化・流動化の研究においては、波浪伝播と圧密に関する時間相似則を満足する遠心力場波浪実験法を開発し、緩詰め細砂地盤において過剰間隙水圧の蓄積をともなう進行性液状化過程を明らかにされました。さらに、液状化発生後も波浪負荷を継続すると、液状化層下部から徐々に過剰間隙水圧が消散し高密度化する一方、液状化域は縮退していき、凝固フロントが地盤表面に到達したときに土は再び固体的になるという、これら一連の進行性凝固過程を見出すとともに、その数理モデルを構築されました。さらに進行性凝固過程を組み入れた堆積物重力流予測モデルを開発し、水中における流動化堆積物の流出・減速・停止の一連の過程を整合的に記述できることを明らかにされました。これらの予測モデルは、シートフローを含む漂砂モデルの新たな展開に繋がるものと期待されています。

砂浜海岸保全においては、素過程としての漂砂ダイナミクスのみならず、漂砂流砂系における

堆積物収支の視点が重要であることを指摘し、大湊海岸の長年にわたる汀線変化資料の解析と海岸保全施設の整備状況をふまえ、3次元サイドスキャンソナーによる高解像度海底地形計測を実施し、近年の著しい海底地形変化の実態を明らかにされました。地形変化限界水深を超える沖合域にも大規模な湾入侵食地形が形成されていることを初めて見出されたことは特筆に値します。この結果は、地形変化限界水深が沖波条件と底質粒径のみで決まるものではなく、海岸保全施設の設置等による陸側水理境界条件の変化にも依存することを示唆しています。

外洋に繋がる複雑に入り組んだ浅海海岸域では津波災害リスクが大きく、このような内湾域では津波流動の結果、特有の堆積物が保存されている可能性が高いと考えられます。関口先生は、このような視点から紀伊半島田辺湾内之浦の海底地形、音響層序を系統的に調査し、海底堆積物の連続コア採取を実現されました。採取コアの詳細な層相解析の結果、現世内湾海底下に10枚に及ぶ津波イベント層が保存されていることをはじめ明らかにされました。現世内湾海底下の津波堆積物研究は新しい分野であり、津波流動による海底地形変化ポテンシャルの推定や、沿岸域の堆積物収支への寄与の評価等、沿岸域における環境防災研究に重要な視座を加えるものと考えられます。

教育面では、工学部地球工学科、大学院工学研究科社会基盤工学専攻、大学院理学研究科地球惑星科学専攻の講義を担当し、研究室や関連する学科、専攻の多くの学生の教育や研究指導に情熱を注ぎ、社会で活躍する高度な研究者、教育者や技術者の育成に努めてこられました。また、海外からの研究者を積極的に受け入れ、その研究活動を支援するとともに、海外での講演や講義を通じて国際貢献にも努められました。

学会活動としては、土木学会、地盤工学会、国際地盤工学会、日本堆積学会、日本自然災害学会、American Geophysical Unionなどに参加し、地盤工学、海岸工学、土質力学、堆積学、災害科学に関連する分野の研究振興に尽くされました。その功績により、地盤工学会功労章、土木学会出版文化賞（地盤の支持力）、地盤工学会論文賞、地盤工学会奨励賞を受賞されています。

以上のように、関口秀雄教授は地盤・海岸工学、災害科学の発展に多大な貢献をされるとともに、基礎と応用の面で防災研究の進歩に大変顕著な業績を挙げられました。

川崎一朗教授は、昭和45年3月東京大学理学部地球物理学科を卒業、昭和48年3月同大学大学院理学系研究科地球物理学専攻修士課程を修了、昭和51年3月同博士課程を修了し理学博士の学位を取得されました。昭和53年4月に富山大学理学部助教授に採用になり、平成5年4月に教授に昇任されました。平成14年2月京都大学防災研究所に転任し、平成17年4月から平成19年3月まで同所副所長、平成19年4月から平成21年3月まで同附属地震予知研究センター長を務められました。

研究活動については、世界で初めて半無限媒質内部の断層モデルから出る地震波の解析的厳密解を求め、この厳密解を応用して、1966年パークフィールド地震や1933年三陸巨大正断層地震の震源近傍の地震記録から、地殻応力や滑り速度などを求める研究を推進されました。昭和53年に富山大学に異動されてからは研究の重点を、異方性媒質における地震波動の理論的研究と、それらに基づく地球内部構造の研究に移されました。昭和54年8月から1年間、マサチューセッツ工科大学の地球・大気・惑星科学学部において、アメリカの地震学をリードしていた安芸敬一教授とともに、表面波のインバージョンによる中央海嶺直下の最上部マントルにおける異方性検出

の試みに取り組まれました。また昭和 59 年 9 月から 1 年間、コロラド大学環境科学共同研究所において、Carl Kisslinger 教授とともに、異方性を組み込んだ表面波のインバージョンから、陸上のオフィオライトなどで採集される橄欖岩の異方性と海洋上部マントルの異方性が調和的であることを示されました。これにより海洋プレートの厚さが、それまで想定されていた 70km~100km よりずっと薄く、40km~50km に過ぎないことを示し、地球深部構造研究の新しい展開に貢献されました。

1990 年代に入って、時定数「10 分」、「時間」、「日」、「年」などの測地-地震周期帯のスロー地震の研究を始め、1992 年 M6.9 の三陸はるか沖地震が、時定数約 1 日でマグニチュード 7.5 に匹敵するプレート間モーメントを解放する巨大なスロー地震であることを示されました。その後、1989 年 M7.2 三陸はるか沖地震、1994 年 M7.5 三陸地震も、本体に匹敵するモーメントを解放する余効スロー・スリップを伴ったこともわかり、プレート境界ダイナミクスにとって、スロー地震が通常地震同様に重要であることを明らかにし、地震現象理解の新しい局面を切り開かれました。

また、富山大学時代の昭和 57 年に、金沢大学、福井高専、信州大学、岐阜大学、京都大学防災研究所、気象庁地震観測所などの研究者とともに北陸地震研究会を結成、ここから上記のようなグローバルな研究成果を発信するとともに、飛騨山脈の深部構造の研究や、北陸地域の地震防災などに取り組まれました。全国共同研究である、1991 年人工地震観測や、1996 年中部山岳集中観測などでは、地元として観測と研究の一翼を担い、飛騨山脈脊梁部直下深さ数 km に非常に低密度な地震波減衰層が存在することなどを示されました。1996 年の集中観測と同時に行った黒部源流の臨時地震観測では、20 万年前に活動を停止した第四紀火山である雲の平の直下数 km で、いまでも微小地震活動が存在することを示されました。

平成 14 年に京都大学に転任された後もスロー地震や異方性の研究に取り組まれ、地震予知研究の発展に尽力するとともに、『スロー地震とはなにか』(NHK ブックス)、『地震予知の科学』(日本地震学会地震予知検討委員会著、東京大学出版会)、『災害社会』(京都大学学術出版会)の出版や、マスコミとの勉強会「関西なまずの会」の発足などの啓蒙活動にも貢献されました。地震直前予知は未解決の課題ですが、プレート沈み込み帯のスロー地震と、浅部の地震発生帯の巨大地震の関連が多くの研究者の研究対象となってきており、将来の地震直前予知の基礎となるものと期待されています。

川崎先生は、教育面では、富山大学において、理学部地球科学科、大学院理学研究科地球科学専攻の講義を担当し、学部の多くの卒業研究や大学院の修士研究の指導に情熱を注ぎ、発足まもない地球科学教室の発展・充実に努めるとともに、社会で積極的に活躍する高度な技術者や教育者を社会に送り出されました。京都大学に移られてからは理学研究科の担当教員として、修士課程と博士課程の院生の教育に取り組まれました。

学会活動では、日本地震学会、日本測地学会、富山地学会、American Geophysical Union (アメリカ地球物理学連合)などに参加し、地震学分野の研究の発展に貢献されるとともに、地震学会の機関誌「地震」の編集委員長、地震学会・測地学会・火山学会共同の機関誌である Journal of Physics of the Earth の編集委員、日本地震学会地震予知検討委員会委員長も務められました。

社会活動としては、富山県地震対策連絡会議、富山県活断層調査委員会、海洋科学技術センター・リアルタイム海底変動観測システム計画検討委員会、財団法人地震予知総合研究振興会サイ

スモテクトニクス研究会，同地殻活動研究委員会，社団法人資源協会地球科学技術フォーラム，地震予知連絡会，地震・火山噴火予知研究協議会などの委員を務め，各種の技術的課題に対して，学識者の立場から，助言と提言を行ってこられました。平成 17 年からは京都大学学術出版会常任理事を務め，学術出版にも貢献されました。

以上のように，川崎一朗教授は地震学と固体地球物理学の発展に多大な貢献をされるとともに，災害の学理の解明や防災研究の進歩に大変顕著な業績を挙げられました。

私どもは両先生のこれまでの学術的研究と教育でのご功績，とりわけ災害の学理の解明や防災研究に関するご業績に深く思いを致すとともに，後進としてさらなる努力を重ねることにより，そのご貢献に報いたいと考えます。

最後に，関口秀雄先生，川崎一朗先生の一層のご健康とご多幸をお祈り申し上げます。

平成 22 年 4 月  
京都大学防災研究所 所長 岡田憲夫



関 口 秀 雄 名 誉 教 授



## 関 口 秀 雄 教 授 略 歴

### (学歴・職歴)

昭和	21年	10月	2日	兵庫県に生まれる
	40年	3月		兵庫県立西宮高等学校卒業
	44年	3月		京都大学工学部交通土木工学科卒業
	46年	3月		京都大学大学院工学研究科修士課程交通土木工学専攻修了
	49年	3月		京都大学大学院工学研究科博士課程交通土木工学専攻単位修得退学
	49年	4月	1日	京都大学 防災研究所 助手
	50年	3月		京都大学工学博士（工博第414号）
	53年	11月	1日	金沢大学 工学部 助教授
	59年	4月	1日	京都大学 防災研究所 助教授
	63年	9月		University of Cambridge工学部客員研究員兼Churchill College Fellow Commoner（平成1年7月まで）
平成	2年	10月		文部省在外研究員（短期）としてUniversity of Cambridge工学部において海洋土質力学研究に従事（平成2年12月まで）
	4年	4月	1日	京都大学 工学部 助教授
	8年	4月	1日	京都大学 大学院工学研究科 助教授
	9年	4月	1日	京都大学 防災研究所附属災害観測実験センター 教授 土砂環境観測実験研究領域担当
	9年	5月	1日	災害観測実験センター長併任（平成11年4月30日まで）
	13年	4月	1日	災害観測実験センター長併任（平成15年3月31日まで）
	17年	4月	1日	京都大学 防災研究所 附属流域災害研究センター 教授 沿岸域土砂環境研究領域担当
	17年	4月	1日	流域災害研究センター長併任（平成19年3月31日まで）

### (学会・委員会・学術振興活動等歴)

平成	10年			社団法人 地盤工学会理事・国際部長（平成13年まで）
	12年			日本学術会議 メカニクス・構造研究連絡委員会 レオロジー専門委員会委員（平成13年まで）
	17年			社団法人 土木学会地盤工学委員会委員長（平成18年まで）
	18年			国際地盤工学会TC33 地盤工学における侵食専門委員会委員 （平成21年まで）
	18年			地盤工学会国際洗掘侵食会議(ICSE-4) 実行委員会委員長（平成20年まで）

### (賞 罰)

昭和	53年	5月		土質工学会（現地盤工学会）奨励賞受賞
	57年	5月		土質工学会（現地盤工学会）論文賞受賞
平成	8年	5月		土木学会出版文化賞受賞（地盤の支持力）
	16年	3月		地盤工学会功労章受賞

関 口 秀 雄 研 究 業 績  
論 文

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1970	粘土のクリープ破壊について	京都大学防災研究所年報13号B, 1970, pp.525-541.	村山朔郎・栗原則夫
1970	粘土の動的弾性係数に関する理論的考察	京都大学防災研究所年報13号B, 1970, pp.543-552.	村山朔郎
1973	超軟弱粘土のレオロジー特性	京都大学防災研究所年報16号B, 1973, pp.735-752.	村山朔郎・吉田映
1973	Flow characteristics of clays,	Soils and Foundations, Vol. 13, No. 1, 1973, pp.45-60.	
1974	飽和粘土の応力—変形挙動の時間依存性	日本レオロジー学会誌2巻1号	村山朔郎
1974	A Study of the stress-strain-time behavior of saturated clays based on a theory of nonlinear viscoelasticity,	Soils and Foundations, Vol. 14, No.2, 1974, pp. 19-33.	Murayama, S. , T. Ueda
1974	軟岩の吸水膨張に関する一考察	京都大学防災研究所年報17号B, 1974, pp.391-401.	村山朔郎・鳥井原誠・沢田守生
1976	Theory of one-dimensional consolidation of clays with consideration of their rheological properties,	Soils and Foundations, Vol. 16, No.1, 1976, pp.27-44.	M. Toriihara
1977	Rheological characteristics of clays	Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Tokyo, Vol.1, 1977, pp.289-292.	
1977	Induced anisotropy and time dependency in clays	Proc. Specialty Session 9, 9th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. , Tokyo, 1977, pp. 229-238.	H. Ohta
1977	クイに働く負摩擦の模型実験	第22回土質工学シンポジウム論文集土質工学会, 1977, pp. 21-28.	柴田徹・辻幾則・行友浩
1978	土の構成式に関する現況総括4. マクロ・レオロジー	土質工学会論文報告集18巻3号	
1979	Constitutive equations considering anisotropy and stress reorientation in clay,	Proc. 3rd Int. Conf. Numerical Methods in Geomechanics, Aachen, Vol. 1, 1979, pp. 475-484.	Ohta, H.



発表年	論文名	発表誌名	共著者
1979	Undrained behaviour of soft clay under embankment loading,	Proc. 3rd Int. Conf. Numerical Methods in Geomechanics, Aachen, Vol. 2, 1979, pp. 717-724.	T. Shibata
1980	盛土基礎地盤の弾・粘塑性挙動解析と破壊予測	土木学会論文報告集301号 1980, pp. 93-104.	柴田徹
1980	土質工学におけるレオロジー4. 飽和粘土の流動と破壊	土質工学会誌(土と基礎)28 巻12号	
1980	杭に働く負摩擦の模型実験と解析	京都大学防災研究所年報23 号B-2, 1980, pp. 41-56.	柴田徹
1981	Analysis of partially drained triaxial testing of clay	Soils and Foundations, Vol.21, No.3, 1981, pp. 53- 66.	Y. Nishida, F. Kanai
1981	Prediction of embankment failure on soft ground, Proc. 10th Int. Conf.	Soil Mech. Found. Eng., Stockholm, Vol. 1, 1981, pp. 247-250.	T. Shibata
1982	盛土基礎地盤の側方流動解析土の問題点	土質工学会(土と基礎)30巻5 号	柴田徹
1982	浅い基礎の支持力と変形解析の手法 3.2 変形 解析 — FEM解析を中心として	土質工学会誌(土と基礎)30 巻11号, 1982, pp. 71-79.	
1982	Model test and analysis of negative friction on piles	Soils and Foundations, Vol.22, No.2, 1982, pp.29- 39.	Shibata, T. , H. Yuki-tomo
1982	Mechanics base of standard penetration test values and its application to bearing capacity prediction,	Proc. 2nd European Symp. on Penetration Testing, Amsterdam, Vol.1, 1982, pp. 119-124.	Nishida, Y. , K. Yokoyama, T. Matsumoto
1983	反射応力波による動的境界摩擦の評価 — 珪藻 泥岩を対象として	第28回土質工学シンポジウ ム論文集土質工学会, 1983, pp. 105-110.	西田義親・松本樹典・長谷 幸一
1984	Theory of undrained creep rupture of normally consolidated clay based on elasto-viscoplasticity	Soils and Foundations, Vol.24, No.1, 1984, pp. 129- 147.	
1984	Influence of the shaft resistance on the stress-wave measurements in a model pile,	Proc. 2nd Int. Conf. Application of Stress-Wave Theory on Piles, Stockholm, 1984, pp. 229-236.	Nishida, Y., T. Matsumoto, K. Nagaya
1984	珪藻泥岩における鋼管杭の打込み性	杭の貫入性打撃性に関する シンポジウム論文集土質工 学会, 1984, pp. 9-12.	西田義親・松本樹典・細川 精仁・広瀬富哉

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1984	Performance of trial embankment on soft clay,	Proc. Int. Conf. Case Histories in Geotech. Eng. , St. Louis, Vol.2, 1984, pp. 599-607.	Shibata, T.
1985	State-of-the-art report III. Macrometric approaches -Static- Intrinsically time-dependent	Report of ISSMFEE Subcommittee on Constitutive Laws of Soils and Proc. of Discussion Session 1A, 11th ICSMFEE, San Francisco, 1985, pp. 66-98.	
1985	Characterization of a diatomaceous mudstone by elasto-visco-plasticity,	Proc. 5th Int. Conf. Numerical Methods in Geomech., Nagoya, Vol.1, 1985, pp. 437-444.	Y. Nishida, T. Matsumoto and M. Uesawa
1985	Characterization of skin friction at the pile-soil interface by inverse analysis of stress waves,	Proc. 5th Int. Conf. Numerical Methods in Geomech. , Nagoya, Vol.2, 1985, pp. 773-780.	Nishida, Y., T. Matsumoto, T. Fujimo
1985	Drivability of steel pipe piles into diatomaceous mudstones in the construction of Notojima bridge	Proc. Int. Symp. Penetrability and Drivability of Piles, San Francisco, Vol.1, 1985, pp. 187-190.	Nishida, Y. , T. Matsumoto, S. Hosokawa and T. Hirose
1985	Soil Movements associated with tunneling and their effects on an adjacent pile foundation,	Bulletin of Disas. Prev. Res. Inst. , Kyoto University, Vol.35, Part 4, 1985, 115-135.	Yashima, A. , T. Shibata, M. Kohno
1986	軟弱地盤における側方流動 — その実体と予測手法について	京都大学防災研究所年報29号B-2, 1986, pp. 69-82.	柴田徹
1986	粘土地盤の側方流動に及ぼす載荷速度と載荷幅の影響	地盤の側方流動に関するシンポジウム発表論文集土質工学会, 1986, pp. 49-56.	柴田徹・三村衛
1986	局部載荷を受けるバーチカル・ドレーン打設地盤の変形解析	第31回土質工学シンポジウム論文集土質工学会, 1986, pp. 111-116.	柴田徹・藤本朗・山口博久
1986	Stress wave monitoring for a friction pile during driving: A new analysis procedure	Soils and Foundations, Vol.26, No.4, pp. 111-126.	Nishida, Y. , T. Matsumoto
1986	Bearing capacity and platic flow of a rate-sensitive clay under strip loading,	Bulletin of Disas. Prev. Res. Inst. , Kyoto University, Vol. 36, Part 2, 1986, pp.99-111.	Mimura, M.
1987	軟弱地盤の側方流動	土木学会論文集382号, III—7, 1987, pp. 1-14.	柴田徹
1987	Monitoring and Performance of a composite breakwater,	Proc. 8th Asian Regional Conf. Soil Mech. Found. Eng. , Kyoto, Vol.1, 1987, pp. 491-494.	Shibata, T. , A. Yashima, S. Ohmaki

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1988	圧密と有効応力—特に洪積粘土を中心として	土質工学会誌(土と基礎)Vol.36, No.6, 1988, pp. 25-30.	三村衛・柴田徹
1988	大水深護岸の変形解析	京都大学防災研究所年報31号B-2, 1988, pp. 123-145.	柴田徹・三村衛・角倉克治
1988	Effects of partial drainage on the lateral deformation of clay foundations,	Proc. Int. Conf. Rheology and Soil Mech. , Coventry, 1988, pp. 164-181.	T. Shibata, M. Mimura
1988	長尺鋼管杭の打撃ひずみ波形解析	京都大学防災研究所年報31号 B-2, 1988, pp. 113-122.	柴田徹・松本樹典・北勝利
1989	Pile drivability assessment by waveform analyses,	Proc. 12th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. , Rio de Janeiro, Vol.2, 1989, pp. 1105-1108.	Shibata, T. , T. Matsumoto, K. Kita and S. Motoyama
1990	Performance and analysis of offshore pile driving.	Geotechnical Instrumentation in Practice, ICE, 1990, pp. 814-815.	T. Shibata, K. Kita, T. Matsumoto, S. Motoyama
1990	遠心力場における水面波の造波とその適用	海洋開発論文集土木学会 Vol.6, 1990, pp. 205-210.	R. Phillips
1990	ドラム型遠心力載荷装置における水面波の造波	京都大学防災研究所年報33号B-2, 1990, pp. 69-81.	R. Phillips
1990	海底地盤の変形解析 — 弾・粘塑性構成式の適用例	土質工学会誌(土と基礎)Vol.38, No.7, 1990, pp. 13-18.	三村衛・柴田徹
1990	弾粘塑性モデルによる海底地盤の挙動予測について	第35回土質工学シンポジウム論文集1990, pp. 17-24.	三村衛・柴田徹
1991	Dynamics of SPT: Application of the method of two-point strain measurements,	Proc. Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomech. , Cairn, Vol.1, 1991, pp. 261-266.	Matsumoto, T. , H. Yoshida, K. Kita
1991	Elasto-viscoplastic consolidation of a diatomaceous mudstone	Soils and Foundations, Vol.31, No.2, 1991, pp. 93-107.	Maekawa, H. , K. Miyakita
1991	Long-term deformation of Pleistocene clays,	Proc. 10th European Conf. Soil Mech. Found. Eng. , Florence, Vol.1, 1991, pp. 261-264.	T. Shibata, M. Mimura
1991	Generation of water waves in a drum centrifuge,	Proc. Int. Conf. Centrifuge 91, Boulder, 1991, pp. 343-350.	R. Phillips
1991	波力による重力式構造物の滑動と転倒	海洋開発論文集土木学会 Vol.7, 1991, pp. 149-154.	大槇正紀
1992	変動水圧の地盤内伝播に関する考察	海洋開発論文集土木学会 Vol.8, 1992. pp. 421-426.	並河努・太田誠二
1992	波力を受けるケーソン構造物の安定性に関する考察	海洋開発論文集土木学会 Vol.8, 1992, pp. 81-86.	小林俊一・柴田徹

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1992	Significance of two-point strain measurement in SPT	Soils and Foundations, Vol.32, No.2, 1992, pp. 67-82.	Matsumoto, T., H. Yoshida, K. Kita
1992	Performance of steel pipe piles driven in Pleistocene clays,	Proc. 4th Int. Conf. Application of Stress-wave Theory to Piles, Hague, 1992, pp. 293-298.	Matsumoto, T., T. Shibata, Y. Fuse
1992	Overturning of caissons by storm waves	Soils and Foundations, Vol.32, No.3, 1992, pp. 144-155.	S. Ohmaki
1992	Generation of water wave trains in drum centrifuge,	Proc. Inc. Symp. Techno-Ocean'92, Yokohama, Vol.1, 1992, 29-34.	Phillips, R.
1993	海底地盤の不安定化に関する遠心力場波浪実験	海洋開発論文集土木学会 Vol.9, 1993, pp. 129-134.	北勝利・岡本修
1993	組合せ荷重を受けるケーソン-捨石マウンド系の破壊曲面	海洋開発論文集土木学会 Vol.9, 1993, pp. 349-354.	小林俊一・J.A.M. Teunissen
1993	Centrifuge modeling of wave-induced instability of sand beds,	NTU-KU-KAIST Trilateral Seminar on Civil Engineering, Taejon, 1993, pp. 199-204.	K. Kita, O. Okamoto
1994	Sliding of caissons on rubble mound by wave forces,	Proc. 13th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., New Delhi, Vol.3, 1994, pp. 1137-1140.	S. Kobayashi
1994	Wave-induced instability of sand beds,	Proc. Int. Conf. CENTRIFUGE 94 Singapore, 1994, pp. 295-300.	K. Kita and O. Okamoto
1994	埋立地盤の変形解析と橋梁基礎設計への適用	海底地盤に関するシンポジウム'94論文集土質工学会関西支部1994, pp. 113-118.	塚本琢治・丸山忠明・林勝巳
1994	間隙圧計の動的応答特性	京都大学防災研究所年報第37号B-2, 1994, pp. 47-55.	北勝利・下村泰造
1994	遠心力場重複波実験による砂質地盤の間隙圧応答	第39回土質工学シンポジウム論文集土質工学会1994, pp. 29-36.	北勝利・下村泰造
1994	粘土地盤上の沿岸構造物の支持特性に関する塑性解析	第39回土質工学シンポジウム論文集土質工学会1994, pp. 195-202.	小林俊一
1994	Settlement performance of the central Hokkaido expressway built on peat,	Proc. Int. Workshop on Advances in Understanding and Modelling the Mechanical Behaviour of Peat, Delft, 1994, pp. 361-367. AA. Baldema.	Kurihara, N., T. Isoda, H. Ohta
1994	組合せ荷重下の重力式構造物の支持力解析(その1)	土質工学会誌(土と基礎)Vol.42, No.12, 1994, pp.71-78.	小林俊一

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1995	組合せ荷重下の重力式構造物の支持力解析(その2)	土質工学会誌(土と基礎)Vol.43, No.1, 1995, pp. 63-69.	小林俊一
1995	遠心力場における進行波造波システムの開発	海洋開発論文集土木学会 Vol.11, 1995, pp. 7-12.	北勝利・佐々真志
1995	Response of poro-elastoplastic beds to standing waves	Soils and Foundations, Vol.35, No.3, 1995, pp. 31-42.	K. Kita, O. Okamoto
1995	Dynamic response of strain-gauged pore pressure transducers,	Proc. 1st Int. Earthquake Geotech. Eng. , IS-Tokyo'95, Vol.2, 1995, pp. 717-722.	K. Kita, T. Shimomura
1995	Deformation of composite breakwaters due to ground shaking	Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17, 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, 1995, pp. 169-177.	K. Kita, K. Hashimoto, H. Katsui
1996	Performance of marine gravity structures under combined loading,	Japan-Vietnam Joint Seminar on Geotechnical Engineering, Hanoi, Invited Lecture, 1996, pp. 1-23.	S. Kobayashi
1996	Generation of progressive fluid waves in a balanced-beam centrifuge,	Proc. 6th NTU-KU-KAIST Tri-Lateral Joint Seminar/Workshop on Civil Engineering, Taejon, 1996, 189-194.	S. Sassa, T. Shimamura, K. Kita
1996	Rotation of principal stress axes in sands under simple shearing,	Proc. 6th NTU-KU-KAIST Tri-Lateral Joint Seminar/Warkshop on Civil Engineering, Taejon, 1996, pp. 277-282.	H. Kim, J.A.M. Teunissen
1996	X-ray observation of granular material in plane-strain compression,	Proc. 6th NTU-KU-KAIST Tri-Lateral Joint Seminar/Warkshop on Civil Engineering, Taejon, 1996, pp. 271-276.	Kobayashi, S. , N. Yoshida, G. Itoh
1996	Performance of undrained cyclic torsional shearing of saturated sands,	Proc. 1st JSPS-NUS Seminar on Integrated Engineering, Kyoto, 1996, pp. 50-59.	K.Tanaka, S. Sassa, K. Kita
1997	X-ray observation of granular media in a plane-strain hopper	Proc. 7th KAIST-NTU-KU Tri-lateral Seminar/Workshop on Civil Engineering, Kyoto, pp. 319-324.	Kobayashi, S., Ohshima, T.
1997	Liquefaction of cohesionless sediments under fluid wave trains	Proc. Int. Symp. on Deformation and Failure in Geotech. Eng. Nagoya, pp. 605-610.	Sassa, S., Kita, K.
1997	Limit analysis of bearing capacity for a circular footing subjected to eccentric loads	Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Hamburg, Vol. 2, pp. 1029-1032.	Kobayashi, S.

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1998	水際地盤学：海と地盤のかかわりを考える	地盤工学誌，第46巻，第12号， pp. 13-14.	
1998	排水機能付矢板による盛土－飽和砂地盤系の地震時液状化被害抑止効果に関する考察	第10回地震工学シンポジウム論文集，第2分冊， pp. 1527-1532.	北 勝利
1998	Wave-induced liquefaction, densification and re-liquefaction of sand beds	Proc. Int. Symp. Centrifuge 98, Tokyo, Vol. 1, pp. 391-396.	Sassa, S.
1998	Response of poro-elastoplastic beds to standing waves (Closure)	S., Soils and Foundations, Vol. 38, No. 2, pp. 223-224.	Kita, K., Okamoto
1998	Generation of progressive fluid waves in a geo-centrifuge	Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vo. 21, No. 2, pp. 95-101.	Kita, K., Sassa, S., Shimamura, T.
1999	帯基礎の極限鉛直支持力，極限鉛直支持力に及ぼす基礎形状の影響，組合せ荷重を受ける剛基礎の極限支持力	地盤工学ハンドブック， pp. 149-156.	
1999	空中写真測量による兵庫県南部地震に伴う地盤変位の計測	土木学会論文集， No. 632/IV-45, pp. 105-120.	岡本厚・小林俊一・小野徹・服部進・長谷川博幸・橘菊生・西本浩司
1999	Aseismic reinforcement of gravity-type quaywalls	Proc. 2nd Int. Conf. Earthquake Geotech. Eng., Lisboa, Vol. 1, pp. 389-394.	Koyama, M., Takebe, A., Yamada, H., Miyamoto, J.
1999	Deformation mechanism of composite breakwaters under earthquake shaking	Proc. 11th Asian Regional Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Seoul, Vol. 1, pp. 499-502.	Kim, H., Takebe, A.
1999	Modelling of progressive liquefaction in sand beds under traveling fluid waves	Poster Session Proceedings, 11th Asian Regional Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Seoul, pp. 137-138.	Sassa, S.
1999	Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge	Geotechnique, Vol. 49, No. 5, pp. 621-638.	Sassa, S.
2000	What scientific breakthroughs are foreseeable by upgrading unique facilities in geotechnics?	Proc. Workshop on the Role of Experimental Research for the International Geotechnical World, GeoDelft, 2pp.	
2000	Seismic deformation behaviour of composite breakwaters resting on sand foundations	Proc. Seminar on Integrated Engineering, Singapore, pp. 156-163.	Kim, H.
2000	An overview of geotechnical engineering education in Japan	Proc. 1st Int. Conf. Geotech. Eng. Education and Training, Sinaia, pp. 131-136.	Ohta, H., Mitachi, T.
2000	Analysis of partially drained behaviour of saturated soil deposits subjected to earthquake shaking	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, No. 43B-2, pp. 449-462.	Kim, H.

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2000	Wave-induced liquefaction, flow deformation and particle transport in sand beds	Proc. Int. Conf. GeoEng2000, Melbourne, paper No. EG-0121 (CD-ROM).	Sassa, S., Sugioka, K., Miyamoto, J.
2000	X線TV透視装置による粒状体地盤—流体系の動的相互作用の可視化実験法について	応用力学論文集, 土木学会, Vol. 3, pp. 521-531.	小林俊一・高橋源太郎
2000	波浪による砂質地盤の液状化と流動変形過程	海岸工学論文集, 第47巻, pp. 921-925.	宮本順司・佐々真志
2001	揺れると融ける砂粒の集まり—液状化の動力学	第3回レオロジーフォーラム, 神戸, pp. 4-7.	
2001	地震による地盤変状	防災学ハンドブック, 朝倉書店, pp. 419-423.	三村衛
2001	沿岸・海底マスマーブメント	防災学ハンドブック, 朝倉書店, pp. 224-230.	
2001	強震動による耐波構造物—地盤系の塑性変形	海岸工学論文集, 第48巻(2), pp. 961-965.	金夏永
2001	Dynamic fluid-soil interaction under earthquake shaking	Proc. 14th KKNN Symp. on Civil Engineering, Kyoto, pp. 451-456.	Kim, H., Miyamoto, J.
2001	Dynamic physical and numerical modelling in waterfront geotechnics	Proc. Kazakhstan-Japan Joint Geotechnical Seminar, Astana, pp. 12-19.	Kim, H., Miyamoto, J.
2001	Effect of wave loading history on the initiation and development of liquefaction in sand beds	Proc. 4th Int. Conf. on Micromechanics of Granular Media, Powders and Grains 2001, Sendai, pp. 259-262.	Miyamoto, J.
2001	Wave-induced liquefaction and flow deformation in sand beds	Proc. 15th Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Istanbul, Vol. 3, pp. 2239-2242.	Miyamoto, J., Sassa, S.
2001	Shaking table tests on seismic deformation of composite breakwaters	Proc. 4th Int. Conf. Recent Advances in Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics, San Diego, paper No. 9.09 (CD-ROM).	Kim, H., Kita, K.
2001	Analysis of wave-induced liquefaction of sand beds	Geotechnique, Vol. 51, No. 2, pp. 115-126.	Sassa, S.
2001	Analysis of progressive liquefaction as a moving-boundary problem	Geotechnique, Vol. 51, No. 10, pp. 847-857.	Sassa, S., Miyamoto, J.
2002	Recent advances in modelling soil responses to wave loading	Proc. Int. Seminar on Practice and Advances in Geotechnical Engineering, Shanghai, pp. 103-116.	

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2002	Instability of fluid-granular soil systems subjected to dynamic environmental loading	Proc. 5th Taiwan-Japan Joint Seminar on Natural Hazards Mitigation, Taiwan, pp. 345-354.	Sassa, S., Li, F.
2002	Modelling of the elastoplastic behaviour of unsaturated soils under hydro-environmental loading	Proc. 4th Int. Summer Symp., JSCE, Kyoto, pp. 207-210.	Li, F., Sassa, S.
2002	Wave-induced liquefaction and changes in void ratio profile with depth	Proc. Int. Conf. Physical Modelling in Geotechnics, St. John's, pp. 259-264.	Miyamoto, J., Sassa, S.
2002	Plastic deformation behaviour of composite breakwaters under earthquake shaking	Proc. Int. Conf. Physical Modelling in Geotechnics, St. John's, pp. 587-592.	Kim, H.
2002	波浪作用下における液状化の進展および凝固・圧密過程	海岸工学論文集, 第49巻, pp. 846-850.	宮本順司・佐々真志
2003	流域における土砂環境防災の研究展望	地質と調査, 第3号, pp. 23-29.	
2003	Dynamic interaction between fluid and liquefying soil under earthquake shaking	Proc. 12th Asian Regional Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Singapore, pp. 331-334.	Kim, H., Miyamoto, J., Tomohiro, Y.
2003	Preshearing effect on the wave-induced liquefaction in sand beds	Proc. Soil and Rock America 2003, Boston, Vol. 1, pp. 1025-1032.	Miyamoto, J., Sassa, S.
2003	The dynamics of liquefied sediment flow undergoing progressive solidification	Proc. 1st Int. Symp. on Sumarine Mass Movements and their Consequences, Nice, pp. 95-102.	Sassa, S., Miyamoto, J.
2003	液状化地盤における進行性凝固—波浪エネルギー消散と境界層内物質輸送への適用	海岸工学論文集, 第50巻, 851-855.	宮本順司・佐々真志
2003	潮位変動に対する飽和/不飽和砂地盤の応答予測	海岸工学論文集, 第50巻, pp.816-820.	佐々真志・李風英
2004	Analysis of three-dimensional sediment gravity flows	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, Vol. 47B, pp. 617-633.	Amiruddin, Sassa, S.
2004	Complex fluid-sediment interactions in fluvial and coastal environments	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, Vol. 47C, pp. 55-70.	Nakagawa, H., Sawada, T., Ishigaki, T., Hayashi, T., Yamashita, T., Ueno, T., Muto, Y., Baba, Y., Kato, S., Serizawa, S.
2004	水中堆積物の重力流れと凝固・堆積過程の観察	海岸工学論文集, 第51巻, pp. 401-405.	宮本順司・佐々真志・徳山領一
2004	Progressive solidification of a liquefied sand layer during continued wave loading	Geotechnique, Vol. 54, Issue 10, pp. 617-629.	Miyamoto, J., Sassa, S.



発表年	論文名	発表誌名	共著者
2005	Levee breaching and associated sedimentary features on adjacent paddy field	Int. Symp. on Fluvial and Coastal Disasters, Kyoto, 8pp. (CD-ROM)	Azuma, R., Amiruddin, Ono, T.
2005	Beach groundwater responses to tidal and meteorological forcing	Int. Symp. on Fluvial and Coastal Disasters, Kyoto, 8pp. (CD-ROM)	Azuma, R., Sambodho, K.
2005	Complex fluid-sediment interactions in fluvial and coastal environments — Part 2	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, No. 48C, pp. 111-123.	Nakagawa, H., Sawada, T., Ishigaki, T., Hayashi, T., Yamashita, T., Ueno, T., Muto, Y., Baba, Y., Serizawa, S.
2005	Post-fluidization depositional processes of hyperconcentrated sand-water mixtures	Proc. Int. Conf. Powders and Grains 2005, Stuttgart, Vol. 2, pp. 1073-1077.	Amiruddin, Miyamoto, J.
2005	An experimental study of the dynamics of subaqueous sediment gravity flows	Proc. 16th Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Osaka, 2551-2554.	Miyamoto, J., Sassa, S., Tokuyama, R.
2005	Fluidized sediment gravity flows: modeling and validation	Proc. Int. Conf. on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water-related Disasters, Kyoto, pp. 545-550.	Amiruddin, Sassa, S., Miyamoto, J.
2005	気象水文イベントに対する砂浜内のサクシオン応答予測	海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1076-1080.	李風英・佐々真志
2005	Response of saturated/unsaturated gravelly sand to tidal fluctuations	In: Geotechnical Special Publication No. 143, ASCE, pp. 174-186.	Sassa, S., Li, F.
2006	Complex fluid-sediment interactions in fluvial and coastal environments — Part 3	Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, No. 49C, pp. 95-111.	Nakagawa, H., Sawada, T., Hayashi, T., Yamashita, T., Ueno, T., Muto, Y., Baba, Y., Serizawa, S.
2006	Performance of levee system at flood stage	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, No. 49C, pp. 225-235.	Azuma, R., Ono, T.
2006	海崖前面の養浜砂浜域における地下水環境動態	海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1131-1135.	東良慶・Kriyo Sambodho・酒井哲郎・石井克尚
2006	The dynamics of sediment gravity flows following fluidization	In: Geotechnical Special Publication No. 156, ACSE, pp. 500-514.	Amiruddin, Sassa, S.
2006	Subaqueous sediment gravity flows undergoing progressive solidification	Norwegian Journal of Geology, Vol. 86, No. 3, pp. 285-293.	Amiruddin, Sassa, S.

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2007	Complex fluid-sediment interactions in fluvial and coastal environments — Part 4	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, pp.	Nakagawa, H., Sawada, T., Hayashi, T., Kawaike, K., Ueno, T., Muto, Y., Baba, Y., Serizawa, S., Zhang, H.
2007	Ripple formation and grain sorting with multiple-sized sand: A report of the preliminary wave-flume experimentation	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, Vol. 50B, pp. 661-670.	Yamaguchi, N.
2007	Studies of high-resolution morphodynamics with special reference to river bank erosion	Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, pp. 199-209.	Azuma, R., Ono, T.
2007	Bank erosion as an indicator of channel morphodynamical evolution	Proc. Vietnam-Japan Symp. on Mitigation & Adaptation of Climate-change-induced Natural Disasters, Hu pp. 59-68.	Azuma, R., Muto, Y., Ono, T.
2007	養浜砂浜海岸域における不圧地下水動態観測とその意義	海岸工学論文集, 第54巻, pp. 721-725.	東良慶・クリヨ サンボド
2007	広域の地盤沈下	地盤環境工学ハンドブック, 朝倉書店, pp. 248-258.	
2008	Cross-shore bottom profile along an observation pier and its seasonal variations	Proc. 4th Int. Conf. on Scour and Erosion, Tokyo, pp. 367-371. (CD-ROM)	Baba, Y., Uchiyama, K., Nakagawa, H.
2008	Geomorphological evolution and sediment budget analysis with the Uji River, Kyoto	Proc. 4th Int. Conf. on Scour and Erosion, Tokyo, pp. 545-552. (CD-ROM)	Azuma, R.
2009	京都南部の天井川と干拓地: 人間が変えた地表環境	日本堆積学会巡検案内書, 105pp.	増田富士雄・鈴木一久・坂本隆彦・伊藤有加・東良慶
2009	漂砂流砂系における堆積物動態と地形変化のとらえ方	日本堆積学会2009年京都・枚方大会ショートコース テキスト, 132pp.	東良慶・山口直文・原口強
2009	内湾海底谷の堆積環境と津波洗掘リスクー和歌山県内之浦を例に	海岸工学論文集, 第56巻, pp. 746-750.	吉永佑一・原口強・鳥居和樹・東良慶
2009	漂砂系土砂収支の把握に向けた浅海域高解像度海底地形計測の試み	海岸工学論文集, 第56巻, pp. 1431-1435.	東良慶・蔡曙伍・渡邊康司
2009	LIQSEDFLOW: 水中堆積物重力流れに果たす二相系物理の役割	海岸工学論文集, 第56巻, pp. 536-540.	佐々真志
2009	埋没水害地形の同定: 非破壊物理探査法の適用	土木学会論文集B, Vol. 65, No. 2, pp. 141-150.	東良慶・釜井俊孝
2010	LIQSEDFLOW: Role of two-phase physics in subaqueous sediment gravity flows	Soils and Foundations, Special Issue (to appear).	Sassa, S.

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2010	Effects of settling and preferential deposition of sediment on ripple roundness under shoaling waves	Journal of Sedimentary Research, Vol. 80, pp. 781-790.	Yamaguchi, N.
2010	Freshwater-saline water interactions in unconfined coastal aquifers	Proc. Int. Symp. on Water and Sediment Disasters in East Asia, Kyoto, pp. 151-160.	Sambodho, K., Azuma, R.
2010	Coastal Erosion — a suite of multi-scaled processes	Proc. Int. Symp. on Water and Sediment Disasters in East Asia, Kyoto, pp. 1-23.	Azuma, R., Yamaguchi, N.
2010	埋没破堤地形の統合物理探査による同定とその水害地形環境に関する考察	水工学論文集, 第54巻, pp. 637-642.	東 良慶・釜井俊孝
2010	Effect of velocity hiatuses in oscillatory flow on migration and geometry of ripples: wave-flume experiments	Sedimentology, Vol. 57, pp. 720-733.	Yamaguchi, N.
2010	砂浜-砂丘系における漂砂環境の連関を読み解く試み	海岸工学論文集, 第57巻 (印刷中)	東良慶・山口直文

### 著 書

発表年	著書名	発表誌名	共著者
1977	9.2.7 粘弾塑性骨格をもつ粘土の1次元圧密	大阪地盤 — 特に洪積層に関する研究とその応用 土質工学会, 1977, pp.355-357.	村山朔郎
1982	4.11 数値解析	土質工学ハンドブック 土質工学会, 1982, pp.136-141.	
1985	安定問題を考える	わかりやすい土質力学 土質工学会関西支部, 1985, pp.95-110.	
1987	2. 9 粘土のせん断特性	土の強さと地盤の破壊入門 入門シリーズ13 土質工学会, 1987, pp.141-170.	
1994	第1章 盛土基礎地盤の側方流動	地盤の側方流動 土質基礎工学ライブラリー38 土質工学会, 1994, pp.5-33.	柴田徹
1995	地盤の支持力	鹿島出版会1995, 189pp	柴田徹

総 説

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1976	土の応力・変形・強度特性	土質工学会誌(土と基礎)Vol.24, No.8, 1976, pp. 11-22.	柴田徹・太田秀樹
1978	塑性流動	土質工学会誌(土と基礎)Vol.26, No.7, 1978, pp. 77-79.	
1978	埋立地盤における構造物被害とその対策	臨海埋立地盤の土質工学的諸問題土木学会関西支部講習会テキスト, 1978, pp. 97-122.	来馬章雄・佐々木伸・木山正明・常陸壮介
1982	予測と実績	土質工学会誌(土と基礎)Vol.30, No.1, 1982, pp. 25-27.	中瀬明男
1982	せん断(2)	粘土—最近の動向土質工学会誌(土と基礎)Vol.30, No.10, 1982, p.36.	
1984	設計における土のせん断強さと $c$ , $\phi$ の考え方 2. 土のせん断強さ(その2)	土質工学会誌(土と基礎)Vol.32, No.6, 1984, pp. 49-56.	
1986	基礎の沈下とその対策	基礎工Vol.14, No.1, 1986, pp.76-81.	
1991	地盤と水と防災	TOMORROW, あまがさき未来協会第5巻第4号, 1991, pp. 50-57.	
1993	カムクレイとその後の発展	土質工学会誌(土と基礎)Vol.41, No.11, 1993, pp. 97-102.	
1993	カムクレイとその後の発展(2)	土質工学会誌(土と基礎)Vol.41, No.12, 1993, pp. 97-104.	
1993	カムクレイとその後の発展(3)	土質工学会誌(土と基礎)Vol.42, No.1, 1993, pp. 73-80.	
1994	Prediction of post-construction deformation for bridge foundations	地盤工学における構成式の利用に関する土質工学セミナーテキスト土質工学会中部支部1994, pp. 91-120.	T. Tsukamoto, T. Maruyama, K. Hayashi
1994	軟弱地盤上の盛土による地盤の側方流動予測法	実務に役立つ土質工学Q&A土質工学会, 1994, pp. 163-169.	
1994	波浪場における重力式構造物の安全性	第39回土質工学シンポジウム論文集土質工学会1994, pp. 25-28.	
1994	Dynamic response of diaphragm pore pressure transducers in viscous-scaled centrifuge model tests,	Proc. 4th NTU-KAIST-KU Tri-Lateral Seminar/Workshop on Civil Engineering, Kyoto, 1994, pp. 237-242.	Kita, K.
1996	General Report: Soil Properties	proc. 10th Asian Regional Conf. Soil Mech. Found. Eng., Beijing, Vol. 2, 1996, pp. 71-93.	T. Nakai, K. Kita

## 漂砂流砂系における地形変化災害—とくに海岸侵食研究の展望

関口秀雄

### 要 旨

本稿は、平成21年度の京都大学防災研究所研究発表講演会における特別講演の内容を増補、再構成したものである。筆者は定年退職に至る2010年3月までの13年間、流域災害研究センターにおいて沿岸域土砂環境の研究に従事した。海岸は陸と海のインターフェースである。本稿のねらいは、流域環境の変遷と海岸の地形環境の変容との関わりを海岸侵食研究の展望を通じて俯瞰的にとらえることにある。海岸侵食は地形変化の様式である。漂砂セルの堆積物収支に着目することにより、漂砂系と流砂系の連関の重要性を浮彫りにできる。現実の流砂漂砂系は、多様な地形環境によって特徴づけられる。比較流域学の視点から、概念モデルである漂砂セルの主要構成要素の働きと今後の課題に焦点を当てている。

**キーワード：** 海崖侵食、海浜変形、砂浜侵食、堆積物収支、堆積物輸送、漂砂セル、流砂漂砂系

### 1. 序論

#### 1.1 本稿の構成

筆者は、平成9年度から定年退職に至る平成21年度までの13年間、流域災害研究センター（前身の災害観測実験センターを含む）において沿岸域土砂環境（coastal sedimentary environment）の研究に従事した。流体—堆積物系の複雑な相互作用を核として、水際域の地形変化と災害過程に取り組んできた。液状化（liquefaction）や流動化（fluidization）をとまなうマスマーブメントの研究や、水文サイクルにおいて地下水流動や圧密（consolidation）が重要な役割を果たす広域の地盤沈下（land subsidence）の研究である（関口、2001; 2007）。山地から海岸域に至る物質フラックス、とくに水・土砂災害のリスク軽減に関する共同研究に参画する中で、災害の素因すなわち地形のなりたちを読み解き、土地利用のあり方を分析することの重要性を再認識した。その過程で、砂防学、河川工学、海岸工学、地球物理学分野の諸氏との交流はもとより、堆積学や地質工学、自然地理学のアプローチに啓発されるところが多かった。水害地形（天井川や過去の破堤・流路変動等の痕跡）や、イベント堆積物を手がかりに流域環境の変遷を解釈できれば、日常の生活圏の視界からは消え去っているような災害脆弱性を浮き彫りにできる可能性がある。将来の

社会のあり方を論ずるリスク・コミュニケーションの基盤醸成にも寄与できるように感じた。

以下の1.2節では、沿岸域の土砂環境に関して最近取り組んできた課題について概述する。第2章以降では、これらの課題に通底するテーマとして海岸侵食（coastal erosion）を取り上げる。海岸は陸と海のインターフェースである。自然条件と社会条件が濃厚かつ多様に関わりあう（Fig. 1）。第2章～4章では、海岸地形の多様性と流体—堆積物系の複雑な働きを参照しつつ、漂砂系と流砂系の連関（Allen, 1997）に焦点を当てる。第5章は、海岸侵食研究の潮流を模索した文献案内である。ただし、体系的網羅には程遠いことを予めお断りしておく。第6章はまとめである。

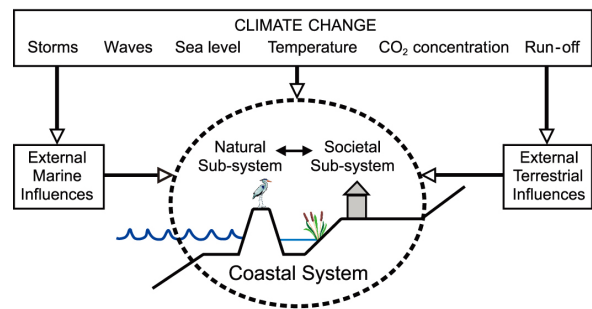


Fig. 1 Features of coastal system, with consideration of climate change (Nicholls et al., 2007)

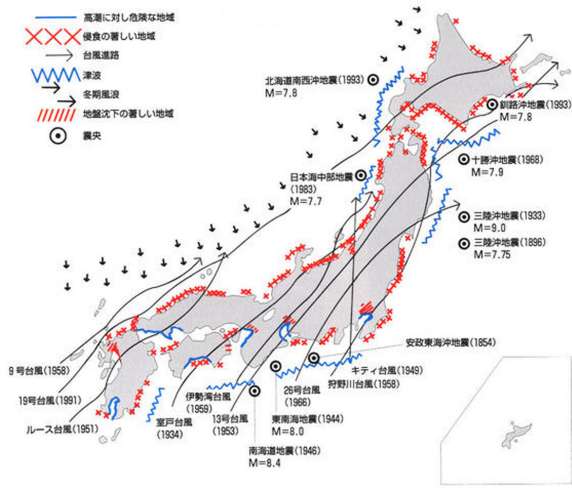


Fig. 2 Coastal hazards in Japan (MLIT, 2003)

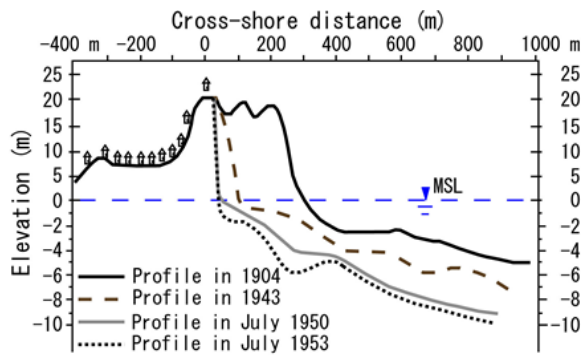


Fig. 3 Erosion of beach and dune system, West Coast of Niigata (adapted from MLIT report)

## 1.2 沿岸域土砂環境とは：最近の研究課題より

日本の国土は山地が多く、人口、資産および社会資本は、都市域の発達史を反映して、沖積平野や海岸平野に集中している。これらの沖積低地は、地形の特徴からして、洪水や高潮・高波等による氾濫浸水災害のリスクが高い。環太平洋地震帯に位置する弧状列島の日本は、複雑に入り組んだ長大な海岸線に縁取られている。したがって、津波災害リスクへの備えも重要である。沿岸域における災害環境のイメージをFig. 2に示す(国土交通省, 2003)。同図において、海岸侵食の全国的な拡がりにも注目したい。

地域の防災力の向上に資することを目標に、以下のような研究課題に取り組んできた。

- ① 埋没水害地形の同定—土地のなりたちをふまえた氾濫原マネジメントへの適用
- ② イベント過程を織り込んだ海岸地形環境のダイナミクスに関する研究
- ③ イベント過程を織り込んだ海岸地下水環境の



Photo. 1 Sea cliff with shore-protecting dyke, Byobu-ga-ura, Chiba (photograph 16 December 2009)

### 研究

課題①の背景には、次のような認識がある。従来、一級河川では水害地形分類図が作成され、有用な情報を提供している。しかし、土地利用の推移(時間の要素)を取り入れることが難しい。想定浸水範囲図(静的なイメージ)に基づいて、イベント時に刻々と展開していく氾濫ダイナミクスを想像することは、必ずしも容易ではない。このような隘路を解消するには、複雑流体(水と土砂が混然一体となった、移動境界と相変化をともなう流れ)の物理をふまえつつ、水害地形(自然堤防や後背湿地)のなりたちについて理解を深め、高解像度の地形計測法および景観表現を活用して、次世代型の(動的)ハザードマップに反映させていくようなアプローチが有効であろう。

課題②では、沿岸域のbarrier地形(砂州、砂嘴、海岸砂丘等)が有する自然の防災機能(地形の高まり効果)および内包リスク(極端現象にともなう防災機能の急激な喪失)の評価を目標にしている。海岸侵食との関わりも本質的な課題である(Fig. 3)。海岸侵食は、海岸構成物質の流失による地形変化(陸地の減少)を意味し、社会資本、生活基盤、海岸環境、歴史・文化景観等の劣化をもたらす。水際域の土地の減少を引き起こす広域地盤沈下との関わりも重要である(Morton, 2003; Saito et al., 2007; Mimura, 2008; Syvitski, 2008a)。たとえば、アジア・メガデルタの遠浅泥質海岸(Chao Phrayaデルタ等)では、地盤沈下にともなう水深の増加により、潮間帯環境であった海岸が潮下帯環境に遷移し波浪負荷が強まる結果、海岸侵食(beach erosion)が激しくなったと報じられている(Saito et al, 2007)。

海崖侵食(sea-cliff erosion)も基本的な海岸地形変化の様式である(Sunamura, 1973)。海崖の侵食により

海に供給された碎屑物が沿岸漂砂として系統的に輸送されると、下手の砂質海岸を涵養することも可能である(Sunamura and Horikawa, 1977; Chapman, 1981)。たとえば、九十九里浜海岸における雄大な砂浜景観の形成には、太東岬と屏風ヶ浦の侵食による碎屑物供給の寄与が無視し得ない(Sunamura and Horikawa, 1977)。しかし、近年、斜面防災の視点からこれらの海崖の基部周りには消波堤が設置され、崖から海への碎屑物供給は激減している(Photo. 1)。その影響も受けて、九十九里浜の北部や南部の海岸域では砂浜侵食が顕在化し、海岸保全対策(離岸堤やヘッドランドの設置等)が講じられるようになってきた(宇多,1997)。海岸環境保全の複雑さを示す重要な事例である(宇多, 1997; 2004)。

津波は低頻度ではあるが、いったん発生すると甚大な被害をもたらす極端現象の一つである。したがって、津波堆積物を活用することにより、巨大津波の発生頻度を推定する研究への期待も大きい。海岸域では、津波の遡上による氾濫浸水リスクはもとより、津波流動による護岸脚部の洗掘や海底地形変化のリスク評価も重要になる(Yeh and Li, 2008)。過去に繰返し津波流動の洗礼を受けてきた現世内湾(田辺湾内之浦)の海底下に、10枚に及ぶイベント堆積層が同定された(吉永ら, 2009)。今後、さらに実海底geo-archiveを目指した展開を期待したい。

課題③は、沿岸域の物質循環とも繋がる研究テーマである。たとえば、東播海岸の場合、海崖と前面砂浜の侵食対策として養浜工(beach nourishment)が実施されてきた。養浜により、海浜地形が回復したのみならず、砂浜域の不圧地下水の再生に繋がったことは、海浜生態環境の視点からも好ましい成果といえよう(関口・東・クリヨ, 2007)。宮津湾の天橋立(砂嘴地形)においては、クロマツ林と砂浜が織りなす景観に、磯清水がエコトーンを加えている。海水域の砂嘴下に形成された淡水レンズが浅井戸の水源として長年機能していることは、海岸域の生存基盤のヒントを与えている。実際、離島や島嶼国においては、海岸地下水は貴重な淡水資源である。

以下では、課題①～③の全てに通奏するテーマとして、海岸侵食の特質を浮き彫りにすることを試みる。

## 2. 漂砂環境と流砂環境の連関

### 2.1 堆積物の特徴

堆積物(sediment)は、大気および水と同様に、地球表層の最も基本的な環境要素である。砂や泥は身近な物質というにとどまらず、現代的な科学の視点からも多くの興味深い特性を有している(Jaeger et al.,

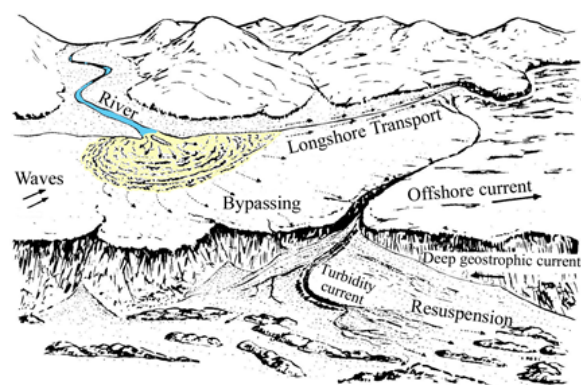


Fig. 4 Schematic of sediment dispersal system (adapted from Seibold and Berger, 1993)

1996; Siever, 1995)。地表を構成している堆積物の特徴を列挙すると、次のようになる。

- ◎particulate (粒々の集まり)
- ◎porous (多孔質)
- ◎multi-phased (多相系)
- ◎interfacial (界面が重要な役割を果たす)
- ◎multi-scaled (マルチスケール)。

これらの特徴は、風や流水による堆積物粒子の運動や、堆積物集合体の破壊や流動(マスマーブメント)、そして地形変化をとらえるうえに重要な手がかりを与える。

さて、漂砂の舞台となる海岸地形は多様性に富んでいる。プレートテクトクスに着目した大地形分類(Inman and Nordstrom, 1971)を参照すると、変動帯の海岸と非活動的大陸の海岸に大別できよう。前者は、米国西海岸や日本の駿河湾や相模湾等の海岸によく当てはまる分類である。大陸棚の幅が狭く、沖合には海溝が存在する。変動帯の海岸地形のイメージをFig. 4に示す。同図によると、河川から河口を通じて海域に運び込まれた堆積物が波や流れの作用によって分散、移動する様子(漂砂過程)をイメージしやすい。波向は海岸線に対して斜めに描かれており、浅海域(主として碎波帯内)における沿岸流や沿岸漂砂(alongshore sediment transport)の発生を示唆している(Putnam et al., 1949; Komar and Inman, 1970)。変動帯の海岸では、海岸近くにまで海底谷が迫っていることも少なくない。このような場合、暴風浪によって漂砂の一部が海底谷に流出する可能性がある。さらには、混濁流(turbidity current)となって大陸斜面を流下することも起こり得る。混濁流は堆積物重力流(sediment gravity flow)の様式であり、陸源性物質を深海に運び込む重要な働きをしている(Siever, 1995; Parsons et al., 2007)。洪水時には、浮遊運搬物質(suspended load)の一部は陸棚を超えて、直接、大陸斜面や深海域へ流出してしまう可能性がある。こ



Photo. 2 Sea cliff and fronting pebble beach, Etretat, France (photograph 27 September 2009)

のような場合には、Fig. 4中に記載のとおり，“bypassing”という表現が当てはまる。

浅海域の砂粒は、波や流れの作用により常に動いている。そのような砂粒が集積し、個々には移動しつつ砂浜地形が持続し得ているのは、自然の妙といえよう。岬にはさまれたポケットビーチ (pocket beach) の場合、特にその感を強くする(白良浜、琴引浜等)。ポケットビーチは砂浜とは限らない。波浪環境や地質環境によっては、砂礫浜や玉石浜になることもある。北フランスのEtretat海岸の場合には、海食崖を構成するチョーク層中のフリント (flint) 団塊が洗い出されて、海食台の上に薄く堆積し、玉石浜を形成している (Photo. 2)。当海岸域では、海食崖 (台地縁辺) —海食台—玉石浜が漂砂環境を形成していると見ることができよう。

## 2.2 漂砂と海浜変形

波浪や流れによる砂粒の移動 (漂砂) が、直ちに海浜変形 (beach profile change) をもたらすわけではない。論点を明確にするため、直線海岸を例にとって考える。汀線と直角する方向に  $x$  軸、汀線に沿って  $y$  軸をとる。基準面より鉛直上向きに測った、任意点  $(x, y)$  における海底面の高さを  $z_s = F(x, y, t)$  と表す。静穏な海象条件のもとでは、海水 (water column) と海底床 (seabed) の境界面は、比較的明瞭である。高解像度の深浅測量によって、実用的な精度で水深、次いで海底面の標高を定めることができる。波や流れの作用のもとで、漂砂 (あるいはマスムーブメント) が生じる場合には、海底面は移動境界 (moving boundary) となる。ある瞬間  $t$  に海底面に位置していた堆積物粒子が次の瞬間には海水中に巻き上げられ、別の堆積物粒子が海底面に露出したり (erosion)、浮遊堆積物粒子が海底面に沈着することもある (deposition)。したがって、力学的には、海底面は物質面ではない。言い換えると、海底面という場所を占有した粒子が、その後も継続的に海底面を占有するという保障はない。さて、海底床構成物質 (堆積物) の質量保存則

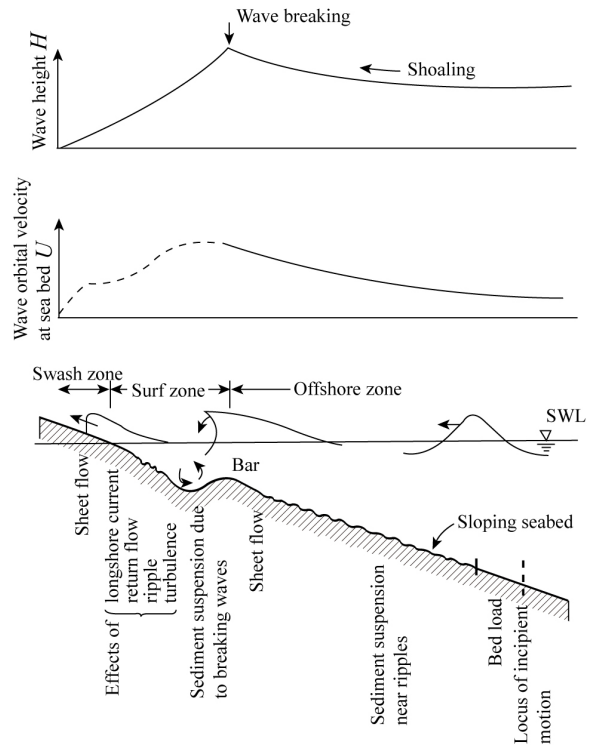


Fig. 5 Illustration of beach processes on cross-shore profile (adapted from Horikawa, 1988)

は次のように表示できる。

$$(1-n) \frac{\partial z_s}{\partial t} = - \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) + D - E \quad (1)$$

ここに堆積物は非溶存性であり、海底床の空隙率  $n$  は一定と仮定している。右辺中の  $q_x(x, y, t)$  と  $q_y(x, y, t)$  は、それぞれ、堆積物の実質体積表示の岸沖方向流束および沿岸方向流束を表す。海底面を横切る堆積物の流出入を  $(D - E)$  項で表す。一般に、汀線 (shoreline) の位置は潮位によって変動する。海浜変形にともなう汀線位置の変化を論ずるには、海底面  $z_s$  と平均海面 ( $z = z_{swl}$ ) とが交わる位置  $x_{s,swl}$  の変化が問題になる。氷河性海面変動のような超長期のプロセスを考慮する場合には、平均海面の変動を考慮しなければならない。ここでは、平均海面は変化しない場合を考える。

波浪 (あるいは津波) が遡上し得る範囲の地表面は、通常は大気と地表構成物質の境界面であり、dry bedである (厳密には不飽和状態にあり、粒子間に毛管水を保持している)。しかし、波の遡上時には水面下に没し、流水の作用を受ける。このような遡上帯 (swash zone) における表面流や、地下水の浸潤・浸透、堆積物移動等の諸過程は、後浜の侵食や浜崖の形成をもたらす重要なプロセスである。高潮や津波のような超過外力のもとでは、水流が浜堤や海岸



砂丘を越流することも起こり得る。越流や越波に対する浜堤や海岸砂丘の粘り強さ(resilience)を評価するために、活発に研究が行われている(Donnelly et al., 2006; Kobayashi and Farhadzadeh, 2009)。

傾斜海底における波浪応答のイメージをFig. 5に示す(Horikawa, 1988)。波浪伝播にともない、海底面近傍には振動流が生じる(海底面には波圧変動も作用する)。これらの作用が十分に強くなると、海底面付近の堆積物は岸沖方向に運動する(一般には沿岸方向にも堆積物は移動する)。それにともない、海底面には小起伏(砂漣)が形成される。砂漣の峰付近では流れの剥離(flow separation)が起こり、渦(vortex)が生成されるため、砂粒子が巻き上げられ浮遊砂雲ができる。流れの反転のタイミングによっては、浮遊砂雲が選択的に岸側に移流・沈降したり、沖側に移流・沈降する(Yamaguchi and Sekiguchi, 2010)。流水による堆積物の輸送モードとして、掃流砂(bed load)と浮遊砂(suspended load)の概念はよく知られている。実際、河川流のような一方向流れ場における流砂量式の適用性については、膨大な蓄積がある(後藤, 2004)。しかし、波浪にともなう振動流下の堆積物輸送の物理過程は複雑であり、そのモデル化も一筋縄にはいかない(Camenen and Larson, 2005; Van der Werf et al., 2006; 2008; Nielsen, 2009)。ストーム時のように波浪負荷が厳しくなると、砂漣は消失し、海底付近では砂粒子を高濃度で含む振動流(sheet flow)が生じる。その結果、急激な海底地形が生じる可能性がある。シートフローは高濃度の混相流であり、液状化・流動化の物理とも通ずるところが多いように思われる。

実用的な海浜変形の解析(平面地形変化予測モデル)においては、漂砂量式(堆積物輸送流束 $q$ と流体運動による底面せん断応力 $\tau$ を結びつける半経験式)を式(1)の右辺に代入し、対象海域の波浪場にに応じて、堆積物輸送流束の空間的分布とその時間的推移を求めていく(たとえば、栗山, 2006)。

### 2.3 漂砂系と流砂系の繋がり

海岸侵食は、物理的には、堆積物収支の不均衡を地形変化(海岸域の貯留量の変化)によって補償するプロセスである。河川から海域への堆積物の流出は、対象漂砂セル(littoral cell)にとっては流入、すなわち収入になる(Fig. 6; Komar, 1998)。したがって、河川からの堆積物供給が減少すると、それを補償するように漂砂系は応答する。

日本における海岸侵食の実態を概観しておこう。田中ら(1993)は、全国をカバーする異なる時期の地形図(縮尺:5万分の1)を比較し、日本列島における海浜面積の推移を計量した。その結果、1973年から

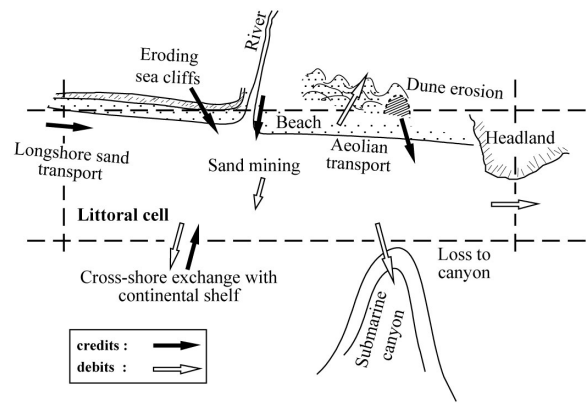


Fig. 6 Principal components involved in littoral sediment budget (adapted from Komar, 1998)

1986年に至る期間の海浜面積減少率(全国平均)は、160ha/yrに達することを明らかにした。ただし、それ以来、20年余が経過した。海岸侵食の実態を表す指標値の更新が望まれるところである。日本の一級河川に係る流砂系の現況については、藤田ら(2008)による流砂系現況マップがとりわけ興味深い(Fig. 7)。同図には以下のような情報が満載されている:(a)河道変動状況;(b)河道外への土砂搬出(砂利採取)の状況;(c)流域内ダムの堆砂状況;(d)汀線の後退が著しい海岸;(e)荒廃地域の分布。

さて、流砂系の堆積物動態をふまえつつ、海岸域の地形変化を大局的にとらえるには、漂砂セルに基づく堆積物収支の検討が有効である。Fig. 6のような漂砂セルにおいて、堆積物の収入(credits)をもたらすのは、次のようなプロセスである。

- ・河川からの堆積物の流入
- ・海崖の侵食
- ・上手側からの沿岸漂砂の流入

堆積物の支出(debits)をもたらすのは、

- ・下手側への沿岸漂砂の流出
- ・海底谷への流出
- ・沖合への流出
- ・飛砂(砂浜から岸側への砂輸送)
- ・海底の砂礫の採取(sand mining)

実務では、深淺測量結果と式(1)の連続式に基づいて漂砂セルの堆積物収支を推定することが多い。その場合、漂砂セルの側方境界条件や沖合境界条件の設定は自明ではないことに留意したい。岬を周る漂砂フラックスの評価や沖合への堆積物流出の評価は、未解決な点が多い基本課題である。

飛砂(wind-blown sand)は砂浜の収支の面からは、一般に損失とみなされている。歴史的には、陸側の生活圏における飛砂対策(海岸防砂林等)に多大な関心と努力が払われてきた(たとえば、小田, 2003)。

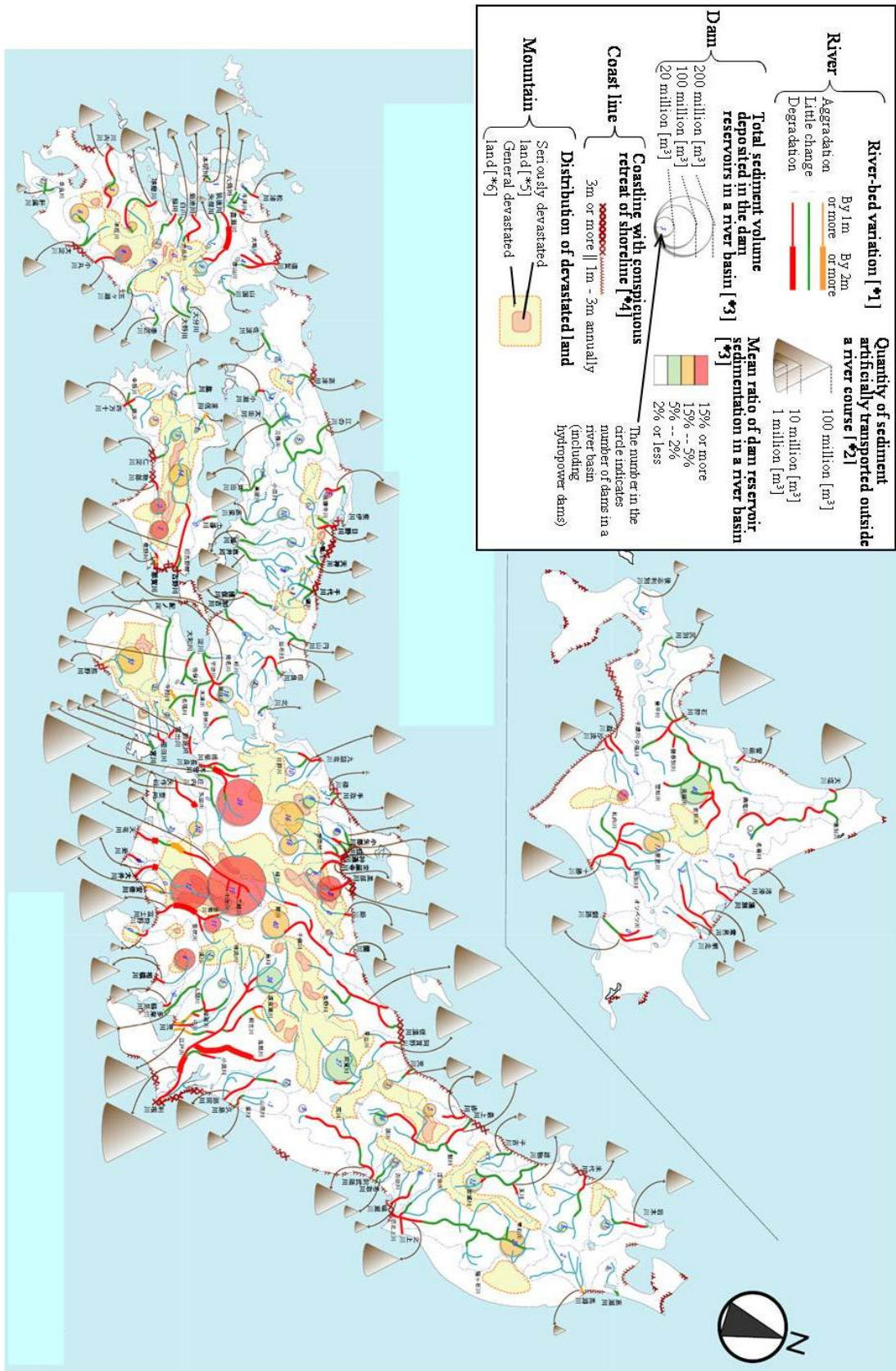


Fig. 7 Sediment transport system census map 2002 compiled by the River Bureau, MLIT, Japan (Fujita et al., 2008)

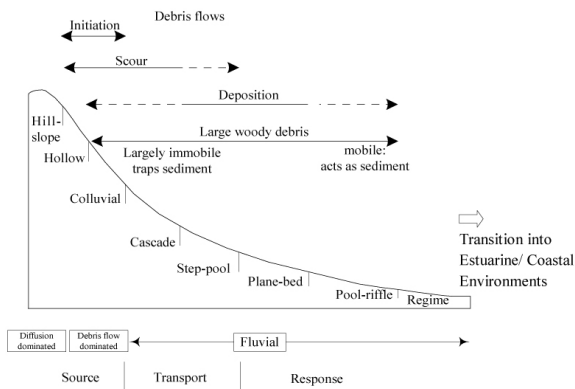


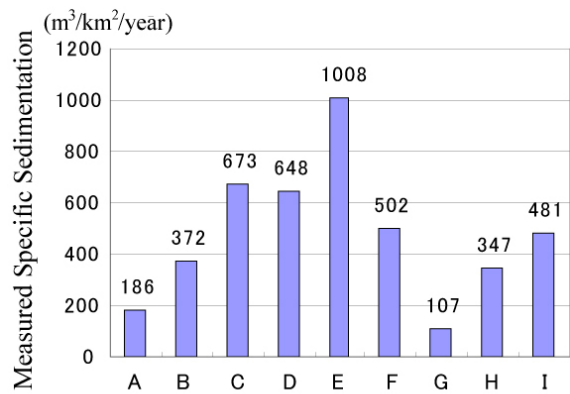
Fig. 8 Hillslope- and fluvial-process domains (adapted from Kondolf et al., 2003)

## 2.4 土砂生産と貯水池堆砂

河口海岸域への堆積物流出は、流砂系の最下流端のアウトプットとみることができる。したがって、その予測には、山地丘陵から扇状地を経て沖積河道系に至る一連の流砂プロセスを精確に評価する必要がある (Fig. 8)。具体的には、山地丘陵域における土砂生産 (sediment yield; sediment runoff) と、河道系における土砂流送 (fluvial sediment transport) の評価である。ここでは、土砂生産をとりあげる。

ダム貯水池は、ある意味では格好の sediment trap である。上流域で生産され貯水池まで流送されてきた堆積物を計量することができる。年当りの堆砂量 (変化量) を貯水池より上流の流域面積で除すと、比堆砂量 (specific sedimentation) が求められる。このようにして求められた比堆砂量は、当該流域における不安定土砂の生産ポテンシャルを表すとみてよい。

Suzuki(2000)は、日本における貯水容量  $10^6\text{m}^3$  以上のダム貯水池 (729個) の中から条件に合う40個の貯



Legend A: Hokkaido D: Kanto G: Chugoku  
B: Tohoku E: Chubu H: Shikoku  
C: Hokuriku F: Kinki I: Kyushu

Fig. 9 Specific sedimentation in Japan's nine regions (adapted from Suzuki, 2000)

水池を選び、比堆砂量を算定した (Fig. 9)。同図より、比堆砂量に地域性がみられることがよく分かる。最も土砂生産が活発なのは中部地域である。その比堆砂量は年間  $1008\text{m}^3/\text{km}^2$  に達する。削剥量に換算すると、毎年1mmである。

大気-陸面過程を対象とした分布型流出モデルの進展は目覚ましい。精細なデジタル標高モデル (DEM) によると、50mグリッドで1cmオーダーの三次元座標表現は十分に可能である。たとえば、守利ら(2003)は、中部地方の矢作ダム流域 (風化花崗岩に富む; 流域面積 =  $504.5\text{km}^2$ ) を対象として、2000年1月から12月まで、1年間における降雨流出および土砂流出を予測した。この期間には東海豪雨イベントも含まれる。予測結果は、矢作ダム貯水池における実測流入

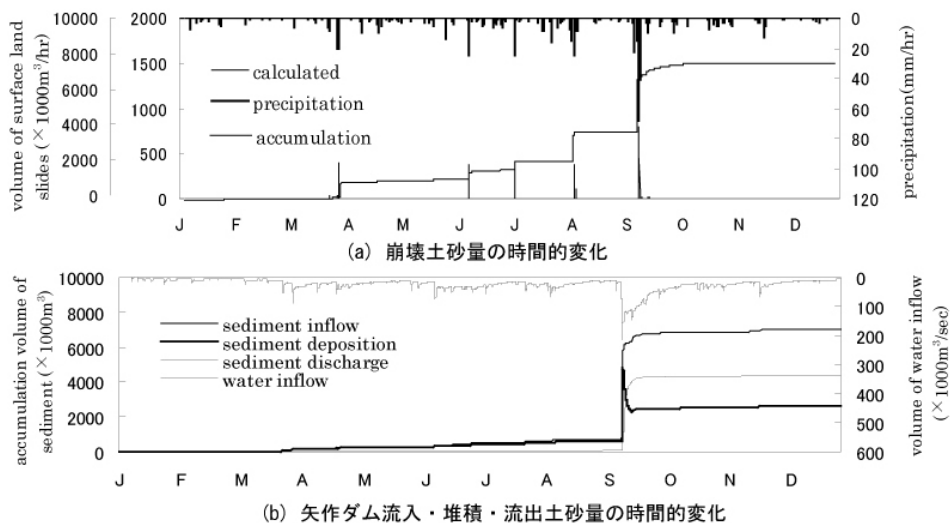
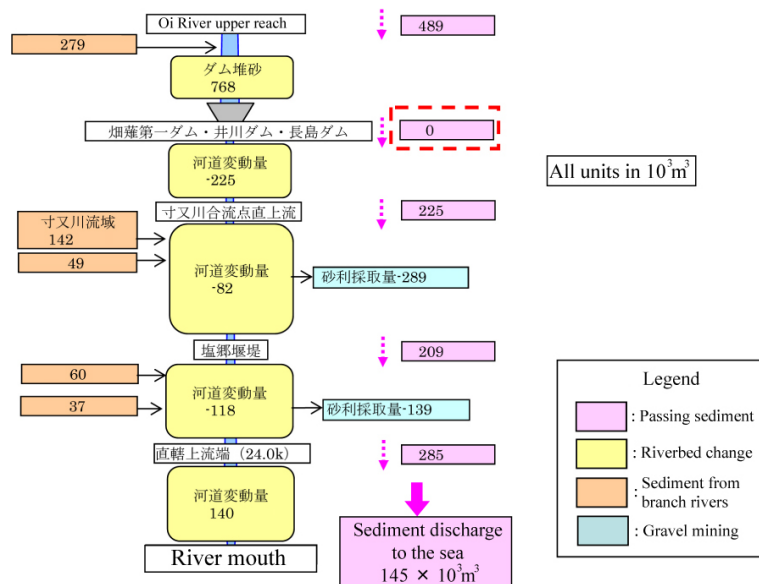
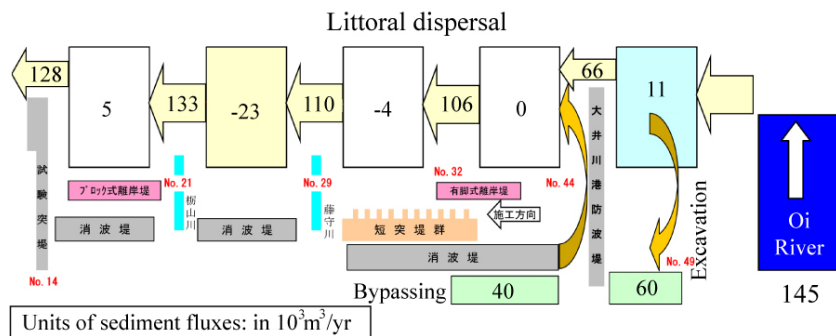


Fig. 10 Event-accentuated sediment-runoff performances for Yahagi dam basin (Mouri et al., 2003)



(a) Oi River basin



(b) Suruga Coast

Fig. 11 Sediment routing system linking Oi River basin with Suruga coast (adapted from MLIT, 2009)

水量および実測堆砂量をよく再現している (Fig. 10)。適用された土砂生産モデルは浅層すべり破壊モデルである。飽和・不飽和降雨浸透モデルにより地下水位分布を求め、有効応力に基づく無限長斜面安定解析法により、各グリッドにおけるすべり安全率(factor of safety)を求める方法である。安全率の値が1.0を下回ったグリッドにおいては、土塊は“瞬時”に河道に流出する、との仮定が導入されている。河道部において考慮された土砂輸送形態は次のようである：土石流(debris flow); 掃流砂 (bed load); 浮遊砂 (suspended load); 微細砂(wash load)。それぞれに対して数理モデルが適用された。

ダム貯水池流域における流出解析結果によると、1年間当り次のようになる：

- ・貯水池への流入土砂量= $7.0 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ・貯水池の堆砂量増加量= $2.6 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ・貯水池からの流出土砂量（大部分は微細土砂）  
= $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$

実測による貯水池の堆砂量増加量は、 $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ で

あった（予測値と整合）。

なお、貯水池からの流出土砂量(wash load)を計量することは現在でも技術課題であり、矢作川においても実測値は報告されていない。

## 2.5 流砂漂砂系の堆積物収支の検討例：大井川—駿河海岸系

砂礫海岸マネジメントには、漂砂セルに基づく堆積物収支の検討が見通しを与える。ここでは、変動帯における流砂漂砂系の連関の例として大井川—駿河海岸系をとりあげる (Fig. 11)。

大井川の源流域は標高3000mに達する南アルプスである。幹川流路延長は168km、流域面積は1280 km<sup>2</sup>である。山間部は平均年間降水量=2400~3000mmの多雨地帯であり、水力資源に恵まれている。そのため、電源開発が活発に進められてきた。ダム・河道領域における実績土砂収支図をFig. 11(a)に示す(国土交通省, 2009)。ここに、河道変動量と砂利採取量は1996年~2002年の実績に基づいている。大

規模ダムとしては、本川の上流側から順に畑薙第一ダム、井川ダム、長島ダムがある。これらのダム貯水池への堆砂が進行中であるため(年間76万8千 $m^3$ )、下流河道への土砂流出は実質的にゼロになっている。したがって、現在の大井川では、直轄上流端(河口より24 kmの地点)を通過する土砂流量は、同地点に至るまでの河道低下による土砂生産量と支川からの土砂流入量の和から、川砂利採取量を差し引いたものになる(すなわち、年間28万5千 $m^3$ )。直轄上流端より河口までの区間では、流送土砂の一部は河道堆積をもたらす結果、河口に到達する流送土砂量は14万5千 $m^3$ となる。

その中、どれくらいの量の堆積物が河口両側に展開する海岸(駿河海岸)を涵養しているのか?そのヒントを与える資料をFig. 11(b)に示す(国交省, 2009)。同図では、大井川河口域と左岸側(北側)海岸域における堆積物収支を評価している。基本となる地形変化の数値モデルはone-lineモデル(汀線変化モデル)であり、検討対象となる漂砂帯は、T.P.+2m~T.P.-10.0mの範囲を設定している。1992年~2004年の間における定期深淺測量成果とone-lineモデルによる沿岸漂砂フラックスの評価を統合して得られた結果が図13(b)である。同図の結果を読み解くために、以下の3点に留意したい。(a) 河口左岸域における大井川港の存在による沿岸漂砂の分断化の程度、(b) 試験突堤(地点No.14)の北側の海域(焼津市田尻地先沖)における海底谷の存在、(c) 大井川河口テラス域における堆積物分配機構。

項目(a)については、大井川港防波堤の上手側への土砂堆積を利用した下手側へのsand bypassingに加えて、防波堤先端を周り込む沿岸漂砂フラックス(年間6万6千 $m^3$ )の存在が興味深い。大井川北側海岸の平均沿岸漂砂フラックスは概ね年間10万 $m^3$ に達するので、不足分の年間4万 $m^3$ をsand bypassingにより補っている。現況では地点No. 21-29の区間の漂砂セルにおける貯留量は年間2万3千 $m^3$ の減少傾向にある(侵食)。その遠因としては、北向き沿岸漂砂のかなりの部分が海底谷に流出してしまうことが挙げられる。No.14地点における試験突堤は、海底谷への土砂損失の制御機構を明らかにする目的で設置されたものである。モニタリング結果によると、近年、試験突堤下手側が侵食傾向にあり、漂砂機構の検討が進められている(国土交通省静岡河川事務所, 2005)。

河川からの土砂流送(Fig. 11(a))と沿岸漂砂系を結びつけるのが、河口テラスにおける土砂分配機構である(Fig. 11(b)参照)。大井川の場合、ピーク流量3000 $m^3/s$ 級の出水により、河口テラスには30万 $m^3$ 程度の土砂堆積(貯留量Sの増加)が観測されている(西川ら, 2006)。洪水イベント性の土砂堆積が、その後

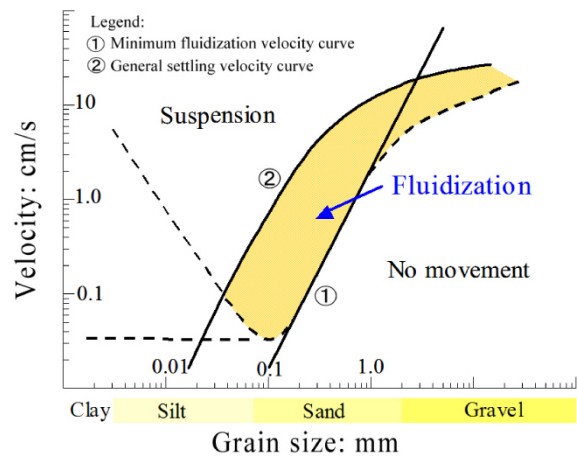


Fig. 12 Variations of critical velocities with grain size (adapted from Lowe, 1975)

どのようなプロセスを経て周辺海岸域に分配されていくのか、堆積物の粒度を考慮した時空間特性の解明を期待したい。

### 3. 複雑流体アプローチの話題

漂砂セルに基づく堆積物収支の検討の枠組(Fig. 6)において、未解明な点が多いのは沖合境界を横切る堆積物の流出入機構である。沖合への堆積物流出を全く無視すると、陸棚に未固結堆積物が厚く堆積している地質学的知見(shelf sedimentation)と相容れない。本節では、暴浪の作用により細砂やシルトが液状化あるいは流動化する可能性に着目し、流動化(fluidization)の物理の一端を紹介する。

#### 3.1 流動化による堆積物の相変化

流動化すると、堆積物はあたかも流体のようになる。その意味で相変化が生じたとみることもできよう(Fig. 12; Lowe, 1975)。図中の曲線①はボイリング(boiling)の発生に対応する。ボイリング発生時の限界動水勾配(絶対値)を $i_{cr}$ とおくと、Terzaghi et al. (1996)を参照して、以下のように表せる。

$$i_{cr} = \frac{\rho_s / \rho_w - 1}{1 + e} \quad (2)$$

ここに、 $\rho_s$ と $\rho_w$ は土粒子と間隙水の質量密度、 $e$ は間隙比である。限界動水勾配に達するまで浸透流がDarcy則にしたがうとすると、ボイリング発生時の鉛直流速 $v_{cr}^{(1)}$ は次のように表せる。

$$v_{cr}^{(1)} = k \cdot i_{cr} \approx (1.0 \sim 0.7)k \quad (3)$$

ここに、 $k$ は透水係数である。

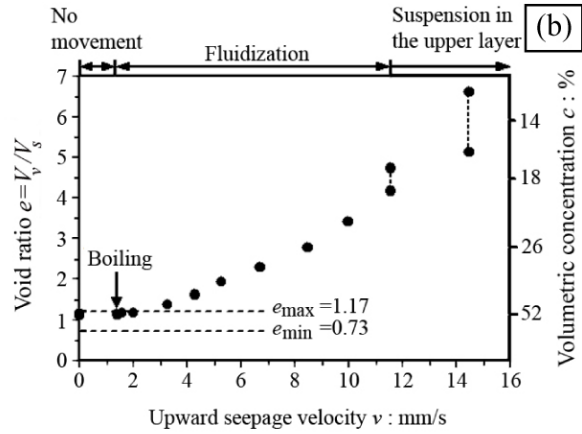
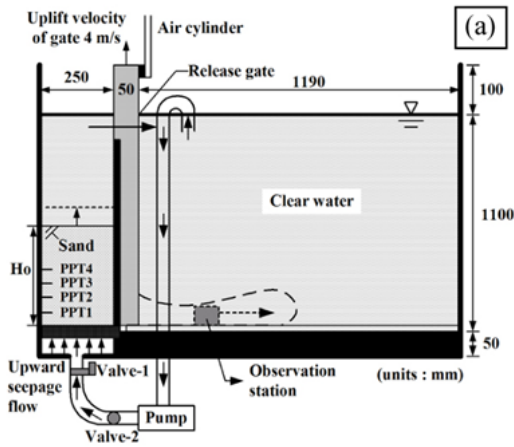


Fig. 13 Changes in states of soil with increasing upward seepage velocity (Amiruddin *et al.*, 2006)

したがって、Fig. 12中の曲線①は、堆積物（土粒子の集合体）における透水係数 $k$ の値が代表粒径 $d$ の値に応じて増加するようすを表しているとして解釈できる。粒径 $d$ が概ね1mm以下では、透水係数 $k$ は $d^2$ に比例する一方（層流域）、粒径 $d$ が数mmを超えると流れの乱れの効果が顕著となり、透水係数 $k$ は概ね $d^{1/2}$ に比例する（乱流域）。

Fig. 12中の曲線②にみられる粒径依存性(Lowe, 1975)は、干渉沈降(hindered settling)モードにおける沈降速度 $w$ の粒径依存性を思い起こすと理解しやすい。ここに、沈降速度は土粒子(grain)または土粒子群(sediment grains)と周囲流体間の相対速度であることに留意したい。

干渉沈降速度を表す実験式としては、次式がよく知られている(Richardson and Zaki, 1954)。

$$w = w_0(1-c)^n; \quad n = 4.65 \quad (4)$$

ここに、 $c$ は土—水混合体(soil-water mixture)において土粒子群が占める体積濃度、 $w_0(d)$ は静水中の単一粒子の沈降速度（粒径 $d$ に依存）を表す[式(4)において $c \rightarrow 0$ の場合に対応する]。

土—水混合体において、干渉沈降とバランスし得る上向き浸透流を作用させると、巨視的には定常的な懸濁状態(suspension)を実現することができる。そのときの限界流速（絶対値）が $v_{cr}^{(2)}$ に対応する。すなわち、 $v_{cr}^{(2)} \sim w$ となる(Amiruddin *et al.*, 2006)。このように解釈すると、掃流域では限界流速 $v_{cr}^{(2)}$ は $d^2$ に比例し、乱流域では $d^{1/2}$ に比例する傾向を理解しやすい。

砂質土の流動化特性を示す室内実験結果を簡潔に紹介する。ケイ砂No.6（中央粒径=0.32mm）を用いて上向き浸透流実験を行った(Amiruddin *et al.*, 2006)。この砂の最密充填に対応する間隙比( $e_{min}$ )は0.73、最も緩い充填状態に対応する間隙比( $e_{max}$ )は

1.17であった。使用した水槽をFig. 13(a)に示す。緩め状態の砂層内に上向き浸透流を生じさせ、徐々に流量速度 $v$ の値を増やしていく。しばらくの間は動水勾配が大きくなるだけで、砂層の変形は無視できる程度である。しかし、動水勾配の値が限界値 $i_{cr}^{(1)}$ に近づくとき砂層表面の膨れが顕著となる。そして、動水勾配が限界値に達すると、砂層表面はあたかも沸騰したように変動する。これがボイリングである

(Fig. 13(b))。巨視的には、この状態においても砂層全体の間隙比（あるいは体積濃度）を評価することは可能である。さらに上向き浸透流速をあげていくと、流動化状態は継続し、対応する体積濃度 $c$ の値は減少する。当実験では、流動化状態の土—水混合体の上面と、その上部の水柱の境界面が（巨視的に）シャープなのは、体積濃度 $c=0.2$ （20%）程度以上の場合であった。このときの流速 $v$ の値は11-12mm/s程度であった( $v_{cr}^{(2)}$ に相当)。この値は、ボイリング時の流速値[ $v_{cr}^{(1)}=1.5-2.0$ mm/s]の6~7倍である。浸透流速の値を $v_{cr}^{(2)}$ 以上に増加させると、土—水混合体と周囲流体の界面は拡散し、いわゆる懸濁状態(suspension)という形容がふさわしくなる(Fig. 13(b))。

以上のような砂質土の一連の状態変化の観察を通じて、Loweによる相変化の概念モデル(Fig. 12)の物理的な裏付けについて理解を深めることができる。

### 3.2 水中における堆積物重力流

流動化した後、砂質土がどのように流れ、減速し、そして再堆積するかは、サイエンスの視点からも興味深い課題である。

流動化によって発生した堆積物重力流の減速・停止過程には、流動体の内部に自律的に発達する凝固域(Miyamoto *et al.*, 2004)が重要な働きをしている

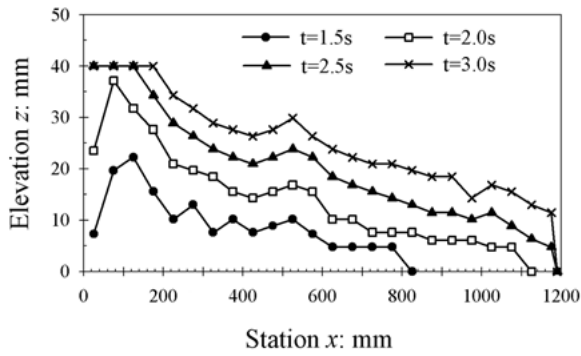


Fig. 14 Observed solidification fronts in subaqueous sediment gravity flow (Amiruddin et al., 2006)

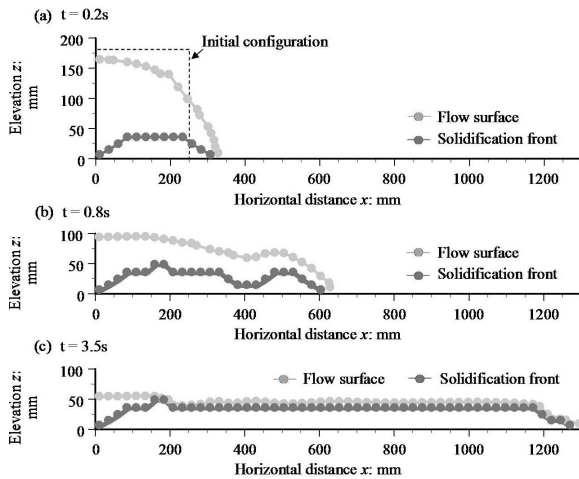


Fig. 15 Predicted performances of flow surface and solidification front, in terms of LIQSEDFLOW

(Amiruddin et al., 2006)。堆積物流動実験に用いた水槽をFig. 13(a)に示す。まず、リリースゲートを閉じた状態において、砂層を上向き浸透流によって流動化させる。引き続いて、ある瞬間( $t=0$ )にリリースゲートを急激に引き上げ堆積物重力流を発生させる。その後の流況を高速カメラで撮影し、PIV(particle image velocimetry)による画像解析を行った結果をFig. 14に示す(Amiruddin et al., 2006)。同図は体積濃度  $c=38\%$  の場合の実験結果であるが、流れの進行にともない、堆積物重力流の下部域に凝固域が形成され、次第に発達していく様子がよく分かる。凝固域(固体状態)とその上位の流動域の境界面が凝固フロントである。凝固フロントが流動体の表面に到達(流動層の厚さはゼロに縮退)したときに、流れは停止し、流動化土は固体状態に戻る。このように再堆積した土塊の体積を実測し、平均的な間隙比  $e$  の値を求めると、 $e=1.11$ であった。この値は用いた砂の  $e_{max}$  の値(1.17)よりわずかに小さい。したがって、この堆積物重力流実験では、体積濃度  $c=38\%$  の土-水系が重力流として流動する過程で、自律的に構造骨格

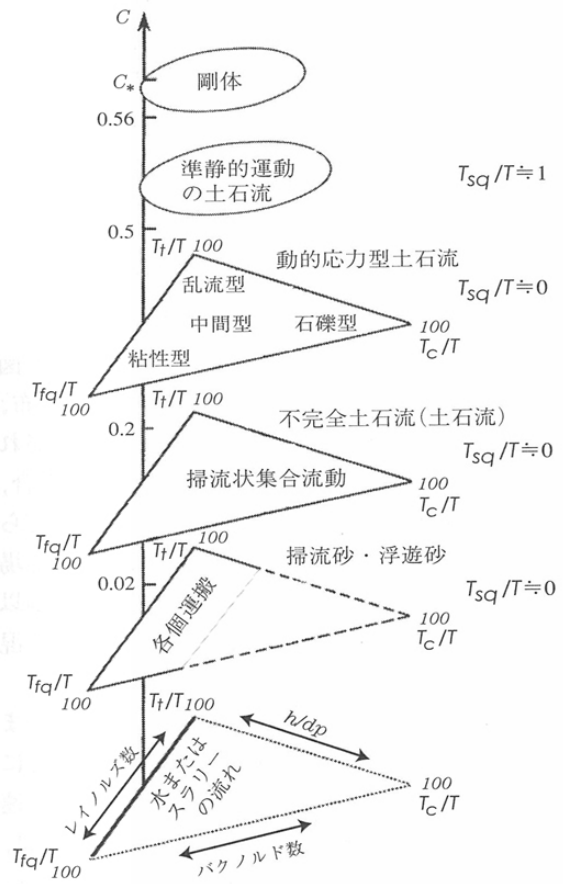


Fig. 16 Idealized flow regimes for water-sediment or slurry-sediment mixtures (Takahashi, 2004)

を再形成し、最終的には緩詰め状態の土(体積濃度  $c=46\%$ 強)に戻ったわけである。

上述のような流動化土の流況は、進行性凝固(progressive solidification)の物理過程を考慮した二次元非定常流動解析コードLIQSEDFLOW(佐々・関口, 2009)によって、概ね再現できる(Fig. 15)。興味深いことに、対象とした高濃度堆積物重力流では乱流の影響はほとんど見られない。

そのような流況は、高橋(2004)の分類(Fig. 16)を参照すると、概ね粘性土石流モードに対応している。

#### 4. 地形環境アプローチの話題

##### 4.1 孤立漂砂系に遷移した砂浜海岸：上越地域海岸を例にして

わが国の砂浜海岸の成り立ち、特に、日本海に面する砂浜の地形環境に着目すると、後背砂丘が果してきた自然の砂貯留機能の再評価が必要なように感じる。本節では、高田平野の北縁に位置する上越地域海岸をとりあげる(Fig. 17)。当海岸域では、関川河口右岸の直江津港の発展、とくに沖防波堤の建

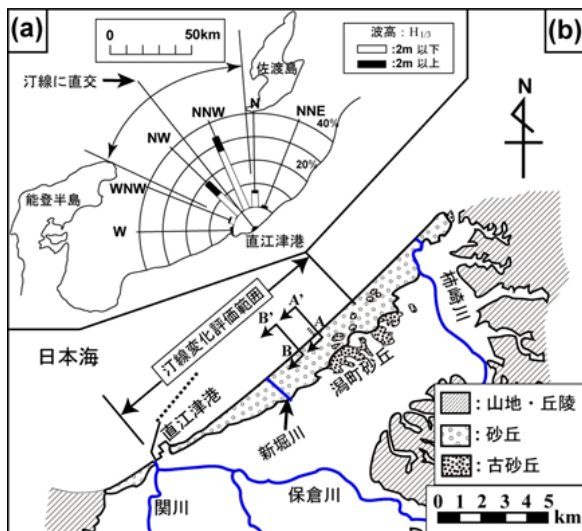


Fig. 17 Features of Joestu coast facing the Sea of Japan: (a) wave climate; (b) geomorphological setting

設と延伸により、河川流砂系から分断されている。海岸保全事業による汀線の固定化にともない、わが国有数規模の砂丘体（潟町砂丘）との堆積物循環も実質上、分断されている。

**汀線位置の変遷** まず、過去90年間における汀線の変遷について調べた（東ら，2009）。地形図幅「潟町」（1/25,000）の1914年版から2002年版まで計8枚をデジタル化，GISを活用して，汀線位置の地理情報化を実施した（読取り誤差±8.2m）。関川河口右岸の直江津港拡大（埋立）による汀線変化の影響を直接には受けない海岸域（延長9.6km）を選定し，海浜面積および汀線位置の平均変化量を求めた（Fig. 18）。同図によると，1991年頃までは海浜面積が減少，汀線が後退している。しかし，1991年以降は汀線位置は概ね安定している。これは，侵食対策のため実施されてきた海岸保全事業の効果の表れとみることができる。

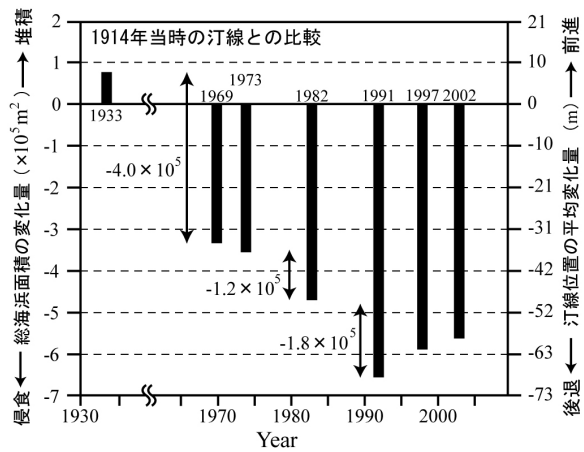


Fig. 18 Long-term changes of beach area

**海底地形断面の変化** 上越地域海岸では，近年，数度にわたって強大なストームが来襲していることもあり，直立防潮護岸等の海岸構造物の被災が目立つ。言い換えると，汀線は護岸や汀線消波堤等により固定化され安定しているように見えるが，海底地形はダイナミックに変動していることが推察される。

新潟県による深淺測量成果図（水深コンター図；1998，2001，2003，2005年の4年度）をデジタル化しGISに適用，空間補間を行うことにより，各年度における海底地形断面を作成した。代表的な岸沖断面として，断面A-A'およびB-B'における地形変化をFig. 19に示す。断面A-A'については，1961年当時の海底地形（帝国石油資料による）を併示した（Fig. 19(a））。

**高解像度の海底地形計測とその意義** 従来の深淺測量では，シングルビームの音響測深によることが多く，測線間隔も100m～200m程度が普通である。したがって，人工リーフのような構造物周りの地形変化（洗掘や異常堆積）を高解像度でとらえることは難しい。最近では，その隘路を開する計測技術（Swath Bathymetry Sonar System等）が開発されており，

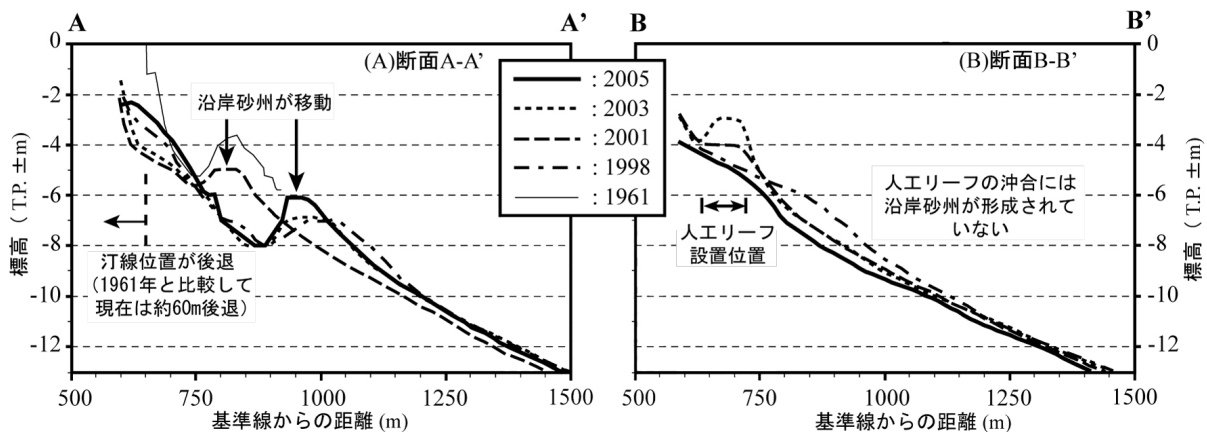


Fig. 19 Evolutions of cross-shore seabed profile: (A) along line A-A' ; (B) along line B-B'





Fig. 20 Snapshot of high-resolution bathymetry campaign on Ogata Beach using multi-angle swath side-scan sonar (photograph 29 July 2008)

海岸海洋地形学の新たな発展を促している(Hanes, 2009)。

大潟海岸において2008年7月27～30日、3次元マルチサイドスキャンソナー(C3D)による海底地形計測を行った。現地計測中の様子をFig. 20に示す。

上述の3次元マルチサイドスキャンソナー計測の成果は、2m格子の3次元座標データ群である(水深の計測精度は10cm程度)。その結果をもとに描いた水深0.5m間隔の等深線をFig. 21に示す(東ら, 2009)。同図によると、以下の特徴が明らかである。

- 1) 人工リーフ(天端水深2m)の沖合(水深8m線より沖)における湾入状の海底地形(侵食域を示す)
  - 2) 京大観測栈橋(K)の沖合に存在する大規模な弓形砂堆(頂部水深～7m)
  - 3) 人工リーフ周辺における顕著な局所変形。
- 従来、大潟海岸および直江津海岸における、波浪

による地形変化限界水深は約8mと評価されてきた(宇多, 1997; pp. 141-149)。しかし、Fig. 21に示した観測結果によると、等深線8.5m, 9.0m, 9.5m, 10.0mのいずれも沖方向に凹な侵食地形を示唆しており、近年における海岸波浪場の変動(wave-forcing variability)を想起させる。

以下のような課題について、今後の検討を期待したい: (a) 直江津港沖防波堤延伸にともなう波浪場の変化, (b) 長大な人工リーフ(計4基)の存在による波浪場や流れ場(離岸流)の変化, (c) 近年における冬季暴風浪場の経年変化特性。

三次元マルチサイドスキャンソナー計測によると、高分解能の測深のみならず、精細な海底音響画像を得ることもできる。大潟海岸における2008年7月調査の成果の一例をFig. 22に示す。図中のマーク3は、人工リーフDS-1の東部をとらえたものである(天端ブロックを個別に識別することも可能)。図中のマーク2は、京大観測栈橋の基礎杭の設置位置(T字型配置)を明瞭にとらえている。ちなみに、沖合3本の基礎杭間の間隔はいずれも50mである。先に述べたように、観測栈橋と人工リーフDS-1の沖合には大規模な弓形砂堆(比高約2m)が存在する。それが見事に音響画像上でもとらえられている(図中のマーク1)。その岸側の暗色部は、凹地すなわち弓形砂堆のトラフ(trough; 水深9m)に対応している。これらの特徴ある海底地形は、強大なストームの来襲により形成された可能性が高い。

海底表層堆積物と漂砂系堆積物収支の関わり 上述の特徴ある海底地形のなりたちと漂砂動態の関わりを調べるために、2009年7月に観測栈橋と人工リーフDS-1の間の海域(水深20m～水深5m)において、計10本のパイロ・コアサンプリングを実施した(東

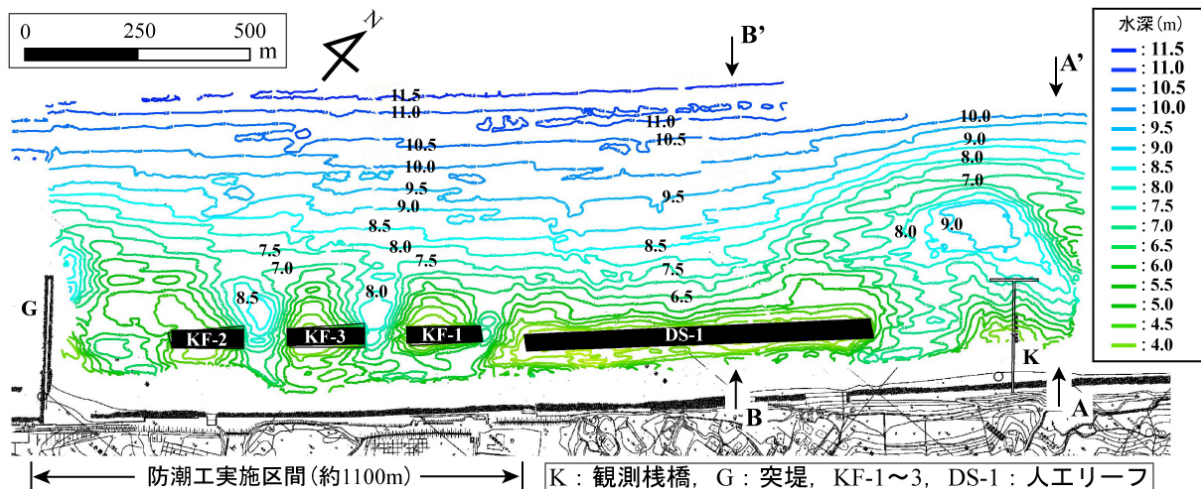


Fig. 21 Isobaths with 0.5m intervals obtained from the July 2008 high-resolution bathymetry on Ogata Beach

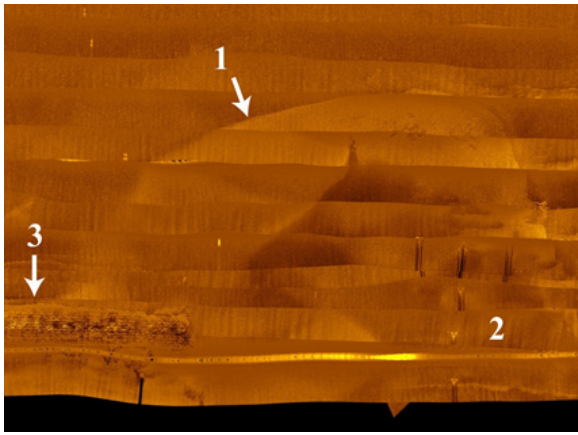


Fig. 22 Side-scan imagery depicting the bow-shaped, large sandbar (marked 1)

ら、2010)。その結果、弓形砂州周辺を境にして堆積物の粒径の変化が顕著であり、砂州より沖側のコアでは微細砂が卓越していることが明らかになった。

特筆されるのは、弓形砂州のトラフ位置のバイプロコアリング(VCS\_06)により、標高T.P.-9.7m~-10.3mの間に粘土塊とシルト層試料が採取されたことである。外洋に面する波浪環境の厳しい内側陸棚や下部外浜における泥層の形成は、従来は“paradoxical”とみなされてきた(Hill et al., 2007)。しかし、例えば、Eel陸棚堆積作用の調査研究の成果(後出のFig. 26参照)によると、高波浪環境の内側陸棚において洪水性堆積物(泥層)の分布が確認されている。今後の検討における重要な視点になることは間違いない。

さて、大潟海岸域では1960年頃に海底油田が発見され1980年代の半ば頃まで石油採取が行われていた。1960年当時に実施された海上調査ボーリング柱状図(帝国石油報告書, 1961)を仔細に検討すると、2009年バイプロコアリングによる泥層出現深度と概ね対応する層準に、シルト粘土層の記載がある。1960年当時の海底面標高はT.P.-6.5mであったので、その後、約50年間の海岸侵食の進行により、海底面は約3m低下した。そのため、被覆層となる漂砂層が薄くなり、バイプロコアリング技術の進展とあいまって、はじめて現世外浜環境における泥層(および泥塊)の採取が可能になったと考えられる。

2009年バイプロコアリング、帝国石油海上調査ボーリングおよび潟町砂丘陸域部の既存長尺ボーリング結果を対比すると、大潟海岸の沖合(弓形砂州域を含む)の海底下に古砂丘体が埋没していることは確実である。大潟海岸では海底地形変化(侵食)が周辺海域よりも顕著であり、埋没古砂丘の存在が一つの要因(rock control)になっている可能性がある。



Photo. 3 Storm-induced damage to a stretch of retaining wall of the Seisho Bypass (photograph 16 September 2007)

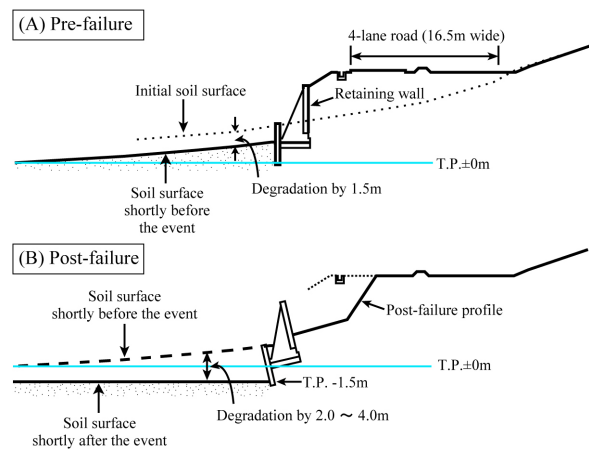


Fig. 23 Pre- and post-failure profiles of retaining-wall-supported seaside road, with stages of degradation of the fronting sandy beach (adapted from Yokohama Road Office, 2007)

## 4.2 変動帯における海岸環境保全：海底谷に面する砂礫海岸の課題

### (1) 台風高波による西湘バイパスの被災

2007年9月6日から7日にかけて台風9号の来襲による高波のため、相模湾北縁岸の西湘海岸を中心に大規模な海岸侵食や海岸道路(西湘バイパス)の被災が生じた(国土交通省横浜国道事務所, 2007)。大磯付近の西湘海岸に被害が集中した流体力学的機構については、西湘海岸保全対策検討委員会レポート(2008)や田島ら(2008)の分析に詳しい。

被災直後における西湘バイパス擁壁の変状と緊急復旧工事の様子をPhoto. 3に示す。被災前と被災後の道路擁壁—砂浜系の断面図を比較したのが、Fig. 23である(国土交通省横浜国道事務所, 2007)。Fig. 23(a)によると、同区間では海岸道路は西湘海岸の後浜位置に建設されたことがうかがえる。建設当時とは、擁壁の基礎工は砂浜内に十分深く根入れされていたと考えられる。しかし、その後の長年の海岸侵食に

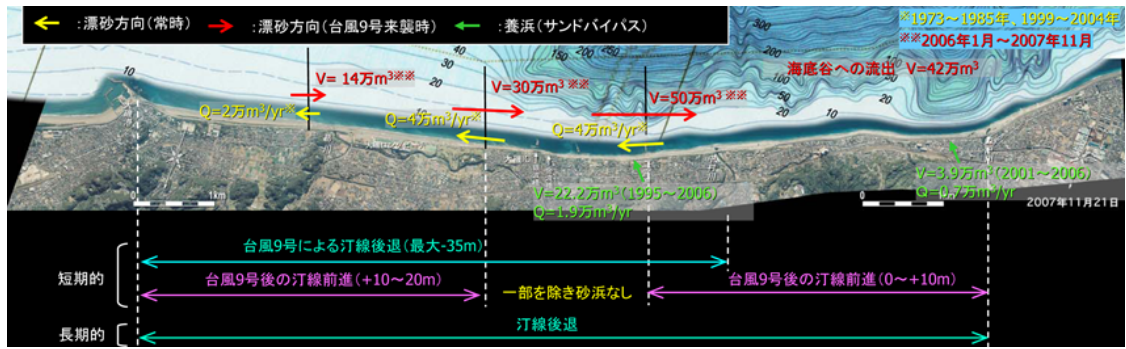


Fig. 24 Event-accentuated sediment dispersal with typhoon 9 in September 2007, emphasizing the importance of sediment loss into submarine canyons (Seisho Coast Research Committee, 2008)

より、2007年台風9号来襲時点までに砂浜は約1.5m、低下していた。このような状態になると、高波の作用により擁壁脚部では洗掘や吸出しが強調されやすい。それらにともなって擁壁脚部の水深増加や裏込土の流出が生じると、波の打上げ高さの増大や擁壁の支持力劣化に繋がる。その結果、海岸道路の被災拡大の一因になった可能性が高い。

西湘海岸における常時および台風高波イベント時の土砂動態が西湘海岸保全対策検討委員会(2008)によって比較、検討されている (Fig. 24参照)。西湘海岸においては、常時には東向きの沿岸漂砂が卓越し、酒匂川からの供給土砂が砂浜を涵養してきた経緯がある。しかし、近年では酒匂川からの土砂供給が減少し汀線後退の趨勢にあるため、養浜の実施により砂浜保全を図ってきた。二宮海岸域では、1995年から2006年の間に総量22万2千m<sup>3</sup>の養浜が行われている。しかるに、2007年台風9号の来襲時には、一

転して西向きの沿岸漂砂が卓越し、大規模な砂浜侵食をもたらした。2006年1月から2007年11月の間の海岸線変化の実測値と漂砂移動高さの推定値 (8.2m) に基づいて、大磯港より西側約8.5 kmの区間における地形変化量が推定された。その結果、2007年台風9号イベントによる土砂損失量が42万m<sup>3</sup>に達することが明らかになった。

この大量の土砂はどこに行ったのか？ Fig. 24から明らかなように、西湘海岸の沖合には海底谷が存在し、その谷頭が沿岸近くまで迫っている。台風イベントによる侵食土砂は最終的に海底谷に流出した、という西湘海岸保全対策検討委員会(2008)の推論には説得力がある。

## (2) 南CaliforniaのSanta Barbara漂砂セル

California沿岸域には多数の海底谷が存在し、漂砂系のコンパートメント化をもたらす主要な要因の一

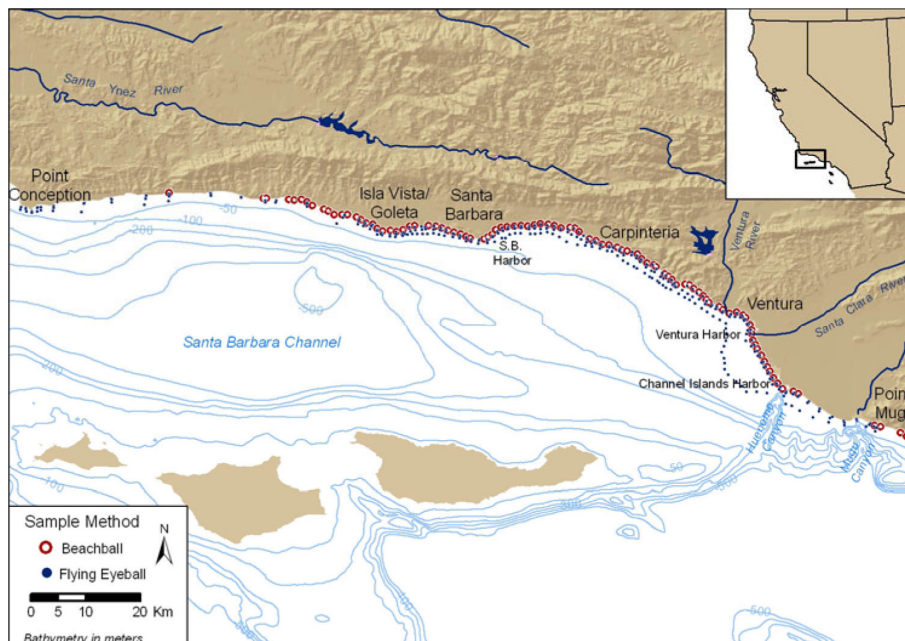


Fig. 25 Santa Barbara littoral cell from Point Conception to Mugu submarine canyon (Mustain et al., 2007)

つになっている。ここでは、沿岸漂砂が卓越する Santa Barbara 漂砂セルをとりあげ(Patsch and Griggs, 2008)、港湾施設におけるサンドバイパスの意義と、貴重な漂砂資源が定期的な最下流端の海底谷に流出している現実を紹介する。

Santa Barbara 漂砂セルの案内図 (Conception 岬から Mugu 海底谷まで) を Fig. 25 に示す (Mustain et al., 2007)。Conception 岬の南側の海域 (Santa Barbara Channel) では、概ね西から東に向かう沿岸漂砂が卓越している。Santa Barbara 流域では都市化が進んでおり、沿岸域には4つの港湾が整備されている (上手側から、Santa Barbara 港, Ventura 港, Channel Islands 港, Port Hueneme 港)。これらの港湾施設によって沿岸漂砂は一時的に阻止されるが、定期的に維持浚渫および下手側へのサンドバイパスが行われており、実質的に沿岸漂砂の連続性が確保されている。Patsch and Griggs(2008)は、それぞれの港湾における維持浚渫記録に着目し、漂砂セルの堆積物収支解析に組み込むことにより、年平均沿岸漂砂フラックスが上手側から下手側に向けて系統的に増大していることを見出した。すなわち、まず、Santa Barbara 港地点を通過する沿岸漂砂フラックスは  $320 \times 10^3$  (cu yards/yr) であることを示した。隣接する下手側のサブ漂砂セルでは、砂浜侵食が生じており、流入河川も存在する (Ventura 川)。それらによる土砂供給を考慮すると、Ventura 港地点を通過する沿岸漂砂フラックスは、 $600 \times 10^3$  (cu yards/yr) となる。この推定値は、Ventura 港における維持浚渫実績と概ね整合する。隣接のサブ漂砂セルには Santa Clara 川が流入しているため、下手側に向けて沿岸漂砂量がさらに増大することが予想される。実際、Channel Islands 港と Port Hueneme 港を合わせたサンドバイパス量は、年間  $1000 \times 10^3$  (cu yards/yr) に達する。そのほぼ全量が下手側に存在する Mugu 海底谷に流出している (Patsch and Griggs, 2008)。

南 California では砂浜はきわめて重要な観光資源であり、地域経済への貢献も大きい。したがって、沿岸漂砂は貴重な資源であり、その保全策が注目を集める背景はよく理解できる。たとえば、海底谷の手前に漂砂をトラップする仕掛けをつくり、サンドバイパス (あるいはサンドリサイクル) に資するような構想である。その妥当性については、綿密な環境アセスメントが前提になることは論をまたない。

#### 4.3 陸棚における洪水堆積層の形成

変動帯においては、山地が海に迫っており河口デルタの発達はほとんどみられない。したがって、洪水時には大量の土砂が直接、海域に流入する。近年、北 California の Eel 流域を観測フィールドとして、陸棚における洪水堆積層の形成機構が明らかになっ

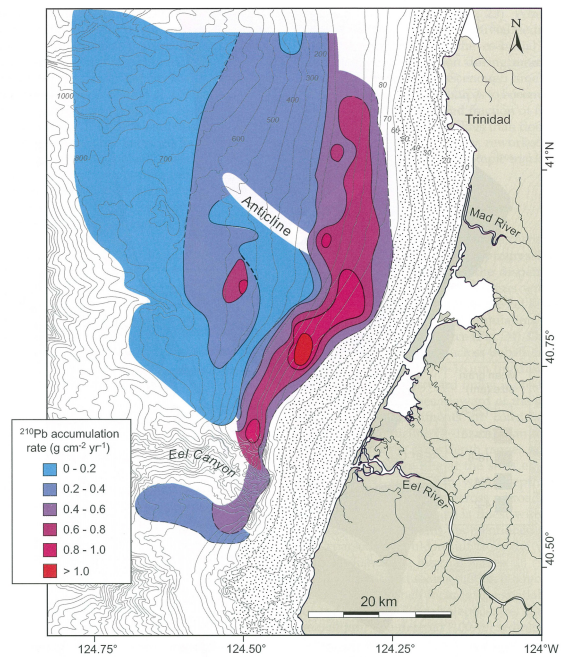


Fig. 26 Rates of sedimentation on Eel Shelf obtained in terms of  $^{210}\text{Pb}$  activity (Sommerfield et al., 2007)

てきた (Nittrouer, C.A. et al., 2007ed)。1995年と1997年の Eel 河の洪水イベントの直後に一連の調査が行われた。その結果、水深70m前後の中部陸棚に、泥を主体とする洪水イベント堆積物が広範囲に分布していることが突きとめられた。堆積物の年代を決定するために、 $^7\text{Be}$  (半減期53.3日)、 $^{210}\text{Pb}$  (半減期22.3yr)、 $^{137}\text{Cs}$  (半減期30.1yr) 等の放射性核種を利用した地質年代測定法が適用された。

ここでは、Eel 流域の最近100年オーダの土砂収支に関する研究成果を紹介する (Sommerfield et al., 2007)。 $^{210}\text{Pb}$ 法に基づく海域での平均堆積速度の分布を Fig. 26 に示す。Eel 海域への陸からの主たる土砂供給は、Eel 河 (流域面積=8638km<sup>2</sup>) と Mad 河 (流域面積=1256km<sup>2</sup>) の洪水流出による。Eel 河からの浮遊運搬土砂フラックスは、 $16.5 \times 10^6$  tons/yr、Mad 河からは  $2.5 \times 10^6$  tons/year と見積もられている。両河川からの浮遊運搬土砂フラックスの和を M と表記すると、 $^{210}\text{Pb}$ 法等の適用により推定された海域における土砂堆積量 (年間当たり) は次のようになる：

- 内側陸棚 (水深20m~50m) への堆積量：0.1M
- 中間および外側陸棚 (水深50m~150m) への堆積量：0.2M
- Eel 海底谷の谷頭付近への堆積量：0.12M
- 残りは不明。

砂浜海岸環境の保全の観点からは、以下のような成果 (および課題) が興味深い。

- (a) 外浜に繋がる波浪環境の厳しい内側陸棚にも泥主体の洪水堆積物が保存されること

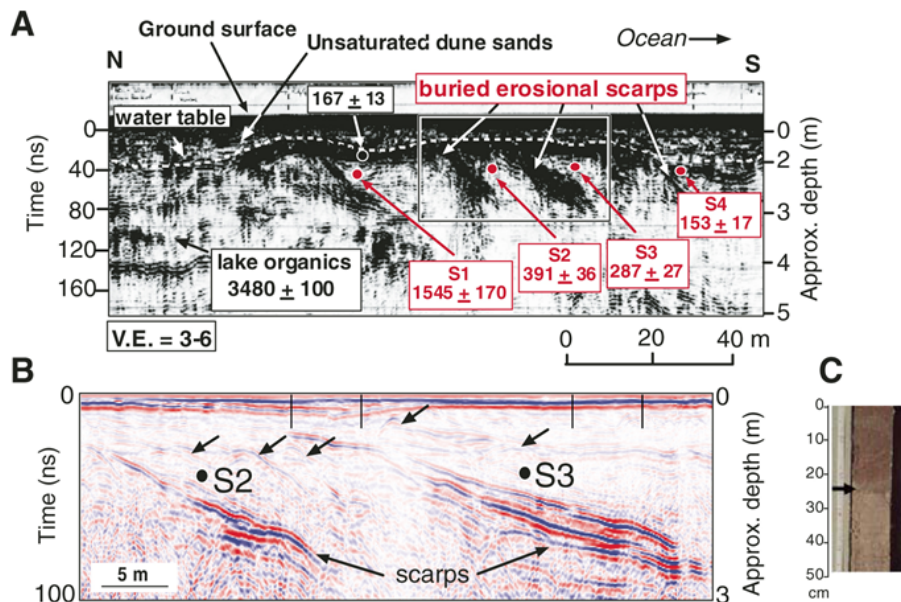


Fig. 27 Cross-shore imagery of ground-penetrating radar capturing buried erosional scarps (Buynevich et al., 2007)

(b)Eel海域の陸棚の幅は相対的に狭く、陸棚にとどまる洪水堆積物は、全洪水土砂流出量の30%程度と、他の縁海域（アメリカ西海岸）に比べて小さい。

(c)中部陸棚から外側陸棚にかけて分布する洪水堆積物は、河口付近で洪水プルームからいったん沈降した堆積物が、波浪作用を受けて密度成層(fluid mud)を形成し、重力流として海底面近傍を流動することにより形成された可能性が高い(Scully et al., 2002)。

#### 4.4 埋没浜崖に着目した暴風浪環境の復原

砂浜海岸の中長期マネジメントには、暴風浪イベントの影響を適切に評価する必要がある。そのためには、暴風浪の規模と来襲頻度に関する客観的な情報が基礎資料として重要になる。

Buynevich et al. (2007)は、前進性の砂浜海岸では、暴風浪による侵食によって過去に形成された浜崖(Scarp)が砂浜内に埋没、保存されていることを地中レーダ探査により明らかにした。汀線に直交する地中レーダ画像をFig. 27に示す。調査が行われたのは、アメリカ東海岸のMaine湾に面するHunnewell浜である。ここでは、1978年暴風浪(‘Nor’easter’)によって形成された浜崖地形を今も目にすることができる(Buynevich et al., 2004)。砂浜探査には可搬式地中レーダ(送信周波数: 120MHz; 最大探査深度: 15m; 空間分解能: 0.2m-0.7m)が用いられた。Fig. 27(A)を参照すると、4つの埋没浜崖(S1~S4)の存在が明らかである。当砂浜海岸域では重鉍物(garnet等)の含有量が高く、浜崖部分には重鉍物が濃集しているた

め、レーダ画像のコントラストが強調され、埋没浜崖の同定を容易ならしめた(Buynevich et al., 2004)。

特筆されるのは、埋没浜崖の直上から砂試料を注意深く採取し、石英粒子に着目した光励起ルミネセンス法(optically stimulated luminescence, OSL)を適用することにより、各埋没浜崖の形成時期を推定したことである。すなわち、浜崖S1形成は現在より1545年前、浜崖S2形成は現在より391年前、浜崖S3は現在より287年前、浜崖S4形成は現在より153年前と同定された。

ルミネセンス年代測定法は、石英や長石が微弱な自然放射法や宇宙線を浴びて捕獲電子を蓄積していく特性に着目している(塚本・岩田, 2005)。したがって、その適用に当たっては、試料の石英(または長石)が最後にいつ太陽光への露光(ブリーチ)を経験したかが重要なポイントになる。暴風浪により浜崖が形成される場合には、砂(試料の石英)が地表に露出し完全にブリーチしたとみてよい。イベント後、砂浜には沿岸漂砂等による砂の供給が起こり、試料の石英は十分厚く被覆される。その状態がOSL計測時点まで持続している前提のもとに、イベント後の年数に応じた蓄積線量を期待できる(蓄積線量を年間線量で除することによりイベント時から現在までの経過時間が求められる)。

さて、Buynevichら(2007)は大目標として、埋没浜崖の形成履歴に関する情報を活用して北大西洋における暴風浪環境(storminess)や広域の気候変動(北大西洋振動(North Atlantic Oscillation))との関わりを調べようとしている。極端現象の統計解析に資するアプローチといえよう。

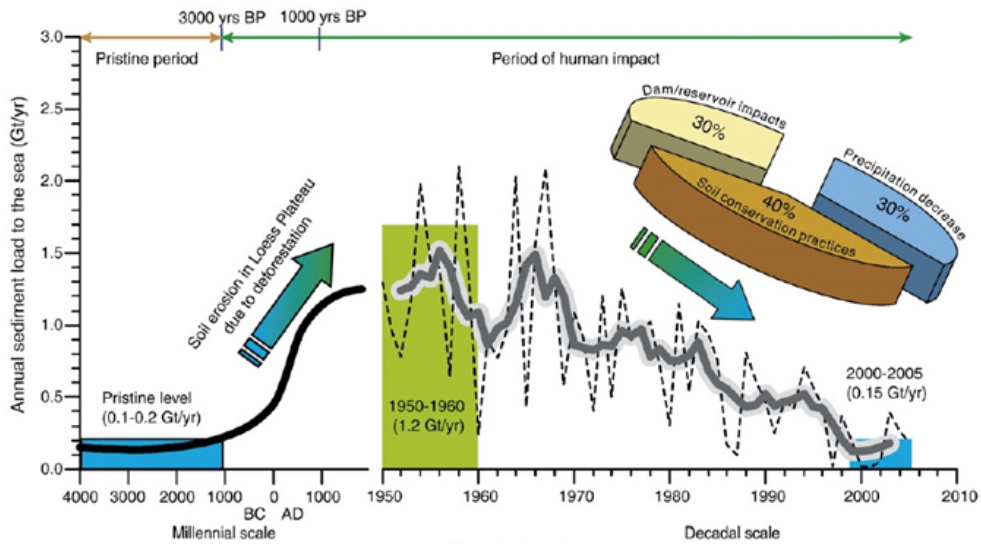


Fig. 28 Evolution of annual sediment discharge of the Huanghe to the sea (Wang et al., 2007)

#### 4.5 流域環境の変遷にともなう土砂流出の変化：黄河流域を例にして

黄河は土砂含有量の多い大河として世界的に有名である（流路延長は5464km, 流域面積は750x10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>を超える）。しかし、近年における黄河流域の変遷は著しく、年平均土砂流出量は劇的な減少を示している（Fig. 28; Wang et al., 2007）。ここに土砂流出量は、黄河の流量観測所の中、最も下流に当たるLijin流量観測所での計測値によっている。

Fig. 28を参照すると、1950年当時の年平均土砂流出量は1.2×10<sup>9</sup>tons/yrに達している。人為的な影響が無視できる原始時代（紀元前4千年～2千年）の年平均土砂流出量はその1/10～1/6である。農耕等の発達にともない黄土高原の森林荒廃が進行し、黄土の侵食による土砂生産が急増したためと考えられる（Wang et al, 2007）。1950年以降の年平均土砂流出の経年変化を仔細に見ると、1960年代半ばから一貫して土砂流出が減少し、2005年時点には1.5×10<sup>8</sup> tons/yrのレベルにまで減少している。このような顕著な土砂流出フラックスの減少をもたらした要因として、Wangらは以下の三要因を指摘している。

- ・ 土壌保全の効果
- ・ ダム貯水池堆砂/水利用の変化
- ・ 気候変動（降雨量の減少）

1950年から2005年の水準までの土砂流出減少割合を100%と表示すると、その中、30%は気候変動（降雨量の減少）の影響であり、残り70%が人為的な要因による。土壌保全による効用は、土砂流出減少割合にして30%に達する。ダムの貯水池堆砂による土砂流出減少割合は約20%である。しかし、貯水池操

作や水利用形態の変化の結果、土砂流出が間接的に約10%、抑制されたと報告されている。

Wangらは、海域への土砂流出は将来とも減少傾向が続くと予想している。渤海（Bohai Sea）沿岸域にメガデルタを形成してきた黄河の沖積作用が急減する中、どのように沿岸環境が変容していくのか、国際的にも多大な関心が寄せられている。

#### 5. 海岸侵食研究の潮流

日本列島において海岸侵食が全国的な課題になってきたのは、1950年代以降である(岩垣, 1954; 1966; Horikawa, 2000)。新潟海岸の大規模侵食に関する調査報告書（新潟県海岸対策委員会, 1951）によると、問題解決のために国内専門家の英知を結集しているのみならず、米国研究者との交流を通じて、当時最新の海岸工学や海洋学の知見を積極的に吸収している様子がうかがえる。ちなみに、第1回国際海岸工学会議(1st ICCE)は1950年に米国 Long Beachで開催された。

爾来、海岸侵食は海岸工学(Coastal Engineering)の中核テーマの地歩を占めているとあって過言ではない(Kraus, N.C., 1996 ed.)。海岸侵食の物理過程に深く関わる海岸波浪場、漂砂過程、海浜変形等に関する理解が飛躍的に深まり、膨大な論文や成書が発表されている（たとえば、Komar and Inman, 1970; Horikawa, 1988; Fredsoe and Deigaard, 1992; Komar, 1998; Friend and Amos, 2007; Neumeier et al., 2008; Warner et al., 2008; 榎木, 1982; 土木学会海岸工学委員会, 1994; 佐藤, 1996; 宇多, 1997; 栗山, 2006; 間瀬ら, 2008）。

海岸の侵食制御や侵食対策への適用を図るために、多彩な海岸保全構造物（突堤，離岸堤，人工リーフ，汀線消波堤，傾斜堤等）の開発や設計法の提案がなされ，実務に供されてきた（たとえば，Bruun, 1972; Silvester and Hsu, 1993; Dean and Dalrymple, 2002; 土屋, 1987; 豊島, 1990; 鳥居・山本, 2003; 宇多, 2004）。

日本では海岸保全構造物は一般に公共財であり，海岸保全事業を実施するには法制度の裏付けが必要になる。1956年に，海岸防護を目的とする海岸法が制定された。1999年には，社会の多様なニーズに応えるべく，海岸防護に加えて海岸環境の保全および海岸利用の促進との調和を謳う改正海岸法が施行された。その経緯については，「海岸—50年のあゆみ(国土交通省河川局海岸室, 2008)」に詳しい。

従来，日本では海岸侵食対策は海岸保全構造物の設置を主とすることが多かったのに対して，欧米では養浜やサンド・バイパスのような“ソフトな対策(non-structural measures)”が活用されてきた(山下ら, 1997; 成瀬・大岡, 2000)。大規模な海岸における侵食対策を海岸保全構造物の設置によって行うことには，種々の制約がともなう(Bruun, 1972)。漂砂セルの土砂収支を満足させる養浜やサンド・バイパスは，自然環境へのインパクトを最小化し得る解決策といえよう。流砂系の総合土砂管理の考え方も整合する方策である(磯部, 1998; 高橋, 2002; 佐藤ら, 2004)。

しかし養浜砂を持続的に確保することは，地域によっては必ずしも容易ではない。在来の海岸生態環境と適合する粒度の実現(Mustain et al., 2007)や，暴風浪イベント時の漂砂・海浜変形特性の把握(西湘海岸保全対策検討委員会, 2008)等，本質的な課題も残されている。

流域の環境すなわち流砂漂砂環境は，100年～1000年オーダーで顕著に変化してきた(たとえば，貞方, 1996; 井上ら, 2004; 佐藤ら, 2004; 斎藤, 2007; Wang et al., 2007)。近世以降では産業革命の影響が大ききように思われる。変容をとげてきた流砂漂砂環境のもと，長期の砂浜マネジメントや河川(貯水池堆砂)からの土砂還元を目標をどのように設定するのか？自然観ともいべきphilosophyが求められよう(河田, 1996; 1998)。

「沿岸域の砂や泥はどこから来てどこに行くのか？」かつては夢のような問かけであった。しかし，最近では，沿岸地形学，音響層序学，地質年代学等の進歩により，外浜と陸棚環境を繋ぐ堆積物輸送過程と堆積作用の研究が活発になっている。(たとえば，池原ら, 2006; Carter et al., 2010; Milligan and Cattaneo, 2007; Mimura, 2008; Nittrouer, 2007; Syvitski, 2008; Syvitski and Milliman, 2007; Tamura, T. et al.

2008; Wang et al., 2007)。

## 6. まとめ

- 1) 海岸侵食は地形変化の様式である。関与する領域(漂砂セル)の堆積物収支に着目することにより，流砂漂砂系の連関の重要性を再認識できる。
- 2) 第2章は，流砂漂砂系の具体的なイメージづくりを目指したものである。2.5節では，日本の代表的な流砂漂砂系モデルの一つとして，大井川—駿河海岸系をとりあげた。
- 3) 複雑流体アプローチと題する章(第3章)を設けた背景は，次のとおりである。力学的基礎としての堆積物の振舞い(漂砂)と地形変化(海浜変形)のモデル化については，とくに海岸工学分野において広範に研究されてきた(第5章参照)。しかし，砂浜や海底を構成する砂礫は粒状物質の集合体であり，環境流体(水あるいは空気)との境界面は，本質的に“loose boundary”となる。移動境界と相変化をとまなうために，その記述は依然challengingである。
- 4) 現実の流砂漂砂系は，多様な地形環境によって特徴づけられる。言い換えると，地域性を有する。そこで，地形環境アプローチと題する章(第4章)を設け，概念モデルとしての漂砂セルの主要地形要素の働きに(課題を含めて)，焦点を当てることを試みた。
- 5) 第5章は海岸侵食研究のレビューである。海岸侵食制御や海岸侵食対策の技術論については，本稿ではほとんどふれていない。それを補う方策として，海岸侵食の顕在化の時期から総合土砂管理の考え方に至る，大きな研究の流れを第5章でたどることができるように心がけた。
- 6) 本稿では総体として，流砂漂砂環境の成り立ちと変遷に関する知識を立体的に深めるための方向(素材提供)を模索した。「砂浜の来し方に学び将来のあり方を洞察する」ことは，決して迂遠・発散の途ではなく，課題の共通理解の醸成に繋がるように思われる。

## 謝辞

本稿を結ぶにあたり，平成21年度研究発表講演会における特別講演の機会を与えていただきました京都大学防災研究所の関係各位に深甚なる感謝の意を表します。海岸侵食研究展望の動機づけを与えていただきました流域災害研究センターの皆様にも深く感謝いたします。本稿は，同センター主催国際シンポジウム招待論文(Sekiguchi, Azuma and Yamaguchi,

2010)の内容を、その後、増補・再構成したものです。ご協力いただいた東 良慶、山口直文両博士に感謝いたします。

## 参考文献

- 東 良慶・関口秀雄・蔡曙伍・渡邊康司 (2009) : 漂砂系土砂収支の把握に向けた浅海域高解像度海底地形計測の試み, 海岸工学論文集, 第 56 巻, 1431-1435.
- 東 良慶・関口秀雄・山口直文 (2010) : 砂浜-砂丘系における漂砂環境の連関を読み解く試み. 海岸工学論文集, 第 57 巻 (印刷中).
- 土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会 (1994) : 海岸波動: 波・構造物・地盤の相互作用の解析法. 土木学会.
- 藤田光一・富田陽子・大沼克弘・小路剛志・伊藤嘉奈子・山原康嗣 (2008) : 日本におけるダムと下流河川の物理機構との関係についての整理・分析, 国土技術政策総合研究所資料, 第 445 号, 58pp.
- 後藤仁志 (2004) : 数値流砂水理学, 森北出版.
- 池原 研・片山 肇・嵯峨山 積・菅 和哉・辻野匠・入野 智久・大村亜希子 (2006) : 2003 年北海道日高洪水堆積物の海域における堆積様式. 月刊地球, Vol. 28, No. , 512-517.
- 井上卓彦・半田明徳・原口 強・五十嵐厚夫・井内美郎 (2004) : 堆積物分布からみた日野川・皆生海岸流砂系における過去 400 年間の環境変遷, 海岸工学論文集, 第 51 巻, 586-590.
- 磯部雅彦 (1998) : ミティゲーションの調査分析と沿岸域環境管理の枠組みの提案. 海岸工学論文集, 第 45 巻, 1236-1240.
- 岩垣雄一 (1954) : 汀線浸食, 第 1 回海岸工学研究発表会論文集, 69-80.
- 岩垣雄一 (1966) : 海岸侵食論, 水工学に関する夏期研修会講義集, 土木学会, B-17, 1-16.
- 河田恵昭 (1996) : 自然観と海岸侵食, 水工学に関する夏期研修会講義集, 土木学会, B-2, , 1-15.
- 河田恵昭 (1998) : 序章 漂砂環境. In: 漂砂環境の創造に向けて, 土木学会, 3-13.
- 国土交通省 (2003) : 中期的な展望に立った新しい海岸保全の進め方報告書.
- 国土交通省河川局海岸室(2008 監修) : 「海岸の将来像」の実現に向けて. In: 海岸 50 年のあゆみ. 全国海岸協会, 436-443.
- 国土交通省 (2009) : 河川整備基本方針・河川整備計画, 一級水系の河川整備基本方針策定状況, 大井川水系, 土砂管理等に関する資料(PDF).  
[http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/index.html/](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/index.html/)
- 栗山善昭(2006): 海浜変形, 技報堂出版.
- 間瀬 肇・安田誠宏・Tracey H. Tom・辻尾大樹 (2008) : 富山湾沿岸に災害をもたらした 2008 年 2 月冬季風浪の予測と追算シミュレーション, 海岸工学論文集, 55 巻, 156-160.
- 守利悟郎・椎葉充晴・堀 智晴・市川 温 (2003) : 流域規模での水・土砂動態のモデル化及び実流域への適用, 水工学論文集, 第 47 巻, 733-738.
- 成瀬 進・大岡秀哉 (2000) : 海岸管理の国際比較に関する研究. 海岸工学論文集, 第 47 巻, 1251-1255.
- 新潟県海岸対策委員会 (1951) : 新潟県海岸対策委員会報告書, 第 1 輯.
- 西川友幸・高橋正行・加藤善明・中戸真一・高木利光・浅野 剛・犬飼拓志 (2006) : 粒径を考慮した大井川河口域土砂移動機構の研究, 海岸工学論文集, 第 53 巻, 596-600.
- 小田隆則 (2003) : 海岸林をつくった人々—白砂青松の誕生, 北斗出版.
- 貞方 昇 (1996) : 中国地方における鉄穴流しによる地形環境変貌, 溪水社.
- 斎藤文紀 (2007) : アジアのメガデルタ: 完新世における成立と近年の崩壊. 地形, 第 28 巻, 第 4 号, 331-347.
- 佐々真志・関口秀雄 (2009) : LIQSEDFLOW: 水中堆積物重力流れに果たす二相系物理の役割, 海岸工学論文集, 第 56 巻, 536-540.
- 佐藤慎司 (1996) : 現地海岸における波・流れと漂砂機構, 水工学に関する夏期研修会講義集, B-04, 1-19.
- 佐藤慎司・宇多高明・岡安徹也・芹澤真澄 (2004) : 天竜川—遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討, 海岸工学論文集, 第 51 巻, 571-574.
- 榎木 亨 (1982) : 漂砂と海岸侵食, 森北出版.
- 西湘海岸保全対策検討委員会(2008): 第 2 回委員会資料, 1-18 (WEB 公開).
- 関口秀雄 (2001) : 沿岸・海底マスマーブメント. In: 防災学ハンドブック, 朝倉書店, 224-230..
- 関口秀雄 (2007) : 広域の地盤沈下. In: 地盤環境工学ハンドブック, 248-258.



- 関口秀雄・東良慶・クリヨ サンボド (2007) : 養砂浜海岸域における不圧地下水の動態観測とその意義. 海岸工学論文集, 土木学会, 第 54 卷, 721-725.
- 高橋 保 (2002) : 局所的土砂管理から流砂系の総合土砂管理へ. 河川. No. 671, 6-11.
- 高橋 保 (2004) : 土石流を分類することの力学的意義. In: 土石流の機構と対策, 近未来社, 36-41.
- 田島芳満・佐藤慎司・吉井拓也・細川順一・山田浩次・石川仁憲・三波俊郎 (2008) : 西湘海岸における 2007 年台風 9 号による被害の集中機構, 海岸工学論文集, 第 55 卷, 1386-1390.
- 田中茂信・小荒井 衛・深沢 満 (1993) : 地形図の比較による全国の海岸線変化, 海岸工学論文集, 第 40 卷, 416-420.
- 鳥居謙一・山本幸次 (2003) : 海岸侵食対策の動向, 土木技術, Vol. 58, No. 3, 76-86.
- 豊島 修論文集 (1990) : 実務者のための海岸工学 (建設省河川局海岸課監修), 山海堂.
- 土屋義人 (1987) : 海岸侵食の制御, 土木学会論文集, 第 387 号, II-8, 11-23.
- 塚本すみ子・岩田修二 (2005) : ルミネッセンス年代測定法の最近の進歩—適用年代の拡大と石英の OSL 成分について. 地質学雑誌, 第 111 卷, 第 11 号, 643-653.
- 宇多高明 (1997) : 日本の海岸侵食, 山海堂.
- 宇多高明 (2004) : 海岸侵食の実態と解決策, 山海堂.
- 山下隆男・土屋義人・D.R. Basco・M. Larson (1997) : 日, 米, 欧の海岸保全の相互評価(1): 侵食要因と対策. 海岸工学論文集, 第 44 卷, 691-695.
- 吉永佑一・原口 強・関口秀雄・鳥居和樹・東 良慶 (2009) : 内湾海底谷の堆積環境と津波洗掘リスク—和歌山県内之浦を例に, 海岸工学論文集, 第 56 卷, 746-750.
- Allen, P.A. (1997): Sediment routing systems. In: Earth Surface Processes, Blackwell Science, 114-128.
- Amiruddin, Sekiguchi, H. and Sassa, S. (2006): Subaqueous sediment gravity flows undergoing progressive solidification. Norwegian Journal of Geology, 86(3), 285-293.
- Bruun, P. (1972): The history and philosophy of coastal protection, Proc. 13th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, 33-74.
- Buynevich, I.V., FitzGerald, D.M. and Goble, R.J., (2007): A 1500 yr record of North Atlantic storm activity based on optically dated relict beach scarps. Geology, Vol. 35, No. 6, 543-546.
- Buynevich, I.V., FitzGerald, D.M. and van Heteren, S. (2004): Sedimentary records of intense storms in Holocene barrier sequences, Maine, USA. Marine Geology, Vol. 210, 135-148.
- Camenen, B. and Larson, M. (2005): A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 63, 249-260.
- Carter, L., Orpin, A. R. and Kuehl, S.A. (2010eds): From Mountain Source to Ocean Sink—the Passage of Sediment across an Active Margin, Waipaoa Sedimentary System, New Zealand. Marine Geology, Vol. 270, Special Issue.
- Chapman, D.M. (1981): Coastal erosion and the sediment budget, with special reference to the Gold Coast, Australia. Coastal Engineering, Vol. 4, 207-227.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. (2002): Coastal processes with Engineering Applications. Cambridge University Press.
- Donnelly, C., Kraus, N. and Larson, M. (2006): State of knowledge on measurement and modeling of coastal overwash. J. Coastal Res., Vol. 22, No. 4, 965-991.
- Fredsoe, J. and Deigaard, R. (1992): Mechanics of Coastal Sediment Transport. World Scientific.
- Friend, P.L. and Amos, C.L. (2007): Natural coastal mechanisms—flume and field experiments on links between biology, sediments and flow. Continental Shelf Research, Vol. 27, Preface for Special Issue, 1017-1019.
- Hanes, D.M. (2009): Recent technologies usher in new era of coastal geomorphology research, EOS, 90, 23, 9 June 2009, p. 198.
- Hill, et al. (2007): Sediment delivery to the seabed on continental margins. In: Continental Margin Sedimentation (Nittrouer, C.A. et al. eds), 49-99.
- Horikawa, K. (1988ed): Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo Press, 167-169.
- Horikawa, K. (2000): History of coastal engineering in Japan. In: Advances in Coastal and Ocean Engineering (Liu, P. L.-F., 2000ed), World Scientific, 1-56.
- Inman D.L. and Nordstrom, C.E. (1971): On the tectonic and morphologic classification of coasts. The Journal of Geology, Vol. 79, 1-21.
- Jaeger, H.M., Nagel, S. R. and Behringer, R.P. (1996): The physics of granular materials. Physics Today, April, 32-38.
- Kobayashi, N. and Farhadzadeh, A. (2009): Dune erosion and overwash. Proc. Int. Conf. Coastal Dynamics 2009, Tokyo, CD-ROM, Paper No. 64, 9pp.
- Komar, P.D. (1998): Beach Processes and Sedimentation,

- Second Edition, Prentice-Hall, Inc.
- Komar, P.D. and Inman, D.L., (1970): Longshore sand transport on beaches. *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, No. 30, 5914-5927.
- Kondolf, G.M., Montgomery, D.R., Piegay, H. and Schmitt, L. (2003): Geomorphic classification of rivers and streams. In: *Tools in Fluvial Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, 171-204.
- Kraus, N.C. (1996ed): *History and Heritage of Coastal Engineering*, ASCE, 603pp.
- Lowe, D. R. (1975): Water escape structures in coarse-grained sediments, *Sedimentology*, 22, 157-204.
- Milligan, T.G. and Cattaneo, A. (2007): Sediment Dynamics in the Western Adriatic Sea: From Transport to Stratigraphy. *Continental Shelf Research*, Vol. 27, Special Issue.
- Mimura, N. (2008ed): *Asia-Pacific Coasts and Their Management: States of Environment*. Springer.
- Miyamoto, J., Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2004): Progressive solidification of a liquefied sand layer during continued wave loading. *Geotechnique*, 54(10), 617-629.
- Morton, R.A. (2003): An overview of coastal land loss with emphasis on the Southeastern United States. USGS Open File Report 03-337, 29pp.
- Mustain, N., Griggs, G. and Barnard, P. (2007): A rapid compatibility analysis of potential offshore sand sources for beaches of the Santa Barbara littoral cell. *Coastal Sediments'07*, ASCE, 14pp.
- Neumeier, U., Ferrarin, C., Amos, C.L., Umgieser, G. and Li, M.Z. (2008): Sedtrans05: An improved sediment-transport model for continental shelves and coastal waters with a new algorithm for cohesive sediments. *Computers & Geosciences*, Vol. 34, 1223-1242.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J. E., McLean, R.F., Ragoonaden, S. and Woodroffe, C.D. (2007): Coastal systems and low-lying areas. In: *Climate Change 2007* (Parry et al., eds), Cambridge University Press, 315-356.
- Nielsen, P., (2009): *Coastal and Estuarine Processes*, World Scientific.
- Nittrouer, C.A., Austin, J.A., Field, M.E., Kravitz, J. H., Syvitski, J.P.M. and Wiberg, P.L. (2007 eds): *Continental Margin Sedimentation*, Blackwell Publishing.
- Parsons, J.D. et al. (2007): The mechanics of marine sediment gravity flows. In: *Continental Margin Sedimentation* (Nittrouer, C.A. et al. eds.), Blackwell Publishing, 275-337.
- Patsch, K. and Griggs, G. (2008): A sand budget for the Santa Barbara littoral cell. *Marine Geology*, Vol. 252, 50-61.
- Putnam, J.A., Munk, W.H. and Traylor, M.A. (1949): The prediction of longshore currents. *Trans. American Geophys. Union*, Vol. 30, 337-345.
- Richardson, J.F. and Zaki, W.N. (1954): Sedimentation and fluidization: Part 1. *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 32, 35-53.
- Saito, Y., Chaimanee, N., Jarupongakul, T. and Syvitski, J.P.M. (2007): Shrinking megadeltas in Asia: Sea-level rise and sediment reduction impacts from case study of the Chao Phraya Delta. *LOICZ INPRINT*, No. 200/2, 3-9.
- Scully, M.E., Friedrichs, C. T. and Wright, L. D. (2002): Application of an analytical model of critically stratified gravity-driven sediment transport and deposition to observations from the Eel River continental shelf, Northern California. *Continental Shelf Research*, Vol. 22, 1951-1974.
- Seibold and Berger, W.H. (1993): *The Sea Floor*, Second Edition, Springer Verlag, 97.
- Sekiguchi, H., Azuma, R. and Yamaguchi, N. (2010): Coastal erosion – a suite of multi-scaled processes. *Proc. Int. Symp. on Water and Sediment Disasters in East Asia*, Kyoto, 1-23.
- Siever, R. 著・立石雅昭訳 (1995) : 砂の科学, 東京化学同人, 241pp.
- Silvester, R. and Hsu, J.R.C. (1993): *Coastal Stabilization: Innovative Concepts*. P T R Prentice Hall, Inc.
- Sommerfield, C.K. et al. (2007): Oceanic dispersal and accumulation of river sediment. In: *Continental Margin Sedimentation* (Nittrouer, C.A. et al. eds.), Blackwell Publishing, 157-212.
- Sunamura, T. (1973): Coastal cliff erosion due to waves-Field investigations and laboratory experiments, *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo (B)*, Vol. 32, No. 1, 1-86.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1977): Sediment budget in Kujukuri coastal area, Japan. *Coastal Sediments'77*, ASCE, 475-487.
- Suzuki, N. (2000): State of the art of reservoir sedimentation management in Japan, *Proc. Int. Workshop and Symp. on Reservoir Sedimentation Management*, Toyama, 1-17.
- Syvitski, J.P.M. (2008a): Deltas at risk. *Sustainability Science*, Vol. 3, 23-32.

- Syvitski, J.P.M. (2008b): Predictive modeling in sediment transport and stratigraphy, Guest editorial. *Computers & Geosciences*, Vol. 34, 1167-1169.
- Syvitski, J.P.M. and Milliman, J.D. (2007): Geology, geography, and humans battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean. *The Journal of Geology*, Vol. 115, 1-19.
- Tamura, T., Saito, Y. and Masuda, F. (2008): Variations in depositional architecture of Holocene modern prograding shorefaces along the Pacific Coast of Eastern Japan. In: *SEPM Special Publication No. 90*, 189-203.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996): *Soil Mechanics in Engineering practice*, Third Edition, John Wiley&Sons, Inc., 84-86.
- Van der Werf, J.J., Ribberkink, J.S., O'Donoghue, T. and Doucette, J.S. (2006): Modelling and measurements of sand transport processes over full-scale ripples in oscillatory flow. *Coastal Engineering*, Vol. 53, 657-673.
- Van der Werf, J.J., Magar, V., Malarkey, J., Guizien, K. and O'Donoghue, T. (2008): 2DV modeling of sediment transport processes over full-scale ripples in regular asymmetric oscillatory flow. *Continental Shelf Research*, Vol. 28, 1040-1056.
- Wang, H.J., Yang, Z.S., Saito, Y., Liu, J.P., Sun, X.X. and Wang, Y. (2007): Stepwise decrease of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climate change and human activities. *Global and Planetary Change*, Vol. 57, 331-354.
- Warner, J.C., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Harris, C.H. and Arango, H.G. (2008): Development of a three-dimensional regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. *Computers & Geosciences*, Vol. 34, 1284-1306.
- Yamaguchi, N. and Sekiguchi, H. (2010): Effect of velocity hiatuses in oscillatory flow on migration and geometry of ripples: wave-flume experiments. *Sedimentology*, Vol. 57, 720-733.
- Yeh, H. and Li, W. (2008): Tsunami scour and sedimentation, *Proc. 4th Int. Conf. Scour and Erosion (ICSE-4)*, Tokyo, 95-106.

## **Complex Fluid-Sediment Interactions in Coastal Systems: An Overview**

Hideo SEKIGUCHI

### **Synopsis**

The rather provocative title of this article arises from an invited lecture by the author which took place in February 2010 at the Disaster Prevention Research Institute, marking his retirement from Kyoto University as Professor of Coastal Sedimentary Environment. One of the issues raised by him was: "Why is the science of coastal erosion so elusive?" This overview starts with a description of the features of particulate sediment; this very fact alone implies the complex yet intriguing facets of sediment-transport processes and ensuing beach erosion. The review also highlights the multi-scaled nature of the beach morphological evolution subject to episodic storm events. The related and other case studies of coastal erosion lead to the perception that the erosion of sandy beaches is a consequence of the imbalance in sediment budget of the littoral cell concerned, warranting further concerted analyses of the sediment processes in the watershed-to-coast continuum.

**Keywords:** beach erosion, beach profile change, littoral cell, sea-cliff erosion, sediment budget, sediment routing system, sediment transport





川崎 一 朗 名 誉 教 授



## 川 崎 一 朗 教 授 略 歴

### (学歴・職歴)

昭和	21年	12月	17日	大阪市城東区に生まれる
	40年	3月		私立灘高校卒業
	40年	4月		東京大学 教養学部入学
	45年	3月		東京大学 理学部 地球物理学科卒業
	48年	3月		東京大学 理学研究科 地球物理学専攻 修士課程修了
	51年	3月		東京大学 理学研究科 地球物理学専攻 博士課程修了学位取得
	53年	4月		富山大学 理学部 地球科学科 助教授
	54年	8月		マサチューセッツ工科大学 地球惑星科学学部 客員研究員 (昭和55年8月まで)
	59年	9月		コロラド大学 環境科学共同研究所 客員研究員 (昭和60年8月まで)
平成	5年	4月		富山大学 理学部 地球科学科 教授
	14年	2月		京都大学 防災研究所 地震予知研究センター 教授
	15年	6月		京都大学学術出版会理事 (平成22年3月まで)
	17年	4月		防災研究所副所長 (平成19年3月まで)
	19年	4月		防災研究所附属地震予知研究センター長 (平成21年3月まで)

### (学会・委員会・学術振興活動等歴)

昭和	61年	4月		日本地震学会評議員 (昭和63年3月まで)
平成	元年	4月		日本地震学会評議員 (平成3年3月まで)
	元年	4月		日本地震学会幹事 (平成2年3月まで)
	元年	4月		日本地震学会「地震」編集委員長 (平成2年3月まで)
	2年	4月		日本地震学会「地震」編集委員 (平成3年3月まで)
	2年	4月		Journal of Physics of the Earth 編集委員 (平成11年3月まで)
	4年	4月		日本地震学会評議員 (平成6年3月まで)
	7年	4月		日本地震学会評議員 (平成9年3月まで)
	8年	4月		日本地震学会海外渡航助成金審査委員会委員 (平成11年3月まで)
	10年	4月		日本地震学会評議員 (平成12年3月まで)
	10年	4月		国土地理院研究評価委員会委員 (平成12年3月まで)
	12年	4月		日本学術振興会科学研究費委員会 (平成14年03月まで)
	12年	10月		日本地震学会代議員
	13年	4月		日本測地学会評議員 (平成15年3月まで)
	14年	4月		東京大学地震研究所地震予知研究協議会計画推進部会委員 (平成16年3月まで)
	14年	4月		地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所地殻活動研究委員会(平成18年3月まで)
	14年	5月		海洋科学技術センターリアルタイム地殻変動観測システム計画検討委員会委員(平成16年3月まで)
	14年	8月		日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (平成16年7月まで)

平成 16 年 4 月	日本地震学会理事地震予知検討委員会委員長 (平成20年3月まで)
16 年 10 月	日本測地学会代議員(平成18年3月まで)
16 年 10 月	海洋研究開発機構リアルタイム地殻変動観測システム計画検討委員会委員(平成18年3月まで)
17 年 4 月	京都大学学術出版会常任理事(平成22年3月まで)
17 年 10 月	日本地震学会若手学術奨励賞選考委員(平成19年9月)
19 年 4 月	国土地理院地震予知連絡会委員 (平成21年3月まで)
19 年 4 月	東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会委員 (平成21年3月まで)
19 年 4 月	東濃地震科学研究所深地層研究施設整備促進補助事業中間評価検討会委員 (平成20年3月まで)
19 年 10 月	日本測地学会代議員(平成21年3月まで)
21 年 10 月	兵庫県防災会議地震災害対策計画専門委員



川崎 一 朗 研 究 業 績

論 文

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1972	半無限媒質中の断層によって生じる地震波(その1)	地震2, 25, 207-217.	鈴木保典・佐藤良輔
1972	半無限媒質中の断層によって生じる地震波(その2)	地震2, 25, 333-342.	鈴木保典・佐藤良輔
1973	Seismic waves due to a shear fault in a semi-infinite medium. Part I: Point source	Journal of Physics of the Earth, 21, 251-284.	Y. Suzuki and R. Sato
1974	Rise time and effective stress estimation from comparison of near-field data with theoretical seismograms in a semi-infinite medium, the Sanriku earthquake of March 3, 1933	Journal of Physics of the Earth, 22, 223-236.	Y. Suzuki
1974	モホ不連続面で反射・屈折された地震波	地震2, 27, 372-376.	
1975	Seismic waves due to a shear fault in a semi-infinite medium. Part II: Moving source	Journal of Physics of the Earth, 23, 43-61.	Y. Suzuki and R. Sato
1975	On the dynamical process of the Parkfield earthquake of June 28, 1966	Journal of Physics of the Earth, 23, 127-144.	
1975	The focal process of the Kita-Mino earthquake of August 19, 1961, and its relationship to a quaternary fault, the Hatogayu-Koike fault	Journal of Physics of the Earth, 23, 227-250.	
1978	The near-field Love waves by the exact ray method	Journal of Physics of the Earth, 26, 211-237.	
1980	Earthquake mechanisms associated with the conjunction of the sinking plates beneath the Kanto district, central Japan	Bulletin of Earthquake Research Institute, 55, 577-600.	Maki, T., A. Horie
1981	Radiation patterns of body waves due to the seismic dislocation occurring in an anisotropic source medium	Bulletin of Seismological Society of America, 71, 37-50.	T. Tanimoto
	A method for the near-source anisotropy by the pair-event inversion of Rayleigh-wave radiation patterns	Geophysical Journal of Royal Astronomical Society, 71, 395-424.	
1983	茨城県南西部鬼怒川側におけるフィリピン海プレートとユーラシアプレートのサイスミックカップリング	地震2, 36, 531-539.	竹本浩
1983	北陸地方における地震の発生様式	月刊地球, 5, 377-383.	竹本浩
1984	Why is seismic activity low in Antarctica?	Antarctic Record, No.83, 29-36.	Tani, M.

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1984	Azimuthal anisotropy of surface waves and the possible type of the seismic anisotropy due to the preferred orientation of olivine in the uppermost mantle beneath the Pacific ocean	Journal of Physics of the Earth, 32, 229-244.	F. Kon'no
1985	日本海に発生する浅発小地震の発生機構	地震2, 38, 541-558.	山崎謙・田村尚志
	Mode of seismic moment release at transform faults	Tectonophysics, 118, 313-327.	Y. Kawahara, I. Takata and N. Kosugi
1986	Azimuthally anisotropic model of the oceanic upper mantle	Physics of the Earth and Planetary Interiors, 43, 1-21.	
1987	南関東におけるプレート間サイスミックカップリングと仮想東京直下型地震	地震2, 40, 7-18, 1987.	松田恵子
1988	地震波速度異方性からみた海洋プレートと低速度層	火山, 33, 185-201.	
1988	An anisotropic image of the oceanic upper mantle, in the proceeding of the International Workshop of Anisotropy and Inhomogeneity of Lithosphere and Asthenosphere	Physics of the Earth and Planetary Interiors, 51, 128-129.	
1989	3D particle motion trajectories: Direct observation of Love-Rayleigh coupling	Geophys. Res. Lett., 16, 1051-1054.	Tajima, F.
1989	Seismic anisotropy in the Earth, in The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, ed. D. E. James	Van Nostrand Reinhold, Penn., 994-1005.	
1989	上部マントル低速度構造の地域性とその成因	地震2, 42, 239-254.	唐戸俊一郎・大内徹
1990	跡津川一牛首断層系と長波長地形	京都大学防災研究所年報, 33, B-1, 1-10.	松原勇・川畑新一・和田博夫・三雲健
1990	Analytic waveforms for a line source in a transversely isotropic medium	Journal of Geophysical Research, 95, B6, 11,333-11,344, 1990.	Sakai, Y.
1990	Rayleigh-Love wave coupling in an azimuthally anisotropic medium	Journal of Physics of the Earth, 38, 361-390, 1990.	K. Koketsu
1991	レイリー波分散から推定される西太平洋上部マントルの密度構造	地震2, 44, 53-57.	吉田満
1991	日本列島近辺のサイレントアースクエイク検出の試み	地震2, 44, 75-83.	大嶋主悦・三上直也・堀貞喜
1992	日本列島近辺のプレート間カップリングとサイレントアースクエイクの可能性-プレート沈み込みの半即時的モニターに向けて-	月刊地球, 号外4, 106-116.	
1993	人工地震による中部日本北部の地殻構造調査 富山-上宝測線	京都大学防災研究所年報, 36, B-1, 325-338.	伊藤潔・古本宗充・磯部英雄・和田博夫・西祐司・永井直昭

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1994	地球回転とスロー・アースクエイク	月刊地球, 16, 21-25.	
1994	1992年7月18日三陸沖地震は超スロー・アースクエイクか	月刊地球, 16, 123-128.	浅井康広・田村良明・鷺谷威・岡田義充・坂田正治
1995	The 1992 Sanriku-Oki, Japan, Ultra-slow earthquake	Journal of Physics of the Earth, 43, 105-116.	Y. Asai, Y. Tamura, T. Sagiya, N. Mikami, Y. Okada, M. Sakata and M. Kasahara
1995	地球の構造とダイナミクス(その1)	地震2, 47, 403-404.	佐藤博樹・本多丁
1995	Spatio-temporal moment-tensor inversion for multiple shocks: an application to the deep 1972 Banda Sea earthquake	Physics of the Earth and Planetary Interiors, 91, 229-244.	Hirata, K.
1997	三陸沖におけるプレート間モーメント解放の時空間分布とサイスモ・ジオデティック・カップリングー 中長期予測の基礎ー	地震2, 293-307.	浅井康広・田村良明
1999	D <sup>g</sup> 層サイレント・アースクエイクの可能性	月刊地球, 242, 8, 511-515.	布野健太郎・今西祐一・舟崎淳・上垣内修
2000	A low V zone beneath the Hida mountains derived from a dense array observation and tomographic method	Earth Planet and Space, 52, 143-154.	Matsubara, M., N.Hirata, S.Sakai
2000	飛騨山脈中心部の微小地震活動	地震2, 53, 11-23.	岩岡圭美・平田直・平松良浩・渡辺了
2000	1989年12月東京湾サイレント・アースクエイクの可能性	地震2, 53, 95-99.	広瀬一聖・岡田義光・鷺谷威・田村良明
2001	Space-time distribution of interplate moment release including slow earthquakes and the seismo-geodetic coupling in the Sanriku-oki region along the Japan trench	Tectonophysics, 330, 267-283.	Y. Asai and Y. Tamura
2001	中部地方におけるGPS変位速度場の深部定常すべり断層によるモデル化と飛騨山脈の多重応力場	地震研究所彙報, 75, 135-143.	中川靖浩・石崎泰男
2001	地震発生時期の予測-モデルと東海地震への適用の試み	月刊地球, 号外33, 149-160.	岡田義光
2003	Helium isotopic ratios and geochemistry of volcanic fluid from the Norikura volcanic chain, central Japan: implications for crustal structures and seismicity	Society of Economic Geologists special publications 10, 75-89.	Kusakabe, M., M. Ohwada, H. Satake, K. Nagao
2003	歪記録に見られた地震活動に先行した潮汐定数の時間変化	測地学会誌, 49, 227-242.	廣瀬一聖・竹本修三・田村良明
2003	スロー・スリップ・イベントの地学的意義	月刊地球, 25, 75-79.	
2003	自由振動を用いたD <sup>g</sup> 層サイレント地震の検出の試み	月刊地球, 25, 541-547.	
2003	スロー・スリップ・イベントのすべり域と地震アスペリティの空間的棲み分け	月刊地球, 25, 795-802.	

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2004	Silent earthquakes occurring in a stable-unstable transition zone and implications for earthquake prediction	Earth Planet and Space, 56, 813-821.	
2004	A 100 m laser strainmeter system installed in a 1 km deep tunnel at Kamioka, Gifu, Japan	Journal of Geodynamics, 38, 477-488.	Takemoto, S, A. Araya, J. Akamatsu, W. Morii, H. Momose, M. Ohashi, T. Higashi, Y. Fukuda, S. Miyoki, T. Uchiyama, D. Tatsumi, H. Hanada, I. Naito, S. Telada, N. Ichikawa, K. Onoue, and Y. Wada
2006	An improved double-difference earthquake location algorithm using sP Phases: application to the foreshock and aftershock sequences of the 2004 earthquake offshore of the kii peninsula, Japan (Mw 7.5)	Earth, Planets and Space, 58, 823-830.	Bai, B., Zhang, T. and Ishikawa, Y.
2006	The effect of distribution of stations upon location error: Statistical tests based on the double-difference earthquake location algorithm and the bootstrap method,	Earth, Planets and Space, 58: e9-e12	Bai, L., Wu, F., Zhang, T.
2006	伸縮計記録を用いたスリヒター・モード検出の試み	月刊地球, 28, 623-631.	小巻あずみ・森井互・小久保一哉・大久保慎人・坪川恒也・今西祐一
2007	The 2004 earthquakes offshore of the Kii peninsula, Japan: Hypocentral relocation, source process and tectonic implication	Physics of Earth and Planetary Interiors, 165, 47-55.	Bai, L., E. A. Bergman, E. R. Engdahl
2007	地球物理学サイドから見た地殻変動連続観測の存在意義	測地学会誌, 53, 369-377.	

総 説

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1976	地震発生機構(震源モデル)について	気象, No. 226, 21-27.	
1978	地震とは何かー富山県における地震防災のためにー	富山県地震対策基礎調査報告書, 富山県, 2-38.	
1986	プレートテクトニクス説から見た南極	南極の科学5, 地学, 国立極地研究所編, 310-318.	
1989	40周年記念シンポジウムをふりかえって	月刊地球, 11, 1 (no. 115), 3-6, 1989.	河野芳輝・西上欽也・平野憲雄・竹内文朗・渡辺邦彦
1989	北陸・飛騨地方の地震の発生機構	月刊地球, 11, 63-75.	
1991	アセノスフェア	月刊地球, 13, 387-388.	安藤雅孝
1991	海と大陸のアセノスフェア	月刊地球, 13, 388-396.	
1991	飛騨山脈はなぜ高いのだろうか?	富山の自然と文化, 富山大学, 37-48.	
1991	国際地球物理金沢会議(1990WPGM)報告	地震工学振興会ニュース, 116, 5-6.	
1992	地震学から見た中央海嶺	月刊海洋, 24, 581-587.	
1992	「地震」	10万分の1富山県地質図説明書, 124-143.	
1995	地震発生仕組みと活断層, 金沢大学公開講座・7 阪神大震災:地震と地震防災を考える	金沢大学・大学教育開放センター, 27-38.	
1995	「サイレント・アースクエイク」が目覚めるとき	最新地震論, 学習研究社, 66-73.	
1995	地震学から見た富山の地震の可能性	とやまと自然, 18, 2-6.	
1996	飛騨山脈周辺の地殻構造と深部プロセス	月刊地球, 18, 69-71.	渡辺了
1996	立山はなぜ高いのだろうか? 郷土の文化	富山県郷土史会, 21, 8-14.	
1997	北アルプスの地震と火山, 日本火山学会公開講座「信州の火山と地震」	日本火山学会, 1-4.	
1997	新たな観測網への提言ーもっと同時代の地球ダイナミクスを!ー	月刊地球, 221, 19, 56-60.	
1997	地域の実情に応じた地震・火山防災研究, 平成9年度東海・北陸地区大学放送公開講座ラジオ講座 検証:災害とはなにか, 後藤俊夫編	リバティ書房, 87-103.	

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1998	サイスモ・ジオデティック・バンドの地球ダイナミクス —序説	月刊地球, 223, 3-7.	
1999	サイレント・アースクェイク, スロー・アースクェイク	日本地震学会ニューズレ ター, 11, 18-22.	
2001	南関東におけるサイレント地震と地震予知への意義	月刊地球, 号外34, 113-118.	
2002	スロー地震とサイレント地震	AREA Mook 地震がわかる, 64-66.	
2002	サイレント地震 大地震の前に繰り返して起こる	Science and Technology Journal, 11, 14-15.	
2003	神岡鉦山における100メートルレーザー伸縮計につ いて	京都大学防災研究所年報, 46, B, 749-755.	竹本修三・新谷昌人・赤 松純平・森井互・東敏 博・福田洋一・尾上謙 介・市川信夫・大橋正 健・寺田聡一・百瀬秀夫
2003	「まるごと中部日本」—序文—	月刊地球, 294, 895-897.	河野芳輝
2004	サイレント地震	月刊言語, Vol.33, No.12, 2- 3.	
2005	特集:Lambの問題100年の歩み	地震, 57, 315-316.	
2005	南海・東南海地震の予知研究の新たな地平をめざ す	京都大学防災研究所公開講 座(第16回)防災研究最前 線, 15-24.	
2005	SPring-8 による地震記録を用いた地球コアの運動の 追求	光科学研究の最前線, 「光科 学研究の最前線」編集委員 会, 158-159.	松井佐久夫・伊達伸
2006	ゆっくり震とは?	パリティ, 21, 60-62.	
2007	地震予知の科学 予測の科学の知の技法でありうる か?	UP, 京大学出版会, 東京, 28-34.	
2006	特集:測地・地殻変動に関する研究集会(第1部)ま えがき	52, 4, 211.	加藤照之・田部井隆雄・ 古屋正人

著 書

発表年	著書名	発表誌名	共著者
1993	サイレント・アースクエイク	東大出版会	島村英紀・浅田敏
2006	スロー地震とは何か	NHKブックス、日本放送出版会	
2007	地震予知の科学	東大出版会	日本地震学会地震予知検討委員会編
2009	災害社会	京都大学出版会	





## 地震波動論の歴史と地震防災

川崎一朗

### 要 旨

小論では、Stokes (1849)から、Lamb (1904)、Honda(1931) などの歴史に手短かに言及した後、断層モデルによる「断層近地場の地震動」に焦点を絞って、1970年代の筆者自身の研究を中心に、地震波動の理論的研究のあとをたどり、断層近地場の地震動の特質についてのまとめを行いたい。実際の地震への応用例として、1966年パーク・フィールド地震のときに地表断層から80mしか離れていない観測点で得られた加速度計記録、1945年三河地震の際の地表断層線を境界とする被害の顕著な非対称性などの、断層近地場の理論地震波動波形による解釈などを紹介する。

**キーワード**：連続媒質中の転位、カニアールの理論、半無限媒質、  
地震断層近地場、1945年三河地震、1966年パーク・フィールド地震

### 1. はじめに

筆者は、今は複雑系の科学が混迷を極めている時代だと認識している。次々に面白い発見があり、論文も数多く書かれているが、でも、肝心なことになるとさっぱり分からない。

科学研究と社会の関係も混迷を深めている様に思われる。「どの様な入力地震動が適切なのか?」、 「災害を減らすために研究成果をどのように生かせばいいのか?」、 「どのように情報を発信すればいいのか?」、 「情報を発信したつもりなのに社会に生かされていない?」などと多くの研究者が悩んでいるのではないだろうか。

「混迷を深めているときには、原点に帰ることが大切」だと言えよう。小論では、地震波動論のレビューを行いたい。ただし、筆者には、地震波動論の歴史全体を包括的にレビューする能力は無いので、「断層近地場の地震動」に焦点を絞りながら、「紙と鉛筆」が主たる武器であった時代の1970年代の大学院生の時代から自分がたどった道をたどることとしたい。差分法や有限要素法などの数値的地震波動計算方法には言及しない。

また、レビューの性質上、簡明のために、テクニカル・ディーテイルや、論理の詳細も大幅に省いた。そのため、返って分かりにくい面も生じたかもしれない。これらのことについて、御容赦をお願いする次第である。

最近では、あらゆる計算プログラムが完備され、「地震波動論を知らなくても地震波を用いた研究が出来る」という奇妙な状況になってしまった様に見える。しかし、オリジナリティの高い研究をしようと思うと、やはり、原点、つまり地震波動論に戻らざるを得ないだろう。今のような時代だからこそ、「断層近地場の地震動」を理解するための要点をまとめておけば、多少は今後の役に立つかも知れないと思う次第である。

地震波動論は、どこまで遡れるのかはよく分からないが、応力と歪みが比例し、従って「スプリングに同じ力がかけたら同じ位置にある」というフックの法則の基本概念を明確にした Hooke (1678)、偏微分によって弾性体の運動方程式の意味を明確にした Euler (1744)、応力テンソル概念を導入して「連続体の釣り合いの方程式」を書いたCauchy (1828)などは間違いなく先駆者である。なお、Hooke (1678)、Euler (1744)、Cauchy (1828)などは、Love (1927) からの孫引きであることをお断りしておく。

しかし、何と言っても重要なのは、Stokes (1849)であろう。Cauchy (1828) の弾性体の運動方程式を変位によって書き下し、 $\text{div}$ ,  $\text{grad}$ ,  $\text{rot}$  に相当する式の展開を初等的なやりかたでやりのけ、P波ポテンシャルとS波ポテンシャルの独立した2つの波動方程式に帰着することを証明し、同時に、シングル・フォース力源のグリーン関数を求めた。ストークス

の理論は、その後160年間、地震学と工学の不動の基礎となった。Stokes (1849) の論文のタイトルは、興味深いことに、弾性体の運動方程式ではなく、「回折波の動的理論」である。

なお、Love (1927) の編年は主として論文として出版された年を元としているが、他の多くの本の場合、最初の実験や講演が行われた年を基準にしていることが多く、17世紀から19世紀までの研究については、文献の間で見かけ上の齟齬があることをお断りしておきたい。

レーリーは、Stokes (1849) の理論を現在の地球科学で使われている様な一般的な形に表現し、地表という境界条件が存在すると、P波とS波以外に、今日レーリー波と呼ばれている表面波が存在することを示した (Rayleigh, 1885)。

1904年には、ラムが、自由表面に下向きのシングル・フォース力源が作用したときの弾性波の波形を計算し、Fig.1 の様に波形を目に見えるようにした (Lamb, 1904)。Fig.1 を見れば、地表に震源がある場合には、レーリー波が圧倒的に卓越することがよくわかる。それ以来、「弾性論に基づいて弾性波の計算をする問題」は「ラムの問題」と呼ばれて来た。

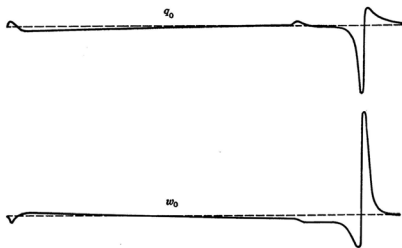


Fig.1. Elastic waves due to a vertical single force acting on free surface . After Lamb (1904).

## 2. 地震＝断層説の登場

地震とは断層運動ではないかという考えは、1891年の濃尾地震の時の現地調査に基づく小藤文次郎 (Koto, 1893) の研究を嚆矢とする。1906年には、アメリカ合衆国カリフォルニア州の太平洋岸に沿って、マグニチュード8のサンフランシスコ大地震が起こった。サンアンドレアス断層を境界とした地殻変動の対称性が顕著だったので、そこから Reid (1910) の弾性反発説が生まれた。

1917年には、京都大学の地震学と測地学の基礎を築いた志田順が、同年5月の静岡地震 (M6.3) のP波初動が4象限型の分布をするという画期的な発見を行った。

この頃は、地震とは断層運動であることは、世界

的に共通認識となりつつあった。

1923年、関東大地震 (M7.9) が起こった。それを契機に東京大学に地震研究所が作られ、地震研究体制が大きく変わった。しかし、地表に顕著な断層が現れなかったので、断層反発説に疑問が出され、地震研究所にいた石本 (1929) はマグマ貫入説を強力に推進した。日本では、その後しばらく、地震のメカニズム論が混迷を迎えるようになった。

1927年には、弾性論の古典の名著と言うべきラブの "A Treatise on Mathematical Theory of Elasticity" が出版された。そこでは弾性波動論の節もあり、現代の地震学の教科書に必ず出てくるような形でグリーン関数も書かれている。その注には、「Stokes (1849) のグリーン関数と本質的に同じである」と述べられている。ラブの本では、その他の弾性論の基本的問題は、既に、ほとんど扱われていると言ってもいい。

日本では、中央气象台にいた本多弘吉 (例えば、Honda (1931)) が、「地震の震源＝断層＝ダブル・カップル (互いに逆向きの2組の偶力の組み合わせ)」とする説を唱えた。当時は、本多弘吉のダブル・カップル説、欧米を中心とする「地震の震源＝断層＝シングルカップル (1組の偶力)」説、マグマ貫入説の3つどもえの論争が行われた。本多弘吉は、ほとんど孤軍奮闘でダブル・カップル説を推進した。

このころの歴史については、「日本の地学の展開 (大正13年～昭和20年) <その3>」 (日本地学史編纂委員会, 2003) に詳しい。

## 3. 転位論の導入

時代が飛ぶが、1960年代に入って急速に局面が開いた。主としてロシアの物理学者達によって「連続媒質中の転位」 (dislocation in a continuum medium) の概念が導入され、Kosevich (1962) は、転位震源による弾性波の理論式を求めた。今日、我々が地震学の世界で使っているものと等価である。コーセビッチの研究は、ランダウ・リフシッツの『理論物理学教程』の中の『弾性理論第2版』 (日本語版は1972年) に取り入れられている。

地震学の世界では、地震研究所にいた丸山卓男 (Maruyama, 1963) が、転位震源から出る弾性波の表現式とダブル・カップル震源から出る弾性波の表現式が同じになることを示した。1年遅れて、Burrige and Knopoff (1964) の論文が出た。転位震源とダブル・カップル震源の等価性が数学的に明瞭になり、「地震の震源＝断層＝ダブル・カップル」

説は揺るぎないものになった。本多説が劇的に勝利をおさめたのである。

Fig.2 に、 Aki and Richards (2002) の "Quantitative seismology" において、近地場 (nearfield) 項と遠地場 (farfield) 項の和としてコンパクトに書かれた、無限媒質に置かれた転位による弾性波の表現式を示しておく。

$$\begin{aligned}
 u(\mathbf{x}, t) = & \frac{1}{4\pi\rho} A^N \frac{1}{r^4} \int_{r/\alpha}^{r/\beta} \tau Mo(t-\tau) d\tau && \text{nearfield} \\
 & + \frac{1}{4\pi\rho\alpha^2} A^{IP} \frac{1}{r^2} Mo(t-\frac{r}{\alpha}) + \frac{1}{4\pi\rho\beta^2} A^{IS} \frac{1}{r^2} Mo(t-\frac{r}{\beta}) && \text{midfield} \\
 & + \frac{1}{4\pi\rho\alpha^3} A^{FP} \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left[ Mo(t-\frac{r}{\alpha}) \right] + \frac{1}{4\pi\rho\beta^3} A^{FS} \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left[ Mo(t-\frac{r}{\beta}) \right] && \text{farfield}
 \end{aligned}$$

Fig.2. Representation for elastic waves due to a point dislocation in an infinite medium.  $r$  is a distance,  $t$  elapse time,  $\alpha$  P wave velocity,  $\beta$  S wave velocity,  $\rho$  density,  $Mo$  source moment function,  $A$  radiation pattern. After "Quantitative seismology" of Aki and Richards (2002).

地震学におけるこの様な進歩を背景に、地形学/地質学の分野では、活断層学が大きく成長を始めた。

1968年にはプレート・テクトニクス説が登場して、地球科学の世界は興奮の渦に巻き込まれた。プレート・テクトニクス説確立の過程で、「地震の震源=断層=ダブル・カップル」説が支柱の1つであったと言っても言い過ぎではあるまい。

#### 4. 1966年パークフィールド地震

断層モデルによる地震波の解析を始めて行ったのは安芸敬一だと言えよう。1966年、安芸敬一がマサチューセッツ工科大学 (MIT) に教授として招かれ、ボストン (アメリカ合衆国マサチューセッツ州) に向かう途中でカリフォルニアで一時滞在している最中、サンアンドレアス断層の1部であるパーク・フィールドでマグニチュード6.6の地震が起こった。

Fig.3 に示すように、余震はサンアンドレアス断層に沿って、ほぼ30kmに渡って起こった。断層からたった80mしか離れていない観測点 (Fig.3 の Station 2) では、Fig.4 の加速度記録が得られた。図中の一番上が断層に直交する水平成分、真ん中が上下成分、残念ながら、一番重要な断層に平行な水平成分は動いていなかった。

加速度を時間について積分すると速度になり、もう一回積分すると変位になる (Fig.5)。

安芸は、Maruyama (1963) によって導かれたばかりの理論式によるフォートラン・プログラムを作

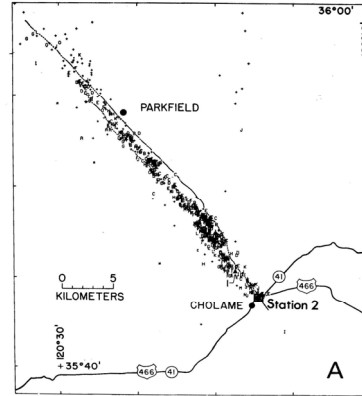


Fig.3. Aftershock distribution of the 1966 Parkfield, California, earthquake. Station 2 was only 80 m away from surface trace of the San Andreas fault. After Aki (1968).

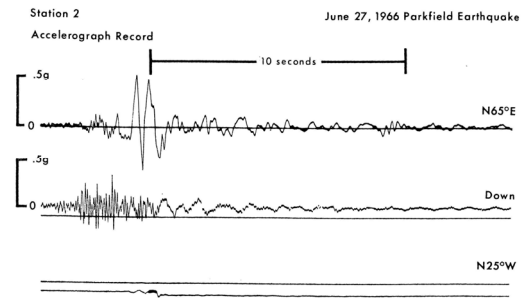


Fig.4. Three component acceleration records at Station 2 due to the 1966 Parkfield earthquake. Top, middle and bottom traces were those of fault perpendicular, vertical and fault parallel components. After Aki (1968).

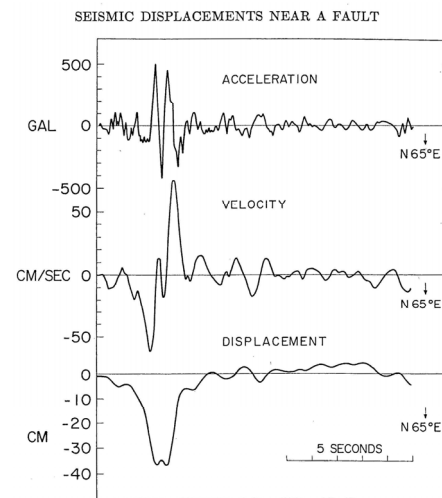


Fig.5. From top to bottom, fault perpendicular acceleration record, velocities integrated from the acceleration record and displacements integrated from the velocities. After Aki (1968).

って Fig.6 の理論地震動を得た。ただし、計算時間を節約するために長周期成分が除かれているので断層平行水平成分の波形は永久変位を持たず、1サイクルの振動を示している。Fig.5 の観測変位波形とFig.6 の理論変位波形の比較から、Aki (1968) は、断層滑りの大きさを約50cmと見積もった。断層近地場における理論と観測の初めてのリンクであった。

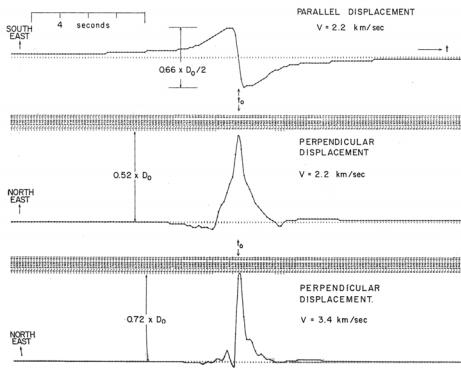


Fig.6. Theoretical seismograms in an infinite medium for the acceleration records in Fig.5. After Aki (1968).

なお、小論で言及する1980年以前の研究では、すべて、地震断層面の拡大は、断層端から多端に向かって一様な速度で進行するユニラテラル (unilateral) か、断層中央から両端に向けて進行するバイラテラル (bilateral) のいずれかで、滑りは地震断層面上で一様である。面状の広がりを持つ移動震源の場合の理論波形は、地震断層拡大速度に合わせて点震源をずらせて足し合わせたものである。



Photo 1. Prof. Ryosuke SATO, who was my supervisor when I was a graduate student of the University of Tokyo in 1970's. After Memoriam in Newsletter Vol.16 (2004), Seismological Society of Japan.

## 5. 佐藤学派と筆者の修士研究

東京大学理学部の地震学研究室では、佐藤良輔 (Photo 1) が、「紙と鉛筆」を基本とする日本の理論地震学の伝統を受け継ぎ、研究を進めていた。

Sato (1969) の論文では、Love(1927) のシングル・フォース力源のグリーン関数を出発点に、「紙と鉛筆」の長い数式の計算を経て、Fig.7 の様な、断層モデル (点震源) から放出される地震波のP波ポテンシャルやS波ポテンシャルのフーリエ変換の波数積分表示を導いた。小論の性質上、この表現の詳細には立ち入らない。ただ、どの様な形で問題を扱っているかだけを示しておきたい。

初等関数の範囲で書かれた Maruyama (1963) の表現に比べて、ベッセル関数 ( $J_n$ ) や指数関数が現れる Fig.7 の式は極めて複雑そうに見える。なぜこんな複雑な式が地震波動論の1ステップとして必要であったかと言うと、次のステップである「自由表面がある半無限媒質での理論計算」の出発点として必要であることが分かっていたからである。

$$\begin{aligned} \Psi_V &= -\frac{M_0}{4\pi\rho\omega^2} e^{i\omega t} \int_0^\infty \left[ \frac{3}{2} \sin 2\delta \operatorname{sgn} z \nu_p J_1(\xi r) + \cos 2\delta \sin \varphi \frac{2\xi^2 - k^2}{\xi} J_1(\xi r) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \sin 2\delta \cos 2\varphi \operatorname{sgn} z \nu_p J_3(\xi r) \right] \frac{\xi e^{-\nu_p |\xi|}}{\nu_p} d\xi, \\ \Psi_H &= \frac{M_0}{4\pi\rho\omega^2} e^{i\omega t} \int_0^\infty \left[ \cos 2\delta \cos \varphi \frac{\operatorname{sgn} z \nu_p k^2}{\xi} J_1(\xi r) - \frac{1}{2} \sin 2\delta \sin 2\varphi k^2 J_3(\xi r) \right] \frac{\xi e^{-\nu_p |\xi|}}{\nu_p} d\xi \end{aligned}$$

Fig.7. Integral representation of P and S wave potentials of elastic waves due to a point dislocation in an infinite medium.  $r$  is distance,  $\delta$  dip angle,  $\varphi$  azimuth,  $M_0$  seismic moment,  $\omega$  angular frequency,  $k$  wavenumber,  $J_n$  Bessel function. After Sato (1969).

1970年代前半、地震学研究室の教授は浅田敏で、助教授が佐藤良輔 (Photo 1) であった。1971年、筆者は佐藤良輔の元で修士研究を始めた。同じ頃に、佐藤良輔を指導教員として、鈴木保典 (東京大学理学部)、松浦充宏 (同)、山下輝夫 (東京大学地震研究所) などが理論地震学を始めた。

筆者の修士研究では、Fig.7 の積分表示を出発点に、同じく積分表示した地表反射波 (入射波と逆方向に伝搬する) のポテンシャルを加え、その係数は、自由表面で応力がゼロに成るようにきめ、入射波と反射波を加えた地表変位のラプラス変換の積分表現が Fig.8 のように求まった。Fig.8 を逆ラプラス変換すると、時間領域の波形に戻る。つまり、2重の無限積分を実行すると、時間領域における変位の理論波形が求まることになる。しかし、2重の無限積分など、実際にはほとんど意味がないと言えよう。

巧妙に積分変数の変数変換を行い、複素関数論の技を用いて積分路の変換を行い、Fig.8 の(20)式の無限積分と逆ラプラス変換の2重の無限積分を1重の有限積分に帰着させるのが、フランスのカニヤール（フランス語原本は Cagniard (1939), 英語版は Cagniard (1962)）の驚異的な理論である。

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_r &= \frac{1}{4\pi\mu} \left\{ -a_0 \bar{f}_{1,1} + 2d_1(\bar{f}_{0,2} - \bar{f}_{1,2}) + d_2(\bar{f}_{1,3} - \bar{f}_{2,3}) + 3a_0 \bar{f}_{1,4} \right. \\ &\quad \left. - d_1(\bar{f}_{0,5} - \bar{f}_{1,5}) - d_2(\bar{f}_{1,6} - \bar{f}_{2,6}) - d_3(\bar{f}_{0,7} + \bar{f}_{1,7}) - d_4(\bar{f}_{1,8} + \bar{f}_{2,8}) \right\}, \\ \bar{u}_\phi &= \frac{1}{4\pi\mu} \left\{ -2e_1(\bar{f}_{0,2} + \bar{f}_{1,2}) - e_2(\bar{f}_{1,3} + \bar{f}_{2,3}) + e_3(\bar{f}_{0,5} + \bar{f}_{1,5}) \right. \\ &\quad \left. + e_4(\bar{f}_{1,6} + \bar{f}_{2,6}) + e_5(\bar{f}_{0,7} - \bar{f}_{1,7}) + e_6(\bar{f}_{1,8} - \bar{f}_{2,8}) \right\}, \\ \bar{u}_z &= \frac{1}{4\pi\mu} \left\{ -a_0 \bar{f}_{0,9} - 2d_1 \bar{f}_{1,10} - d_2 \bar{f}_{2,11} + 3a_0 \bar{f}_{0,12} + d_1 \bar{f}_{1,13} + d_2 \bar{f}_{2,14} \right\}. \end{aligned} \right\} (18)$$

where new parameters and notations are

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= -\sin \lambda \sin 2\delta/2, & a_1 &= -\cos \lambda \cos \delta, & a_2 &= -\sin \lambda \sin 2\delta/2, \\ a'_1 &= -\sin \lambda \cos 2\delta, & a'_2 &= \cos \lambda \sin \delta, \\ d_1 &= a_1 \cos \varphi + a'_1 \sin \varphi, & d_2 &= a_2 \cos 2\varphi + a'_2 \sin 2\varphi, \\ e_1 &= a_1 \sin \varphi - a'_1 \cos \varphi, & e_2 &= a_2 \sin 2\varphi - a'_2 \cos 2\varphi, \end{aligned} \right\} (19)$$

$$\text{and } \bar{f}_{n,j}^{\alpha} = \bar{M} p^2 \int_0^{\infty} s F_j(s) J_n(psr) e^{-p^2 \alpha (or \lambda \beta) s} ds \quad (20)$$

Fig.8. Laplace transform of surface displacements of elastic waves due to a point dislocation in a semi-infinite medium. Parameters are the same as in Fig.7. After Kawasaki et al. (1973).

3ヶ月ほどかけてカニヤールの分厚い英語の本を読み、佐藤良輔と鈴木保典とともに、長い「紙と鉛筆」の計算を行い、フォートランの数値計算のプログラムを組み、1年ほどの格闘ののち、Fig.9 に一例を示す様な計算波形が初めて出てきた時には大いに興奮した。地震学の歴史上始めて、点資源とは言え、断層モデルによる半無限媒質の地震波の理論波形を「見た」わけである。

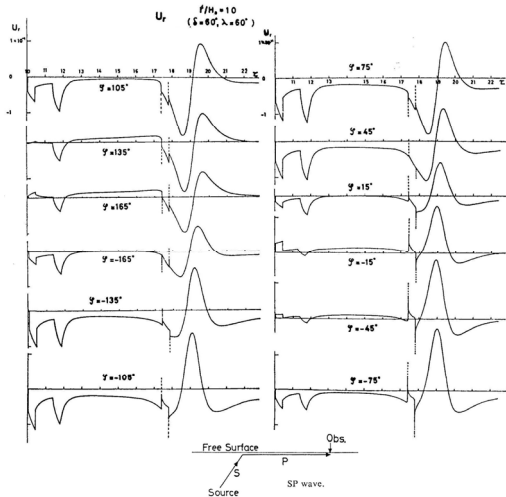


Fig.9. Theoretical waveforms due to a point dislocation in a semi-infinite medium.  $\phi$  is station azimuth. Other paramers are the same as in Fig.7. After Kawasaki et al. (1973).

Fig.9 は、点震源の深さの10倍の震央距離に位置する観測点の波形例である。自由表面の無い無限媒質の場合は、存在するのはP波とS波だけで、波形も単純な箱形である。しかし、自由表面が存在すると、Fig.9 の様に、P波とS波に加えて、レーリー波と、震源をS波で出て表面にそってP波として伝わったSP波が現れる。方向によっては、後続波であるSP波の方がP波より大きい。震源近くの長周期記録を解析する場合は、半無限の計算に基づかないとミスリードされる危険があることがわかる。

Fig.9 をよく見ると、P波とS波は、到達時に不連続なステップがあるが、SP波の場合には不連続なステップはなく、0から時間が経つにつれて大きくなる。このことは、P波とS波に比べて、SP波は短周期成分のオーダーが1桁小さいことを意味している。別の言い方をすると、変位のフーリエ変換を周波数で展開すると、短周期領域（ある意味で遠地場）では、P波とS波に比べてSP波の振幅はオーダー1つ小さい。このことが、短周期の地震計での観測では必ずしもSP波が問題にならない原因の1つであろう。

修士研究の成果は、1973年、鈴木保典、佐藤良輔との共著の論文として、Journal of Physics of the Earth に掲載された。初めての自分の論文が活字になっているのを見たときには非常にうれしかったことを記憶している。

## 6. 理論の応用—垂直横ずれ地震断層

この半無限の理論計算を武器に、1966年パークフィールド地震の極近地場の記録 (Fig.5) に挑戦した (Kawasaki, 1975)。焦点は次の2点である。

- [6-1] 無限媒質の場合の理論波形と、自由表面がある半無限媒質での理論波形とではどれほど違うか？
- [6-2] Fig.5 の速度波形の最大ピークの間隔は何を意味するのか？

わかってみれば当然であったが、「垂直な横ずれ断層」の場合には、無限でも半無限でも、波形の違いはほとんど無かった。この点については、いささか残念であった。

しみじみと分かったことは、そして分かってみれば当然であったが、「断層極近地場の地震動（特に断層に平行な変位成分）は、基本的には、断層運動そのものだ」ということであった。Fig.10 は、断層極近地場の地震動を単純化したものである。速度は一回微分で、加速度は2回微分である。もっとも主要な動きである断層平行成分は、片ランプ形の波形をする。2次的な動きである断層直交水平成分は、

断層に平行な成分を微分した波形になる。

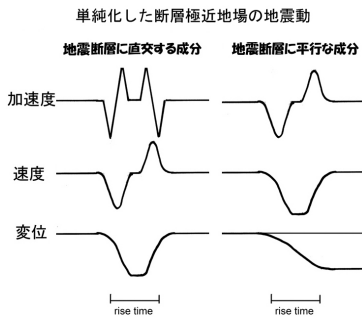


Fig.10. Schematic waveforms in the nearfield close to seismic faulting

近地場では、振幅は距離の4乗に逆比例して減衰する。従って、地震断層からたった80mしか離れていない極近地場の地震動は、目の前の部分の断層滑り運動のみに左右されるということが出来る。その部分からのP波とS波はほとんど同時に到達する。断層極近地場ではP波とS波の区別はない。

Fig.10の左側の波形を、Fig.5の観測波形と比較すると、変位、速度、加速度の主要な特徴は良く対応していることが分かる。このことから、Fig.5の速度波形の最も大きな2つのピークの間隔は、極近地場の断層面の滑りが立ち上がって終わるまでの「立ち上がり時間」(rise time)に対応していることが分かる。これが、断層極近地場の加速度記録を見るときのポイントの1つである。

### 7. 理論の応用—低角逆断層

では、自由表面が大きくモノを言うはずの低角逆断層の場合はどうなのであろうか？

1945年1月、東南海地震から1ヶ月後、愛知県の深溝断層でマグニチュード7.0の三河地震が起こった。東南海地震と三河地震によって、中京工業地帯の航空機産業は打撃を受け、終戦が早まったと言われている。

地震から28年後の1973年、地震研究所の大学院生であった安藤雅孝とともに、愛知県蒲郡市金平地区に聞き取り調査に出かけた。

その結果を Fig.11 に示す。断層線は、図の中央を上下に走る。周辺はほとんど田圃か畑、左側の上盤に数多く分布する黒の■は倒壊した家屋で、矢印は倒れた方向である。聞き取り調査では、倒壊した家屋の住民からは、「あっという間に倒壊した」という証言が得られた。

右側の下盤側に多く分布する白抜き□は倒壊を免

れた家屋であるが、そこでは、ほとんどの家は「そんなに揺れたとは思わなかった」ということであった。中には、「地震が終わって又寝た」とか、「柱時計の振り子も止まることなく動いていた」との証言もあった。

なお、残念ながら、調査ノートも失われ、学会発表した(安藤・川崎, 1973)のみで論文にもなっていないので、これらは筆者の記憶によることをお断りしておく。

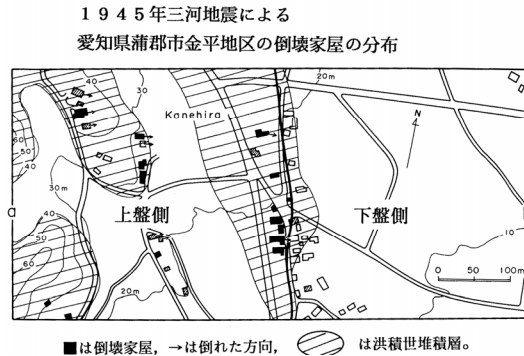


Fig.11. Locations of surface seismic fault, houses collapsed (■) and uncollapsed (□) in Kaneshira, Gamagori city, Aichi prefecture, due to the 1945 Mikawa earthquake. Arrows denoted directions of collapse. After Ando and Kawasaki (1973).

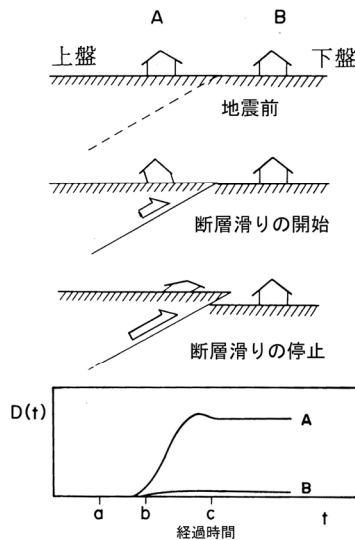


Fig.12. Bottom panel was theoretical wave forms on hanging wall (A) and on footwall (B) close to low angle thrusting of the 1945 Mikawa earthquake. Ando and Kawasaki (1973) attributed the large collapse rate on the hanging wall to the large seismic motion of the hanging wall as schematic illustration in upper panel.

現地調査の後、半無限媒質における低角逆断層の場合の地震動の計算をしてみると、Fig.12の下図の

様になった。波形は単純で、上盤 (A) が大きく動くが、下盤 (B) は振幅が1桁ほど小さい。

この計算結果から、安藤と筆者は、『断層が動き出したときは、上盤 (A) の家屋は、「断層滑りの開始」のように慣性で断層と逆側に振られ、滑りが止まったときには「断層滑りの停止」の様に逆に断層側に向かって振られ、多くの家屋が断層に向かって倒壊した』と推測した。逆に下盤は地震動が桁違いに小さかったので、大きな被害は生じなかったであろう。断層モデルによる理論計算によって、初めて、「地震断層を境界とした被害の極端な非対称」が理解できた瞬間であった。

## 8. 極近地場、やや近地場、遠地場

断層極近地場では、地震動は、前節で伸べてきたように、単純化すると、断層運動そのものになる。では、断層から離れるにつれて地震波形は、どの様に変化していくのだろうか。

小論における議論の見通しを良くするために、3つの用語、「断層極近地場」、「やや近地場」、「遠地場」の用法を整理しておきたい。

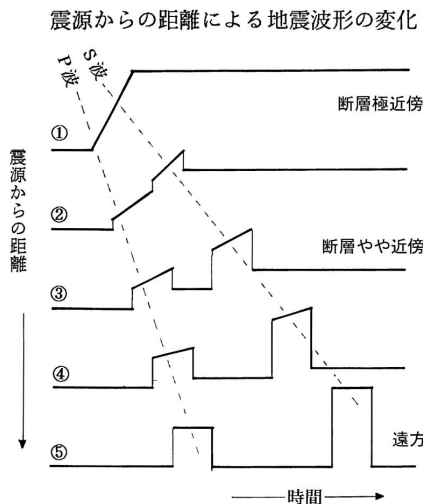


Fig.13. Schematic distance-dependent variation of elastic wave forms in the close nearfield ①-②, in the midfield ③-④ and in the farfield ⑤.

Fig.13 の一番上の①は断層極近地場の地震動を単純化して示したものである。P波もS波もほとんど同時に到達する。②から③の様に地震断層から遠ざかるに連れて、P波とS波が次第に分離していき、永久変位を伴う近地場項が急速に減小し、最下段の遠地場⑤では、遠地場項のみが生き残り、P波とS波からなる地震波形になる。⑤の様な遠地場の場合には、パルス幅は地震断層面拡大プロセス継続時間

(以下、単に継続時間と呼ぶ)になる。

現実の観測地震波形は、地震断層面の拡大過程やすべりの空間分布の複雑さ、地表・コンラッド・モホ面といった速度境界、地殻内の地震波の速度の不均質や地震波減衰特性などによって複雑になる。

Fig.13 の単純化した波形の比較から分かりやすいが、近地場とは、P波とS波がオーバーラップしないこと、つまり、「P波パルス幅 < S-P時間」が目安であろう。このことを頭に置いて、3つの用語を次のように区別したい。

[8-1] 極近地場：観測点から地震断層までの最短距離が地震断層のサイズ以内。近地場項が圧倒的に卓越しており、遠地場項は無視できる。

[8-2] やや近地場：P波パルス幅 < S-P時間。近地場項と遠地場項の両方を考慮することが必要。

[8-3] 遠地場：P波パルス幅 > S-P時間。遠地場項が圧倒的に卓越しており、近地場項は無視できる。

別の視点から言うと、「断層極近地場では、足下の断層滑りが波形を決める卓越要素」になり、「遠地場では地震断層面の拡大プロセスが卓越要素」になる。

また、Fig.2 の表現式からも直ちに分かることであるが、遠地場の観測記録を外挿し断層近地場の地震動の性質を推し量ることには、本質的に困難がある。断層近地場の地震動の性質を知るには、断層モデルによる理論的計算を行って近地場項を適切に評価することが不可欠である。

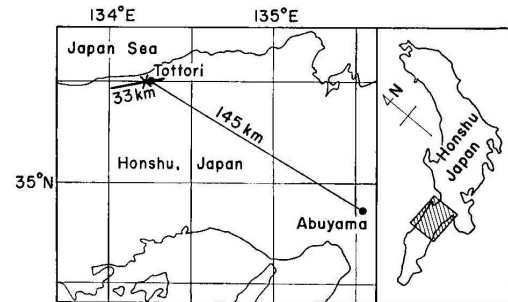


Fig.14. Location of Abuyama observatory and the Yoshioka-Shikano fault, the seismic fault of the 1943 Tottori earthquake. After Kanamori (1972).

## 9. やや近地場の地震動

前節の議論を頭において、やや近地場の長周期地震記録の解析事例に進もう。

1943年、吉岡一鹿野断層を震源として鳥取地震 (M7.3) が起こり、約850人の犠牲者を出した。断層と阿武山観測所 (大阪府高槻市) の位置関係を Fig.14 に示す。震央距離はほぼ145km、S-P時間

はほぼ17秒，P波のパルス幅は20~30秒，従って継続時間は10~15秒なので「やや近地場」と言えよう。

Fig.15 は，阿武山観測所の，佐々式大地震計の長周期記録である。Kanamori (1972) は，この記録を用いて，初めて内陸型地震の震源過程を明らかにする研究を行った。

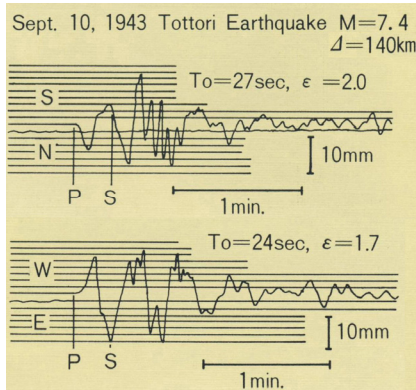


Fig.15. Long-period records of Sassa type seismometers at Abuyama observatory, Kyoto University, due to the 1943 Tottori earthquake. By courtesy of Abuyama observatory.

Fig.16 の一番上は東西成分観測記録で，下は，「断層の中央から両側へのバイラテラルな拡大」か，「断層の東端から西へのユニラテラルな拡大」かを仮定し，地震断層拡大速度を様々に変化させて計算した，無限媒質での理論波形である。金森は，理論波形と観測波形を合わせる試みを行い，断層の長さ33km，幅13 km，断層地震断層の拡大モードはバイラテラル，拡大速度 2.3 km/秒，平均的滑り2.5m，立ち上がり時間 3秒という結論を導いた。

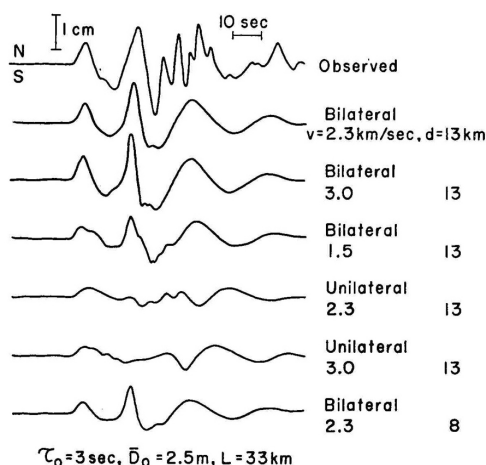


Fig.16. Top trace was EW component record by Sassa-type long period seismometers at Abuyama due to the 1943 Tottori earthquake. Below were synthetic seismograms for various rupture modes. After Kanamori (1972).

現在の緻密な波形インバージョンの視点から言うと，「最初の1サイクルしか合っていない」と言われるかもしれないが，そのようなことは大した問題ではない。1970年代前半における大いなる先見の明であったことが重要である。この研究が，金森の2007年度京都賞受賞に繋がっているといえよう。

筆者も，1961年北美濃地震 (M7.0) の同じオプ山の佐々式大地震計記録を対象に，半無限媒質の理論計算の有効性を検証する試みを行った。北美濃地震は，石川一福井県境の白山から南西に向かって流れ下る打波川に沿った，長さ10km弱の鳩ヶ湯断層を震源とすることがわかった。

ここでは，Fig.17 に無限媒質と半無限媒質の理論波形の比較のみを示しておく。1970年代の無限媒質や半無限媒質の，一様な地震断層拡大プロセスを仮定した単純な解析であるが，逆断層タイプの断層モデルの場合は，無限媒質と半無限媒質の理論地震動波形の違いが大きく出やすいことがわかる。

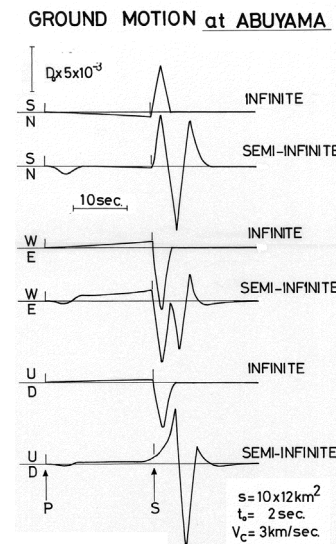


Fig.17. Theoretical seismograms in an infinite and a semi-infinite media for the Sassa type long period seismometer at Abuyama due to the 1960 Kita-mino earthquake. After Kawasaki (1975).

特に上下動のS波部分は違いが大きいが，これは，S波の振動方向（ポラリティ）が逆なのではない。Fig.1 の Lamb(1904) の波形を参照すると分かりやすいが，波線がほとんど水平に観測点に入射するのでSV波の振幅はほとんどゼロになり，その代わりに，レーリー波が出現していると理解すべきなのである。

1943年鳥取地震の場合にせよ，1961年北美濃地震の場合にせよ，波形が最初の半サイクルしか合わないことが気になっていたもので，1974年伊豆半島沖地震 (M6.9) のあと，震源から約300km離れた阿武山



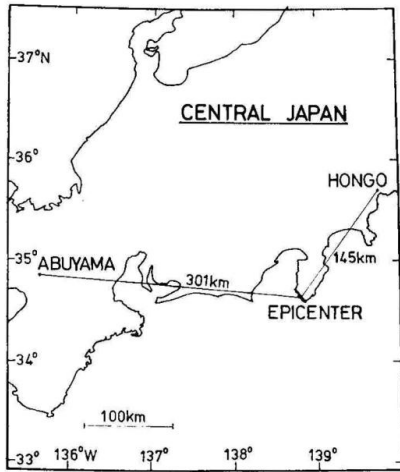


Fig.18 Relative location of Abuyama observatory and the epicenter of the 1974 off-Izu earthquake. After Kawasaki (1975).

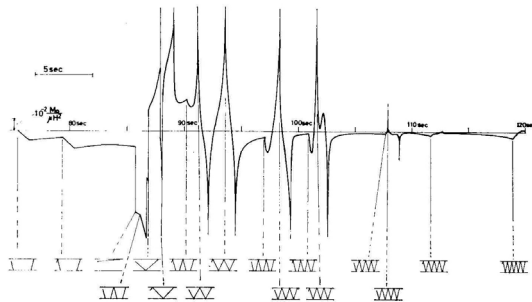


Fig.19 Theoretical SH wave forms at the Abuyama observatory due to a point dislocation for the 1974 off-Izu earthquake. After Kawasaki (1975).

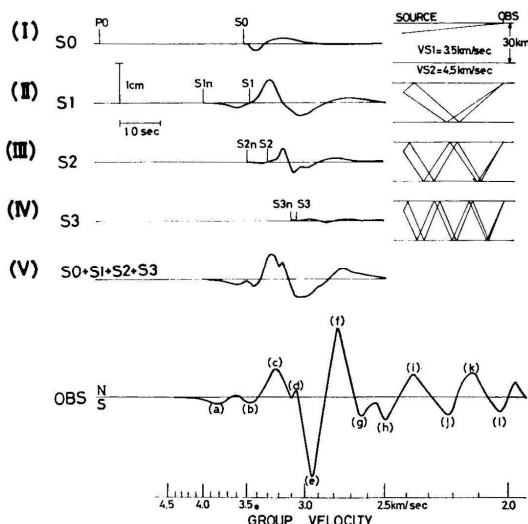


Fig.20 OBS is NS component record at the Abuyama observatory due to the 1974 off-Izu earthquake. (I) to (V) were theoretical SH wave forms including Moho-reflections. After Kawasaki (1975).

(Fig.18) の佐々式大地震計の記録の解析を試みた。問題は、「モホ面を1層加えた構造とすることによって、どこまで長周期観測波形を説明できるようになるのか？」である。

阿武山は震源からほぼ真西なので、南北成分はS H波の直達波と反射波（従ってラブ波）だけになる。そのため、半無限媒質にモホ面1層が加わっても、カニアルの理論がそのまま適用可能になり、厳密解が求まる。

地表にモホ面が加わる1層構造で、P波とSV波が存在する場合は、P波とSV波の複雑なカップリングが生じてカニアルの理論が適用不能になり、「紙と鉛筆」の枠組みを外れることになる。

Fig.19は、点震源、モホ面だけの1層構造の場合のラブ波の理論波形である。Fig.19に震源モーメント速度関数を畳み込んでFig.20に示されるような波形をえた。ここではモホ面での3回までの反左派波を計算しているが、モホ面での4回以上の反射波を加えても、波形は見た目にはほとんど変わらない。

図の(V)の波形と観測(OBS)を比較すれば、群速度3km/sより前に現れるSの主要動とモホ面での反射はよく再現されている。観測(OBS)に現れている、群速度3km/s前後の振幅の大きな相は、計算に含まれていないコンラッド面での反射波、2.5km/s以降に現れている波群は堆積層などの遅い伝播速度の層で励起された表面波と考えられる。

このような断層モデルによる理論計算はまだ行われていなかったため、大学院生であった筆者にとっては、計算すること自体が興奮に満ちたものであった。しかし、「モホ面における3回反射まで、長い紙と鉛筆の長い計算とFORTRANプログラムの作成をしても、この程度しか合わないのか...」と落胆したことも記憶している。

1975年度末、以上の研究をまとめて、「断層近場の地震波(A study of seismic waves in the nearfield)」と題する博士論文を提出し、理学博士の学位を授与された。

## 10. 1980年前後

1979年夏から1980年夏までの1年間、安芸敬一(Photo 2)に招かれ、MITで客員研究員として過ごす機会を得た。MITでは、海洋上部マントルの地震波速度異方性の研究を行ったが、この小論では触れない。

1980年夏、MITから日本に帰る途中にカリフォルニア工科大学(CIT)に立ち寄ると、菊地正幸

(横浜市大理学部から東京大学地震研究所)が、その後大きく発展した、「グローバルな観測波形の解析からアスペリティを求める研究」を始めていた。



Photo 2. Prof. Keiiti AKI at his office of MIT on May, 1980.

同じころ、入倉孝次郎（例えば、Irikura and Muramatsu, (1982)）は、経験的グリーン関数法の研究を始めた。経験的グリーン関数法がなぜうまくいくのか、逆に言うと、なぜ単純な理論計算はあまり観測地震波形を合わせられないのか、大変興味を感じて、徹底的に調べてみたいと思ったのだが、残念ながら、そのままになってしまった。

今から考えると、1980年前後は、地震波動の研究の1つの区切りだったのかも知れない。その後の地震波動の研究については、瀬藤・竹中（1990）の総合報告に詳しい。

## 11. 地方大学での苦闘

筆者が当時勤めていた富山大学の大型計算機センターのホスト計算機の能力は、1980年代前半、東京大学や京都大学のホスト計算機の1/200で、東京大学時代に作った多くのプログラムが走らず、悩みに悩んだ。東京大学や京都大学の同じ世代の研究者達が、どんどん研究を進めているのがうらやましかった。東京大学や京都大学に約7年遅れて、1985年、富山大学に分散処理式の大型計算機が入り、やっと穿孔カード方式から解放された。計算機の能力は東大や京大の1/20にまで追いついた。

貧弱な研究環境になやみながら、いやそうだからこそ、日本発信型のオリジナリティの高い研究をしたいという思いは募るばかりであった。「日本発信型のオリジナリティの高い研究」というのは、筆者にとって次のようなものであった。

- [11-1] 地震波動の理論計算を出撃基地としながら、
  - [11-2] MIT, CIT, Harvard でもやっていない、
  - [11-3] しかし地球ダイナミクス理解にとって本質的に重要である研究
- をゲリラ的に行うことが、神様が筆者を地方大学においた意図だと思った。この様な思いから、筆者は、異方性の研究やスロー地震の研究にのめり込んでいった。

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1/C & kF/C & 0 & 0 & 0 \\ -\rho\omega^2 & 0 & 0 & -k & 0 & 0 \\ -k & 0 & 0 & \gamma_2 & 0 & 0 \\ 0 & -kF/C & -\rho\omega^2 + k^2\gamma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\rho\omega^2 + k^2N & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & P_{M13} & 0 & P_{M15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{M34} & 0 & P_{M36} \\ 0 & P_{M42} & P_{M43} & 0 & P_{M45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{M54} & 0 & P_{M56} \\ 0 & P_{M62} & P_{M63} & 0 & P_{M65} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \end{pmatrix} \quad (\text{A.21})$$

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= A - F/C^2, & \gamma_2 &= L/(C_{44}C_{55}), \\ P_{M13} &= -P_{M42} = kA_2 \cos(2\phi), & P_{M15} &= -P_{M62} = -kA_2 \sin(2\phi), & A_1 &= (C_{11} - C_{22})/2, & A_2 &= (C_{13} - C_{23})/(2C), \\ P_{M34} &= -P_{M56} = \Delta_3 \cos(2\phi), & P_{M36} &= P_{M54} = -\Delta_3 \sin(2\phi), & \Delta_3 &= (C_{44} - C_{55})/(2C_{44}C_{55}), & \Delta_4 &= CA_2^2/2, \\ P_{M43}/k^2 &= -\Delta_4 + [\Delta_1 - 2FA_2] \cos(2\phi) + (P_z - \Delta_4) \cos(4\phi), & \Delta_5 &= (-\Delta_1 + FA_1/C + P_z A_2)/2, \\ P_{M45}/k^2 &= P_{M63}/k^2 = \Delta_5 \sin(2\phi) + \Delta_6 \sin(4\phi) + P_z A_2 \sin(6\phi)/2, & \Delta_6 &= (-P_z + FP_z/C + A_1 A_2/4). \\ P_{M65}/k^2 &= -\Delta_4 - (P_z - \Delta_4) \cos(4\phi) \end{aligned}$$

(A21) in Kawasaki and Koketsu (1990)

$$\begin{aligned} P_z &= (C_{11} + C_{22} - 2C_{12} - 4C_{66})/8, & A &= (C_{11} + C_{22})/2 - P_z, & C &= C_{33}, \\ F &= (C_{13} + C_{23})/2, & L &= (C_{44} + C_{55})/2, & N &= C_{66} + P_z, & A - 2N &= C_{12} + P_z. \end{aligned}$$

Fig.21. The eigenequation for surface waves in a generally anisotropic medioium. This is a general extension of those of Takeuchi and Saito (1972) in a transversely isotropic medium. Cmn are Love(1927)'s notation for elastic constants. After Kawasaki and Koketsu (1990).

## 12. スロー地震と地震予知研究センターへの転任

話はずれるが、1988年6月、福井で、福井地震40周年記念シンポジウムが開催された。このとき、会場でパネル展示されていた被災写真を見ていて、突然、「地震学を志した以上、予知を通して人々の苦しみを減らす努力をしなければウソだ」という「予知への思い」が心の中に湧き起こった。それまでは、「地震予知など科学ではない、かかわりたくない」と思っていた。

「MIT, CIT, Harvard でもやっていない、しかし地球ダイナミクス理解に本質的に重要な研究をやりたい」という思いと「予知への思い」が交差するところが「スロー地震の研究」であった。

「起きてしまった地震の研究などいくらやっても予知など出来るわけではない。地震が起こっていないときに、どの様に地下の変動が進んでいるかを知ることこそが予知へ至る道に違いない」と思って、スロー地震の研究に没頭することになった。もともと、1995年兵庫県南部地震を契機として急進展した地震そのものの研究によって、その考えは一方向的過ぎることも分かった。今では、「地震そのものの研究と、地震が起こっていないときの地下の変動の両方をよく理解することが、それぞれを理解するために重要だ」という当たり前の結論に導かれた。

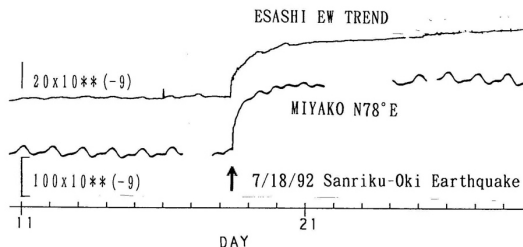


Fig.22 Two week strain records at Esashi, NAO, and Miyako, Tohoku University, due to the 1992 Sanriku earthquake. After Kawasaki et al. (1995).

Fig.22 は、1992年三陸沖地震の前後1週間の地殻変動連続観測記録である。ティップマークの間隔は1日である。この記録が、マグニチュード7.5に匹敵する巨大なプレート間モーメントを1~2日かけてゆっくり解放したスロー地震の最初の発見であった(Kawasaki et al., 1995)。

「断層近地場の地震波の研究をしていたので、スムーズにスロー地震の研究に移行できた」ということが出来る。「ゆっくり変化した地殻歪みは近地場項だ」ということがすぐに分かったからである。

Fig.23 はアスペリティとスロー地震のマッピングである。赤はアスペリティ、青が余効滑り、緑がサイレント地震である。東北日本と西南日本のプレート境界の摩擦特性が違うことが一目で分かる。そのご、観測事例も増え、スロー地震が存在すること自体はすっかり「確立された事実」になったが、発生メカニズム、特に巨大地震との関係がよく分かっていない。詳細は、拙著『スロー地震とは何か』(NHKブックス、2006)を参照されたい。

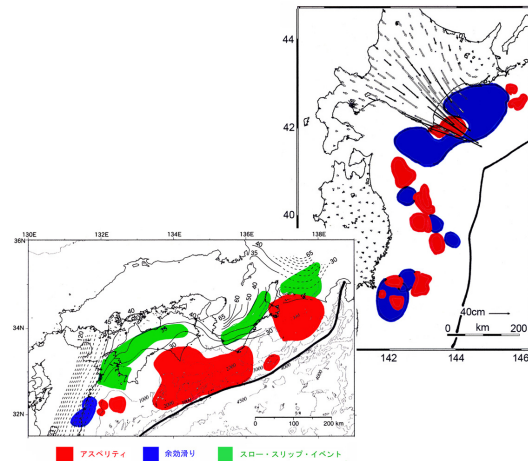


Fig.23. Mapping of seismic asperities (red), silent slow slip events (green) and afterslips (blue), respectively. Modified from Kawasaki et al. (2004).

2002年、防災研究所地震予知研究センターへ転任することとなった。それは、スロー地震の研究が地震予知にとっても重要だと言うことになりからであると理解している。

## 13. 最近の成果

再び断層近地場の地震動に戻る。

1999年台湾集集地震が起こった。Fig.24右図の赤線を境に西側が東側に向かって沈み込む低角逆断層型の地震であった。

台湾には、全島に加速度計の観測網が展開されており、台湾集集地震の時、多くの観測点で断層極近地場の観測記録が得られた。Fig.24左半分は、これらの観測点での加速度記録、一回積分した速度波形、もう一回積分した変位波形が示されている。加速度記録の場合は地殻構造の不均質や地震断層の拡大プロセスの複雑さなどの影響を受けやすく波形が複雑で、観測点による差異が大きい。変位では、Fig.10 の様な片ランプ型の基本的特徴を共通して備えていることがわかる。

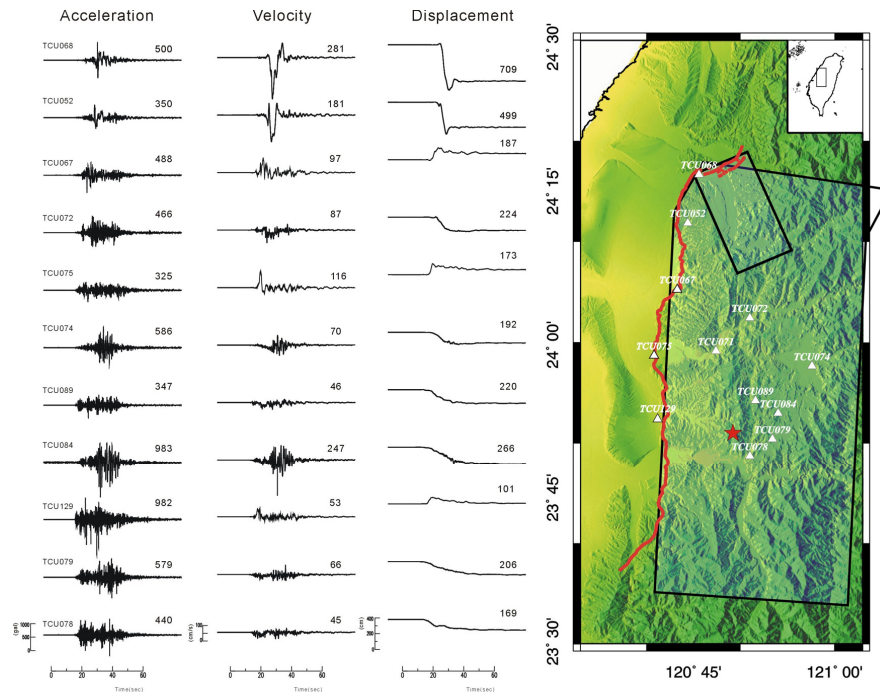


Fig.24. A larger rectangle in right map was surface projection of seismic fault of the 1999 Taiwan earthquake. White triangles were accelerometer stations. A red line was surface trace of the Chelungpu fault. Velocities and displacements in the left panel were integrated from the acceleration records. After Ma et al. (2003).

Fig.24 は、ある意味で、地震学の理想である。変位波形の微妙な地域差が、直下の断層面での滑り特性、従って断層面の摩擦特性の地域差を示しているからである。

Fig.25 に、産総研で行われた、大阪平野中央部を南北に走る上町断層の「断層モデルによる強震動予測」の概要を示す。中央のアスペリティ分布図から分かるように、仮想アスペリティは深さ5kmから

15kmに分布する。

Fig.25の左図が予測震度で、地盤の悪い東大阪と大阪中心部は、震度6から震度7となる。逆断層であるが、傾き50度の高角でアスペリティも深いので、1945年三河地震ほど断層線を境界にした非対称性は大きくない。ここでは波形は示さないが、断層直上の観測点の模擬変位波形の主要部は、片ランプ型の特徴を備えている。

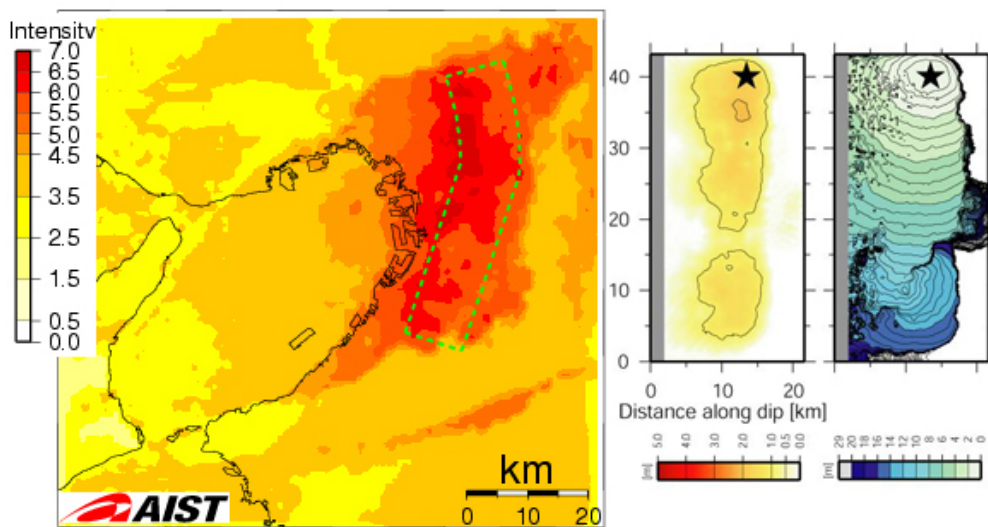


Fig.25 Middle was presumed asperity distribution on Uemachi fault, Osaka. Right was snapshot of rupture propagation. Left was seismic intensities predicted by the rupture propagation model. After Sekiguchi et al. (2002).

繰り返すが、断層近地場の地震動を単純化すると Fig.10 の様になる。現実には、地震断層からの距離、震源過程の複雑さ、地殻構造の複雑さなどによって、波形も複雑になっていく。波形が Fig.10 の単純な波形から離れるほど、地震断層面から距離があり、地震断層拡大プロセスが複雑であることを意味している。

今までの議論を整理すると、あらつぽく、  
 [13-1] 断層極近地場では、1 g 近く、1m/秒程度の衝撃的地震動は不可避、  
 [13-3] 入力地震動の模擬加速度波形が現実的かどうかは、2回積分して得られる変位波形が Fig.10 の変位の片ランプ関数型の様な特徴を備えているかどうかチェックポイント、  
 と言うことが出来るだろう。断層モデルによる強震動予測を基本とすることが重要である。

#### 1 4. 災害社会

数年前のある日、東大阪市役所の22階の展望ロビーからの眺望に衝撃を受けた。1950年代、筆者が小学生であった頃、東大阪は一面田圃であった。年寄りが「このあたりは、昔は田圃にすらならない沼地が多い場所だった」と言っていたのを記憶している。今は、そこを住宅地が埋め、消防車も入れないような狭い道が昔の小川などに沿ってくねくねして続いている場所が少なくない。Fig.25 の予測によると、上町断層が動くと、ここを震度7の地震動が襲う。



Fig.26. Distribution of high-vulnerable areas in Osaka city. After HP of Osaka city.

西を向いて大阪中心部を遠望すると、無数の超高層ビルが乱立している。ここが震度7（加速度で1 g 近く、変位で1 m～2 m）の断層極近地場の地震動で揺られると、超高層ビル群にどのような被害が生

じるのであろうか。

Fig.26 は、大阪市の老朽住宅密集市街地の分布である。密集住宅市街地は、上町断層の上盤にも下盤にも広がっている。ここが震度7の地震動に襲われて多くの場所から火が出ると、被害はどの様になるのであろうか。

とはいえ、発生確率も考慮に入れると、大阪平野にとって最も現実的な仮想敵はむしろ南海地震であろう。その場合は3分に及ぶ長周期地震動が大阪平野を襲うことになる。

いずれにせよ、被害を受けないために重要なことは「家が倒れないこと」である。従って、耐震診断・耐震補強が重要だということは明らかなのに、耐震補強は進まない。

そんなことを考えていたある日、Fig.27 の記事を見て、一気に核心が分かった様な気がした。加えて、橋木俊昭の『格差社会—何が問題なのか』は非常に理解の助けになった。



Fig.27 An article of Asahi shinbun on September 25, 2007.

年収200万円以下で生活していれば、いくら耐震補強が重要だと言っても、そんな余裕などあるはずがない。「200万円以下で生活している多くの貧困者を抱えている日本の社会は、本質的に災害脆弱な社会である」と言える。逆に言うと、「災害に強い社会にするには、格差を是正することが不可欠

だ」と言えよう。

その思いを一気に文章にし、京都大学学術出版会から『災害社会』を上梓させていただいた。断層近地場の地震動のことが頭の片隅に無ければ、この様な本を書こうというモチベーションに至らなかったかもしれない。

研究者として駆け出しであったころ、確か浅田敏だったと思うのだが、『「これだけは世界で誰にも負けない」という専門分野を持ちなさい。そして、「そこから全体に向かって何が発言できるか?」を考えなさい』と言われた記憶がある(記憶違いかもしれない)。ひょっとしたらこういうことかなと思った。

こういうことを考えながら改めて思ったのであるが、格差が是正された文化的に豊かな社会になっても、どうしても、そこから漏れる人々が出てくる。そのような人々の為の地震防災として、「地震予知」はやはり重要なのではないだろうか。地震予知研究のいっそうの発展を期待したい。

## 15. まとめ

小論の性質上、通常の論文のようなまとめはない。ただ、筆者が強調しておきたいことを再掲して、まとめにかえたい。

断層近地場の地震波の特質を議論する場合、次のように区別しておくとうわかりやすい。観測点が地震断層のサイズ以内で遠地場項は無視できる**断層極近地場**、主要動のパルス幅がS-P時間より小さい近地場項は無視できる**遠地場**、主要動のパルス幅がS-P時間より大きく近地場項と遠地場項の両方を考慮することが必要な**やや近地場**。

別の視点から言うと、「断層極近地場では、断層滑りが波形を決める卓越要素」になり、「遠地場では地震断層面の拡大プロセスが卓越要素」になる。

1945年三河地震の被害の非対称性は、低角逆断層の場合、地震動そのものが上盤では下盤より桁違いに大きいことによる。

断層極近地場の地震動を考える要点として、断層極近地場では、1 g 程度、1m/秒程度の衝撃的地震動は不可避であろう。断層極近傍の地震動の特徴は、加速度では、地震断層面と断層滑りに平行な成分は単純な1サイクル、地震断層に直交する成分は2サイクルのパルス状の振動になる。

異方的媒質の弾性波動の問題を理論的に解くには、Stokes (1849) の枠組みを抜け出す必要がある。本質的に理解の枠組みを広げるには、forward problem と inverse problem の両方が必要であろう。

「まとめ」としてはまとまりが欠け、大変申し訳ないが、「特別講演」では、このようなことも許容範囲内と理解している。また、言及しなかった重要な論文も多い。合わせて御寛恕をお願いしたい。

## 謝 辞

この原稿の素材となった研究は、東京大学における大学院生時代から多くの方々を支えられてきた研究である。恩師の佐藤良輔を始め、東京大学、富山大学、京都大学におけるすべての関係者に深甚の感謝を捧げたい。人名には敬称を省いた。この点についてもお許しを頂きたい。名前を挙げた方々の所属は、研究者として主として過ごした機関を示した。岩田知孝博士には、原稿を読んでコメントを頂いた。

## 参考文献

- Aki, K. (1968): Seismic displacements near a fault, *Journal of Geophysical Research*, 73, 5359-5376.
- Aki, K. and Richards, P. (2002): *Quantitative Seismology*, second edition, University Science Books, Herndon, VA, USA.
- 安藤雅孝・川崎一郎 (1973): 低角逆断層近傍の加速度, 昭和48年度地震学会秋季大会講演予稿集, pp.107.
- Burridge and Knopoff, L. (1964): Body force equivalents for seismic dislocations, *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.54, pp.1875-1888.
- Cagniard, L. (1939): *Réflexion et Réfraction des ondes Séismique Progressives*, Gauthiers-Villars, Paris.
- Cagniard, L. (1962): Reflection and refraction of progressives Seismic waves, Trans. by Flinn, E. A. and Dix, C. H., McGraw-Hill, New York.
- Cauchy, A-L. (1822): Sur les equations qui experiment les corps ou le lois du mouvement interieur d'un corps solids, elastique, *Exercices de mathematiques*, Vo.3, pp.160-186.
- Euler, L. (1744): *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minive proprietate graudentes*, LEOO, I-XXIV.
- Haskell, N. A. (1969): Elastic displacements in the near-field of a propagating fault, *Bulletin of Seismological Society of America*, Vo.59, pp.865-908.
- Honda, H. (1931): On the initial motion and the types of the seismograms of the North Izu and the Ito earthquakes, *Geophysical Magazine*, Vol.4, pp.185-213.

- Hooke, R. (1678): Lectures de potentia restitutiva, , or of dpring, Royal Society of London.
- Irikura, K. and I. Muramatsu (1982): Synthesis of strong ground motion from large earthquakes using observed seismograms of small events, Proceeding of 3rd International Earthquake Microzonation Conference, Vo.1, pp.447-458.
- 石本巳四雄 (1929) : 地震発生の機巧について, 東京大学地震研究所彙報, Vol.6, pp.127-147.
- Kanamori (1972): Determination of effective tectonic stress associated with earthquake faulting. The Tottori earthquake of 1943, Physics of Earth Planetary Interiors, Vol.5, pp.426-434.
- Kawasaki, I., Suzuki, Y. and Sato, R. (1973): Seismic waves due to a shear fault in a semi-infinite medium. Part I: Point source, Journal of Physics of the Earth, Vol.21, pp.251-284.
- 川崎一朗 (1974) : モホ不連続面で反射・屈折された地震波, 地震2, Vol.27, pp.372-376.
- Kawasaki, I. (1975): On the dynamical process of the Parkfield earthquake of June 28, 1966, Journal of Physics of the Earth, pp.127-144.
- Kawasaki, I. (1975): The focal process of the Kita-Mino earthquake of August 19, 1961, and its relationship to a quaternary fault, the Hatogayu-Koike fault, Journal of Physics of the Earth, Vol.23, pp.227-250.
- Kawasaki, I. (1978): The near-field Love waves by the exact ray method, Journal of Physics of the Earth, Vol.26, pp.211-237, 1978.
- Kawasaki I. and Koketsu, K. (1990): Rayleigh-Love wave coupling in an azimuthally anisotropic medium, Journal of Physics of the Earth, Vol.38, pp.361-390.
- Kawasaki I., Asai, Y., Tamura, Y., Sagiya, T., Mikami, N., Okada, Y., Sakata, M. and Kasahara, M. (1995): The 1992 Sanriku-Oki, Japan, Ultra-slow earthquake, Journal of Physics of the Earth, Vo.43, pp.105-116.
- Kawasaki, I. (2004): Silent earthquakes occurring in a stable-unstable transition zone and implications for earthquake prediction, Earth Planet Space, Vo.56, pp.813-821.
- 川崎一朗 (2006) : スロー地震とは何か, 日本放送協会, 東京.
- 川崎一朗 (2009) : 災害社会, 京都大学学術出版会, 京都.
- Kobayashi, R. and Koketsu, K. (2005): Source process of the 1923 Kanto earthquake inferred from historical geodetic, teleseismic, and strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol.57, No.4, pp.261-270.
- 瀧藤一朗・竹中博士 (1989) : 近地地震波の伝播に関する理論, 地震2, Vo.42, pp.391-403.
- Kosevich, A.M. (1962): The deformation of field in an isotropic elastic medium containing moving dislocations. Sov. Phys. JETP, Vo.15, pp.108-115.
- Koto, B. (1893): On the cause of the great earthquake in central Japan, Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Vol.5, pp.295-353.
- Lamb, (1904): Lamb, H., On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid, Philosophical Transactions of Royal Astronomical Society of London, Series A, Vol.203, pp.1-42.
- Landau, L. D. and Lifshits, E. M. (1970): Theory of elasticity 2nd edition (in Russian), Nauka, Moscow.
- ランダウ・リフシツ (1972) : 弾性理論, 佐藤常三訳, 東京図書.
- Love, A. E. (1927): A treatise on the mathematical theory of elasticity, Dover publications, New York, USA.
- Ma, K.-F., Brodsky, E., Mori, J., Ji, C., Song, T.-R., and Kanamori, H. (2003): Evidence for fault lubrication during the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake (Mw7.6), Geophysical Journal Research Letters, Vol.30, No.5, 1244, doi: 10.1029/2002GL015380, 2003
- Maruyama, T. (1963): On the force equivalents of dynamic elastic dislocations with reference to the earthquake mechanisms, Bulletin of Earthquake Research Institute, Vol.41, pp.467-486.
- Nakano, H. (1925): On Rayleigh waves, Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, Vol.2, pp.233-326.
- 日本地学史編纂委員会(2003) : 日本の地学の展開 (大正13年~昭和20年) <その3>, 地学雑誌, Vol. 112, pp. 131-160.
- Rayleigh, J. W. S. (1885): On Waves Propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid, Proceedings of the London Mathematical Society, s1-17, pp.4-11.
- Reid, H. F. (1910): The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2, pp.16-28, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Sato, R. (1969): Formulations of solutions for earthquake source models and some related problems, Journal of Physics of the Earth, pp.101-110.
- Sato, R. (1973): Seismic waves due to a dislocation

source model in a multi-layered medium, *Journal of Physics of the Earth*, Vol.21, pp.155-172.

関口春子・加瀬祐子・堀川晴央・佐竹健治・杉山雄一・Arben Pitarka (2002) : 大阪平野における地震動予測の試み—動的地震破壊シナリオと3次元地下構造モデルによる地震動計算—, 活断層・古地震研究報告, No. 2, 341-357.

志田順 (1917) : 地震ノ初動ニ関スル研究, 東京数学物理学会年会.

Stokes, G. G. (1849): *Dynamical theory of diffraction*,

*Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol.9, pp.1-62.

橘木俊詔 (2006) : 格差社会—何が問題なのか, 岩波新書, 岩波.

武村雅之 (2003) : 関東大震災—大東京圏の揺れを知る, 古今書院.

Takeuchi, H. and Saito, M. (1972): *Seismic surface waves*, In Bolt, B. A. editor, *Seismology: Surface waves and free oscillations*, *Methods in Computational Physics*, 11, 217-295, Academic Press, New York.

## **A Review of Development of Theoretical Studies of Seismic Waves with the Intent Toward Earthquake Hazard Reduction in Japan**

Ichiro KAWASAKI

### **Synopsis**

After a brief review of history of classical theory of Stokes (1849), Lamb (1904) and Honda (1931) to introduction of “dislocation in continuum medium” into seismology in 1960’s, I summarize my own theoretical studies in 1970’s, focusing on seismic wave theory in the nearfield and their applications to the acceleration records due to the 1966 Parkfield earthquake and the asymmetric distribution of collapsed houses with reference of surface fault trace of the 1945 Mikawa earthquake. Finally, I refer recent development of theories and observations.

**Keywords** : dislocation in a continuum medium, Cagniard theory, semi-infinite medium, seismic nearfield, 1945 Mikawa earthquake, 1966 Parkfield earthquake



## 2009年台風MORAKOTによる台湾水・土砂災害

藤田正治

### 要 旨

台風MORAKOT(8号)は2009年8月7日に台湾東部に上陸し、7日から9日にかけて、3日間雨量が世界記録にほぼ匹敵するような豪雨をもたらした。中南部を中心として甚大な土砂災害や洪水災害を引き起こした。死者は700人にもものぼる大惨事であった。積算雨量が極めて大きいこの台風により、高雄県甲仙郷小林村では、表層崩壊、深層崩壊、土石流、天然ダムの形成と決壊が連続して発生し、一夜にして村が壊滅した。気候変動により降雨の極端現象が増加すれば、我が国でもこのような複合土砂災害は増加すると思われる。早急に対策を考えておく必要がある。本報告は、土木学会と砂防学会の調査団による台湾における台風MORAKOT災害の調査結果を取りまとめたものである。

**キーワード：** 台風Morakot, 台湾, 台風災害, 土砂災害, 洪水災害, 小林村

### 1. はじめに

台風MORAKOT(8号)は2009年8月3日に発生し、8月7日23時50分ごろ台湾東部の花蓮県に上陸、その後ゆっくり台湾を横断し、8月8日14時ごろ北部の桃園県から台湾を抜けた。その結果、7日から9日にかけて、3日間雨量が世界記録にほぼ匹敵する豪雨をもたらした。中南部を中心として土砂災害や洪水災害が発生した。台湾では八八水災と名付けられている。10月14日現在の死者は698人、行方不明者は59人、農業損害額165億元を超える大惨事である。土木学会と砂防学会は調査団を結成し、2009年12月21日から12月30日の間、国立成功大学防災研究センター（センター長謝正倫教授）の協力のもとに合同調査を実施した。Fig. 1は調査地域を示したもので、高雄県の高屏流域、台東県太麻里流域、知本流域、南投県陳有蘭流域、台南県曾文流域、屏東県平野部において、土砂災害、洪水氾濫災害、橋梁被害、流木被害などについて調査した。土木学会調査団は、藤田正治（団長、京都大学）、関根正人（早稲田大学）、中北英一（京都大学）、檜谷治（鳥取大学）、石野和男（大成建設）、片田敏孝（群馬大学）、堤大三（京都大学）、堀田紀文（砂防学会調査団兼任、東京大学）、張浩（京都大学）、中川一（オブザーバー、京都大学）、砂防学会調査団は、宮本邦明（団長、筑波大学）、原義文（土木研究所）、権田豊（新

潟大学）、地頭園隆（鹿児島大学）、今泉文寿（筑波大学）、藤本将光（京都大学）からなる。本報告は、これらのメンバーによる災害調査結果を取りまとめたものである。

### 2. 気象条件

Fig. 2は台風MORAKOTによる総降雨量の分布を示したもので、最も濃い地域が2,600～2,800mmの降雨量である。強い雨域は台湾中南部の阿里山脈、玉



Fig. 1 Investigation Basins

山山脈，中央山脈の西側に集中している。Fig. 3は高雄県茂林郷御油山における降雨強度の変化を示したもので，降雨継続時間は約90時間，その間の平均降雨強度は約30mm/hrであり，高強度の降雨が極めて長い時間続いたことがわかる。Fig. 4は積算雨量の変化を示したもので，総雨量は2,558mmに達している。嘉義県阿里山郷阿里山では総雨量が2,884mmに達し，3日間雨量は2,748mmであり，成功大学防災研究センターの解析では2,000年以上の確率降雨量と見積もられている。これらの図には台湾での主な台風や伊勢湾台風のデータも示されているが，今回の台風は伊勢湾台風よりはるかに多量の降雨をもたらし，2004年の台風AEREが連続して2つ来襲したような規模である。Fig. 5は様々な時間スケール毎の降雨量の世界記録と台風MORAKOTによる降雨量を比較したものである。短時間雨量では世界記録に及ばないが，3日間雨量ではほぼ世界記録に匹敵している。

このように，降雨特性として，高強度の豪雨が広範囲に長時間継続し，きわめて多量の降水量をもたらしたことがあげられ，これが後述のように複合土砂災害の原因となり，災害情報の把握や救援活動にも支障を与えた大きな要因と考えられる。

### 3. 災害の概要

前述のような異常豪雨によって，南投県，嘉義県，台南県，高雄県，屏東県，台東県（位置はFig. 1参照）にわたる広範囲な地域に多様な災害が起こった。Fig. 2は災害地域を大きく4つの地域に分けたときの主な災害形態を示したもので，南投県，嘉義県，高雄県，台東県の山地部では土砂災害，台南県，屏東県では氾濫災害が発生した。土砂災害の地域と総降雨量800mmの領域はほぼ一致していることがわかる。

山地部では斜面崩壊や土石流がいたるところで起

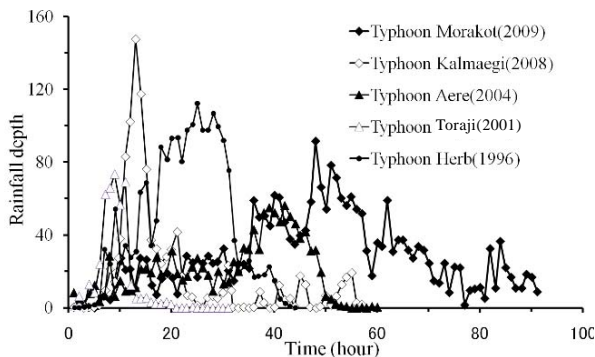


Fig. 3 Change of rainfall intensity with time in Maolin Township, Kaohsiung County (Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, et al., 2009)

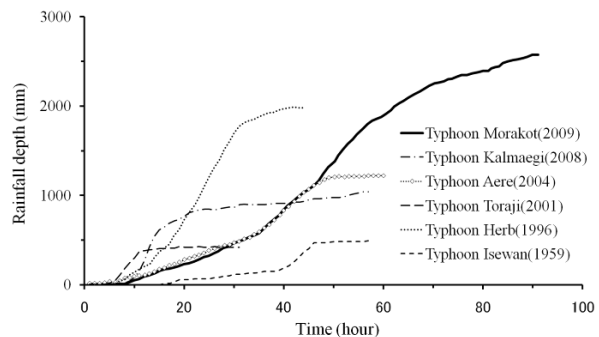


Fig. 4 Change of cumulative rainfall with time in Maolin Township, Kaohsiung County (Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, et al., 2009)

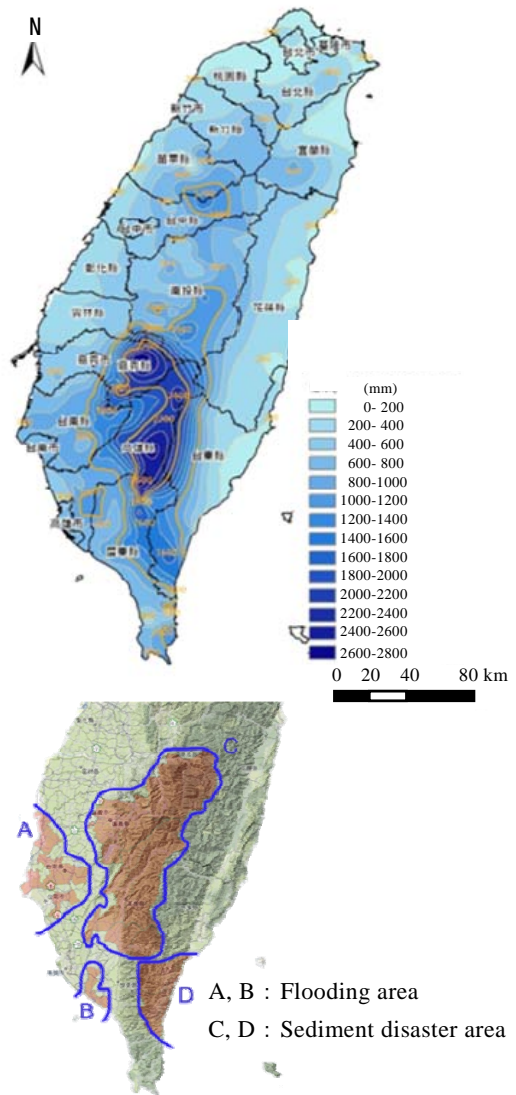


Fig. 2 Cumulative precipitation during 4 days from 10 a.m. 8/6 and flooding and sediment disaster area (Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, et al., 2009)

こり、総降雨量が極めて大きいため、深層崩壊の発生がたくさん見られ、16個の天然ダムが形成された。9個のダムは自然に決壊し、現在7個の天然ダムが残存している。高雄県六龜郷では、台風通過後の晴天時に天然ダムの決壊による洪水災害が発生している。支川からの大規模な土石流の流出により本川河道が閉塞され、その上流側に細粒土砂が堆積した後閉塞の解消によって堆積土砂が侵食されたと思われるような痕跡も多くみられ、洪水期間中に大規模で複雑な土砂動態があったことが推測される。土砂災害発生地域の崩壊面積率は災害前の1.27%から5.52%に増加し、12億 $m^3$ の土砂が生産され、4億 $m^3$ が河道に堆積、8億 $m^3$ がまだ斜面に残存していると見積もられている。

高雄県甲仙郷小林村では、小規模な土石流や浸水による被害から始まり、降雨イベントの最終段階で積算降雨量が限界に達した時に深層崩壊に襲われ、村が壊滅的な被害を受け、今回の台風による死者の約7割の440人以上の方が亡くなりました。このように、豪雨が長時間継続したことにより、異なる規模や形態の土砂移動現象が連続的に発生し、複合的な土砂移動現象により大規模な土砂災害が起こった。このような複合土砂災害は、気候変動により降雨条件が厳しくなれば、我が国をはじめ多くの国で問題となるものである。

洪水規模も大きく、台南県や屏東県の平野部では破堤による水や土砂の氾濫、40ヶ所の橋梁の流失、堤防の侵食などによる建物の倒壊などの多くの河川災害が発生した。また、天然林の山地で多数の崩壊が発生したため、多量の流木が流出し、橋梁被害だけでなく漁港などにも流木被害が出ている。

## 4. 土砂災害

### 4.1 高屏河流域（高雄県，屏東県）

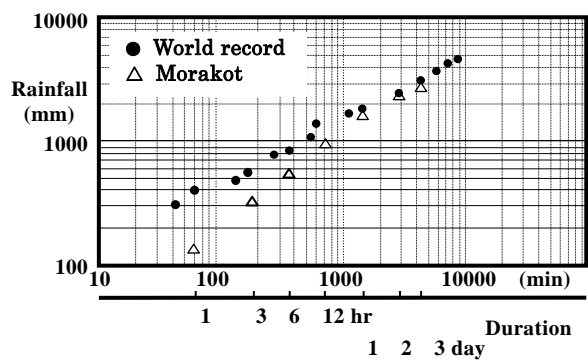


Fig. 5 Precipitation for different time scale by Typhoon Morakot and the world records (analyzed by DPRC, National Cheng Kung University)

### (1) 概要

高屏溪は、台湾最高峰の玉山（3,952m）を源流とし、南南西に流れて台湾海峡に流れ込む河川で、流路延長171km、流域面積3,257 $km^2$ の台湾第2の大河川である。上流域および下流の西側（右岸側）は高雄県、下流側の東側（左岸側）は屏東県に位置する。河口から約60kmの管理区間内の河床縦断面図を見ると、最下流域では1/5,000、15kmから40kmにかけては1/750、それより上流では1/100の急流河川となっている。Fig. 6は高屏溪の上流域と下流域を示したもので、西側に旗山溪、東側に荖濃溪の二つの支川が流れている。この流域では特に降雨量が大きく、崩壊面積率は台風前の1%程度から8%に増加した。河川水位は、7日から徐々に上昇し、最下流では8日9日の0時頃に洪水がピークに達しているようである。

### (2) 甲仙郷小林村の複合土砂災害

Fig. 6の⑦に位置する高雄県甲仙郷小林村（旗山溪流域）は200年以上の歴史を持つ村であるが、裏山の深層崩壊によって170軒近くあった家屋のうち、2軒

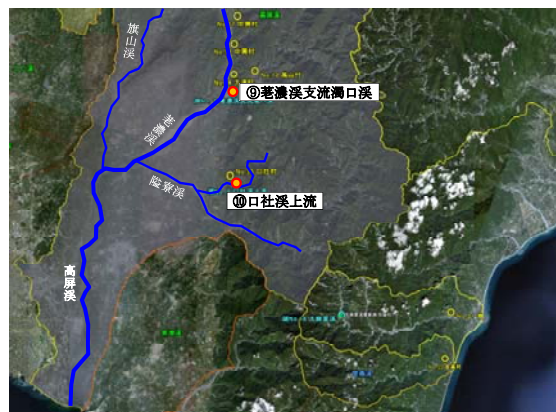


Fig. 6 Kaoping River Basin (Left: Upper reach, Right: Lower reach, Map by Google Earth)

を残し壊滅し、47名が生存したが500名近くの命が失われた。Photo 1は2008年11月に撮影された小林村である。Photo 2は災害調査時点の小林村の被災地の様子を撮ったもので、斜面の下に集落があった。Photo 3は深層崩壊のすべり面を示したものである。地質は砂岩と泥岩からなり、砂岩をすべり面として風化した泥岩（頁岩）が40～50mの深さで滑ったものと考えられる。この深層崩壊は集落を襲っただけでなく、一部は本川河道を閉塞し天然ダムを形成した。深層崩壊は頂上付近から発生しているが、斜面の下部にも小崩壊が発生したと見られている。大小の崩壊を含めた一連の崩壊プロセスについては現在検討中である。

Fig. 7は小林村の平面図を示したものである。旗山溪に合流する支川には橋がかかっており、下流側から8, 9, 10号橋と呼ばれている。小林村の直上流側には南豊橋が本川にかかっており、ここでは水位計測が行われていた。これらの橋は小林村の住民にとって村外へ通じる重要な避難路の一部である。Photo 4は災害直後の小林村の様子を高雄県消防局が撮影したものである。手前に見える流れは9号橋がかかっていた溪流である。

さて、台風MORAKOTによってPhoto 4のようになるまでのプロセスが様々な情報をもとに解析されている。まず、8月7日17時および23時に土石流に対する注意報、避難警報が発令されている。8月8日の19時には8号橋が土石流で流されたという目撃情報がある。8月9日6時ごろには9号橋が土石流により流失し、その後村が浸水した。その時点で、9号橋と8号橋の間の住民は裏山に避難した。結果的にはこの方々は生き残った。その後、深層崩壊、天然ダムの形成と決壊が起こったが、このタイミングは次のようなデータより時間が特定されている。まず、Fig. 8は小林村下流20kmにおける水位観測データであるが、8月9日7時ごろ急激な水位の低下がみられる。また、この地域に設置された地震計が8月9日の6時20分ごろ顕著な揺れを記録している。さらに、南豊橋に設置された水位計は6時ごろで記録が止まっている。これらのことから、深層崩壊は6時20分ごろ発生し、小林村を襲すするとともに、南豊橋から下流にかけて堆積し、天然ダムが形成されたと考えられる。その後、Fig. 8の水位変化から、7時ごろ天然ダムが決壊したものと考えられる。

以上のことから、Fig. 9に示すスネーク曲線上で、災害のプロセスを概観する。まず、土石流に対する避難警報が出た後、8日の19時に降雨強度がピークに達したころ、小林村下流の8号橋が土石流によって破壊された。この橋は今回被害のなかった小林村の南地区に通じるものである。その後時間雨量40mm程度



Photo 1 Siaolin village in November, 2008  
(Photographed by DPRC, National Cheng Kung University)



Photo 2 Siaolin village wiped out by multi-modal sediment disasters



Photo 3 Sliding surface of the deep landslide attacked Siaolin village

の強い雨が一晩中降り続き、夜明けごろ、9号橋に土石流が発生し、9号橋が破壊されるとともに村が浸水した。多分、この土石流により地形が変化し、流れに影響を及ぼした結果だと思われる。このとき積算雨量は2,000mmを超えていた。そして、積算雨量が深層崩壊発生の極限に達した8日6時20分ごろ、深さ40～50mの深層崩壊が発生し、小林村を襲った。一部の崩土は南豊橋直下流の河道を閉塞し、天然ダムを形成したが、40分後に決壊、洪水が発生したと見られる。その結果、Photo 4の様な状況になり、2軒を残して村は壊滅した。

積算雨量が2,000mmに達していなければ、8号橋が破壊されるだけで済んだと思われるが、長時間高強

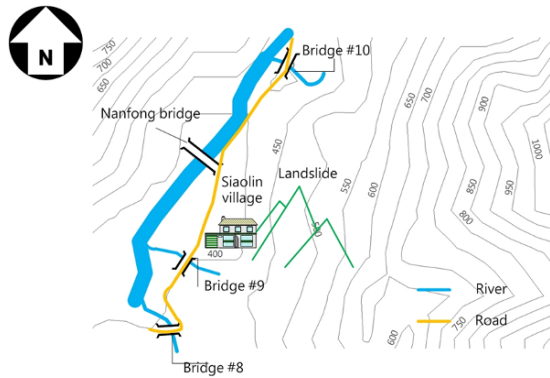


Fig. 7 Map of Siaolin village (Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, et al., 2009)



Photo 4 Disaster area in Siaolin village immediately after the typhoon passed (Photographed by Kaohsiung Fire Department)

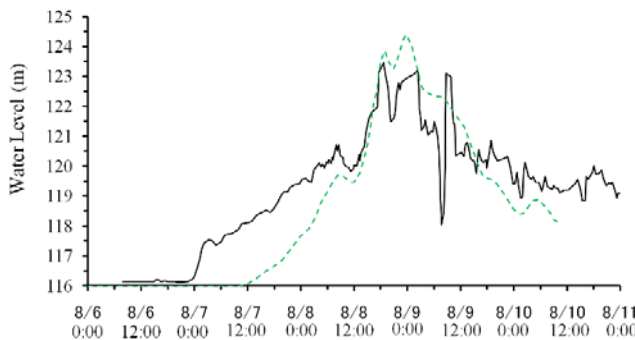


Fig. 8 Change in water level 20km downstream of Saolin village (The data was collected by DPRC, National Cheng Kung University)

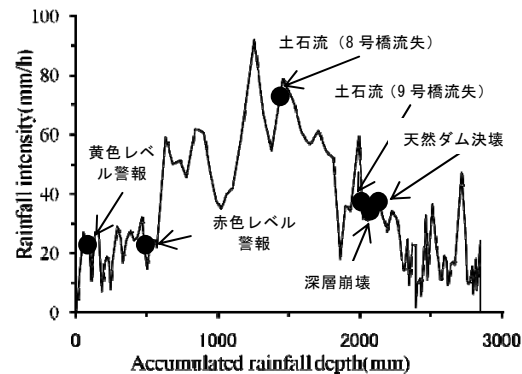


Fig. 9 Snake curve for rainfall by Typhoon Morakot

度の雨が続いたため、避難経路が断たれた状態で最終的に深層崩壊が発生した。このように、小規模な土砂移動から始まり、橋の破壊や浸水により避難が困難な状況になり、それに引き続いて深層崩壊、天然ダムの形成と決壊という大規模な土砂移動が起こった。このような連続した土砂移動現象による複合土砂災害が小林村での災害の特徴である。

### (3) 天然ダム

上流域を中心として数多くの斜面崩壊と土石流が発生し、多量の土砂が河川に流入している。また、この土石流によって、本川や支川では天然ダムが形成された。高屏溪流域では、Fig. 6に㊸で示した10ヶ所に大規模な天然ダムが形成されたことが確認されており、一部は決壊しないまま現在に至っている。

この天然ダムの決壊によって洪水被害が発生したケースが高雄県六龜郷寶來村(荖濃溪流域)で報告されている。台風が通過した8月11日の20時10分頃、上流側から洪水が段波のように流下し、上流側の橋梁の一部を破壊するとともに村内に流れ込んだ。地元の消防署の職員の話では、数秒間で急激に浸水し、数分後には水が引いたとのことである。橋脚に流木



Photo 5 Inundation due to flooding caused by collapse of a natural landslide dam

等が引っかかり、堰上げが起こったことで村内に水が浸入したが、すぐに橋梁が一部破壊されて堰上げが解消されたものと推察される。この洪水では最大1mの浸水が発生したが、人的被害はなかった。写真5は浸水した消防署内の洪水痕跡である。

### (4) 土砂の堆積・侵食

高屏溪支川荖濃溪の寶來村の上流の天然ダム地点より下流側の区間で、土砂の堆積、侵食状況を調査した。Photo 6の寶來村上流の写真はFig. 6の㊸の天然



Photo 6 Sediment deposition and erosion in Kaoping River

ダム直下流の区間で撮影されたものであり、河床上昇した様子が見て取れる。現地調査によると数10m上昇している。上述したように土石流による天然ダムが発生している区間であり、写真にみられるように堆積と侵食を繰り返した痕跡が河道に残されている。新發村周辺の写真は、Fig. 6の⑤の天然ダムの直下流区間で撮影されたものである。この区間でも10m程度の河床上昇が発生している。上流と同様に天然ダムの流入の影響により堆積と侵食が繰り返されている。

六龜大橋から高美大橋区間は水利局の管理区間の上流にあたり、河川勾配が1/100から急激に減少する区間である。そのため、写真に見られるように、上流域で生産され洪水で運ばれた土砂はこの区間で急激に堆積している。水利局では、計画河床が定められており、今回の洪水で計画河床高以上に堆積した土砂は、洪水後から緊急に河道外へ搬出されている。写真中には土砂運搬用に作られた河道内の道路が見られる。新威大橋はこの区間の中にあり、写真は災害2ヶ月後に撮影したものである。河道全体に土砂が平坦に堆積し、元河床から7m程度河床が上昇している。写真に見られるように災害後緊急掘削を行い新威大橋付近の通水断面の確保を図っていた。ここだけでなく、多量の土砂が堆積した箇所はたくさんあり、災害後の土砂の処理は当面の大きな課題である。

旗山溪合流点から下流区間では、輸送された砂礫成分が上流側で堆積するため、流下している成分は細砂あるいはシルト成分であると考えられる。写真は最下流の雙園大橋地点で撮影されたものであり、右岸側に大規模な側岸侵食や橋梁被害が発生してい

ることがわかる。橋梁被害は河床低下が原因であると考えられ、洪水時に河床低下が発生している可能性も考えられるが、河床変動に関する十分なデータは得られていない。

#### 4.2 濁水溪および支川陳有蘭溪流域（南投県）

濁水溪および陳有蘭溪はかつて度々土砂災害を受けた地域である。1999年の集集地震のあと、今回より規模の小さな台風TORAJIなどの台風でも、甚大な土砂災害が発生している。このときの土砂災害の特徴は、範囲は広いが小規模なものが多いことであった。集集地震後、一旦減少した土石流発生限界降雨量は増加し、今回の台風の前では、土砂災害に対して流域はかなり安定化していたと思われる。しかし、台風MORAKOTは異常な豪雨をもたらし、この地域に新たな斜面崩壊や土石流が発生した。集集地震後の斜面崩壊と異なり、今回の斜面崩壊の発生領域は狭いものの大規模なものが多いようである。また、台風TORAJIや台風HERBのとき土石流が発生した溪流では、今回はあまり土石流が発生しなかったようである。

濁水溪流域では斜面崩壊や土石流による死者はなかったが、濁水溪の中流付近の水衝部で約500mにわたって堤防が侵食され、堤防上の2車線道路の川側の1車線がなくなった。Photo 7は侵食箇所の上流箇所から下流側を見た写真である。このため自動車7台が川に落下し、10名の方が亡くなられた。Photo 8は水里郷山村の河岸侵食により落下しそうになった住宅の状況を示したもので、この村で約30軒が被災した。現在、新山悦城村という建設会社が建設した仮設住



Photo 7



Photo 8



Photo 9



Photo 10



Photo 11



Photo 12

Photo 7 Erosion of river-side lane of a road in Zhuoshui River; Photo 8 Bank Erosion in Shuili Town, Nantou Country; Photo 9 Damage to elementary school in Hsinyi Town, Nantou Country; Photo 10 Deep landslide in the upper Taimali River; Photo 11 Landslide dam in the upper Taimali River; Photo 12 Channel for drain

宅に避難している。Photo 9は南投県信義郷陳有蘭溪の隆華国民小学校の被災の様子を示したものである。この小学校から本川上流数百メートルの地点で合流する頭坑野溪では、大規模な土石流が発生し、土砂が本川に堆積した。その影響で流水の方向が変化し小学校側の河岸を侵食した結果、Photo 9のように被災した。また、この小学校は支川との合流部付近にあり、以前にもその支川からの土石流により被災している。このように、濁水溪、陳有蘭溪流域でも崩壊や土石流、天然ダム、河岸侵食が発生した。この流域の土砂移動現象の規模は高雄県より小さいといえども、建物、道路、農地に甚大な被害が出ている。しかし、幸いにも死者がなかったことが特筆される。先にも述べたように、この辺りは台風常襲地域で、集集地震の後も台風MORAKOTより規模のかなり小さい台風TORAJIによって土砂災害が発生しており、土砂災害に対する住民の意識は高い。今回も行政や地域の長の指示に従って、早期避難したことが人的被害のなかった一因だと言われている。ただし、避難所となっているコミュニティーセンターは本川と支川の合流部付近の狭いスペースに建てられており、今回の災害では問題なかったが、今後も安全とは言えないような立地条件に建てられていた。

#### 4.3 太麻里溪（台東県）

太麻里郷大麻里溪流域では、2004年ごろまで、800mmから900mmの雨で裸地が発生していたが、裸地面積率は1%以下であった。2005年の台風HAITANGも900mm程度の雨であったが、裸地面積率が2~3%になり、年年裸地面積率が上昇し、2009年の台風MORAKOTの平均1,150mmの雨で崩壊面積率は急増した。

Photo 10は太麻里溪上流の深層崩壊、Photo 11はそれによって形成された天然ダムの調査時点での写真である。元の河床から40m程度土砂が堆積し、その上に高さ10m程度の天然ダムが形成されたが、Photo 12のような排水路を作り、10mの水位を6mまで下げることで現在安定している。

太麻里溪の扇状地では、洪水氾濫・土砂氾濫による被害が発生した。その過程についてPhoto 13を参照しながら説明する。

①太麻里溪が蛇行を繰り返しながら扇状地に出た地点(扇頂部)がPhoto 13の左端に相当する。河川上流部で生産された土砂がこの区域に堆積したことで河床上昇が生じている状況下で河川は水位を増し、図の青線の位置にあたる湾曲部外岸の堤防上を越水、さらには破堤が引き起こされることになった。

②河川から流出した水は鉄道の盛土により堰き止められ、輸送されてきた土砂は、その上流側に堆積した。ただし、盛土を横切るように上げられた開口部からは流出可能であったためここに流れが集中し、

その流れによって盛土の下流側(図の右側)には新たな流路が刻まれていった。その後、図中の赤線に相当する区間の盛土が流出し、流れはこの区間を通過するように固定化された。写真に見られる流路がそれである。流路の深さは2~3 mほどであった。

③この間のいずれかの時刻に旧河道の堤防のほとんどが流出し、わずかな区間だけが図中の濃緑色の線として残っている程度となった。

④氾濫が生じた扇状地上では、新たな流路を除くほとんどの区域において堆積が生じ、その規模は1m未満とされている。

調査時には、旧堤防(図中のオレンジ色の破線)の位置に堤防が建設され、復旧が進められていた。しかし、洪水時にこの位置に河道を維持することは難しいと言わざるを得ず、付け替えが望ましいと判断される。なお、以上のプロセスは1日程度の短期間で生じており、その変化は極めて急なものであった。それにもかかわらず死者が6名と比較的少なかったのは、住民の避難が迅速であったためと推察される。

## 5. 洪水氾濫災害

台南県や屏東県の平野部では、破堤や越流により浸水被害があった。Fig. 10および11は成功大学防災研究センターの調査資料に基づき、屏東県と台南県の浸水深の分布を描いたものである。1m程度の浸水箇所が多いが、3、4mの浸水深の箇所もある。図中には破堤箇所や越流箇所も記している。Photo 14は屏東県での浸水や土砂氾濫の様子を示した写真である。鉄道橋での浸水と土砂の氾濫は、鉄道橋の高さが低いため流木がトラップされ、堰上げられた流水が右岸側に越流したために起こった。土砂の堆積厚さは2mにも及ぶ。台風前に堤防のかさ上げと鉄道橋の付け替えを行っていたが、今回の台風間に合わなかった。



Fig.10 Inundation depth in Pingdong Country



Photo 13 Situation after flooding and inundation

台南県の曾文溪でも何箇所かで破堤し、Fig. 11の様な浸水被害が生じた。上流には曾文ダムがあり、洪水調節によりピーク流量が低減されている。しかし、貯水位が上昇し堰堤を越流する危険が生じたため、途中で放流量を増加させた。洪水のピークカットはできているものの、下流の治水に十分な洪水調節を行うことはできなかった(Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, et al., 2010)。今後、このような異常な豪雨が発生した時の流域の治水を如何にするのかは、台湾だけでなく我が国でも重要な課題であろう。

## 6. 橋梁被害

高屏溪本川とその支川である旗山溪と荖濃溪に架かる29橋の橋梁の被害を調査し、被害等の特徴と日本の状況との比較結果を以下に示す。

①今回の水害は未曾有の水害で、橋梁設計では考慮されていない現象による被害であり、その中でも日本では見ることが少ない斜面崩壊や土石流に埋没した橋梁が6橋と多く見られた。

②日本に比べて橋台基礎の岩着部が弱く、これが主要因で壊れた橋梁が5橋と多く見られた(Photo 15)。

③未曾有の洪水流により河川が拡幅して取付部の

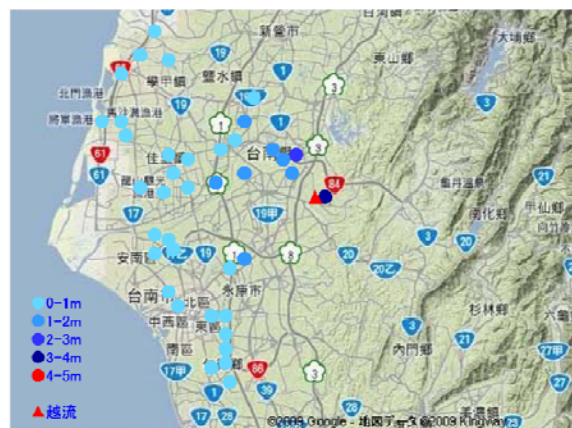


Fig.11 Inundation depth in Tainan Country





Photo 14 Inundation and sediment deposition in Pingdong Country (Left and center are provided by DPRC, Cheng Kung University)



Photo 15 A bridge whose pier is only broken



Photo 16 A bridge with broken abutment



Photo 17 Buckling of steel pipe pile pier



Photo 18 A bridge broken by local scouring

Note: Photo 16, 17 and 18 were provided by DPRC, Cheng Kung

土堤が流出したものが4橋と多く見られた(Photo 16)。

④桁上にコンクリート版製の高欄が設置されて洪水流の受圧面積が広い橋梁が多く見られ、桁のみが流出したコンクリート製の橋桁が3橋見られた。なお、コンクリート製の橋桁は、重量がトラスや合成桁よりも重くて、日本で桁のみが流出することは稀である。

⑤日本における橋脚は、岩盤において鋼管杭を施工することは稀であるが、台湾では、これが行われていて、鋼管が岩盤（軟岩）から剥れたり、座屈する現象が見られた(Photo 17)。

⑥最下流で河積の阻害率が高く河床低下と洗掘により倒壊したと推察された橋梁が見られた(Photo18)。

⑦交通の要衝の重要な橋梁では、早くも、復旧工事が始められていた。設計方針が不明であるので考察は不可能であるが、現況復旧では問題がある橋梁

が見られた。

以上から、日本でも今回と同規模の洪水が発生すると、斜面崩壊や土石流により埋没する橋梁が多く発生することが危惧される。

## 7. 流木災害

高雄県や台東県の奥地は檜などの天然林が多いようであるが、十分発達した森林においても斜面崩壊が多数発生し、流木の流出も非常に多かった。台東県の太麻里溪の流域では数万トンに及ぶ流木の流出があり、台東県の富岡漁港に被害を与えた。流木による橋梁被害や橋梁部での洪水の疎通能力の低下による流水や流砂の氾濫も見られた。太麻里溪の流木の中には、紅檜の1級品が3,900トン含まれ、その価格は1億元以上である。Photo 19は流木の集積場のほ



Photo 19 Accumulation of driftwoods (Left: high quality, Right: low quality)

んの一部の様子を示したものであるが、どれも天然林の大木で、樹幹と根茎部分がなくなっているのが特徴的である。このような大木が流出し、根茎がなくなっていることから、今回の土砂移動現象の激しさが想像される。紅檜の一級品は家具や檜オイルとして林務局が売買したり、被災者の住宅建築には無償で提供されるそうである。

## 8. おわりに

我が国において、近年、降雨強度の大きな豪雨、連続雨量の大きな豪雨の頻度が高まっており、様々な時間スケールの降雨量の記録更新のニュースをよく耳にする。気候変動に伴って、降雨の極端現象が増加することが予想されている中、このような事実は土砂災害対策を考える上で考慮しなければならない。今回のような高強度、高継続時間、広範囲の豪雨が発生すれば、我が国でも複合土砂災害の危険性が高まり、その際、災害情報の収集、避難活動や救助活動に障害が生じることが予想される。現在の避難予警報は、降雨特性値が基準値を超えたとき災害の危険性を知らせる仕組みになっているが、小林村での複合土砂災害を考えると、最終的に降雨量はどうなるのかを予測し、どのようなプロセスで規模や形態の異なる土砂移動現象が発生するのかを推測し、

それに応じた避難を行うことが重要であると考えられる。今後、今回のMORAKOT台風災害を教訓として、大規模な複合土砂災害に対する警戒避難システムを構築することが肝要である。

最後に、本報告に用いたデータや図の多くは国立成功大学防災研究センター、中興大学水土保持学系陳樹群教授、高雄局消防局、NHK取材班から提供されたものである。また、本報告は土木学会調査団、砂防学会調査団の災害調査検討会で議論したものを著者が整理したものである。ここに記して、関係各位に御礼申し上げます。

## 参考文献

- Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, Wen-Chi Lai, Yun-Chung Tsang, Shin-Ping Lee (2009): The composite hazard resulted from Typhoon Marakot in Taiwan, *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol.62, No.4, pp.61-65
- Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, Yu-Shiu Chen, Yuan-Jung Tsai and Wen-Hsiao Tseng (2010): An Overview of Disasters Resulted from Typhoon Morakot in Taiwan, *Journal of Disaster Research*, Vol.5, No.3, 236-244

## Sediment Disasters and Flood Disasters in Taiwan Triggered by Typhoon Morakot 2009

Masaharu FUJITA

### Synopsis

Typhoon MORAKOT (No.8) landed the Taiwan eastern part on August 7, 2009 and brought a heavy rainfall approximately equal to a world record for three days. It caused serious sediment disasters and flood disasters around middle and southern areas. The catastrophic disaster resulted in 700 dead people. By this typhoon with extremely large cumulative precipitation, a multimodal sediment disaster due to some shallow

landslides, a deep landslide, some debris flows, the formation and the collapse of the landslide dams took place occurred in Siaolin Village, Kaohsiung Country and the village was completely destroyed overnight. If extreme phenomena of the rainfall increase, it seems that such disasters occur frequently in our country, and it is necessary to think about measures for such a disaster immediately. This report gathered findings by the investigating group of Japan Society of Civil Engineering and Japan Society of Erosion Control Engineering.

**Keywords:** Typhoon Morakot, Taiwan, Typhoon disaster, sediment disaster, flood disaster, Siaolin village



## 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害

福岡 浩・羽田野袈裟義\*・山本晴彦\*\*・宮田雄一郎\*・汪発武\*\*\*・王功輝

\* 山口大学理工学研究科  
\*\* 山口大学農学研究科  
\*\*\* 島根大学総合理工学研究科

### 要 旨

平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨により防府市で土石流が多発し 14 名が死亡した。調査の結果、主要な災害発生の要因は防府で観測された 6 時間雨量 220.0mm が 245.9 年確率の集中豪雨であったこと、谷頭において防府市に広く分布するマサが崩壊し、土石流を引き起したことがわかった。一面せん断試験と水圧制御リングせん断試験により崩壊発生過程の再現を試みた。

**キーワード:** 集中豪雨, マサ, 土砂災害, 崩壊誘起土石流, リングせん断試験

### 1. はじめに

平成 21 年 7 月 19 日から 26 日にかけて中国地方の広島県, 山口県, および九州北部の福岡県, 佐賀県, 長崎県において大雨が降り観測史上 1 位を更新する箇所および土砂災害が多数報告され, 死者行方不明が防府市を中心とする山口県その他, 広島県, 福岡県, 佐賀県, 長崎県で報告された(気象庁 2009, 消防庁 2009)。気象庁はこの豪雨災害を「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」と命名した。

特に山口県防府市において 7 月 21 日午前記録的な豪雨により土石流災害が多発し 14 名の死者が発生したため, 直後に京都大学防災研究所, (社)土木学会, (社)日本地すべり学会関西支部の合同調査団が組織され, 7 月 28 日に防府市において土砂災害と被害の合同現地調査を実施し, 後日防災研究所単独の第二次調査団も組織された。その後, 羽田野を代表とする科研費突発災害調査費が認められ共同研究が実施された。本報ではこれらの調査結果に基づき防府市を襲った集中豪雨の気象的特徴, 防府市周辺の地質特性および, 土砂災害の概況, 土石流発生メカニズムについて述べる。

### 2. 防府市における集中豪雨の概要

防府市において集中豪雨が発生した 2009 年 7 月 21 日 9 時における地上天気図を Fig. 1 に示す。

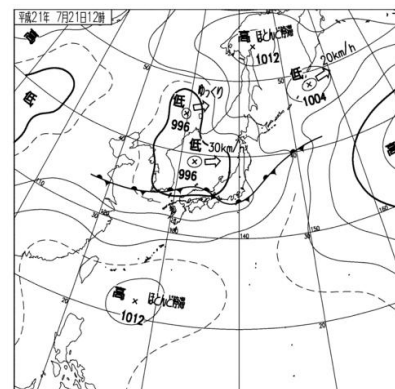


Fig. 1 Surface weather chart of east Asia on July 21, 2009. Baiu-front was passing by the Yamaguchi prefecture, which is activated by warm moisture-laden air flow.

梅雨前線が対馬海峡から山口県の北の海上をゆっくり南下し, 山陰沖から近畿地方を通過して東海地方に延びる前線に向かって東シナ海からの暖湿流の流入, 前線の活動が非常に活発化した。これにより, 梅雨前線に近い山口県では, 21 日明け方から激しい雨が降り始め, 8 時までの 1 時間に北部, 西部, 中部で 80mm 以上の猛烈な雨となった。8 時 30 分には, 山口市阿知須付近で 1 時間に約 100 ミリの記録的短

時間大雨が発生した。山口県の広い範囲で昼頃にかけて50mm/h以上の非常に激しい雨が降り、防府（アメダス）では明け方から昼過ぎにかけて270mmに達するなど各地で大雨となって、県内のほぼ全市町において土砂災害警戒情報が発表された。

Fig. 2には、2009年7月21日に防府（アメダス）で観測された1時間・10分間降水量の推移を示した。早朝の5時頃から雨が降り始め、6時前後に10分間降水量が15mmを超える第1の降水のピーク、さらに8時30分を中心とする第2のピークが認められており、8時40分には18.0mm/10分間、この前後で最大1時間降水量74.5mmを観測している。さらには11～12時には第3のピークが現れており、6時から13時までの6時間に220.0mmの集中豪雨に見舞われている。防府（アメダス）は1976年から気象観測を開始しており、リターンピリオド（再現確率）は最大3時間降水量126.0mmが48.7年、最大6時間降水量220.0mmが245.9年、24時間（日）降水量275.0mmは82.6年であり、6時間の短時間できわめて稀な降水に見舞われていることが明らかになった。

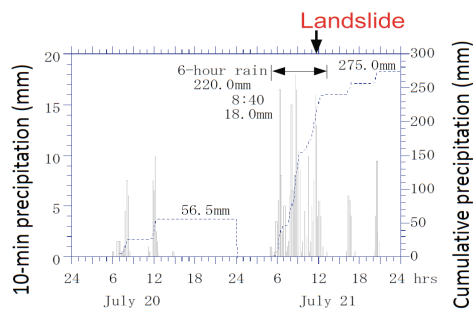


Fig. 2 Cumulative and 10 minutes precipitation recorded at JMA monitoring station in Hofu city. The maximum 6-hours precipitation starting at 6 am was 220mm, of which the return period was calculated to be 245.9 years.

山本らは1976年からの防府（アメダス）の観測データに、山口県の区内観測所（1950年～1975年）のデータを統合した雨量データベース（東山・山本, 2009）を構築しているが、60年間にわたるデータベースから、7月21日に観測された275.0mmは第1位の記録であり、さらに国土技術研究センターのモデルを用いた7月21日の午前6時からの6時間雨量のリターンピリオドは245.9年と極めて稀な豪雨であったことがわかる。

### 3. 防府市周辺の地質特性

防府市周辺では、佐波川（さばがわ）両岸の山地や丘陵地の大半が花崗岩類で占められている。これは「防府花崗岩」と呼ばれ、西南日本内帯山陽帯

の白亜紀花崗岩類に区分されており（Ishihara, 1977；石原, 1980）、今回と同様の土砂災害で知られる広島花崗岩と一連のものである。防府花崗岩体は、山口・防府・宇部の3市およびその周辺町村にまたがって分布し、南北38km、東西50kmの広がりを持つパソリスをなしている。調査地域周辺の地質図を図3に示す。周辺には周防（すおう）変成岩（Nishimura, 1998）が分布し、調査地域では南東部の大平山（おおひらやま）の尾根周辺にルーフペンダントとしてみられる（山本ほか, 2006）。泥質片岩を主とし、防府花崗岩による接触変成作用を受けている。

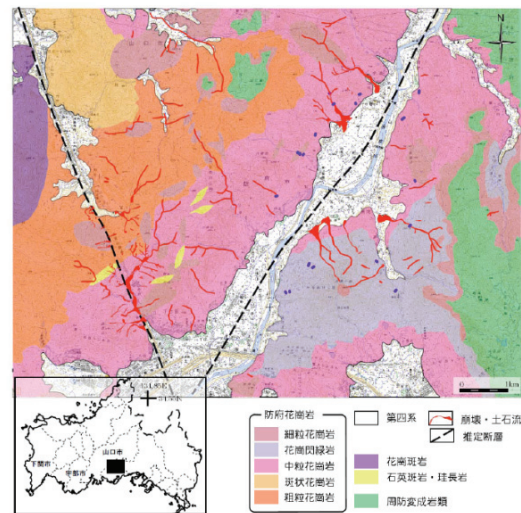


Fig. 3 Map of the geology and distribution of the July 2009 debris flow affected torrents in Hofu city. (Fukuoka et al., 2009)

山本ほか（2006）は、防府花崗岩をその組織や鉱物粒度による岩相の違いによって、粗粒花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩・花崗閃緑岩・細粒花崗岩の5タイプに区分した（Fig. 3）。粗粒花崗岩は佐波川より西側にのみ分布し、中粒花崗岩に貫かれ、その構造的上位にある。両者はシート状の形態を示す。斑状花崗岩は粗粒花崗岩と漸移する。中粒花崗岩は佐波川を挟んで最も広い分布域を有し、均質な黒雲母花崗岩からなる。花崗閃緑岩は佐波川東部に分布し、中粒花崗岩の上位にシート状に載っている。細粒花崗岩は小規模な分布を示し、上記花崗岩を高角で貫いているところと、周防変成岩の直下にシート状に貫入しているところがある。調査地域北西部-西部では、珪長岩・石英斑岩および花崗斑岩が、防府花崗岩に貫入している。

Fig. 3に示す斜面崩壊・土石流の分布は、国際航業株式会社、アジア航測株式会社、および株式会社パスコがそれぞれ空中写真判読から作成したものをまとめている。暫定的な分布図ではあるが、地質とよく対応していることがわかる。すなわち、斜面崩壊・

土石流の発生域はいずれも防府花崗岩の分布域にあたり、周防変成岩と石英斑岩および花崗斑岩の分布域には発生していない。粗粒・中粒・細粒花崗岩と斑状花崗岩・花崗閃緑岩では、発生頻度にとくに違いは認められない。花崗岩類には、しばしば節理やマイクロシーティングがみられる。本地域の土石流堆積物をみても、大小の花崗岩礫とマサ起源の砂が多く、泥は比較的少ない。礫は最大径数メートルに及び、比較的丸みを帯びたものが多い。

これらのことから、この地域における斜面崩壊・土石流といった斜面災害発生の一因として、花崗岩類特有の岩質に由来した風化様式を挙げることができる。すなわち、コアストーンを残して深層風化によるマサ化が進みやすいことが、巨礫と砂を生産すると同時に、地盤の強度を低下させる。

一方、特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」を襲った真尾地区の土石流堆積物には、しばしば周防変成岩の泥質片岩礫が見られた。源流部には花崗閃緑岩と細粒花崗岩しか分布せず、周防変成岩はさらに数百メートル東方の上流域に分布する。このことは、過去の斜面崩壊などで沢にもたらされた土砂もまた、今回の土石流の母材となったことを示している。さらに、国道262号沿いを襲った勝坂地区では、土石流の流路に角礫主体の崖錐堆積物の断面がみられ、末端の断面には過去の土石流堆積物がみられた。これらのことは、流路に蓄積された堆積物が今回の土石流に取り込まれたことを示しており、流路における土砂の蓄積もまた、土石流被害を拡大させる要因として検討すべき点といえるだろう。

#### 4. 防府市で発生した土砂災害の概要

Fig. 3に示したように豪雨発生直後に撮影した空中写真判読による防府市の広い範囲で発生した土砂災害発生分布図が各航測会社から発表され、合同現地調査団は以下の主要な土石流の被災地を調査した。(1) 7人の入居者が犠牲となった老人施設がある真尾地区、(2) 石原、大景地区、(3) 佐波川対岸の奈美・十七の両地区、(4) 最も崩壊・土石流の発生密度が大きかった国道262号の東西に広がる山地、特に佐波山トンネル南側の区間の勝坂、神里地区を調査した。以下に真尾地区を紹介する。

##### 4.1 真尾・老人施設の土石流

Fig. 4は老人施設・ライフケア高砂周辺の災害直後の空中写真である。右手に今回の土石流が流下した上田南川がある。ライフケア高砂の位置はこの溪流の出口の正面であった。この立地条件が今回被災した第一の原因と考えられる。溪流の出口にはこの溪

流を横断する農道が近年建設され、暗渠の出口で直角に曲げていたが、土砂量が多く農道をあふれて直進し土砂の大半が同施設の1階に流入、中を通過して真尾川に流入した。

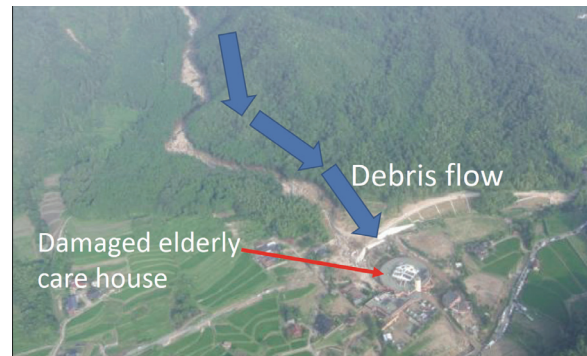


Fig. 4 Photo of the special elderly nursing home "Life Care Takasago," that which was affected by the 21 July 2009 debris flow from Ueda-Minami river. Photo was taken by Asia Air Survey.



Fig. 5 Photo of the special elderly nursing home damaged by debris flow. The mountain-side rooms on the first floor were filled with the sands.

Fig. 5は山側から見たライフケア高砂の円形の本館である。施設エントランス内部は調査時にも砂が大量に堆積したままであった。同施設の山側に面した1階部分の居室は砂で埋まっていた。しかし、土石流が運搬した1m程度までの巨礫の堆積域は施設の10m程度手前までであった。これは上田南川の出口手前にはほぼ水平な区間が長くあり、倒木も多く見られたことから、この区間でほとんどの巨礫は停止し、砂以下の粒径のマサのみが土砂流として流入した。そのため、施設内部には窓を破って大量の土砂が堆積したが、壁面など施設の構造が破壊されることはなく、二階に避難した入居者、職員は無事であった。施設1階を直進した土砂流が真尾川に直角に流入し攻撃したため、護岸が破壊、流されトンパックで応急対策が施工された。施設の裏手には農道が近年建設され、これをまたぐ形で暗渠も作られ

ていたが内部は上流側から流入した流木で詰まっており、細砂、シルトが薄く堆積していた。当初、この暗渠の存在が被害を拡大したという報道もあったが、閉塞せずとも土砂流は越流していたはずで、被害の規模に影響を与えたとは考えられない。

調査団訪問時に同施設の上田和枝理事長に災害発生当時の状況について聞き取りすることができた。同施設は理事長所有の土地に建設し1999年に開所した。2004年に土石流危険区域に指定されたと防府市から通知があったが、施設側は指定地を「土石流危険区域」ではなく、ただの「危険地」としてしか認識していなかった。その一方、砂防ダム建設の要請は行っており、2008年から県は調査を開始していた。上田南川出口正面に位置するため土石流が発生すれば、直撃を受ける危険性や洪水の危険性があることは認識していたと思われる。今回の災害以前から市役所より大雨注意報の連絡を受けるたび、2階に避難していたという。今回の災害が発生する1時間半ほど前の午前10:30頃に豪雨が一旦小休止した際に、洪水を心配した職員が上田南川を巡視し、濁流化した様子をデジカメで撮影したものの、土石流によりカメラは失われたそうである。避難に時間がかかる入居者が多かったため土砂が流入し始めてからでは避難が間に合わず、多数の入居者が犠牲となったと思われる。市役所から避難連絡が来なかったため避難が遅れたと主張していたが、高橋(2010)は、災害発生当日は早朝より防府市役所は市内各所で多発した土砂災害、洪水の対応で麻痺に近い状態となっていることを電話記録から明らかにしており、極端な気象条件の下では本施設のような社会的弱者に通常配信されている安全安心に関わる重要な情報発信機能にも障害が発生することがわかった。施設側も当時、極端な気象条件であることは認識しており、大規模災害発生時に自治体が機能不全になることがわかっていれば、災害危険情報を自ら収集し自主的に避難を判断することもできたのではないかと。施設職員も不安を感じていて入居者の昼食を30分早くして避難する予定であったというだけに悔やまれる。また、入居者のほとんどは県内出身者であるがその土地の多くはおそらく同地区出身ではなかったと思われ、危険を認識していたかについては不明である。その後入居者は全員県内他施設に転出した。現在、上田南川では対策工事を施工中であり、完成後に施設は営業を再開する意向を持っているといわれるが、いかなる防災対策も万全でないため、自主避難基準を定めることが望まれる。

Fig. 6にアジア航測が撮影した上田南川の上流の写真を示す。レーザースキャナ(LiDAR)で計測した結果から解釈した今回の土石流の発生域から堆積域を

細い白線で囲っている。施設より1.5~2 km上流の複数の谷頭から土石流が発生していることがわかる。さらに標高の高い上流には古い谷頭の崩壊跡も見えるが今回は発生していない。

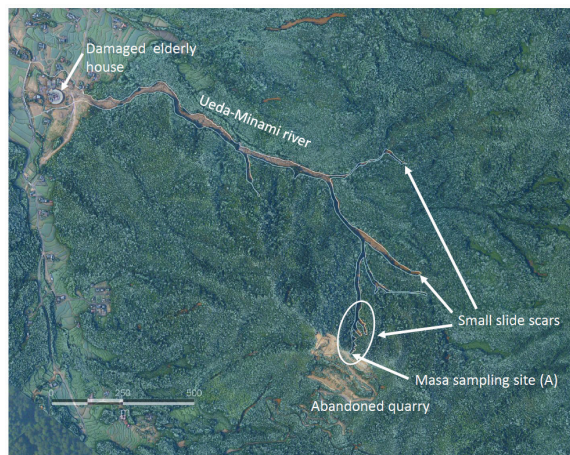


Fig. 6 Air photo of the upstream of the special elderly nursing home showing the debris flow paths. Several small landslide scars are visible at the head of those torrents.



Fig. 7 Masa sampling site (A) at the landslide head scar in Fig. 6.

今回の土石流発生箇所のうち、最も流走距離の長いものはFig. 5中の南にある白楕円で囲った谷頭である。そのうち道路によるアクセスが可能な採石場内の「A:現地調査地」と記した土石流発生源頭部のひとつを調査した。採石場の尾根から見下ろした谷頭の崩壊源頭部をFig. 7に示す。この小規模崩壊はマサ土で傾斜34度、長さ約30m、幅約10m、深さ約1~2mで土量は200立米前後と思われる。土石流の主要な土砂は上田南川出口近くの約300m程度の区間で堆積しており、土量は全体で1~2万立米程度と推定され谷頭の崩壊土砂が溪床に堆積していたマサ土を流動化させて何倍にも体積が膨らんだと考えるのが妥当で、これは1999年の広島豪雨災害で多発した土石流災害と同様である。

源頭部下端付近では露出していたすべり面の一部



と思われる花崗岩表面が露出し、滑ったものと同種と思われる落ち残りのマサが堆積し付近には湧水があり崩土もまだ多く残っていた。現位置風化したものではなく、ある程度上方斜面から移動したと思われるが、堅い未風化の花崗岩の面の直上にあつたものであることから、この小崩壊のすべり面で動いた材料と見なせる。

## 5. 土石流発生メカニズム

### 5.1 一面せん断試験

Fig. 8は真尾の上田南川上流の採石場内の源頭部で採取した土砂の飽和試料に対する定体積一面せん断試験結果である。この小崩壊の発生時の最大土かぶり厚は1.5~3 mと小さいこと、発生前には集水域であった可能性が高く常時水位があつた可能性もあることから8 kPaの初期応力で定体積試験を実施したところ、すぐに沈下傾向の挙動をしたため原点に向う応力経路を示し液状化する可能性があることを示した。

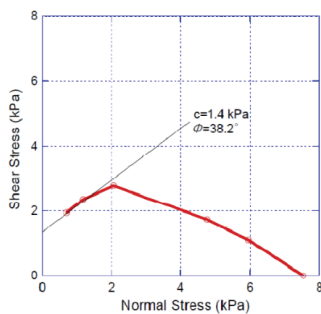


Fig. 8 Stress path of the constant-volume direct shear test result on the saturated masa sample taken at Fig. 6 site.

### 5.2 水圧制御リングせん断試験

京都大学防災研究所が開発したリングせん断試験機DPRI-7 (Fig. 9) は応力制御、水圧制御が可能で、地盤内のすべり面上に働く応力、すなわち垂直応力、せん断応力、間隙水圧を独立して制御することができる。この試験機を用いてCO<sub>2</sub>を用いてほぼ完全飽和した試料に対し、垂直応力100 kPaで正規圧密した試料に対し、せん断応力25 kPa、初期間隙水圧30 kPaを試料上方から与え、その後水圧を一定の速度0.05 kPa/secで上昇させ続けた。Fig. 10はその試験結果のうち、破壊の前後の挙動を示す。間隙水圧上昇開始から860秒付近と890秒付近でせん断面付近の水圧が2回急激に上昇した。制御している水圧は試料上方から与えているが、計測している水圧はせん断面の2mm上方で測定している。これは応力状態が破壊線に近づき変形が進むが、ある瞬間に急激に土粒子構造が収縮し始め正の過剰間隙水圧が発生し始めた

解釈できる。900秒過ぎに間隙水圧は90kPaとなり、垂直応力とほぼ同等の間隙圧比 $ru=u/\sigma=0.9$ に達し、せん断抵抗は40%程度低下した。その間、せん断変位(図中のShear displacement)は860秒から900秒すぎまで下に凸の二次曲線的な形を示し加速した。その後直線的になり、速度が一定となったが、これは試験機のモーターの定格によるものである。地すべりの自然状態では斜面傾斜が同じであれば加速は続いていたことを示す。有効応力経路から得られる最小の見かけの摩擦角は12.7度となった。源頭部の傾斜より相当程度小さいため、加速的な運動をしたことは十分に説明できる。破壊線は38.7度であり、源頭部傾斜が34度であることから、間隙水圧が発生しない限りは動かないことも説明できるに試験終了後の試料を観察すると、せん断ゾーンは構造変化を起こしたため締め固めたように堅く、色も明らかに異なっていた。



Fig. 9 The stress and pore pressure control ring shear apparatus DPRI-7.

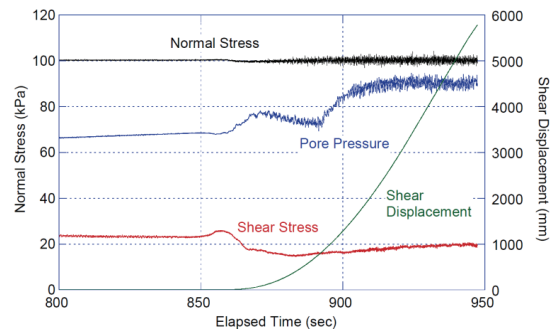


Fig. 10 Time series data from the result of pore-pressure control test. Pore pressure increase rate is 0.05 kPa/sec. Accelerating motion was observed after failure at about 860 sec due to sudden shear resistance reduction.

## 6. おわりに

平成21年7月中国・九州北部豪雨により防府市で広域の土砂災害が発生し14名が死亡したため合同調査団を組織し、調査を実施した。主要な災害発生要因は防府で観測された6時間雨量220.0mmが245.9年確率の集中豪雨であったこと、防府市の被災

地周辺の山地や丘陵地の大半の地質は防府花崗岩類で地表のマサは豪雨による崩壊、土石流を引き起こしやすかったことである。土石流の発生した源頭部崩壊の土砂について土質試験を実施し、豪雨条件下で崩壊発生する過程を調べた。社会的に注目された真尾地区の特別養護老人ホーム・ライフケア高砂では7名が死亡したが、谷の出口正面の立地条件が第一の原因である。極端気象条件かでは行政も適切な情報を発信できなくなるため、災害危険情報を自ら収集し自主的に避難を判断できるための有効な方策が今後の課題であると思われる。

## 謝 辞

本稿作成に当たり貴重な資料を提供していただいたアジア航測株式会社の小川紀一朗氏、千葉達朗氏、広島大学・海堀正博准教授、九州大学・久保田哲也教授、山口大学・鈴木素之准教授、長崎大学・高橋和雄教授、現地調査に同行していただいた京都大学防災研究所の齋藤隆志助教、山口大学・種浦圭輔助教、(社)日本地すべり学会関西支部の山下祐一氏、中井真司氏らに謝意を表する。

## 参考文献

アジア航測株式会社 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨災害, <http://www.ajiko.co.jp/bousai2/hofu/hofu2.htm>.

気象庁 (2009):平成21年7月19日から26日に中国地方及び九州北部地方で発生した豪雨の命名について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/0907/27a/goumeimei200907.pdf>.

国土交通省国土地理院 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨に関する対応, <http://www.gsi.go.jp/kohokocho/h21-7-ooame-index.html>.

総務省消防庁 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨について(第23報), <http://www.fdma.go.jp/data/010907101714443867.pdf>.

高橋和雄・清水誠・中村聖三 (2009):2009年7月山口豪雨災害時の組織の対応,自然災害研究協議会西部地区部会報,第34号研究論文集,pp.97-100.

千木良雅弘・諏訪浩・寺嶋智巳・王功輝 (2009):2009年7月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害調査報告(その2),[http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web\\_j/contents/event\\_text/20090813.pdf](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/contents/event_text/20090813.pdf)

内閣府 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨による被害状況等について,<http://www.bousai.go.jp/090721/090810higaizyoukyou006.pdf>.

福岡浩 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨による防府市土砂災害第1回初動調査団概要の報告,[http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web\\_j/contents/event\\_text/topics\\_20090730.pdf](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/contents/event_text/topics_20090730.pdf)

福岡浩・山本晴彦・宮田雄一郎・汪發武・王功輝 (2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨による山口県防府市土砂災害,自然災害科学,28-2,pp.185-201.

福岡浩・山本晴彦・宮田雄一郎・汪發武・王功輝(2009):平成21年7月中国・九州北部豪雨による山口県防府市土砂災害,自然災害科学,Vol. 28, No.2, pp.185-201.

福岡浩・王功輝・汪發武・Ogbonnaya IGWE. (2010):平成21年7月中国・九州北部豪雨による防府市土石流発生機構,自然災害科学研究西部地区部会報,第34号研究論文集,pp.85-88.

Fukuoka, H., Hong, Y., Cui, P., and Yamamoto, H. (2009): Detection of heavy rainstorm which induced debris flows by TRMM-based satellites and networked rain gauges, Eos Trans. AGU, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NH41C-1248.

Fukuoka, H., Wang, F.W. and Wang, G.H. (2010): Sudden pore pressure rise and rapid landslide initiation induced under extreme rainfall conditions - a case study, EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-14480.

## Debris Flow Disaster in Hofu city, Japan, Induced by the July 2009 Chugoku – Northern Kyushu Heavy Rainfall

Hiroshi FUKUOKA, Kesayoshi HADANO\*, Haruhiko YAMAMOTO\*\*, Yuichiro MIYATA\*, Fawu WANG\*\*\* and Gonghui WANG

\* Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Japan

\*\* Graduate School of Agriculture, Yamaguchi University, Japan

\*\*\* Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, Japan

### **Synopsis**

Since July 19 to 26, 2009, Hofu and surrounding cities in the western Japan had a extremely severe rainfall and it caused numerous debris flows in the torrents which claimed lives of 14 residents. Those debris flows started as small debris slides mostly in the "masa" (weathered granite soils) slope. The return period of the 6-hours cumulative precipitation just before the disaster is evaluated to be about 250 years. Pore pressure controlled ring shear test was conducted to reproduce the debris slide by raising the pore pressure (back pressure) at a constant and slow rate. A sudden big drop of shear resistance accelerated the shear displacement. This was caused by excess pore pressure generation due to the negative dilatancy.

**Keywords:** localized intense rainfall, masa (weathered granitic soils), debris flow disaster, debris slide – debris flow, ring shear test



## 2009年サモア諸島地震津波災害の被害と対応

鈴木進吾・高橋智幸\*・奥村与志弘\*\*

\* 関西大学社会安全学部

\*\* 財団法人ひょうご震災記念21世紀研究機構 人と防災未来センター

### 要 旨

2009年9月29日早朝（現地時間），サモア諸島南方沖を震源とするマグニチュード8.0の地震が発生し，津波によりサモア，米領サモア，トンガで被害が発生した。米領サモア Tutuila島では南部海岸の集落が被災し，死者34名という大きな被害がはっせいした。また，多数の家屋が倒壊・流失し，幹線道路の橋，国際空港や火力発電所などの重要インフラにも損傷や浸水，漂着物による被害が発生した。本稿は米領サモアTutuila島で行った現地調査の結果から各集落の状況，インフラの被害，復旧状況等を報告するものである。

**キーワード：**津波，現地調査，被害，火力発電所，空港

### 1. はじめに

2009年9月29日午前6時48分頃（現地時間），サモア諸島南方沖を震源（Fig. 1）とするマグニチュード8.0の地震が発生した。この地震によって引き起こされた津波はサモア独立国，米領サモア，トンガなどへ来襲し3国合わせて死者180名，行方不明者7名を出す甚大な被害が発生した。また，救援や復旧活動などの災害対応に重要となる国際空港や火力発電所などのインフラも津波により被災した。

このような津波災害の実態を明らかにし，今後の津波防災に寄与することを目的として，被災して1週間後となる時期に，米領サモアでの現地調査を実施した。

なお，本報告は高橋他（2009）に加筆修正を行ったものである。

### 2. 地震および津波の概要

地震は，サモア独立国首都Apiaの南方，トンガ Nuiatoputapu島Hihifoの東北東，米領サモア Pago Pagoの南西，約190kmの海域で発生した。USGS（2009）によるCMT解をTable 1に示す。震源は太平洋プレートがオーストラリアプレートの下に沈み込むトンガ海溝付近（Fig. 1）に位置している。ただし，プレート境界ではなく，太平洋プレートのアウターライズ

で起きた正断層の地震と考えられ（山中，2009），1993年に日本で発生した昭和三陸地震と類似している。同海域ではこれまでも小規模の津波を伴う地震が発生している（1919年，1975年，1977年，1981年，1987年，1995年）が，1917年6月26日に発生した $M_w$ 8.0の地震が最大であり，現在のサモア独立国のUpolu島南部海岸（Fig. 1）に12mの津波が来襲している（Tsunami Laboratory，2009）。

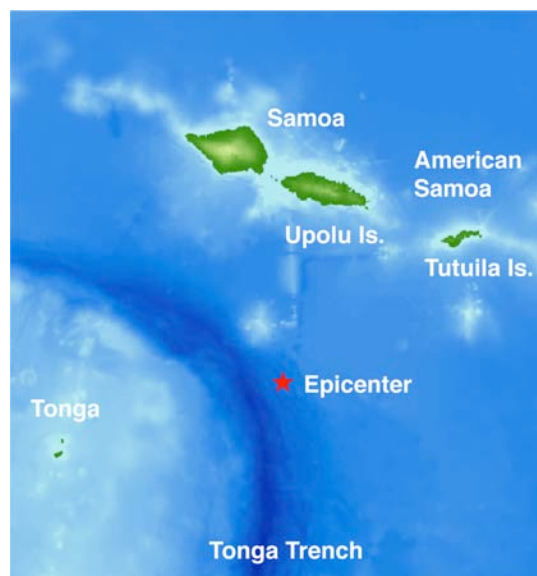


Fig. 1 Epicenter, Tonga Trench and affected countries.

Table 1 CMT Solution by USGS (2009)

Date	29 September 2009 17:48:10.57 (UTC)	
Epicenter	15.418°S, 172.005°W	
Depth (km)	10	
M <sub>w</sub>	8.0	
Strike (°)	345	124
Dip (°)	52	46
Slip (°)	-61	-120

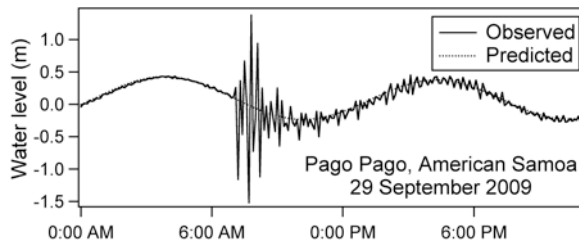


Fig. 2 Tide gauge record of Pago Pago Harbor (Source: 高橋他 (2009)).

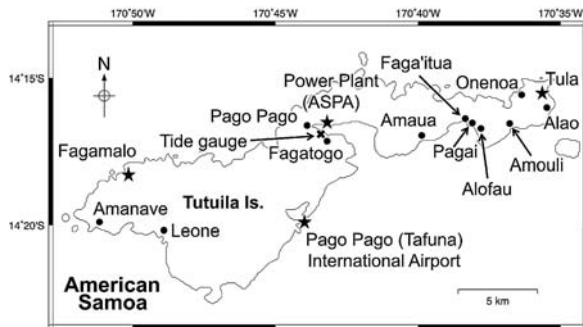


Fig. 3 Field investigation sites in Tutuila Island, American Samoa (Source: 高橋他 (2009)).

今回の津波により、米領サモアでは35名の死者・行方不明者が発生した。米領サモアの中心地区Pago PagoのPago Pago港の検潮記録 (NOAA, 2009; 高橋他, 2009) をFig. 2に示す。津波は引き波から始まり、地震発生から約24分後に海面が1.10m低下している。続いて押し波と引き波が繰り返すが、第3波が最大振幅を示し、最低が-1.50m (地震後約54分)、最高が1.41m (同約60分) まで海面は変化している。次の第4波までが比較的大きく、それ以降は数十cmの振幅の波が続いている。なお、験潮所は細長い湾の奥に設置されている (Fig. 3の×印) ため湾の固有振動が含まれていると考えられる。

### 3. 米領サモアにおける津波災害の現地調査

現地調査は鈴木進吾、高橋智幸 (秋田大学)、ならびに奥村与志弘 (人と防災未来センター) により、米領サモアにおいて、2009年10月6日から8日にか



Photo 1 A damaged building in Pago Pago Park.



Photo 2 Drifted cars in Pago Pago Park.

けて実施した。調査期間が3日と限られていたため、Tutuila島全体の被災の様相や主要インフラの被害状況、復旧状況の把握、主要地点での津波痕跡の測量に焦点を絞った。本調査で訪れたTutuila島の各村をFig. 3に示す。調査中の10月8日午前11時3分 (米領サモア時間) にバヌアツ沖でM<sub>w</sub>7.6の地震が発生し、米領サモアに津波警報が発令されたことから一時調査を中断したため、極めて限られた調査期間となったが、得られた結果を以下に示す。

#### 3.1 島の中心地区の被災状況

Tutuila島の中央部にある、FagatogoからPago Pagoまでの範囲は米領サモアの中心地区である。Pago Pago港の奥に位置するこの地区では、今回の津波で最も大きな被害が発生した。特に小河川の河口部の低地帯にあるPago Park周辺は壊滅状態であった (Photo 1)。海岸では護岸の洗掘がみられ、小河川沿いの建物は津波の氾濫によって破壊されていた。Pago Shopping Plazaでは駐車場に停めてあった多数の車が津波で流され、漂流物となった (Photo 2)。

また、この地区には、米領サモア内に2基ある火力発電所のうち1基が位置しており (Fig. 3)、来襲した津波により被災した。発電所内に海水が浸入し、ディーゼル発電機が水没したため使用不能になった



Photo 3 An damaged thermal power plant in Pago Pago.



Photo 4 Damages in the vicinity of thermal power plant.

(Photo 3)。調査時点においては、米国本土からの代替のディーゼル発電機の到着を待っている状態であった。残る火力発電所1基は空港付近の内陸部に設置されており、被害がなかったため、その1基の火力発電所でTutuila島全村に電気を供給しており、調査中も日中は断続的に停電が起こっていた。

敷地内の調査を行おうと試みたが、調査時間内に許可が得られなかった。そのため、フェンスへの漂着物の測量を行ったところ、遡上高は4.43m、浸水深は2.31mであった。

また、火力発電所近くにある漁港・水産加工施設付近では、船舶の乗り上げ、建物の倒壊、車両・コンテナの散乱、油の流出なども見られた(Photo 4)。

### 3.2 各地の被害

今回の津波の波源はTutuila島の南西方向であり、これに面した西海岸は大きな被害を受けた地域である。

島の北西岸のFagamaloでは汀線に近い3軒の家が床上浸水したが、地震を感じてすぐ裏手の高所に避難したため、死者はなかった。2箇所ですべて津波の痕跡をもとに測量を実施した結果、遡上高は5.34mと6.25m、遡上距離は47.66mと72.44mであった。

島の南西岸のLeoneは、Leone湾の最奥部に位置し、



Photo 5 Drifted furnitures and car in Leone.



Photo 6 Damages of Amanave.

高さ6mの津波が来襲、地盤の洗掘、多数の家屋が倒壊・流失し、死者11名、行方不明者1名と大きな被害が発生した。幹線道路の橋の損傷し、これより北西部への交通路は一時遮断された。低地帯が広がっており、背後の湖には多数の家財や車が漂着していた(Photo 5)。

島の西岸のAmanaveにも、7m程度の津波が来襲し、多くの家屋が被災、幹線道路の橋が落ちるなどの被害が発生したが、避難が成功し、死者は出ていない(Photo 6)。住民の証言からは、海の異常(引き波・渦のような流れ)を見られた、2004年スマトラ島沖地震津波のことを聞いていた、サイクロン対策ではあったが、避難訓練を行っており、決められた避難場所があった等のが避難に影響したものと考えられる。

島の東端のTuraでは、島に捕捉された津波が来襲し、幹線道路より海側にあった家屋が倒壊した。ここでも、避難が成功し、死者は出ていない(Photo 7)。測量の結果、津波の遡上高は4.75mと4.97mであった。

その他の地域においては、海岸沿いの家屋が、一部損壊あるいは浸水するなど局所的な被害に留まった。Amatauでは被害がみられなかった。Faga'ituaでは高校の校舎の一部が津波により被災、Pagaiでは幹線道路より海岸側の住宅が損壊したが避難したため死



Photo 7 Damaged houses along the coast of Tula.



Fig. 4 Satellite imagery of Tafuna International Airport.

者はなかった。Alofauでは住宅の浸水、Amouliでは海岸沿いの幹線道路が浸水した程度であった。Alaoでも津波が来襲しているが、家屋被害はみられなかった。島の東側では、海岸沿いに家屋がない集落などでは被害が見受けられないなど、被災した集落とそうでない集落が混在していた。

### 3.3 空港の被害

津波災害時に空港が被害を受けず使用可能であることは、直後の救出・救援や復旧の段階において、要員や傷病者、物資等の輸送のために重要である。2007年ソロモン諸島地震津波の際には空港の被害把握に時間を要した（鈴木他，2007）。特に周囲が海に囲まれた島嶼部においては、空港が災害時に果たすべき役割はさらに大きくなる。

米領サモアの国際空港であるTafuna AirportはTutuila島中央部の南海岸付近に位置しており、特に米国との輸送の拠点として重要であった。空港はサンゴ礁の浅瀬を利用して作られ、標高は高くないが、周囲に広がるサンゴ礁が、高波浪の侵入を防いでくれていた（Fig. 4）。しかし、津波は波長が長いために流れのように来襲し、この空港も被災した。前回の大きな津波は1917年に発生しているため、現在の空港は津波を考慮していなかったと考えられる。



Photo 8 Debris on runway in Tafuna Airport. (Photo provided by Mr. Chris Soti, DPA)



Photo 9 Damaged equipment of Tafuna Airport. (Photo provided by Mr. Chris Soti, DPA)

滑走路を囲っていたフェンスはいたるところで下部が破損し、砂や岩、サンゴ、草木などの漂流物が滑走路に侵入した（Photo 8）。特に風よけのために設置されていたビニルフェンスが津波によって破壊され滑走路上に散乱した。また、VORTAC（航空無線標識）が浸水し使用不能となったほか、PAPI（進入角指示灯）も一部損壊した（Photo 9）。

Department of Port Administration (DPA)の協力の下に測量した結果、滑走路の中央部の高さは津波来襲時の平均海面から2.17mであり、ここを津波は乗り越えていった。また、滑走路を囲んでいるフェンスに残された漂流物の痕跡から浸水深は0.7～0.8mであった。

滑走路に散在した漂着物のため空港は閉鎖され、人力での片付け作業が行われた（Photo 10）。応急復旧が完了したのは当日夜であった。機材は代替のものが使われ、調査時点ではVORTACは停止したまま、ビニルフェンスの修理も継続していた。米領サモアに限らず、同様の条件の空港は、南太平洋島嶼国に多く、今後、津波を対象とした空港の被害抑止対策が必要であろう。





Photo 10 Removing debris from runway in Tafuna Airport. (Photo provided by Mr. Chris Soti, DPA)



Photo 12 Recovery work in Leone.



Photo 11 A temporary restored bridge in Leone.

### 3.4 復旧活動

本調査では被災後8日目から現地に入ったが、この時点において、被災地での主な作業は救出から復旧の段階に移っており、堆積した泥の掻き出し、屋内や屋外の洗浄が行われ、既に多くのがれきが片付けられていた。

津波により損傷した橋も補修され（Photo 11）、幹線道路は復旧し、物資や人員の輸送が頻繁に行われていた。また、政府により、被災地のニーズについての調査も行われていた。

特に、大きく被災したLeoneやAmanaveでは、多数の作業員と重機が投入され、被災した家屋や建物の解体、建物の修復、家財の搬出、がれきの撤去が急ピッチで進んでいた（Photo 12）。住民は一部損壊した建物にビニールシートをかけたか、支給されたテントを利用したりして、被災した場所に留まっただけの生活や復旧作業を行っていた。

## 4. おわりに

調査自粛要請や津波警報による調査中断などにより短期間の現地調査となったが、米領サモア全体の被災状況を把握することができた。また、被災後に

も重要となるインフラである空港や火力発電所の被災し、その後の対応状況を調査することができた。南太平洋の地域他の国々においても空路による物資・人員の輸送が重要であり、空港は海岸部の低平地に建設され、電力も島内で発電するものに依存し、火力発電所が海岸に立地するという、同様の条件のところが考えられる。今後のこの地域の津波防災においては考慮すべき点であろう。

また、来襲した津波の規模と現地の人口に比較して人的被害が少なく、避難がうまく行われていたと考えられる。発生時刻が朝の明るい時間帯であったこともあるだろう。津波に関する知識の普及も見られた。津波避難看板の設置や避難訓練の実施等もこれに影響しているものと考えられる。南太平洋には多数の島々が点在しており、また、プレート境界も近く、この地域の津波防災において、2009年サモア諸島地震津波の事例は重要な情報になると考えられる。

## 謝 辞

本調査の一部は国土交通省建設技術研究開発助成制度（研究代表者：河田恵昭）の支援を受けて実施した。

## 参考文献

- 鈴木進吾・牧紀男・古澤拓郎・林春男・河田恵昭（2007）：2007年4月ソロモン諸島地震・津波災害とその対応の社会的側面，自然災害科学，Vol.26，No.2，pp.203-214.
- 高橋智幸・鈴木進吾・奥村与志弘（2009）：2009年9月29日サモア諸島沖地震津波に関する現地調査，自然災害科学，Vol.28，No.3，pp.259-268.
- NOAA Tides and Currents（2009）：<http://tidesandcurrents.noaa.gov/index.shtml>，2009年10月21日.

Tsunami Laboratory (2009) : Historical Tsunami Database for the World Ocean, <http://tsun.sssc.ru/nh/tsunami.php>, 2009年10月23日.

USGS (2009) : Magnitude 8.0 - SAMOA ISLANDS REGION, <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteq>

[sww/Quakes/us2009mdbi.php](http://www.ssw/Quakes/us2009mdbi.php), 2009年10月23日.

山中佳子(2009):NGY地震学ノートNo.22, [http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2009/NGY22.html](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2009/NGY22.html), 2009年10月23日.

## **Damage and Response of The 2009 Samoa Islands Earthquake Tsunami Disaster**

Shingo SUZUKI, Tomoyuki TAKAHASHI\* and Yoshihiro OKUMURA\*\*

\* Faculty of Safety Science, Kansai University

\*\* Disaster Reduction and Human Renovation Institution

### **Synopsis**

A large earthquake of moment magnitude 8.0 occurred in Samoa Islands Region in the early morning on 29 September 2009 (local time). A tsunami generated by the earthquake attacked Samoa, American Samoa and Tonga. The field investigation on tsunami disaster was carried out in Tutuila Island, American Samoa. The tsunami damaged several villages along south coast and 34 people were killed. Further, important infrastructures in relief and recovery phases such as power plant and international airport were also severely damaged.

**Keywords:** tsunami, field investigation, damage, thermal power plant, airport

## The 2009 L'Aquila, Italy Earthquake (M6.3) Damage and Response to a Moderate Event

James MORI

### Synopsis

The 2009 L'Aquila, Italy earthquake (Mw6.3) caused considerable damage and loss of life in central Italy. There was extensive damage to over 10,000 buildings of both old and new construction, although the ground motions were not exceptionally strong for this size event. There were surface cracks observed in the area that the Paganica fault projects to the surface, however, it is unclear if this deformation represents coseismic faulting. About a week before the mainshock, an earthquake prediction was distributed in this region by an independent non-seismologist. The apparent success of the prediction caused many problems for local officials and raised important issues about appropriate methods to distribute information related to natural hazards.

**Keywords:** L'Aquila, Italy, Earthquake, Earthquake Prediction

### 1. Introduction

On April 6, 2009 at 01:32 UTC (03:32 local time) a moderate sized (Mw6.3) earthquake occurred near the town of L'Aquila in central Italy. The earthquake was relatively small by seismological standards with many events of this size every year (about 70 M6.3 or larger earthquakes every year worldwide), however this earthquake caused 295 deaths and significant damage in the local area (estimated US\$ 16 billion). Also world news coverage focused on the region, since a G8 summit was scheduled to be held in L'Aquila several months following the earthquake.

The Apennine mountain belt in central Italy is an areas of high seismicity with many historical damaging earthquakes. Typically the events in this region have normal fault mechanisms. This was the case for the April 6 earthquake, which ruptured a northwest striking normal fault. The aftershocks located by the Istituto Nazionale di Geofisicae Vulcanologia (INGV) and modeling of strong motion data (Cirella et al., 2009) and deformation

data (Anzidei et al., 2009, Walters et al., 2009) showed that the rupture plane had a length of 10 to 25 km and width of about 10 to 15 km, with a dip downward toward the southwest.

The aftershock activity was quite strong for a Mw6.3 earthquake and spread out over an area that was over twice the size of the mainshock rupture plane. There was a  $M_L5.6$  aftershock in the southeastern part of the aftershock area and a  $M_L5.4$  northwest of the mainshock area during the first week following the mainshock (Chiarabba et al., 2009). With the large number of strong aftershocks, there was concern at INGV that there could be more subsequent damaging events in the following weeks. The normal faulting sequences in the region often have multiple large events, such as the 1997 Umbria sequence (Deschamps et al., 2000). However, there were no further large earthquakes during the following month.

There was also a considerable amount of seismic activity prior to April 6. Many small earthquakes occurred in this region starting in January, three months before the mainshock.

Among these earthquakes, there were numerous felt events, which caused concern in the public and led to a difficult situation regarding an earthquake prediction, which is described later. The largest event prior to the mainshock was a  $M_L 4.1$  event on April 30. Also, four hours before the mainshock there was a  $M_L 3.9$  foreshock (Chiarabba et al., 2009).

I visited INGV in Rome and the area of the earthquake on April 15 to gather information for this report.

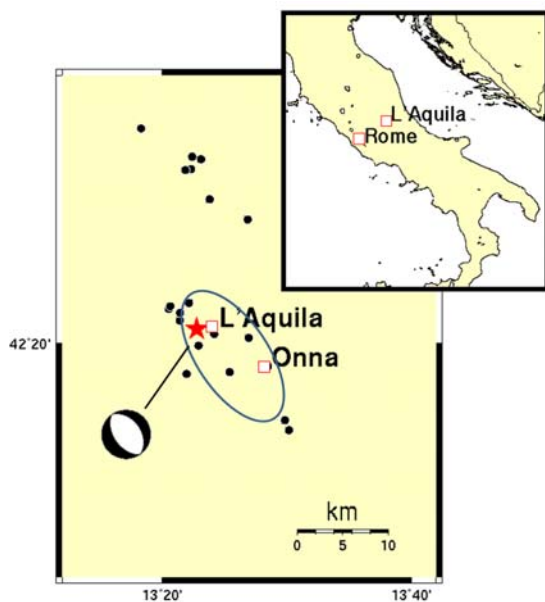


Figure 1. Location of L'Aquila earthquake sequence in central Italy. Ellipse shows the approximate rupture area of the mainshock. Black dots are aftershocks  $M \geq 4.0$ .

## 2. Earthquake Damage

The town of L'Aquila has a population of about 73,000 people and there was reported damage to over 10,000 buildings in the area. Many of the damaged buildings were old structures that were built several hundred years ago. However, many modern buildings were also severely damaged. There was much publicity in the Italian media about a collapse in the San Salvatore hospital which was built in 2000, and collapse of modern buildings on the campus of the University of L'Aquila where a number of students were killed. These failures in newly built structures raised questions about the quality of their construction.



Photo 1. Damage to an old church in Paganica

Some of the most severe damage was in the village of Onna located about 7 km southeast of L'Aquila. Almost all buildings in this small town were destroyed. The severe ground shaking in this locale can probably be attributed to close proximity to the area of large slip on the fault combined with soft soil conditions.

There was a good set of strong motion records with 19 stations recording the mainshock within 50 km (Ameri et al., 2009a, Ameri et al., 2009b). These records show peak accelerations in the range of 327 to 656  $\text{cm/s}^2$  and peak velocities of 30 to 50  $\text{cm/s}$ , for stations near the fault. These data show that the ground motions were not unusually high.



Photo 2. Tents for housing displaced people.



Photo 3. Severe building damage in the village of Onna.

There were over 15,000 persons displaced by earthquake. People left their homes that were damaged and also vacated relatively undamaged structures because of the fear of possible future strong events.

### 3. Ground Cracks

Geologists from INGV and other institutions carried out extensive surveys looking for surface displacements from the earthquake. Ground fissures were found in the region where the projected Paganica fault should surface (Photo 4). There is still debate whether these features represent co-seismic rupture or cracking in response to shaking or down slope subsidence (Falcucci et al., 2009). In either case, the amount of surface rupture would be several centimeters or less.

Large ground cracks due to local spreading were also seen at Lake Sinizzo were (Photo 5).

Although no large surface faulting was observed, the pattern of surface deformation is shown very clearly from the inSAR data (Walters et al., 2009). These data show maximum displacements of about 25 cm (in the direction of the satellite) of subsidence on the hanging



Photo 4. Fissure located at the surface position of the Paganica fault.

wall and several centimeters of uplift on the foot wall.



Photo 5. Ground cracking due to subsidence at Lake Sinizzo.

#### 4. Earthquake Prediction

A social/scientific problem associated with this sequence of seismic events in Italy, arose when an earthquake prediction was issued in late March by Gioacchino Giuliani. He is a technician at the National Physical Laboratory of Gran Sasso. Over the last several years he has been monitoring and interpreting radon gas anomalies to predict earthquakes. He has been doing this work as an independent project, and it is not associated with any earthquake research institute in Italy.

On March 28, Giuliani announced an earthquake prediction for the town of Sulmona which is located about 50 kilometers southeast of L'Aquila. The prediction was posted on a webpage and also vehicles with speakers broadcast the prediction on the streets of Sulmona. Since felt earthquakes had been occurring in the region since January, the announcement of this prediction caused much unrest and anxiety among the people in the community.

Because of the fear being generated in the public, local government officials ordered Giuliani to stop distributing the information about

the prediction. On March 31, a public meeting was held in L'Aquila, the administrative center for the region. At the meeting, officials of Civil Protection Agency announced that there was no scientific basis for the prediction.

The M6.3 earthquake occurred six days later on April 6 in L'Aquila.

The occurrence of the earthquake was not exactly consistent with the prediction. The location was 50 km from the target area of Sulmona and the occurrence was one week later than the prediction. However, the location and time were relatively close. Furthermore, since official information was being released from L'Aquila, when the earthquake occurred there, the perception is that the prediction was correct.

Most seismologists that have looked at this prediction and the associated data, think that there was not a clear signal in the radon data that justifies the prediction. This situation of an earthquake prediction that is issued without the support of the scientific community raises difficult public policy issues.

Was there any validity to this prediction ?

What should be done about 'non-expert' predictions ? Should they be presented to the public ?

How should important hazard information be made available to the public ?

These concerns will arise in other earthquake prone regions, such as Japan, where there are non-seismologists making earthquake predictions. A well thought out system for providing public information about earthquake predictions is a necessary part of a hazard mitigation program.

#### 5. Conclusions

The 2009 L'Aquila earthquake was a moderate event that caused a significant amount of damage. It was not surprising that old masonry buildings that were several hundred years old sustained much damage. However, there were also modern structures that collapsed which raises concern about the present building practices. The quality of building design and construction is the most important factor in mitigating seismic damage. Countries such as Iran and Indonesia where the

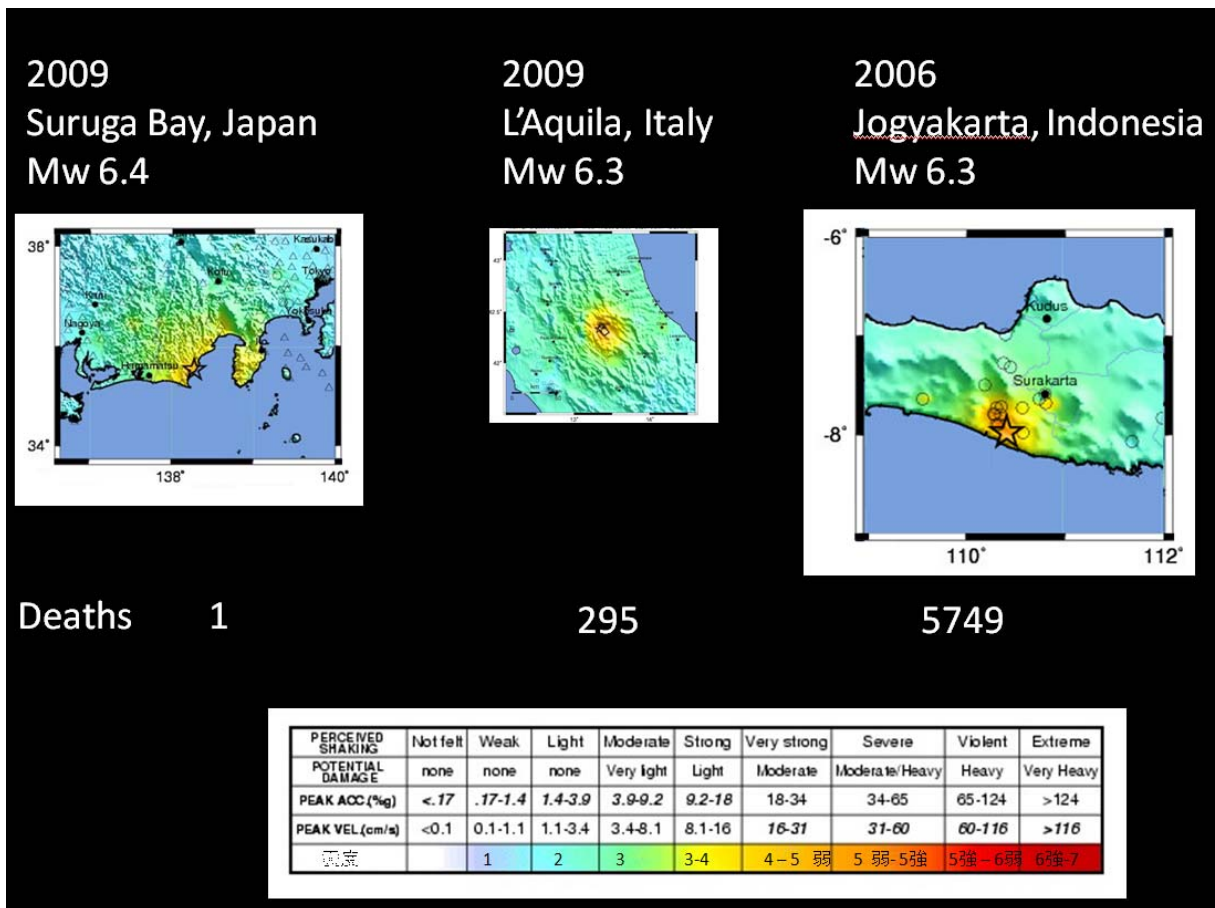


Figure 2. Death tolls for similar size earthquakes in Japan, Italy and Indonesia. Intensity distributions are taken from the USGS webpage, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>.

level of seismic resistant construction is relatively low, sustain very heavy losses in earthquakes. The damage in the US and Japan, where there are higher standards, is much less for the same size earthquake. The situation in Italy is somewhere between these two end members. Figure 2 shows the intensity pattern for three similar size earthquakes in Japan, Italy and Indonesia. All three earthquakes are shallow events that occurred in areas of relatively high population. The death tolls from these three events (Japan 1, Italy 295, Indonesia 5749) largely reflect the respective quality of building construction in the countries.

#### Acknowledgements

The author thanks Francesca Di Luccio and Francesca Cinti of INGV for arranging the trip to the earthquake region and providing current information following the earthquake.

#### References

Ameri, G., Augliera, P., Bindi, D., D'Alema E., Ladina, C., Lovati, S., Luzi, L., Marzorati, S., Massa, M., Pacor, F. and Puglia, R. (2009): Strong-motion parameters of the Mw=6.3 Abruzzo (Central Italy) earthquake, [http://www.mi.ingv.it/docs/report\\_RAN\\_200904\\_06.pdf](http://www.mi.ingv.it/docs/report_RAN_200904_06.pdf)

Ameri, G., Massa, M., Bindi, D., D'Alema, E., Gorini, A., Luzi, L., Marzorati, S., Pacor, F., Paolucci, R., Puglia and R., Smerzini, C. (2009b): The 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila (Central Italy) Earthquake: Strong-motion Observations, *Seismol Res. Lett.*, Vol. 80, No. 6, pp. 951-966.

Anzidei, M., Boschi, E., Cannelli, V., Devoti, R., Esposito, A., Galvani, A., Melini, D., Pietrantonio, G., Riguzzi, F., Sepe, V., Serpelloni, E., (2009): Coseismic deformation of the destructive April 6, 2009 L'Aquila earthquake

- (central Italy) from GPS data, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L17307, doi:10.1029/2009GL039145.
- Chiarabba, C., Amato, A., Anselmi, M., Baccheschi, P., Bianchi, I., Cattaneo, M., Cecere, G., Chiaraluca, L., Ciaccio, M.G., De Gori, P., De Luca G., De Bona, M., De Stefano, R., Faenza, L., Govoni, A., Improta, L., Lucente, F.P., Marchetti, A., Margheriti, L., Mele, F., Michelini, A., Monachesi, G., Moretti, M., Pastori, M., Piana Agostinetti, N., Piccinini, D., Roseilli, P. Seccia, D. and Valoroso, L. (2009): The 2009 L'Aquila (central Italy) Mw6.3 earthquake: Main shock and aftershocks, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 36, L18308, doi:10.1029/2009GL039627.
- Cirella, A., Piatanesi, A., Cocco, M., Tinti, E., Scognamiglio, L., Michelini, A., Lomax, A. and Boschi, E. (2009): Rupture history of the 2009 L'Aquila (Italy) earthquake from non-linear joint inversion of strong motion and GPS data, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L19304, doi:10.1029/2009GL039795.
- Deschamps A., Courboulex, F., Gaffet, S., Lomax, A., Virieux, J., Amato, A., Azzara, A., Castello, B., Chiarabba, C., Cimini, G.B., Cocco, M., Di Bona, M., Margheriti, L., Mele, F., Selvaggi, G., Chiaraluca, L., Piccinini, L. and Ripepe, M. (2000): Spatio-temporal distribution of seismic activity during the Umbria-Marche crisis, 1997, *J. of Seismology*, Vol. 4, pp. 377-386.
- Faluccci, E., Gori, S., Peronace, E., Fubelli, G., Moro M., Saroli, M., Giaccio, B., Messina, P., Naso, G., Scardia, G., Sposato, A., Voltaggio, M., Galli, P. and Galadini, F. (2009): The Paganica fault and surface coseismic ruptures caused by the 6 April 2009 earthquake (L'Aquila, central Italy), *Seismol Res. Lett.*, Vol. 80, No. 6, pp. 940-950.
- Walters, R.J., Elliott, J.R., D'Agostino, N., England, P.C., Hunstad, I., Jackson, J.A., Parsons, B., Phillips, R. and Roberts, G. (2009): The 2009 L'Aquila Earthquake (Central Italy): an InSAR source mechanism and implications for seismic hazard, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L17312, doi:10.1029/2009GL039337.

## 2009年イタリア・ラクイラ地震 (M6.3)

### 中規模地震の被害と対応について

James MORI

#### 要 旨

2009年、イタリア・ラクイラ地震 (Mw6.3) は中部イタリアにたいへんな被害をもたらし、人命も失われた。この規模の地震にしては揺れは特に大きくはなかったにもかかわらず、新旧合わせて1万棟以上の建物に大きな損害が出た。Paganica断層が地表に出ている地域で地割れが観察されたが、これが断層のすべりによるものかどうかははっきりしない。本震の1週間ほど前に、地震学者ではない個人によって地震予知が行われ、この地域一帯に流布された。一見成功したかに見える予知情報は当局にたいへんな問題を引き起こし、自然災害の情報をいかに伝えるかについて多くの重要な課題を提起した。

**キーワード:** イタリア, ラクイラ, 地震, 地震予知



## 防災問題における資料解析研究 (37)

林 春男・矢守克也・牧 紀男・鈴木進吾

### 要 旨

巨大災害研究センターでは、所員それぞれの研究テーマ以外に、センター全体に関わる活動を継続し、研究成果のアカウンタビリティの向上に貢献している。本年は、1) 巨大災害研究センターセミナー、2) 第15回地域防災計画実務者セミナー、3) 災害対応研究会、4) 第10回比較防災学ワークショップ、5) 第7回ワークショップ災害を観る、6) 自然災害データベースについて内容を紹介する。

**キーワード:** データベース、巨大災害、比較防災学、セミナー、ワークショップ

### 1. 巨大災害研究センターセミナー

巨大災害研究センターでは防災研究所内にて不定期にオープンセミナーを開催している。本セミナーは本学情報学研究科の特別講義としても位置づけられている。各回話題提供者は1名で、出席者は、毎回当センターの関係教官、学生をはじめ、所内の他のセンター、部門の教官、情報学研究科の大学院生などであり、活発な議論を重ねている。開催日と講演者名及びタイトルは以下の通りである。

・ 第1回 (2009年6月5日)

「柏崎市におけるり災証明書発行GISシステムの開発及び被災者台帳の構築 The Development of GIS-Based Damage Certificate Issuing System and Victims' Database in Kashiwazaki City」

吉富 望 (京都大学防災研究所巨大災害研究センター・研究員)

・ 第2回 (2009年10月2日)

「神戸発 復興危機管理」

金芳 外城雄 (神戸学院大学学際教育機構防災・社会貢献ユニット・教授/京都大学防災研究所巨大災害研究センター・非常勤講師)

・ 第3回 (2009年11月6日・総合防災グループセミナーとの共同開催)

「建造物の強風被害について」

近藤 宏二 (鹿島技術研究所都市防災・風環境グループ長/京都大学防災研究所巨大災害研究センター・客員准教授)

「1995年兵庫県南部地震から15年でわかったことー神戸市域の震災帯の再現を中心ー」

松島 信一 (京都大学防災研究所社会防災研究部門准教授)

・ 第4回 (2009年12月4日)

「環境シグナル現場論 Environmental signal and integrated implementation」

村瀬 誠 (東邦大学薬学部・客員教授/京都大学防災研究所巨大災害研究センター・非常勤講師)

### 2. 第15回地域防災計画実務者セミナー

「地域防災計画実務者セミナー」は、自治体の防災担当職員を主たる対象者として都市防災・地域防災についての理解を深める一助として、阪神・淡路大震災が起こった1995年8月に3日間にわたって第1回セミナーを開催して以来、毎年開催を続けている。セミナーでは、自然災害の外力の特性を理解すること、災害対策を危機管理の立場から実施すること、およびその実例を紹介することを目的として、毎年講演題目を組み立てている。第15回目を迎えて、本年度は風水害からの避難のあり方をテーマに、初日に風水害対策研究の最前線について、2日目には風水害の避難について(被災地間の経験の伝承)紹介し、最終日には最近の政府の取り組みを紹介した。芝蘭会館・山内ホールに於いて3日間にわたって以下のプログラムで開催した。セミナー参加者の関心も高く、初日76名、2日目112名、最終日67名の参加をえた。

- ・第1日目（平成21年11月17日）プログラム  
《風水害対策研究の最前線》  
13:30 挨拶（巨大災害研究センター・准教授 牧紀男）  
13:40～14:40 講義1「土木学会による佐用町水害調査に参加して」(生存基盤科学研究ユニット・助教 小林健一郎)  
14:55～15:55 講義2「高齢・少子化時代の避難のあり方」(新潟大学危機管理室・教授 田村圭子)  
16:10～17:30 講義3「水害からの避難のあり方」(関西大学環境都市工学部・教授 河田恵昭)  
17:30 終了

- ・第2日目（平成21年11月18日）プログラム  
《風水害の避難について再度考える》  
〈これまでの災害を振り返る〉 司会：牧紀男  
9:00～9:05 はじめに  
●2004年新潟水害－三条市の事例－  
9:05～9:10 「被害の概要と課題」(新潟大学危機管理室・教授 田村圭子)  
9:10～9:55 「行政の立場から」(三条市総務部行政課防災対策室・主任 石塚 衛)  
●2004年台風23号災害  
9:55～10:05 「被害の概要と課題－京都府の事例－」(京都府府民生活部危機管理・防災課・課長 今井真二)  
10:05～10:35 「2004年台風23号－京都府舞鶴市バス救助事案－」ビデオ上映  
10:50～10:55 「被害の概要と課題－豊岡市の事例－」(兵庫県企画県民部防災企画局防災計画室・防災計画係長 山本晋吾)  
10:55～11:40 「みんなの力で命とくらしを守る(台風23号災害以降の豊岡市の防災・減災への取り組み)」(兵庫県豊岡市・防災監 北垣哲夫)  
●2008年愛知県岡崎市水害  
11:40～11:45 「被害の概要と課題」(富士常葉大学環境防災学部・准教授 木村玲欧)  
11:45～12:30 「行政の立場から」(岡崎市市長公室防災危機管理課・課長 山本啓二)  
〈本年度の風水害事例から避難のあり方を考える〉 司会：牧紀男  
13:30～13:35 はじめに  
●2009年山口豪雨災害  
13:35～13:40 「被害の概要と課題」(新潟大学危機管理室・教授 田村圭子)  
13:40～14:25 「福祉施設からの避難を考える」(新潟医療福祉大学社会福祉学科・准教授 岡田 史)  
●平成21年台風9号水害・兵庫県佐用町  
14:25～14:30 「被害の概要と課題」(巨大災害研

- 究センター 牧紀男)  
14:30～15:15 「自宅での避難を考える」(人間文化研究機構国立民族学博物館・准教授 林勲男)  
15:15～16:00 「車で移動中の被害を考える」(NTT環境エネルギー研究所・主任研究員 東田光裕)  
16:15～17:30 パネルディスカッション  
コーディネーター：巨大災害研究センター 牧紀男  
パネリスト：話題提供者全員  
17:30 終了

- ・第3日目（平成21年11月19日）プログラム  
《国の動きを知る》  
9:00～10:00 「大規模災害時の政府の対応－政府調査団の派遣など－」(内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(災害応急担当) 山崎一樹)  
10:00～11:00 「総務省消防庁の取り組み－最近の風水害事例にふれながら－」(総務省消防庁国民保護・防災部・参事官 深澤良信)  
11:15～12:15 「土砂災害の現状と対策について」(国土交通省河川局砂防部砂防計画課・課長補佐 中村圭吾)  
12:15 閉会の挨拶(巨大災害研究センター 牧紀男)  
12:20 終了

### 3. 災害対応研究会

#### 3.1 概要

平成10年4月17日から、災害発生後の災害過程について体系的な理解を確立することを目的とし、毎年4回、セミナーを開催してきた。話題提供者は各回2名で、出席者は、毎回、当センターの関係教官をはじめ、行政の防災関係者、研究機関の教官、医療関係者、教育関係者、防災関係企業、NPO、マスコミ関係者等と多岐にわたり、活発な議論を重ねている。平成21年度の講演のキーワードは、「Ed Blakely氏を迎えて復興について考える」、「Business Flow Diagram (BFD)をまなぶ」、「林勲男ワールドを訪ねて－災害と地域特性：文化人類学・地域研究からのアプローチ」、「新型インフルエンザの危機管理を考える」であった。開催日時と講演者名及びタイトルは、以下の通りである。ただし、平成22年1月には、神戸国際会議場で行われた神戸市主催の第3回「災害対策セミナー in 神戸」に参加し、比較防災学ワークショップ（「4. 比較防災学ワークショップ」を参照）と共催にて、公開シンポジウム形式で研究会を実施した。

#### 3.2 開催日程

#### ・第1回

＜Ed Blakely氏を迎えて復興について考える＞

Ed Blakely氏は現在ニューオリンズ市の復興本部長である。ニューオリンズの復興は、当初は思うように進まず、復興計画すらできず、ようやく、2007年1月にUNOP（統合ニューオリンズ復興計画）が完成した。同時期にネーギン市長が、Blakely氏を招聘し、彼の指導のもとで、ニューオリンズの復興は徐々に軌道に乗ってきているという評価を受けている。Blakely氏は、1991年のオークランド市の大火後の対応や9/11での対応で大きな役割を担い、都市計画分野の重鎮である。彼が明治大学の招きで4月中旬に来日する機会をとらえて研究会を開催した。

日本側からも阪神淡路大震災からの復興についての2題をお話いただいた。第1は、JAZZを中心とした神戸とニューオリンズの復興に関する交流について、神戸とニューオリンズのジャズ交流実行委員会を代表して神戸市の太田敏一氏、第2はPDCAサイクルに則った市民参画型の復興の進捗管理について神戸都市問題研究所の本荘雄一氏が報告した。話題提供は英語で行い、通訳を同志社大学の立木茂雄先生にお願いした。

日時：平成21年4月24日(金)13:30～16:30

参加者数：38名

「ハリケーンカトリーナからのニューオリンズ市の復興」(ニューオリンズ市復興本部長 Ed Blakely)

「神戸とニューオリンズのジャズ交流～大災害からの復興における文化の役割～」(神戸とニューオリンズのジャズ交流実行委員会 太田敏一)

「阪神淡路大震災の教訓」(財団法人神戸都市問題研究所・常務理事 本荘雄一)

#### ・第2回

＜Business Flow Diagram(BFD)をまなぶ＞

第2回は京都大学防災研究所林研究室で最近開発したBusiness Flow Diagram (BFD)の講習会を実施した。BFDは業務プロセスを可視化するツールであり、これとエスノグラフィとを組み合わせることで災害対応業務の見える化や、災害対応マニュアルの見直し、などを手戻りなく進め、災害対応業務の標準化が可能になる。この日は1日プログラムとして、午前中には、ベストプラクティス紹介として、BFDを利用した災害対応マニュアルの見直し・作成を行った橿原市と大阪市水道局に事例発表をお願いした。午後は、出席者全員が参加してBFDの使い方を実習した。

日時：平成21年7月24日(金)10:30～16:30

参加者数：58名

「奈良県橿原市での防災マニュアル作成と地域防災計画の策定」(橿原市危機管理室危機管理課・課

長補佐 立辻満浩)

「大阪市水道局における事業継続計画の策定」(大阪市水道局工務部・危機管理担当課長 江口勝彦)

実習「Business Flow Diagramをまなぶ」(京都大学生存基盤科学研究ユニット・助教 浦川豪)

#### ・第3回

＜林勲男ワールドを訪ねてー災害と地域特性：文化人類学・地域研究からのアプローチ＞

第3回は、国立民俗学博物館の林勲男先生によるプログラム編成で、林先生をはじめとする災害人類学を研究される皆さんの最近のご研究・ご活躍をご紹介いただいた。

日時：平成21年10月23日(金)13:30～16:30

参加者数：37名

「災害研究とエスノグラフィ」(国立民族学博物館／総合研究大学院大学・准教授 林勲男)

「トルコ・マルマラ地震から10年：復興から防災へ」(京都大学東南アジア研究所・特任助教(G-COE) 木村周平)

「中国・汶川地震における復興状況：対口(たいこう)支援と資源化される(羌文化)」(愛知大学大学院中国研究科・教授 松岡正子)

#### ・第4回「災害対応研究会」公開シンポジウム

比較防災学ワークショップとの共催にて開催した。(「4. 比較防災学ワークショップ」を参照)

### 4. 第10回比較防災学ワークショップ

ーみんなで防災の知恵を共有しようー

10th Workshop for “Comparative Study on Urban Earthquake Disaster Management”

#### 4.1 開催趣旨

自然災害は、自然現象であり、同時に社会現象でもある。阪神・淡路大震災をきっかけとして、「災害に強い社会」を作るためには社会現象としての災害についての研究の必要性が明らかになった。

阪神・淡路大震災をはじめ、米国・ノースリッジ、台湾・集集、トルコ・マルマラ地震災害による都市地震災害、2001年の911WTCテロ災害や国内での有珠山、三宅島、雲仙・普賢岳などの噴火災害、2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖地震、10月23日に発生した新潟県中越地震、12月26日に発生したスマトラ島沖地震・津波災害、また、風水害については1998年と1999年の全国的な氾濫災害と土砂災害、さらに、2004年に日本各地を襲った風水害や2008年には全国的にゲリラ豪雨災害が多発した。これらに共通することは被害様相が国や地域によって大きく異なる特

徴をもっているということである。

このワークショップは地域によって異なる様相を示す災害について、さまざまな角度から比較・検討する場を作ろうとする試みである。地域、文化、時間、季節、立場、年齢、男女等の比較を通じて、生活と防災に関する新しい発見が生まれることが期待されている。

2001年から始まったこのワークショップは、当時進行していた都市地震災害に関する日米共同研究の成果を共有する場として、特に災害の社会的側面に焦点を当てた研究に関するワークショップとしてスタートした。第1回比較防災学ワークショップは神戸国際展示場で、2001年1月18日・19日に、第2回は、神戸国際会議場で2002年2月14日・15日、第3回は、神戸国際展示場で2003年1月30日～31日に開催した。

都市地震災害に関する日米共同研究の終了後も、比較防災学の推進の必要性は何ら減ずる訳ではなく、むしろこうした機会を継続する必要性は一層高まったと考え、以下に述べるようにこのワークショップの性格を明確化した上で、今後も毎年1月、または2月に神戸で開催することを決定した。

- [1] 従来のワークショップと違い、講演を中心とするのではなく、広く会場から意見の提出を求め、それを集約するやり方で会場運営し、全参加者の能力向上を目指すユニークな試みである。
- [2] 比較防災学に関するワークショップは世界で初めての開催であり、21世紀の初めにそれを開催し、継続するインパクトは大きい。
- [3] 会場が毎年、同じ場所に固定されており、継続性の高いワークショップである。
- [4] メモリアル・カンファレンス・イン神戸（現在、「災害メモリアル神戸」として継続中）とセットで、1つの震災記念事業として位置づけられる。
- [5] 研究者のみならず、行政の防災担当者、災害情報分野の民間企業の社員などが、これまでになかったオープンな雰囲気活発な意見交換ができる。

以上の方針にもとづいて、第4回を神戸国際展示場で2004年1月29日～30日、第5回を神戸国際展示場で2005年1月20日・21日、第6回を神戸国際展示場で2006年1月17日・18日、第7回を神戸国際会議場で2007年1月18日・19日、第8回を神戸国際会議場で2008年1月16日、第9回を神戸国際会議場で2009年1月16日に開催した。今年度も第10回として、また今回よりは、災害対応研究会（「3. 災害対応研究会」参照のこと）との共催で、神戸国際会議場にて2010年1月19日、20日に開催した。

## 4.2 開催日時

2010年1月19日(火)14:00～17:00、1月20日(水)10:00～17:00

## 4.3 開催場所

神戸国際会議場5階501会議室

## 4.4 プログラム

「新型インフルエンザの危機管理を考える」

<2010年1月19日>

14:00～14:05 開会挨拶（関西大学理事・教授 京都大学名誉教授 河田恵昭）

14:05～15:25 基調講演1：「新型インフルエンザから学べること」（神戸市立医療センター中央市民病院・小児科部長・感染症科部長 春田恒和）

15:35～17:00 基調講演2：「新型インフルエンザの危機管理」（関西大学理事・教授／京都大学名誉教授 河田恵昭）

<2010年1月20日>

ー新型インフルエンザの危機対応事例に学ぶー

10:00～10:40 「京都府の事例ー検証会議の結果からー」（京都府府民生活部・危機管理・防災課長 今井真二）

10:40～11:20 「ーパンデミックに備えて 危機管理体制と業務継続の視点からー京都市における新型インフルエンザ対策」（京都市消防局防災危機管理室・危機管理課長 宿久勝彦）

11:20～12:00 「橿原市の事例ー地震防災マニュアルから新型インフルエンザマニュアルへー」（橿原市危機管理室危機管理課・課長補佐 立辻満浩）

13:30～14:10 「兵庫県の事例ー検証会議の提言を踏まえた新型インフルエンザ対策ー」（兵庫県企画県民部防災企画局 防災計画室長 村田昌彦）

14:10～14:50 「神戸市の経緯から対策の課題を探る」（神戸市 保健福祉局長 桜井誠一）

14:50～15:30 「大阪市水道局の対応」（大阪市水道局工務部 危機管理担当課長 江口勝彦）

15:45～17:00 パネルディスカッション「新型インフルエンザの危機対応を考える」

コーディネーター：京都大学防災研究所巨大災害研究センター長・教授 林 春男

パネリスト：河田恵昭、事例報告者全員

17:00 終了

## 4.5 研究成果

[1] 延べ100名が参加した。

[2] 2009年は、新型インフルエンザに対する危機管理・対応が大きな課題となった年であった。年頭から強毒性の新型インフルエンザ（鳥）のバ

ンデミックを想定した事業継続計画の策定・危機対応訓練、また4月からは弱毒性の新型インフルエンザ(豚)が実際に世界的に大流行した。本シンポジウムでは、新型インフルエンザの危機管理・対応のあり方について、実際に危機対応を行った自治体が行った検証結果をもとに一元的危機管理体制について検討を行った。

[3] 研究成果の詳細をまとめた第10回比較防災学ワークショップProceedingsを刊行した。

## 5. 第7回ワークショップ「災害を観る」

巨大災害研究センターでは、1998年から2年に1回「災害を可視化する」をキーワードに災害・防災研究における「可視化」に関する様々な事例について共有することを目的としたワークショップを開催している。今回、第7回目となる「災害を観る7」を、2010年3月2日～3日にかけてキャンパスプラザ京都において開催された。大学、企業、自治体から60人が参加し、活発な議論が行われた。

このワークショップは、座長がコーディネーションを行いその分野における新しい試みを紹介するコーディネーションセッションと公募セッションから構成されている。コーディネーションセッションでは「ユビキタス社会の新技术」（座長：東田光裕・NTT環境エネルギー研究所）、「災害対応」（座長：田中聡・富士常葉大学）、「ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)と減災」（座長：越村俊一・東北大学）、「GISの新たな試み」（座長：中谷友樹・立命館大学）、「2007年新潟県中越沖地震の災害対応とGIS」（座長：田村圭子・新潟大学危機管理室）という5つのテーマについて最新の「可視化の取り組み」が紹介された。また、公募セッションでは2件の災害の可視化に関わる取り組みが報告された。

1日目のセッションでは、企業・大学で開発されている最先端技術を使った取り組みが紹介され、直前に発生したチリ津波のシミュレーション結果についても報告が行われた。2日目のセッションでは主として自治体の取り組みが報告され、2007年新潟県中越沖地震におけるGISを活用した災害対応や通常業務へのGISの活用方法の模索などが紹介された。

・第1日目（平成22年3月2日）

10:00-10:20 開会挨拶（京都大学防災研究所巨大災害研究センター長・教授 林春男）

●10:20-11:50 ユビキタス社会の新技术<座長：東田光裕（NTT環境エネルギー研究所）>

10:20-10:35 座長による本分野のレビュー

10:35-11:00 「タンジブル・ユーザ・インタフェースを適用した防災ソリューションの提案」（NTTコムウェア株式会社 小林和恵）

11:00-11:25 「GEOSPACEプラットフォームの開発と展望」（株式会社NTT-ME 朝比奈秀文）

11:25-11:50 「災害対策本部における状況認識統一のための主題図作成支援ツールの開発」（株式会社NTTデータCCS 大村 径）

12:40-13:00 ランションセッション「災害対応を観る-TRENDREADER(TR)<sup>TM</sup>を用いた災害対応情報の抽出」（京都大学防災研究所・佐藤翔輔）

●13:00-14:00 災害対応<座長：田中聡（富士常葉大学大学院環境防災研究科）>

13:00-13:15 座長による本分野のレビュー

13:15-14:00 「DIY減災の可能性」（富士常葉大学大学院環境防災研究科 高島正典）

●14:10-15:15 ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)と減災<座長：越村俊一（東北大学大学院災害制御研究センター）>

14:10-14:25 座長による本分野のレビュー

14:25-14:50 「災害シミュレーションのリアリティ」（プロメテック・ソフトウェア株式会社 川上浩）

14:50-15:15 「GEO Gridが提案する次世代型リアルタイム地震動マップ(QuiQuake)」（産業技術総合研究所 松岡昌志）

●15:25-16:15 公募セッション<座長：牧 紀男（京都大学防災研究所巨大災害研究センター）>

15:25-15:50 「豪雨崩壊や地すべりのGISによる可視化と解析」（愛媛大学社会連携推進機構防災情報研究センター・愛媛大学GIS研究会 山岸宏光）

15:50-16:15 「小型無人機を用いた空からの被災状況把握」（宇宙航空研究開発機構 原田賢哉）

●16:30-18:00 GISの新たな試み<座長：中谷友樹（立命館大学文学部）>

16:30-16:35 座長による本分野のレビュー

16:35-17:05 「身体地図情報システムによる傷害情報の記述・分析・可視化」（産業技術総合研究所北村光司）

17:05-17:35 「自己組織化マップを用いた人口変動の地理的特性の可視化—阪神淡路大震災前後の神戸市既成市街地を事例として」（日本学術振興会特別研究員・立命館大学 桐村 喬）

17:35-18:00 「iフォーラム～道路空間上を移動している移動体に対する防災・災害情報の伝達手法の研究～」(インクリメントP(株) サービスプラットフォーム本部 須藤 三十三)

・第2日目（平成22年3月3日）

●9:30-11:00 2007年新潟県中越沖地震の災害対応とGIS<座長：田村圭子（新潟大学危機管理室）>  
9:30-9:45 座長による当該分野のレビュー

9:45-10:10 「新潟県庁における「地図作成班（Emergency Mapping Center）」の活動」（にいがたGIS協議会 坂井宏子）

10:10-10:35 「柏崎市における「地図作成班（Emergency Mapping Center-K）」の活動」（横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター 古屋貴司）

10:35-11:00 「生活再建の実現に向けた「被災者台帳」の構築」（新潟大学災害復興科学センター 井ノ口宗成）

●11:00-12:30 災害とGIS<座長：浦川豪（京都大学生存基盤科学研究ユニット）>

11:00-11:15 座長による当該分野のレビュー「平常時から危機発生時へのシームレスなシステム移行を可能とする位置情報に基づくデータベース構築と全庁的な活用」

11:15-11:40 「宇治市における業務効率化指向の全庁的な位置情報活用」（宇治市役所・総務部IT推進課 田中真也）

11:40-12:05 「石川県輪島市における超スモールスタートの業務効率化・高度化のための全庁的な位置情報活用－2007年能登半島地震の災害対応を経験して－」（輪島市総務部企画課 倉本啓之）

12:05-12:30 「新潟県柏崎市における測量指向の統合型GISからの脱皮と業務効率化・高度化へ向けた位置情報の活用－2007年新潟県中越沖地震の災害対応を経験して－」（柏崎市総合企画部企画政策課情報政策係 本間 努）

12:30-12:40 まとめと閉会挨拶（京都大学防災研究所巨大災害研究センター長・教授 林春男）

## 6. 自然災害データベース

### 6.1 データベース“SAIGAI”

巨大災害研究センターでは、その前進である旧防災科学資料センターの設立当初より、国内における災害史資料の収集・解析を行い、これらの資料をもとに比較災害研究、防災・減災などに関する研究を実施してきた。これらの実績を踏まえて、昭和57年度よりデータベース“SAIGAIX”を構築し、旧防災科学資料センター所蔵の論文ならびに災害関連出版物の書誌情報を登録してきた。この“SAIGAIX”は、平成元年度に科学研究費（研究成果公開促進費）の補助を受けて全国的な文献資料情報データベース“SAIGAI”として拡充された。現在、本センターを中

核として、全国各地資料センター（北海道大学・東北大学・埼玉大学・名古屋大学・九州大学）の協力のもとでその構築作業が継続されている。

昭和58年に文献検索に資するため、科学研究費・特別研究「自然災害」の補助を受けて「自然災害科学キーワード用語集」が刊行された。平成2年に検索サービスは、京都大学大型計算機センターのデータベースへ移行し、大学間ネットワーク（N1システム）に加入している大学であれば、日本語端末を用いて資料の検索が可能になった。平成6年には、キーワードの追加・体系化を行った改訂版が「自然災害科学キーワード用語・体系図集」が刊行された。平成10年、平成20年に、データベースの処理能力増強を目的とした計算機システムの更新を行った。検索システムはWWW上に構築され、各ユーザーはパーソナル・コンピュータなどのwebブラウザから自由にアクセスが可能となっている。平成21年度には新たに約8,000件の資料を登録し、登録されているデータは、平成22年3月現在で10万6036件と、10万件を超えた。なお、データベース“SAIGAI”はURL、<http://maple.dpri.kyoto-u.ac.jp/saigai/>でアクセス可能である。

### 6.2 災害史料データベース

巨大災害研究センターでは、昭和59年度より歴史資料に現れる災害及びその対応等の関連記事をデータベース化するプロジェクトを実施している。

その成果として蓄積されてきた史料とその現代語訳データは「災害史料データベース」として、公開している。平成16年に、データベースをウェブ上で検索可能にし、表示できるようにする公開用プラットフォームが科学研究費補助金の交付を受けて作成され、データベースにはURL、<http://maple.dpri.kyoto-u.ac.jp/saigaishiryo/>でアクセス可能となっている。

平成21年度は西暦1184年から1259年までの史料の現代語訳を行った。災害史料データベースに登録されている史料データは、平成22年3月現在で、西暦599年～1615年までの1万3632件に達し、1259年までの現代語訳が完了した。現在は1615年以降の史料の収集を継続している。

## **Information Analysis in the Field of Natural Disaster Science (37)**

Haruo HAYASHI, Katsuya YAMORI, Norio MAKI, and Shingo SUZUKI

### **Synopsis**

The objectives of this paper are to summarize the research activities of Research Center for Disaster Reduction Systems, DPRI. They are systematically organized by not only our staff members but also many researchers and practitioners who do voluntary work in some workshops and symposia. Open symposia were held monthly with large audience. The 15th Seminar for Regional Disaster Prevention Plan was held focusing on the flood disaster reduction. The 10th Workshop on Comparative Disaster Studies was held to discuss the emergency management for pandemic influenza of 2009. The 7th Workshop on Visualization for Disaster Reduction was held to provide an integrated review on the ICT and GIS technology for disaster reduction. We are also upgrading and expanding the database SAIGAI and historical disaster database.

**Keywords:** database, catastrophic disaster, comparative disaster studies, seminar, workshop





## 京都大学防災研究所 平成 21 年度 共同研究報告

平成 8 年度に、防災研究所が改組され、全国共同利用研究所と位置づけられたことに伴い、共同研究を実施することになった。共同研究の内容は、共同研究と研究集会に大別できる。全国の研究者から研究課題を募集・選定し、一般共同研究、萌芽的共同研究及び研究集会の 3 種目の共同研究について、所内および所外の各 11 名の研究者で構成される防災研究所共同利用委員会で、採択課題の選定が行われる。

平成 21 年度の各種目についての、応募件数、採択件数および研究配分額は次の表のとおりである。

	採択数	応募件数	共同研究費 (千円)	共同旅費 (千円)	合計
一般共同研究 (平成 20-21 年度)	11		5,303	4,663	9,966
一般共同研究 (平成 21 年度)	12	41	4,224	7,510	11,734
萌芽的共同研究	1	1	300	0	300
研究集会	9	18	1,579	4,421	6,000

以下の報告は、平成 20～21 年度に実施された一般共同研究 11 件、平成 21 年度に実施された一般共同研究 11 件、萌芽的共同研究 1 件、研究集会 9 件の報告である。一般共同研究及び萌芽的共同研究の参加者は 207 名、研究集会参加者は 676 名である。

また、これらの共同研究等の採択課題名は、防災研究所ニュースレターに掲載される。

本研究所では、施設・設備のいくつかを所外研究者の利用に供している。それらの利用状況を本報告書の終わりに掲載した。

## 一般共同研究（課題番号：20G-01）

課題名： 観測網と台風シミュレーションを用いた台風被害予測手法の開発  
研究代表者： 前田 潤滋  
所属機関名： 九州大学 大学院人間環境学研究院  
所内担当者名： 丸山 敬  
研究期間： 平成 20 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 2 月 28 日  
研究場所： 京都大学防災研究所，九州大学  
共同研究参加者数：12 名（所外 4 名，所内 8 名）  
・大学院生の参加状況：0 名

### 研究及び教育への波及効果について

観測網と台風シミュレーションを用いて，風，雨，潮位などの気象要素による被害の程度と範囲の予測手法を開発し，予測精度の確認と向上を図ることによって，台風被害の防災と減災の対策に貢献する。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

台風による被害は，被害形態が多様で広範囲に及ぶため，強い台風に襲われると社会的・経済的なダメージが大きい。一方，台風は地震発生などと異なり，観測技術の発達によって数日前からの正確な進路予測が可能になりつつある。従って，風，雨，潮位などの気象要素から被害の程度・範囲が高精度に予測できれば，防災・減災対策へ大きく貢献できる。本研究では，九州に展開された観測網による実観測データおよび被害調査結果との比較・検証を行いながら，メソスケールモデルを用いた台風シミュレーションおよび被害予測モデルによる台風被害予測手法の開発を行って，確率モデルや数値シミュレーションを利用した被害予測精度の向上を目指すものである。

#### (2) 研究経過の概要

平成 20 年度に引き続き計算結果の評価方法の検討と計算手法の改良を進めた。建物被害と強風場の予測に関して，計算値と観測値との比較，建物被害予測精度の向上手法の検討，高潮・高波の解析手法の開発，確率台風モデルの構築を行った。本研究成果の社会還元として，平成 21 年 8 月 19 日に福井県福井市の AOSSA（アオッサ）内の福井地域交流プラザにおいて，(財)福井県建設技術公社の共催と福井県の後援により自治体や関連業界の防災担当者および一般市民を対象とした講演会「台風などの強風に伴う災害の現状と防災・減災対策」を開催した。その他，平成 22 年 3 月 17 日に防災研究所において研究討論会を開催し，研究参加者の進捗状況報告と情報交換を行って，研究成果の報告内容を検討した。

#### (3) 研究成果の概要

台風の強風場の計算手法に関して，渦位逆変換法による台風ボーガジングにより，仮想的な台風場を数多く発生させる手法を開発して，仮想的な強風事例による被害の統計的な検証が可能であることを明らかにした。また，地上付近の風速場予測の精度をさらに改善するために，メソスケールモデルによる計算結果をラージエディシミュレーションによる詳細計算に接続するための手法を開発した。次いで，建物被害と強風場との関連について，メソスケールモデルによる風速場の算定結果を活用することによって，被害予測精度を向上できる評価手法を提案した。さらに，強風場と高潮・高波の関係について，強風場における高潮・高波の解析手法を開発して，確率台風モデルを構築した。

#### (4) 研究成果の公表

- 1) 丸山敬・前田潤滋・友清衣利子・中野満寿男・金田幸恵：メソスケールモデルにより計算された台風に伴う強風場の再現性，平成20年度京都大学防災研究所一般共同利用研究集会”台風災害を防ぐ”，2008.12, pp. 60-65.
- 2) 丸山敬・前田潤滋・友清衣利子・中野満寿男・金田幸恵：メソスケール気象モデルにより再現された台風0418号の強風場，第20回風工学シンポジウム論文集, 2008.12, pp.37-42.
- 3) 内田孝紀・丸山敬・竹見哲也・奥勇一郎・大屋裕二・李貫行：気象モデルと流体力学モデルを用いた風車設置地点における設計風速評価手法の提案, 日本風力エネルギー協会誌, 投稿中
- 4) 友清衣利子・前田潤滋・丸山敬：構造特性に基づく住家台風性能を考慮した被害率の算定, 日本風工学会誌・日本風工学会論文集, 2009.5, No.119, pp.145-146.
- 5) 友清衣利子・前田潤滋：構造特性の数量化指標を用いた台風時の住家被害拡大に及ぼす影響因子の偏相関分析—台風9119号の住家被害アンケート調査に基づく検討, 2009年度大会（東北）学術講演梗概集, 2009.8, pp.99-100.
- 6) 友清衣利子・前田潤滋：強風による住家建物被害の拡大に及ぼす影響因子の抽出法に関する試み—強風被害発生要因の分析への構造物特性指標の利用例, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻第642号, 2009.8, pp.1423-1431.
- 7) 丸山敬：風水害出張講演会, 京都大学防災研究所ニューズレターNo.50, 2008.11, p.11.

## 一般共同研究（課題番号：20G-02）

**課題名：** 地球温暖化時における河川流量の変化予測と水災害リスクマッピング  
ー日本全流域を対象としてー

**研究代表者：** 立川 康人

**所属機関名：** 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

**所内担当者名：** 寶 馨

**研究期間：** 平成 20 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 2 月 28 日

**研究場所：** 京都大学大学院工学研究科，京都大学防災研究所

**共同研究参加者数：** 6 名（所外 3 名，所内 3 名）

- ・大学院生の参加状況： 2 名（修士 2 名）
- ・大学院生の参加形態 [修士論文の研究テーマとして参加している。]

### 研究及び教育への波及効果について

修士論文や卒業研究のテーマとして学生が熱心に取り組んでおり，査読付論文も掲載された。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

将来の気候を推計する大気大循環モデルの空間分解能が著しく高解像度化している。この大気大循環モデルが出力する気候推計情報と水工シミュレーションモデルを用いて，気候変化によって将来の洪水・渇水災害リスクや水資源が変化する可能性にある地域を検出し，適切な適応策を講じることが重要な課題となっている。本研究では気候変化によって水災害の発生の仕方や水資源が変化する可能性のある流域を検出することを目的とし，日本列島全域を対象とする分布型流出モデルを構築して，将来の河川流量の変化を分析した。流出計算の入力データとして，気象庁気象研究所の超高解像度全球大気モデルによって計算された現在気候実験(1979-2003年)，近未来気候実験(2015-2039年)，21世紀末気候実験(2075-2099年)の気候推計情報を用いた。

#### (2) 研究経過の概要

平成 20 年度は，日本列島全域を対象とする全国分布型流出モデルを構築し，既存の詳細分布型流出モデルと比較して，その再現性を確認した。また洪水ピーク流量を再現するために必要となる入力データの時間分解能を分析し，大気大循環モデルが出力する日単位の表面流出量データを時間単位の降水量データで時間分解すれば，洪水ピーク流量の再現が可能であることを確認した。

平成 21 年度は全国分布型流出モデルを用いて，気象庁気象研究所の超高解像度全球大気モデルによって計算された気候推計情報を入力データとして，75 年間の流出計算を実施した。約 4km 空間分解能で流出計算結果を保存して流況の変化を分析するとともに，その結果を空間的に表示して地域的な流況の将来変化の可能性を分析した。

#### (3) 研究成果の概要

洪水に関して年最大ピーク流量の変化を分析した結果，東北地方北部，近畿地方南部，四国地方，九州地方北部で年最大ピーク流量の平均値が増加し，豪雪地帯である東北地方南部の日本海側では小さくなる傾向が見られた。また平均値が増加する地点では標準偏差も増加する傾向が見られた。

水資源に関して特に融雪量に着目し，月流量の変化を分析した結果，東北地方南部の豪雪域で月流量の変化パターンが大きく変化する可能性があることが分かった。豪雪地帯でありかつ気温変化が積雪融雪に大きな影響を

与える東北地方南部では、積雪融雪の変化によって河川流況が変化する可能性がある。

渇水に関して年間で上位から 355 番目の日流量である渇水流量の変化を分析した結果、西日本では渇水流量が減少する可能性があることが分かった。

これらの上記の変化は、日本列島全域で一様に現れるのではなく、洪水、渇水、水資源のそれぞれの項目で異なる地域性が見られた。また近未来気候実験でこの変化傾向が見られ、21 世紀末気候実験ではその変化が一層、明瞭となった。

#### (4) 研究成果の公表

本研究に関連する研究論文を以下に挙げる。

- 1) 立川康人: 河川流量の将来推計に必要となる大気モデルの時空間スケールと精度について, 水循環, 貯留と浸透, 71, pp. 24-27, 2009.
- 2) 滝野晶平, 立川康人, 椎葉充晴, 山口千裕, 萬 和明: 地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計, 水工学論文集, 第 54 巻, pp. 475-480, 2010.
- 3) 立川康人, 滝野晶平, 萬 和明, キムスンミン, 椎葉充晴: 気候変化が日本の洪水発生に及ぼす影響の推定, 京都大学防災研究所年報, 2010, 投稿中.
- 4) 立川康人, 滝野晶平, 藤岡優子, 萬 和明, キムスンミン, 椎葉充晴: 気候変化が日本の河川流況に及ぼす影響の予測, 土木学会論文集, 準備中.

また、本研究で得られた成果は、文部科学省が実施する「21 世紀気候変動予測革新プログラム」のパンフレット(2010 年 3 月 31 日発行)の一部でも紹介された。

## 一般共同研究（課題番号：20G-03）

課題名： 天井川地形の形成過程を探る ―山城盆地遺跡調査で発見された洪水堆積層に着目して  
研究代表者： 小泉 裕司  
所属機関名： 城陽市教育委員会  
所内担当者名： 釜井 俊孝  
研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日  
研究場所： 京都府  
共同研究参加者数： 7名（所外3名，所内4名）  
・大学院生の参加状況： 0名

### 研究及び教育への波及効果について

歴史環境の変遷と防災を主なテーマとし、文理工を横断する新たな研究グループが形成された。  
本研究の成果は、新たに提案し実施される予定の平成22年度研究科横断型教育プログラム「防災考古学」に一部生かされている。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

天井川は、河道を人為的に固定し堤防のかさ上げを繰り返してきた帰結であり、災害リスクの高い代表的な沖積地形である。その歴史には河成作用と土地利用の連関が端的に表現されており、持続的な流域環境マネジメントの重要性を示唆する歴史遺産であるが、その形成過程については不明な点が多い。そこで、南山城盆地の代表的な天井川システムの成り立ちを分析する。

#### (2) 研究経過の概要

天神川南山城地域における典型的な天井川河川の一つである。上流の光明山寺盆地（埋積谷）と下流の天井川化した部分で、詳細な地盤調査（物理探査，調査ボーリング）を実施した。また、これまでに収集した天井川形成期の年代測定用試料16点を分析し、南山城地域の地形環境変遷史における具体的な時間目盛を設定した。木津川の河谷平野に発達する荒州（埋没破堤地形）は、支流の天井川化の影響下で形成された地形である。そこで、荒州の内部構造を調査し、河道地形の変化に基づいた流出土砂量、氾濫流量の推算によって天井川形成期の洪水イベントの復元を試みた。

これらの成果を踏まえて、平成21年12月12日に京都大学宇治地区黄檗プラザにおいて、シンポジウム「天井川時代―中近世の災害と考古学―」を開催した。主催は、京都大学防災研究所斜面災害研究センターとし、京都府山城広域振興局と城陽市教育委員会の後援を得て実施した。

#### (3) 研究成果の概要

天神川では、天井川堆積物と考えられるマサ起源砂層の放射性炭素年代として、Cal AD 1290 to 1420 ( $2\sigma$ 年代)が得られた。すなわち、天神川において天井川化が始まった時期は、鎌倉末期から室町前期の南北朝時代であると考えられる。同様の年代値は、枚方市の天野川上流部の埋没谷堆積物や多羅尾盆地（大戸川の最上流部）を埋積する堆積物の基底部でも得られている。これらの年代値をまとめると、畿内各地において天井川化が始まる時期、すなわち土砂生産が増加する時期を示す年代値は、天井川の上流から下流にかけてほぼ同時期である。それは畿内においては、従来定説とされていた近世よりも古く、ほぼ南北朝期まで遡りうる事が判明した。また、ほぼ同時代に本流（木津川）で発生した洪水は、地形変化から推定して伊勢湾台風による洪水に匹敵する規模であった事がわかった。こうした災害の激化の背景のひとつとして、この時期に進行した村落構造の変化（惣村の

成立) が考えられる。すなわち, そうした社会構造の変化が, 村落周辺斜面の荒廃 (人為的なリスクの増大) と天井川の発達 (災害に対する組織的な社会対応) をもたらしたと考えられる。

#### (4) 研究成果の公表

釜井俊孝・原口 強 (2009) : 埋もれた都の地盤災害ー天井川と湖底遺跡ー, 地すべり学会関西支部, 200p.

T. Kamai (2010) : Raised Bed Rivers in Japan -the historical interaction between environmental changes and society, European Geosciences Union General Assembly 2010.

釜井俊孝・中塚良 (2010) : 南山城における天井川の形成過程, 日本地球惑星科学連合 2010 大会.

## 一般共同研究（課題番号：20G-04）

課題名： 地震波干渉法の応用による地殻構造の時間変化の検出手法の開発  
研究代表者： 平原 和朗  
所属機関名： 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室  
所内担当者名： 大見 士朗  
研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日  
研究場所： 防災研究所附属地震予知研究センター，および地震防災研究部門  
共同研究参加者数： 4名（所外 2名，所内 2名）  
・大学院生の参加状況： 0名

### 研究及び教育への波及効果について

本研究により，本来は観測の支障となっていた地動雑微動を地殻活動の監視指標として利用できる可能性が示された。具体的な検証作業がさらに必要ではあるとはいえ，本手法による既存の稠密微小地震観測網を用いた地殻活動モニタリングが実現すると，地震発生の準備過程や歪蓄積過程の時間変化の検出の可能性があり，地震発生予測といった観点から非常に意義が深い。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

地震波干渉法の応用である **Passive Image Interferometry** 法を用いて地殻構造の時間変化を検出する手法の開発と検証を行う。同手法では微小地震観測点における雑微動の自己相関解析を行うことで観測点下の構造を求める。さらに，時間的に定常な雑微動を用いることにより，地下構造の微細な時間変化が検出可能であるとされる。一点の地震観測点のデータの自己相関関数によりその地下構造の時間変化の検出が可能であることが検証されると，現在日本全国に展開されている微小地震観測網を用いて空間的かつ時間的に連続な地殻構造モニタリングが可能になることを意味しており意義が深い。

#### (2) 研究経過の概要

地動信号の雑微動部分の自己相関関数（ACF）の時間変化を調べる過程で，ACFの個々のフェイズのラグタイムだけでなく，ACFの減衰定数についても，その時間変化を求められることがわかってきた。特に，大都市近郊の人工ノイズの大きな地域では，後者の方が安定して求められる傾向がみられた。そのため，地殻構造モニタリングの試みとして，2007年能登半島地震の震源域，および定期的な地震活動のみられる近畿地方の丹波地域を選び，ACFの減衰定数に時間変化がみられるかどうかの検証を行った。

#### (3) 研究成果の概要

能登半島地震（2007年）の震源域周辺の微小地震観測点の雑微動のACFのフェイズのラグタイムの時間変化を調べることにより，同地域において本震発生後に地殻構造の変化があったことを発見した。その後，他地域で同様の例を調べるうちに，ACFのフェイズのラグタイムのみならず，減衰定数にも時間変化がみられる可能性があることが判明した。これを検証するために，大きな地震を経験した地域として能登半島地震の震源域，定期的な地震活動がみられる地域として近畿地方丹波地域の2地域を選び，それぞれ，ACFの減衰定数（以下， $Q_{acf}$ とよぶ）に時間変化がみられるかどうかを調べた。その結果，（1） $Q_{acf}$ の時間変化が認められる観測点がある，（2） $Q_{acf}$ の変化は，年周変動を含む形状のものに加え，永年変動を含むようにみえる観測点も存在する，（3）ACFの個別フェイズのラグタイムの時間変化に比較して， $Q_{acf}$ のほうが安定して求められることがある，などの結果が得られた。能登半島地震の震源域における地震前後の $Q_{acf}$ の明瞭な変化を認めることは現状では困難であった。 $Q_{acf}$ は，コーダ $Q$ （ $Q_c$ ）などの量との相関がよい，とする先行研究もあるため，今後， $Q_c$ などの多種類の観測量との比較をおこない， $Q_{acf}$ が地殻活動モニタリングに利用可能な量であるか否かを検証することが必要である。



丹波地域において、 $Q_{acf}$  と  $Q_c$  の比較を試みたが、発生した地震数に応じた量しか求めることのできない  $Q_c$  は、 $Q_{acf}$  に比較して時間分解能が低く、現状で両者の比較を十分に行うことはできなかった。今後の課題としたい。

#### (4) 研究成果の公表

Ohmi, S., Hirahara, K., Wada, H., and Ito, K., 2008, Temporal variations of crustal structure in the source region of 2007 Noto Hanto earthquake, central Japan, with passive image interferometry, *Earth, Planets and Space*, 60:1069-1074.

Ohmi, S., Hirahara, K., 2008, Possible Aquifer Near the Fault Plane of the 2007 Noto Peninsula Earthquake, Central Japan, Detected by the Passive Image Interferometry, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-02350, EGU General Assembly 2008 (Wien, Austria, April 2008).

大見士朗・平原和朗, 2008, Passive Image Interferometry によって検出された 2007 年能登半島地震震源域における急激な地震波速度低下領域, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集, S226-007 (2008 年 5 月, 幕張)

Ohmi, S., Hirahara, K., 2008, Temporal variations of crustal structure in the source region of the 2007 Noto Hanto Earthquake, central Japan, using ambient seismic noises, *Eos Trans. AGU*, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract S53A-1808 (San Francisco, U.S.A., December 2008).

大見士朗・平原和朗, 2009, 雑微動の自己相関関数の decay rate の時間変化検出の試み, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, S157-018, (2009 年 5 月, 幕張).

大見士朗・平原和朗, 2009, 地震波干渉法により検出された 2007 年能登半島地震震源域の地殻構造変化, 京都大学防災研究所年報, 52B, 231-239.

大見士朗・平原和朗, 2009, 雑微動の自己相関関数に地震前後の変化は見えるか? ~2007 年能登半島地震を例に~, 日本地震学会 2009 年度秋季大会講演予稿集, D11-11, (2009 年 10 月, 京都).

Ohmi, S., Hirahara, K., 2009, Temporal Variation of the Decay Rate of the Autocorrelation Function of the Ambient Seismic Noise, *Eos Trans. AGU*, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract S21A-1701 (San Francisco, U.S.A., December 2009).

## 一般共同研究（課題番号：20G-05）

課題名： 砂浜・潟湖系と流砂系の連関に着目した海岸侵食マネジメントの研究  
—上越地域海岸を対象として—

研究代表者： 泉宮 尊司

所属機関名： 新潟大学

所内担当者名： 間瀬 肇

研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日

研究場所： 京都大学防災研究所 大潟波浪観測所

共同研究参加者数： 14名（所外 7名，所内 7名）

・大学院生の参加状況：1名（修士 1名）（内数）

・大学院生の参加形態 [平成22年度の海浜流モデル開発のために、現地の見学，討論を公聴した。]

### 研究及び教育への波及効果について

近年全国的に問題となってきた広域漂砂系に関わる大規模な海岸侵食の問題を採り上げて、その実態調査において重要となる高解像度海底地形計測法の広域漂砂系への適用と長期的海浜変形モニタリングへの試行・実用化を目指した研究である。本研究により、これまでの海浜測量では得られなかった精度の高い詳細な地形変化が得られ、離岸流や戻り流れによる底質の流出状況や構造物周辺の洗掘量が定量的に把握でき、土砂収支の精度を高めることができるため、今後の同分野の教育及び研究への波及効果は大きいと言える。

#### (1) 目的・趣旨

本研究の目的は、気候変動及び海面上昇の影響を敏感に反映する砂浜・潟湖系に着目し、マルチスケール性の視点から高解像度の海浜海底地形計測法を適用・展開していく契機を作り出すことである。広域漂砂系に関わるブレイクスルーとして、海岸侵食に悩む上越地域海岸（典型的な砂浜・潟湖系）を試験海域として、初めて3次元サイドスキャンソナーによる高解像度の海底地形計測を行う。合わせて、高周回頻度の衛星画像を活用して、精度の高い長期海浜変形モニタリングの可能性を探る。特筆すべきは、これらの成果を海岸環境研究者コミュニティで共有し、かつそれらの幅広い試行へ向けて海岸管理者との協働のしくみを提示することにある。

#### (2) 研究経過の概要

2008年7月27日から30日にかけて新潟県上越市大潟海岸（観測栈橋近傍土底浜）において実施した、三次元サイドスキャンソナー(C3D)の計測結果(水平分解能2.0m, 水深の計測精度:0.1m程度)を用いて、水深0.5m毎の等水深線図を作成すると共に、新潟県によって実施された深浅測量成果図を地理情報化したデータと比較した。また、沿岸方向に100m, 岸沖方向に450mのサブブロックに分けて、土砂移動量を評価した。これらのデータを用いて、1998年から2008年までの土砂体積変化量を算定している。さらには、構造物周辺の洗掘状況や地形変化水深等を調査している。

高解像度海底地形調査結果ならびに海浜の広域的土砂管理に関する研究報告会を2009年8月27日および28日に上越市大潟区鶴の浜ニューホテルにて開催し、海岸管理者にも公開して意見交換を行った。この研究報告会では、高田平野の形成と妙高火山との関係、加賀・能登沿岸における沿岸砂州の変動特性、日向灘流砂系の土砂動態、波崎海洋研究施設および大潟波浪観測栈橋に沿った地形変化の実例が紹介された後、高解像度海底地形計測法の結果が詳細に示された。これらの結果を基に、上越海岸における土砂収支について議論がなされた。

#### (3) 研究成果の概要

本研究では、マルチアングル広帯域測深サイドスキャンソナー (Multi-Angle Swath Bathymetry Side Scan Sonar (C3D)) を用いて、2008年7月27日～30日に空間連続的で高分解能な海底地形計測を実施した。この広帯域測深サイドスキャンソナー(C3D)は、従来のマルチビーム測深器と比較して測深幅が大きく、浅海域の海底地形計測

を効果的に実施できる利点がある。また、測深機能とサイドスキャン（音響画像撮影）機能とを兼ね備えていることも特徴である。本高解像度海底地形計測により、以下の事柄が明らかとなった。

- 1) 人工リーフの沖合（水深 8m 線より沖）に、湾入状の海底地形（侵食域）が形成されている。
- 2) 京大観測栈橋の沖合に、大規模な弓形砂州地形（堆積域）が存在する。
- 3) 人工リーフ周辺において、局所的な地形変化（洗掘）が生じている。
- 4) 従来より波浪による地形変化の限界水深の値は、大潟海岸では 8m 程度とみなされてきたが、本調査結果によると、水深 8m 以深においても地形変化が生じている。

海浜の土砂収支に関しては、新潟県により実施されている深浅測量図を基に、各年代の 3 次元海底地形データを GIS に適用し、各サブボックスにおける算定基準面（T.P. -12m）より上部の土砂体積を求めた。算定された土砂体積の差をとると、各サブボックスにおける 1998 年から 2008 年までの 10 年間における土砂移動量が算定された。その結果、地形変化の限界水深（8m）よりも深いエリアに形成された湾入状侵食地形が海浜地形の侵食（堆積物量の減少）に大きく寄与していることが分かった。また、人工リーフ間に形成された局所洗掘も同様に海浜地形の侵食（堆積物量の減少）に大きく寄与している。言い換えると、海底地形が平均的に約 0.5m も低下したことが明らかとなった。

#### (4) 研究成果の公表

- ・東良慶・関口秀雄・蔡曙伍・渡邊康司：漂砂系土砂収支把握に向けた浅海域高解像度海底地形計測の試み，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.1431-1435，2009.
- ・Sekiguchi, H., Azuma, R. and Yamaguchi, N. (2010). Coastal erosion - A suite of multi-scaled processes, Proc. Int. Symp. on Water and Sediment Disasters in East Asia, Kyoto, (in press).
- ・由比政年：石川海岸における沿岸砂州の長期・広域変動に関する基礎的研究，海岸工学論文集 第 55 巻，pp.596-600，2008.
- ・M.Yuhi : Impacts of anthropogenic modifications of river basin on surrounding coasts, A Case Study, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, Vol.134, No.6, pp.336-344, 2008.
- ・M.Yuhi, S.Umeda, and K.Hayakawa, Regional analysis on the decadal variation of sediment volume in an integrated watershed composed of the Tedoru River and the Ishikawa Coast, JAPAN, Journal of Coastal Research, SI56(2), pp.1701-1705, 2009.
- ・早川和宏，由比政年，石田 啓：石川県千里浜海岸における沿岸砂州の変動に関する基礎的研究，海洋開発論文集，第 25 巻，pp.1197-1202，2009.
- ・K.Hayakawa, M.Yuhi, and H.Ishida : Migration of multiple sandbars on the Chirihama Beach, JAPAN, Proceedings of Coastal Dynamics 2009, in CD-ROM, Paper No.140, pp.1-11, 2009.
- ・川崎浩司・水谷法美・岩田好一朗・小林智尚・由比政年・斎藤武久・北野利一・鷺見浩一・間瀬 肇・安田誠宏：富山県東部海岸における 2008 年 2 月高波による被害調査，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.151-155，2008.
- ・間瀬 肇・安田誠宏・Tracey, H. Tom, 辻尾大樹：富山湾沿岸に災害をもたらした 2008 年 2 月冬季風浪の予測と追算シミュレーション，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.156-160，2008.
- ・間瀬 肇・安田誠宏・勝井伸悟：海浜変形評価に供する長期間の波浪・風時系列のモデル化 -上越地域海岸を対象として-，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.426-430，2008.
- ・Zheng, J., Mase, H., Demirbilek, Z. and Lin, L.: Implementation and evaluation of alternative wave breaking formulas in a coastal spectral wave model, Ocean Eng., Vol.35, Issues 11-12, pp.1090-1101, 2008.
- ・金 洙列，松見吉晴，安田誠宏，間瀬 肇，河合直樹：日本海沿岸における台風通過後の異常高潮特性の解析，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.376-380，2009.
- ・小野信幸・伊東啓勝・坂井隆行・西 隆一郎・間瀬 肇：河口域の流況特性に関する現地観測と数値シミュレーション，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.386-390，2009.
- ・間瀬 肇，田中 遼，森 信人，安田誠宏：日本海沿岸における波浪の経年変化特性に関する研究，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.1251-1255，2009.

- Demirbilek Z., D., Lihwa, L., Seabergh, W.C., Mase, H. and Zheng, J.: Laboratory and numerical studies of hydrodynamics near jetties, Coastal Engineering Journal, Vol. 51, No.2, pp.143-175, 2009.
- Mase, H., Yasuda, T., and Mori, N.: Modeling of long-term time series of wave and wind - Case study at Joetsu coast -, Coastal Dynamics 2009, Paper No.31, 2009.
- Mase, H., Yasuda, T., Tom, T. H., Tsujio, D. and Mori, N.: Forecast and Hindcast of Waves Which Caused Coastal Disasters along Toyama Coasts on February 2008, Proc. of 33rd IAHR Congress, pp.2854-2861, 2009.
- 安田誠宏・間瀬 肇・高橋真弘・松下紘資・徳永誠之：波形勾配・砕波の影響を考慮した消波ブロック安定数算定式の提案および耐波安定性の確率評価，京都大学防災研究所年報，第 52 号 B，pp.509-518，2009.
- 泉 正寿・泉宮尊司，浮遊砂による底質の沖合い流出量の定量評価に関する研究，土木学会海岸工学論文集，第 55 卷，pp.721-725，2008.
- 泉宮尊司・渡辺 聡・石橋邦彦，風速および気圧変動による長周期波の共鳴発達機構に関する研究，土木学会海岸工学論文集，第 55 卷，pp.201-205，2008.
- 泉宮尊司・白 晃栄・石橋邦彦：2008 年 2 月 24 日新潟・富山高波災害の気象・海象からの要因分析，土木学会海岸工学論文集，第 55 卷，pp.181-185，2008.
- 泉宮尊司・石橋邦彦，新潟県中越沖地震による海岸港湾施設の被害および海底古木による漁業被害の現地調査，土木学会海洋開発論文集，第 46 卷，pp.273-278，2008.
- 泉 正寿・泉宮尊司，浮遊砂の移流拡散を考慮した海岸構造物周辺の地形変化予測に関する研究，土木学会海洋開発論文集，第 46 卷，pp.1243-1248，2008.

## 一般共同研究（課題番号：20G-06）

課題名： 地震にともなう電磁波放射の物理的メカニズムを確定するための岩石破壊実験  
研究代表者： 筒井 稔  
所属機関名： 京都産業大学  
所内担当者名： 柳谷 俊  
研究期間： 平成 20 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 2 月 28 日  
研究場所： 京都大学防災研究所  
共同研究参加者数： 4 名（所外 3 名，所内 1 名）  
・大学院生の参加状況： 0 名

### 研究及び教育への波及効果について

地震前兆の電磁波の有無が議論されている中、その発生を圧電現象によるものとの考えに基づいて行った確認実験で、岩盤が破壊しなくても瞬時的衝撃が加わった状態でも電磁波パルスが励起される事を確認した。この事は今後の地震予知研究での大きな前進になると考えている。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

本研究代表者が突き止めた「地震に伴う地中電磁波パルスの励起」に関して、検出した電磁界の持続時間が数ミリ秒と極めて短いことから、その励起機構として、地中岩盤における「圧電現象」と考えており、その妥当性を示すために、岩石への衝撃印加とその破壊実験を行い、実際に電磁波が励起されるか否かの検証を試み、地殻変動に伴う電磁波励起の解明研究を目的としている。

#### (2) 研究経過の概要

岩石からの電磁波励起に関しては、その中に含まれている二酸化珪素  $\text{SiO}_2$  での圧電現象がその中心的役割を担っていると考えており、本研究の前段階においては、 $\text{SiO}_2$  の純粋な結晶としての水晶柱を用いて実験を行った。水晶柱の軸に沿った方向に衝撃を加え、その時の電磁界発生を確認し、衝撃波が有限長の水晶柱内を往復伝搬する事により生ずる定在波に依存した電界・磁界の両成分の波形の空間分布を取得し、その状況を確認している。

これを踏まえて、今回の研究においては、岩石内においても同様に、衝撃波の岩石内伝搬に伴う電磁界両成分の検出を目指して実験を繰り返してきた。測定実験では、10 cm x 7 cm の断面を持つ長さ 50cm の角柱の花崗岩の軸方向に衝撃を加えた時の、衝撃波に伴う電磁界の励起確認とその岩石内伝搬状況を調べた。

これまでの岩石破壊実験では、電界成分の検出が主であったが、自然界の岩盤からの電磁界放射現象を解明する本研究では、電磁波励起確認が主目的であるため、空間電磁界の測定を行う事を最重要であると考え、同一場所における電界・磁界の両検出用のセンサーを準備し、しかも岩盤と電気的に接触させる事無く、岩盤面上の空間的に異なる位置での同時測定が極めて特徴的であった。

具体的には、センサーとしては、5 mm 角で長さ 10 cm の高透磁率パーマロイ・コアに巻いた磁界検出用サーチコイル 4 個と、電界検出用として、素子長 2.5 cm のクロス・ダイポールアンテナ 4 組を用いて、電界・磁界成分の同時測定を試みた。そこでは、サーチコイルのコア軸を花崗岩軸に対しては直角に、しかも側面から 5mm 離して面に並行になるように、花崗岩軸に沿って 7 cm 間隔で配置した。一方、クロス・ダイポールはその面が花崗岩側面に並行で、一对のダイポールが花崗岩軸に平行にする事により、もう一对が垂直になり、それをパーマロイ・コアと花崗岩側面との間に、面から 2 cm 浮かせて、7 cm 間隔で配置した。これにより、電磁界センサーは共に花崗岩とは電気的に非接触であった。

花崗岩の軸方向への衝撃印加方法としては、直径 20 mm、長さ 20mm のガラス円柱を花崗岩の上部に寝かせ、そ

れを介して花崗岩に加圧する方式を採った。加圧によりガラス円柱が破壊された時点で、それまで花崗岩に加わっていた応力が解放されるため、負の応力衝撃を与えた事になり、地殻のプレート移動に伴うアスペリティにおける応力解放に類似した状況で、その小規模な状態を模擬した事になり、ずれを起こしているプレート境界面では常に発生しているものと考えている。このような実験および測定系において実験を行った結果、極めて有意義な結果を得る事が出来た。

### (3) 研究成果の概要

測定実験では、応力衝撃とその伝搬波と検出電磁界の関係をも調べた。即ち、花崗岩の軸に沿って 21 cm の距離での 4 箇所の測定点での電磁界成分波形を見ると、衝撃波の源から離れるに従って、電磁界の検出開始時間が遅れている結果が得られた。そこで、この移動速度を調べると、秒速 5.2 km という結果が得られた。これは地震波の速度に一致しており、検出された電磁波は地震波による岩盤内での圧電効果に生じたものと思われ、衝撃応力により、岩盤から電磁波が励起されている証拠を示し、大きな成果を得る事ができた。

### (4) 研究成果の公表

成果概要で述べた「岩石内での地震波（衝撃波）伝搬に伴って電磁界が励起されている」という重要な事を示した。この結果について論文投稿の準備を進めている。

それら励起された電磁界が岩石外への伝搬の可能性については、更なる実験が必要と考えている。

## 一般共同研究（課題番号：20G-07）

課題名： 桜島火山における噴火様式と脱ガス過程の関係に関する物質科学的研究

研究代表者： 中村 美千彦

所属機関名： 東北大学

所内担当者名： 井口 正人

研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日

研究場所： 桜島火山観測所およびその周辺・東北大学

共同研究参加者数： 5名（所外 3名，所内 2名）

・大学院生の参加状況： 2名（修士 1名，博士 1名）（内数）

・大学院生の参加形態 [ 桜島火山噴出物の鉱物化学組成・含水量分析補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

定常的な活火山観測を行っている火山活動研究センターとの共同研究の内容について触れることで、大学院生に、現実の噴火活動に対する理解を深める貴重な機会を与えることができた。また、継続的な観測の重要性や、大学とは異なる機関での研究の進められ方、異分野共同研究の意義などについての理解を深めることができたと思われる。これらは、室内実験や、他の火山のフィールドワークを行っている大学院生にとっては、具体的な研究の遂行上も参考になったと思われる。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

火山活動が活発化した時に、その後の噴火様式の推移を予測することは火山防災上の最重要課題の一つである。そのためには、噴火の駆動力を生む揮発性成分の発泡が起こり、さらに火道やマグマ溜まりのマグマから分離する脱ガス過程の理解を進めることが必要である。そこで、桜島の過去の噴出物の揮発性成分に関する物質科学的研究を行い、噴火メカニズムの理解を進展させることを目的とした。

#### (2) 研究経過の概要

そのためには、まず第一にマグマ溜まりでの揮発性成分濃度を知る必要がある。そこで、直近の大規模爆発的噴火である大正軽石の斑晶メルト包有物の含水量を顕微赤外分光法で測定した。また、桜島火山の歴史時代以降の噴出物は、マグマ混合を経験していることが知られている。マグマ中の揮発性成分の由来や噴火のメカニズムを理解するには、混合の端成分の組成とマグマ溜まりの位置、そして混合が起こった場所とタイミング（マグマ溜まりへの供給と噴火の関係）を理解しておく必要がある。そこで、大正噴火噴出物の鉱物学的な研究を併せて行った。

#### (3) 研究成果の概要

鉱物化学組成から低温珪長質マグマ起源と考えられる、輝石斑晶中のメルト包有物 16 個の含水量の分析値は、最大で 2.4 wt%，多くは 0.7～2.1 wt%であった。これらが飽和溶解度を示すと仮定すると、メルト包有物が入り込まれた圧力は 60MPa 以下、深さ約 2.5 km 以浅と推定される。すなわち珪長質端成分マグマ溜まりは桜島直下の地殻浅部に存在して、その上部のマグマは脱ガスが進んでいると推定される。高温苦鉄質マグマ起源と思われる斑晶メルト包有物は分析数がまだ少ない。

大正軽石に含まれる磁鉄鉱斑晶および斜長石斑晶に含まれる磁鉄鉱包有物の化学組成を分析したところ、斑晶組成は非常に均質であるのに対し、包有物はそれより低温を示す幅広い組成を持つことがわかった。これは、低温端成分マグマへの高温端成分マグマの注入が大正噴火以前にも繰り返し発生していて、それらの注入とマグマ混合は、噴火をトリガーしてはいないことを示す。一方で、大正噴火の磁鉄鉱斑晶は最外縁部が僅かに溶解して

おり、噴火の直前に高温苦鉄質マグマとの混合があったことを示唆する。苦鉄質メルトは密度が大きいので、地殻浅部まで上昇するには気泡を多く含んでいる必要がある。これらのことから大正噴火では、高温マグマの繰り返し注入によって浅部マグマ溜まりの圧力が上昇し、臨界状態に達した段階でさらに揮発性成分に富んだマグマの大規模な注入が起こって、爆発的な噴火が発生したことが考えられる。

#### (4) 研究成果の公表

これらの研究は、2009年度の地球惑星科学連合大会・日本火山学会で発表した。さらにデータを増やして数年以内を目処に国際誌に論文を投稿する予定である。



## 一般共同研究（課題番号：20G-08）

課題名： 始良カルデラおよび桜島火山における反復人工地震実験におけるマグマ移動検出の基礎的研究

研究代表者： 筒井 智樹

所属機関名： 秋田大学工学資源学部

所内担当者名： 井口 正人

研究期間： 平成 20 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 2 月 28 日

研究場所： 鹿児島県桜島火山とその周辺

共同研究参加者数： 13 名（所外 11 名，所内 2 名）

・大学院生の参加状況： 4 名（修士 4 名，博士 0 名）（内数）

・大学院生の参加形態 [データ取得・データ整理・解析]

### 研究及び教育への波及効果について

大学院生および学部生に対して、火山活動の地球物理学的観測を実践する機会を得た。さらに、3名の大学院生は本計画で取得したデータを解析する機会に恵まれ、桜島火山の地下構造について知見を得ることができた。以上のことから研究、教育に対して十二分な効果があったと考える。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

桜島北部の始良カルデラでは最近 10 年間で 1 億立方メートルのマグマが蓄積されている。火山噴火予知における現時点での最大の問題はこのマグマがいつ、どの程度桜島南岳に向かって動き始めるかである。これを検知するためには反射法探査によって地下の状態変化を検出する必要がある。本研究では反復して反射法地震探査を行い、観測記録の後続相解析によって始良カルデラ中央部から桜島火山にかけての地下の状態変化を明らかにする。観測記録の活火山の地下における物質、特に本質物の移動を構造変化としてとらえた報告はまれである。本研究の成果はマグマ上昇過程の解明に対する基礎的な知見となることが期待される。

#### (2) 研究経過の概要

平成 20 年度は桜島火山東麓から北山腹にかけて 2 本の測線を展開して人工地震実験を行う、データ取得を行った。平成 21 年度は前年度と同一の測線を展開して再び人工地震実験によるデータ取得をおこなうとともに、前年度取得のデータの解析にも取り組んだ。

#### (3) 研究成果の概要

平成 20 年度に取得されたデータを解析し、桜島火山における地表から深さ 6km までの地震反射断面と地震波速度構造を得ることができた。この結果は平成 21 年度に取得されたデータの評価に用いる参照構造と位置づけられるものである。また平成 21 年度に再び取得されたデータの一部では前年度取得のそれと異なる様相を呈しているものの存在が明らかになった。以上のように本研究ではマグマ移動検出の基礎研究として重要な成果を得た。

#### (4) 研究成果の公表

- 1.平成 21 年度 地球惑星科学連合 2009 年大会にて口頭発表 1 件
- 2.平成 21 年度 物理探査学会春期学術講演会にてポスター発表 1 件
- 3.平成 21 年度 火山学会秋季大会にて口頭発表 1 件
- 4.平成 22 年度 地球惑星科学連合 2010 年大会にて口頭発表 1 件およびポスター発表 3 件（申し込み済み）
- 5.論文発表 京都大学防災研究所年報への投稿準備中

## 一般共同研究（課題番号：20G-09）

課題名： 浅部熱水系変動評価による水蒸気爆発発生過程の解明  
研究代表者： 篠原 宏志  
所属機関名： 産業技術総合研究所  
所内担当者名： 井口 正人  
研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日  
研究場所： 鹿児島県屋久島町口永良部島  
共同研究参加者数： 9名（所外 5名，所内 4名）  
・大学院生の参加状況：0名

### 研究及び教育への波及効果について

本研究により口永良部島における，地盤変動，地震活動，火山ガス放出活動の相関性が定量化され，地下における高温の火山性流体の供給が，繰り返し変動の原因として明らかとなった。  
今後，変動機構を明らかにすることにより，水蒸気爆発発生過程モデル化が進むと期待される。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

水蒸気爆発発生予測の向上に資する為に，口永良部島において火山ガス，放熱量，地震，地殻変動，自然電位観測に基づき浅部熱水系の変動モデルを構築することにより，前兆現象発現から水蒸気爆発発生に至る過程をあらかじめにする。

#### (2) 研究経過の概要

鹿児島県屋久島町口永良部島火山において，GPS 連続観測，COMPASS による火山ガス SO<sub>2</sub> 放出量の繰り返し観測，噴気温度連続測定，火山ガス組成の繰り返し測定を実施した。特に2008年9月には，山頂部における膨脹，地震活動が活発化した為に，火山ガス SO<sub>2</sub> 放出量の観測の頻度を増やし，高時間分解能での比較を行った。2009年度には山頂における噴煙および噴気の火山ガス組成観測を実施し，供給火山ガス組成及び地下における熱水系の温度条件の評価を実施した。

#### (3) 研究成果の概要

GPS 連側観測により，2008年9月から12月にかけて生じた口永良部島火山山頂部での膨脹を実時間で把握することに成功し，火山活動推移評価の根拠となった。噴火警戒レベルは，9月4日にレベル1（平常）から2（火口周辺規制）に，10月27日にレベル3（入山規制）に引き上げられた後，地殻変動，地震活動，SO<sub>2</sub> 放出量などの変化を踏まえ，2009年3月18日にレベル2に，2009年10月30日にレベル1に引き下げられた。

この間の地殻変動の解析により，山頂部の膨脹（2点間の距離変化）はゴンペルツ曲線で近似することができ，その加速度のピークは2008年9月1日に，速度の編曲点は10月6日に生じていることが明らかとなった。それに対し，SO<sub>2</sub> 放出量は，9月には2006-2007年と同様の日量20-40tonであったが，10月以降に顕著な増加が始まり，12月には日量200tonに達し，地殻変動と比較して約一ヶ月の遅延した変動が認められた。

2008年9月-12月と同様の山頂部の膨脹は，ほぼ2年毎に生じている。島内の繰り返しGPS観測の結果の解析により，この山頂部の間欠的膨脹に加えて，新岳の西斜面が継続的に年間数mm西方に移動していることが明らかとなった。

2008年以前には，口永良部島の火山ガスは主に新岳山頂周囲の噴気から放出されていたが，2008年の火山ガス放出量の増大後に新岳の山頂火口内噴気の活発化が明らかとなった。2009年には，この山頂火口内噴気と火口

周囲噴気の火山ガス組成観測により、いずれの噴気も、地下での平衡温度が 500°C以上の高温の火山ガスを起源としていることが明らかとなった。

#### (4) 研究成果の公表

森健彦, 風早康平, 大和田道子, 下司信夫, 平林順一, 横尾亮彦, 多田光宏, 神田径, 為栗健, 井口正人, 篠原宏志 (2009) 口永良部島における二酸化硫黄放出量の計測, 日本火山学会秋季大会, 2009年10月(小田原)

篠原宏志, 平林順一, 野上健治, 井口正人 (2010) 口永良部島火山の火山ガス組成の変遷, 地球惑星科学連合大会, 2010年5月(幕張, 予定)

斎藤英二, 井口正人 (2010) GPS で捉えられた口永良部島火山の山体変動 -滑り落ちた新岳-, 地球惑星科学連合大会, 2010年5月(幕張, 予定)

## 一般共同研究（課題番号：20G-10）

課題名： 大規模カルデラ噴火の先駆現象に関する地質科学的総合研究  
研究代表者： 小林 哲夫  
所属機関名： 鹿児島大学  
所内担当者名： 井口 正人  
研究期間： 平成 20 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 2 月 28 日  
研究場所： 九州のカルデラ（鬼界，阿多，始良，加久藤，阿蘇）  
および北海道の洞爺カルデラ  
共同研究参加者数： 6 名（所外 4 名，所内 2 名）  
・大学院生の参加状況： 0 名

### 研究及び教育への波及効果について

火山・カルデラを包括した新しいモデルを提唱した。地質学と地球物理・地球化学分野とが対等に議論できる場が広がるものと期待される。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

マグマの発生・存在形態を含む噴火プロセスの解明は、火山学の基礎的な課題である。噴火とテクトニクスの密接な関係はこれまでも広く認知されているが、その解決には、地質学や地震学など多角的アプローチが必要である。本研究は、大規模カルデラ噴火の先駆現象を地質学的に検出し、噴火プロセスに時間軸を入れて噴火とテクトニクスの関係を解明することが目的である。大規模カルデラ噴火とテクトニクスの関連性が明確になれば、将来のカルデラ噴火の予測にも、また重点的に研究・観測すべき項目の絞り込みにも寄与することができるものと期待される。

#### (2) 研究経過の概要

本研究は、1) カルデラ噴火での先駆的な地学現象の検出（噴火・地すべり・地震等の証拠）、2) カルデラ噴火に連動するような噴火（連続～同時噴火）の検出の2点を重点的に研究し、地震・測地学的データとも融合させ、噴火現象をテクトニクスの関連を考察した。噴火年代については、放射性炭素（ $^{14}\text{C}$ ）年代測定により正確な年代決定を行った。研究対象は始良・鬼界・加久藤・阿蘇・洞爺の5カルデラである。特に始良カルデラは京大防災研火山活動研究センター（SV0）を中心に地震・測地学的データが蓄積されており、本プロジェクトの主な研究対象となった。調査期間は平成20・21年度の2年間で、21年度の末には鹿児島大学において研究集会を開催し、地質学的な証拠と地震・測地学的データとの比較・検討を行い、新しい火山・カルデラ像について議論した。

#### (3) 研究成果の概要

鬼界カルデラでは先行現象として長期にわたる断続的なブルカノ式噴火の継続、山体の地すべり崩壊、脱ガスした溶岩の噴出が見出され、噴火の最中に南九州一帯に影響を及ぼす巨大地震が発生したことが明らかになった。阿蘇カルデラでは、Aso-2火砕流噴火に先行して高温の安山岩質マグマの割れ目噴火が発生したことが明らかになった。鬼界・阿蘇カルデラでは噴火の引き金として地殻応力の役割が無視できないことが明らかになった。加久藤・洞爺カルデラでは近傍のカルデラとの同時噴火の可能性を調べたが、確証的なデータは得られなかった。始良カルデラでは、現在桜島火山が活発な活動を続けているが、この現象は鬼界カルデラの破局噴火に先行した長期にわたるブルカノ式噴火の活動と酷似していることが判明した。カルデラ域における地盤変動のデータに基づ

き、桜島の活動と平行し、カルデラ中心部では珪長質マグマが蓄積されているという新しいモデルを提唱した。

#### (4) 研究成果の公表

「大規模カルデラ噴火の前兆現象-鬼界カルデラと始良カルデラ-」というタイトルで、京都大学防災所年報に投稿済み。

## 一般共同研究（課題番号：20G-11）

課題名： 災害リスクの国際重要インフラへの影響評価手法の開発  
研究代表者： 竹林 幹雄  
所属機関名： 神戸大学大学院工学研究科  
所内担当者名： 多々納 裕一  
研究期間： 平成20年4月1日 ～ 平成22年2月28日  
研究場所： 神戸大学  
共同研究参加者数： 5名（所外 2名，所内 3名）  
・大学院生の参加状況： 4名（修士 4名）  
・大学院生の参加形態【データ分析，シミュレーションプログラム作成補助】

### 研究及び教育への波及効果について

- ・ 防災に関する国際会議の中（IDRC2010）で，本研究に関連する基調講演を行い，その研究の意義と重要性が世界的に認知された。また，国際リスクガバナンス協議会（IRGC，本部ジュネーブ）でも，プロジェクトの一つとして採用されるなど，研究の意義と重要性が認識されるようになってきている。
- ・ 教育上の波及効果としては，本件に関連して現在まで修士研究に学生が従事し，研究成果を挙げている。今後，博士課程の学生の参加も見込んでおり，教育面への今後の波及も期待される。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

国際物流のハブ機能を有する港湾や空港などの国際インフラに着目し，災害による機能停止が世界経済に及ぼす影響を計量化するための方法論の構築を目指す。特に，国際インフラの内でもその被災が世界経済に甚大な影響を及ぼすものを「国際重要インフラ」と呼び，その同定方法を提案することを試みる。この種の国際重要インフラの機能喪失は，ネットワークや市場を介して直接被災していない国や地域の生産性をも低下させ，広域的に被害を波及させるというカスケード効果を持つ。経済のグローバル化の下で，災害のグローバル化を阻止する方法の構築は急務であり，本研究が提供する被災の国際的影響評価方法は，その不可欠な要素となると考える。

#### (2) 研究経過の概要

平成20年度においては，緊急時における国際貨客輸送ネットワーク推定のための基礎モデルを構築した。具体的にはアジア太平洋欧州国際コンテナ貨物輸送市場を対象とし，東アジアの特定の港湾が災害により使用不能になった場合，短期間の緊急輸送ネットワークを設定するモデルを，航路再編問題と輸送経路再設定問題を複合したモデルとして提案し，遺伝的アルゴリズムを用いた求解アルゴリズムを提案した。平成21年度においては，アジア太平洋航路における津軽海峡利用の潜在的価値を計測するとともに，アジア諸港のリリーパー港としての利用の可能性を考察するため，港湾間の貨物流動の長期的連関性を，多変量自己回帰分析（VAR）を用いて分析した。SCGEモデルを用いた国際貨物輸送費用変化の経済影響の計量化方法や相互依存的な安全性投資問題に直面する港湾の安全性を向上させる方法に関する制度論的な検討を行った。

#### (3) 研究成果の概要

シミュレーションの結果，東アジアの特定港からの代替経路として，青島，神戸・大阪港，寧波港を組み込んだ新たな航路が暫定的に形成され，寧波，神戸・大阪港でのトランシップ貨物が増加する可能性が指摘された。また，津軽海峡の利用の潜在的価値を計測した結果，釜山港のみならず，広く東アジア諸港に便益が波及してい

ることがわかった。さらに、VAR の結果から、わが国の主要港とのリリーバーを考える上で、東京湾は釜山港と、大阪湾は黄海沿岸諸港との連動の可能性が示唆された。

#### (4) 研究成果の公表

- 1) 安福皓介, 竹林幹雄: 災害時における国際海上貨物輸送のネットワーク分析, 第 41 回土木計画学研究発表会, 2009.
- 2) Yasufuku, K. and Takebayashi, M.: Measuring the Benefit of Choke Point for International Seaborne Cargo Transport Markets by Network Analyzing Method, Proceedings of 3<sup>rd</sup> T-LOG, 2010 (投稿準備中).
- 3) 八木大介, 竹林幹雄: メガ・ターミナルオペレーターの港湾参入における港湾の取扱貨物量への影響分析, 第 41 回土木計画学研究発表会 (投稿準備中)
- 4) 今井瑛介, 多々納裕一, 吉田護: 重要インフラにおける防災投資分析, 土木計画学研究講演集 Vol.40, CD-ROM, 2009.
- 5) 船瀬悠太, 多々納裕一, 土屋哲: 港湾の機能停止の国際経済への影響分析手法: 空間的応用一般均衡アプローチ, 土木計画学研究・論文集, No. 27 (投稿中)

## 一般共同研究（課題番号：21G-01）

課題名： 沿岸災害減災に向けた大気・海洋相互作用としての砕波観測プロジェクト  
研究代表者： 木原 直人  
所属機関名： (財)電力中央研究所  
所内担当者名： 森 信人  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 京都大学防災研究所白浜海象観測所  
共同研究参加者数： 15 名（所外 8 名，所内 7 名）  
・大学院生の参加状況： 5 名（修士 4 名，博士 1 名）  
・大学院生の参加形態 [データ解析，ワークショップの参加]

### 研究及び教育への波及効果について

現地観測によって得られた台風通過時における気象・海象情報は貴重な資料である。そして、この観測データから、海洋表層での乱れの生成に対する波浪のインパクトが明らかになった。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

大気・海洋間での運動量や熱の交換過程は、熱帯低気圧や高潮・高波の発達・減衰を支配する。これらは、高波や高潮災害と直結するため沿岸防災上大変重要である。本研究では、大気側・海洋側の両者を詳細に観測することにより、強風時において強化される海面近傍での乱流と、大気・海洋界面での運動量交換を評価することを目的とした。

#### (2) 研究経過の概要

平成 21 年 9 月 11 日から 11 月 4 日までの約 2 ヶ月間、田辺中島高潮観測塔において集中観測を実施した。計測項目は、風速、温度、湿度、波高等の既設の計器で計測できる気象・海象情報に加えて、複数高度での水温及び流速、及び、大気中のエアロゾル個数濃度である。観測期間中に台風 18 号が田辺湾の東側を通過したため、台風通過時における気象・海象に関する観測データを取得することができた。台風通過時の観測データはこれまでほとんどなく、非常に貴重なデータである。集中観測終了後、3 月 18 日に「大気・海洋相互作用についてのワークショップ」を開催し、本共同研究の成果を公表し、また、課題や問題点について議論した。

#### (3) 研究成果の概要

台風 18 号通過時における観測塔周辺での表層近くの鉛直混合に着目して、現地観測データの解析、及び、海洋モデル ROMS 及び波浪モデル SWAN を用いた再現計算を実施した。台風最接近の 18 時間前から水温の水深依存性が弱くなり、海洋中の鉛直混合が強化されたことがわかった。これは沖から伝播してくるうねりの砕波が強く影響していると推測される。また、台風接近時には顕著な水温の低下が観測された。この水温低下は極浅海で生じる低温水が沖に輸送されて沿岸部の水温を低下されたことが再現計算から明らかになった。そして、波浪による海洋中の鉛直混合に対する波浪の効果を調べたところ、台風の通過に伴う水温変化の再現性に対して、波浪による海洋表層での乱れの強化が重要であることがわかった。

#### (4) 研究成果の公表

森信人・鈴木崇之・木原直人:海洋表層鉛直混合におよぼす風応力と波浪の影響, 海岸工学論文集, 第 57 巻, 2010(掲載予定)。



## 一般共同研究（課題番号：21G-02）

課題名： 2008年岩手・宮城内陸地震による荒砥沢ダム北方山体の巨大崩壊と滑動  
研究代表者： 川辺 孝幸  
所属機関名： 山形大学  
所内担当者名： 松波 孝治  
研究期間： 平成21年4月1日～平成22年3月31日  
研究場所： 京都大学 防災研究所  
共同研究参加者数： 13名（所外9名，所内4名）  
・大学院生の参加状況： 3名（修士3名）（内数）  
・大学院生の参加形態【地震観測，地盤調査，波形解析】

### 平成21年度 実施状況及び結果報告：

#### (1)地すべり斜面の物質移動様式

地震発生前・後に公表されたオルソ写真の比較から，明らかに同じものと特定できる部分を追跡する方法で土塊の移動を検討し，二つの大きな土塊が表面の形状をあまり変えずに移動していることを明らかにした。下流側にある土塊Aは，斜面が崩壊し液状化物質と共に消失した部分に上流から移動してきた。次に，もう一つの土塊Bが北北西から移動して来て，土塊Aに乗り上げる形で停止した。これらの土塊の移動は，下流側に液状化によって生じた力学的な不安定が次々に上流側に連鎖して伝搬した結果であると考えられる。

#### (2)本震時の強震動と地盤変動

通常，ダムには地震計が設置されている。本震時のダム監査廊基礎地盤での最大地震動は，加速度で1088gal(南北動)，速度で70cm/s(東西動)，変位で70cm(上下動)であった。本震変位波形から，南西方向へ約55cmの水平変位を伴う約70cmの隆起を得た。一方，ダム湖右岸地山表面での本震記録から，北東方向への水平変位約28cmを伴う約4cmの隆起を得た。ダム基礎地盤と右岸地山表面の変位時刻歴と最終変位量の違いは，地山そのものが地すべりを起こしたためと考えられる。

#### (3)移動土塊の地盤振動特性

余震観測が実施された。土塊Bでの余震記録には主要動付近に長周期パルスが観測される事がある。これは水平動成分では傾斜ステップ，上下動成分では鉛直変位で生じる事が考えられる。これを検証するために，ステップ状の傾斜・鉛直変位（観測加速度）が地盤に生じたと仮定して，地震計の出力信号（速度）の計算値を求め観測波形と比較したところ両者は非常に良い一致を示した。従って，水平動成分については傾斜ステップであるとして，地盤の傾斜を求めると北北西方向に傾く結果が得られた。傾斜角は地球潮汐と同程度（ $0.03\mu$  radian）から，その30倍程度である。一方，上下動成分についての鉛直変位は，正規重力の鉛直勾配（ $308.6\mu$  G a l/m）から，0.2cmから26.9cmの沈降である。

評価した傾斜とその方位は(1)の土塊Bの移動，乗り上げ運動に整合する。ダム基礎地盤を基準とする土塊BのS波主要動の増幅度特性には，1Hz付近に10倍程度の顕著なピークがある。これは地表の不動地盤には無いため，土塊Bの地震時の共振による。本震時に土塊Bは土塊Aに乗り上げるように衝突して停止したが，時に強い地震波の入射時に共振し，傾斜・沈降しながらより安定な状態に向かっている。

## 一般共同研究（課題番号：21G-03）

課題名： 直下型地震時緩斜面における大規模地すべりの発生・運動機構  
研究代表者： 丸井 英明  
所属機関名： 新潟大学災害復興科学センター防災部門  
所内担当者名： 王 功輝  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 30 日  
研究場所： 京都大学防災研究所斜面災害研究センター・宮城県荒砥沢地すべり地  
共同研究参加者数： 9 名（所外 5 名，所内 4 名）  
・大学院生の参加状況：3 名（修士 2 名，博士 1 名）（内数）  
・大学院生の参加形態 [現地調査の参加および物理探査への作業補助]

### 研究及び教育への波及効果について

- (1) 荒砥沢地すべりの発生・移動機構を解明したことにより，緩斜面における大規模地すべりの発生危険度評価手法の開発を促進することを期待できる。
- (2) 3名の大学院生及び1人の外国人共同研究者が現地地質調査および物理探査に参加し，地すべりの発生・移動機構及び調査手法について，共同研究者の皆様と活発な議論を行った。即ち，人材育成の目的も達成されたと考えられる。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

近年内陸直下地震に伴って，緩斜面で大規模な地すべりが発生し，地域社会に大きなインパクトを与えている。例えば，2008年岩手・宮城内陸地震により発生した粗砥沢地すべりにおいては約7000万立米の土砂が一体として2-3度の緩いすべり面に沿って300m以上を移動した。しかし，緩斜面における大規模地すべりの発生・運動機構は未だに解明されていないため，その災害の予測と軽減は極めて難しい。従って，本研究では，荒砥沢地すべりを対象に，現地調査と計測をもとに，地震時地すべり再現実験を行い，直下型地震時緩斜面における大規模地すべりの発生・運動機構を解明し，巨大地震に備えた大規模土砂災害発生危険度評価手法の開発に資する。

#### (2) 研究経過の概要

上記の目的を達成するために，下記の通りに研究活動を行った。

- (a) 現地調査・計測：荒砥沢地すべりに対して，詳細な現地調査を行い，地すべり発生の地質・地形条件を調べた。また，ボーリングコアを観察し，地すべりのすべり面と思われた所のコアの特徴を調べた。さらに，移動土塊の運動・変形特性を解明するために，高精度表面波探査及び微動アレイ調査を実施し，地すべり内部土塊及び地すべり地外部土層のS波速度構造を調べた。
- (b) 実験研究：地震時にすべり面付近土層の動的挙動を解明するため，荒砥沢地すべりのすべり面付近及び滑落崖の所から試料を採取し，京都大学防災研究所により開発された地震時地すべり再現試験機を用いて，試料の動的非排水せん断試験を行った。これらの再現試験により，地すべり移動土塊の厚さ（規模）および初期地下水位が地すべりの発生・運動に及ぼす影響を調べた。

#### (3) 研究成果の概要

上記の調査および実験結果を纏めると，下記ようになる。

- (a) 荒砥沢地すべりは，傾斜約2度の水平に近いすべり面上を長距離運動した大規模地すべりである。
- (b) 地すべり移動土塊および地すべり地外の土層に対し，高精度表面波探査及び微動アレイ調査を行った結果，

すべり面附近及び表層付近の土層は攪乱されているが、土塊内部の土層構造は基本的に壊れていないことが分かった。

- (c) 地すべりのすべり面を形成した地層（砂岩・シルト岩互層）から採取した砂に対して行った非排水リングせん断試験機において、低い定常状態強度と見かけの摩擦角度が得られた。繰り返し载荷試験の結果、高い初期水圧がなければ、或いは、すべり土塊が大規模でなければ、極めて緩いすべり面の勾配では地すべりは発生しなかったと考えられる。

#### (4) 研究成果の公表

今研究成果は平成 21 年度京都大学防災研究所 研究発表講演会において発表された。

- ・丸井英明・王功輝・福岡 浩・釜井俊孝・宮城豊彦・千葉則行・劉 飛(2010): 直下型地震時緩斜面における大規模地すべりの発生・運動機構. 2010/2/24, D23

また、纏めた論文を *Journal of Geophysical Research* に投稿する予定である。

## 一般共同研究（課題番号：21G-04）

課題名： ミューオン・ラジオグラフィーと高品位重力連続観測で、桜島火山体内マグマ移動を視る  
研究代表者： 大久保 修平  
所属機関名： 東京大学地震研究所  
所内担当者名： 山本 圭吾  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 桜島火山観測所・有村観測坑  
共同研究参加者数：10 名（所外 7 名，所内 3 名）  
・大学院生の参加状況： 2 名（修士 1 名，博士 1 名）  
・大学院生の参加形態 [ 観測と解析に従事 ]

### 研究及び教育への波及効果について

絶対重力計を用いた重力連続観測により、桜島火山浅部のマグマの上昇・下降が捉えられつつあり、噴火予知研究にも貢献している。教育面では、本共同研究の一部が博士論文 1 編（風間卓仁，H22 年 3 月東京大学授与）として結実している。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

平成 20 年前後から活発化した桜島火山のとくに浅部をねらって、マグマの上昇・下降を絶対重力計を用いた重力連続観測から捉える。重力解析だけでは解が多重となることがわかっているため、宇宙線ミュオンによる火山体イメージングを行うことで一義的な解を求める手法を開発する。また、生の重力変動には、降雨・地下水流動など環境起源の擾乱も含まれるので、それらを土壌水分観測および水位観測を行うことにより除去し、火山活動起源の重力データとして高品位化する手法の有効性を確かめる。

#### (2) 研究経過の概要

火山灰の大量降灰や、高温多湿などの過酷な環境下であったが、平成 21 年 4 月～9 月中旬及び同年 11 月～平成 22 年 3 月にわたって、国土交通省大隈河川国道事務所・有村地殻変動観測坑において絶対重力の連続観測を実施した。また、同地において土壌水分連続観測をおこない、地下水起源の重力擾乱を補正する手法を確立した。

#### (3) 研究成果の概要

1 年間にわたる長期の重力変動を、高い信頼度でとらえることに成功した。ことに 2009 年 7 月以降、有意な重力減少が観測され始めた。この観測事実は、火山灰噴出量と爆発回数が同時期から激増しはじめたことと符合している。また、宇宙線観測によって、昭和火口、南岳 A 及び B 火口下の火道がイメージングされつつある。さらに 1 年程度、宇宙線観測を継続すれば、火道径をより正確にきめることができるようになり、マグマ頭位の精密決定が可能となる見込みである。

#### (4) 研究成果の公表

大久保修平・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・菅野貴之・田中愛幸・孫文科，桜島火山の重力連続観測，桜島火山の多項目観測報告書，2010 年（予定）

風間卓仁・大久保修平・山本圭吾・井口正人・菅野貴之・田中愛幸・孫文科，重力連続観測で明らかになった火山内部のマグマ移動プロセス，地球惑星科学 2010 年大会 SVC063-10

Kazama S., S. Okubo, K. Yamamoto, M. Iguchi, T. Sugano, Y. Tanaka, and W. Sun, Magma transfer process in the Sakurajima volcano revealed by continuous gravity observation, to be submitted in 2010.

## 一般共同研究（課題番号：21G-05）

課題名： 皆既日食に伴う地球-下層大気-超高層大気音波共鳴震動の総合観測

研究代表者： 家森 俊彦

所属機関名： 京都大学・大学院理学研究科

所内担当者名： 大志万 直人

研究期間： 平成21年 4月 1日 ～ 平成22年 3月 31日

研究場所： トカラ列島防災研究所観測施設，奄美大島，屋久島，沖縄，桜島，  
理学研究科附属地磁気世界資料解析センター，防災研究所

共同研究参加者数： 10名（所外 6名，所内 4名）

- ・大学院生の参加状況： 7名（修士 5名，博士 2名）
- ・大学院生の参加形態 [ 機器設置，観測，データ処理，解析 ]

### 研究及び教育への波及効果について

地磁気および微気圧変動観測を用いて行う次の研究のヒントが得られた。また，学生達と共に上海で皆既日食を観測することができ，自然現象のおもしろさを体験させることができた。一部の学生には，機器の設置を体験させることができた。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

地震や火山噴火に関連して，電離層電子密度や電波伝搬の異常がしばしば報告されている。このような現象を起こす可能性がある物理メカニズムとして，下層大気の大気圧変動が重力音波モードで上空に伝搬し，電離層高度で反射され発生する約3分-4分周期の共鳴振動の効果が考えられる。しかし，地震や火山噴火の正確な発生予測はできないので，総合観測の実施は難しい。皆既日食時には，地表近くの温度が急激に変化し，気圧変動を起こすため，同様な共鳴振動の発生が過去の観測から唆される。当研究では，日食時の総合的観測から，重力音波共鳴の特性とそれが電離層や固体地球におよぼす効果を定量的に解明する。

#### (2) 研究経過の概要

微気圧観測システムをトカラ列島(諏訪瀬島，中之島)，桜島，および屋久島の京都大学防災研究所の関係施設4ヶ所，沖縄・琉球大学瀬底実験所，および奄美大島北高等学校，上海近郊2ヶ所の計8ヶ所に，皆既日食前に設置し，観測を開始した。諏訪瀬島，中之島，および沖縄にはそれぞれフラックスゲート磁力計，諏訪瀬島および中之島にはGPS受信機も設置した。また，沖縄および阿蘇火山研究センターにはHFドップラー観測受信装置を設置した。皆既日食後数日間観測を継続し，その後各観測装置を回収，音波共鳴現象を中心にデータを解析した。

#### (3) 研究成果の概要

上海近郊で得られた微気圧観測データおよび，上海付近，および南西諸島上空の電離層で反射されたと考えられるHF-Doppler観測データには，明瞭な音波共鳴周期に対応するスペクトルピークが検出された。また，上海近郊の地磁気観測所で得られた磁場観測データにも音波共鳴に対応する周期にピークが見られた。ただし，地上の微気圧データに見られたピークは基本共鳴周期(fundamental mode=約265秒)であるのに対し，電離層高度の震動を見ていると考えられるHF-Doppler観測データや地磁気観測データには，第一高調波(first overtone=約225秒)にピークが現れた。これは，微気圧震動が，電離層高度での震動と比較して，局在化しているためではないかと推測される。

トカラ諸島や沖縄、屋久島等で行った観測では、上記共鳴周期付近にスペクトルピークが現れる傾向が見られたが、必ずしも明瞭ではなかった。トカラ諸島での HF ドップラー観測データにも共鳴周期付近にスペクトルピークが現れる例があったが、微気圧や磁場変動と同様、明瞭な結果は得られていない。また、広帯域地震計のデータには、皆既日食に対応すると考えられる振動は検出できなかった。

#### (4) 研究成果の公表

1. Iyemori, T., M. Utsugi, Y. Odagi, A. Saito, K. Taira, M. Takeda, H. Toh, M., Nose, M. Matsumura M. Iguchi, N. Oshiman, W. Kanda, J. J. Mori, I. Tomizawa, Y. Sano, Y. Tanaka, D.-S. Han, A. Takemura, H. Shinagawa, “Acoustic resonance between ground and ionosphere at the total eclipses”, JPGU 2009 Meeting, Makuhari, May 21, 2009.
2. Iyemori, T., D.-S. Han, M. Iguchi, W. Kanda, M. Matsumura, J. J. Mori, M. Nishioka, M. Nose, Y. Odagi, N. Oshiman, A. Saito, Y. Sano, H. Shinagawa, K. Taira, A. Takemura, Y. Tanaka, H. Toh, I. Tomizawa, R. Chiba, M. Takeda and M. Utsugi, “Detection of Acoustic Resonance Effects on the Ground and in the Ionosphere at the Total Eclipses – Prompt Report –”, The IAGA 11th Scientific Assembly, Sopron, 24-29 August, 2009.
3. 家森俊彦, 井口正人, 宇津木充, 大志万直人, 小田木洋子, 神田径, 齊藤昭則, 佐納康治, Mori James, 品川裕之, 平健登, 竹田雅彦, 竹村明洋, 田中良和, 千葉亮, 藤浩明, 富澤一郎, 能勢正仁, 韓徳勝, 松村充, 「トカラ皆既日食時の磁場および大気圧変動観測 (速報)」, 第126回 地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会, 2009年9月27日~30日 金沢大学.
4. Iyemori, T., R Chiba, D Han, M Iguchi, W Kanda, M Matsumura, J J Mori, M Nishioka, M Nose, Y Odagi, N Oshiman, A Saito, Y Sano, H Shinagawa, K Taira, A Takemura, Y Tanaka, H Toh, I Tomizawa, M Takeda, M Utsugi, D Yang, Y Gong, Q Li, “Observation of Vertical Acoustic Resonance Effect on the Ground and in the Ionosphere During July 22 Total Eclipse”, 2009 AGU Fall Meeting, San Francisco, 14-18 December, 2009.
5. 家森俊彦, 井口正人, 宇津木充, 大志万直人, 小田木洋子, 神田径, 齊藤昭則, 佐納康治, Mori James, 品川裕之, 平健登, 竹田雅彦, 竹村明洋, 田中良和, 千葉亮, 藤浩明, 富澤一郎, 能勢正仁, 韓徳勝, 松村充, 「皆既日食時に観測された地表-電離圏重力音波共鳴現象」, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 幕張, 5月28日, 2009.

## 一般共同研究（課題番号：21G-06）

課題名： 土石流の規模拡大機構の実証実験  
研究代表者： 岡田 康彦  
所属機関名： 独立行政法人森林総合研究所  
所内担当者名： 福岡 浩  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 茨城県つくば市，京都府宇治市  
共同研究参加者数： 2 名（所外 1 名，所内 1 名）  
・大学院生の参加状況： 1 名（修士 1 名，博士 0 名）  
・大学院生の参加形態 [ 土砂流下実験の補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

局所的な集中豪雨の頻発が懸念される中、これまで想定していなかった新タイプの山地災害が発生する危険性が高い。本研究課題は、このような現象に適応していくためにも実証実験の実施によるメカニズムの解明は欠かせないという流れを改めて示唆している。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

土砂災害新法制定のきっかけとなった 1999 年の広島豪雨災害の中でも特に注目された亀山土石流では、数百  $m^3$  の小崩壊が流動化して甚大な被害をだした。これは、過剰な間隙圧や流下過程での渓床堆積物の巻き込みによる土量拡大が鍵となった。局所的な集中豪雨が増加している今日、この規模拡大型土石流は全国で頻発する恐れが高く、その実証的検討は喫緊の課題である。

本研究は、この規模拡大型の土石流の機構を実証的に検討するべく、大型人工水路を用いた土砂流下の再現実験を行い、渓床堆積物を摸した土層の流下土砂による巻き込みを検討するものである。

#### (2) 研究経過の概要

全長 13m，幅 0.6m の大型人工水路を対象に、 $0.6m^3$  の飽和させた川砂供試体を流下させる土砂流下実験を実施した。規模拡大型の土石流の特徴となる流下過程における渓床堆積物の巻き込みを検討するため、人工水路上にダム模型を設置し、その背後に土層を与えた条件下で実験を実施した。ダム模型背後の土層を与えた場合はその水分条件を変えるものとし、また、参考として土層を与えずダム模型背後のポケットは空の条件でも実験を実施した。

これらの実験において、流下土砂によりダム模型に載荷される衝突荷重の他、ダム模型背面における間隙水圧値、さらには、ダム模型を越えて流下した土砂量を計測することにより、規模拡大型の土石流の機構を検討した。

#### (3) 研究成果の概要

土砂流下実験に使用した大型人工水路は、全長 13m，幅 0.6m，高さ 1m である。水路は長さ 8m の水平部と長さ 5m の勾配可変部からなる。勾配可変部の端部から 1m の地点には、水密のゲートがあり、その背後に  $0.6m^3$  の飽和した供試体を作成することが可能な仕様を有する。水平部と勾配可変部の連結部分から、水平部に 1.5m の地点に、高さ 0.3m のダム模型を設置した。ダム模型の背面には、荷重計および間隙水圧計が設置されており、上方より流下してきた土砂による衝突荷重、および背面に接した土砂内部の間隙水圧値の計測が可能となっている。実験条件に応じて、ダム模型背後に流下させる土砂試料（今回は、茨城県つくば市で採取された川砂を用いた）と同じ材料を与え、渓床堆積物を摸した土層を形成した。なお、実験は、ダム模型背後の土層を与えない場合、

ダム模型背後の土層を不飽和で与えた場合、ダム模型背後の堆砂を飽和させた場合の3つのケースで実施した。

流下させた川砂の流動深と流下中の土砂の底部の間隙水圧値を比較したところ、流下土砂の先端部付近においては、流下土砂深よりも圧力水頭値が上まわる結果が得られ、つまり、過剰な間隙水圧の発生が示唆された。一方、先端部以外においては、過剰な水圧の上昇は認められなかった。

ダム模型を通過した土砂量を計測し、供試体として流下させた土砂量 ( $0.6\text{m}^3$ ) と比較したところ、土砂のダム模型通過率にして、ダム模型背後の土層無しが 25.8%、不飽和の土層有りが 30.4%、飽和の土層有りが 57.5%の結果になった。このことは、ダム背後の土層が飽和していると流下してきた土砂の多くがダムを越流することを示唆する。一方、流下してきた土砂がダム模型背後の土層上を流れる際をビデオ画像により目視確認したところ、いずれの条件においても削られるダム背後の土層厚は 0.05m 程度とそれほど大きくはなかった。

人工水路の形状や与えた勾配が実験結果に大きく影響を与えることから、今回実施した土砂の流下実験においては、ダム模型背後の土層が巻き込まれて土量が大きく拡大することはなかった。しかしながら、ダム模型背後の土層が飽和している場合については、ダム模型背後の土層無しの条件やダム模型背後の土層は不飽和の条件よりもかなり大きなダム模型通過率を示しており、今後もその詳細な検討が必要である。

#### (4) 研究成果の公表

岡田康彦, 2010: 土砂の流下実験における治山えん堤の土砂捕捉機能について. 平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集. (印刷中)



## 一般共同研究（課題番号：21G-07）

課題名： 非都市社会の災害復興過程に関する社会科学的研究：中越地震と四川大地震の事例  
研究代表者： 渥美 公秀  
所属機関名： 大阪大学大学院人間科学研究科  
所内担当者名： 矢守 克也  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 新潟県小千谷市塩谷集落，中国四川省成都市および什邡市の周辺集落  
共同研究参加者数： 10 名（所外 8 名，所内 2 名）  
・大学院生の参加状況： 0 名

### 研究及び教育への波及効果について

各フィールドにおいて、今後、非都市社会に独特の特徴を考慮した災害復興過程の研究を推進していくための基盤が整った。本研究期間において大学院生の現場派遣等は実施していないが、本研究の成果を素材とした大学院教育を通して新たな研究が多数輩出される予定である。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

新潟県中越地震と四川大地震を事例として、都市ではない地域の災害復興過程を、社会科学的に明らかにすることを目的として現場研究を行った。本研究では、社会学的調査班と経済学的調査班に分かれ、各班内で共同研究者らがそれぞれに蓄積していた両フィールドでの研究成果や手法を相互に交流させ、被災前の過疎高齢化、農業の疲弊、歴史文化民族(民俗)的な文脈など都市には見られない社会経済的要因に注目した事例比較を行い、災害復興一般に見られる特徴と非都市社会に独特の特徴を明らかにしていく研究の基盤を整備することを趣旨とした。

#### (2) 研究経過の概要

社会学的調査班では、新潟県中越地震の被災地となった小千谷市塩谷集落において、復興に関する連続ワークショップの参与観察を行った。また、地域の伝統行事の推進場面で協働的实践を展開し、身体化された集合的記憶と復興との関係を検討した。一方、中国四川大地震の被災地を数回訪問し、災害直後の災害報道の役割、復興に至る過程における互助概念被災地の観光化が復興に及ぼす影響などを考察した。

経済学的調査班では、新潟県中越地震の被災地において、復興支援の状況を中越大震災復興基金に注目して検討するとともに、地元商工会議所を対象に、中越地域に立地する企業の復興状況に関するヒアリングを実施した。一方、四川地震の被災地において、2008年の地震発生後、1兆元を超える投資が行われる計画があり、2009年11月時点までに投資された2607億7200万円については追跡調査が行なわれていることを確認した。

#### (3) 研究成果の概要

社会学的調査班では、災害復興過程関わる日中比較を実施し、近代化を補助線として用いながら、災害復興に対する基本的な指向性に、「立て直し」と「世直し」という2つの類型があることを見いだした。一方、経済学的調査班では、ヒアリング調査の結果、新潟県中越地震の被災地では、2004年の震災から3年以上が経過しても、販路の縮小などの影響が強く残っており、6割超の企業において震災前の営業水準に回復していない状況を確認した。また、生産能力についてはほとんど全ての企業で回復しており、被災地域全体で需要が減少していることが営業水準低下の大きな要因となっていることを見いだした。一方、四川におけるインフラの復興・発展は地元企業の生産性や農村部の生活利便性・安全性を高めており、新潟県と同じ非都市型災害であっても被災前のインフラ整備や経済発展の状況によって復旧・復興投資のもたらす便益が大きく異なってくる状況が明らかとなった。

#### (4) 研究成果の公表

近藤誠司(2009) 被災者に寄り添った災害報道に関する一考察 ―5.12 中国四川大地震の事例を通して―, *自然災害科学*, 28,2,137-149。他に, 印刷中 (日本災害復興学会), 投稿予定 (日本自然災害学会) の学術論文, 研究書 2 編 (分担執筆を含む), 学会発表 10 件を公表した。

## 一般共同研究（課題番号：21G-08）

課題名： 超精密弾性波速度測定による地殻応力変化のモニタリング  
研究代表者： 佐野 修  
所属機関名： 東京大学地震研究所  
所内担当者名： 加納 靖之  
研究期間： 平成21年4月1日 ～ 平成22年3月31日  
研究場所： 屯鶴峯観測所  
共同研究参加者数： 6名（所外 2名，所内 4名）  
・大学院生の参加状況： 1名（博士1名）（内数）  
・大学院生の参加形態 [ 観測補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

屯鶴峯観測坑のような比較的やわらかい岩質（凝灰岩）であっても、十分な波形の重合を行うことにより、十分に弾性波のシグナルを検出できることがわかった。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

地殻の応力のビルドアップは、地震・火山噴火現象を駆動する重要なパラメータであるが、通常応力変化を測定することは困難である。岩盤の弾性波速度は、岩盤にかかる応力を直接的に反映していると考えられる。弾性波速度を精密に（1 ppm）測定すれば、応力（変化）の連続モニタリングが可能となる。東京大学地震研究所で開発された精密弾性波速度測定システムを屯鶴峯観測所に設置し、弾性波速度と京都大学が観測している伸縮計・地下水位観測から得られる地殻ひずみ・間隙水圧変化とを対比することにより、これらの諸量の相互関係を把握しつつ、より高精度の応力連続モニタリングシステムへと改善することを目指す。

#### (2) 研究経過の概要

東京大学地震研究所で開発され、現在運転されている精密弾性波速度測定システム一式を屯鶴峯観測所の観測坑に移設した。まず、既に掘削済であった水平方向のボーリング（長さ1m，1組2本，ボアホール間の距離20m）に弾性波の送信装置と受信装置を設置した。ボアホール内に導波用のジェラルミン棒を設置したが、これに使用したモルタルの養生に約半年を要した。その後、同坑内に高電圧パルスジェネレータ（500V）や波形収録装置からなる測定システムを設置し、最適の周波数を調べるための予備的な観測を実施した。

#### (3) 研究成果の概要

予備的な観測により得られた波形を解析した結果、卓越周波数は1.5 kHz，到達時間は8 msであることがわかった（図）。また、屯鶴峯観測坑のような比較的やわらかい岩質（凝灰岩）であっても、1024回程程度の波形の重合を行うことにより、十分にシグナルを検出できることがわかった。

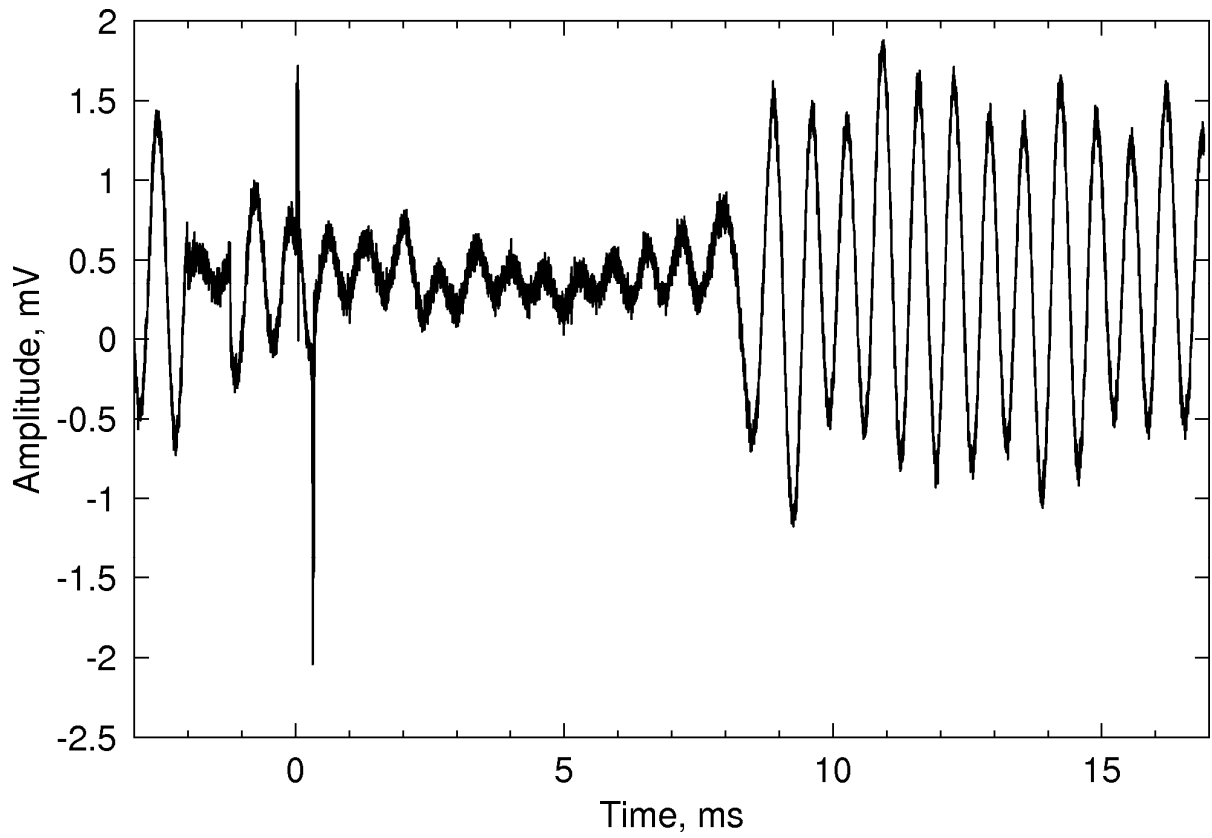


図. 屯鶴峯観測坑内で得られた弾性波の波形例.

(4) 研究成果の公表

地震学会秋季大会等での発表を準備中である。

## 一般共同研究（課題番号：21G-09）

課題名： 桜島・昭和火口における自律式小型無人ヘリコプターを用いた多項目観測実験  
研究代表者： 小山 崇夫  
所属機関名： 東京大学地震研究所  
所内担当者名： 井口 正人  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 鹿児島県鹿児島市桜島  
共同研究参加者数： 12 名（所外 11 名，所内 1 名）  
・大学院生の参加状況： 0 名

### 研究及び教育への波及効果について

本研究は、従来の火山観測技術では到達不可能であった、活動的火山の火口近傍へ観測機器を投入することに成功した。これにより火山活動直近での観測データを取得できることになり、今後の火山研究にもたらす波及効果は大きい。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

本研究の目的は、ここ数年来再び噴火活動が活発化している桜島・昭和火口直近で、自律式小型無人ヘリコプターを用いて、地震・地磁気の測定等を行うことで、従来の観測手法では得られなかった昭和火口の現状を把握し、桜島の防災情報に新たな知見を加えることである。

#### (2) 研究経過の概要

本研究では、特に火口近傍への加速度計遠隔設置を焦点に、開発・研究をおこなった。平成 21 年 4 月～10 月にかけては、加速度計やその周辺機器の開発として、遠隔設置のためのウィンチ装置・加速度計・データロガー・データ伝送等のための無線通信モジュール・太陽電池パネル搭載の筐体の作成を行った。また、同時に千葉県内の飛行テストフィールド他にて機器動作テストを複数回にわたり行った。

平成 21 年 11 月 1 日～11 月 13 日の間に、桜島昭和火口近傍において機器設置作業をおこない、加速度計 4 台を設置した。観測期間中には他に、南岳南側山腹にて空中磁気測量・火山試料の遠隔採取も試みた。また、その後桜島火山噴火に伴う加速度データの遠隔取得も行った。

#### (3) 研究成果の概要

本研究で用いた無人ヘリコプターは小型のためペイロードが小さく、機器総重量を 5kg 程度に抑えることが必要であった。そのために、超小型の 3 成分加速度計、高エネルギー密度の電池、軽量の太陽電池パネルを組み合わせることで、目標の軽量化に成功した。また加えて、低消費電力型のデータロガーおよび携帯電話網を用いたデータ伝送技術を利用して、データの安定取得に努めた。

11 月におこなった現地設置作業では、現在活動が活発化している南岳から数 100m 程度離れた場所に 4 台を設置することができ、成功裏に終わった。その後、噴火に伴う加速度データの遠隔取得にも成功した。データ解析をおこなったところ、従来のデータに本研究のデータを追加することで、震源分布決定の精度が、特に水平方向に関して向上することがわかった。また、従来桜島では噴火に際して「押し」の運動から始まることが知られていたが、そのことが今回の近傍のデータを使っても確認された。これは、ブルカノ式噴火の金森モデルから考えられる運動とは逆向きであり、今後更に観測を続けることでこの噴火様式の差異についての知見がより深まるものと期待される。

(4) 研究成果の公表

大湊隆雄, 金子隆之, 小山崇夫, 安田敦, 武尾実, 渡邊篤志, 本多嘉明, 梶原康司, 神田径, 井口正人,  
柳澤孝寿, 無人ヘリによる火山観測: 桜島における地震計設置の試み  
日本地球惑星科学連合 2010 年大会 オーラル発表 (予定)

## 一般共同研究（課題番号：21G-10）

課題名： ブロッキングの形成・持続メカニズムと予測可能性  
研究代表者： 伊藤 久徳  
所属機関名： 九州大学大学院理学研究院  
所内担当者名： 向川 均  
研究期間： 平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 22 年 3 月 31 日  
研究場所： 防災研究所  
共同研究参加者数： 16 名（所外 13 名，所内 3 名）  
・大学院生の参加状況： 10 名（修士 7 名，博士 3 名）  
・大学院生の参加形態 [ 研究推進と研究補助，研究打ち合わせへの参加 ]

### 研究及び教育への波及効果について

ブロッキング持続の研究を進め，選択的吸収メカニズムの有効性が確認できた。また予測可能性の研究を感度解析などを用いて行い，低/高周波変動成分の寄与を示すことができた。共同研究で行われた研究成果や議論は参加した大学院生の教育にも大変有用であり，彼らの研究そのものの進展や視点の広がりをもたらし，学位論文作成にも大いに寄与した。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

ブロッキングとは高緯度で大規模な高気圧が生じ，それが長く持続する現象である。通常とは異なるパターンが持続するので，様々な異常気象を引き起こす。しかしその形成・持続のメカニズムは明らかでない。また数値予報においても精度よく予報できない現象の典型である。本研究の第一の目的はこの形成・持続の機構を明らかにしていくことである。第二にその予測可能性の研究を進めることである。この研究が防災上大きな意義を持つことは言うまでもない。

#### (2) 研究経過の概要

ブロッキングの形成と持続のそれぞれについて，理論・データ解析・数値実験・数値予報の 4 つを有機的に結びつけた研究を行った。持続の研究では，ブロッキング高気圧(BH)が移動性高気圧(SH)を選択的に吸収することによって持続するという「選択的吸収メカニズム」(SAM)仮説の検証を，JRA 客観解析データと数値モデルを用いて行った。形成の研究では，気象庁週間アンサンブル予報データを用いた感度解析により，低/高周波変動がブロッキング形成に及ぼす影響を明らかにした。

#### (3) 研究成果の概要

持続のデータ解析による研究では，SH からのトラジェクトリー解析と偏差場を高気圧と低気圧に分解した解析を実施することにより，SAM 仮説の有効性を確認できた。数値実験では，BH による SH の選択的吸収を明瞭に示すとともに，SAM がストームトラックの南北・東西変位に頑健であることを明らかにした。またこれまでのデータ解析で示されていた高低気圧の南北伸長がフィルター操作による見かけであることも分かった。

形成の研究では，アンサンブル予報データを用いて，主として事例研究を行った。まずブロッキングの強さのスプレッドの初期日依存性を調べた結果，ブロッキング形成日より前の数日間，スプレッドが大きな値を示していることが分かった。次にどのような初期摂動場がブロッキング形成の予測に影響していたのかを調べるために感度解析を行った。その結果，高感度領域が準定常ロスビー波列の発達している場所に存在する事例と，移動性擾乱の活動の強い領域に存在する事例が検出された。両者のブロッキング形成の予測においては，高度場のスプレッドの時間発展を解析することにより，それぞれ準定常ロスビー波束伝播の予測と移動性擾乱の東進の予測が

重要であることが示唆された。

#### (4) 研究成果の公表

「ブロッキングの形成・維持メカニズムと予測可能性」(代表 伊藤久徳), 京都大学防災研究所一般共同研究 21G-10 報告書.

Yamazaki, A., and H. Itoh, 2009: Selective absorption mechanism for the maintenance of blocking. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L05803, doi:10.1029/2008GL036770.

Sakai, D., H. Itoh, and S. Yukimoto, 2009: Changes in the interannual surface air temperature variability in the Northern Hemisphere in response to global warming. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 721-737.

竹村和人, 2010: アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成期の予測可能性に関する解析. 京都大学大学院理学研究科修士論文, 101pp.



## 一般共同研究（課題番号：21G-11）

課題名： リモートセンシング，現地観測，およびモデリングによる凍結融解土砂生産に関する研究

研究代表者： 宮本 邦明

所属機関名： 筑波大学

所内担当者名： 藤田 正治

研究期間： 平成21年4月1日 ～ 平成22年3月31日

研究場所： 京都大学防災研究所穂高砂防観測所

共同研究参加者数：5名（所外 3名，所内 2名）

- ・大学院生の参加状況： 3名（修士 2名，博士 1名）
- ・大学院生の参加形態 [ 現地観測，モデルの検討，学会での発表 ]

### 研究及び教育への波及効果について

それぞれ長所・短所をもつリモートセンシング，現地観測，モデリングという3つの手法を組み合わせることで，凍結融解に伴う土砂生産を広域的に把握・推定する手法の基礎を作った。また，博士論文・修士論文に関わる研究の進展にも大きく寄与した。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

山地における土砂生産は河川・海岸へとつながる流砂系の出発点であり，その量と質を予測することは流域一貫した土砂管理を実践する上で必須の課題である。凍結融解による土砂生産はわが国で主要な土砂生産プロセスであり，その生産量の予測は現地観測，モデルシミュレーション，リモートセンシングなどの手法により行われている。しかし，これらのアプローチはそれぞれ長所と短所があるので，生産土砂量を予測する手法が確立されているとは言えない。そこで，本研究では，それぞれの視点から研究している研究者が共同研究を実施することにより，より有効な土砂生産量の予測手法の構築を図った。

#### (2) 研究経過の概要

本研究ではまず，穂高砂防観測所および筑波大学井川演習林（静岡市）において土砂トラップを設置し，凍結融解に伴う土砂生産量，およびそれに影響を及ぼすと考えられる気象因子（気温，日射量，風速）および地中温度の観測を行った。平行して，気象因子から地中温度分布を推定する熱伝導解析モデルを作成した。本研究では特に，従来のモデルで考慮されていなかった間隙水の移動を考慮したモデルを作成した。そして，現地観測データをもとに，作成されたモデルの検証を行った。

また，広域的な凍結融解土砂生産量の推定手法の構築を目指し，1. 衛星画像を用いることで植生・積雪に関する空間分布を考慮した広域的な予測手法，2. アメダスによる気象観測情報に熱伝導解析モデルを組みあせることによる広域的な予測手法の2つについて検討した。

#### (3) 研究成果の概要

現地観測の結果，凍結融解に伴う斜面からの土砂生産量は岩盤の温度変化によっておおそ説明できることが明らかになった。その一方で，岩盤の温度変化は積雪や斜面方位の影響を大きく受けて時空間的に変化しており，これらを考慮しなければ広域的な土砂生産量の推定が難しいことが示された。現地で観測された気象因子をもとに熱伝導解析モデルによって岩盤の温度変化を推定したところ，岩盤温度の現地観測結果を概ね再現した。さらには，衛星画像から得られる植生・雪に関する情報をもとに広域的な土砂生産状況を推定する手法の基礎を構築した。これらの結果から，現地観測では局所的にしか把握できない岩盤の温度変化，さらには凍結融解に伴う土砂生産量を，モデリングやリモートセンシングを組み合わせることで，広域的に推定できる可能性が示された。

#### (4) 研究成果の公表

Imaizumi, F. Nasahara, K. N., Tsutsumi, D., Fujita, M., Miyamoto, K. : Estimation of sediment supply rate by freeze-thaw in a large mountainous area in Japan, In proceedings of EGU General Assembly 2009, EGU2009-7119, 2009年4月

泉山寛明, 堤大三, 藤田正治: 風化基岩の凍結融解による土砂化に関する実験的検討, p.240-241 平成21年度砂防学会研究発表会概要集, p.240-241, 2009年5月

泉山寛明, 堤大三, 藤田正治: 凍結融解指標マップの構築と地球温暖化が凍結融解に与える影響評価, 第28回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.23-24, 2009年9月

泉山寛明, 堤大三, 藤田正治: 多孔質媒体凍結時の間隙水移動のモデル化とそれによる霜柱発生条件の検討, 水工学論文集 第54巻, pp.661-666, 2010年2月

松田 悟・今泉文寿: 山岳地での凍結融解による土砂生産量の計測手法の検討, 平成21年度砂防学会研究発表会概要集, p.304-305, 2009年5月

松田悟, 今泉文寿, 宮本邦明: 山岳地での凍結融解による土砂生産量の計測手法の検討, 中部森林研究, 58, 2010年2月

## 一般共同研究（課題番号：21G-12）

課題名： 火山噴火の時間発展と噴出物の物質科学的特徴ならびにその人体への影響度の相関に関する研究

研究代表者：嶋野 岳人

所属機関名：富士常葉大学環境防災学部

所内担当者名：味喜 大介

研究期間：平成21年4月1日～平成22年3月31日

研究場所：桜島および周辺火山，

共同研究参加者数：10名（所外 7名，所内 3名）

・大学院生の参加状況：2名（修士 1名，博士 1名）

・大学院生の参加形態 [火山灰形態解析，PIVによる噴煙挙動解析]

### 研究及び教育への波及効果について

2000年代に社会科学の取り入れにより新たな方向に進展した火山防災分野において、そのフィードバックとも言える展開として、自然科学的視点から火山灰の噴出・分散状況や物質科学特性に基づき人体への影響について着目した点は、今後社会科学的にも注目されよう。教育面では、多くの映像等をデータベースとしており、本研究でも大学院生が使用した。今後もこれらの活用促進が望まれる。

### 研究報告：

#### (1) 目的・趣旨

火山噴火の時間発展とそれが周辺地域に及ぼす災害の推移に関する予測精度の向上を目指し、桜島火山等の噴火期間中に研究代表者が開発した自動火山灰採取装置で火山灰試料を採取し、同時刻に火山活動研究センターによって得られた可視画像、地震動、地盤変動、空振記録などの地球物理学的な時系列データと照合することによって、噴火の推移と噴出物の物質科学的な特徴の対応付けを行う。それと同時に、サイズ分布や表面形状に関する解析を行い、火山灰が人体（特に肺などの呼吸器系）に与える影響を評価する。これによって、火山灰の浮遊が地域住民の健康へ与える長期的リスクも考慮に入れた防災対策への指針を得ることを目指す。

#### (2) 研究経過の概要

各分担者が随時桜島火山観測に参加したほか、夏期に火山活動研究センターにおいて意見交換会を行った。

#### (3) 研究成果の概要（ ）は共同研究分担者名

2009年に入って桜島昭和火口の活動が前年に増して活発化した。このような噴火推移は溶岩流出に至った昭和噴火とよく似ている。この状況を踏まえ、火口付近の可視画像、熱赤外面像の詳細な連続観測により、2006年の58年ぶりの活動再開から現在に至る変遷をまとめた（横尾・井口）。また、PIV解析により噴出物の上昇速度とその変化から噴煙柱上昇時／崩壊時の比較を行って、火砕流発生条件の考察を行った（瀧本・木下・横尾・井口）。一方、噴出物については、桜島島内に37点配置した降灰観測点のデータから求めた噴出量と桜島南部の有村観測坑道などで得られた地盤変動量とに正の相関関係が認められることが明らかになった（井口）。また、同じく有村地区に設置した自動火山灰採取装置により、ほぼ2年間にわたる日毎降灰試料の連続採取に成功し、これらの解析から石基ガラス組成の日毎時間変動を初めてとらえた（嶋野・横尾・井口・味喜）。人体への影響については、歴史時代の堆積物を構成する火山灰について、呼吸器系に障害を及ぼすクリストバライトの定量や火山灰粒子表面の形状評価を行い、これらの火山灰については直ちに人体の健康に著しい害を及ぼすものではないことが明らかとなった（Hillman, Horwell）。噴煙拡散現象については、桜島以外の火山についても近赤外域等を用いて検討がなされた（木下）。

いずれもこれまで例のほとんど無い手法、着想に基づく研究の第一歩となる成果であり、今後も観測・解析を

進展させ、より高精度の噴火推移予測・健康被害評価へ繋げていく予定である。

#### (4) 研究成果の公表（本共同研究報告書を除く）

##### Original paper

Horwell C.J., Stannett G.W., Andronico D., Bertagnini A., Fenoglio I., Fubini B., Le Blond J.S., and Williamson B.J. (2010a)

A physio-chemical assessment of the health hazard of Mt. Vesuvius volcanic ash. *Journal of Volcanological and Geothermal Research*. Vol. 191 (3-4), pp. 222-232.

Horwell, C.J., Le Blond, J.S., Michnowicz, S.A.K., and Cressey, G. (2010b). Cristobalite in a rhyolitic lava dome: Evolution of ash hazard. *Bulletin of Volcanology*. Vol. 72, pp. 249 – 253.

立尾有騎・井口正人(2009)：桜島におけるBL型地震群発活動に伴う地盤変動，火山，53，pp.175-186.

Yokoo, A. (2009) Continuous thermal monitoring of the 2008 eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan. *Earth Planets Space*, 61, 1345-1350.

Yokoo, A., Tameguri, T. and Iguchi, M. (2009) Swelling of a lava plug associated with a Vulcanian eruption at Sakurajima volcano, Japan, as revealed by infrasound record: case study of the eruption on January 2, 2007, *Bull. Volcanol.*, 71, 619-630, doi: 10.1007/s00445-008-0247-5.

##### Report

京都大学防災研究所 (2010) 南岳山頂下へのマグマ供給量の見積もり. 第115回火山噴火予知連絡会資料.

##### Meeting

福澄孝博・木下紀正 (2009)：トカラ列島中之島御岳の噴気活動，日本火山学会2009年秋季大会講演予稿集, 75.

井口正人・横尾亮彦・為栗 健 (2009) 桜島昭和火口における爆発直前の火道最上部への圧力集中. 日本惑星科学連合2010年大会, V159-032.

飯野直子・加藤孝明・福原稔・片野田洋・木下紀正・金柿主税 (2009)：PIVによる噴煙自動観測映像を用いた流速算出の精度向上，日本気象学会九州支部講演要旨集, 9-10.

木下紀正・永松哲郎・土田理・金柿主税・飯野直子 (2009)：噴煙・黄砂の映像観測と鹿児島の大気環境，日本気象学会九州支部発表会要旨集, 7-8.

嶋野岳人・横尾亮彦・井口正人 (2009a) 自動火山灰採取システムによる桜島火山の岩石学的噴火活動モニタリング，日本惑星科学連合2009年大会, V159-P027.

嶋野岳人・横尾亮彦・井口正人 (2009b) 桜島火山2008-09年活動と火山灰粒子の特徴の日別変化，日本火山学会秋季大会講演予稿集, 76.

## 研究集会（課題番号：21K-01）

- 集会名： 大気現象に関する観測と数値モデル研究に関する国際シンポジウム  
研究代表者： 津田 敏隆  
所属機関名： 京都大学生存圏研究所  
所内担当者名： 石川 裕彦  
開催日： 平成 21年 11月 10日～13日  
開催場所： 京都大学宇治キャンパス おうばくプラザきはだホールおよび木質ホール  
参加者数： 113名（所外 105名，所内 13名）  
・大学院生の参加状況： 29名（修士 20名，博士 9名）  
・大学院生の参加形態 [ 聴講 ]

### 研究及び教育への波及効果について

異常気象をもたらす大気現象のレーダー観測，数値モデル，データ同化に関する先端研究，ならびに気象・水災害の軽減に向けた施策等について議論を進め，日本・米国における第一線の研究者と交流する機会となり，次世代研究者を刺激・育成する絶好の機会となった。また，アジア域を中心に社会的にも大きな問題となっている，台風・サイクロン，集中豪雨，竜巻などの暴風雨による気象・水災害の軽減策についてパネルディスカッションを行った。その結果，先端研究成果を気象・水災害にさらされているアジア諸国の災害軽減策の検討を進めることができ，社会還元・国際貢献することができた。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

台風，集中豪雨，竜巻などによる災害について，監視・予報予測・災害防止に関する研究成果の情報交換を行う。この分野で応用研究を先導的に進めている米国オクラホマ大学と京都大学の研究者を核に，国内外の著名学者の招待講演を企画する。気象庁，国土交通省等の政府機関や気象関連企業からの参加を呼びかける他，気象災害にさらされているアジア諸国から研究者や政策担当者を招聘し，研究成果の社会還元・国際貢献について議論する。

#### (2) 成果のまとめ

レーダー技術と数値予報モデルの発展により，急激な変動を伴う大気現象の理解が進み，さらに気象・水災害の調査も広汎に行われている。この応用研究は，気象学，レーダー工学，防災科学などの諸分野にまたがるものである。京大では，生存研，防災研，理学研究科，情報学研究科等の中で共同研究が取り組まれている。一方海外では，オクラホマ大が米国海洋気象庁(NOAA)と緊密な協力のもとで教育研究を共同運営し，さらに関連企業をキャンパス内に誘致して，産官学の連携を強めている。今回のシンポジウムを通じて，オクラホマ大の取り組みを参考に，レーダー技術や数値モデルを背景とした気象災害軽減を目的とする研究推進体制構築に向けた新たな方向付けができた。

本シンポジウムは，2008年3月に京都大学防災研究所，京都大学生存圏研研究所，オクラホマ大学大気地理学部との間で結ばれた研究協力協定に基づき開催した。本シンポジウムの主題である，大気現象のレーダー観測および数値モデル研究は，生存研が推進する4ミッションのひとつである「環境計測・地球再生」に重要な貢献をすることから，「生存圏シンポジウム」として生存研と共催した。

### (3) プログラム

1. Schedule: 10-13 November 2009

[10 November(Tue)]

09:30-09:40 Welcome address N. Okada (Director, DPRI, KU)

09:40-09:50 Welcome address S. Kawai (Director, RISH, KU)

09:50-10:15 International Partnership in Meteorology J. Snow (Dean, A&GS, OU)

10:15-10:35 Coffee break

10:35-11:00 Overview of GCOE program on extreme weather K. Takara (DPRI, KU)

11:00-12:00 KEY NOTE : Basic or applied or both for attainable goals ? : A theoretical experiment Y. Sasaki (Sasaki Institute, OU)

12:00-12:15 Group photo

12:15-13:30 Lunch

13:30-15:50 Session (1) Recent development of advanced radar

15:50-16:10 Coffee break

16:10-18:05 Session (2) Phased array radar technique

18:15-19:30 Icebreaker and Poster session (unattended)

[11 November (Wed)]

09:20-11:00 Session (3) Polarimetric radar

11:00-11:15 Coffee break

11:15-12:35 Session (4) Atmospheric observations and radar applications

12:35-14:00 Lunch

14:00-15:00 Poster session (attended)

15:00-16:30 Session (5) Data assimilation

16:30-16:50 Coffee break

16:50-18:20 Session (6) Data assimilation (continued)

18:30-20:30 Banquet

[12 November (Thu)]

09:20-11:15 Session (7) Numerical modeling

11:15-11:30 Coffee break

11:30-13:00 Session (8) Mitigation of weather hazards

13:00-14:00 Lunch

14:00-15:40 Session (9) Mitigation of weather hazards (continued)

15:40-16:00 Coffee break

16:00-18:00 Panel discussion: Weather Hazards and Their Mitigation: Focus of Asian Countries

[13 November (Fri)]

09:30-15:15 Tour to Shigaraki MU Observatory

### (4)研究成果の公表

Web 上に公開する。

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ku-ou-sympo/>

## 研究集会（課題番号：21K-02）

- 集会名： The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning  
主催者名： 防災研究所，科学技術振興機構，アメリカ地質研究所  
研究代表者： 山田 真澄  
所属機関名： 京都大学次世代開拓研究ユニット  
所内担当者名： ジェームズ・モリ教授  
開催日： 平成 21 年 4 月 21～24 日  
開催場所： 京都大学宇治キャンパス 総合研究実験棟 2F セミナー室 2  
参加者数： 89 名 (所外 73 名，所内 16 名)  
・大学院生の参加状況： 10 名 (修士 4 名，博士 6 名)  
・大学院生の参加形態 [ ワークショップを聴講したり，懇親会に参加した。]

### 研究及び教育への波及効果について

最新の研究成果を目にすることによって，研究活動に対するモチベーションが高まったと思われる。  
また，海外の研究者と情報交換したり，英語でコミュニケーションする事により，国際的な意識が芽生えた学生もいた。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

緊急地震速報の高度利用やアルゴリズム，実用化の事例や期待される成果などについて，分野を超えて議論を行うことを目的とする。現在，緊急地震速報は世界各国で研究が進んでおり，アルゴリズムやシステムのプロトタイプが開発されている。ワークショップでは，国内のみでなく，EU やアメリカ，メキシコ，台湾といった海外からの研究者と議論を行い，情報を交換し合うことで，緊急地震速報の発展につながると確信している。

#### (2) 成果のまとめ

本ワークショップの成果は，各国や各分野で進められているオリジナルな緊急地震速報に関する研究成果を学びあい，国によって様々に異なる政治的・学問的な位置づけについて情報交換できた点である。21・22 日に京都大学にて行われたワークショップでは，オーラル発表が 25 件，ポスター発表が 24 件あり，その後 30 分以上に渡る活発な議論がなされた。その中で，現在の緊急地震速報に関する課題点や今後の発展性が明確に示された。

23・24 日に行われた見学会についても反響は非常に大きく，利活用例について具体的なイメージを持っていなかった研究者にとって，各国での実用化を進める上で大きな影響を与えた。京都大学でのディスカッションでも NTT ドコモや OKI セミコンダクタなどのユーザー側の発表が大きな反響を得たように，今回のワークショップでは地震学者・エンジニア・ユーザーの意見を交換し，多分野間におけるネットワークを構築できたことが最も大きな成果と考えられる。

### (3) プログラム

#### Program for Oral Session (April 21)

<u>Time</u>	<u>Presentater</u>	<u>Organization</u>	<u>Paper Topic</u>
<b>Current Progress of Earthquake Early Warning</b>			
10:30 - 10:35 <b>Opening Remark</b>			
10:35 - 11:05	<b>Keiji Doi</b>	JMA	Earthquake Early Warning in Japan - Provision to the General Public and its Results –
11:05 - 11:35	<b>Richard Allen</b>	UC Berkeley, US	ElarmS across California: Current realtime performance and future outlook
<b>Lunch Break</b>			
<b>Earthquake Early Warning Algorithms 1</b>			
12:30 - 1:00	<b>Aldo Zollo</b>	Univ. of Naples Federico II, Italy	The Earthquake Early Warning System in southern Italy: Technologies, Methods and Performance Evaluation
1:00 - 1:20	<b>Yih-Min Wu</b>	Taiwan Univ., Taiwan	Tau_c and Pd methods in earthquake early warning and its development in Earthworm system
1:20 - 1:40	<b>Masumi Yamada</b>	Kyoto Univ.	Developing a prototype system for earthquake early warning using tau_c method
1:40 - 2:00	<b>Maren Boese</b>	Caltech, US	Updates on EEW Testing and Finite Fault Research at Caltech
2:00 - 2:20	<b>Friedemann Wenzel</b>	Karlsruhe Univ., Germany	Efficiency of Earthquake Early Warning Systems
2:20 - 2:40	<b>Mustafa Erdik</b>	Bogazici Univ., Turkey	Earthquake Early Warning and Rapid Loss Information Generation in İstanbul
<b>Application of New Technology to Earthquake Early Warning</b>			
2:50 - 3:10	<b>Ken'ichi Takamatsu</b>	Oki Electric	Application of the earthquake early warning system for the OKI semiconductor factory
3:10 - 3:30	<b>Katsuhisa Kanda</b>	Kajima	Robust and reliable early warning system for engineering
3:30 - 3:50	<b>Tsutomu Sato</b>	SDR Realtime Information	Systems for Tokyo Metro Company and Others
3:50 - 4:10	<b>Georgia Cua</b>	ETH, Switzerland	Real-Time Performance of the Virtual Seismologist Earthquake Early Warning Algorithm in Southern California
4:10 - 4:30	<b>Iunio Iervolino</b>	Univ. of Naples Federico II, Italy	Uncertainty in early warning predictions of engineering ground motion parameters: what really matters?
<b>Discussion</b>			
4:30 - 5:00	<b>Discussion</b>		



## Program for Oral Session (April 22)

<u>Time</u>	<u>Presentater</u>	<u>Organization</u>	<u>Paper Topic</u>
<b>Use of Earthquake Early Warning Information</b>			
9:00 - 9:20	<b>Yoshinori Maeda</b>	NTT Docomo	Not only EEW, but also "Disaster and Evacuation Information" to Cellular Phone
9:20 - 9:40	<b>Masato Motosaka</b>	Tohoku Univ.	Application of Earthquake Early Warning System in Schools and Experience of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake
9:40 - 10:00	<b>Shigeki Horiuchi</b>	NIED	Home Seismometer for Earthquake Early Warning
10:00 - 10:20	<b>Jim Goltz</b>	OES, US	Earthquake Early Warning: Societal and Public Policy Issues
<b>Development of Early Warning Systems</b>			
10:30 - 10:50	<b>Hanshu Peng</b>	CEA, China	Prototype Earthquake Early Warning System in the Beijing Capital Region of China
10:50 - 11:10	<b>Nai-Chi Hsiao</b>	CWB, Taiwan	Development of earthquake early warning system in Taiwan
11:10 - 11:30	<b>William Leith</b>	USGS, US	Earthquake early warning in the context of the USGS Advanced National Seismic System
<b>Lunch Break</b>			
<b>Poster Session</b>			
12:30 - 2:20	<b><u>Poster Session</u></b>		
<b>Earthquake Early Warning Algorithms 2</b>			
2:30 - 2:50	<b>Luis Rivera</b>	Strasbourg Univ., France	Using W phase for regional tsunami warning and rapid earthquake hazard assessment
2:50 - 3:10	<b>Tom Heaton</b>	Caltech, US	Probabilistic Prediction of Rupture Length, Slip and Seismic Ground Motions for an Ongoing Rupture
3:10 - 3:30	<b>Shunroku Yamamoto</b>	Railway Technical Research Institute	A robust method for imaging asperities of large earthquakes
3:30 - 3:50	<b>Mitsuyuki Hoshihara</b>	Meteorological Research Institute	Uncertainty of anticipation of seismic intensities -A study of fluctuation of anticipated seismic intensities by the method of current Earthquake Early Warning -
<b>Earthquake Early Warning Algorithms 3</b>			
4:00 - 4:20	<b>Kojiro Irikura</b>	AIT	Basic study for developing the Earthquake Early Warning system for great earthquakes - case of ground motions in large crustal earthquakes-
4:20 - 4:40	<b>Yutaka Nakamura</b>	SDR	Earthquake Early Warning and Realtime Earthquake Disaster Prevention
4:40 - 5:00	<b>Gaetano Manfredi</b>	Univ. of Naples Federico II, Italy	Consequence-Based Early warning systems
<b>Discussion</b>			
5:00 - 5:30	<b>Discussion</b>		

**Program for Poster Session (April 22)**

<b>No</b>	<b>Presentater</b>	<b>Organization</b>	<b>Paper Topic</b>
1	<b>Tomohiro Kubo</b>	ABS consulting	Application of Earthquake Early Warning System to Estimation of Long-period Ground Motion for High-Rise Building in Tokyo, Japan
2	<b>Kazuaki Masaki</b>	AIT	EEW distribution network developed by Disaster Prevention Research Center, AIT
3	<b>Susumu Kurahashi</b>	AIT	Improvement of Earthquake Early Warning - Intensity Estimation from Initial Part of P-wave
4	<b>Yuichiro Nishimura</b>	AIT	EEW for Tokai industrial region - application to the manufacturing industry and these effects
5	<b>Hiroshi Asahara</b>	Astom R&D	Development and Operation of Early Earthquake Warning System for Radio Broadcasting
6	<b>Kalpesh Solanki</b>	Caltech, US	EEW Implementaiton at Caltech
7	<b>Juan-Manuel Aranda-Espinosa</b>	CIRES A.C. Mexico	Mexican Sistema de Alerta Sismica evolution
8	<b>Satoshi Fujita</b>	Denki Univ.	Intelligent seismic isolation system using EEW
9	<b>Philip Maechling</b>	Univ. of Southern California, US	Proposed Time Measurement Model for Earthquake Early Warning Systems
10	<b>Giovanni Iannaccone</b>	INGV, Itali	PRESTo: a new stand-alone software tool for earthquake early warning
11	<b>Takashi Akazawa</b>	GRI	Real-Time Strong Motion Observation System aiming at the EEW application by CEORKA (The Committee of Earthquake Observation and Research in the Kansai Area)
12	<b>Keiji Doi</b>	JMA	The present status of Earthquake Early Warning in Japan
13	<b>Shinji Sato</b>	Railway Technical Research Institute	Practical use of Earthquake Early Warning(EEW) System for Shinkansen
14	<b>Shunta Noda</b>	Railway Technical Research Institute	Evaluation of the accuracy of back-azimuths estimated in real-time by using single station record time by using single station record
15	<b>Kazuhiro Iwakiri</b>	Meteorological Research Institute	Study on attenuation relations focused on near source region -Evaluation of their applicability for earthquake early warning-
16	<b>Kazuo Ohtake</b>	Meteorological Research Institute	Techniques of using data from OBS stations for EEW
17	<b>Shigeki Horiuchi</b>	NIED	Automatic arrival time picking using many parameters for the onset discrimination
18	<b>Ken'ichi Takamatsu</b>	Oki Electric	Real-time seismic hazard mitigation system JBS-01
19	<b>Gaetano Festa</b>	Univ. of Naples Federico II, Italy	Early radiation and final magnitude : insights from source kinematics
20	<b>Jun Saita</b>	SDR	New Field of Earthquake Early Warning and its Examples
21	<b>Masato Motosaka</b>	Tohoku Univ.	Development of Regional Earthquake Early Warning System with Structural Health Monitoring Function and Real-Time Ground Motion Prediction Using Front-Site Waveform Data
22	<b>Takao Kagawa</b>	Tottori Univ.	Designing of three stage seismic intensity meter supported by earthquake early warning
23	<b>Holly Brown</b>	UC Berkeley, US	Testing ElarmS with Japanese Earthquakes

#### (4) 研究成果の公表

ワークショップのフォローアップとして、発表者のアブストラクトと発表スライドをウェブサイトに掲載し、最新の研究成果を参加者のみならず世界中の研究者間で共有できるようにした。

( <http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/src/eev/index.htm> )

## 研究集会（課題番号：21K-03）

集 会 名： 極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウム

研究代表者： 鬼頭 昭雄

所属機関名： 気象研究所

所内担当者： 中北 英一

開催日： 平成 21 年 11 月 5 日，6 日

参加者数： 136 名(所外 81 名，所内 55 名)

- ・大学院生の参加状況：27 名(修士 15 名，博士 12 名)，
- ・大学院生の参加形態：[発表：口頭 3 名，ポスター 6 名，聴講 18 名]

### 研究及び教育への波及効果について

極端気象現象とその気候変動による影響評価を行うためには、気候変動や極端気象現象を予測する研究者とその影響を評価する研究者との連携が前提であり、本シンポジウムでは、それぞれの最先端研究者を一同に会し、既存の知見と最新の情報を共有し、防災政策に役立つような将来展望を社会にいかに関信するかについて議論を行うことを目的に企画されたものである。また、大学院生にも参加の機会を与えることにより、発表や、交流を提供する場として、教育的波及効果が大きいと期待される。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

本研究集会は、多岐に亘る極端現象の物理機構から影響評価までを専門とする様々な研究者を一同に会し、既存の知見と最新の情報を共有し、防災政策に役立つような将来展望を社会にいかに関信するかについて議論を行うために企画した。集会での話題は、様々な災害から、水質、生態系システムへの影響、更には水政策や避難行動までも範疇とする。

#### (2) 成果のまとめ

平成 21 年 11 月 5 日，6 日の両日にわたり、本シンポジウムが、京都大学宇治キャンパス宇治おうばくプラザで開催された。本シンポジウムは、21 世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」チーム、水文・水資源学会「極端現象に関する研究」グループを中心に、最先端の研究成果が発表と、活発な議論が行われた。2 日間での発表件数 54 件，参加者数 136 名であり、盛会のうちに終了した。

本シンポジウムでは、8 つのセッションが設けられ、地球規模の気候変動と極端現象、地球規模の気候変動とその評価、極端現象の地域への影響評価、極端気象の日本への影響評価、雨量計をベースに高解像度の長期日降水プロダクト(APHRODITE)、降水変化の把握と地域への影響、モデル・気象データ、社会的影響評価と適応と、非常に広範かつ重要なテーマについての発表と議論が活発に行われ、学際的な議論と交流が円滑に行われた。また、本シンポジウムの盛会を受けて、新たな研究成果が蓄積されるであろう、平成 23 年度に再度開催する機運が高まっている。この年度は、IPCC 第 5 次評価報告書に掲載されるための論文提出期限に当たっており、こうしたシンポジウムの機能を利用して、情報発信を行うことは大変意義深く、再度開催すべきと考えている。

### (3) プログラム

11月5日(木)

<b>オープニング</b>		司会：山敷庸亮（京都大学防災研究所）
9:00-9:05	代表者挨拶	中北英一（京都大学防災研究所）
9:05-9:10	ホスト挨拶	岡田憲夫（京都大学防災研究所所長）
9:10-9:50	革新プログラム／シンポジウム趣旨説明	鬼頭昭雄（気象研究所） 中北英一（京都大学防災研究所） 竹内邦良（ICARM） 中山恵介（北見工業大学） 仲江川敏之（気象研究所）
<b>Session 1: 地球規模の気候変動と極端気象</b>		司会：仲江川敏之（気象研究所）
9:50-10:10	超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究：前期実験の結果	鬼頭昭雄（気象研究所）
10:10-10:30	地球温暖化に伴う中緯度擾乱活動の変化について	新藤 永樹（気象研究所）
10:30-10:50	極端な豪雨の再現期間推定精度に関する検討と問題点	藤部文昭（気象研究所）
10:50-11:00	休憩	
<b>Session 2: 地球規模の気候変動とその影響評価</b>		司会：竹内邦良（ICARM）
11:00-11:20	気候変動による確率降水量とそのアジアモンスーン域における季節変化	木島梨沙子 （京都大学大学院工学研究科）
11:20-11:40	地球温暖化に伴う将来の全球波浪変化予測	森 信人（京都大学防災研究所）
11:40-12:00	洪水リスク評価への利用を目的としたGCM20降水量データのバイアス補正方法の開発	猪股広典（ICARM）
12:00-12:20	GCM20 と分布型流出モデルによる将来の洪水リスク変化の評価	馬籠純（ICARM）
12:20-13:10	昼食	
<b>Session 3: 極端気象の地域への影響評価</b>		司会：中山恵介（北見工業大学）
13:10-13:30	超高解像度大気モデルで予測された熱帯低気圧の将来変化について	村上裕之（AESTO）
13:30-13:50	5kmNHM で予測された台風によって日本付近にもたらさせる降水の将来変化	中野満寿男（AESTO）
13:50-14:10	顕著台風による災害気象に関する領域シミュレーションのモデル間比較	竹見哲也（京都大学防災研究所）
14:10-14:30	陸面過程モデルによる近未来および21世紀末における気候変動の地表面水・熱収支への影響評価	田中賢治（京都大学防災研究所）
14:30-14:50	高解像度日降水データから得られたアジアモンスーン域における極端降水の変化傾向	安富奈津子（総合地球環境学研究所）
14:50-15:10	極値降雨の非線形モデルについて	葛葉泰久（三重大学）
15:10-15:30	休憩	
<b>Session 4: 極端気象の日本への影響評価(1)</b>		司会：服部 敦（国総研）
15:30-15:50	地球温暖化に伴う確率降水量変化の都道府県別評価に向けて	石原幸司（気象研究所）
15:50-16:10	将来気候7月における日本周辺域の大気場の変質と強雨の増加傾向について	金田幸恵（AESTO）

16:10-16:30	温暖化予測実験データを用いた日本陸域における極端気象抽出方法と可能最大被害予測	奥 勇一郎 (京都大学防災研究所)
16:30-16:50	地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計	滝野晶平 (京都大学大学院工学研究科)
16:50-17:10	集中豪雨による都市域の氾濫事象についての一考察	戸田圭一 (京都大学防災研究所)
17:10-17:30	気候変動に伴う日本の主要河川流域の流量変化	佐藤嘉展 (京都大学防災研究所)
17:30-17:50	地域水防災計画に資する流出・洪水・被害推定モデルによる気候変動と洪水災害に関する一考察	小林健一郎 (京都大学生存基盤ユニット)
17:50-18:10	気候変動による河川流量の将来変化について	土屋修一 (国土技術政策総合研究所)

## 11月6日(木)

<b>Session 5: 降水変化の把握と地域への影響</b>		司会: 石原幸司 (気象研究所)
9:00-9:20	梅雨期の降水強度の変化	楠昌司 (気象研究所)
9:20-9:40	高解像度日降水プロダクト APHRO_JP を用いた, 日本の降水の統計解析	上口賢治 (気象研究所)
9:40-10:00	高密度雨量計ネットワークに基づく日降水量グリッドデータの精度評価	濱田篤 (総合地球環境学研究所)
10:00-10:20	Study of Heavy Rainfall during Jakarta Flood Event January-February 2007	Nurjanna Joko Trilaksono (京都大学大学院理学研究科)
10:20-10:40	休憩	
<b>Session 6: 極端気象の日本への影響評価(2)</b>		司会: 石川裕彦 (京都大学防災研究所)
10:40-11:00	気候変動による斜面崩壊への影響評価	藤田正治 (京都大学防災研究所)
11:00-11:20	Water Resources Management under Climate Change Considering Multiple Dam Reservoir Operation	Sunmin Kim (京都大学防災研究所)
11:20-11:40	メソスケール気象モデルにより再現された強風場による建物被害の推定について	丸山 敬 (京都大学防災研究所)
11:40-12:00	閉鎖性水域における温暖化予想-琵琶湖を例として	山敷庸亮 (京都大学防災研究所)
12:00-12:20	北海道内降水量の非定常性と確率降水量の変動特性	杉山一郎 (気象協会)
12:20-13:10	昼食	
13:10-14:20 ポスター発表コアタイム (会場: おうばくプラザ 2F・ハイブリッドスペース)		
<b>Session 7: モデル・気象データ</b>		司会: 楠 昌司 (気象研究所)
14:20-14:40	GCM の加熱率・加湿率に関する調査	宮本健吾 (AESTO)
14:40-15:00	高潮予測用確率台風モデルの構築と将来台風の予測	安田誠宏 (京都大学防災研究所)
15:00-15:20	20km メッシュ全球気候モデルによる地域平均確率降水量の再現性評価	北島俊行 (気象庁)
15:20-15:40	統計的ダウンスケーリングによる強雨頻度推定に関する研究	若月泰孝 (JAMSTEC)
15:40-16:00	休憩	
<b>Session 8: 社会的影響評価と適応</b>		司会: 中北英一 (京都大学防災研究所)
16:00-16:20	Local flood Vulnerability Mapping to Assess the Impact of Climate Change	Ali CHAVOSHIAN (ICHARM)
16:20-16:40	Climate Change Impact on Socio-economic State of Lower West Rapti River Basin in Nepal	Rabindra OSTI (ICHARM)
16:40-17:00	石狩川流域における気候変化の状況と適応策の取り組み	時岡真治 (北海道開発局)

17:00-17:20	Large-scale Flooding Analysis in the Mekong Delta using a 2-D Hydrodynamic Model	Pham Thanh HAI (ICHARM)
17:20-17:40	農地水利用を考慮した分布型水循環モデルによる灌漑への温暖化影響評価	工藤亮治 (農研機構 農村工学研究所)
17:40-17:50	シンポジウム総括	鬼頭昭雄 (気象研究所)
17:50-18:00	クロージング	中北英一 (京都大学防災研究所)

#### (4) 研究成果の公表

1. タイトル： 極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウムアブストラクト集
2. タイトル： 極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウム報告書
3. タイトル： 記録・報告 極端気象現象とその気候変動による影響評価に関する研究集会 ～より良い将来予測を目指して～ 水文・水資源学会誌

## 研究集会（課題番号：21K-04）

集会名： 異常気象と気候変動のメカニズムと予測可能性  
研究代表者： 岩崎 俊樹  
所属機関名： 東北大学 大学院理学研究科  
所内担当者名： 向川 均  
開催日： 平成 21 年 10 月 29 日・30 日  
開催場所： 京都大学宇治キャンパス内 木質ホールセミナー室  
参加者数： 70 名（所外 68 名，所内 2 名）  
・大学院生の参加状況： 31 名（修士 21 名，博士 10 名）  
・大学院生の参加形態 [発表：11 名，聴講 20 名]

### 研究及び教育への波及効果について

異常気象や気候変動の実態把握とメカニズムを解明するためには、最先端の研究を行なう大学・研究機関と現業機関である気象庁との連携が不可欠であり、本研究集会はこの 3 者間での共同研究を促進する機会を提供している。また、大学院学生にも研究発表の機会を与えることで、異常気象研究を担う次世代の人材を養成する場としても活用されている。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

地球温暖化が徐々に進行する中、異常高温や集中豪雨、寒波や豪雪など社会・経済的に大きな影響を与える異常気象が近年頻発する傾向にあることが懸念されている。しかし、異常気象をもたらす大気循環偏差の形成メカニズムや予測可能性については未解明の部分が多い。そこで、その解明と、異常気象と温暖化との関連等に関する理解を深めることを目的に、全国の大学・研究機関と気象庁の研究者を一同に集め、研究発表と討論を行なう。

#### (2) 成果のまとめ

平成 21 年 10 月 29 日・30 日に、異常気象と関連する対流圏における大気大規模運動の力学と予測可能性や、気候変動、成層圏-対流圏の力学結合、地球温暖化に伴う近未来の気候変動予測などに関する研究を行っている、全国の大学、気象庁及び、研究機関や企業の研究者・大学院生 70 名 が参加し、平成 21 年度京都大学防災研究所研究集会（21K-04）「異常気象と気候変動のメカニズムと予測可能性」を、京都大学宇治キャンパス内の木質ホール大セミナー室において開催した。2 日間で、34 件の研究発表と、それに対する大変活発な質疑応答と意見交換とが行われ、盛会のうちに終了した。

これらの発表では、中高緯度域に異常気象をもたらす主要因であるブロッキングや北極振動の発生メカニズムや予測可能性及びその将来予測、南北熱輸送における定在波と非常擾乱との補償関係についての数値実験、春一番に代表される春先の低気圧活動の将来予測、中高緯度域における海面水温分布と大気循環場、特に、移動性高低気圧波動の活動との関係、赤道域成層圏における準二年周期振動とエルニーニョとの関係に関する統計解析、成層圏-対流圏結合における惑星規模波の役割、成層圏突然昇温が熱帯域の大気循環に与える影響、低気圧トラッキングの新しい解析手法の提案、インド洋の海洋変動と夏季アジアモンスーンとの関係、大気海洋結合モデルを用いた季節予報の可能性、数年から十数年の周期を持つ気候変動の予測可能性など、非常に幅広い分野について、大変興味深い研究成果が報告された。また、各研究発表では 15 分間の講演時間を確保し、各セッション間の休憩時間も増やしたため、学会とは異なり、それぞれの新しい研究成果をもとにした熱心な議論や、研究者間の率直な意見交換が活発に行われ、参加者からも大変有意義な研究集会であったとの意見を数多く頂いた。

今回の研究集会は、平成 15 年度に行われた防災研究所特定研究集会（15S-3）「対流圏長周期変動と異常気象」



の第7回目に相当する。今回も、大学院生などの若手研究者によって大変優れた研究成果が数多く発表されたことは、大変印象的であった。従って、異常気象研究を担う次世代の研究者育成という観点からも、このような研究集会をこれからも定期的開催していくべきであると考えます。

### (3) プログラム

2009年10月29日

#### セッション 1

司会: 向川 均(京大・防災研)

13:40 趣旨説明 向川 均(京大・防災研)

13:45 夏のNAMの発達とブロッキング高気圧との関連

立花 義裕(三重大・生物資源)・中村 哲・小宮 豪巳・高橋 政憲

14:00 CMIP3 マルチモデルにおけるヤマセの季節性の再現性と将来変化

遠藤 洋和(気象研・気候)

14:15 2009年夏に見られた亜熱帯ジェット気流の特徴とこれと関連した大気大循環について

牛田 信吾・藤川 典久・原田 やよい・長谷川 寛(気象庁・気候情報課)

14:30 北極振動指数の中長期予報実験

田中 博(筑波大・計算科学)・加藤 真吾(気象庁)

14:45 気象庁週間アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成時の予測可能性評価

竹村 和人(京大・理)・向川 均(京大・防災研)

#### セッション 2

司会: 中村 尚(東大・理)

15:20 定在波と非定常擾乱による南北熱輸送に見られる補償関係

渡部 雅浩(東大・気候システム)・岩崎 俊樹(東北大・理)・小玉 知央(海洋研究開発機構)

15:35 南半球中高緯度における大気大循環モードのシフトについて

宇田川 佑介(北大・環境科学)・山崎 孝治(北大・地球環境)・立花 義裕(三重大・生物資源)

15:50 CMIP3 モデル中での春一番の発生に関連した極東冬季ストームトラック活動の再現性と将来予測

西井 和晃・宮坂 貴文(東大・理)・小坂 優(ハワイ大・IPRC)・中村 尚(東大・

理)

16:05 黒潮続流域のSST変動に伴う地表付近の傾圧性変動と大気循環場への影響 高谷 康太郎(海洋研究開発機構)・中村 尚(東大・理)

16:20 中緯度SST勾配が移動性擾乱活動に与える影響

小川 史明・中村 尚(東大・理)・吉田 聡(地球シミュレータ)

#### セッション 3

司会: 木本 昌秀(東大・気候システム)

16:55 東シナ海の黒潮による梅雨への影響: 降水集中化の可能性

浅井 丈昭・見延 庄士郎・稲津 将(北大・理)

17:10 黒潮・黒潮続流における気圧極小

谷本 陽一(北大・地球環境)・時長 宏樹・謝 尚平(ハワイ大・IPRC)

17:25 熱帯対流圏循環変動のデータ間比較

吉田 康平(北大・環境科学)・山崎 孝治(北大・地球環境)

17:40 気象庁1か月予報モデルにおける潜熱加熱率の検証

新保 明彦(気象庁・気候情報課)・佐藤 均・徳広 貴之・高橋 清利・本山 龍也・

尾瀬 智明・中澤 哲夫

2009年10月30日

セッション 4

司会: 田中 博(筑波大・計算科学)

09:40 ラジオゾンデデータにおける QBO の ENSO 依存性

田口 正和(愛知教育大・地学)

09:55 太陽 11 年周期変動に伴う成層圏大気の応答

山下 陽介(東大・気候システム)・坂本 圭・秋吉 英治・高橋 正明・永島 達也・  
L. B. Zhou

10:10 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状風構造

佐治 憲介(京大・理)・向川 均(京大・防災研)・小寺 邦彦(名大・太陽地球環境研)

10:25 夏季成層圏オゾン増加が対流圏循環へ及ぼす影響

中村 哲(国立環境研)・秋吉 英治・山下 陽介

セッション 5

司会: 谷本 陽一(北大・地球環境)

11:00 2009年1月大規模突然昇温の特徴とその予報について

一丸 知子・廣岡 俊彦(九大・理)・向川 均(京大・防災研)

11:15 2009年1月の成層圏突然昇温の熱帯への影響

小寺 邦彦(名大・太陽地球環境研)・江口 菜穂(国立環境研)・一丸 知子(九大・  
理)

11:30 隣接閉領域トラッキング

稲津 将(北大・理)

11:45 自己組織化マップを用いた西太平洋～インド洋の ENSO シグナルの抽出

酒井 久美・川村 隆一(富山大・理工)

セッション 6

司会: 川村 隆一(富山大・理工)

13:30 北半球冬季の Madden-Julian 振動の中高緯度成層圏への影響

梅津 浩典・伊藤 久徳(九大・理)

13:45 気象庁一か月アンサンブル予報ハインドキャストデータを用いた夏季日本に影響  
を与えるテレコネクションの予測可能性

長屋 幸一・川村 隆一(富山大・理工)

14:00 季節内変動に伴う海洋上層の変動

佐藤 尚毅(東京学芸大・自然科学)・米山 邦夫・城岡 竜一・吉崎 正憲・高藪 縁

14:15 インド洋における海洋変動と夏季アジアモンスーンや大規模循環場との関係につ  
いて

原田 やよい・長谷川 寛・牛田 信吾・藤川 典久(気象庁・気候情報課)

セッション 7

司会: 渡部 雅浩(東大・気候システム)

14:50 伊勢湾台風再現実験

釜堀 弘隆(気象研・気候)・別所 康太郎・川畑 拓矢・新藤 永樹・原 昌弘・  
國井 勝・高野 洋雄・中澤 哲夫・高橋 清利・海老田 綾貴・太田 行哉・  
古林 慎哉・守谷 昌己

15:05 気象庁大気海洋結合モデルを用いた季節予報実験

平井 雅之・石川 一郎・新保 明彦・佐藤 均・成瀬 由紀子・曾我 太三・  
森 浩俊・足立 典之・出原 幸志朗(気象庁・気候情報課)

15:20 赤道東太平洋域の海面水温の変動に対して現実的な熱帯西太平洋の降水応答を示す CMIP3 モデルの特徴  
尾瀬 智昭・荒川 理(気象研・気候)

15:35 熱帯大西洋における SST 偏差の南北勾配とその予測可能性  
近本 喜光・木本 昌秀・渡部 雅浩・森 正人(東大・気候システム)・望月 崇・  
石井 正好

セッション 8 司会: 伊藤 久徳(九大・理)

16:10 結合大循環モデルを用いた十年スケール気候変動予測  
望月 崇(海洋研究開発機構)・木本 昌秀・石井 正好・近本 喜光・渡部 雅浩・  
森 正人

16:25 大気海洋結合モデル MIROC に見られる PDO  
森 正人・木本 昌秀(東大・気候システム)・石井 正好・渡部 雅浩

16:40 気候変化予測から南米水資源影響評価への不確実性伝播  
塩竈 秀夫・江守 正多・花崎 直太・阿部 学・増富 祐司・高橋 潔・野沢 徹(国  
立環境研)

16:55 20 世紀の夏季アフリカの降水変動に及ぼした人間活動の影響  
川瀬 宏明・野沢 徹・阿部 学(国立環境研)

17:10 終了

#### (4) 研究成果の公表

京都大学防災研究所 共同利用「研究成果報告書」(CD-ROM 版)を作成し公表する。

タイトル: 京都大学防災研究所 研究集会 21K-04

「異常気象と気候変動のメカニズムと予測可能性」

研究代表者: 岩崎 俊樹

## 研究集会（課題番号：21K-05）

- 集会名**： 自然災害に関するオープンフォーラム：  
災害に強いまちづくり～みんなで考えよう京都の安心安全
- 共催の場合**： 主催者名（日本自然災害学会）
- 研究代表者**： 今村 文彦
- 所属機関名**： 東北大学工学研究科附属災害制御研究センター
- 所内担当者名**： 中川 一
- 開催日**： 平成 21 年 9 月 28 日
- 開催場所**： メルパルク京都
- 参加者数**： 80 名（所外 51 名，所内 29 名）
- ・大学院生の参加状況： 9 名（修士 7 名，博士 2 名）（内数）
  - ・大学院生の参加形態 [ 聴講ならびに討論に参加 ]

### 研究及び教育への波及効果について

地域特有の自然災害，ならびに災害の防止および軽減に関する情報を共有するとともに，行政，地域で防災活動に携わる方々の話題提供，情報交換を通じて，災害に強い街づくりを進めるための方策に関する知見を深めることができた

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

本オープンフォーラムは，開催地域に特有の自然災害をテーマとして，自然災害に関する研究成果を一般の方々にもわかりやすくお伝えし，自然災害防止軽減に関する知識の普及・啓発を目的として開催されるものである。今回は京都における災害の歴史や災害に対応するために培われてきた知見，最新の防災研究の知見を紹介すると共に，災害に強いまちづくりを進めるための方策について，参加者を交えた議論の中から実現化策を見出すことを目的とする。

#### (2) 成果のまとめ

災害に強い街づくり，および災害リスクに関する話題提供が，基調講演 1 件を含め，全 6 件行われた。

基調講演では，室崎益輝教授（関西学院大学総合政策学部）から「災害と京都のまちづくり」についての講演があり，“京都という地域”に則した“災害とまちづくり”の関係に関する議論を通じて，京都での防災のあり方について展望が示され，京都の歴史や文化財をまもるという視点から，まちづくりのあり方について以下の 5 つの視点が大切であることが指摘された。

- ◆ 自然と人為
- ◆ 単体と集団
- ◆ 生活と文化
- ◆ 伝統と革新
- ◆ 非常と日常

京都における地震リスクに関しては，「京都市域の強振動予測について」と題して澤田純男教授，「伝統的建築物の地震災害」として鈴木祥之教授（立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構），「物理的延焼予測モデルと地震火災リスク評価」と題して田中哮義教授から講演があった。京都における水災害・土砂災害リスクについては，「京都の街の都市水害」と題して戸田圭一教授，「土砂災害の予測技術の現状と将来」として藤田正治教授からの講演があった。

以上の講演の後、「災害に強い京都をつくるための処方箋」と題したパネルディスカッションが、地方自治体ならびに自主防災組織の関係者を交えて行われた。地方自治体からは、今西伸之氏（京都府建設交通部砂防課）、町田善軌氏（京都市消防局防災危機管理室）、自主防災組織からは大田 興氏（京都市中京区 朱八地域自主防災会）に、それぞれの立場での防災対策、広報活動を紹介いただいた後、岡田憲夫教授をコーディネーターとして、産官学のそれぞれの立場、視点を踏まえた議論が行われた。

### (3) プログラム

13：00-13：10 開会挨拶

岡田 憲夫 （京都大学防災研究所 所長）

今村 文彦 （日本自然災害学会 会長）

13：10-13：40 基調講演

災害と京都のまちづくり

室崎 益輝 （関西学院大学総合政策学部 教授）

第一部 京都における地震リスク

13：40-14：00 京都市域の強震動予測について

澤田 純男 （京都大学防災研究所 教授）

14：00-14：20 伝統的建築物の地震防災

鈴木 祥之 （立命館大学 教授）

14：20-14：40 物理的延焼予測モデルと地震火災リスク評価

田中 哮義 （京都大学防災研究所 教授）

14：40-15：00 休憩

第二部 京都における水害・土砂災害リスク

15：00-15：20 京都の街の都市水害

戸田 圭一 （京都大学防災研究所 教授）

15：20-15：40 土砂災害の予測技術の現状と将来

藤田 正治 （京都大学防災研究所 教授）

第三部 災害に強い京都をつくるための処方箋

15：40-16：50 パネルディスカッション

岡田 憲夫 （コーディネーター 京都大学防災研究所 所長）

今西 伸之 （京都府建設交通部砂防課 課長）

町田 善軌 （京都市消防局防災危機管理室 担当課長）

太田 興 （京都市中京区朱八地域自主防災会）

講演者全員

16：50-17：00 閉会挨拶

中川 一 （実行委員会 委員長）

### (4) 研究成果の公表

（講演概要集）

オープンフォーラム

「災害に強いまちづくり ～みんなで考えよう京都の安心安全～」

## 研究集会（課題番号：21K-06）

集 会 名： 土砂災害予測の高精度化に向けた地形・地質・水文・植生情報の総合化  
—新しい土砂災害予測技術の構築に向けて—

研究代表者： 多田 泰之

所属機関名： （独）森林総合研究所

所内担当者名： 藤田 正治，堤 大三

開催日： 平成 21 年 9 月 25 日

開催場所： 穂高砂防観測所

参加者数： 36 名（所外 34 名，所内 2 名）

・大学院生の参加状況： 5 名（修士 2 名，博士 3 名）（内数）

・大学院生の参加形態 【研究会の傍聴，運営補助等】

### 研究及び教育への波及効果について

全国から、当該分野に関する研究を行っている研究者や大学院生が集結し、それぞれの研究成果について発表を行うことで、情報を共有することができ、この分野での研究発展が期待される。また、先端の研究成果について聴講することで、大学院生の研究推進にも貢献できたと考える。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

土砂災害から人命を守るためには、崩壊や土石流が起こる「場所」を高精度に予測する必要がある。このためには、崩壊や土石流の起こる場所と起こらない場所の地形、地質、地下水みちの位置、植生の状態などの特徴の違いを明確にし、それらの情報を予測手法に組み込むことが重要である。研究集会では、土砂災害の予測のために着目すべきこれらの情報について議論し、高精度な予測技術開発のための研究の方向性について議論する。

#### (2) 成果のまとめ

土砂災害に関する研究は工学・農学・理学の3分野で構成されている。これらの研究は各分野の得意とする方向へ発達しており、今日ではかなり細分化が進んでいる。一方で、細分化が進むほど全体の大枠が見え難くなっており、各分野間では常識的に認識されている事象であっても、異分野では全く認知されていない事象も多く存在する。研究集会では、工学（数値計算）・農学（水文・植生）・理学（地形・地質）・文学（考古学）を専門とする研究者間で情報交換を行い、崩壊・土石流の実態に関する共通認識を構築した。また、この共通の認識を持った上で土砂災害の予測技術を高精度化する上で問題点を議論し、次のような意見が寄せられた。また、今後土砂災害から人命を守るために必要な研究の方向性を考えるには、本研究集会のような分野、横断的な議論の機会を継続して設ける必要があることが確認された。

#### (3) プログラム

8:30	8:35	趣旨説明
8:35	9:00	水山高久（京都大学）土砂災害ハザードマップの現状と今後の課題
9:00	9:25	藤田正治（京都大学）気候変動と土砂災害
9:25	9:50	千木良雅弘（京都大学）表層崩壊発生場の地質と微地形からみた崩壊実績
9:50	10:15	大丸裕武（森林総合研究所）年代別空中写真と衛星画像から見た静岡県千頭地域の崩壊地の拡大過程
10:15	10:40	村上亘（森林総合研究所）地震で発生した斜面の亀裂とその後の挙動 -岩手宮城内陸地震、岩手県側の崩壊箇所での事例-
10:40	11:05	小川紀一郎（アジア航測）航空レーザ計測データを活用したリアルタイムハザードマップとその課題

- |       |       |  |
|-------|-------|--|
| 11:05 | 11:30 | 戸田堅一郎（長野県林業総合センター） 2006年（平成18年）発生 長野県岡谷災害の発生機構について –地質構造的考察– |
| 11:30 | 11:55 | 内田太郎（土木研究所）表層崩壊発生場所の予測手法の検討                                  |
| 13:00 | 13:25 | 13:00 小山敢（鳥取県林業試験場）表層崩壊発生に関与する脆弱な土層構造の発見 –鳥取県三朝町の事例–         |
| 13:25 | 13:50 | 執印康裕（宇都宮大学）森林植生の影響を考慮したハザードマップの作成に向けて                        |
| 13:50 | 14:15 | 三森利昭（森林総合研究所）数値実験に基づくスギ人工林における崩壊危険度の経年変化                     |
| 14:15 | 14:40 | 小杉賢一郎（京都大学）花崗岩山地における水文過程の理解に向けて                              |
| 14:40 | 15:05 | 今泉文寿（筑波大学）多層構造を有する斜面での降雨に伴う間隙水圧分布と斜面安定性の変化                   |
| 15:05 | 15:20 | 多田泰之（森林総合研究所）崩壊場所を予測する上で重要な因子は何か？ –水音調査を通じて理解したこと–           |
| 16:00 | 16:25 | 富井眞（京都大学）先史時代の自然堆積物の検討から災害史を考える –京都盆地東北部の白川の事例–              |
| 16:25 | 16:50 | 堀田紀文（東京大学）土石流における流れの遷移                                       |
| 16:50 | 17:15 | 里深好文（立命館大学）2009年山口県防府市の土石流災害について                             |

#### (4) 研究成果の公表

研究集会全体に関する公表は特に行っていない。また、参加者個別の公表についても、集計していない。

## 研究集会（課題番号：21K-07）

- 集会名：** 自然災害リスク下でのグローバルな重要社会基盤のリスクガバナンス：研究者と実務者の国際対話フォーラム
- 共催の場合：** 主催者名(IRGC（スイス・ジュネーブ在の国際リスクガバナンス機構，同機構理事で本会議の組織副委員長・スイス連邦工科大学・ボルフガング・クレーガー教授）
- 研究代表者：** 谷口 栄一
- 所属機関名：** 京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻
- 所内担当者名：** 岡田 憲夫
- 開催日：** 平成21年6月4日～5日
- 開催場所：** 京都テルサ・宇治源氏物語ミュージアム
- 参加者数：** 38名（所外29名，所内9名）
- ・大学院生の参加状況： 2名（博士2名）
  - ・大学院生の参加形態 [ 運営補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

本研究集会のテーマは、総合的な災害リスクマネジメントのきわめて新規性のある先端的研究テーマであることが、研究集会の議論の結果からも確認されている。この点で今後の防災研究所や京都大学の研究に大きい貢献があった。またこの会議には2名の博士課程の学生が積極的に関与・参画した。そのうち、一名は、本研究所と交流協定を結んで長い研究協力の実績のある University of Waterloo の Systems Design Engineering の学生である。彼女は本研究集会の企画準備にあたり、研究代表者の谷口や所内研究担当者の岡田らの研究ガイダンスの下に、関連資料の収集や英文報告書の取りまとめに主体的に関与した。その結果、自身の学位論文の研究材料として活用し、新たな研究の幅を広げることにもつながっている。またもう一名の学生は防災研究所総合的な災害リスクマネジメントに関する学位論文を取りまとめつつあり、当人の研究の視野を広げる上でも有用な機会となった。また参加者のうち何人かの著名な研究者から研究につながる有用なアドバイスを得たことも大きな教育効果であると考えられる。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

1. 主要な関係者・当事者間の対話の場の設定
2. 共通の問題認識の形成と取り組むべき重点対策の提案（リスクガバナンスの課題，関連複合災害の原因と結果の検討，関連リスクの評価，ならびに懸念事項の抽出）
3. 原稿の国際協力メカニズムを踏まえた，リスクガバナンス戦略の重点的課題の抽出
4. 会議の討議結果をベースにしたリスクガバナンスの政策課題の提唱を盛り込んだ IRGC(国際リスクガバナンス機構)の政策レポートの作成

#### (2) 成果のまとめ

今後、国際重要社会基盤（Global Critical Infrastructure）が、国際社会において新しいリスクガバナンスの政策課題になりうること，そのための学際的・国際的研究の推進が期待されること，防災・災害リスクマネジメントの観点からも，新機軸が拓かれることが要請されること，などが合意された。

また本研究集会の議論の結果は，上記の IRGC 政策レポートにも反映されている。



## (3) プログラム

<b>DAY 1 Agenda</b>			
<b>Thursday, 4 June 2009</b>			
<b>Kyoto Terrsa, East Building, 2nd Floor, Seminar Room #3</b>			
<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
8:30	Registration		
9:00	Welcoming remarks by organizers and hosting organizations	N. Okada W. Kröger	
9:30	Introduction and discussion on briefing document	N. Okada M. Heng	
10:30	Keynote: Crucial governance issues of the Straits of Malacca and Singapore  Q/A and Discussion		N. Okada
	Risk Assessment and Governance Issues of the Straits of Malacca and Singapore	T. F. Fwa	
	Risk Assessment and Policy Options for the Straits of Malacca	M. Ibrahim	
	Japan and the Cooperative Mechanism on the Straits of Malacca and Singapore	K. Yamaguchi	
13:00	LUNCH		
14:30	Panel 1: Learning from major earthquakes, tsunamis and tropical storms - Framing hazards and vulnerabilities with wide-area consequences  Q/A and Discussion		W. Kröger
	Lessons Learned from the Isewan Typhoon and Kobe Earthquake: From the Perspective of Supporting Infrastructures for Ports and Harbors	J. Tohma	
	Review of Typhoon Maemi in 2003 and Its Impacts on Port Facilities	J. Oh	

**DAY 1 Agenda****Thursday, 4 June 2009****Kyoto Terra, East Building, 2nd Floor, Seminar Room #3**

<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
	Experiences and Lessons of Large-Scale Disaster Governance in China—Perspective to the Response of Wenchuan Earthquake Disaster	D. Yu for P. Shi	
	Safe Navigation in the Singapore Strait	H. Heng	
	Perspectives on Mumbai Terrorist Attacks and Other Latest Disasters (Climate Change)	B. A. Misra	
	Forecast and Stochastic Modeling of Future Typhoons based on GCM Projections	H. Mase	
16:35	BREAK		
16:45	Panel 2: Looking beyond the horizon - Reflections on foreseeable developments, potential scenarios and knowledge gaps Q/A and Discussion		J. Tohma
	The Scenario Simulation and Risk Analysis of Waterlogging and Typhoon from Coastal City, Shanghai	M. Liu	
	Possible Meteorological Threats to Maritime Transportation	H. Ishikawa	
	Past, Present, and Future of Busan Port and Its Disaster Prevention Program	C.-R. Ryu	
	50 Years of Disaster Prevention in Nagoya Port since the 1959 Ise-wan Typhoon	T. Tamura E. Hideshima	
	Risk Accompanied by a Rapid Urbanization Course—Shenzhen Case	D. Yu	
	Forecasting the Impact of Port Shutdown on Seaborne Cargo Transport	M. Takebayashi	
18:30	ADJOURN		

<b>DAY 1 Agenda</b>			
<b>Thursday, 4 June 2009</b>			
<b>Kyoto Terrsa, East Building, 2nd Floor, Seminar Room #3</b>			
<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
19:00 - 21:30	Reception and Dinner (Programme included)		

<b>DAY 1 Reception and Dinner</b>	
<b>Thursday, 4 June 2009</b>	
<b>Kyoto Terrsa, Suzaku Restaurant, East Building, 1st Floor</b>	
19:00	Reception
19:15	Welcome Speeches by N. Okada and W. Kröger
19:30	Dinner
20:30	Keynote Speeches by K. Yamaguchi and J. Tohma
21:15	Closing Speeches by T. F. Fwa and E. Taniguchi

<b>DAY 2 Agenda</b>			
<b>Friday, 5 June 2009</b>			
<b>Tale of Genji Museum, Conference Room</b>			
<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
8:45	Registration		
9:00	Welcoming remarks by Tale of Genji Museum hosts		
9:15	Working session: risk governance and related concepts/strategies Brainstorming and Discussion	O. Renn M. Nishizawa	
10:45	BREAK		

**DAY 2 Agenda****Friday, 5 June 2009****Tale of Genji Museum, Conference Room**

<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
11:15	Panel 3: Assuming "the impossible" - Reflections on adequacy and resilience of coping mechanisms Q/A and Discussion		T. F. Fwa
	Interdependent Security Problems in Maritime Global Critical Infrastructures		
	Risk Scenario Analysis in Southeast Asia: Policy Implications of a Blocked Malacca Strait	R. Shibasaki	
	Lessons from the 2004 Indian Ocean Tsunami and Possibilities of Tsunami in the Region of the Malacca Straits	F. Imamura	
	Related Security Issues of Man-made Disasters and Potential Extension to Airport Global Critical Infrastructures	N. Sawant	
	Interdependencies between Ports and Electric Power Critical Infrastructures	Y. Kajitani S. Yabana	
	Nat-cat Risk Management & EQ Risk Finance	H. Wakatsuki	
12:45	LUNCH		
13:45	Panel 4: Viewing legal, institutional, organisational issues - Exploring the need for a new initiative and paradigm Q/A and Discussion		E. Taniguchi
	Current Agreements and National View on Enforcement Mechanisms		
	Critical Infrastructure Protection and Collaborative Emergency Management Policy between Korea and Japan	J. E. Lee	

<b>DAY 2 Agenda</b>			
<b>Friday, 5 June 2009</b>			
<b>Tale of Genji Museum, Conference Room</b>			
<b>Time</b>	<b>Session</b>	<b>Presenter</b>	<b>Session Chair</b>
	New Instruments and Approaches Including Public-Private Partnerships	K. Yamaguchi	
15:15	BREAK		
15:45	Open discussion: Urgent Needs and Future Directions including policy actions, information sharing, early warning mechanisms, research activities, etc.		O. Renn N. Okada
16:45	Concluding session: Drafting risk governance recommendations and a timeline for related actions	N. Okada W. Kröger	
17:45	END OF WORKSHOP		

(4)研究成果の公表

1. "Risk Governance of the Maritime Global Critical Infrastructure"

Prepared by: Kyoto University and International Risk Governance Council (IRGC) March 31, 2010

2. "International Workshop on Risk Governance of the Maritime Global Critical Infrastructure: Straits of Malacca and Singapore Exposed to Extreme Hazards"

Prepared by: Kyoto University and International Risk Governance Council (IRGC) March 31, 2010

## 研究集会（課題番号：21K-08）

集 会 名： 地震波によらない地震学—これまでの成果と今後の展望—  
研究代表者： 伊藤 久男  
所属機関名： 海洋研究開発機構  
所内担当者名： 加納 靖之  
開催日： 平成 21 年 11 月 24 日—25 日  
開催場所： 京都大学宇治キャンパス 木質ホールおよびおうばくプラザ会議室  
参加者数： 47 名（所外 33 名，所内 14 名）  
・大学院生の参加状況： 9 名  
・大学院生の参加形態 [ 聴講・運営補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

摩擦、破壊、レオロジー、間隙弾性、地盤工学等における先進的、独創的な研究についての話題提供と議論をおこなった。岩石力学における地震研究の重要性を再認識する場となった

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

地震学は地震波を頼りに地震を理解する学問である。他方、岩石力学における地震研究では、地震波以外の情報から破壊のメカニズムや媒質の性質を調べて地震の正体にせまってきた。本研究集会は、これまでの岩石力学の地震研究への貢献を実験・観測・理論の視点から整理し、地震学との接点をより密にすることを目的とする。とくに、摩擦、破壊、レオロジー、間隙弾性、地盤工学等における先進的、独創的な研究について討議を行う。

#### (2) 成果のまとめ

本研究集会は、地震学は地震波を頼りに地震を理解する学問、他方、岩石力学における地震研究では、地震波以外の情報から破壊のメカニズムや媒質の性質を調べて地震の正体にせまってきた、という現状認識のもと、これまでの岩石力学の地震研究への貢献を「断層の不均質・断層のイメージ」、「構成則・シミュレーション」、「フィールドモニタリング・原位置測定」の 3 テーマを中心に、実験・観測・理論の視点から整理し、地震学との接点をより密にすることを目的して企画した。各セッションとも数名の基調講演に加えて自由討論の時間を長めに用意し、講演・自由討議に当たっては「地震波に依拠する地震学」と「地震波によらない地震学」との双方向の議論により今後の展望を考えるものを目指した。講演者の方々には、それを支える基盤としての、摩擦、破壊、レオロジー、間隙弾性、地盤工学等における先進的、独創的な研究についての話題提供をお願いし、自由討論の土台とした。

本研究集会により、異なる基盤を置く研究者どうしが互いの研究分野のこれまでの成果や限界を理解し、補完するという目標の第一歩を踏み出すことができたと考える。特に、しかしながら、岩石力学における地震研究の重要性を再認識する場となった。今回の研究集会の成果をステップに、「地震波によらない地震学」を活用した地震現象の理解を進めていきたいと考えている。

### (3) プログラム

11 月24 日 (火)

- 10:30~10:40 はじめに・趣旨説明 (伊藤久男)
- 10:40~11:55 セッション3 - 1 (テーマ3 : フィールドモニタリング・原位置測定)  
<15 分×1 講演+30 分×2 講演>  
山下太 (防災科研)  
「フィールドモニタリング・原位置測定の役割」  
小笠原宏 (立命大)  
「南アフリカ金鉱山で学ぶ地震学と岩石力学との接点」  
中谷正生 (東大地震研)  
「南ア鉱山におけるM2 級震源周辺でのAE 観測」
- 11:55~13:00 昼食
- 13:00~14:00 セッション3 - 2 (テーマ3 : フィールドモニタリング・原位置測定)  
<30 分×1 講演>  
大槻憲四郎 (東北大)  
「フラクタルジオメトリーからの地震へのアプローチ」  
川崎一朗 (京大防災研)  
「教養主義の没落」
- 14:00~15:00 テーマ3 自由討論 (座長 : 伊藤久男・山下太)
- 15:15~17:15 セッション2 - 1 (テーマ2 : 構成則・シミュレーション)  
<30 分×4 講演>  
三井雄太 (京大理)  
「スティックスリップの模擬計算の面白いところ危うそうなところ  
-速度・状態依存摩擦則に依存した物理モデルの再検討-」  
廣瀬丈洋 (JAMSTEC 高知)  
「地震時の断層内部物理・化学プロセス :  
高速摩擦実験によるアプローチ」  
後藤浩之 (京大防災研)  
「面の摩擦現象 -DEM シミュレーションから見えてきたもの-」  
亀伸樹 (東大地震研)  
「断層の壊れたい所が壊れる動的破壊モデリング」
- 18:30~ 懇親会

11 月25 日 (水)

- 9:00~10:00 セッション2 - 2 (テーマ2 : 構成則・シミュレーション)  
<30 分×2 講演>  
野田博之 (CALTECH)  
「温度, 間隙圧の変化を考慮に入れた地震サイクルのシミュレーション」  
堀高峰 (JAMSTEC)  
「データ同化実現に向けたモデル構築の考え方と  
モデルの高度化に必要な基礎研究についてのコメント」
- 10:00~11:00 テーマ2 自由討論 (座長 : 加納靖之・三井雄太)

- 11:10～12:10 セッション1 - 1 (テーマ1 : 断層不均質・断層のイメージ)  
<30 分×2 講演>  
川方裕則 (立命大)  
「実験室で調べる断層不均質」  
中原恒 (東北大)  
「自然地震記録を用いた地震波干渉法」
- 12:10～13:30 昼食
- 13:30～14:30 セッション1 - 2 (テーマ1 : 断層不均質・断層のイメージ)  
<30 分×2 講演>  
三宅弘恵 (東大地震研)  
「地震波の魅力とその限界」  
福山英一 (防災科研)  
「地震の動的破壊伝播と断層強度不均質」
- 14:30～15:30 テーマ1 自由討論 (座長 : 川方裕則・堀川晴央)
- 15:45～17:15 総合討論 (座長 : 伊藤久男)
- 17:15～17:30 まとめ (加納靖之)

#### (4) 研究成果の公表

京都大学防災研究所 共同利用「研究成果報告書」(CD-ROM 版)を作成し公表する。



## 研究集会（課題番号：21K-09）

集 会 名： 台風災害の歴史と教訓 ―伊勢湾台風から 50 年―

共催の場合： 主催者名（京都大学防災研究所）

研究代表者： 佐々 浩司

所属機関名： 高知大学 教育研究部自然科学系理学部門

所内担当者名： 竹見 哲也，林 泰一

開催日： 平成 21 年 9 月 17,18 日

開催場所： 京都大学宇治キャンパス木質ホール

参加者数： 67 名（所外 48 名，所内 19 名）

・大学院生の参加状況： 20 名（修士 16 名，博士 4 名）

・大学院生の参加形態 [ 研究発表および，聴講 ]

### 研究及び教育への波及効果について

台風に伴う様々な問題を学際的な観点から討論することにより，台風に関わる研究テーマを進める他分野の研究者間の動向が把握され，視野を広げた研究の進展が期待できる。同時に専門に偏りがちな学生も，より広い視点から問題に取り組むことが期待される。

### 研究集会報告：

#### (1) 目的

「台風研究会」は台風に関する問題を，気象学，風工学，土木，建築，社会学など学際的な観点から研究した成果について発表し，討論を行うことを目的として今回で第 7 回目となったが，今回は特に日本の自然災害として大きな爪痕を残した「伊勢湾台風」から 50 年経た節目として伊勢湾台風の教訓にも焦点をあてた討論を行うことも目的とした。

#### (2) 成果のまとめ

今回の研究集会では，タイトルにも含まれる伊勢湾台風の集中的な解析をはじめ，過去の台風やそれに伴う災害に焦点をあてた調査や解析が多くなされた。これにより改めて過去の台風災害の教訓が明らかにされるとともに，観測システムや情報システムなどの変遷によりどのように台風災害が軽減されてきたかが浮き彫りにされた。伊勢湾台風の解析に対する特に顕著な成果は，様々な精度のデータを統合する再解析技術の進歩により，時代とともに変遷してきた観測データを統一するとともに観測データが不十分であった過去台風でも現在の予報モデルと同程度の解像度で再現し，その構造や変化の様子を克明に明らかにすることが可能となったことである。これにより，直接比較検討できなかった過去の台風と現在の台風を同じ精度で解析し，比較することにより，台風に関する統計解析が一段と進展する。また，高精度高分解能のモデルを用いた解析も大きく進展し，台風内部構造の解明のみならず，直接地表付近に突風災害をもたらす強風の評価，建物に対する強風の影響，高潮への影響なども詳細に明らかにされたとともに，温暖化が懸念される将来気候の変化に伴う台風の変化に関する予測も示された。さらには台風などに関連して発生するメソ擾乱に伴う竜巻による被害調査や，竜巻の室内実験を通じた突風災害の解明や突風構造の解明についての報告や，レーダー観測によるナウキャストシステムの開発などについても報告がなされ，台風災害軽減のため将来の展望が明らかにされた。

これらの成果を総括すると，台風の構造そのものの解明が進んだだけでなく，今後の研究の進展によって昭和の初めくらいから台風など顕著な気象災害の復刻がなされ，統計的な解析成果が大きく期待できるほか，高精度予報モデルの応用により，被害予測や減災のためのナウキャストシステムが近い将来実用化されるなど明るい展望が得られた。

### (3) プログラム

## 平成21 年度 台風研究会

### 「台風災害の歴史と教訓 -伊勢湾台風から50 年-」 プログラム

9 月17 日

13:30 開会のあいさつ

13:35～15:10 特別セッション「伊勢湾台風」

伊勢湾台風の概要

林泰一(京大防災研)

伊勢湾台風再予報実験の概要

中澤哲夫・釜堀弘隆\*・別所康太郎・川畑拓矢・高野洋雄・新藤永樹・原昌弘・國井勝  
(気象研)

気象庁全球同化システムを用いた伊勢湾台風再解析

釜堀弘隆\*・高橋清利・海老田綾貴・太田行哉・古林慎也・守谷昌己・別所康太郎・  
中澤哲夫(気象研)

全球モデルを用いた伊勢湾台風再予報実験

新藤永樹\*・原昌弘・國井勝・別所康太郎・中澤哲夫(気象研)

気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風と高潮の再予報

川畑拓矢\*・國井勝・別所康太郎・釜堀弘隆・中澤哲夫(気象研)  
本田有機・澤田謙(気象庁)

15:10～15:20 休憩

15:20～16:35 一般講演

NICAM を用いた複数の実験における熱帯低気圧の発生に関わる環境場の解析

山田洋平\*・佐藤正樹・大内和良・富田浩文・柳瀬亘(JAMSTEC)

アジョイント法を用いた海面交換係数の推定とそれに伴う壁雲構造の再現性向上について

伊藤耕介\*・石川洋一・淡路敏之(京大理)

2009 年7 月岡山県美作市と群馬県館林市の竜巻被害

奥田泰雄(建築研)\*・喜々津仁密(国総研)

小型ドップラー気象レーダーによる鉄道安全運行のための突風探知システムの基礎的研究

楠 研一(気象研)

メソサイクロン模擬装置下で再現される竜巻

竹村早紀\*・山崎麻未・佐々浩司(高知大)

16:35～17:00 休憩

17:00～17:50 特別講演

強風による構造物の被害 -台風による強風被害も含めて-

松本 勝 先生(京都大学名誉教授)

18:00～ 懇親会

9 月18 日

9:30～10:30 一般講演

軸対称モデルを用いた発達過程における台風渦のエネルギー収支解析

宮本佳明\*・竹見哲也(京大防災研)

台風発生の環境場とメソ対流系の併合の関係

吉田龍二\*・石川裕彦（京大防災研）

環境場データを用いた台風の発生・経路・発達 の推定について

増山啓（東京海上研）\*・重里昌（北大地球）・佐藤友徳（東大気候）・木本昌秀・末吉哲雄（東京海上研）

台風の発生過程に関する、熱帯西部太平洋における集中観測と高解像数値実験

山田広幸\*、柳瀬亘、城岡竜一、米山邦夫、佐藤正樹、吉崎正憲（JAMSTEC）

10:30～11:00 休憩

11:00～12:00 一般講演

領域非静力学モデルを用いた台風アンサンブル実験

新藤永樹\*・斉藤和雄・杉正人（気象研）

2008 ミャンマーサイクロンNargis についてのNHM 予報実験・LETKF 同化実験と高潮シミュレーション

黒田徹\*・斉藤和雄・國井勝・高野洋雄（気象研）

1828年シーボルト台風（子年の大風）と高潮について

小西達男\*・岩松要輔（佐賀地方気象台）

気象モデルの計算結果を用いた建物強風被害の推定に関する考察

丸山敬（京大防災研）

12:00～12:40 エアーキャノン実験見学会

12:40～13:40 昼食

13:40～14:40 一般講演

海面水温日変化が台風強度予測に与える影響

和田章義（気象研）\*・川合義美（JAMSTEC）・碓氷典久（気象研）

雲解像モデルを用いた地球温暖化時の台風シミュレーション

加藤雅也\*・坪木和久・安宅達哉（名大水循環）

20世紀前半の西部北太平洋域の台風経路の復元

久保田尚之（JAMSTEC）

台風に伴う竜巻（大正時代の高知竜巻から現代まで）

佐々浩司（高知大）

14:40～14:45 終わりのあいさつ

#### (4) 研究成果の公表

研究成果は、防災研究所研究集会の報告集「研究集会 21K-09, 台風災害の歴史と教訓 -伊勢湾台風から50年-」に冊子およびCDとしてまとめられ、配布された。

平成21年度 共同研究以外の施設・設備等利用状況		
申込者氏名	申込者所属機関	施設、設備・装置・機器、資料
井上 寛之	京都大学理学研究科付属 火山研究センター	光波測距儀 (DI3000)
中村 俊夫	神戸市建設局下水道河川部河川課	実物大階段模型
新井 宗之	名城大学理工学部建設システム工学科	第4実験棟
岡野 大祐	東海大学 産業工学研究科生産工学専攻	1991年5月18日の火山雷を伴った爆発的噴火の写真 (国土交通省九州地方整備局のHPの中の写真の転載 <a href="http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/sabo/rekishi/funkasaigai.htm">http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/sabo/rekishi/funkasaigai.htm</a> )
相澤 広記	東京大学地震研究所	地球物理観測データ (下記5種)。 ハルタ山雨量データ 平成20年度1月～平成22年度3月 黒神観測坑 温泉ガスデータ 平成20年度1月～平成22年度3月 古里港 潮位データ 平成20年度1月～平成22年度3月 持木ボアホール 水位データ 平成20年度1月～平成22年度3月 桜島周辺域の地震震源データ 平成20年度1月～平成22年度3月
高橋智幸	秋田大学工学資源学部	造波装置を備えた開閉型移動床水路
平澤良輔	京都大学大学院農学研究科	穂高砂防観測所
遠藤徳孝	金沢大学	50cm幅流砂基礎実験水路
正岡 直也	京都大学大学院農学研究科	穂高砂防観測所
劉 飛	中国地質大学 (北京)	徳島地すべり観測所
東田 進也	東京大学地震研究所	スメル火山の噴火画像
平澤良輔	京都大学大学院農学研究科	穂高砂防観測所
遠藤徳孝	金沢大学	50cm幅流砂基礎実験水路
松久保 武弘	国土交通省 大隈河川事務所桜島砂防出張所	「写真 (1985. 4.9撮影桜島の火砕流)」
黒川 明紘	NHK	第1実験棟 ドア開閉実験, 階段歩行実験
正岡 直也	京都大学大学院農学研究科	穂高砂防観測所
香田 伸司	電力気象連絡会近畿地方委員会	宇治川オープンラボラトリー内の実験装置
泉山 寛明	京都大学大学院工学研究科	穂高砂防観測所
泉山 寛明	京都大学大学院工学研究科	穂高砂防観測所
今井 武	株式会社環境総合テクノス 環境部 地球環境グループ	高潮観測塔 調査船「海象」
林 和宏	大阪産業大学工学部機械工学科	海浜変形実験, 雨水流出実験装置, 実物大階段模型, 土石流実験, 地上洪水氾濫実験模型, 地下空間浸水実験装置, ドア模型, 自動車 模型
山元 大輔	鹿児島市市民局市民部安心安全課	桜島の地盤変動と降下火山灰, 爆発回数との関係

荒木 康弘	神戸大学自然科学系先端融合研究環	分散並列型強震応答実験装置
尹 鐘星	韓国 仁済大学校 土木工学科	実海域再現水槽及び波浪発生装置一式
白木 貞次郎	京都市消防局教養課	地下空間浸水実験装置, ドア模型, 車両模型及び階段模型
大倉 敬宏	京都大学大学院理学研究科 附属地球熱学研究施設火山研究センター	GPSレシーバーLeicaSR520 2台
西ヶ谷力哉	日本放送協会	水害関連実験装置
小谷賢太郎	関西大学	実物型階段模型・ドア模型
石垣 泰輔	関西大学環境都市工学部	実物大階段模型, 水没車模型 第1実験棟, 第2実験棟
石垣 泰輔	関西大学環境都市工学部	2m幅基礎実験水路
相澤 広記	東京大学地震研究所	電場磁場観測装置Phoenix社製MTU5a 2台
福間 浩司	同志社大学理工学部	観測井ボーリングコア (極小域観測井および黒神観測井)
木村 晃	鳥取大学	多目的造波水路
遠藤 徳孝	金沢大学	50cm幅流砂基礎実験水路
増田 覚	(株)ニュージェック 河川グループ	溪流水理実験装置, 会議室
木原 直幹	テレビ朝日 報道ステーション	降雨発生装置
天野 賢一	(株)日本経済新聞社	桜島火山昭和火口噴火画像
柳 千絵	(株)誠文堂新光社	写真資料 (桜島の火山雷) 1点
澤井 健二	近畿子どもの水辺ネットワーク	プロジェクター, スクリーン, ポインター
遠藤 徳孝	金沢大学	50cm幅流砂基礎実験水路
山口 覚	神戸大学	Phoenix社製MTU-5A(2式)
大久保 修平	東京大学地震研究所	GPSレシーバー LeicaSR520 2台
佐藤 峰司	白山工業株式会社	空振計TYPE3348 (株式会社アコー製) の観測データ
古谷 尊彦	千葉大学	徳島地すべり観測所
松永 智	株式会社日さく 大阪支店	徳島地すべり観測所
佐藤 峰司	白山工業株式会社	マイクロフォンテスター 1式 空振計TYPE3348 (株式会社アコー製) 2式
橋口 隆秀	鹿児島市議会事務局議事課委員会係	1. 火山活動研究センターのホームページより (1) 「2006年6月4日の桜島南岳東斜面の噴火について」に用いられている桜島地図 2. 提供資料より (1) 「始良カルデラ周辺の地盤の上下変動」のグラフ (2) 火山体構造探査装置のイメージ図及び配置図等 (3) 地震計及び観測装置写真

柴田 絵美	文部科学省研究開発局地震・防災研究課	桜島噴火の写真（南岳の噴火）
大久保 修平	東京大学 地震研究所	地震予知研究センター附属 宮崎観測所（暗室実験室）
大久保 修平	東京大学地震研究所	桜島における火山性地震の日発生数データ （2008年1月1日から2009年9月10日まで）
井上 寛之	京都大学理学研究科 附属火山研究センター	光波測距儀（DI3000）
塩崎 一朗	鳥取大学大学院工学研究科	広帯域電場磁場観測装置（MTU5 1台，MTU2E 1台，MTU5A 2台）
三宅 哲平	社団法人家の光協会	貴研究所ホームページ掲載の写真（桜島で起きた昼の爆発，夜の爆発）の2点
相澤 広記	東京大学地震研究所	写真1枚： 夜間の桜島南岳火口噴火と火山雷
藤野 陽三	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学 専攻	ネットワークアナライザ，PTCアナライザ，漏洩同軸ケーブル，PC， ハードディスク
志賀裕二	（株）共和電業営業本部京都営業所	徳島地すべり観測所
渡部弘明	株式会社 基礎建設コンサルタント	徳島地すべり観測所
日浦 啓全	山地災害研究所	徳島地すべり観測所 宿泊施設
大野 昌彦	京都市伏見消防署淀消防出張所	浸水体験実験装置（ドア模型）， 実物大階段模型，雨水流出実験装置
増田 寛	（株）ニュージェック 河川グループ	実験用敷地及び循環水槽
山口 寛	神戸大学	Phoenix社製MTU-5A（3式）
前田 浩司	ポリエチレンライニング工法協会	断面二次元元水槽（1.0m×0.3m×20.0m） 電磁流量計
Sarah CARPENTIER	GRAND ANGLE PRODUCTION	桜島火山噴火のDVD
梅田 善幸	姫路市安富町消防団	降雨実験装置，実物階段模型，浸水体験実験装置（ドア模型）
遠藤 徳孝	金沢大学	50cm幅流砂基礎実験水路
石塚 孝志	毎日新聞社科学環境部	始良カルデラ周辺地盤の上下変動のグラフ
湯通堂 直	鹿児島市安心安全課	桜島昭和火口で発生した火砕流の写真（2009年4月） 有村町の火山弾の写真（1984年7月）
加藤 光弘	NHK報道局 災害気象センター	ドア模型，自動車模型，降雨実験装置，階段模型
日浦 啓全	山地災害研究所	徳島地すべり観測所 宿泊施設
古谷 元	新潟大学 災害復興科学センター	徳島地すべり観測所 宿泊施設
大倉 敬宏	京都大学大学院理学研究科 附属地球熱学研究施設火山研究センター	GPSレシーバーL e i c a S R 520 1台
清田 哲	朝日学生新聞社 大阪支社	2009年 京都大学防災研究所附属火山活動研究センター 冊子 7ページ 桜島火山のマグマ供給システムのイラスト
加藤光弘	NHK報道局 災害・気象センター	ドア模型，自動車模型，降雨実験装置，階段模型
森 正一	国土防災技術（株）	徳島地すべり観測所

## 京都大学防災研究所 平成 21 年度 防災研究推進特別事業

**実施課題名：**観測データに基づいた耐震補強の有効性に関する実証的研究

**研究代表者：**川瀬博 京都大学防災研究所・社会防災研究部門・教授

**共同研究者数：**所内6名，所外6名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**宇治キャンパス本館の微動観測，宇治キャンパス内の連続微動観測，地震計動作確認試験に，博士課程1名，修士課程2名，学部生1名が参加した。また，研究集会には，博士課程4名，修士課程5名，学部生3名が参加した。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

現在耐震改修工事を実施中の宇治キャンパス本館を対象に，微動観測および地震観測を実施し，それらの観測データに基づいて構造物モデルを構築し，発生の危惧される黄檗断層系想定地震等の予測強震動に対する非線形応答解析を実施して，耐震補強を施さなかった場合の応答と比較することにより，その有効性を検証するとともに，将来の大地震に備えたヘルスマonitoringシステムを確立する。

#### (2) 研究経過の概要

本研究では上記の目的達成のために，大きく2つのテーマの研究に分けて実施した。まず，耐震補強の有効性に関する宇治地区本館を対象とした実証的研究として，京都大学宇治キャンパス本館の耐震補強工事の事前と事後に微動観測を行い，その工事前後の振動特性を抽出して比較を行った。さらに実測データと改修図面から構造物の振動解析モデルを構築し，京都大学宇治キャンパスの東縁に存在する黄檗断層系の断層地震による想定強震動を入力し，非線形応答解析を行って耐震補強工事前後の応答を比較した。

また，長時間連続微動観測による振動特性の把握に関する研究として，微動観測で得られたデータに波動干渉法を適用することで，観測点直下の地盤構造情報がどの程度得られるのかを把握するべく，鋼構造実大試験架構付近での観測および解析を試みるとともに，宇治キャンパス本館を対象に多点連続微動観測ネットワークを整備するための準備を行った。

さらに，長周期地震動を受ける鉄骨造建物における柱梁接合部の補修後の保有性能を明らかにするため，実寸規模の部分骨組を製作し，その柱梁接合部に耐震改修を施した後に準静的載荷実験を実施した。そして有限要素法解析を用いて柱梁接合部の保有性能の定量化をはかった。

#### (3) 研究成果の概要

まず，耐震補強の有効性に関する宇治地区本館を対象とした実証的研究の成果として，耐震改修前の建物は，短辺方向の共振振動数が観測点で異なっていることが判明した。これは隣接建物との剛接合による影響であると考えられる。その結果，耐震改修後の振動数は耐震改修前より低いか，ほぼ等しいということが分かった。この微動計測による共振振動数を再現できる振動解析モデルに黄檗断層系による想定強震動を入力し，非線形応答解析を実施したところ，改修の有無にかかわらず，大破・崩壊レベルの被害は生じないものと推定された。

また、長時間連続微動観測による振動特性の把握に関する研究の成果として、実大架構実験棟付近で約120時間の地表面微動データを取得し、一定時間区間に切り出し自己相関関数を求め、それらを重ね合わせて信号成分を抽出した。また多地点連続微動観測ネットワークの整備としてはIT計測技術を用いた収録システムを新たに構築し、宇治キャンパス本館E棟で連続観測を行い、収録システムにより問題なく観測できることを確認した。今後は、この観測ネットワークにより多点長時間連続微動観測を行い、波動干渉法によるグリーン関数の抽出および建物特性の同定を行うことを予定している。

さらに、初期超高層建物の保有性能に関し、その性能が低いのは、スカラップ形状が応力集中と亀裂の進展を招きやすいこと、現場接合では欠陥が生じやすいこと、超音波探傷検査に限界があること、などによることを明らかにし、適切な対策を提案した。

**実施課題名：** 暴浪時の海底地形変動評価とその砂浜海岸マネジメントへの適用

**研究代表者：** 関口秀雄 京都大学防災研究所・流域災害研究センター・教授

**共同研究者：** 所内5名、所外6名

**研究期間：** 平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：** 博士後期課程院生1名（茨城大学大学院）。研究分担者でもある指導教員との密な連携のもとに、当該研究テーマについて討議および情報交換を行った。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

わが国では海岸侵食により、毎年160haにおよぶ砂浜面積が消失し、沿岸域の環境・防災上、深刻な課題になっている。しかし、海浜変形に関する従来の研究の多くは擬似定常的な沿岸漂砂に着目しており、暴浪による底質の流動化や急激な地形変化と中長期的な砂浜マネジメントを結びつけた研究は少ない。

本研究では、暴浪イベントによる急激な底質輸送と海底地形変化を織り込みながら、十年オーダーから百年オーダーの海浜変形を精度高く予測し得る方法論の展開を目指す。そのため、海岸侵食に悩む実海浜として大瀧海岸に着目する。大瀧海岸には防災研究所の大瀧波浪観測所が設置されており、過去90年に及ぶ海浜変形過程に関する知識が集積されている。また、同海域においては新潟県による広域深淺測量が数次にわたって実施されており、1998年以降、NOWPHAS（直江津港）による海象情報の公開サービスが行われていることも重要なポイントになる。毎年確実に冬季ストームにより海底地形の変動が発生すると考えられるので、その実態を高解像度で把握するために、3次元サイドスキャンソナー(C3D)による計測を適用する。さらに、漂砂の動態を明らかにするために、底質のバイプロコアサンプリングを行い、採取した柱状堆積物試料の堆積相解析を行う。イベント堆積学の手法を生かして、ストーム堆積物を認定し、沖合への堆積物輸送フラックスの評価と予測に繋げることを目指している。

### (2) 研究経過の概要

まず、大瀧海岸を含む上越地域海岸の地形環境変遷に関する空間情報基盤を整えた。ついで、平成20年度に研究代表者らが実施した3次元サイドスキャンソナー(C3D)大瀧海岸の海底地形の高解像度計測成果(東ら、2009)を分析し、平成21年度の現地調査計画を策定した。そのうえで、以下の現地調査を実施した。

- ・ 高解像度海底地形計測； 水深5m～水深20mの範囲をカバーする代表6測線を選定
- ・ 底質のバイプロコアサンプリングと堆積相解析



- ・ 海底の砂漣の形態観測と底質粒度解析
- ・ 砂浜後背砂丘（潟町砂丘）の堆積環境調査—非破壊物理探査法の活用

さらに、既往の海上ボーリング柱状図を収集、分析した。

海岸侵食に悩むのは日本のみではない。都市化が進むアジア沿岸諸国においても海岸侵食が顕在化してきている。長大な海岸線と多様な海岸地形環境を有するVietnamも例外ではない。海岸侵食のマネジメントに関する学術連携基盤を醸成するために、2009年10月21－22日に茨城大学で International Workshop on Erosion and its Adaptation (IWEA2009)が開催されるのを視野に入れた、調査研究とoutreach活動も実施した。

### (3) 研究成果の概要

本研究は、持続性ある砂浜環境の再生を視野に入れて、暴浪イベントによる底質の流動化や急激な地形変化の影響を織り込んだ十年から百年オーダーの海浜地形予測法の確立に資することを目指している。そのため、実海浜として海岸侵食に悩む上越地域海岸を取りあげ、90年に及ぶ海浜地形環境の変遷に関する知識が集積されてきた大潟海岸において、2008年調査に引き続き、2009年7月に三次元サイドスキャンソナー(C3D)計測を行った。漂砂の物理過程において不明な点が多い、地形変化限界水深より沖合域への土砂流出機構の解明を目標にして、水深5m～20mの範囲の岸沖測線、計6測線をカバーした。その結果、人工リーフの沖合（水深8m以深）においても、顕著な海底地形変化（侵食）が生じていることが明らかになった。

旧京大観測棧橋近くの測線について、海底堆積物の動き（漂砂）の特徴を明らかにするために、計10本のパイプロコア試料を採取した（コア長は0.4m-1.1m）。コア採取前には、各地点において海底に現れている砂漣の形態観測（波高、波長、峯線の方向角）も行った。特筆されるのは、当海域は砂礫主体であるにもかかわらず、大規模砂州のトラフ部（水深9m）の海底から、粘土塊とシルト層試料が採取されたことである。当地は潟町砂丘が最も発達した地点の沖合に当たるが、1961年帝国石油報告書記載の海上ボーリング柱状図ともつきあわせると、当海底域には古砂丘体が埋没していると判定できる。当海底は過去50年の間に約3m、侵食されている。そのため、古砂丘体上面のエスチャリー性堆積物がパイプロコアリングによって採取可能になったものである。

水深12m地点の採取コアは細砂層であるが、その中に明らかに異質(outsized)な礫の薄層が認められた。ストームイベント層である可能性が高い。最も沖合の採取コア試料（水深20m）は淘汰のよい細砂層であった。その下位は貝の密集層であり、パイプロコア貫入が急に不可能になった。厚いイベント層あるいはイベント堆積物塊に遭遇したようである。今後、堆積物年代学の手法を適用することにより、地形変化限界水深より沖合への堆積物流出フラックスを評価することも可能であろう。これにより、砕波帯から内側陸棚へシームレスに繋がる漂砂の物理過程が大きく前進するものと期待される。

**実施課題名：**大加速度・速度の強震動の生成と地震被害に関する総合研究

**研究代表者：**岩田知孝 京都大学防災研究所・地震災害研究部門・教授

**共同研究者数：**所内7名，所外11名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**研究分担者の修士課程学生（6名），博士後期課程学生（3名）が本研究の遂行に関連し、実験補助等を行った。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

近年内陸で起きる被害地震時に震源域で記録されている大加速度、大速度の強震動記録と近傍の地震被害の関係を、強震動地震学、土木及び建築の地震工学、地盤工学の研究者によって、震源域直上で生じる強震動の特徴や強震動予測手法、被害を生じる入力地震動の特性、強震下における地盤の挙動、地盤－構造物相互作用、および、土木・建築上部構造物の応答特性に関する研究の各観点から分析を行い、各分野の相互理解を行うとともに、研究コミュニティの形成を図る。

### (2) 研究経過の概要

大加速度・速度の地震動生成、地盤－構造物相互作用や入力地震動に関する研究として、震源モデルの高度化に関する研究、強震時と弱震時における伝達関数及び鉛直動の片揺れ現象に対する解析、地盤・基礎の非線形相互作用に関する研究、入力地震動策定方法の提案、土木構造物の耐震性能検証に関する研究、を遂行した。

### (3) 研究成果の概要

震源モデルの高度化に関する研究として、大地震の震源断層面の幾何形状を時空間のすべり両分布とともに強震波形から推定するための震源インバージョン解析手法を開発した。開発した手法を2008年岩手・宮城内陸地震の強震波形記録に適用したところ、詳細な余震分布に調和的な解が得られたとともに、震源近傍での強震波形の再現性に向上がみられた。

強震下における地盤の挙動に関し、最大加速度4gにも迫る上下動加速度を観測したKiK-net一関西観測点における強震時と強震前後の弱震時の伝達関数を推定し、強震前後での変化が見られたこと、また地表近くの物性が変化した可能性のあることを指摘した。また、鉛直動の片揺れ現象の発生メカニズムについて、数値解析を行い考察したところ、片揺れ現象は、鉛直加速度の下限値の存在と、地盤の圧縮応力の発現に伴う短周期の鉛直上向きの加速度パルスの存在により特徴付けられることがわかった。また、2008年岩手・宮城内陸地震記録に対し有限要素法による再現を試みたところ、片揺れ現象を再現することができた。

地盤－構造物相互作用に関する研究として、直接基礎建物を対象にした遠心載荷実験およびSHAKEおよびSRモデルによる数値解析から、大地震時における地盤と構造物の動的相互作用を検討した。その結果、基礎部直下地盤の非線形性が直接基礎建物の応答に大きな影響を与え、SRモデルで上部構造物の応答を再現できる地盤のS波速度は、SHAKEで得られる自由地盤のそれより小さいことを示した。

入力地震動の策定に関する研究として、既存の距離減衰式に、震源のディレクティビティ効果を導入することにより、地震断層の震源特性であるすべり量や破壊開始点、破壊進行方向を考慮して、比較的簡易な手法で地震動評価が可能となった。ハイブリッド法との比較により、震源断層近傍におけるディレクティビティ効果をよく再現していることが確認できた。

土木構造物の耐震性能検証研究に関し、材料特性の不確定性を考慮したモンテカルロシミュレーションにより、RC橋脚の耐震性能について定量的に検討した。結果の評価にE-ディフェンスで実施した縮小RC橋脚16体一斉加震実験による変位応答データを用い、動的応答定量的評価のための解析手法の評価を行った。

**実施課題名：**地殻変動観測データを用いたゆっくり地震等の検出手法の国際比較による高度化

**研究代表者：**川崎一朗 京都大学防災研究所・地震予知研究センター・教授

**共同研究者数：**所内5名，所外5名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

大学院生の参加状況：特になし

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

日本におけるスロー地震や低周波微動をはじめとする「ゆっくり地震」と呼ばれる現象のグループの発見に刺激され、米国でも、GPSに加えて地殻変動観測による「地震－測地周期帯」の研究を推進しようという機運が盛り上がり、EarthScope計画の一環としてボアホール歪計・GPSによる稠密観測網が実現した。さらに、SCEC transient detection “blind test”（実際の地殻変動・測地データから、ゆっくり地震等の過渡的な現象を検出する様々な手法を比較・検討する実験）が立ちあがった。この周期帯の現象は、地震発生帯の荷重機構などを通して巨大地震の発生にも密接に関わっている。このblind test実験に、我々がこれまで蓄積してきた観測データとこれまで開発してきた手法をもって参加する。

本研究の実施により、地殻変動データから巨大地震の発生に関連したシグナルを検出する手法を高度化することができ、巨大地震の発生機構の解明と発生予測によって、地震による災害の防災・減災に資する。また、防災学研究拠点ネットワークの形成のため、地殻変動観測による地震予知研究の世界的ネットワークの一翼を担うことを目指す。

### (2) 研究経過の概要

京都大学が長年にわたって蓄積してきた地殻変動データ（伸縮計・傾斜計・地下水位・ボアホール歪計・簡易歪計）やGPS等の測地データを対象として、ゆっくり地震等の過渡的なシグナルを検出するための複数のアルゴリズム（デジタルフィルタリング、自己回帰モデル分析、相互相関処理、気温・気圧や降雨などの環境データとの相関処理など）の検証を行った。その成果報告と議論のため、SCEC年次会議に参加した。地殻変動データ解析手法の日に検討会や地殻変動連続観測研究集会を実施した。また計画の中心となる処理システムとして、データ処理解析サーバーとデータ収録装置を導入し、データの収録およびデータベース化をすすめた。

### (3) 研究成果の概要

現在進行している全国の大学による地殻変動連続観測データの共有・流通をさらに推進し、全国の他大学・機関の地殻変動データを統合して、日本全土の地殻変動データを総合的に解析するための基盤を構築した。

SCECのblind test実験に参加することで、同じデータを各国の解析手法で解析し、解析手法の共有・交換をはかった。これらの解析手法の長所短所を比較し、次世代の解析手法の開発の起爆剤とすることが期待される。

**実施課題名：**中山間地の災害復興支援に関する総合的研究

－中国四川大地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震を事例として－

**研究代表者：**矢守克也 京都大学防災研究所・巨大災害研究センター・教授

**共同研究者数：**所内5名，所外8名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**京都大学大学院情報学研究科 城下英行（D3），稲積かおり（M2）

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

本研究では、中山間地の災害復興支援のあり方について、土砂災害による孤立の危険性、過疎化による第一次産

業の空洞化、地域社会を牽引する人材の流失など、中山間地が置かれた自然条件や社会特性に注目しながら文理融合型の総合的な研究を推進した。都市型の災害、および、事前の被害抑止と被害軽減の局面を重視しがちであった従来の地域防災研究の弱点を補完するとともに、地域マネジメントや持続可能な地域づくりの一環として、災害復興や災害予防を位置づけるための基本的知見を得ることを目的とした。

## (2) 研究経過の概要

研究対象地域として、中国四川大地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震の3つの災害の被災地、さらに、研究推進中に発生した兵庫県佐用町周辺における豪雨災害を選定し、主として、参与観察とインタビュー調査を中核とするフィールド調査を実施した。

## (3) 研究成果の概要

まず、各災害を引き起こした自然的条件、および、各地域の復興過程に影響を及ぼしうる今後のハザード条件を明らかにするための自然科学的研究を実施した。

第1研究として、最近約5年間に日本国内に発生したM7クラスの内陸地震について、地震の発生過程、長期評価、被害の特性等について検討した。その結果、能登半島から東北地方にかけて発生したM7クラス地震に共通した特徴として、過去の日本海抜大時の東西伸張場で形成された正断層が、現在の応力場のもとで、逆断層として再活動したものと考えられた。

第2研究として、四川大地震について、同地震の震央域における土石流被災地において、その特性を調査した。その結果、TRMMデータから、断層に沿って山地と四川盆地の境界があり、震央域に沿って地形性降雨が降りやすいことがわかり、雨期に全長約300kmの震央域で同様の災害が多発する可能性が示唆された。

次に、上記を踏まえて、中山間地の災害復興を、地域マネジメントや持続可能な地域づくりの一環として位置づけるための社会科学的研究を行った。

第3研究として、四川大地震の被災地における復興プロセスを、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震における復興プロセスと比較対照させながら調査した。その結果、中国社会では、近年の中国社会一般の特徴（「圧縮された近代化」）を映しだす形で、「圧縮された災害復興」と称すべきメカニズムが生じていること、および、中国固有の復興支援システムである「対口支援」についても、「圧縮された復興」の視点から、その可否を論じるべきことが示唆された。

第4研究として、佐用町豪雨の被災地で復興プロセスに関するアクションリサーチを実施した。その結果、NGO団体のコーディネーター等により、林業や農業、観光や子どもなど、地域社会が災害以前からもっていた課題やリソースと呼応する形で、新たな産業、就業を創出する努力を災害復興施策と連動させることが、地域活性化と災害復興につながる事が明らかとなった。

**実施課題名：**四川大地震時発生した大規模天然ダムの決壊危険度に関する調査研究

**研究代表者：**王功輝 京都大学防災研究所・斜面災害研究センター・助教

**共同研究者数：**所内11名、所外5名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**本研究の遂行に当たって、京都大学大学院理学研究科修士課程学生（1名）が、平成21年8月26-27日に新潟市において開催される第48回日本地すべり学会研究発表会に参加し、天然ダムに関する資料を収集した。また、京都大学防災研究所に滞在している外国人研究生（1名）が、研究代表者の王功輝の四川地域の現地調査に同行し、2ヶ所の大規模天然ダムにおいて地球物理学的調査および関連する計測を行った。これらの活動を

通じて、大学院生および研究生の研究の視野が広がり、現地調査能力が開発された。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

地震や豪雨時に形成された天然ダム湖で越流開始時に急激な浸食によりダム堤体が崩壊し、湛水と共に一気に下流へ流下し、大規模な土石流や洪水となって、甚大な二次災害を引き起こすことが少なくない。現段階では、形成された天然ダムの決壊条件と決壊時間の予知および下流の被害予測のために必要な決壊時のピーク流量法は未解明の部分が多く、災害直後の天然ダムに対して、迅速かつ的確な対応・対策を取ることが困難である。

2008年中国・四川大地震においては、大規模天然ダムが多数形成され、地震災害の復旧・復興に大きな影響をもたらした。これらの天然ダムの殆どは自然に或いは応急対策工事により消滅したが、日本のメディアでも繰り返し報道された唐家山などをはじめ、幾つかの大規模天然ダムが現在もなお残っており、決壊による大洪水の発生が懸念されている。本研究は、四川大地震時に生じた数多くの大規模天然ダムを対象に、その形成・決壊過程を調べ、異なる地質背景と崩壊土塊の運動条件下で形成された天然ダムに対して、ダムの安定性を調べ、ダムの決壊機構と決壊時のピーク流量を解明し、災害直後の緊急事態に備えた天然ダムの危険度予測法の開発に資する。

### (2) 研究経過の概要

2008年中国・四川大地震においては、家屋の倒壊や土砂災害などによる死者と行方不明者は9万人以上と推定されている。この時の地すべりや崩壊などの土砂災害は60,000箇所以上に及び、大規模天然ダムが多数形成され、地震災害の復旧・復興に大きな影響をもたらした。これらの大規模天然ダムの形成・決壊機構を解明するために、本研究では、幾つかの大規模天然ダムを対象に、その地質背景を調査すると共に、①高精度表面波探査と微動アレイ調査によるダム堤体の物性、②写真計測とふるいでの計測によるダム堤体材料の粒径分布、③ダム堤体における地震観測による地震動特性を調べた。これらの結果に基づいて、ダム堤体の安定性を評価した。

### (3) 研究成果の概要

上記の現地調査・計測により得られた結果は、下記の通りである。

- 災害直後の衛星写真より、250余りの天然ダムが形成されたことが分かった。その内ダム高さが10m以上、堰止め湖総貯水量が10,000 m<sup>3</sup>以上、かつ集水面積が20km<sup>2</sup>以上の堰止め湖が104箇所形成された。その多くは川の右岸側の斜面に於いて発生した地すべりにより形成されたもので、約300kmにわたる地震断層に沿って分布している。その原因の一つとしては、地震断層の破壊進行方向(NEN)および右横ずれのすべり成分(NEN方向)が比較的大きかったこと、さらに河川の流下方向(多くはESE方向)が直交していたため、河川沿いで多くの崩壊が発生したと考えられる。
- 形成された天然ダムの堤体は地すべり源頭部の地質によって異なる。白雲岩や石灰岩地層からの地すべり土砂には大きな岩塊が多く含まれており、堤体は比較的安定であるが、玄武岩と千枚岩および砂岩泥岩互層からの地すべり土砂には細粒物が多く、早期に自然に決壊した堤体が多く確認され、堤体の安定性が低いことが分かった。また、長距離移動した土砂において、岩塊の破碎や偏析が発生し、形成された堤体(特に下部)の安定性が低くなると考えられる。
- ダム堤体に対して表面波探査および微動アレイ調査を行った結果、ダム堤体内部の非均一性が明らかになり、地質・地形的背景或いは地すべりタイプによって異なる特性を示すことも分かった。特に長距離運動した地すべり土塊により形成されたダム堤体の場合、内部のS波速度は低くなる傾向が強く、安定性は低いと推定された。河床のすぐ横の斜面において発生した短距離運土すべりにより形成された天然ダムの場合、堤体のS波速度は大きく、安定性は高いと推測した。
- 唐家山天然ダム堤体上において長期地震動観測を行った。観測結果から推定したダム堤体の固有周波数は

約5Hzと高い値が得られた。また、ダム堤体の上下流方向に沿った地震動が卓越していることも分かった。すなわち、ダム堤体を構成する土層は、全体として地すべり運動停止時に進行方向に強く締め固められたため、安定な構造が形成されたと考えられる。

**実施課題名：**土の粒度分布による災害履歴解読および災害素材評価に関する研究

**研究代表者：**千木良雅弘 京都大学防災研究所・地盤災害研究部門・教授

**共同研究者数：**所内6名，所外3名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**修士課程の学生5名，博士課程の学生3名が研究に参加した。そのうち，修士課程学生1名と博士課程学生2名は，当人の研究の一部として本研究に参加し，粒度分析等を行った。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

地盤や河床を構成する土粒子の形状とサイズは，それらの挙動を支配する重要な要因である。また，洪水や土石流の堆積物，地すべりの“すべり面”粘土，津波の堆積物などの粒度分布からは，これらの“災害事象”の履歴を解読できることが期待される。本研究では，土粒子の粒度分布が及ぼす物質挙動への影響を評価し，また，それらから災害事象の履歴を解読する方法論構築を目的とした。

### (2) 研究経過の概要

本研究遂行にあたっては，多量の試料を迅速に分析することが必要であり，従来の沈降法に代わって，レーザー回折式粒度分析装置を導入して活用した。レーザー回折式粒度分析装置自体，まだ新しいものであり，そのデータの信頼性とデータの再現性を，既往文献と予備実験によって検討した。その後，それを活用した研究を展開した。

### (3) 研究成果の概要

#### 1) 粒度分布から読み取れる災害履歴

##### 1.1) 2009年8月台湾台風モラコットによる小林村の地すべり

本地すべりは中新世から鮮新世の泥岩や砂岩が移動したもので，すべりから時速100kmにも及ぶ急速な岩屑なだれに移り変わり，400人以上の命を奪った。岩屑堆積物の底をなす細粒の粘土質物質を粒度分析した結果，他の粘土質物質に比べて粒径分布がピークのならされた台形を示すことがわかり，このような形状から高速移動した地すべりの履歴を読める可能性が示された。

##### 1.2) 大規模崩壊性地すべりによる粉塵

2008年中国汶川地震によって発生した歴史上最大規模の大光包の地すべりに伴って巻き上げられた後に厚さ7cmの層として堆積した粉塵の粒度分析を行った結果，粗粒側に偏して20 $\mu$ mから90 $\mu$ mにピークを持つバイモーダルな曲線が得られ，これが崩壊によって巻き上げられた粉塵の特徴的な分布であることが示唆された。

#### 2) 地すべり素材評価

平成21年7月中国・九州北部豪雨により山口県防府市で多数発生した風化花崗岩の崩壊について，その力学挙動と粒径分布との関連について検討した結果，ダイラタンシーの発生パターンと粒径分布，および組織との関係が示唆された。

#### 3) 河床材料の流路変動特性への影響評価

インドネシア国セサヤップ川及びベトナム国メコン河の河川堆積物の粒度分析と河岸浸食の数値解析を行った

結果、粒径分布が及ぼす河岸浸食への影響が明らかになり、研究結果を防災対策につなげる見通しが得られた。

#### 4) 岩石の急速風化と侵食に対する粒径分布の影響評価

台湾南西部の通称月世界のバッドランドを対象として、それを構成する更新世から鮮新世の泥岩斜面表層部の粒度分析を行った。その結果、 $10\mu\text{m}$ 付近にピークを持つ対数正規分布が得られ、このような分布も年間10cmにもおよび急速な風化と侵食の原因になっているものと想定された。

**実施課題名：**次世代型地震観測システムの共同利用

**研究代表者：**飯尾能久 京都大学防災研究所・地震予知研究センター・教授

**共同研究者数：**所内6名，所外10名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**無し

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

防災研が中心となって開発した次世代型地震観測装置(小型軽量地震計と低消費電力記録装置)を18セット装備し、所内外で共同利用することにより、地震・火山・斜面・地盤・気象等の幅広い分野における観測研究を飛躍的に進めることが本研究の目的である。

#### (2) 研究経過の概要

防災研が中心となって新規開発した次世代型地震観測装置(小型軽量地震計と低消費電力記録装置)を2009年5月に15セット調達した。共同研究者の方々に2009年度の使用希望調査を行ったところ、6件、合計19セットを使用する研究計画が寄せられた。独自予算で次世代型地震観測装置を既に所有している機関の計画をご辞退頂き、下記の5件について貸し出しを行い、6月頃から共同研究を開始した。

1. 西井川地すべりにおける地震動観測 斜面災害研究センター 末峯 章
2. 谷埋め盛土における地震動の観測 斜面災害研究センター 釜井俊孝
3. 桜島・始良カルデラおよび南九州の地震観測 火山活動研究センター 井口正人
4. 芦ノ湖周辺の地震観測 名古屋大学大学院環境学研究科 田所敬一
5. 港湾空港技術研究所内における比較観測 港湾空港技術研究所 野津 厚

#### (3) 研究成果の概要

次世代型地震観測システムは、上記のように非常に優れた装置であるため、これを共同利用することは、全国共同利用施設として、強力なツールを装備したものと評価できる。実際に、2009年度においては、名古屋大学大学院環境学研究科や港湾空港技術研究所と共同研究を開始し、新たな研究ネットワークを展開することが出来た。さらに、地震予知研究センターと斜面災害研究センターおよび火山活動研究センターが、同じ装置を用いて共同研究を開始したことにより、防災研究所内の横断的連携が深まりつつある。今後、このシステムをさらに活用することにより、これまで、データの不足のために遅れていた、様々なフィールド研究が大いに進展するものと期待される。2009年度においては、学生はこのシステムを用いた観測や研究に参加していないが、取り扱いが簡便な装置のため、今度、学生の教育にも有効に利用されるものと期待される。

**実施課題名：**超高層建物の地震時床応答を再現する振動台実験手法の開発

**研究代表者：**榎田竜太 京都大学工学研究科建築学専攻・博士後期課程

**共同研究者数：**所内2名，所外1名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**無し

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

巨大地震によって生じる長周期地震動を受ける超高層建物は長時間、大振幅で揺れる可能性が指摘されており、地震後の事業継続性を評価するためにも、長周期地震動を受ける超高層建物床応答を振動台で再現することが求められている。この種の床応答を振動台実験で再現するためには、床応答を振動台への直接入力とすることが考えられるが、振動台の各種の制約条件（変位・速度・オイル量）が障害となってしまう。そこで、既存の振動台の加振性能を増強する手法として、大振幅応答を実現するための増幅システムとその増幅システム上で所定の応答を再現する実験手法を提案する。

### (2) 研究経過の概要

本研究では、大振幅応答を実現するための実験システムとして、積層ゴム支承とコンクリートスラブを有する増幅システムを用いた。振動台上に増幅システムを介在させることで各種の課題を克服できるが、目標とする応答を増幅システムに再現するための特別な加振入力波を作成しなければならない。この種の動的逆問題を解くのに制御理論が一般的に使われるが、増幅システムに使われる積層ゴム支承には変形が大きくなると剛性が高くなるという非線形性があり、 $H_{\infty}$ 手法などの線形制御手法の適用は難しい。そこで、本研究では機械制御分野において近年開発され、制御対象の非線形性にも追従できるMCS (Minimal Control Synthesis) を用いて、目標応答の再現を試みた。

### (3) 研究成果の概要

制御分野において、制御手法はリアルタイムコントロールとして用いられているが、本研究ではInverse Compensation Via Simulation手法に基づいて、数値解析で解析モデルへの加振入力波を同定し、その入力を蓄積して実際の振動台実験へ適用した。入力波を同定する手法として MCSを応用することで、非線形性を示す増幅システム上においても、目標とする応答を高い精度で再現することができた。さらに、完全弾塑性型の強非線形を示すシステムの応答も精度高くコントロールすることができ、提案した振動台実験手法の汎用性の高さが確認された。

**実施課題名：**木パネルで補剛したスリット入り鋼板を用いた間柱型ダンパーの性能評価

**研究代表者：**伊藤麻衣 京都大学防災研究所・博士課程後期課程3年

**共同研究者数：**所内3名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年2月28日

**大学院生の参加状況：**2名（修士1名，博士1名）

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

近年、大地震に対する安全性・機能維持の観点から、構造設計において制振ダンパーが多く用いられている。その1つの形式として、スリット入り薄鋼板を木パネルで補剛したダンパーの開発をこれまで行ってきた。



スリット入り鋼板は、スリットで挟まれた部分が柱のように大きな変形能力を発揮し、強度と剛性を独立に調整できるという特徴がある。しかし、それ自体では座屈しやすいため、補剛を行い座屈を抑制してエネルギー消費能力を向上させる必要がある。そこで、2枚の木パネルで鋼板全体を挟み込みボルトで留める面外補剛法を提案する。軽量にも関わらず相対的に強度と剛性が高い木パネルで補剛することによって、軽量で加工性が良くかつエネルギー消費能力の高い制振ダンパーが実現できる。

本研究では、この木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板の制振ダンパーとしての設計に資するべく、要素実験と有限要素解析により鋼板の挙動や木パネルと鋼板の相互作用を調べる。また、本ダンパーを制振間柱として建物に組み込んだときの地震応答低減効果を明らかにする。

## (2) 研究経過の概要

木パネルの剛性および強度とボルト配置を変数とした制振ダンパーの要素実験を行い、ダンパーのエネルギー消費能力とこれら変数の関係に対するデータを獲得した。また、ABAQUSによる有限要素解析を実施し、この解析結果と実験結果の照合から解析の妥当性を検証した後、木パネルの補剛メカニズムを調査した。その後、制振ダンパーを間柱として各層に組み込んだ3層骨組に対するオンラインハイブリッド実験を行い、骨組全体の挙動とダンパーの地震応答低減効果を調べた。

## (3) 研究成果の概要

スリット入り鋼板を木パネルで補剛することで、鋼板の全体座屈が抑制され、スリップ挙動が改善し、消費エネルギーが大幅に増加することを確認した。また、めり込み剛性の小さい木パネルで補剛することによって、スリット端に均等に面外変形が分散し、大変形時まで安定した挙動が得られることがわかった。木パネルの剛性を大きくする、またはボルト補剛区間を短くすると、鋼板との接触箇所および接触力が増えるため、面外変形を抑制でき消費エネルギーが大きくなった。

本ダンパーを制振間柱として骨組に組み込んだ場合も、各スリット端部に面外変形が分散し、耐力低下のない安定した挙動を示した。一次設計レベルの地震動に対して80%以上、二次設計レベルの地震動に対して50%以上のエネルギーをダンパー部分が吸収し、建物への損傷低減効果を発揮した。

**実施課題名：**発展途上国における持続的な学校防災教育を実現するための基礎的研究

**研究代表者：**城下英行 京都大学大学院情報学研究科・博士後期課程3年

**共同研究者数：**所外1名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**博士課程1名，研究代表者

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

発展途上国における防災対策の支援にあたっては、有効かつ支援終了後も持続可能な方法が模索されなくてはならない。そこで本研究では、持続的な防災教育の実現可能性について検討を行うため、発展途上国において地域住民が防災教育にどの程度協力する意思があるかについて調査を行なった。

### (2) 研究経過の概要

調査の対象地として選定したのは、ネパール国カトマンズ・ダハチョーク地区である。ダハチョーク地区には、1999年～2004年にJICAより防災教育実施のための支援を受けた学校が3校存在するが、2007年の時点ですでに3校中

2校が、教材不足と教師への給料不足を理由に防災教育を中止していた。そこで、本調査においては、それら3校における防災教育の現状と住民主導の防災教育の実現可能性及び持続可能性について調査を行なった。

調査期間は、2009年9月6日～9月16日までの11日間である。調査前半では、上述の3つの学校を訪問し、防災教育の現状について教員にインタビュー調査を行なった。調査後半では、前半のインタビュー調査を基に設計した防災教育への協力の意思の有無について問う質問紙調査を教員、生徒、保護者、地域住民を対象に実施した。

### (3) 研究成果の概要

インタビュー調査の結果、JICAの支援によって開始された防災教育は全ての学校で中止されたことが判明した。その理由として、2007年の時点で明らかとなっていた上述の理由に加え、今回の調査によって新たに防災教育が正課の授業後に行なわれるため生徒らが空腹に耐えられないという点が明らかとなった。

インタビュー調査の結果をふまえ、防災教育を地域の力で継続するために防災教育を教員や保護者、地域住民、そして生徒ら（将来の地域住民）によって担うことが可能か否かについて、資源の観点から検討するための質問紙調査を実施した。その結果、防災教育を開始するための適切な支援が得られ、また、住民が主体となって防災教育を担う仕組みが構築されることで、資源の観点からは防災教育を地域の力で継続することが十分に可能である事が明らかとなった。

今後、当該地域にとって最も身近である土石流災害を対象とした防災体制を住民らで構築するための支援を実施することで、防災活動に埋め込まれたかたちでの持続的な防災教育の機会提供が実現されると考えられる。

**実施課題名：**ポテンシャル法に基づく地震火災時の避難シミュレーションモデルの開発

**研究代表者：**西野智研 工学研究科都市環境工学専攻・博士後期課程2年

**共同研究者：**所内2名，所外2名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

本研究では、大都市域を直撃する巨大地震に伴って発生する同時多発火災下での住民避難性状を合理的に予測可能な手法の開発を目的としている。

### (2) 研究経過の概要

地震火災時の住民避難性状の予測手法については、これまでに基本モデルが開発されており、関東大震災といった過去の事例における住民避難シミュレーションにより、モデルの検証がなされている。地震火災時の住民避難性状の予測計算にあたっては、延焼火災による燃焼領域の時間変化を把握する必要があるが、これまでに実施した避難シミュレーションでは被災調査に基づいた延焼動態図から計算条件として陽に与えてきた。このため、将来の地震火災時を想定して住民避難性状を予測するためには、大都市火災の延焼性状を予測可能な手法が必要となる。そこで本期間では、大都市火災の延焼性状を可能な限り小さな計算負荷で物理的に予測可能なサブモデル開発を行った。

### (3) 研究成果の概要

#### ① 延焼モデルの定式化

都市火災を複数の建物火災の集合とみなし、他の建物火災の熱的影響下における個々の建物の火災性状を予測す

ることで、都市全体の延焼性状予測へとつなげる物理的手法の定式化を行った。このとき、10万棟オーダーの建物が建ち並ぶ大都市での延焼計算を可能とするため、1) 計算に必要な情報量の節約、2) 計算速度の高速化、を重視したモデル化を行った。1) については、建物を構成する壁情報の簡略化手法を、2) については、建物内部の温度といった物理量を大幅な計算時間ステップで予測可能な新たな時系列予測手法を開発し、計算負荷の低減を図った。

## ② 延焼モデルの検証

被災調査記録と大火当時の市街地情報が豊富に残存する酒田市大火(1976)を取り上げ、延焼シミュレーションを行い定式化した延焼モデルの検証を実施した。計算結果と調査記録との比較から、開発した延焼モデルが大火当時の延焼動態の定性的傾向を妥当に再現可能であることが分かった。また、計算に必要な情報量と計算速度の検証のため、既往の延焼モデルとの比較を行った。その結果、本モデルの計算に必要な情報量は既往モデルの約15%に、計算速度は既往モデルの約120倍と大幅な向上が見られる結果となった。このため、既往の延焼モデルでは扱えなかった10万棟オーダーの市街地での延焼計算を、本モデルが実施可能な見込みが示された。

**実施課題名：**多分野の研究者との連携およびステークホルダーとの協働による新たな総合的災害観測・

調査・防災研究推進の枠組みの提唱フォーラム

**研究代表者：**岡田憲夫 京都大学防災研究所・所長 社会防災研究部門・教授

**共同研究者数：**所内4名、所外13名

**研究期間：**平成21年7月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**研究集会参加者51名中、修士課程学生・博士課程学生の参加者は9であった。パネルディスカッションで1名の学生から質問があった。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

「自然災害研究協議会」は、1960年に発足した「自然災害総合研究班」を前身とし、災害に関わる全国の大学、その他の研究機関に属する災害研究者の全国的研究連絡組織として、自然災害研究の企画調整、突発災害調査の組織、自然災害研究者のネットワークの構築・維持を目的に活動を行っている。しかしながら、研究ニーズ、研究コミュニティ、観測体制および情報ネットワーク環境は変化してきており、現状を踏まえた上での新たな自然災害研究の企画調整、自然災害研究者のネットワークの構築・維持のあり方について検討を行うことが求められている。

こういった背景を踏まえ、本研究では「自然災害研究協議会」の将来ビジョンの構築と試行モデルを発掘するためのシンポジウムを開催し、今後の自然災害研究の企画調整、自然災害研究者のネットワークの構築・維持のあり方について検討を行うとともに、実践可能な試行モデルの発掘や提案を行うことを目的とした検討を行った。

### (2) 研究経過の概要

第46回自然災害科学総合シンポジウムの特別セッションとして「多分野の研究者との連携およびステークホルダーとの協働による新たな総合的災害観測・調査・防災研究推進の枠組みの提唱フォーラム」を実施し、1) 環境・社会構造変化に伴う新たな研究課題解決を目的とした多分野の研究者の連携による新たな共同研究・災害観測調査体制の構築について2題、2) 災害軽減に関わる様々なステークホルダーとの協働による研究フレームの構築（フィールド科学の構築）について3題、3) ユビキタス社会における災害情報の蓄積・配信手法および研究者ネットワークのあり方について3題の報告が行われ、その後、課題横断的に総合討議を行った。

### (3) 研究成果の概要

シンポジウムでの議論を通じて以下のような結論が得られた。

- ・環境・社会構造変化に対応し、近年、防災分野において新たな試みが行われるようになっており、新たな試みを行う上で、他分野の研究者との協働は不可欠であり、今後、他分野の研究者との連携がさらに重要となる。
- ・防災対策のエンドユーザである市民と連携する上で、NPO、マスメディア、地域コミュニティの役割は重要であり、またNPOの活動の中に数多くの研究テーマが存在する。
- ・地震動、地盤情報といった災害・防災情報のデジタル化の様々な試みが存在し、各研究者・研究機関が持つデータの統合化・公開の重要性、さらには多様なデータを利用した新たな研究の発展の可能性がある。

**実施課題名：**高分解能レーダー・リモートセンシングによる災害観測の革新

**研究代表者：**橋本学 京都大学防災研究所・地震予知研究センター・教授

**共同研究者数：**所内7名，所外10名

**研究期間：**平成21年9月8日～平成21年9月11日

**大学院生の参加状況：**学部生4名，修士課程4名，博士課程7名

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

近年各国で新たな合成開口レーダーを搭載した衛星が複数打ち上げられ、日本でも「だいち」後継機の打ち上げが計画され、さらにアメリカも衛星の打ち上げを検討している。このように、複数の新たなセンサーの運用により、災害のモニタリングにおけるSAR衛星の重要性は高まるばかりであり、これを積極的に活用した災害研究の展開が図られねばならない。そこで、分野の壁を越え、合成開口レーダーを災害研究に活用し、さらなる技術革新を模索することを目的として研究集会を開催した。

### (2) 研究経過の概要

研究集会は2009年9月8-9日、生存圏研究所木質ホールにおいて開催された。アメリカからSandwell教授（UCSD）を招き、64名の参加の下、最新の研究成果の発表と活発な討議が行われた。

研究集会後、Sandwell教授よりScanSAR画像の解析処理手法を教授していただき、我々所有のソフトウェアでも処理できるようになり、これを用いた四川地震の断層モデル化を進めている。

### (3) 研究成果の概要

Sandwell教授より、「だいち」搭載のPALSARを用いた地殻変動研究のレビューと、サンアンドレアス断層の歪蓄積を時系列解析手法により、高密度で断層運動の空間分布を検出した研究の紹介があった。通常の合成開口レーダーでは一度に幅約70kmの領域しか観測できないが、ScanSARでは一度の観測で約350kmの幅で地表面の情報を取得できるため、解析処理の簡素化と研究の迅速な発展が望める。NECの宮脇氏らも、ScanSAR画像の処理手法を開発しており、四川地震の観測結果は参加者の間で大きな議論となった。

続いて、国内外の地震性・火山性地殻変動などの研究発表があった。小澤氏（防災科研）は、三宅島の噴火後の変動の画像の時系列解析を行うとともに、対流圏による電波の屈折による視線距離の見かけの変動を波線追跡法を用いて評価・除去し、安定した時系列を得ることに成功した。

今回、河川や地盤変動の検出のための衛星データ利用に関する発表が目立った。米澤氏（東北大）は、岩手・宮城内陸地震震源域周辺のポラリメトリ観測データを解析し、地すべり検出の有効性を示した。大村氏（高知女大）は、強度画像を用いて高知県四万十川の河川状況の時間変化を示した。

島田氏（JAXA）より、次期の合成開口レーダー搭載衛星ALOS-2についての説明があり、現在のALOSより再来期間が大幅に短縮されることに期待が寄せられた。近年打ち上げられた各国の衛星では、ドイツのTerraSAR-Xの解析事例が野中氏（パスコ）より紹介され、その分解能の高さに注目が集まった。

総合討論では、話題になったScanSARデータを活用した解析に関して議論が集中し、今後の地震等の広域災害に備えて全国の定常的な観測が望まれるとの声が大きかった。また、ポラリメトリSARの可能性に関する議論も多かった。最後にALOS-2の打ち上げに向けて、災害観測におけるSARの活用可能性を示していくことが大切であり、これからも国内外の情報交換と交流の重要性を再確認した。

**実施課題名：**岐阜県飛騨地域における新たな複合・境界領域研究および研究者間連携の模索

**研究代表者：**大見士朗 京都大学防災研究所・地震防災研究部門・准教授

**共同研究者数：**所内7名，所外12名

**研究期間：**平成21年8月27日～平成21年8月28日

**大学院生の参加状況：**修士課程学生3名、博士課程学生1名、聴講および運営支援

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

岐阜県高山市や飛騨市を中心とする飛騨地域では、京大防災研の地震予知研究センター上宝観測所と流域災害研究センター穂高砂防観測所が研究活動を行っている。この地域には上記2施設のほかにも、京大理学研究科附属飛騨天文台や、東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設（スーパーカミオカンデ）などの研究施設が設置されている。本研究課題では、これらの、本来の研究分野がまったく異なる研究施設の研究者が一同に会し、さらに従前より当地域を研究対象地域として扱ってきた複数機関の研究者を交えて討論することによって、飛騨地域を対象とする新たな境界・複合領域の研究課題を模索し、研究者間の新たな連携の可能性を探ることを目的とする。

### (2) 研究経過概要

平成21年8月26日および27日に、飛騨地域に隔地研究施設を有する機関の研究者、および、飛騨地域を研究対象地域として活動している複数分野の研究者を招いての研究会を奥飛騨総合文化センターで開催した。

### (3) 研究成果概要

本研究会には、大学院生を含め、9機関25名の参加があった。それらは、京大防災研のほか、京大農学研究科、京大理学研究科、信州大、筑波大、名古屋大、産業技術総合研究所、東京農工大、東大宇宙線研、などである。研究会では、二日間の日程を以下の3セッションに分けた。

- ・セッション1：飛騨地方を拠点とする研究の紹介
- ・セッション2：隔地施設の将来の模索
- ・セッション3：総合討論

ここでは、セッション1および2の内容を概観する。

セッション1では、「飛騨地方を拠点とする研究の紹介」として、飛騨地方に拠点を持つ施設の関係者がそれぞれの研究テーマについての紹介を行った。以下は発表者とタイトルである。京大防災研川崎一朗教授「飛騨地方のテクトニクス」、東大宇宙線研竹内康雄准教授「神岡地下での宇宙素粒子研究の紹介」、産業総合技術研究所今西和俊研究員「跡津川断層周辺における地殻活動観測」、京大飛騨天文台一本潔教授「飛騨天文台における研究活動」、京大農学研究科水山高久教授「飛騨山脈周辺の砂防と足洗谷における山地保全学分野の観測研究」、信州大学塚原

弘昭教授「信州大学山岳科学総合研究所の飛騨山脈をフィールドにした研究と市民向け活動の紹介」。

セッション2では、「隔地施設の将来の模索～施設の研究・教育ミッション、他機関との連携、社会貢献等の紹介～」として、各施設の紹介や取り組みが紹介された。

東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設の鈴木洋一郎施設長からは、スーパーカミオカンデを中心とする同施設の教育・研究ミッションや社会貢献に関する説明があった。ノーベル賞受賞者を輩出した研究機関ですら、将来の予算獲得には厳しいものがあるとの説明に、あらためて基礎科学分野の危機的状況を認識させられた。

飛騨天文台の一本潔教授からは、同天文台の施設運用やアウトリーチ等の説明がなされた。アウトリーチに関して、年間300人程度の見学者があることや、関係するNPO法人を設立して一般公開や観望会などの対応を行っているとの説明があった。

岡田憲夫京大防災研所長からは、「防災研のビジョンと隔地施設の創造的役割」という演題で、防災研究所のミッションや研究活動状況等についての説明があった。社会貢献に関して地域との関係を保つ上で、遠隔地施設は防災研の資産・資源であるとの認識を示された。質疑の中で、「防災学」を構築するという目標について、末端の組織はそれぞれの専門分野に忙しいので、防災学をやる専門の部局が必要ではという質問があり、これに対して、たしかにそのとおりであるが、とりあえずのステップとして、各研究者が個別に抱える課題を横断的に見て総合的に考えることで解決の糸口が見えるのではないか、という指摘があった。

2日間の日程を通して、今回の研究会は概ね参加者に好評であった。とくに、異分野間の研究者の話を書くという視点が斬新であったという声が多く、今後も同様の視点の研究会の定期開催を望む声もあった。目標の第一であった、境界分野での研究連携については、一朝一夕に成果が得られることは期待しないほうがよいという厳しい意見も出たが、異分野を俯瞰するような形で自分野を見つめることで新しい連携の芽が得られるのではという意見が大勢であった。実際にも、いくつかのフィールドでの連携の芽になりうるような議論も見られた。また、目標の第2であった、遠隔地施設の運営やアウトリーチの在り方についても、遠隔地施設の地元に対するアウトリーチは義務とも言える重要なものであるという認識が複数の機関から示され、個別機関での事業のみならず、飛騨地区の研究機関が合同した形態での社会貢献の可能性等についても言及があった。

**実施課題名：**流域環境の保全再生・持続的利用・減災を統合的に管理するための研究課題

**研究代表者：**竹門康弘 京都大学防災研究所・水資源環境研究センター・准教授

**共同研究者数：**所内9名，所外5名

**研究期間：**平成21年4月1日～平成22年3月31日

**大学院生の参加状況：**修士課程の大学院生5名が会場スタッフとして参加した。

## 研究報告

### (1) 目的・趣旨

河川や湖沼の生態環境を劣化させることなく、上下水・農林水産・工業用排水の水利用や治水等の防災・減災対策を統合的に管理するシステムを構築し施策に反映するためには、思想的、技術的、組織的、経済的、法的に多くの障壁があるのが現実であり、広い分野を横断する研究課題を追究する必要がある。本研究では、流域の統合的管理に関わる主要な分野を代表する研究者が集会を開き、「流域環境を保全し持続的に利用しつつ生命財産の安全を図るための統合的な方策」を策定するために、どのような研究課題が追究されるべきかについて提案、事例報告、討議を行ない、その成果を報告書にまとめることを目的とした。そこで研究集会では、水資源学、水産資源学、生

態学，土砂水理学，土木計画学，防災学，政策学，法学の研究者が一堂に会し，上記研究課題を再認識することを趣旨とした。

## (2) 研究経過の概要

「河川の氾濫原域のように集約的な土地利用が進んでいる地域における流域環境の保全再生・持続的利用・減災を統合的に管理するため研究課題」について各領域を代表する研究者に講演やコメントをお願いした。話題提供者は，水資源環境研究センターの3研究領域，社会防災研究部門の防災政策研究分野，巨大災害研究センターの災害リスクマネジメント研究分野ならびに流域災害研究センターの流砂災害研究領域，京都大学大学院・アジア・アフリカ地域研究研究科，滋賀大学・環境総合センター，島根大学大学院・法務研究科，長崎大学・工学部ならびに国立環境研究所・アジア自然共生研究グループから選出し，事前に目的と趣旨を繰り返しお知らせするとともに，講演者の要旨と講演資料を10月22日の公開研究集会の事前にコメンテーターに配布し参加者の情報共有と意見形成を促した。

## (3) 研究成果の概要

本事業によって，「流域環境を保全し持続的に利用しつつ生命財産の安全を図るための統合的な方策」の追究に向けて各研究分野の課題を整理することができた。また，それらの課題を追究するために連携が強化されるべきか分野について討議することができた。今回の意見交換や交流に基づいて，異分野間ネットワーク構築のための基礎となることが期待される。





京都大学防災研究所平成 21 年度公開講座（第 20 回）

“災害のことわざシリーズ 1”

- 地震, 台風, 火事, おやじ -

平成 21 年 10 月 1 日（木）

キャンパスプラザ京都 5 階 第一講義室

司 会

京都大学防災研究所 教授 飯尾 能久

パネリスト

京都大学防災研究所 所長 岡田 憲夫（教授）

京都大学防災研究所 教授 大志万直人

京都大学防災研究所 准教授 丸山 敬

京都大学防災研究所 教授 田中 哮義

総合討論

（飯尾） どうも長時間お疲れさまでした。これから総合討論に入りたいと思います。私は進行役を務めます飯尾と申します。よろしくお願いいたします。質問用紙を非常にたくさんいただきました。本当にありがとうございました。

質問の方も実はたくさんいただきまして、後藤先生と私がちよっと専門は近いので、時間があればと思ったのですが、なかなか難しそうなものですから、これに関しましては、後ほどホームページの方で答えさせていただくということでご了解いただきたいと思います。ほかの質問も、残りしましたら、全部とは言えないかもしれませんが、ホームページの方で答えさせていただきたいと思います。

それでは、最初にご意見を紹介させていただきますと、「私は一般市民で研究者ではないのですが、昨年ごろから被災地の現地調査等を行い、報告書をまとめました。このような調査報告書を発表する場、生かす場はあるでしょうか」という、非常にありがたいお話をいただきました。

これは、防災研究所の研究発表講演会は、多分、防災研究所関係者だけなのですが、自然災害学会は、学会

員以外でも発表できたのでしょうか。

（西上） 自然災害学会は、学会員以外でも発表はできます。今のご質問は、そういうことで可能です。

（飯尾） 年に 1 回、秋ぐらいにありまして、残念ながら今週終わったところなのですが、来年は岐阜大学で 9 月中ごろにあります。こういう話は非常に歓迎されると思いますので、もしお時間があればよろしくお願ひいたします。

では、ご質問の回答の方に入りたいと思います。その中で多くいただきましたのが、やはり京都は非常に特徴のある、古い民家が多き歴史的都市ですが、兵庫県南部地震のときもありました、老朽化した家屋の被害に関することをたくさんいただきました。

一つだけ紹介させていただきますと、「古い民家の存在と地震について、耐震化の困難性、独居老人、高齢者夫婦、そういうことのために経済力が乏しい。しかし、地震による倒壊、火災発生、類焼拡大などが非常に怖い。古い住宅に住む人間の生命にとって、被災拡大の面からも社会的対応が必要と思うが、見解をお聞かせいただきたい」。ほかにも同じようなことをたくさんいただいています。

一つは地震の方なのですが、中島先生に発表前にお聞きしたところでは、木造の建物の耐震性というのはなかなか難しく、阪神大震災の後に防災研の方でも検討しておりますけれども、必ずしも古い木造が弱いわけではないということが一つ挙げられると思います。

ただ、より深刻なのは、田中先生がご発表になった、や

はり火災の方です。特に今日、シミュレーションについていろいろご紹介いただきましたけれども、それをどう生かしていくかということについて、田中先生の方から最初にお答えをお願いしたいと思います。

(田中) 京都は古い民家が多く、災害が心配です。「火災シミュレーションモデルを使って、どのような防災対策を検討されるのか」ということですが、今考えているところは取りあえずは文化財との関係で、京都の文化遺産の建造物単独では、やはり歴史的、文化的に十分な景観や環境が保てないか、あるいは不十分ではないかということで、文化財のあるところは周辺の市街地と一体として景観を保全していく必要があるだろうということです。ただ、木造の市街地に囲まれているということは、それだけ地震のときにも火災が出る可能性は高く、文化財自体も延焼の危険に曝されます。

ですから、それを守るために、景観を壊さない形でどんな対策があるのかということで、伝統的な工法での壁などの火災に対する強いものを開発するとか、その他にもいろいろとアイデアが出されていて、実験的にも調べられていますので、そういったものを採用した場合に市街地全体として火災に対する抵抗力がどのくらい増すのかということ、シミュレーションを使って確かめようとしております。

木造に限りませんが、特に木造では、火が出たらその建物が燃えるのはある程度仕方ありません。ただ、それは市街地全体にとってみれば人間の傷のようなものですから、少々傷を受けても治ればいわけです。ですから、致命的なことにならないようなレベルに抑えるという形で考えていくべきではないかと思っています。

文化財のことばかり言っているようだけれども、当然文化財を守る対策を通じて、周辺の市街地も地震や火災に対する耐性が上がるわけですから、相互にメリットがあることではないかと思います。

京都以外の町だと、何かこういう立派なものがあるのだから、それを核にして市街地全体を、環境的にも、景観的にも、それから防災的にも強くしようというときの中心となる遺産がなかなか求めにくいのではないかと思います。そういう意味では京都は市内にたくさん文化財がありますので、結構恵まれた条件があるのではないかと思います。もちろん、その辺に対する住民の方々の協力は必要か

と思いますけれども、そんなことを思いながら、今、研究を進めているところです。

(飯尾) はい、ありがとうございました。関連しまして、「公立中学校をはじめ、公共施設の耐震実態の公開と活用が必要だと思うけれども、京都の現状はどうなっているのでしょうか。避難所の安全性の公開と対策は、その中で最も重要だと思うが、どうなのでしょう」という質問をいただいております。これは岡田先生、あるいは、牧先生はおられましたか。

(牧) 京都府の方で、各小中学校の耐震化率を市町村別に出していると思うのです。ただ、では、うちの小学校はどうかというところが恐らく知りたいところだと思いますが、公表はしてないかもしれませんが、小学校の校長先生に聞けばすぐに分かると思いますので、やはり岡田先生のお話にもありましたように、自分で自分のまちを守るということが非常に重要ですので、ぜひお問い合わせになってはどうかと思います。

(飯尾) はい、ありがとうございます。京都関連でいろいろ質問をいただきましたけれども、以上のような答えでよろしいでしょうか。

(質問者) 今、読んでいただきましたのは私の質問です。ありがとうございます。今お答えいただきましたけれども、私は下京という地域で防災の学習会を開きまして、消防署の幹部の方が防災の在り方の教育をされたときに、質問をしました。

下京の避難所のうちのどこが安全で、どこが安全でないのか。安全でないとするば、安全になるまでの期間に、その住民なり、あるいは、そこで学んでいる学生たちは、どういうふうに分かる必要があるのか。そういうことを公開することによって初めて、本当の防災活動ができるのではないかと質問をしましたところが、それは教育委員会の領域であって、私たちの領域ではないという答えが返ってきたわけです。これは真っ赤な偽りで、所属はそうかも分かりませんが、必ず消防署自身も知っているはずなのです。

ただその日は質問は1人で、全体の参加者は地域から100名ぐらいおりましたから、「いや、恐らくそれは事実

とは違うでしょうけれども」ということで引き下がったのですけれども、その後もそういう話をしています、やはり積極的に公開をすることによって、安全になるまでの対策を、知恵と努力によって支えていくということが、今一番必要だと思って質問したわけです。ですから、防災の研究者の方々が、公開ということについて、ぜひとも世論を作っていただく一つの力を作っていただきたいというのが一つです。

それから、先ほどの住宅の問題ですけれども、ポイントだけ申し上げますと、私が言っているのは、古い民家が強い・弱い話ではなしに、もう老朽化してどうしようもないところが、現実に随分たくさんあるのです。そういうところに独居老人や高齢者が住まわられていて、耐震補強をするという経済力、あるいは、そういう気もないわけです。

住宅全般を見ますと、今日の情勢から見ると、やはり公的、いわば福祉という立場で住まいを見ていかないと、防災の観点からしても解決ができないのではないかと。個人の財産という見方ではもう限界があるということが、今こういう経済情勢の下ではっきりしたのではないかとということが言いたかったということです。

(飯尾) ありがとうございます。いただいたご意見は今後生かしていきたいと思えます。申し訳ありません、時間が5時までなのですが、続けて質問にお答えいただきたいと思えます。次は台風関係なのですけれども、一つは丸山先生の講演の中で、「台風による被害が地震の被害より数倍とあったのは不思議に思いますが、どうなのでしょうか」という質問です。

(丸山) 質問されている意味として、その数倍という意味がいろいろ取れると思うのです。地域的な広さか、犠牲になった方の数が多いとか、被害を受けた建物の数が多いとか、いろいろあると思うのですけれども、私が発表でお示ししましたのは、台風による強い風の範囲というのは、地震の強い揺れの範囲に比べてずっと大きいわけです。

紹介しました91年の19号台風などになりますと、九州の半分ぐらいは非常に強い、建物が被害を受けるような風が吹きました。そういう意味での被害の額といいますか、社会的な損失という意味では大きいということを申し上げたわけで、もちろん地震で亡くなられた人の数と、台風

で亡くなられた人、あるいは、けがをされた数を数えて、どちらが大きいから、どちらがより強い災害なののだといったことを言っているわけではなくて、いろいろな評価の仕方があって、範囲で見ると台風は広い。あるいは、経済的な損失の額で見ると風による額はお示したように非常に大きなものであるということをおっしゃっていただいたということなのです。

(飯尾) では、続いて二つ目、「最近のハウスメーカーのプレハブの屋根は大丈夫ですか」というご質問です。

(丸山) 屋根の、風に対する被害の紹介をさせていただきました。屋根が被害を受けるときには、紹介しましたように、瓦と呼ばれるものやあるいはスレート、あるいは商品名を出してしまうのですが、コロニアルあるというコンクリートの薄い板、あるいはカラー鉄板と呼ばれるものなど、いろいろな種類が屋根に張られています。そういうものが飛ぶという被害、飛びますと雨漏りしたりする。それから、屋根の野路板、要するに屋根の構造の板自体がもう飛んでしまって、穴が開いてしまうといった被害が起こるといふ2種類に、大きく分けられると思うのです。

まずはその表面にある外装材である瓦や鉄板のようなものが飛んでいくというのが始まりなのですが、それによって押さえ付けられている力が少なくなるので板も飛びますよという話をしました。

そのときに、屋根の下地材の板が飛ぶときに、もちろん住宅の骨組み、柱になりますけれども、それにしっかりと屋根の板が留まっていれば飛ばないわけです。建物の重さ自体で上の板を引っ張ることになりますので飛ばないのですけれども、残念ながら屋根というのは、上に力が加わって飛ぶということをあまり考えないのです。

普通の方でも、屋根自体が上に飛んでいく、かなり重いものだという認識があるので、それが飛ぶということはあまり考えられないですし、残念ながら大工さんも、昔の方はあまり考えていなかったことが多くて、昔の家を見ますと、屋根の板は束(つか)という真っすぐに立っている材で、斜めに家の上に乗っているのですけれども、その束が建物の軸組のところに差し込まれているだけという家がかかなりあります。しかし現在では、抜けてはいけないということで、すべて差し込んであるものはかすがいかボルトでしっかりと下の骨組みに留める工法を取るることにな

っています。

住宅を買われるときに、お金を借りるときにも、そういう施工をしたものでないとお金は貸しませんといったことも書かれていたりしますので、現在のハウスメーカーで造られる、工場で造られるようなものに関しては、多分そういうものが全部付いていると思います。

私はメーカーの者ではないので、すべてのメーカーがどういうふうに造っているかは存じ上げてはいませんが、大概のものはそういう形で留めてありますので、一応、屋根が飛んでいくということに関しては、昔造られた屋根よりは強いことは確かだろうと思います。でも、それだからといって絶対に飛ばないという保証をしているわけではないのですけれども、より強いものにはなっていると思います。

**(飯尾)** はい、よろしいでしょうか。では、次は地震の方に移ります。「大地震がいつ起こるかは発生確率の問題かと思いますが、発生確率はどのように決められるのでしょうか」というご質問です。

**(大志万)** これはなかなか難しい問題なのです。発生確率というのは、基本的には過去に何回か起こった地震がいつ起こったかということが分からないと駄目なのです。もう一つはその間隔、過去 100 年とか 1000 年とか、何年前に起こったかということが確定できたとして、それにどういう確率密度の分布を与えるかというモデル化が、どれが適切かということがあります。

一番単純なのは対数正規分布やワイブル分布などですが、このように確率密度を仮定して、それを実際に、過去に何年、何年、その周期、一つ前は何年前、その前は何年前というのを使って確率密度を規定する、いろいろなパラメーターを決めます。そのようにして決めた確率密度を基に、発生してから何年ぐらいたっているから、どのぐらいの確率で発生するかということを、30 年確率という形で表しています。

では、その前のものはいつ起こったかというのをどうやって調べるかということ、活断層が結構重要で、活断層には過去の履歴が残っていますので、活断層を掘り返して、その活断層で最近起こったのはいつか、その前はいつかということを確認していきます。確率のモデルを当てはめてという前提はありますが、それが詳しく分かっている活断層

ほど発生確率、つまり、今後どのぐらいの確率で発生するかということが確からしくなります。

もう一つは、これもモデルですが、日本では国土地理院が 100 年ほどにわたってひずみの測量をしていますので、どのくらいひずんでいるかということが分かります。地震が起こるとそのひずみが解消されたりするわけですが、一番最近、地震が起こってからどのぐらいの期間がたっている。そこに、ひずみがどのぐらいまでたまると必ず地殻が壊れるなどのような仮定を入れると、どのぐらい歪がたまっているからこのぐらいの確率で地震が発生すると算出する手法もあります。もちろん、このやり方でも、やはり確率密度のモデルを入れる必要があります。

とはいえ内陸だと 1000 年間隔ですから、30 年確率などで出すと、1%とか高くて 10%ぐらいです。ところが、100 年周期の海溝型だと 30%とかと、100 年の間の 30 年ですから、確率はかなり高くなるわけです。ですから、内陸の場合は 10%といったらもう非常に高い、数パーセントでも高い方だと認識していただければいいかと思います。

**(飯尾)** はい、ありがとうございます。それでは、時間が来ましたが、もうちょっとだけお付き合いをお願いしたいと思います。火災について幾つかいただいております。一つは、「火災旋風というのは本当にあるのですか」。もう一つは、「強風下では市民は何を差し置いても広域避難所に行くべきなのでしょうか」という、これは現実的な質問なので、よろしく願いいたします。

**(田中)** まず、火災旋風は本当にあります。実際、関東大震災のときでも、被服廠跡(ひふくしょうあと)に火災旋風が何回も襲ってきて、それによって 3 万、4 万の人が亡くなったという事実があるわけです。そのときの様子が描かれた絵も残ってしまっていて、火災旋風に巻き上げられている人が描かれていますし、火災旋風に巻き上げられて隣の隅田川に落ちたので逆に助かったという運のいい人もいたようです。

それから、寺田寅彦先生という、随筆でも有名な物理学者が、そのとき東大の学生で、関東大震災のときの旋風について調べています。被災地全域でどうも 100 カ所ぐらいは起きたいです。特に隅田川沿い、やはり川の上は風がスムーズに通るし、隣にある市街地はそれだけ風に抵抗があるので、速度差ができて気流に回転がかかりやすいと

いった事情があったかもしれません。

被服廠と隅田川の間に安田邸というのがあったのですが、そこも旋風にやられて、その立派な邸宅の庭の樹木が引きちぎられたり、引き抜かれたりと、旋風でやられていますし、そこにいた人も全滅して亡くなっています。

それから、そのほかでも、最近の南海地震でも、和歌山県のどこかの町であったと思いますし、それから和歌山市では、戦災のときに城山に逃げた人が、やはり空襲の火事から起きた旋風によって数百人、亡くなっています。

(飯尾) もうちょっと時間が押していますので、二つ目の「逃げる」かどうか。

(田中) 何を差し置いても逃げるべきかというのは難しい問題かとは思いますが、取りあえず何を差し置いても逃げれば、それはもちろんそれだけ安全だとは思いますが。火災の延焼速度はせいぜい100mとかそんなものなので、早めに逃げていけばまず安全です。

ただし、やはり実際の火災の場合は、酒田の大火などでもそうですけれども、市民が火災と闘ったのです。酒田の大火の場合は新井田川という川で止まったのですが、新井田川の先にも川を越えてものすごくたくさんの火の粉が飛んできたようです。しかし、市民がみんな必死で消して火の粉を抑えたので、延焼が抑えられたという面があります。

ですから、安全を何らかの形で確保しながらという前提でのことですけれども、やはり火災と闘うということも必要なのではないかと思います。これはそのうちシミュレーションモデルやいろいろできたら考えていきたいと思っております。

(飯尾) はい、ありがとうございます。それでは、ちょっと押していますけれども、最後にもう一つだけご意見をいただいております、「外から見て、東京、大阪、神戸に比べて、京都の地震防災対策は、どうも真剣に取り組んでいるようにも見えないが、その点どうなのでしょうか」という厳しいご意見をいただいております。

今日の全体の講座もそうだったのですけれども、今日の講座はこういうタイトルですが、非常にややこしい話で、岡田所長にすべての矛盾を引き受けていただいていたのですけれども、この質問にも所長の方から一言いただ

きたいと思います。よろしくお願ひします。

(岡田) 多分、ご質問のポイントとして、行政が際立った、特徴的なことをやっているように見えないという話と、京都大学防災研究所がそれにどういう寄与をしているのかよく分からないという、両方の意味があるかと思いません。

まず、一言で申し上げれば、防災研に関しては自己評価ですから、かなり割り引いて聞いていただかなければならないのですけれども、私はそこそこそれなりにやっていると思うのです。それから行政も、私を知る限り、かなりやっているといます。

それから、われわれも、私自身もそうですけれども、ハザードマップを作ったり、それから火災シミュレーションだったり、地震のお尋ねでしたが、水害の問題も含めて、地下街にどういふ被害が起こるかといったことについて、随分いろいろな新しいシミュレーション技法なども使って分かるようにしていますし、そういうことは何らかの形で、行政がハザードマップや危険区域を情報開示する上で寄与していると思います。

ただ、例えば皆さん方に、「こういうことが知りたい」「こういうことでどんなふう役に立っているのか」と問題を立てられて、それに答えようという意味での一種の相互的というのか、それに答えるためにわれわれがどういふ方向に向かって情報を発しているのかといわれると、必ずしもそれを戦略的に皆さん方に分かるように伝えていとは思えないので、それはこの場合も含めていろいろご意見をいただいたものを、われわれなりに反すうして、反省して、それで皆さん方がこういうことを知りたい、あるいは、どういふ形で研究なり、あるいは、行政のやろうとしていることがわれわれの役に立っているのかということを書いていただいて、それに答えられるような形で、われわれの研究の中身を整理してお伝えするという努力を、もう少しすべきかなと思ひました。

それから、今度は私の個人的な経験で言いますと、われわれのような立場だと、行政の委員会などでいろいろなものを作るとき、プロポーザルを作られるときのアドバイザーをやったり、あるいは、そこで使われる技法の開発に寄与したりするわけですが、地域の皆さんと直接話をするのが比較的少ないということが、地域の方々から見たときに、われわれの役割が分かりにくいのではないかと思います。

す。

ですから、その辺を少し、また、われわれなりに改善を図る必要があろうかと思いますが、私は個人的には、例えば先ほどの朱八地域とか幾つかの地域の自治防災組織を実際に少しお手伝いしています。ただ、研究する側から見ると、例えば何百、何千とあるすべての組織に研究者がかかわることはできないので、非常に積極的にアプローチされて、われわれが今やろうとしているようなところで、新しい共同作業ができるようなところでお手伝いするといったことをしています。

ですから、そういう場もないことはないのですが、いずれにしても、もう少しわれわれのやっていることが、地域の方々に伝わるように努力が必要かなと思います。多分、京都の行政も、そういう意味でまだまだ工夫が必要かと思っています。

ちょっと最後にもう一つ、先ほどからいろいろご質問が出た中で、実は情報開示の問題については、もちろん研究者がいろいろな情報の信ぴょう性などを担保する上で役割を果たすということも一つありますが、こういう情報が知りたい、あるいは地域として知りたいという情報は、地域の側からある意味でむしろ言い立てていただいて、いろいろついて初めて出てくるようなものがいっぱいあると思います。行政は今仕切りでやっていますけれども、決してただそこで聞いているわけではなくて、場合によっては「これが知りたい」「あれが知りたい」ということであれば、少し時間はかかりますが、つながっていくような情報が出てくることはあり得ると思います。

ですから、待っているだけではなくて、本当に危ないと思うのなら、そこに行って、それがどうであるかということを確認すべく、行政なり、その情報を持っている方を、ある意味で促していくことが必要だし、そういうことは非常にやりやすい環境ができていないのではないかと思います。

(飯尾) ありがとうございます。では、よろしいでしょうか。本日は長い間ありがとうございました。最後に、講師の先生方にお礼という意味で拍手をして終わりたいと思います。どうもありがとうございました。

(拍手)

## 防災研究所職員配置表

所長：岡田 憲夫（21.4.1～23.3.31） 副所長：大志万直人・寶 馨・戸田 圭一

平成22年9月1日現在

研究グループ名・部門・センター名	教授	准教授	助教	事務・技術補佐員等	非常勤研究員等
<b>総合防災研究グループ（グループ長：林 春男 22.4.1～23.3.31）</b>					
<b>社会防災研究部門</b> （部門長：田中 時義 22.4.1～23.3.31）					
都市空間安全制御 都市防災計画 防災技術政策  防災社会システム  国際防災共同研究（客員） 防災公共政策（寄附）	川瀬 博 田中 時義◎ 寶 馨  多々納裕一  BIELAK, Jacobo※☆ 安田 成夫	松島 信一 関口 春子 山敷 庸亮  畑山 満則  梶谷 義雄		矢野佐永子・伊藤 晴子(tw) 山崎 英子 井上 園・LAHOURNAT, Florence 瀧井 優子・松田 早穂 山下 敦代・戸田 秀子 劉 暉(t)  工藤 由佳	宝音 園(r) 邵 俊豪(O・A) 河原 直子(k) 羅 平平(r) 大泉 伝(r) Samaddar, Subhajyoti(k) 中野 一慶(r)
<b>附属巨大災害研究センター</b> （センター長：林 春男 22.4.1～24.3.31）					
巨大災害過程  災害情報システム  災害リスクマネジメント 歴史災害史料解析（客員） 地域災害（客員） 情報ネットワーク（客員）	矢守 克也  林 春男◎  岡田 憲夫 武田 文男☆ 田中 淳☆ EISNER, Richard Karl※☆	  牧 紀男  横松 宗太 山崎 栄一☆ 近藤 宏二☆	鈴木 進吾    井上 怜美・井上けい子(t) 蘭頭 彰子	清水 豊子・大橋 由季 佐野 千里 川方 雅代・西村有希子    劉 玉玲(k)・Risye Dwiyani(k) 羅 貞一(r)	陳 海立(k)・竹田百合恵(O・A) 永井 一弘(k)・北田 聡(O・A) 吉野 健一(O・A) 河本 尋子(r) 劉 玉玲(k)・Risye Dwiyani(k) 羅 貞一(r)
<b>地震・火山研究グループ（グループ長：飯尾 能久 22.4.1～23.3.31）</b>					
<b>地震災害研究部門</b> （部門長：田中 仁史 22.4.1～23.3.31）					
強震動 耐震基礎  構造物震害	岩田 知孝 澤田 純男  田中 仁史◎	松波 孝治 高橋 良和  田村 修次	浅野 公之 後藤 浩之  荒木 紀子	浅野 幸 岡本 彩子  荒木 紀子	小寺 雅子(O・A)・中田 光彦(O・A) 若木 伸也(O・A)・和田 一範(O・A) 肥田 剛典(k)
<b>地震防災研究部門</b> （部門長：大志万 直人 22.4.1～23.3.31）					
耐震機構  地震テクトニクス 地震発生機構	中島 正愛  大志万直人◎ MORI, James Jiro	  大見 士朗	吉村 令慧	蒲生 千里  辻井 喜子 松島 正美	保木 和明(特)・鍾 青霖(k) 伊藤 麻衣(r)・古川 幸(r)  Wang, Dun(r)
<b>附属地震予知研究センター</b> （センター長：飯尾 能久 22.4.1～24.3.31）					
地殻活動  海溝型地震 内陸地震  地震予知情報  地球計測 リアルタイム総合観測 地球物性（客員）	澁谷 拓郎  橋本 学 飯尾 能久◎(阿)  西上 欽也  岩森 光☆	遠田 晋次  深畑 幸俊  竹内 文朗  片尾 浩	徐 培亮 高田陽一郎(上) 福島 洋  加納 靖之 寺石 真弘(宮)  森井 互 山崎 健一(宮)	中島 智子(t)  秋月 美佳・飯山 円 大森 佳奈(tw) 平尾由美香(tw)・森山富士子(tw) 中尾愛子(鳥)・三和佐知栄 年見 文子(宮)	平野 憲雄(北)(g)
<b>附属火山活動研究センター</b> （センター長：石原 和弘 22.4.1～24.3.31）					
火山噴火予知	石原 和弘◎	井口 正人	味喜 大介 山本 圭吾 為栗 健	島木亜矢子(t) 三反田めぐみ(t)・杉本 成美(t) 武盛 照美(t) 宇治野 初美	安藤あゆみ(g)
<b>地盤研究グループ（グループ長：井合 進 22.4.1～23.3.31）</b>					
<b>地盤災害研究部門</b> （部門長：井合 進 22.4.1～23.3.31）					
地盤防災解析  山地災害環境 傾斜地保全	井合 進◎  千木良雅弘 松浦 純生	三村 衛  寺嶋 智巳	飛田 哲男  齋藤 隆志	湯山 和香  北村 和子 細田真由美	姜 基天(k)・Mahmoud Nasser Hussien A(r) 田 炳坤(r) 松四 雄騎(k)・樋口 衡平(r)・鄒 青穎(r)
<b>附属斜面災害研究センター</b> （センター長：釜井 俊孝 22.4.1～24.3.31）					
地すべりダイナミクス 地すべり計測	釜井 俊孝◎	福岡 浩 末峯 章(徳地)	王 功輝	小関 句子 小野田富子(徳地) 末峯 昌代(徳地)	向井 道文(徳地)(g)

研究グループ名・部門・センター名	教授	准教授	助教	事務・技術補佐員等	非常勤研究員等
<b>大気・水研究グループ (グループ長: 河井 宏允 22.4.1~23.3.31)</b>					
<b>気象・水象災害研究部門</b> (部門長: 中北 英一 22.4.1~23.3.31)					
災害気候 暴風雨・気象環境 耐風構造 沿岸災害 水文気象災害	向川 均 石川 裕彦 河井 宏允 間瀬 肇 中北 英一◎	竹見 哲也 丸山 敬 森 信人 城戸 由能	井口 敬雄 堀口 光章 荒木 時彦(休) 安田 誠宏	中村 貞代 戸田 嘉子 中坪茂登子 才寺 香織(t) 辻まゆみ	吉田 龍二(r)    奥 勇一郎(特)・中條 壮大(特) KIM Kyoungjun(特)・ABUDOUREYMU, Batuer(r) 木島梨沙子(r)
<b>附属流域災害研究センター</b> (センター長: 中川 一 22.4.1~24.3.31)					
流砂災害 都市耐水 河川防災システム  沿岸域土砂環境 流域圏観測	藤田 正治(宇) 戸田 圭一 中川 一◎(宇)  平石 哲也(宇)	竹林 洋史(宇) 米山 望 川池 健司(宇)  林 泰一 武藤 裕則(白) 堤 大三(穂)	宮田 秀介(宇)  馬場 康之(宇) 張 浩(宇) 東 良慶(宇)	天野 純子(宇) 森 美穂 杉村 夏世(宇)  松本 友理(宇)・内山 清(大) 岡本 敬子	久加 朋子(r)・泉山 寛明(r)   TERAGUCHI, Hiroshi(k) 水谷 英朗(r) SHRESTHA, Badri Bhakta(k)  河内 伸治(g)(潮)・隈部 康晴(k)
<b>附属水資源環境研究センター</b> (センター長: 小尻 利治 22.4.1~24.3.31)					
地球水動態 地域水環境システム  社会・生態環境 水資源分布評価・解析(客員) 水環境システム(寄附)	堀 智晴 小尻 利治◎  角 哲也 磯村 篤範☆ 鈴木 靖	田中 賢治  竹門 康弘 樋口 篤志☆ 佐藤 嘉展	野原 大督 浜口 俊雄  道広 有理	河崎 千里 成定麻彩子 肥塚 香 濱野貴美子 山本 優美	中田 淳子(特) Saw Ohmmar Han(k) Mukta Spakota(r) 玉 基英(k) Kantoush Sameh Ahmed(k)
<b>研究企画推進室</b>	橋本 学室長(兼) 多々納裕一教授(兼)・川瀬 博教授(兼)・三村 衛准教授(兼)・城戸 由能准教授(兼)				
<b>広報出版企画室</b>	マネージャー: 大山 達夫(◇) 21.4.1~26.3.31				
室員	松浦 秀起(技術職員 兼)		飯沼 祥子(tw)		東 佑香(g)
<b>技 術 室</b>	技 術 職 員				非常勤研究員等
室長	河井 宏允教授(兼)				蟹口 和枝(g)
企画情報技術グループ	坂 靖範				
機器運転技術グループ	辰巳 賢一・松浦 秀起・澤田麻沙代・市田兎太郎・吉田 義則(宇) *				
機器開発技術グループ	坂 靖範(兼) 山崎 友也・加茂 正人・清水 博樹*・藤原 清司(宇) *				
観測技術グループ	園田 保美(宮) 三浦 勉 富阪 和秀・米田 格(阿)・多田 光宏・藤本 繁男* 園田 保美(宮)(兼) 西村 和浩(宇)・園田 忠臣(桜)・久保 輝広(白)・小松信太郎(宮)・和田 博夫(上)*・細 善信* 近藤 和男(徳)*・藤田 安良(屯)*・中尾 節郎(鳥)*・高山 鐵朗(桜)*・市川 信夫(桜)*・志田 正雄(穂)*				

◎…部門長, センター長 ☆…客員教員 ※…外国人研究員 (特) 特定研究員 ◇特定職員 (k)…非常勤研究員  
 (g)…研究支援推進員 (t)…技術補佐員 (r)…リサーチ・アシスタント (0・A)…オフィス・アシスタント (tw)…派遣社員 (u)…宇治勤務 \*…再雇用職員  
 (宇)…宇治川水理実験所 (潮)…潮岬風力実験所 (白)…白浜海象観測所 (穂)…穂高砂防観測所 (徳地)…徳島地すべり観測所  
 (大)…大湊波浪観測所 (上)…上宝観測所 (北)…北陸観測所 (阿)…阿武山観測所 (鳥)…鳥取観測所  
 (徳)…徳島観測所 (屯)…屯鶴峯観測所 (宮)…宮崎観測所 (桜)…桜島火山観測所

常 勤 職 員 108				客員教員・研究 9			非常勤職員等 111												
92		一般職(-) 16		教授	准教授	外国人研究員	特定教授	特定助教	特定研究員	特定職員	再雇用職員	事務補佐員	技術補佐員	非常勤研究員	研究支援推進員	O・A	R・A	派遣員	
教授	准教授	助教	技術職員																
34	31	27	16	4	3	2	2	2	1	5	1	12	49	8	15	6	8	20	5