

## 発刊のことば

京都大学防災研究所長

中島 正愛

2010 年度京都大学防災研究所年報をここにお届けいたします。防災研究所年報の創刊は今から 53 年前の 1958 年、研究所創立から 7 年を経た時期でした。ときの所長は西村英一先生、創刊号で先生が認められた序言の前半では 7 年にわたる研究所の活動に言及され、そして後半では年報創刊の経緯を次のように述べられています。

『さて本年報に集録しましたものは去る 11 月 9 日に行いました本研究所研究発表講演会における 14 の研究論文と 1 つの特別講演であります。これらの諸研究は上に述べた 3 部門 2 施設に対応して、非常に広い範囲の対象を含んでいます。すなわち、河川堤防の浸透、流木、洪水、風波などの河川洪水に関するもの、また地盤沈下、粘土のレオロジーなど地盤、土質の性質、挙動に関するもの、アーチ構造の強度、コールド・ホール型原子炉の耐震化、鉄塔の振動などの構造物の機械的振動およびその安定性に関するもの、さらに火山の爆発、重力の時間的変化さらに岩石の破壊現象などの地震、火山、地殻変動に関する現象など、実にその内容は多岐多様であり、それぞれが現在防災学の見地からして最先端を行く重要課題であります。さらに特別講演としてなされた横尾教授の「原子力と建設技術」は今日最も注目されている原子力の平和利用という問題に密接な関係をもち、原子力の諸施設をいかに安全に、いかに能率よく建設するか、さらに、その保持、経営はいかにあるべきかを欧米の既設施設の視察から導き出した貴重な講演であります。以上のように、本研究所の年ごとに拡大強化され蓄積されて行く研究成果を毎年一回秋季に公開発表会を開催し、その時の研究を年報に集録して出版することになりましたが、これを機会に今後はさらに質・量共に大発展を遂げ、本研究所の使命を十分に果すことをこいねがって序言といたします。(1958 年京都大学防災研究所年報から)』

本研究所が若くこれから伸びようとする息吹が感じられる、そして、研究成果が質・量ともに発展を遂げるに違いないという確信に満ちた一文です。ところで本研究所は 2011 年 4 月 1 日をもって創立 60 周年を迎えました。創立時の専任教員数が 9 名であったものが、60 年を経た今では 105 名（定員）と、先輩諸兄のたゆまぬご尽力のおかげで、西村先生の予言通り、本研究所は大なる発展を遂げました。それと呼応するかのよう、年報も創刊号から 53 年の間毎年欠かさず刊行され続け、そのなかに収録される論文数も、第 1 号が 14 編であったものが、最近では年に 80～100 編を推移するほどになりました。

創刊号から 53 号までがずらっと並んだ書棚をみて(今では防災研究所 HP からすべての論文がダウンロードできます) 感慨をもって思い浮かべるのは、『記録』、『継続』、『総合』という 3 つの

キーワードです。自然災害とその防御に関する研究では、災害調査が「真実を知る」意味からも不可欠です。一方で、自然災害は頻繁に起こるわけではありませんから、一昔前、二昔前の災害の実態をひも解く必要が出てくることは少なくありません。そのようなとき、防災研究所年報は『記録』の宝庫としての役目を果たします。電子媒体を使った情報発信が激増し、また浮かんではずぐ消えゆく出版物が溢れる今の時代において、情報はともすれば細切れになりがちです。そのようなとき、防災研究所年報は、防災研究に関わる先端情報を50年以上にわたって『継続』して発信してきたという特色をもって、体系的な情報源としての役目を果たしています。最近ではさまざまな災害の複合化が加速し、また災害の抑止や災害時対応には災害の種類を超えた総合的な取り組みが求められます。そのようなとき、防災研究所年報は、(ある災害事象に特化した自然災害ではなく)すべての自然災害に関わる研究情報を発信し続けるという、『総合』防災に的確に応える記録集です。

組織のアイデンティティを確保するための明示的な媒体として、さらに防災研究に強く求められる、『記録』、『継続』、『総合』に思いを致せば、京都大学防災研究所年報の存在意義はおのずと明らかです。一方で、一昔前とは違って、研究者評価においてとりわけ査読付き論文への要求が高まるなか、大学組織が出す年報や紀要とそのなかに掲載される論文をどう評価するかは、議論の分かれるところです。時代の要求に応えつつも、京都大学防災研究所年報をこれからどう盛り立ててゆくか、所を挙げた、そして自然災害研究に集う研究コミュニティを巻き込んだ議論を重ねてゆかねばなりません。関係各位には継続的なご支援とご協力をお願いする次第です。

## Development of Online Hybrid Testing via Internet and Applications for Simulation of Earthquake Responses of Structures Using Laboratory Networks

Tao WANG\* and Masayoshi NAKASHIMA

\* Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, China

### Synopsis

Presented herein is a substructure online hybrid test system that is extensible for geographically distributed tests. In this system, a set of devices conventionally used for cyclic tests is adopted to load the tested substructures to the target displacement or the target force. Multiple tested substructures and numerical substructures using various structural program codes can be accommodated within the single framework, simply interfaced with the boundary displacements and forces. A coordinator program is developed to keep the boundaries among all substructures compatible and equilibrated. An Internet-based data exchange scheme is also devised to transfer data among computers equipped with different software environments. A series of online hybrid tests are introduced, and the portability, flexibility, and extensibility of the proposed online hybrid test system are demonstrated.

**Keywords:** earthquake engineering, dynamic response, online hybrid test, remote testing

### 1. Introduction

More than thirty years have passed since the online hybrid test (also referred to as the pseudo-dynamic test) was developed (Takanashi et al., 1978; Mahin and Shing, 1985; Nakashima et al., 1995; Shing et al., 1996; Herrera et al., 2008; Tsai et al., 2008). The test treats the dynamics of a structure numerically, while using restoring forces obtained from an associated quasi-static experiment. The test specimen used in the online hybrid test does not necessarily need physical masses that produce inertia, and can be loaded quasi-statically by means of conventional loading devices that are available in many structural laboratories. Thanks to these advantages over the shaking table test, the online hybrid test has become one of the standard experimental methods for the assessment of the seismic performance of structural components, assemblies, and systems.

Since the incipience of the online hybrid test, the concept of substructuring has been proposed, developed and applied (Dermitzakis and Mahin, 1985; Nakashima et al., 1990; Elkhoraibi and Mosalam, 2007). The online hybrid test associated with the substructure technique, also called the substructure online hybrid test, significantly increases the size of the tested structures. By exchanging data over the Internet, multiple structural laboratories located at remote sites are able to collaborate, each taking one part of the entire structure, increasing the scale at which the structure can be tested. Several notable systems were developed and demonstrated by physical applications (Pinto et al., 2004; Pan et al., 2005 a; Takahashi and Fenves, 2006; Stojadinovic et al., 2006; Yang et al., 2007; Wang et al., 2007; Mosqueda et al., 2008). However, it is not necessarily easy to extend these systems for more versatile applications because of the following

limitations. One is the use of costly servo-controlled hydraulic actuators that require large capacity pumps and accumulators. They are not easily transported to other locations, either. The other is the rigid software framework that requires the source-code modification to implement the interaction between numerical and test substructures. A general approach thus far is to incorporate a user-defined experimental element into the numerical substructure models (Pan et al., 2005 a; Takahashi and Fenves, 2006).

To fully achieve the appealing features of the substructure online hybrid tests, a set of portable and flexible loading devices and an extensible software framework are devised. Chapter 2 of this paper describes the developed loading devices, which are characterized by large stroke and force capacities, accurate and flexible displacement and force control, compactness and portability, robustness, and economic efficiency, thus being available in many structural laboratories. Chapter 3 presents the extensible software framework, which is equipped with a coordinator program that makes the system more versatile, a generalized interface to encapsulate both the numerical and tested substructures, and an Internet-based data exchange scheme to realize fast and stable communication between the substructures and coordinator program. In Chapter 4, the effectiveness of the developed system is demonstrated by a series of physical applications, i.e., a physical testing of a three-story frame installed with steel plate walls, an application to an eight-story base-isolated building, a seismic simulation of a steel reinforced concrete (SRC) building with a steel tower on the top, and the distributed testing to explore the collapse behavior of four-story steel moment frames.

## 2. Conventional Testing Devices

An online hybrid test system that makes the maximum use of conventional test devices available in many structural laboratories consists of a hydraulic pump, a hydraulic jack, a controller, a set of measuring devices for the jack displacement and forces, and a set of computers for control and calculation, as shown in Fig. 1 This test system was first developed at Kyoto University, and has been

used extensively for the past fifteen years in a nearly maintenance-free mode (Nakashima et al., 1995). The system is characterized by the strength, flexibility, portability, controllability and robustness, and key components to achieve them are the quasi-static jack, the hydraulic unit, and the digital controller, whose details are described below.

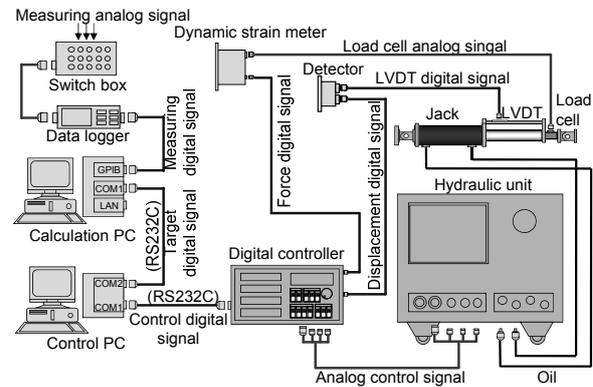


Fig.1 Typical online hybrid test system using conventional loading facilities (External loop)

### 2.1 Robust quasi-static jack

Compared with the dynamic actuator that is commonly equipped with a complex servo-valve, configuration of the quasi-static jack is much simpler. It consists of a jacket, a piston, and two chambers, as shown in Fig. 2. Each chamber outfits an orifice through which the chamber is able to accept/release oil from/to the hydraulic unit. When loading, the oil pressure in one of the chambers equals the supply pressure in the hydraulic unit, while the pressure in the other chamber is zero. The force imposed on the specimen equals the pressure difference between the two chambers multiplying the area of the piston. The mechanism is simple, but it is very robust and needs nearly no maintenance. Without the need of a sophisticated servo-valve, the quasi-static jack is far less expensive than the dynamic actuator.

The slow loading, ranging normally from 0.1 to 2 mm/s, is not necessarily a disadvantage. It provides a chance for close observation, and a favorable fault tolerance that can help prevent an expensive specimen seriously suffering from wrong loading. A larger supply pressure (about 70 MPa) adopted for quasi-static jacks compared to that normally assigned for dynamic actuators (about 21

MPa) is another asset; for the same cylinder size, the quasi-static jack can possess a force capacity about three times larger than that of the dynamic actuator. A larger pressure also means that the quasi-static jack is stiffer than the dynamic actuator, allowing relatively better precision in displacement control.

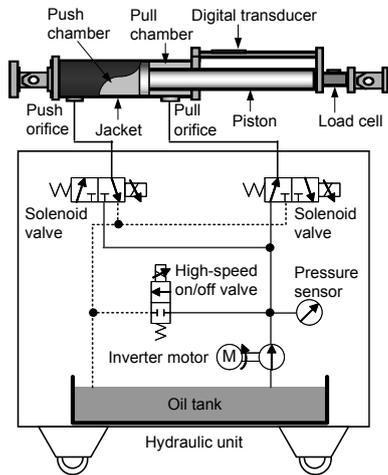


Fig. 2 Hydraulic pump system with inverter motor (At the pulling state)

## 2.2 Portable hydraulic unit

The hydraulic unit is designed to provide oil to the quasi-static jack and control the jack for loading and unloading according to the input signals from the digital controller. Its function is fulfilled by activating the pump with an inverter motor, two solenoid valves, and a high-speed on/off valve, as shown in Fig. 2. Once it receives the loading signal (a voltage) from the digital controller, the inverter motor starts to pump oil to one of the chambers (“push” or “pull”) of the quasi-static jack. The loading speed is controlled by the frequency of the inverter motor, which is proportional to the signal voltage. The flow of the pump commonly ranges from 0.08 to 0.48 l/min, which corresponds to the frequency from 6 to 60 Hz. The “push” or “pull” direction is selected by changing the on/off mode of the two solenoid valves. The unloading action is achieved by releasing oil from the jack to the oil tank through the high-speed on/off valve. The high-speed on/off valve adopts a pulse-width modulation (PWM) control at a frequency of 20 Hz. The flow through this valve ranges from 0.15 to 1.5 l/min by modulating the width of the pulse (also

called the duty cycle). In Fig. 2, the solid lines inside the hydraulic unit represent the supplying oil whose pressure is always monitored by a pressure sensor, while the dotted lines show the return oil whose pressure is always zero.

The mechanism of this hydraulic unit is naturally much simpler and most likely more robust than the servo-controlled system that requires an accumulator to collect the pressurized oil. Due to its simplicity and robustness, this hydraulic unit is almost maintenance free. In fact, the system developed fifteen years ago is still fully functional with only minimal maintenance. Because of the slow loading rate, the power needed for the pump is small. The power of the inverter pump is about 0.75 kW, while a pump used for servo-controlled actuators commonly requires a power more than 100 kW. The inverter motor, solenoid valves, high-speed on/off valve, pressure sensor and a 25 liter oil tank, are installed in a portable box, and the total weight is about 170 kg. This hydraulic unit is apparently much lighter, more compact and portable. Such characteristics enhance the possibilities of remote, distributed testing in that quite a few structural laboratories are equipped with space but not with an automatic loading system conforming to the online hybrid test.

## 2.3 Accurate digital displacement control

To achieve the accurate displacement control required for the accurate reproduction of earthquake responses in the online hybrid test, the proposed system employs a digital displacement transducer and a digital controller. The digital displacement transducer is attached to the quasi-static jack and feeds back the measured value to the digital controller. The digital signal can be applied directly for the displacement control without any digital/analog (D/A) or analog/digital (A/D) conversion. The digital displacement transducer has a large stroke capacity, up to  $\pm 500$  mm. One of its appealing features is that the accuracy, i.e., the measuring resolution, remains constant at 0.01 mm regardless of the displacement stroke. This is different from commonly used analog displacement transducers whose accuracy is dependent on the full-stroke.

A digital controller is adopted to control the

hydraulic unit using the digital displacement signal fed back from the digital displacement transducer (also called the feedback control), as shown in Fig. 3. The feedback control is defined as the internal loop, in contrast to the external loop associated with the solution of the equations of motion (Mercan and Ricles, 2007). The digital controller adopts a 32-bit micro-processor, and has a serial communication port through which it can talk with a computer, i.e., accepting the target values and loading/unloading time, and sending back the measured force and displacement. It is equipped with three input ports to collect signals from the digital displacement transducer, the load cell, and the pressure sensor of the hydraulic unit, and three output ports to send the control signals to the inverter motor, the solenoid valves, and the high-speed on/off valve, respectively.

Fig. 3 shows an example feedback control of the controller, where unloading is conducted first, followed by loading. In each step of loading or unloading, the digital controller accepts the target value ( $x_{n+1}$ ) and the time ( $\Delta t$ ) to reach the target from the control computer, and starts the feedback control to achieve the target physically. The controller first computes the subcommand signals at every 10 ms for the period of  $\Delta t$ , as shown by the thin solid line in Fig. 3, named “SV”. By comparing the target with the current state of the jack, the controller sends the subcommand signals to the high-speed on/off valve as a pulse. After every 10 ms, the controller receives the feedback signal from the digital displacement transducer or the load cell attached to the jack, and the supply pressure signal (defined as PVP) from the hydraulic unit. The controller computes the difference between the subcommand value assigned at 10 ms later and the measured value (the thick solid line), converts the difference to the control signal, and sends it again to the pump unit. This loop continues until PVP becomes smaller than a predefined tolerance, PSF, when the controller stops the unloading action and switches to the loading action. It sends signals to drive the two solenoid valves to select the loading direction. After the solenoid valves are repositioned, the loading action starts. The controller repeats the same procedure for unloading, but this time sends frequency signals to the inverter motor for loading.

This operation continues until the measured value reaches the target value within a pre-specified band of tolerance.

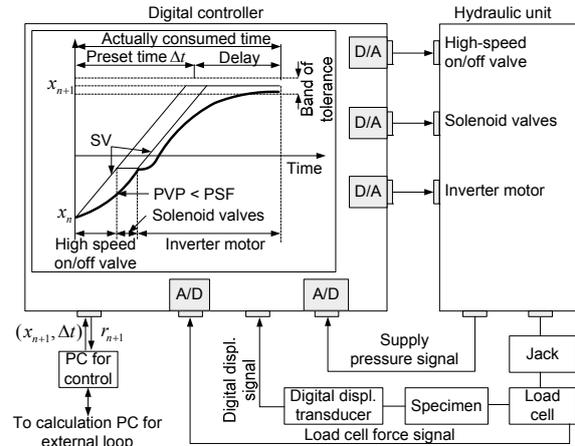


Fig. 3 Feedback control using digital controller (Internal loop)

#### 2.4 Flexible displacement and force mixed control

Two types of control modes are available: the displacement control using the signal feedback from the digital displacement transducer, and the force control using the signal feedback from the load cell. Both controls adopt the scheme described in Section 2.3, except that an A/D module is inserted between the load cell and the digital controller. The control modes can flexibly be switched even during one test. This is made feasible by the external loop of control and the slow loading rate. This characteristic is specifically effective for tests with specimens having large disparities in the magnitude of stiffness in various loading stages. Here, the force control is used when the structure is very stiff; the displacement control is adopted once the structure becomes softer.

Two types of mixed control, namely the “displacement-force combined control” and the “displacement-force switching control”, were proposed and validated (Pan et al., 2005 b). In the displacement-force combined control, one jack is operated by the displacement control, and another is operated by the force control, while in the displacement-force switching control, the jack is operated by the displacement control when the test specimen is soft but switches to the force control once the specimen becomes stiff.

### 3. Extensive Framework for Substructure Online Hybrid Test

The substructure online hybrid test needs an extensible framework to accommodate multiple tested substructures and numerical substructures. Considering different hardware and software environments adopted in different laboratories, the framework should be equipped with: (1) a coordinator program to seek the compatibility and equilibrium at the boundaries among all substructures; (2) a generalized interface to encapsulate each tested or numerical substructure; and (3) an Internet-based data exchange scheme capable of transferring data among computers having a variety of software environments.

#### 3.1 Coordinator program to host multi-substructures

The basic function of the coordinator is to realize the equilibrium and compatibility at the boundaries among substructures. It sends target displacements to all substructures, and accepts reaction forces from them. The compatibility is automatically satisfied by assigning the same displacement vector to all substructures having the common boundaries. The equilibrium is sought by the coordinator program dynamically or statically, depending on where the equations of motion are to be solved. In this online hybrid test framework, the equations of motion can either be solved globally by the coordinator program or treated separately within each substructure. Correspondingly, two types of coordinators are developed, one that solves the dynamics and one that does not, called the dynamic and the static coordinators, respectively.

##### (1) Dynamic coordinator

The basic idea of the dynamic coordinator is to solve the dynamics of the structure separately from its static tests and analyses, i.e., to formulate and solve the equations of motion of the entire structure using the restoring forces obtained from the static substructures (Wang et al., 2006). Figure 2.4 illustrates the test scheme using an eight-story base-isolated structure as an example. It is reasonable that the dynamics of the structure are simplified into the equations of motion of a nine

degree-of-freedom (DOF) system, each DOF corresponding to one story level.

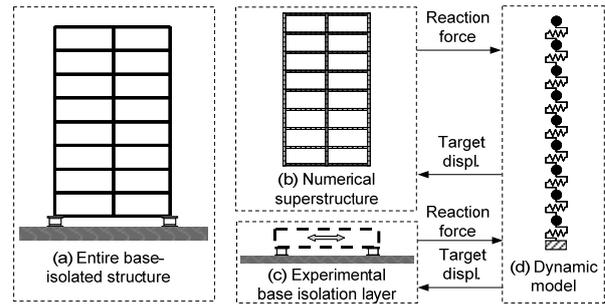


Fig. 4 Concept of dynamic coordinator

The static behavior, i.e., the restoring forces of respective DOFs, is obtained from two substructures: the superstructure simulated numerically by a finite element program, and the base-isolation layer tested physically. The dynamic coordinator uses the information from previous steps to predict the displacement vector for the current step, and sends the next displacements to both substructures for physical loading and static analysis. The restoring forces corresponding to these displacements are then collected and sent back to the coordinator. The global restoring force vector is formed, each component of which is associated with one dynamic degree of freedom. Finally, the coordinator updates the state variables for the next step simulation. With the dynamic coordinator, the boundaries between substructures are always associated with dynamic degrees of freedom, and the equilibrium at the boundary is satisfied explicitly by solving the equations of motion.

##### (2) Static coordinator

For a structure with more complicated dynamics, it is sometimes efficient to separate the massive dynamic model that represents the entire structure into multiple small dynamic models and treat them independently. Furthermore, the DOFs of substructure interfaces may not be associated with the dynamic DOFs, thus making it difficult to apply the dynamic coordinator introduced above. To solve these difficulties, a static coordinator was proposed (Pan et al., 2006), where the dynamics are always solved within each substructure, and the coordinator is used to statically search the equilibrium and

compatibility amongst substructures.

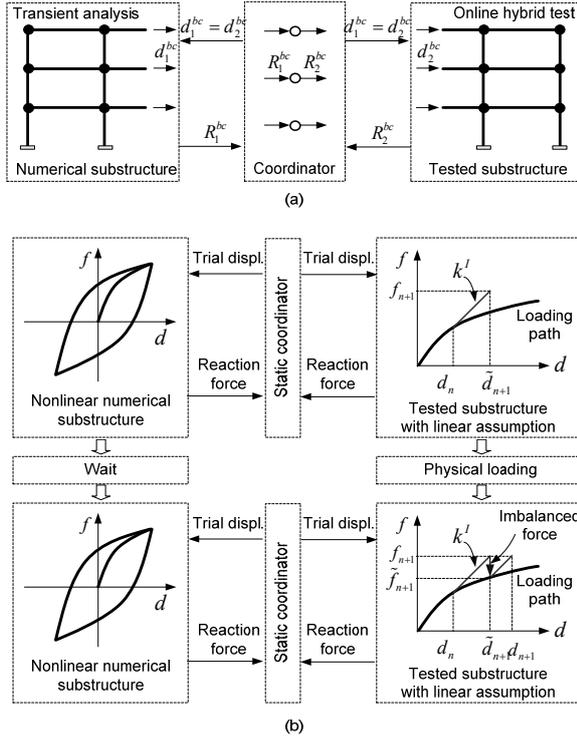


Fig. 5 Static coordinator: (a) Concept; (b) Two-round quasi-Newton test scheme

A generic structure, as shown in Fig. 5 (a), is taken as an example which is decomposed into two substructures, with the degrees of freedom of each substructure grouped into the internal set and the boundary set. The equations of motion are formulated for each substructure, and the boundary compatibility and equilibrium between the two substructures are sought by the static coordinator. The static coordinator first determines a set of trial boundary displacements and sends them to all substructures. In this process, compatibility is achieved automatically. Each substructure then runs a dynamic analysis or conducts an independent online hybrid test with the constraint of the boundary displacements. The reaction forces obtained from each substructure are sent back to the coordinator to check the equilibrium. If the equilibrium is achieved, then the simulation goes on to the next step. Otherwise, the coordinator determines another set of trial boundary displacements and repeats the above procedures until the equilibrium is satisfied. It is essentially a trial-and-error procedure. Its realization is not straightforward, however, and two issues still

remain to be resolved: (1) how to systematically find the boundary displacements to achieve the equilibrium; and (2) how to avoid iteration for the tested substructures?

To find the equilibrium systematically, one of the quasi-Newton methods, called the BFGS method (Broyden, 1965), was employed. It uses only the boundary displacement vector and the corresponding reaction force vector to gradually build up the secant stiffness matrix at the boundary, and thus is able to find the equilibrium even for a nonlinear structure.

To avoid multiple iterations for the tested substructure, a test scheme featuring a two-round trial-and-error procedure was devised. The procedure, shown in Fig. 5 (b), is in essence a predicting and correcting scheme, each corresponding to one round of the quasi-Newton procedure. The first round is called the prediction, where the tested substructure is assumed to behave linearly and the reaction force is calculated from the displacement increment and the initial stiffness matrix or the secant stiffness matrix updated from the previous loading. After finding the equilibrium at the boundary, the predicted displacement vector is then applied to the tested substructure for physical loading. Due to the nonlinearity in the tested substructure, the boundary becomes imbalanced again. Finally, the second round of the quasi-Newton procedure is applied to compensate for the imbalanced force, also assuming the tested substructure behaved linearly.

### 3.2 Generalized interface to substructures

In the extensible online hybrid test system, the coordinator is able to accommodate multiple tested and numerical substructures by virtue of the standard input and output interface, which takes care of the boundary displacements and corresponding reaction forces. The coordinator program provides each substructure with the target displacements and accepts the reaction forces from them. Because of the simplicity of this exchange, laboratories employing different facilities and numerical substructures using various programming languages can readily be incorporated into the framework. Each boundary degree of freedom of the tested substructure shall be controlled

physically by loading devices. The interface to the tested substructure directly communicates with the channels that control these devices, which enables the coordinator to send the target displacements to the loading devices and accept the reaction force from them. The interface to the numerical substructure is realized through the standard input/output files of each specific programming language. The interface first generates the input file that contains the boundary displacements of the current step as the external constraint, then calls the program application to run the input file, and finally extracts the reaction forces from the result files created by the program application. The restart option is the key element that allows external intervention from the coordinator, but without revising the source code of the program (Wang et al., 2006).

### **3.3 Internet-based data exchange scheme**

To achieve high-speed data exchange among laboratories, an Internet-based data exchange scheme was developed (Pan et al., 2006). This scheme adopts the socket mechanism based on the TCP/IP protocol. It works as a server-client framework. The server first creates the listening socket and waits for connections from clients. The client then creates a client socket and attempts to connect to the server in reference to the TCP/IP address and the port number. Once the connection is accepted by the server, a channel is built up, and the data can be transferred through it. Two types of data exchange are considered: direct data exchange, and data exchange through proxy. In the direct data exchange, the coordinator and the substructure are set as the server and the client, respectively. The data exchange through proxy enables communication over the Internet with strict firewalls, in which both the coordinator and substructure are clients, and the proxy is the server. Here the proxy is a program developed for forwarding the data between the server and clients. To facilitate the application, the raw socket application programming interfaces (APIs) are encapsulated into a dynamic link library which can be easily implemented by most commonly used programming languages, such as Visual Basic, Fortran, and Visual C++. It is also possible for the

data exchange scheme to transfer data among computers with different operating systems, such as Windows, Linux, and Macintosh.

## **4. Demonstration Tests**

The proposed substructure online hybrid test system has been applied for seismic simulation of several structures. In what follows, four of them are introduced, in which the appealing features of the proposed hardware and software framework were demonstrated. They are a three-story steel moment frame equipped with steel plate walls, an eight-story base-isolated building, an SRC building with a steel tower on the top, and a four-story steel moment frame.

### **4.1 Online test using flexibly reconfigured loading devices**

In this application, the seismic response of a three-story steel moment frame was examined, as shown in Fig. 6 (a). One bay of the frame equipped with steel plates was treated as the tested substructure, while the rest of the frame was implemented numerically using a general purpose structural analysis code: Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES, Mazzoni et al., 2006). The dynamics of the structure were simplified as a mass-spring model with three degrees of freedom, and solved by a dynamic coordinator. The tested substructure was significantly stiffer and stronger than the surrounding numerical substructure, so that the contribution of the boundary beams in the numerical substructure to the tested substructure was neglected, and the boundary was treated as if it were pin-supported.

Three sets of conventional loading facilities were reconfigured in parallel as shown in Fig. 6 (b). The controllers and functional computers were integrated as in Fig. 6 (c). Two controllers were connected to one control computer via a RS485 cable and a RS interchanger, while the last controller was connected to one control computer through a RS232C cable. Although RS232C can be used for each individual loading unit, this configuration is maintained to minimize the modification of existing facilities. The calculation

computer was used to communicate with each control computer, to exchange data with the coordinator program, and to collect data from GPIB devices. All computers were set within a local network so that a direct data exchange scheme was employed.

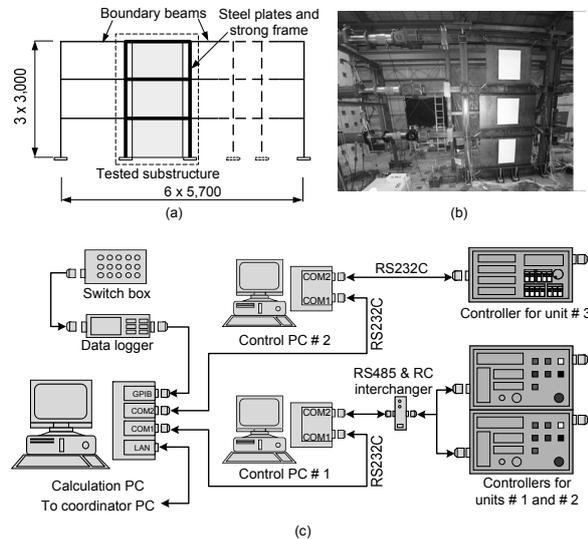


Fig. 6 Three-story steel moment frame equipped with slit walls: (a) Prototype; (b) Installation of loading devices; (c) Integration of loading system

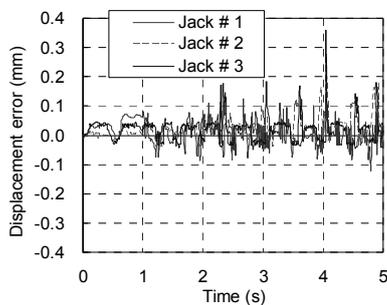


Fig. 7 Displacement errors in three jacks

To examine the loading accuracy of the reconfigured loading facilities, the structure was tested using a small ground motion to keep all substructures elastic. The target and measured displacements are compared as shown in Fig. 7. It is observed that all units achieved the respective target displacements accurately, with differences in most steps not greater than 0.05 mm, and the maximum difference not exceeding 0.4 mm. This demonstrates the feasibility of the proposed online hybrid system in that: (1) the reconfigured conventional loading facility ensures its loading

accuracy; (2) the generalized interface encapsulates the numerical substructure well by means of the restart option; (3) the data exchange within the local network runs smoothly and takes almost no time; and (4) the dynamic coordinator reproduces the seismic response reasonably.

#### 4.2 Application of displacement and force mixed control

An online hybrid test for a base-isolated structure to validate the displacement and force mixed control was proposed. The structure was an eight-story and two-span steel moment frame isolated by high damping rubber bearings (HDRB), as shown in Fig. 8 (a). To examine the seismic performance of the structure when subjected to horizontal and vertical ground motions simultaneously, an online hybrid test was conducted in which the isolation layer was tested physically as in Fig. 8 (b), while the superstructure was simplified into a mass spring model and treated numerically. Details were introduced by Pan et al. (2005 b).

One of the displacement-force mixed controls, the displacement-force combined control, was applied in the tests. The HDRBs were assumed to be in a compressive state all the time, and behaved linearly in the vertical direction. Because the vertical force has a significant influence on the horizontal behavior of the isolators, it is necessary to reproduce the variation of the vertical forces. In the test, the horizontal response was obtained using a conventional displacement-controlled online hybrid test, but the vertical response was obtained using a force-controlled scheme. The target displacement in the vertical direction was transformed into the target force in reference to the initial stiffness obtained from the preliminary test, and applied to the specimen. The force-displacement relationships and the displacement histories obtained from the test are shown in Fig. 8 (c) and (d), respectively (Pan et al., 2005 b). The advantage of this control was such that the dependency of the horizontal hysteretic behavior of base-isolators on the magnitude of the vertical force was taken into account explicitly.

If the base-isolated structure is subjected to large vertical ground motion and/or large

overturning, the isolators will sustain tension. To deal with such a situation, a force-displacement switching control was developed using the same test setup. This time, only the vertical response was considered, and the force control was adopted when the isolators sustained compression, while the displacement control was adopted when they sustained tension. During the force-control segment, a force equal to the product of the predicted displacement and the vertical initial stiffness was applied to the tested structure, and the predicted displacement was used directly during the displacement-control. The control mode was switched when the force changed from compression to tension or from tension to compression. The test proceeded successfully, and the displacement and force histories are shown in Fig. 8 (e) and (f) for the displacement control and the force control, respectively.

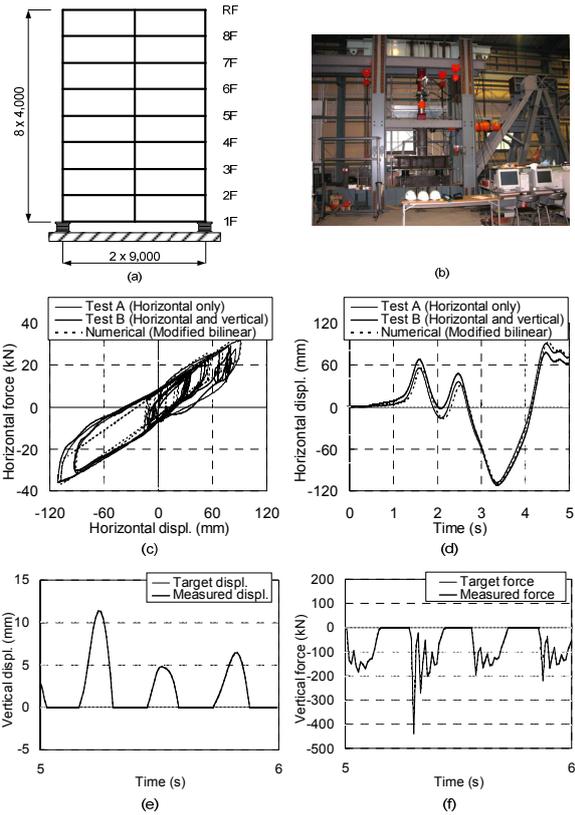


Fig. 8 Displacement and force mixed control: (a) Eight-story base-isolated structure; (b) Specimen installation; (c) and (d) Hysteretic and displacement response curves obtained from displacement-force combined control; (e) and (f) Displacement and force control accuracy in displacement-force

switching control

These tests demonstrate that (1) the displacement-force combined control is valid for specimens having distinctly different force-displacement relationships according to the direction of loading; (2) the displacement-force switching control is effective for structures that display large disparity in the magnitude of stiffness during the response; and (3) the control of employed loading devices is accurate.

### 4.3 Implementation of multiple numerical substructures

The framework employing the static coordinator was applied to investigate the seismic response of a steel reinforced concrete (SRC) structure with a steel braced tower built on the top, as shown in Fig. 9 (a) (Wang et al., 2008 a). The entire structure was divided into three substructures, namely, the SRC frame, the first story of the tower, and the super part of the tower. The static coordinator was employed to handle the horizontal displacements among the three substructures. The first story of the tower was tested physically using a scaled model that maintained the similitude, while the other two substructures were treated numerically. OpenSEES was used to simulate the SRC frame as the program code is equipped with an excellent fiber-formulated element that is particularly suitable for composite members. A general-purpose finite element program, ABAQUS (SIMULA, 2008), was used to simulate the upper part of the tower because of its strength in implementing strong geometric nonlinearity. Each model contained a few hundreds of degrees of freedom. The setup for the tested substructure is shown in Fig. 9 (b). The vertical jack adopted the force control to provide a constant gravity of the tower, while the horizontal jack was used in the displacement control to realize the target boundary displacement sent from the coordinator. All substructures were encapsulated by means of the generalized interface, with boundary displacements and reaction forces exchanged by the input and output files. The restart option of each finite element program was employed, which enabled the simulation to advance step by step.

All three substructures exhibited large inelastic behavior, and in particular the tested substructure

sustained the largest deformation and the braces buckled seriously. In order to validate the interface implementation, the seismic responses obtained from the online hybrid test were compared with those of the overall numerical simulation (Wang et al., 2008 a). The displacements at the substructure interfaces are compared in Fig. 9 (c) and (d) for the top of the SRC frame and the specimen, respectively. For both interfaces, the displacements are very close to each other. Some discrepancy is observed in Fig. 9 (d) due to the difference in hysteretic behavior between the numerical model (assumed behavior) and the physical test (actual behavior). The discrepancy has a significant influence on the tower behavior, but had little effect on the SRC frame because the SRC frame was much heavier than the tower.

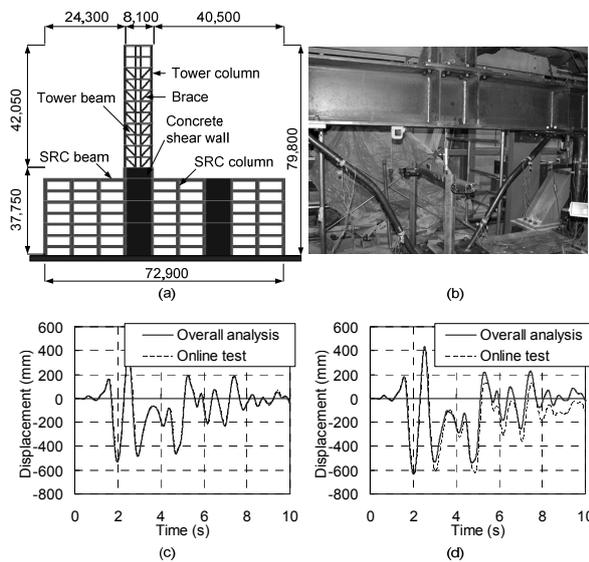


Fig. 9 Online hybrid test hosting multiple numerical substructures: (a) Prototype structure; (b) Photo for specimen; (c) Response of roof of SRC frame; (d) Response of first story of tower

This application validates that (1) the generalized interface is able to encapsulate multiple numerical substructures using different program codes; (2) the static coordinator employing the two-round quasi-Newton procedure is capable of reproducing the seismic response of complex structures; and (3) the data exchange scheme transfers the data quickly and reliably across the Internet with strict firewalls.

#### 4.4 Geographically distributed tests

The seismic behavior of a four-story one-bay steel moment frame, shown in Fig. 10 (a), was simulated. The entire structure was divided into three substructures. The two column bases were treated experimentally, and their complex behavior under varying axial loading was considered. The rest of the structure was simulated numerically by ABAQUS using rigid plastic hinge models (Wang et al., 2008 b). Each column base was loaded simultaneously for the varying axial force due to overturning and for the column base rotation delivered by the horizontal jack. Due to space limitations of the laboratory, the right column base was tested in the writers' laboratory with facilities configured as shown in Fig. 2.10 (b), while the left one, together with two sets of conventional loading facilities, was transported to another laboratory fifteen kilometers away, where the two loading sets were reconfigured to achieve the bi-directional loading. The data were transferred over the Internet. However, the two laboratories were protected by strict firewalls and could not exchange the data directly. To overcome this difficulty, a proxy program was set outside both firewalls and could be accessed by both laboratories. The proxy program worked as a message passenger that accepted the data from one laboratory and passed them to the other.

The test results given by Wang et al. (2008 b) indicated the success of the online hybrid test. Significant failure was observed in both column bases, and the structure underwent very large deformations to collapse (Fig. 10(d)). The force error in the vertical jack was not greater than 3 kN (about 1% of the maximum target force) for most loading steps, and the largest error was about 9.6 kN. The largest displacement error in the horizontal jack was about 0.24 mm, while most of its errors did not exceed 0.04 mm. Note that the maximum target displacement was about 228 mm, which means that the displacement control was accurate enough to reproduce the seismic response. The test lasted for 16.6 hours, during which the data were exchanged continuously and the delay over the Internet could be neglected.

This application demonstrates that (1) the conventional loading devices are portable and

flexible enough to be readily transported and reconfigured; and (2) the extensible framework is able to take care of multiple tested substructures having significant nonlinearities.

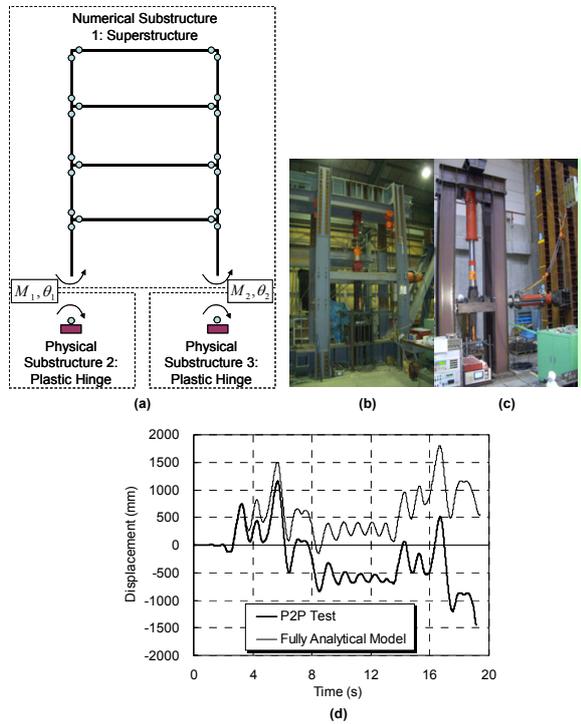


Fig. 10 Four-story steel moment frame: (a) Prototype; (b) and (c) Physical setups in two laboratories; (d) Displacement time histories obtained from test and associated numerical analysis

Using the system developed for geographically distributed tests, another four-story steel moment frame, this time with two bays instead of one, was also simulated. In the distributed online hybrid test, the boundary implementation is always a key issue to determine before the test. To achieve the highest precision, both equilibrium and compatibility should be satisfied at all of the boundary degrees of freedom. The reality, however, is that it is difficult to control stiff degrees of freedom, and the loading facilities and test space are sometimes limited to control all degrees of freedom. The flexible boundary implementation adopted in the test is shown in Fig. 11 (a), and more detail is found in Wang et al. (2011). In the test, one portion of the tested substructure was tested in Kyoto University (KU), and the other part by the State University of New York at Buffalo (BU) (Fig. 11 (b) and Fig. 12).

Note that the experimental environment of the two testing sites (laboratories) were very different; in one site servo-controlled hydraulic actuators were used, while in the other site quasi-static jack system was adopted; and the control software was distinctively different. Nonetheless, the test was run successfully without any malfunction.

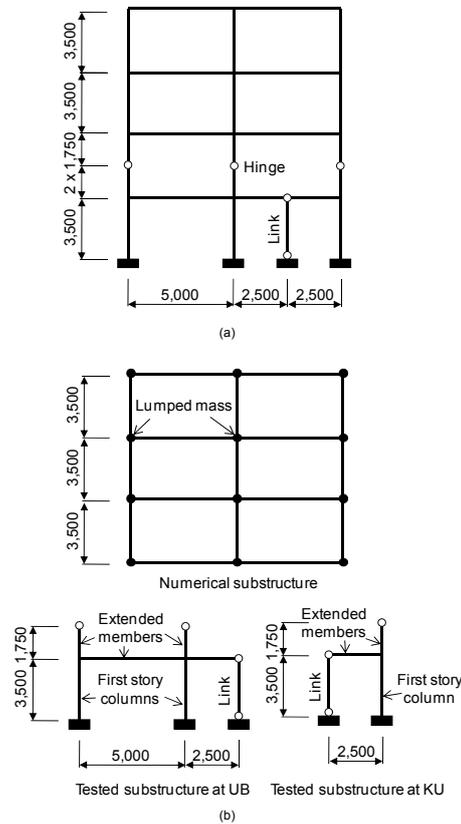


Fig. 11 Substructures for numerical hybrid simulation: (a) Numerical model with hinges; (b) Numerical substructures

From this challenging geographically distributed test, various problems (necessary to resolve or overcome for future applications) were surfaced out. To save time and shipping expense, the tested substructures were manufactured by local fabrications, one in Kyoto, Japan, and the other in Buffalo, the United States. The material properties of the test specimens were not identical, having caused a non-negligible difference in the yield strength, and this caused some errors in the obtained response relative to the prototype response. Time difference was another concern as there is a twelve hour difference between Japan and the Eastern U.S. Since one test may take a few hours, it

became necessary for one lab to work through the night. The operators may make some mistakes because they are working in an unusual period. These difficulties shall be of significant concerns to the project administrator.

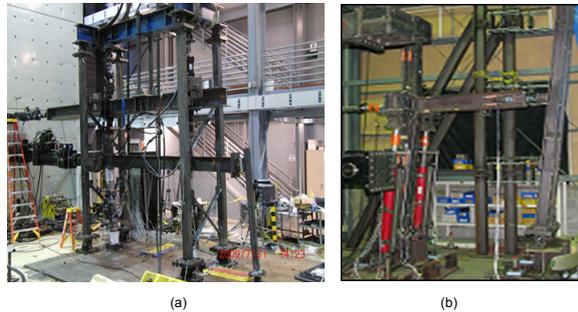


Fig. 12 Test setups at two laboratories: (a) Test setup at UB; (b) Test setup at KU

## 5. Conclusions

An extensible framework for the substructure online hybrid test is proposed. In this framework, conventional loading facilities are adapted and reconfigured to realize the physical loading of specimens. The extensible framework, equipped with a versatile coordinator program, a flexible test scheme, a generalized I/O interface, and an Internet-based data exchange scheme, can satisfy the demands of many applications, and is particularly suitable for geographically distributed online hybrid tests. This framework has been tested with several applications. The major findings of this study are as follows.

- (1) The conventional loading devices are robust and portable and can be reconfigured flexibly to satisfy the demands of various structural tests. The loading performance can be adjusted by tuning the parameters of digital controllers, and the control modes can be flexibly selected prior to or during the test.
- (2) Thanks to the outstanding performance of the digital displacement transducer, accurate displacement control can be ensured to conduct the online hybrid test.
- (3) The online hybrid test framework is extensible to host multiple tested and numerical substructures. The versatile coordinator program can be applied to structures with

simple dynamics as well as those with complex dynamics. The generalized interface can encapsulate substructures completely only by accessing the boundary displacements and forces. The Internet-based data exchange scheme is also demonstrated to be fast and stable.

- (4) To demonstrate the strength of the proposed test system, a series of physical applications are presented, including a physical testing of a three-story frame installed with steel plate walls, an application to an eight-story base-isolated building, a seismic simulation of a steel reinforced concrete (SRC) building with a steel tower on the top, and the distributed testing to explore the collapse behavior of four-story steel moment frames. In the last applications, the idea of “geographically distributed online hybrid testing” is realized, and its effectiveness as well as problems to resolve or overcome is discussed.

## Acknowledgements

The writers wish to thank their former and current research collaborators who contributed to the materials presented herein.

## References

- Broyden C.G. (1965): A class of method for solving nonlinear simultaneous equation. *Math. Comp.*, Vol. 19, pp. 577-593.
- Dermitzakis, S.N. and Mahin, S.A. (1985): Development of substructuring techniques for online computer controlled seismic performance testing, Technical Reports UCB/EERC-85/04, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Richmond, California, USA.
- Elkhoraibi, T. and Mosalam, M.K. (2007): Towards error-free hybrid simulation using mixed variables, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.36, pp. 1497-1522.
- Herrera, A.R., Ricles, M.J. and Sause, R. (2008): Seismic performance evaluation of a large-scale composite MRF using pseudodynamic testing,

- Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 134, No.2, pp. 279-288.
- Mahin, S.A. and Shing, P.B. (1985): Pseudo dynamic method for seismic testing, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 7, pp. 1482-1501.
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., and Fenves, G. L. (2006): OpenSees command language manual, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Richmond, California, USA.
- Mercan, O. and Ricles, M.J. (2007): Stability and accuracy analysis of outer loop dynamics in real-time pseudodynamic testing of SDOF systems, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 36, pp. 1523-1543.
- Mosqueda, G., Stojadinovic, B., Hanley, J., Sivaselvan, M. and Reinhorn, M.A. (2008): Hybrid seismic response simulation on a geographically distributed bridge model, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.134, No.4, pp. 535-543.
- Nakashima, M., Kaminosono, T., Ishida, M. and Ando, K. (1990): Integration techniques for substructure pseudo dynamic test, Proc. of the 4th US National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, USA.
- Nakashima, M., Akazawa, T. and Igarashi, H. (1995): Pseudo-dynamic testing using conventional testing devices, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.24, pp. 1409-1422.
- Pan, P., Tada, M. and Nakashima, M. (2005 a): Online hybrid test by internet linkage of distributed test and analysis domains, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 34, pp. 1407-1425.
- Pan, P., Nakashima, M. and Tomofuji, H. (2005 b): Online test using displacement-force mixed control, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 34, pp. 869-888.
- Pan, P., Tomofuji, H., Wang, T., Nakashima, M., Ohsaki, M. and Mosalam, K.M. (2006): Development of peer-to-peer (P2P) Internet online hybrid test system, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35, pp. 867-890.
- Pinto, A.V., Pegon, P., Magonette, G. and Tsionis, G. (2004): Pseudo-dynamic testing of bridges using non-linear substructuring, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 33, pp. 1125-1146.
- Shing, P.B., Nakashima, M. and Bursi, O.S. (1996): Application of pseudo dynamic test method to structural research, Earthquake Spectra, Vol. 12, No.1, pp. 29-56.
- SIMULIA. (2008): ABAQUS standard user's manual, SIMULIA, Providence, Rhode Island, USA.
- Stojadinovic, B., Mosqueda, G. and Mahin, A.S. (2006): Event-driven control system for geographically distributed hybrid simulation, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 132, No.1, pp. 68-77.
- Takahashi, Y. and Fenves, G.L. (2006): Software framework for distributed experimental-computational simulation of structural systems, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35, pp. 267-291.
- Takanashi, K., Udagawa, K. and Tanaka, H. (1978): Earthquake response analysis of steel frames by computer-actuator on-line system, Proc. 5th Japan Earthquake Engineering Symposium, Architecture Institute of Japan (AIJ), Tokyo, Japan, pp. 1321-1328.
- Tsai, K.C., Haiso, P.C., Wang, K.J., Weng, Y.T., Lin, M.L., Lin, K.C., Chen, C.H., Lai, J.W. and Lin, S.L. (2008): Pseudo-dynamic tests of a full-scale CFT/BRB frame, Part I: Specimen design, experiment and analysis, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 37, pp. 1081-1098.
- Wang, K.J., Tsai, K.C., Wang, S.J., Cheng, W.C. and Yang, Y.S. (2007): ISEE: Internet-based simulation for earthquake engineering, Part II: The application protocol approach, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.36, pp. 2307-2323.
- Wang, T., Nakashima, M. and Pan, P. (2006): On-line hybrid test combining with general-purpose finite element software, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35, pp. 1471-1488.
- Wang, T., Yoshitake, N., Pan, P., Lee, T.H. and Nakashima, M. (2008 a): Numerical characteristics of peer-to-peer (P2P) Internet

- online hybrid test system and its application to seismic simulation of SRC structure, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 37, pp. 265-282.
- Wang, T., McCormick, J., Yoshitake, N., Pan, P., Murata, Y. and Nakashima, M. (2008 b): Collapse simulation of a four-story steel moment frame by a distributed online hybrid test, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 37, pp. 955-974.
- Wang, T., Mosqueda, G., Jacobsen, A. and Cortes-Delgado, M. (2011): Performance evaluation of a distributed hybrid test framework to reproduce the collapse behavior of a structure, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, published online.
- Yang, Y.S., Hsieh, S.H., Tsai, K.C., Wang, S.J., Wang, K.J., Cheng, W.C. and Hsu, C.W. (2007): ISEE: Internet-based simulation for earthquake engineering, Part I: Database approach, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.36, pp. 2291-2306.

## インターネットを介した並列実験の実現とネットワーク型耐震構造実験の試行

Wang Tao\*・中島 正愛

\*中国地震局工程力学研究所

### 要 旨

複数の異なった実験場で同時に実験を実行し、それぞれの実験から得られるデータを、インターネットを介して逐次参照しあうことから、大型構造物の地震応答を再現する実験手法とシステムを開発した。このシステムは、準静的ジャッキの利用を始めとして、多くの構造実験で用いられている実験・計測装置を有機的に組み合わせることから、汎用性を確保している。本実験システムを用いた幾つかの実験を紹介することから、この実験手法がもつ有効性を検証するとともに、これがネットワーク型耐震構造実験として、海を超えた連携を可能にすることを実証した。

**キーワード:** 耐震工学, 地震応答, オンラインハイブリッド実験, 並列実験

## 次世代型地震観測システムの開発と運用 — 満点(万点)を目指して —

飯尾能久

### 要 旨

次世代型地震観測システム(満点システム)は、京都大学防災研究所と株式会社近計システムが中心となって共同で開発したオフライン地震観測装置である。これまでの実績によると、単一電池32個で約8ヶ月間、250Hzサンプリングで連続記録を取ることが出来る。この例では記録媒体は一杯にはなっておらず、スペック上は約9ヶ月連続記録が可能である。単一電池32個を含めても6kg程度と小型・軽量化されており、設置時間も最短で5分程度となっている。本システムはこれまでの装置とは別次元のものであり、地震・火山関係の観測のみならず、地すべり・地盤・構造物における振動測定など、様々なフィールド研究における有力なツールとなるものと期待される。

**キーワード:** 満点システム, 稠密多点観測, 地震計, 省電力, 小型・軽量

### 1. はじめに

計測データに基づいてものごとの本質を明らかにしようとする、あらゆる学問分野において、計測データの量と質は、結果の成否を左右する最も重要な要因である。ところが、実験室外でデータを取る分野においては、計測システムの様々な制約により、これまで十分なデータを得ることが出来なかった。そのため、例えば、医学分野において、CT(Computerized Tomography)による「断層」写真はガンの早期発見などに大活躍しているけれども、地震学におけるSeismic Tomographyは、現在のところ、地震断層の本質を解明するほどの精度や分解能を持っていない。実験室外において、多点・高精度・容易にデータを計測できるシステムを開発することが、あらゆるフィールド科学の進展において本質的に重要であると考えられる。そして、近年のテクノロジーの進歩はそれを十分に可能にすると期待される。

現在の地震研究の進捗状況を概観すると、災害を契機にというのは非常に残念なことであるが、兵庫県南部地震後の進展には目を見張るものがある。しかしながら、今のところまだ、世の中の期待に答えるところまでは達していないと思われる。それは、上記の事情がその原因のひとつであると考えられる。

地震は、断層に加わる応力が断層の強度を越えたときに発生する。したがって、地下深くの応力状態

を知ることは、地震の発生予測にとって最も基本的なことである。しかしながら、現在のところ、地震が発生する地下数kmより深いところでの応力状態はほとんど分かっていない。定常的な観測網を用いた最新の解析結果においても、せいぜい数十km程度の領域内の平均的な応力状態が推定されているに過ぎない。

Fig.1に示すように、内陸地震の断層近傍には局所的な応力場の乱れが発生している可能性が高いことが、最近の研究により分かってきた(例えば、飯尾, 2009a ; 2009b ; 2010a ; 2010b ; 2010c)。既存の観測網では、このような局所的な応力場の乱れをとらえることは不可能である。これまでに無い高密度の稠密地震観測により、kmスケールの分解能で応力場を把握することにより、内陸地震の発生予測を進めることができると考えられる。

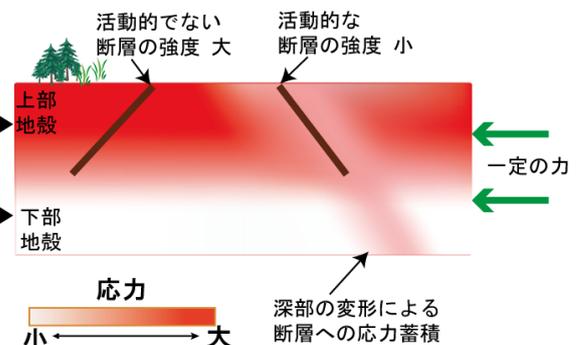


Fig.1 Generating process of intraplate earthquakes

そこで、京都大学防災研究所と株式会社近計システムが中心となって、多点・高精度・容易に地震データを計測できるシステムを開発した。このシステムは、1,000~10,000カ所の地震観測点を、数百m~1km程度の間隔で、10km~100km四方の領域に展開し、長期間にわたってデータを記録することを可能とするものである。これは、数十カ所でも稠密観測と称される現在のシステムとは別次元のものであり、地震・火山などの研究を飛躍的に進歩させる切り札となると期待される。現時点では世界最高のオフライン型地震観測装置であり、地震観測の理想像に近く、万点規模の地震観測も可能であることから、「満点システム」と呼ばれている。本小文では、その開発と運用に関するこれまでの歩みについて簡単に紹介する。なお、本システムを用いた観測例については、近畿地方中北部における稠密地震観測については、三浦ら(2010)により、詳細な報告が行われている。観測・データ処理システムについても簡単に紹介されているのでそちらを参照されたい。

## 2. システム開発

### 2.1 これまでの稠密地震観測

これまで、地震観測、特に内陸地震関連の観測においては、電源や通信、記憶容量等の制約により、十分な数の観測点において、数ヶ月以上の長期間にわたってデータを記録することが出来なかった。最も高密度の観測が行われた2004年新潟県中越地震の余震観測においても、全国の大学・研究機関等の観測点の総数は百数十点、観測点間隔は最も短いところで1.2kmであるが、観測期間は数ヶ月程度である(Kato et al., 2009)。

満点システムの開発後であるが、ひずみ集中帯機動的な地震観測網(防災科学技術研究所, 2010)では、新潟県を中心に200km×100km程度の領域に300点近い地震観測点が設置された。これは、これまで日本で行われた稠密地震観測では最大のものであり、しかもこれまでと違って5年程度の長期間にわたって連続観測が行われる予定である。満点システムとの良い比較となるため、この観測に用いられたシステムと対比させながら、既存の装置の問題点を述べることにする。

### 2.2 既存システムの問題点

これまで多点での地震観測の障害となっていたのは、機器の電源とデータ伝送である。商用電源を用いる限り、設置場所に大きな制約を受ける。しかも、商用電源のあるような場所は一般的にはノイズレベルが高くデータの質は良くない。地震観測装置は、

電池などDC電源で動作することが重要である。データ伝送は、伝送装置や伝送路および余剰な電源が必要となり、システムの巨大化の原因となる。巨大なシステムを多点に設置することは困難である。データを伝送して集中記録するのではなく、個々の観測点における個別記録方式(オフライン)を取ることが必要である。個別記録方式の採用は、自然地震観測に限らず、石油資源等の大規模な探査においても近年始まりつつある。GPSによる高精度時計が安価に手にはいるようになったことが大きい。

2004年新潟県中越地震の余震観測等で主に用いられた装置は、DC電源で動作する個別記録方式のものだが、記憶容量および消費電力の制約により、3ヶ月程度の観測が精一杯であった。日本海沿いなどの豪雪地帯では、冬季の半年程度はメンテナンスに行くことが出来ない場合があり、既存のシステムでは、通年の連続観測することは極めて困難であった。

ひずみ集中帯機動的な地震観測網で用いられたデータロガー(計測技研製HKS-9550)は、消費電流が0.03Aという低消費型であり、105Ahの大容量バッテリーと併せて使用することにより、最長5ヶ月程度の連続観測が可能である(防災科学技術研究所, 2009; 2010)。この装置は従来のものに比べて記憶容量も大きく、16GBのCFカードを用いると、100Hzサンプリングの場合、記録時間は7ヶ月弱となる。105Ahの大容量バッテリーを用いると、計算上は4.7ヶ月間連続して観測可能であるが、容量の全てを使い切るとは難しいので、4ヶ月程度が現実的な交換サイクルであると思われる。したがって、この装置では、年に3回のバッテリー交換が必要であり、積雪期に1度行わざるを得ない。実際に、ひずみ集中帯機動的な地震観測網では、2~3月にもバッテリー交換を行っており、一部の観測点では除雪を行う必要があったということである(防災科学技術研究所, 2009)。豪雪地にもかかわらず、2~3月に一部しか除雪が必要なかったということは、奇異に感じられるが、山中の観測点が少ないことを反映しているのかもしれない。

ひずみ集中帯機動的な地震観測網で用いられた地震計は、2HzのChina Geo Equipment Cooperation製CDJ-S2C-2である。重量は約2kgである。Hinetとは違って2Hzを選定したのは、1Hzでは重量が大きくなり機動性に欠けるということであるが(防災科学技術研究所, 2009)、上記のようにデータロガーの電源に105Ahの大容量バッテリー(重量22.3kg)を用いており、システム全体の整合性が必ずしも取れていないように見える。この地震計はそのままでは防水に問題があり、浸水した機体があったようで、追加の防水対策を取っているということである(防災科学技術研究所, 2010)。

## 2.3 満点システムの開発

開発の第1のポイントは、機器の低消費電力化、大きな記憶容量と時刻の同期性の確保である。この点に関して装置に必要とされるスペックは、アクセスが極めて困難となる積雪期を乗り切るため、6ヶ月以上メンテナンス無しで動作可能と言うことである。通常は、低消費電力化すると、時刻精度が問題となる可能性があるが、その両立が大きな課題であった。

低消費電力記録装置（近計システム社製EDR-X7000）は、消費電流が0.007A以下という驚異的な低消費電力を達成している(三浦ら, 2010)。これは、6ヶ月以上動作可能という点を最重要視してシステム全体を設計したことによる。

通常のデータロガーで用いられるデルタ-シグマ型のAD変換器は消費電力が大きく、また高サンプリングにすると、平均処理によるノイズ低減が効かないためダイナミックレンジが小さくなるという欠点がある。±5Vの入力レンジだと、24bitADの最小分解能に対応する電圧は $0.6\mu\text{V}$ である。地震計の感度は通常は $1\sim 2\text{V}/(\text{cm}/\text{s})$ 程度であるので、信号を増幅しない場合は、最小分解能は、地動に換算すると、 $0.3\sim 0.6\times 10^{-8}\text{m}/\text{s}$ という非常に小さな振幅に対応する。実際には、100Hzのサンプリングで用いると、20bit程度の実効分解能となるため、最小分解能は地動にして $4.8\sim 9.6\times 10^{-8}\text{m}/\text{s}$ という振幅に対応する。

このように、100Hz程度のサンプリングでは、デルタ-シグマ型のAD変換器は広いダイナミックレンジと高分解能を持つが、 $4.8\sim 9.6\times 10^{-8}\text{m}/\text{s}$ という振幅は、地表地震観測では比較的良い点のノイズレベルに相当する。つまり、デルタ-シグマ型のAD変換器は、100Hzで使う場合でも、±5Vの入力レンジで、

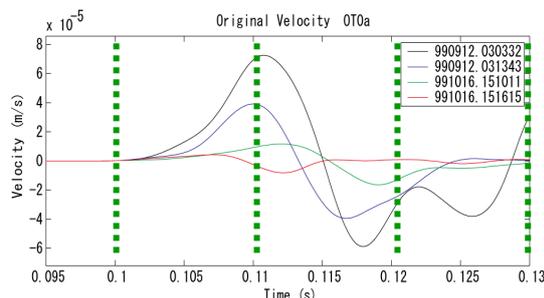


Fig.2 High sampling waveforms of microearthquake.

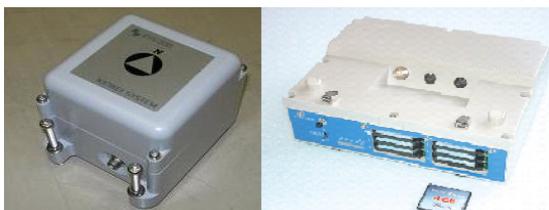


Photo.1 KVS-300 (left), and EDR-X7000

振り切れる寸前の大きな振幅を持つ地震動が入射した場合にのみ、比較的良好な観測点でようやくその能力を発揮出来るということである。ノイズレベルの大きな点やより小さな入力レンジ(信号を増幅する場合)では、その能力は十分に生かされないのである。そして、稠密地震観測の場合は観測点間隔が狭いために時間分解能を上げる必要があるため、サンプリング周波数を上げる必要があり、デルタ-シグマ型の特長を発揮するのはより難しくなる。

EDR-X7000は、最大で1kHzのサンプリングを設定可能である。250Hzサンプリングの場合は、4GBのCFカード6枚を装着すると、約9ヶ月の連続観測が可能である。

Fig.2に長野県西部地域で記録されたM0.5~2.0の地震波形を示した。これは別の装置(EDR6600)により10kHzのサンプリング周波数で記録されたものであるが、100Hzサンプリングの場合は、緑の点線部分のデータしか記録されず、M2.0でも波形の山や谷が分かる程度に過ぎない。従来は、伝送容量や記録容量の問題でサンプリング周波数をできるだけ低くせざるを得なかったのだが、技術が飛躍的に進歩した現在でも、そのスペックを引きずっているのは問題がある。つまり、データを正確に記録するという点において、ダイナミックレンジや分解能とサンプリング周波数のバランスがとれていないと考えられる。

EDR-X7000は、低消費電力で、かつ高サンプリング周波数でも実効分解能の落ちない18bitADを採用している(Photo 1)。高ダイナミックレンジを達成するため、振幅が小さい場合は64倍増幅した信号を記録するが、振幅が大きくなり振り切れそうになると、自動的に1倍増幅した信号に切り替える機能を持っている。実効的な分解能は100dB程度であるが、時刻分解能を上げるとともに、波形を正しく捉えること、および低消費電力を優先させた仕様である。稠密地震観測用には最適な選択であると考えられる。

消費電流が0.007A以下という低消費電力により、単1電池24本で6ヶ月以上の連続観測が可能となった。重量にして3.3kg程度であり、105Ahのバッテリーの7分の1程度である。近年装置の小型軽量化が飛躍的に進んでいるが、観測システムはバッテリー等も含めた総合的な大きさや重量が重要であり、これにより機動性が飛躍的に高まった。

このような低消費電力下でも時刻精度を保つため、水晶発振子の発振周波数を制御し、さらに制御に用いるパラメータの値を自己学習させることで、1msの時刻精度を実現している(三浦ら, 2010)。自己学習の機能は装置の組み立てにおいても重要な役割を果たした。水晶の発振周波数やその制御パラメータは個体毎に異なっており、特性を揃えることは大変な

作業であるが、自己学習機能により、面倒な調整が不要となり、製作時間、コストの軽減に役立っている。

開発の第2のポイントは、機器の小型・軽量化である。地震観測システムは、センサー(地震計)と記録装置から成るが、上記のように記録装置関係の小型・軽量化は達成されたので、地震計の小型・軽量化が重要である。地震計の改善は大変遅れており、高性能で安定して動作するため今でもよく用いられているL-22D(Mark Products社製)は、30年以上前に開発されたものである。磁石や金属の切り出し加工で製作され、重くて大きい上に、加工の手間がかかるため価格も高かった。今回開発した小型軽量地震計(近計システム社製KVS-300, Photo 1)は3成分一体型の地震計で小型軽量化を実現しつつ(106(W)×104(H)×140(D) mm, 約1.5kg)、L-22Dと同等以上の性能を持っている(詳しくは、三浦ら, 2010)。

開発の第3のポイントは、取り扱いの容易さである。これは、システム全体としての合理的な構成・アセンブリと深く関係している。具体的なスペックとしては、1カ所の設置時間5分以内、背中に5セット背負って、徒歩でも田植えをするように、さくさくと設置可能という目標を掲げた。

背中に5セット背負うことは、上記のような小型・軽量化で既に実現されている。

設置時間の短縮のために下記のような設計とした。露岩上に直接設置できるように、水平レベル調整用ネジのストロークを長く、狭い場所でも設置可能のように水平調節ネジを上側から調整可能とした。地震計と記録装置は両方とも防水とし、防水コネクターをもったケーブルで直接に接続することとした。このため、雨天時でも取り扱いが楽になった。記録装置の各種パラメータはあらかじめCFカードの1枚目書き込んでおくこととした。電源ON時に、CFカード、地震計、GPSのセルフチェック機能を付けた。これにより、設置時間の短縮だけでなく安定的な観測も可能となった。初回設置時にGPSの受信時間を短縮したい場合は、あらかじめ大体の座標をCFカードに書き込んでおき、位置測定をせずに内部時計の調整のみ行えるようにした。設置時間5分という目標はかなり難しいが、GPSの受信確認をskipすれば十分可能である。この場合、システムはGPSを正しく受信した後に自動的にスタートする。

最後に、多点の観測網を作るためには、システムが可能な限り安価であることが望ましい。従来の地震計は、加工・工作のための人件費の占める割合が多かったが、粉末焼結技術を駆使した磁石の採用や上記の水晶の調整の手間の軽減等により、単価を大

幅に下げることが可能となった。

### 3. 次世代型稠密観測網の効果

それでは、これまでに無い高密度の稠密地震観測が、内陸地震の発生予測にどのように役立つのだろうか？ また、どのくらいの数の観測点が必要なのだろうか？ 本節では、仮想的な稠密観測網から得られるデータを用いてシミュレーションを行い、その効果や必要な観測点数を検証する。

#### 3.1 観測点数と応力場の推定精度

最初に、観測点の密度の違いに起因する、応力場の推定能力の差を調べてみた。解析領域内で応力場は一樣であり、その中で20個の地震が発生した場合を想定した。応力場の推定において、断層面が色々な向きを向いていればいるほど、結果の推定精度が高くなる。逆に、一番極端な場合、全ての断層面が同じ向きを向いていたら、応力場は一意には決まらない。そこで、断層面の走向のばらつきを10度以内、傾斜のばらつきを30度以内と仮定した。これは、かなり厳しい条件設定であり、現実のデータは、これよりずっとばらつきが大きいと考えられる(例えば、Kawanishi et al., 2009)。

Fig.3の上側は500点、下側は50点の観測網による解析結果の一例である。東西の最大圧縮応力(s1)、南北の最小圧縮応力(s3)、応力比 $R((s1-s2)/(s1-s3))=0.67$ を与え、20個の地震の初動押し引き分布を理論的に合成し、それを用いてHoriuchi et al.(1988)の方法で応力場を推定した。左側は、青○がs1、緑△が中間主応力(s2)、赤□はs3の方位の推定結果で、小さなシンボ

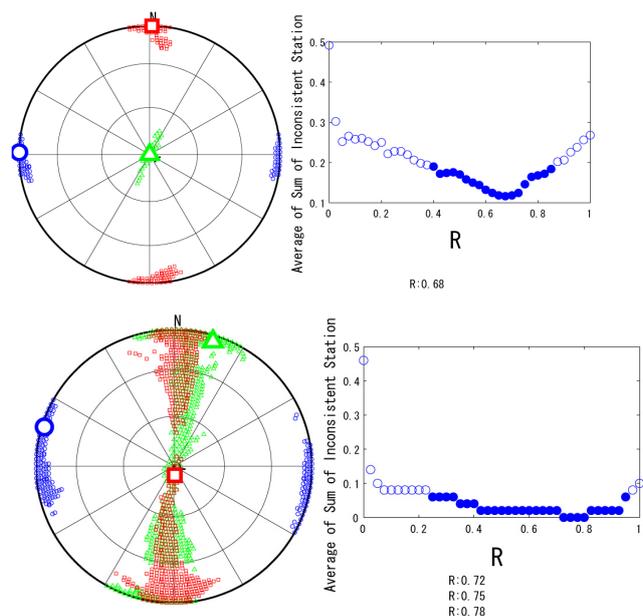


Fig.3 Results of stress inversions.

ルで95%の信頼限界を示す。右側は応力比Rの推定結果であり、塗りつぶした●が95%の信頼限界を示す。50点では、最大主応力の方位の誤差は30度以上あるが、500点では誤差は10度程度である。このように稠密多点になると、厳しい条件下でも応力場を精度良く推定可能であることがわかった。悪い例としてあげた50点というのは現時点ではかなり密度の高い観測網であり、通常の観測網では推定精度はさらに低いと思われる。

近畿地方に仮に500点規模の次世代型稠密多点観測網を設置すると、どのような結果が得られるだろうか？ 近畿地方中北部では気象庁により年間約4千個程度の地震の震源が決定されている。稠密多点観測ではより小さな地震まで検知可能なので、この10倍程度の地震データを記録できると期待される。よって、年間約4万個の地震データが得られることになる。上記のように近接する20個毎のデータセットについて応力インバージョン解析を行うことにより、近畿地方中北部の約2000カ所の「応力場」を毎年推定することが可能となる。天気予報では、各地の気圧の測定値が重要であるが、地震の発生予測においても、応力のデータは極めて重要である。地震データから推定されるのは応力テンソルの中の4成分ではあり、差応力の絶対値を直接推定することは出来ないが、毎年2000点において「応力場」を推定することにより、内陸地震の発生予測に役立つものと期待される。我々は、このような試みを「応力天気図」の作成と呼んでいる。

このような試みが内陸地震の発生予測に本当に役立つのだろうか？ 下記に、内陸大地震に関連する応力場の異常を示唆する例をあげる。Fig.4は、阿武山微小地震観測網のデータから得られた、兵庫県南部地域における1979-1991年の12年間の微小地震のP軸の分布である(P軸の分布は最大圧縮方向の指標となる)(Iio, 1996)。明石海峡に周辺と異なった南北のP軸が見られる。約90度方位が異なっており、これは極めて特異なものであるが、1個の地震だけなのでこれ以上の解析は難しい。

野島断層においてゆっくりすべりが起こったと仮定したときの、周辺の主最大圧縮応力軸の分布をFig.5に示す。図に示した10km×5kmの断層に3mのすべりを与えた。広域応力としては、偏差応力分として東西圧縮応力を80MPaと仮定している。断層の端付近で細かいスケールで応力場が乱れていることが分かる。観測されたP軸の特異な向きはこのようなゆっくりすべりを捉えていた可能性がある。稠密多点観測網により応力場を年々モニターしておれば、このような数百mスケールの異常な変化を検知できるかもしれない。また、Fig.1に示したような深部延

長のすべりによると考えられる応力場の異常が捉えられる可能性も考えられる(Kawanishi et al., 2009)。

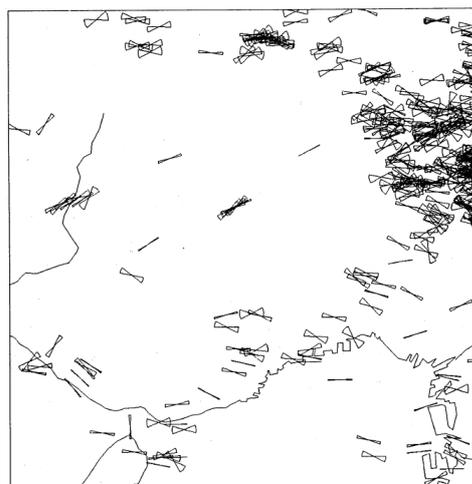


Fig.4 P-axis azimuths in the Southern part of the Hyogo Prefecture.

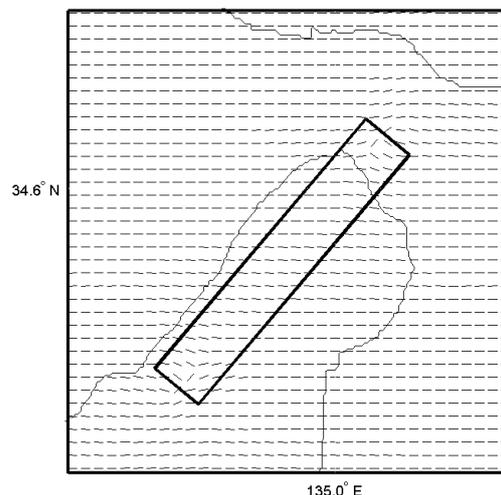


Fig.5 Maximum compressional stress direction around the Nojima fault due to the aseismic slip on the fault.

### 3.2 観測点数と3次元速度構造の推定精度

Fig.6は地震波トモグラフィーの例であるが、左側は980点の仮想的な観測網、右側は長野県西部地域における実際の観測網(57点)(Iio et al., 1999)である。チェッカーボードテストによる、3次元速度構造の分解能を示した。碁盤の目状になっている領域が分解能のある部分であり、実際の観測網では、その中央部で1kmの分解能が得られている。計算時間の制約のため、仮想的な稠密観測網では用いる地震数を制限しデータ数を実際の観測網の場合の1/3程度に抑えているが、それでも、広い領域で500mの分解能が

得られている。

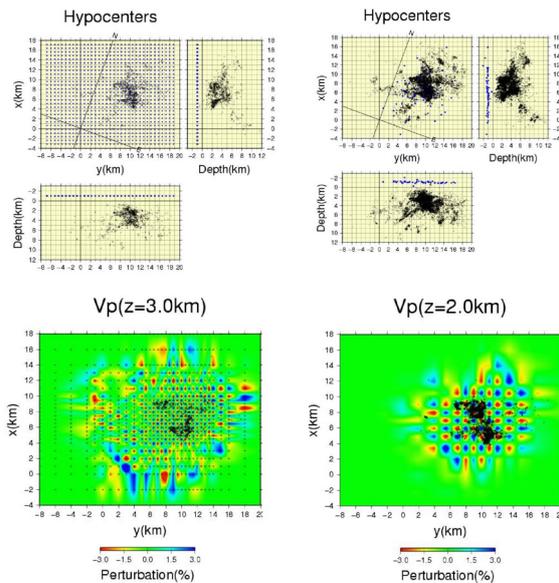


Fig.6 Checker board resolution test for a seismic tomography in the Western Nagano Prefecture region.

ところで、仮想的な観測網は10倍以上の観測点を持っているが、この例では分解能は倍になっすぎていない。これは、3次元トモグラフィーのため、大きさが半分のグリッドでも、モデルパラメータ数が8倍となっているためであると考えられる。つまり、3次元トモグラフィーの分解能を上げるためには、観測点数を飛躍的に上げる必要があると思われる。

#### 4. 他分野における活用

満点システムは、京大防災研の地震・火山関係だけでなく、現時点において、国内外において256カ所に設置されている。海外は、インドネシア グントール火山に14カ所、ニュージーランド クライストチャーチ周辺に29カ所となっている。小型軽量のため、航空機に携行品として容易に持ち込むことが可能であり、海外における観測にも最適である。そのため、2月のクライストチャーチ地震の余震観測網を速やかに立ち上げることが出来た。

これまで、主に自然地震観測に関係した例を紹介したが、はじめに述べたように、満点システムは、様々なフィールド科学において有用であると考えられる。例としては、地すべり地での高密度アレイ観測、河川堤防等での地盤調査のための振動観測、高密度アレイ観測による不整形表層地盤の地震動増幅特性の評価、構造物の振動特性解明のための振動観測、地盤と構造物の動的相互作用評価のための高密

度アレイ観測、高密度アレイ観測による不均質地盤の地震前後の応答特性評価、既往の（離散的なボーリングによる）表層地盤情報の高精度補間などが挙げられる。これらの研究はいずれも、電源を引いたり、太陽電池や大容量バッテリーを装備するのが難しいところでの観測である。既存の装置ではデータを取得することが困難であり、これまでは限定的な研究しか行われていなかった。平成21年度防災研究推進特別事業経費「次世代型地震観測システムの共同利用」によって、西井川地すべりにおける地震動観測(担当：斜面災害研究センター 末峯 章)、谷埋め盛土における地震動の観測(担当：斜面災害研究センター 釜井俊孝)、港湾空港技術研究所内における比較観測(担当：野津 厚)等が行われた。

#### 5. おわりに

これまでの実績によると、満点システムは、単一電池32個で、約8ヶ月間、250Hzサンプリングで連続記録を取ることが出来た。この例では記録媒体は一杯にはなっておらず、スペック上は約9ヶ月連続記録が可能である。単一電池32個を含めても6kg程度と小型・軽量化されており、設置時間も最短で5分程度となっている。

このように、本システムはこれまでの装置とは別次元のものであり、地震・火山関係の観測のみならず、地すべり・地盤・構造物における振動測定など、様々フィールド研究における有力なツールとなるものと期待される。

本システムは、個別の記録装置からなるため、1万点規模でまとめて運用する他に、例えば、百点規模で個人的に使うことも可能である。現在、何でもインターネットで拾ってくるのが日常化しつつあり、学生の研究テーマも、ややもすれば、ネット上でダウンロードできるデータを用いたものになりがちである。安価ではあるが十分な能力を持つシステムを個人で使えるようになれば、学生でも、個人の自由な発想に基づき、フィールドへ出てデータを取得することを中心とする研究テーマを選択可能となると期待される。本システムは、次の世代を育てるためにも有用であると考えられる。

#### 謝 辞

満点システムの開発において、平成18年度京都大学総長裁量経費「超多点フィールド計測システムの開発」、平成19年度防災研究所特別事業費「次世代型地震観測システムの開発」等のサポートをいただいた。各地での観測は、平成19~21年度科学研究費

補助金基盤研究A「地震はなぜ起こるのか?-地殻流体の実体の解明-」, 文部科学省委託業務「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」, 地震・火山噴火予知のための観測研究計画, 平成21年度防災研究推進特別事業経費「次世代型地震観測システムの共同利用」, 平成22年度防災研究所拠点研究「日本-ニュージーランド内陸地震研究ネットワークの構築—代表的な沈み込み帯における比較研究—」, 平成23~26年度科学研究費補助金(基盤研究(A))「内陸地震の断層直下はやわらかいのか?—ニュージーランド南島北部における稠密観測—」等のサポートを受けている。地震波トモグラフィテストはJR総研 野田俊太氏が京都大学在学中に行ったものである。

満点システムは、京都大学防災研究所と株式会社近計システムが中心となって共同開発された。尾池和夫元京大総長には終始励ましていただき、打ち合わせにも数回参加頂いた。株式会社近計システムの高島一徳氏, 大橋善和氏, 内田淳氏, 本橋恵三氏, サイモテック株式会社の古屋和男氏, 日本科学冶金株式会社の佃多喜男氏, 上本育夫氏, 宮崎真二氏, 石川和男氏, 株式会社エス・ジー・ケイの矢口裕隆氏, 京都電測株式会社の宮村清氏, 高田稔幸氏に大変お世話になった。真砂慶一郎氏, 鹿熊英明氏にも大変お世話になった。開発メンバーである九州大学理学部の松本聡氏, 京都大学防災研究所 三浦勉氏, 片尾浩氏, 澤田麻沙代氏, 米田格氏, 中尾節郎氏, 近藤和男氏, 平野憲雄氏, 藤田安良氏, 井口正人氏, 松波孝治氏, 西村和浩氏, 多田光弘氏, 坂 靖範氏, 宮澤理稔氏, 澁谷拓郎氏, 大見士朗氏, 加納靖之氏, 西上欽也氏, 吉村令慧氏, 石川裕彦氏, 理学研究科の大倉敬宏氏, 平原和朗氏, 人間・環境学研究科の酒井敏氏, 満点計画教育プログラムの主要メンバーである, 防災研究所 矢守克也氏, 関西大学 城下英行氏, 共同利用研究のメンバーである防災研究所 釜井俊孝氏, 末峯 章氏, 田村修次氏, 飛田哲男氏, 京都大学人間・環境学研究科 加藤 護 氏, 建築研究所 新井 洋氏, 港湾空港技術研究所 野津厚氏, 鹿児島大学 後藤和彦氏, 高知大学 久保篤紀氏, 名古屋大学 田所敬一氏, 金沢大学 平松良浩氏, 終始支援いただいた防災研究所 岡田憲夫氏を始め関係の皆様へ深く感謝いたします。

観測を行うにあたって, 観測システムを設置させていただき, また, ご協力いただいた日本並びに国外の地主の皆様方, ならびに観測点付近の住民の皆様へ深く感謝いたします。

## 参考文献

飯尾能久 (2009a): 内陸地震の発生過程, 地震II, 第

61巻特集号, S365-S378.

飯尾能久 (2009b): 内陸地震はなぜ起こるのか?, 近未来社, 名古屋.

飯尾能久 (2010a): 内陸地震の発生過程の解明, 自然災害科学, 28-4, 284-298.

飯尾能久 (2010b): 飛躍的に進んだ内陸地震研究 阪神・淡路大震災からの15年, ないふる, 77,2-3.

飯尾能久 (2010c): 内陸地震はどうしておこるのか?, 地震ジャーナル, 49, 1-8.

防災科学技術研究所 (2009): ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト 平成19年度成果報告書, <http://www.hizumi.bosai.go.jp/report-index.html>.

防災科学技術研究所 (2010): ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト 平成20年度成果報告書, <http://www.hizumi.bosai.go.jp/report-index.html>.

三浦 勉・飯尾能久・片尾 浩・中尾節郎・米田格・藤田安良・近藤和男・西村和浩・澤田麻沙代・多田光弘・平野憲雄・山崎友也・富阪和秀・辰己賢一・加茂正人・澁谷拓郎・大見士朗・加納靖之 (2010): 近畿地方中北部における臨時地震観測, 京都大学防災研究所年報, 53B, 203-212.

Horiuchi, S., Rocco, G. and Hasegawa, A. (1988): Discrimination of fault planes from auxiliary planes based on simultaneous determination of stress tensor and a large number of fault plane solutions, *J. Geophys. Res.*, 100, 8327– 8338.

Iio, Y. (1996): Depth-dependent change in the focal mechanism of shallow earthquakes: Implications for brittle-plastic transition in a seismogenic region, *J. Geophys. Res.*, 101, 11209-11216.

Iio, Y., Ohmi, S., Ikeda, R., Yamamoto, E., Ito, H., Sato, H., Kuwahara, Y., Ohminato, T., Shibasaki, B. and Ando, M. (1999): Slow initial phase generated by microearthquakes occurred in the western Nagano prefecture, Japan -the source effect-, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 13, 1969-1972.

Kato, A., E. Kurashimo, T. Igarashi, S. Sakai, T. Iidaka, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Yamada, N. Hirata, and T. Iwasaki (2009): "Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes", *Geophys. Res. Lett.*, 36, L05301, doi:10.1029/2008GL036450.

Kawanishi, R., Iio, Y., Yukutake, Y., Shibutani, T. and Katao, H. (2009): Local stress concentration in the seismic belt along the Japan sea coast inferred from precise focal mechanisms: implications for the stress accumulation process on intraplate earthquake faults, *J. Geophys. Res.*, 114, B01309, doi:10.1029/2008JB005765.

**Development of a Seismic Observation System in the Next Generation  
- to Install Ten Thousands Stations -**

Yoshihisa IIO

**Synopsis**

We developed a new seismic observation system in the next generation, with the initiative of DPRI Kyoto Univ. and Kinkei System Co.. We were able to record about 8 months continuous seismic data with 250 Hz sampling frequency and 32 dry cells. The system is small and light. The total weight is only about 6 kg, including those 32 dry cells. It takes only several minutes to install one station. This system is extremely useful and it is expected that this system will be a main tool for all the field works.

**Keywords:** manten system, dense array observation, seismometer, power saving, small and light

## Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, Shiaolin, Taiwan

Ching-Ying TSOU, Zheng-Yi FENG\* and Masahiro CHIGIRA

\* Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taiwan

### Synopsis

Typhoon Morakot induced the catastrophic and deadly Shiaolin landslide in southern Taiwan on 9 August 2009, resulting in more than 400 casualties. We undertook a geological and geomorphological investigation with the aim of reconstructing the events leading up to this landslide and to clarify factors that contributed to its development. The research results have been published with the title “Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, Shiaolin, Taiwan” to the Journal of Geomorphology, volume 127, in 2011, where we provided the same contents as this paper. Cumulative rainfall reached up to 1676.5 mm in about three days under the influence of the typhoon, and the Shiaolin landslide, with a volume of  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ , occurred one day after the peak in rainfall intensity. The landslide occurred on a dip slope overlying late Miocene to early Pliocene sedimentary rocks consisting of silty shale, massive mudstone, and sandstone. It started as a rockslide in the upper third of the landslide area and transformed into a rock avalanche that crossed a series of terraces and displaced or buried the village below. It buried the riverbed of the Chishan River and ran up the opposite slope, creating a landslide dam 60 m high, which was breached about 1 hour and 24 minutes later, flooding the village. The velocity of the landslide is estimated to have been 20.4 to 33.7  $\text{m s}^{-1}$  and its apparent friction angle was  $14^\circ$ , which indicates its high mobility. The detachments in the source area consist of combinations of bedding planes and joints or faults. The landslide was preceded by gravitational deformation, which appeared as hummocky landforms before the landslide and as buckle folds exposed after the event. The landslide deposits consist of fragments of mudstone, shale, and sandstone, as well as clayey material at its base. This clayey material, consisting of illite, chlorite, quartz, feldspar, and calcite, is assumed to have strongly influenced the long, rapid runoff.

**Keywords:** Typhoon Morakot, landslide, deep-seated landslide, gravitational slope deformation, Shiaolin

### 1. Introduction

A catastrophic landslide is a rapid, large gravitational mass movement, which changes the topography and remains for a long time. Guthrie and Evans (2007) regarded a landslide as catastrophic when it is individually formative and

persist more than 10 times longer than moderate sized landslides. Many catastrophic landslides accompany avalanches—events that in their post-failure stage involve rapid runoff and emplacement of relatively thin sheets of crushed, pulverized, and dry rock (Hewitt et al., 2008). Rock avalanche, which is also called sturzstrom (Heim,

1932; Hsü, 1975), may be complex as rockslide-avalanche (Mudge, 1965), or rockfall avalanche (Schuster and Krizek, 1978). Previous research on catastrophic landslides has been reviewed several times (Voight, 1978; Evans and DeGraff, 2002; Hewitt, 2006) and has shown that many are induced by earthquakes. Fewer cases have been reported of catastrophic landslides induced by rainstorms (Sidle and Chigira, 2004; Catane et al., 2007, 2008; Evans et al., 2007; Guthrie et al., 2009). In such cases, rock debris may be saturated with water (classified as debris flows) or not saturated (classified as debris avalanches) (Takahashi, 2010). One of the most recent catastrophic landslides occurred at Mt. Canabag in southern Leyte Island, Philippines, in 2006, which followed a continuous heavy rainfall and two recorded small earthquakes (Catane et al., 2007, 2008; Evans et al., 2007; Guthrie et al., 2009).

Catastrophic landslides are commonly preceded by gravitational deformation (Voight, 1978; Chigira, 1992, 2001; Chigira and Kiho, 1994; Evans and DeGraff, 2002; Crosta et al., 2006), although this by itself does not necessarily transform into catastrophic failure. The failure of slope is controlled by internal factors, such as fracture development in rock mass and external factors (Kilburn and Petley, 2003; Korup, 2004; Petley et al., 2005). Gravitational deformation creates a variety of internal structures and new materials (Hutchinson, 1988; Chigira, 1993a), some of which are more susceptible to earthquakes and others to rainstorms. Therefore, gravitational deformation may provide a clue in predicting potential sites of catastrophic landslides, and it must be interpreted in the context of slope development.

Progress in understanding these issues depends on the accumulation of case histories, particularly for contemporary landslides, as prehistoric landslides provide no direct information on their behavior and pre-event conditions. Here, we present the results of a geological and geomorphological investigation of the most recent rain-induced catastrophic landslide, which was triggered by Typhoon Morakot in Taiwan on 9 August, 2009.

Typhoon Morakot swept Taiwan on 7 August 2009, resulting in 619 deaths, 76 missing persons, the temporary evacuation of 24,950 residents,

flooding, and more than US\$ 5 billion in economic losses (National Disasters Prevention and Protection Commission, 2009). It also isolated numerous villages in southern mountain areas of Taiwan. It was the worst typhoon disaster in Taiwan for 50 years. The typhoon landed at Hualian in eastern Taiwan, crossed the island in a northwestward direction, and left at Taoyuan on the northwest coast (Fig. 1). The typhoon, which was a medium-strength event according to the classification system of the Taiwan Central Weather Bureau, with a maximum wind speed of  $40 \text{ m s}^{-1}$ , set a precipitation record of 2749 mm for a single rainfall event at Alishan, where the previous rainfall record of 1749 mm was set by Typhoon Herb in 1996 (Lin and Jeng, 2000).

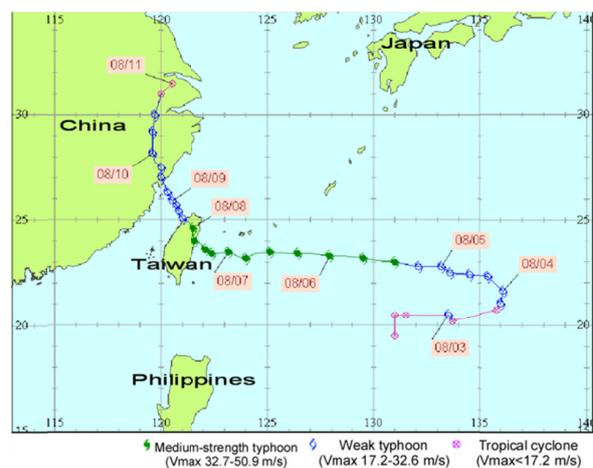


Fig. 1. Path of Typhoon Morakot (after Taiwan Central Weather Bureau, [www.cwb.gov.tw](http://www.cwb.gov.tw)).

The catastrophic landslide at Shiaolin Village, Kaohsiung County, was the largest landslide induced by Typhoon Morakot (Fig. 2). It occurred at 6:16 AM (local time) on 9 August, when the cumulative rainfall had reached 1676.5 mm, about three days after the start of rainfall according to the record at the Jiasian station (C0V250) of the Taiwan Central Weather Bureau, located 11.4 km SSW of the village (Fig. 3). The landslide dammed the rain-swollen Chishan River, but the dam was breached at about 7:40 AM on 9 August, flooding the downstream area (Feng, 2011). Abrupt river water level changes were recorded at 27.8 km downstream of Shiaolin Village (Feng, 2011): 2.75 m drop during the period from 7:10 to 7:50 AM and 7.88 m rise during the period from 8:40 to 9:30 AM.

Total casualties in Shiaolin Village were more than 400 people dead and missing. The village itself no longer exists.

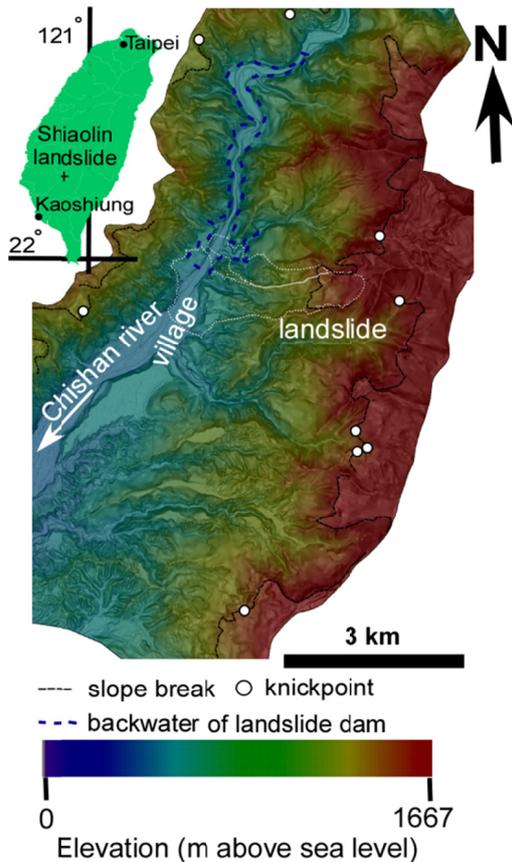


Fig. 2. Image map of the study area showing an elevation image superimposed on an inclination image. Low-relief surfaces occur at higher elevations, and terraces occur at lower elevations along the Chishan River. Small streams have knickpoints along the slope breaks. Formation of the landslide dam caused inundation of the area within 5 km upstream of the dam, as shown by the blue dashed line.

We investigated the Shiaolin landslide through fieldwork and analyses of digital elevation models (DEMs), topographic maps, rainfall data and seismic records, as well as analyses of mineralogy and particle size distribution of the landslide material. The main purposes of this study are: (I) to characterize the geological and geomorphological features of the Shiaolin landslide, (II) to describe the role of rainfall in this landslide and (III) to discuss whether it would have been possible to predict this landslide in advance.

## 2. Method

We conducted field investigations at two and seven months after the event, using a 1:10,000 scale topographic map that was magnified from a 1:25,000 scale map. We used a 5-m mesh DEM published by the Ministry of Interior of Taiwan to derive elevation and slope maps before the landslide. The Ministry constructed a new DEM after the event at the same resolution, which was used to analyze topographic changes. Rock-forming minerals were analyzed using an X-ray diffractometer (Rigaku Gaigerflex RAD IIB). Ethylene glycol treatment was used to identify clay minerals. We interpreted photographs downloaded from the Taiwan News website ([www.etaiwannews.com](http://www.etaiwannews.com)) to examine the topography after the event and observed Google Earth imagery for the topography before the event. We referred to the information given by Takeshi Shibasaki of the Japanese broadcasting service Nippon Hoso Kyokai (NHK), who conducted thorough interviews with local residents, to reconstruct the landslide event. We used seismological data of two broadband stations of the Taiwan Central Weather Bureau: SGSB in Jiasian Township and TWMB in Chishan Township (11.4 km SSW and 47 km SSW from Shiaolin Village, respectively), to determine the timing and duration of the landslide event (Fig. 4). The distance between the landslide toe and the foot of source area (1.94 km) and the distance between the toe and the crown of the source area (3.2 km) were divided by the duration to estimate the landslide velocity. Precipitation was recorded at the Jiasian rainfall station (C0V250) (Fig. 4).

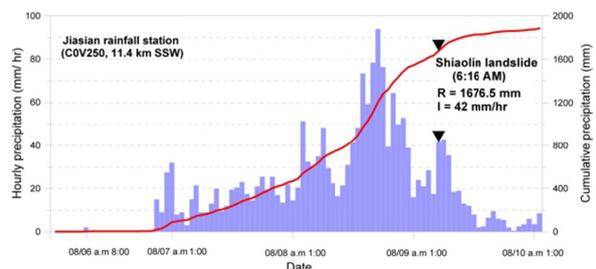


Fig. 3. Hourly and cumulative rainfall observed at Jiasian station (C0V250), 11.4 km SSW of the Shiaolin landslide (data from Taiwan Central Weather Bureau).

### 3. Geomorphological and geological setting

The region, located in the southern Western Foothills of Taiwan, is underlain by sedimentary rocks of Quaternary, Pliocene, and Miocene age (Fig. 4). The NE–SW-trending Neiying Fault, oriented parallel to the general strike of strata, runs across this area (Central Geological Survey, 2010a). The village was located on the valley floor on the left bank of the Chishan River, which flows southwestward in the mountains. Above the village was a 70-m-high terrace scarp with the terrace top at elevations of 400 to 450 m (Fig. 5). Terrace gravels were exposed in windows at the edge of the terrace after the landslide. Slopes above the terrace steepen to the east (from 15° to 78°) to reach a wide ridge of 700 to 1660 m in height, trending NNE–SSW with a low-relief top surface with slopes mostly less than 15°. The low-relief surface slopes to the west and terminates mainly at convex slope breaks. Small streams descending from the NNE–SSW-trending ridge have knickpoints along the slope breaks as shown in Fig. 2. The source area of the Shiaolin landslide is on a west-facing slope with elevations from 770 to 1280 m, at the rim of the low-relief surface. A small stream ran westward from a point at an elevation of 800 m before the landslide (Fig. 5), which became the foot of the source area of the landslide. The stream flow changed direction to northwestward at an elevation of 520 m and then to west-northwestward, dissecting the terrace. Pebble to cobble gravel beds were found to overlie mudstone at the elevation of 580 m on the E–W ridge, which indicates that the ridge was once a river terrace. The terrace surface, however, has been removed by erosion.

The Shiaolin landslide and subsequent flooding of the Chishan River stripped off vegetation and exposed new outcrops in a wide area. Consequently, the geologic map compiled during the present study improves upon the previous 1:50,000 scale geologic map, which was made from fewer outcrops by the Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs (Sung et al., 2000). The study area is underlain by the late Miocene to early Pliocene Yenshuikeng Formation (Sung et al., 2000), which consists of mudstone, sandstone, and shale (Fig. 6).

The fresh sandstone is more strongly indurated than the mudstone and shale, and is estimated to have a uniaxial compressive strength of about 15 Mpa (Central Geological Survey, 2010b). The sandstone contains molds of dissolved shell fossils. The mudstone and shale include beds of siltstone and silty shale.

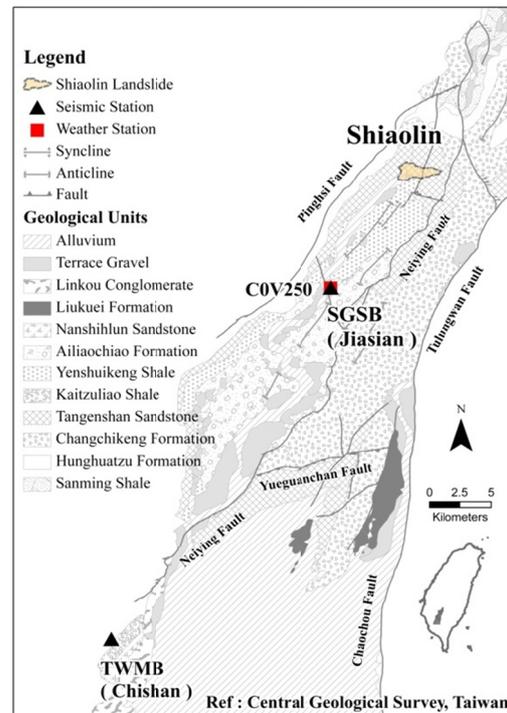


Fig. 4. Geologic outline map and locations of Jiasian weather station (C0V250) and seismic stations of the Taiwan Central Weather Bureau. Stations SGSB in Jiasian Township and TWMB in Chishan Township are within a region dominated by sedimentary rocks, based on a geologic map published by Central Geological Survey (2010a).

The geologic structure in and around the location of Shiaolin Village is characterized by an asymmetrical syncline whose axis trends NNE, plunges to the SSW, and runs to the east of the village. The beds on the west limb strike NE–SW and dip 30°–75° to the SE; the beds on the east limb strike NW–SE and dip 22°–48° to the SW. The source area of the landslide was the dip slope of the east limb of the syncline. This plunging syncline would show simple traces of strata on a horizontal cross-section, but because the strata and slopes on the east side of the Chishan River have similar attitudes, the bedding traces have rather complicated patterns. High-angle faults trending

NNE–SSW and E–W are found in the study area. An E–W-trending fault was exposed as the boundary of the southern margin of the landslide, and a NNE–SSW-trending fault bounded the eastern margin (Fig. 6). To the east of the NNE–SSW-trending fault, an NNE–SSW-trending anticline axis is shown in the 1:50,000 scale geologic map (Sung et al., 2000) outside the present study area.

#### **4. Characteristics of the Shiaolin landslide**

##### **4.1 Morphology and deposits of the landslide**

The Shiaolin landslide is 3.2 km long in an E–W direction and 0.8 to 1.5 km wide. The total fall height was 830 m from the top of the head scarp, at an elevation of 1280 m, to the toe of the landslide deposit at 450 m. The runout distance was about four times the total fall height, and its apparent friction angle, which is a parameter of landslide mobility, was 14°. A comparison of the topography before and after the landslide shows that the terrace above the village and the E–W-trending ridge to its northeast remained, and that the source area was the upper third of the landslide area. The source area is divided by the E–W-trending ridge into a larger southern part (source area A) and a smaller northern one (source area B) (Fig. 5a). The northern side of this ridge is cut by E–W-trending joints, as described below. The depth of the slide in the source area was estimated to be largely uniform, based on a comparison of DEM data before and after the event (Fig. 7). Calculations based on these DEMs indicate that the maximum depth of the landslide is 86.2 m in source area A and that the rock volume lost from source areas A and B was  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Corresponding to the two source areas, the depositional area is also separated into two areas (areas A' and B') by the same ridge that bounds the two source areas (Fig. 5a).

Landslide deposits consist of blocks of sandstone, mudstone, shale, and dark clayey material containing mudstone fragments. The surfaces of landslide deposits displayed wrinkles, streaks of rock blocks of the same colors, and streaks of soil clods. Sandstone blocks of landslide deposits are larger than mudstone or shale blocks, with many being 2 to 5 m in diameter and a few as

large as 10 m across. The deposits are topped with trees and grass, which are not mixed into the deposits even in the distal part across the Chishan River. The terrace surface above Shiaolin Village was covered by a layer of debris averaging 18 m in thickness, and the small valley was buried by debris to a maximum thickness of 82.5 m, so that only a small valley remained with its channel shifted about 50 m northward from its original location. Debris that covered Shiaolin Village was largely flushed away by surge waves after the dam breach, leaving landslide deposits mostly less than 10 m thick, topped with scattered large rock blocks. Landslide debris at the distal end across the Chishan River toppled trees forward and buried them. A N–S-trending linear step was found in these deposits 36 m from the landslide toe, which was 1 m high and 400 m long. This suggests that the deposits settled downhill after rushing up the slope.

The debris from source area A moved straight across the terrace surface or was deflected by a small mound at 580 m elevation and then descended the small valley dissecting the terrace, and swept across the Chishan River, forming a landslide dam. The debris from source area B moved northwestward to northward down a small valley, hit a spur projecting from the north side of the valley, and then changed direction to westward to reach the Chishan River. This distal part is assumed to have been thin and immersed in the lake behind the landslide dam.

##### **4.2 Landslide dam**

Substantial amounts of debris from source area A moved rapidly downhill to the west, burying the village, crossed the Chishan River and climbed 80 m up the opposite slope to an elevation of 460 m. Debris that was derived mainly from the small valley dissecting the terrace blocked the 80-m-wide river channel and formed a debris dam. From the topographic map and the DEMs, we estimate the landslide dam to have been 60 m high with its crest elevation at 435 m, which was the elevation of water marks in a house on the right bank of the river just upstream of the dam (Jia-Jyun Dong, pers. com.). Upstream from this dam, we observed signs of water on the slopes of both sides of the river: vegetation was draped on trees and grass was

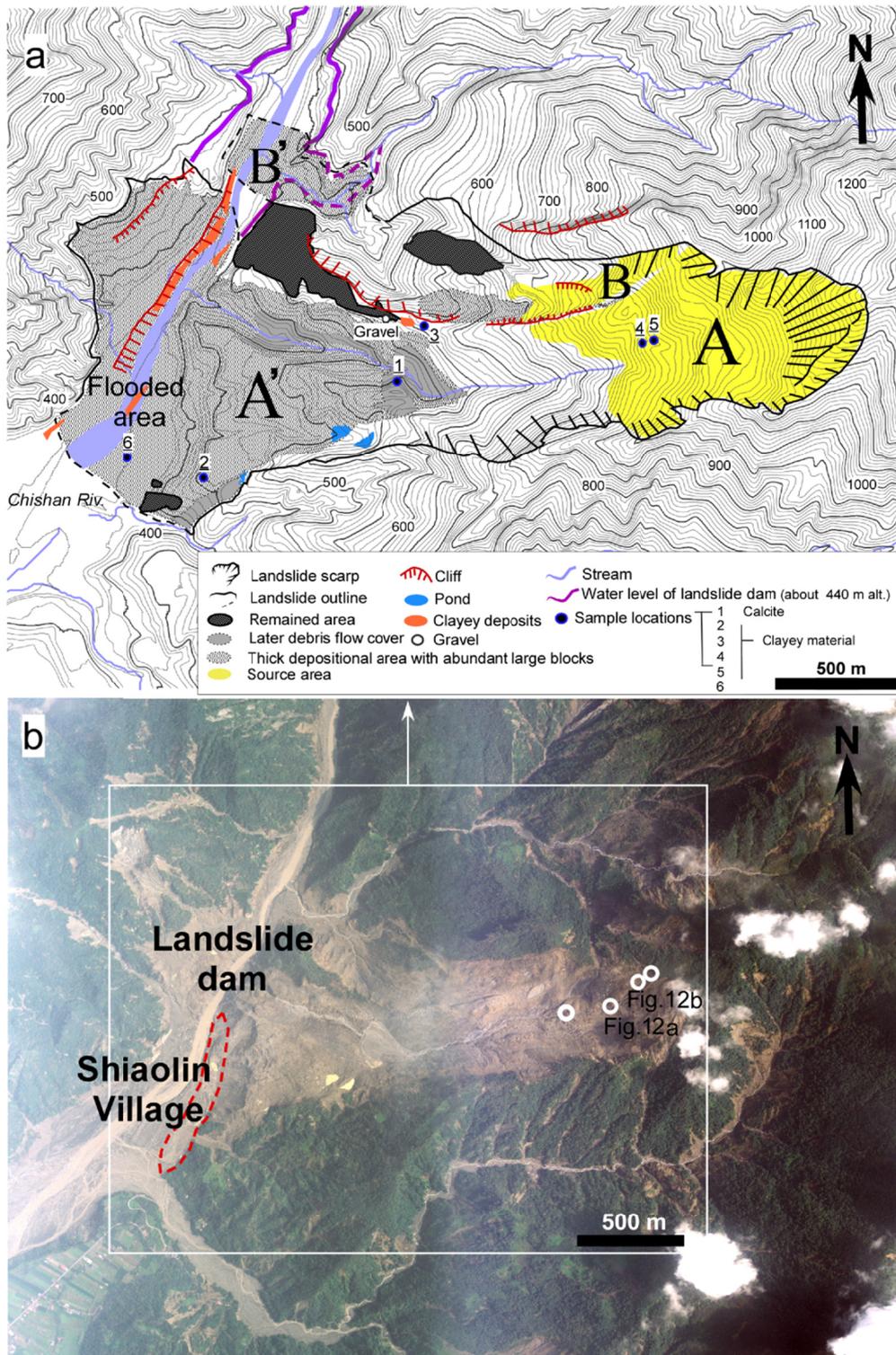


Fig. 5. Morphological features of the landslide and an aerial image of the area. (a) Morphological features of the landslide. The 10-m contours indicate the topography before the landslide. (b) Aerial image taken on 21 August 2009 by the Aerial Survey Office, Forestry Bureau, Taiwan. Circles indicate the locations of gravitationally deformed beds.

flattened. The backwater of the lake reached 5 km upstream from the dam, corresponding to a lake volume of  $34.7 \times 10^6 \text{ m}^3$  and a catchment area of

$353.9 \text{ km}^2$ . The internal structure of the dam was observed on the sides of its breach. The side on the right bank of the Chishan River contains a lower

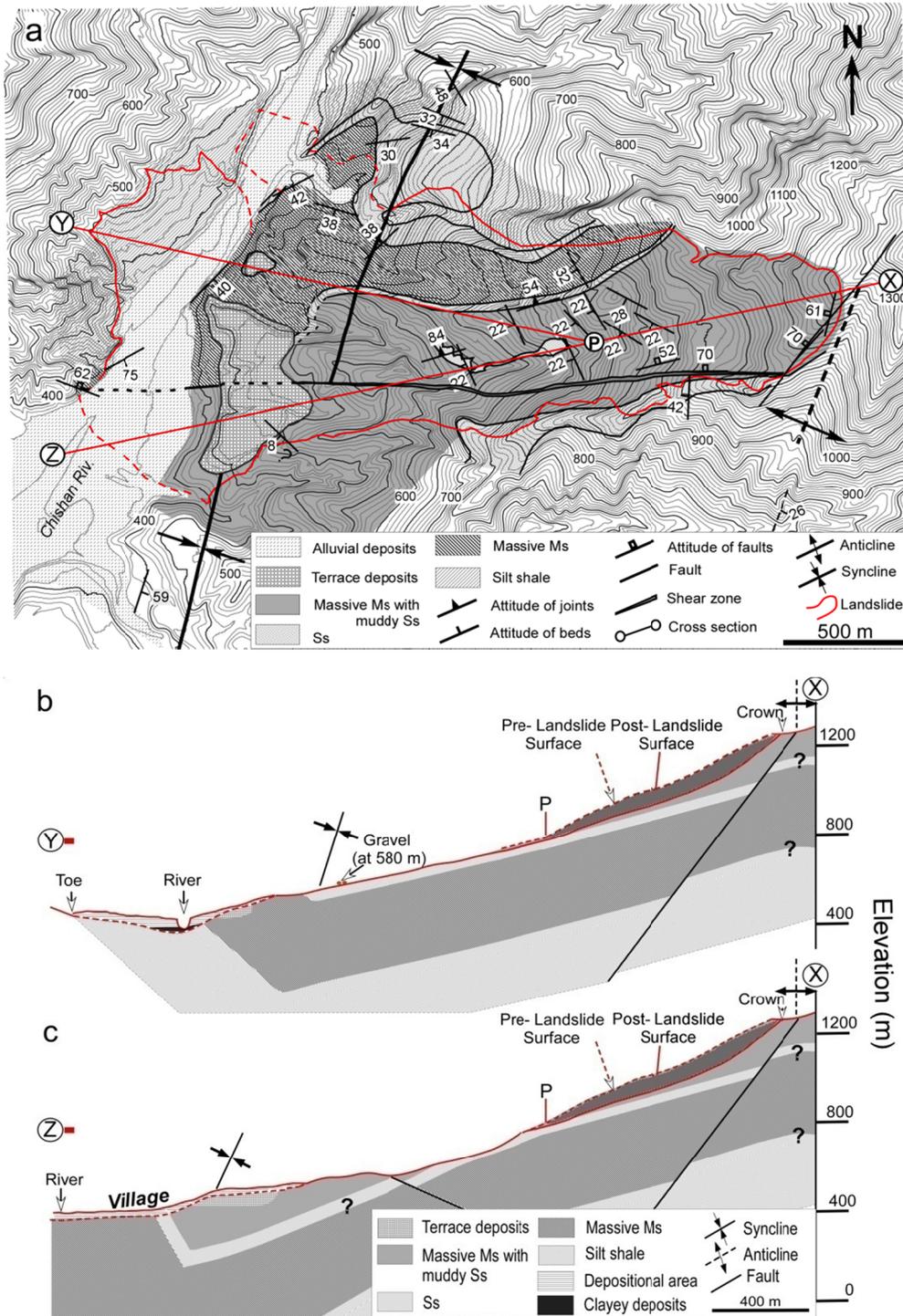


Fig. 6. Geologic map (10-m contours show the topography before the event) and cross-sections along slope lines. The distribution of geologic units within the landslide area has been reconstructed from data obtained after the landslide. Data on bedding and fault attitudes within the landslide area were measured after the event. Ms: mudstone; Ss: sandstone.

layer of dark gray clayey material and a 10-m-thick upper layer of rock blocks. The upper surface is covered by trees and grass. The landslide dam burst at 7:40 AM on 9 August (Feng, 2011), and the ensuing flood flushed away much of the

downstream debris of the landslide.

#### 4.3 Duration of the landslide event

The seismic waveforms induced by the Shiaolin landslide were recorded by broadband observatories.

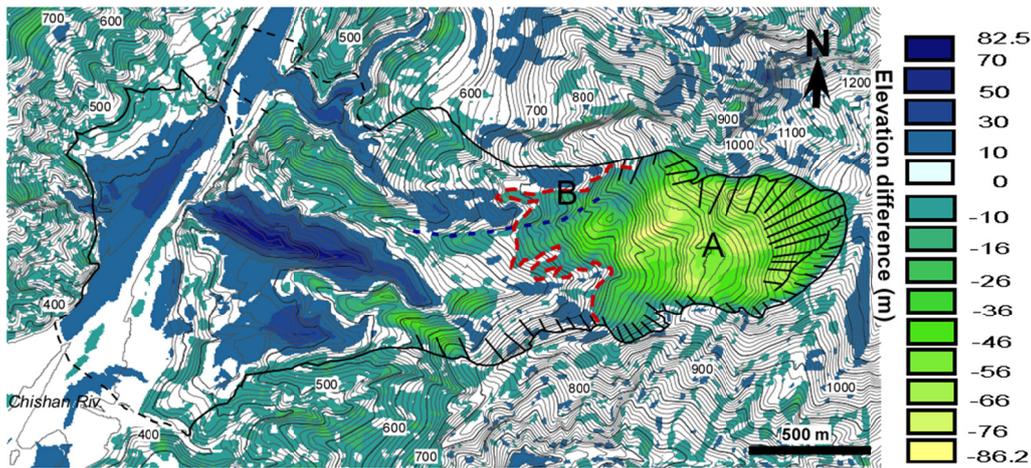


Fig. 7. Topography before and after the landslide event, derived from DEMs and a contour map published before the landslide. East–west-trending joints (blue dashed line) separate the source area into two parts. The base of the source area is indicated by the red dashed line.

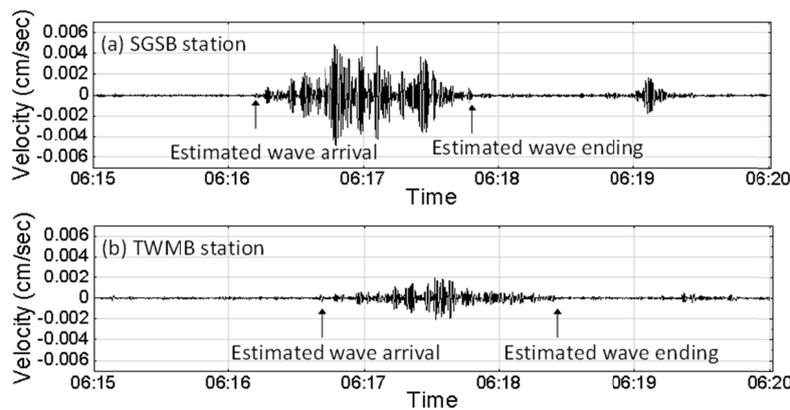


Fig. 8. The 5th intrinsic mode functions of the N–S velocity components of the signals recorded at stations SGSB and TWMB during 06: 15–06:20 AM on Aug. 9, 2009.

Records from two stations, SGSB at Jiasian and TWMB at Chishan, were selected for analysis in this study. Because Shiaolin Village lies along a sublinear NE–SW-trending line that also contains stations SGSB and TWMB, the N–S components of the two stations were analyzed. The signals are mixed with noise, especially the N–S velocity signal of station TWMB. We employed empirical mode decomposition (Huang et al., 1998; Crockett et al., 2010) to “sift” each N–S velocity signal into a set of intrinsic mode functions (IMFs), and we adopted the 5th IMFs of the signals at both stations (Fig. 8) for analysis of the wave propagation in this region. The seismic wave arrived at SGSB at approximately 6:16:15 AM and ended at 6:17:50 AM, which suggests that the landslide seismic signal lasted 95 s. The seismic wave arrived at station TWMB at 6:16:40 or 6:16:45 AM. Therefore, the travel time of the landslide wave

between these two stations, 33 km apart, was 25–30 s. Because this line between the stations is dominated by sedimentary strata (Fig. 4) that strike subparallel to the line, we can assume a homogeneous medium and obtain a wave velocity of 1.1–1.32 km s<sup>-1</sup>. Taking an average velocity of 1.21 km s<sup>-1</sup> to represent the wave speed in this region and the distance between Shiaolin and station SGSB of 11.4 km, the travel time of the landslide wave was 9.4 s. This would put the start of the landslide at 6:16:06 AM, and this result is consistent with Lin et al (2010) and eyewitness accounts. From the vibration signal, the duration of the landslide was 95 s.

#### 4.4 Geological structure and detachments

Source areas A and B are located on dip slopes on the east limb of the syncline. Source area A was occupied by massive mudstone with minor

sandstone and shale beds overlying a large sandstone bed, which is 30 m thick and was probably exposed along the stream bed before the landslide, because no elevation change occurred there (Figs. 7 and 9a). After the landslide, this sandstone was covered by shale and mudstone on the north side of the stream. It was newly exposed on the north side of the E–W-trending ridge (Fig. 9b), along E–W-trending en echelon joints dipping  $54^{\circ}$ – $84^{\circ}$  to the N (Fig. 9c). Planar sliding surfaces in shale located stratigraphically just above the thick sandstone are exposed in an area tens of meters across, beneath the debris in the middle and northern parts of source area A. An E–W-trending high-angle fault bounded the south rim of source area A (Fig. 9d), and an NNE–SSW-trending high-angle fault controlled the crown of this source area. Within source area B, sliding surfaces on shale below the thick sandstone bed and on another sandstone bed are exposed beneath debris. The detachment surfaces in source area B are this bedding plane in the north and the joints in the

south, defining the E–W ridge. Bedding planes in source area A, which strike NW–SE and dip  $28^{\circ}$  to the SW, contain striations showing movement to the west (Fig. 10a). Westward or northwestward striations are developed on the joints bounding the south side of source area B (Fig. 10b).

#### 4.5 Weathering

Calcite veins, which are commonly observed within the sandstone blocks of the deposits showed signs of dissolution in many blocks, being stained with iron precipitates (Fig. 11a). This is indicative that the calcite veins had already been dissolved before the landslide event. In addition, water flowing out of the source area precipitated calcite, which was identified by XRD analysis, on the bed of the stream in the depositional area after the event. This calcite occurred as thin films of pale yellow material (Fig. 11b). Calcite precipitation was recognized in many locations in the depositional

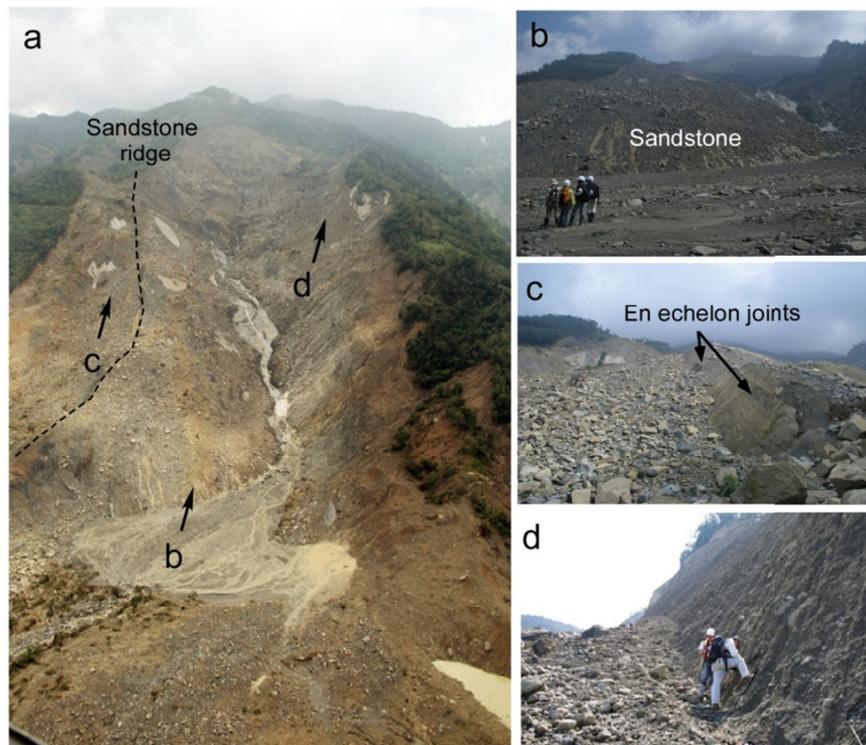


Fig. 9. Photographs of the landslide. (a) View of the upper two-thirds of the landslide. Dashed line indicates the E–W-trending sandstone ridge. Photo downloaded from Taiwan News ([www.etaiwannews.com](http://www.etaiwannews.com)). The arrows indicate the direction of photographs b, c and d. (b) Sandstone bed that was probably exposed along the stream bed before the landslide occurred. (c) Detachment surfaces in source area B showing bedding planes in the north and E–W-trending en-echelon joints in the south. (d) East–west-trending high-angle fault bounding the southern margin of source area A. Rock debris on this surface adheres to fault gouge.

area and in the bed of the stream in the source area at its upstream end. Besides the pale yellow precipitates, white powdery precipitates occur on dry mudstone surfaces as weathering products. These were identified as thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), and halite ( $\text{NaCl}$ ) by XRD analysis.

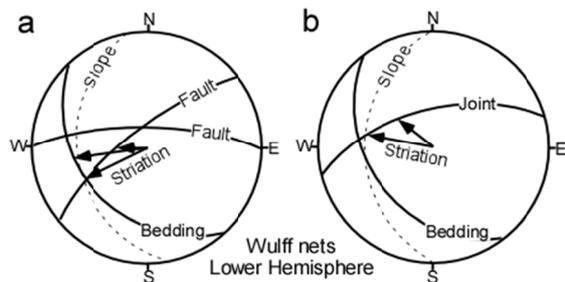


Fig. 10. Stereographic projections showing the orientations of bedding, faults, striations, and average slope attitude for (a) source area A and (b) source area B.

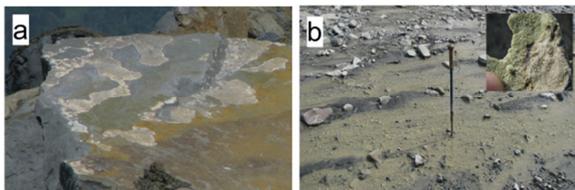


Fig. 11. Photographs of calcite veins and precipitation. (a) Calcite veins within sandstone blocks. (b) Calcite precipitated on the stream bed, deposited from water from the source area.

#### 4.6 Gravitational slope deformation

Large volumes of destabilized material remained after the landslide in source areas A and B. In source area A, this material resembled debris, but we could recognize its continuity with previous bedding, particularly sandstone beds on the head scarp. The material was fractured but still maintained the morphology of beds. We found gravitationally deformed beds of alternating beds of sandstone and shale beneath this “debris” in at least four locations in the upper part of source area A. The beds were buckled, forming undulating beds or asymmetrical folds with a near-vertical downslope limb (Fig. 12). These buckle folds have limbs as long as 10 m. This deformation was accompanied by brittle fracturing and many fracture openings, particularly in sandstone beds, indicating that the

deformation occurred near the ground surface.

Before the landslide, the slopes in the source area, where the buckle folds were found after the landslide, had hummocky rather than smooth surfaces, which are clearly identified on a Google earth image. Source areas A and B had irregularly shaped bulges and depressions, as shown in Fig. 13. These locations are related to the locations where buckle folds were found. We therefore assume the hummocky landforms to be the surface expression of gravitational deformation of the beds. Before the landslide, a stream emerged from the bottom of these hummocky slopes.

#### 4.7 Characteristic and distribution of clayey material

At the base of the remaining debris in the lower part of source area A, there occurs dark-colored clayey material containing mudstone fragments (Fig. 14a). This material has chaotic texture and also fraction banding induced by shearing. The clayey material occurs in layers 1 to 2 m thick and consists of illite, chlorite, quartz, feldspar, and calcite, as identified by X-ray analysis. No swelling minerals were identified.

Dark clayey materials were found at the base of the deposits at the landslide dam site and in the depositional area usually as masses protruding from rock block debris. They are the same as those found in the source area, in terms of texture and mineralogy. These observations suggest that clayey materials form the basal part of the deposits. We observed the base of the deposits on the left bank of the Chishan River, where clayey material overlies alluvial gravel (Fig. 14b). The clayey material contains shear bands of up to 10 cm in thickness, in which platy rock fragments are aligned (Fig. 14c). The shear bands dip  $36^\circ$  to the S and are intercalated with weakly sheared zones that contain disintegrating mudstone blocks with “jigsaw structure”.

### 5. Discussion

#### 5.1 Geological causes of the landslide

We found that the orientation of the intersection lines of the en-echelon joints, high-angle fault, and bedding planes was the fundamental structural

cause of the ShiaoLin landslide. The detachments consisted of bedding planes and high-angle faults in source area A, and bedding planes and en-echelon joints in source area B. The detachments exposed along the bedding planes are developed in shale next to thick sandstone beds, in both source areas. We found no bedding-parallel faults in the study area, but the beds are folded by a flexural slip mechanism, so bedding-parallel faults could have been produced by flexural slip along bedding planes that may have become a sliding surface of the landslide (Wang et al., 2003). The detachments bounding the south side of source areas A and B are a high-angle fault and en-echelon joints, respectively. The intersections of bedding planes

and the faults or joints dip  $27^\circ$  and  $25^\circ$  respectively to the west, at a slightly lower angle than the surface slope; consequently, the intersection lines daylighted downslope (Fig. 10). Thus the orientation of these intersection lines was the fundamental structural cause of the landslide. In addition, the crown in source area A was controlled by an NE-trending fault.

Weathering, particularly dissolution of calcite, which is contained in rock matrices and veins, played a significant role in landslide initiation. The dissolution of calcite veins on the surfaces of rock blocks and iron staining along fractures increased fracture openings and separated blocks in the source area before the landslide occurred. The dissolution

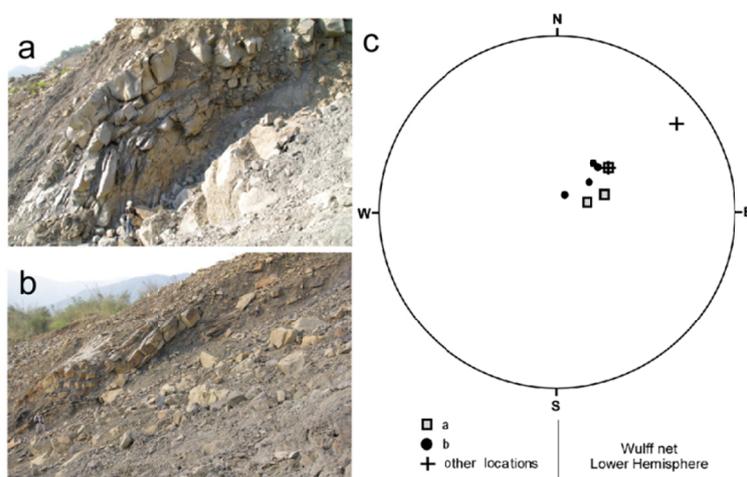


Fig. 12. Photographs of outcrops of the upper part of the landslide (a and b) and stereographic projection showing the orientation of folded beds (c). Buckle folds and abundant open fractures were observed in the rocks (see Figs. 5b and 13a for locations). The stereographic projection indicates that the folds have NW–SE-trending axes, indicative of movement to the SW.

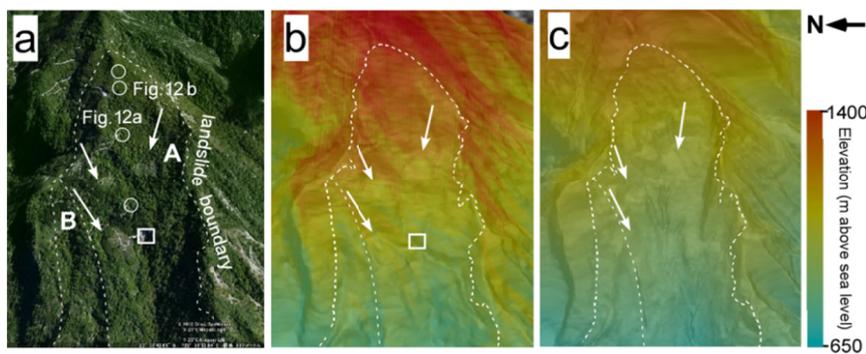


Fig. 13. Landforms in the source area before and after the landslide. (a) Google Earth image before the event. (b) Elevation image before the event, as constructed using a 5-m mesh DEM. (c) Elevation image after the event, as constructed using 5-m mesh DEM. Source area A had irregularly shaped bulges (arrows) and depressions, as shown in (a) and (b). Circles indicate the locations of gravitationally deformed beds (same locations as in Fig. 5b). Squares mark the source of a small stream before the landslide at an elevation of 800 m.

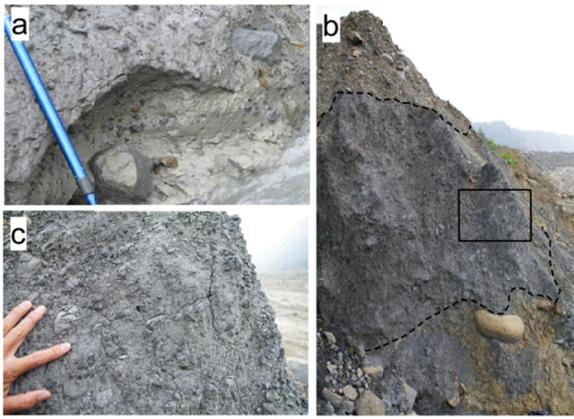


Fig. 14. Photographs of clayey material. (a) Dark clayey material consisting of fragments of mudstone; photograph taken near location 4 in Fig. 5a. (b) Clayey material overlying riverbed gravel and overlain by flood deposits. (c) Shear banding in clayey material in the squared area in (b). Shale fragments with aligned surfaces.

of the calcite veins can cause some large gaps in rock masses and subsequently induced excessive rainfall infiltration reaching the deep-seated failure surface. Chigira (1993b) performed weathering experiments on mudstone with calcite in the matrix and showed that calcite dissolution resulted in a significant decrease in shear strength.

## 5.2 Landslide velocity and mechanism

The velocity of the Shiaolin landslide was estimated at 20.4–33.7 m s<sup>-1</sup> from seismic records and eyewitness accounts. These values are extremely high in comparison with debris flows in Jiangjia Gully, China, which typical viscous debris

flows, for which frontal velocities range from 6–10 m s<sup>-1</sup> (Takahashi, 2010). The apparent friction angle of the highly mobile Shiaolin landslide was 14°, a 0.25 equivalent coefficient of friction (Fig. 15). Debris volume of a rock avalanche is inversely proportional to the apparent friction angle (Hsü, 1975; Okuda, 1984). The Shiaolin landslide is consistent with this trend (Fig. 15).

The rapid movement of the Shiaolin landslide could be explained by its mechanism of movement. Rock avalanches do not require materials that are saturated with water and may occur in partially to completely unsaturated materials, so different mechanisms have been proposed from those of water-saturated debris flows, including grain collision (Heim, 1932), fluidization (Kent, 1966), air-layer lubrication (Shreve, 1966), pressure from vaporized pore water (Goguel, 1978), and acoustic fluidization (Melosh, 1979). However, most studied rock avalanches have been induced by earthquakes, and few rock avalanches have been reported to be induced by rainfall.

The Shiaolin landslide, which was induced by a rainstorm, has clayey material with blocks of sandstone, mudstone, and shale. This clayey material, which is assumed to be made by shearing during the landslide movement as well as by earlier gravitational deformation, forms an essentially impermeable layer at the base of the landslide material, suggesting that heavy rainfall penetrates downward to the layer of clayey material, where water pressure builds up and decreases the effective

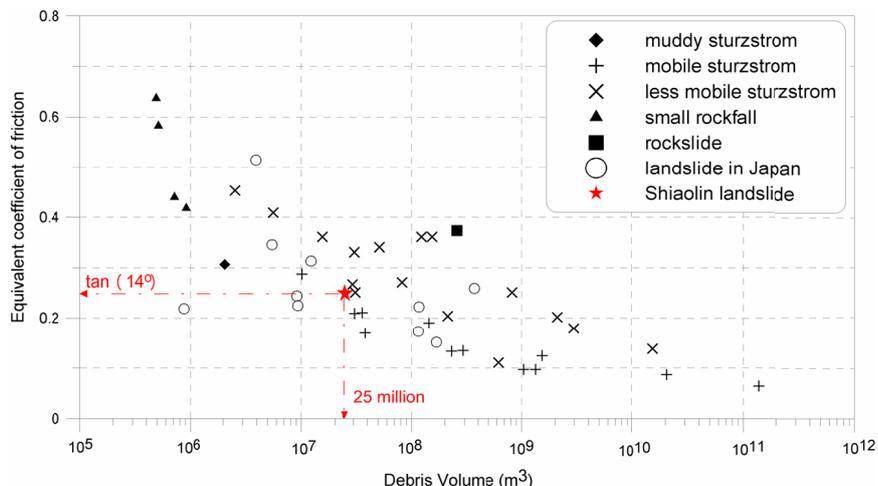


Fig. 15. Comparison of the relation between debris volume and apparent friction for the Shiaolin landslide and large landslides in the world (Hsü, 1975) and Japan (Okuda, 1984).

stress. This could have been the trigger of the initiation of the Shiaolin landslide. After the initiation of the movement, the clayey material probably played an important role to form a lubricating layer at the base of landslide material by keeping high pore pressure during movement. This phenomenon has been investigated in flume tests, which show that the pore pressure increases rapidly with increasing fine-grained content and movement velocity during shearing (Wang and Sassa, 2003). Evans et al. (2007) attributed the long runout of the Leyte landslide, the Philippines, to the loading of undrained paddy field material in the path of the landslide.

### **5.3 Role of rain in this event**

The Shiaolin landslide occurred about 1 day after the peak of rainfall intensity, which could be attributable to the infiltration behavior of rainwater through the gravitationally deformed rock body. The source area of the Shiaolin landslide had been gravitationally deformed beforehand, which suggests that the deformed rock body was fractured and permeable, except for the essentially impermeable clayey material and intact rock. Fractures have the potential to become pathways for water infiltration that would cause water pressure buildup at depth. In contrast to the Shiaolin landslide, many shallow landslides occurred when rainfall intensity was increasing or near its peak (Godt et al., 2006; Yu et al., 2006). This difference in terms of landslide timing is attributed to the difference in the effects of water infiltration and pore water pressure buildup. A time lag between peak rainfall intensity and landslide initiation is commonly observed for large landslides (Lollino et al., 2006; Evans et al., 2007; Chigira, 2009), considered to reflect the time required for water infiltration to deep levels. Rapid infiltration in shallow soil layers means that pore water pressure responds to rainfall quickly and landslides occur when rainfall intensity is strong.

We suggest the geological, geomorphological conditions, and landslide type needs to be taken into account when evaluating the susceptibility of a location to rain-induced landsliding in addition to the variables of rainfall, such as the combination of rainfall intensity and duration (Caine, 1980;

Guzzetti et al., 2008) or the combination of mean and maximum hourly intensity, duration, and rainfall amount (Dhakal and Sidle, 2004).

### **5.4 Prediction of the Shiaolin landslide site**

Can the site of the Shiaolin landslide be predicted beforehand? We believe that this site could be extracted as a potential site based on the unusual landform before the event. The hummocky slope morphology was easily identified on the Google earth image before the event as stated before and it could have been delineated more clearly by using aerial photographs, which have much higher resolution than the Google earth image. Internal structure of the hummocky slopes, which have been identified as gravitational buckle folds with many openings after the event, might not have been found before the event, but the geological map made by the Central Geological Survey (Sung et al., 2000) indicated that the source area are located on a dip slope notwithstanding that the detailed distribution of beds was not precise. On a dip slope, buckle folds is one of the common gravitational deformation types as well as sliding (Chigira, 2001) and are highly unstable and easily transform into catastrophic failure, because when the downslope limb of a buckle fold is removed, the upslope limb loses its support from downslope and becomes suddenly destabilized (Wang et al., 2003; Tommasi et al., 2009).

Gravitational slope deformation develops and leads to a catastrophic landslide at a certain condition, so we need to pick up a gravitational slope deformation just before the catastrophic event from various stages of gravitational slope deformation. Moriwaki (2001) performed a statistical analysis of various field monitoring and experimental data on landslides and found that there is a critical strain, which is defined as the ratio between a slope displacement at its upper part and the slope length just before landsliding. According to Chigira (2009), this ratio is consistent with the ratio between the length of a scarplet and the length of a gravitationally deformed slope. Chigira (2009) also analyzed large landslides induced by a rainstorm and found that they were preceded by gravitational deformation and that their "strains" were as small as 1 to 16% before the event and

interpreted that they were under the critical strain just before the failure. These ideas of critical strain may be similar to those found by Saito and Uezawa (1966), Fukuzono (1985), Voight (1988), and Petley and Allison (1997). Whether the gravitational deformation at the Shiaolin landslide site had been at a critical condition or not could be examined by using high-resolution aerial photographs, which were not available. In addition we need further research to examine whether there were such potential sites near the Shiaolin landslide site or not by using aerial photographs.

The gravitational slope deformation that preceded the Shiaolin landslide were located at the margin of a low-relief surface, which suggests that the gravitational deformation leading to catastrophic landslide can be interpreted and located from the view point of long-term slope development. The paleosurface, the age of which is unknown, has been dissected by the rejuvenation of the Chishan River and its tributaries in response to base-level lowering associated with tectonic uplift of the area. Corresponding to the incision, the walls of the river valley have been denuded by mass movements, which possibly started as gravitational slope deformation in areas with adverse geological structures as a precursory stage of landslide. During this dissection, the valley walls were debuttressed and destabilized by undercutting. This idea can also be linked to the notion of 'waves of aggression' in landscape (Brunsdon, 2001). Such a combination of slope development, gravitational deformation, and landslide occurrence was reported in nonglaciaded areas such as Kyushu in Japan (Chigira, 2009). The effect of debuttressing on slope destabilization is expected to be similar but less severe than that of glaciaded valleys in Europe and North America (Bovis and Evans, 1996; Arsenault and Meigs, 2005; Ambrosi and Crosta, 2006; Brückl and Brückl, 2006), initiating gravitational deformation of slopes, destabilization, and failure during severe rainstorms or snow melting (Crosta et al., 2006).

## 6. Conclusions

We investigated the geological and geomorphological features of the catastrophic 2009 Shiaolin landslide, which was induced by a

cumulative rainfall of 1676.5 mm by Typhoon Morakot and buried Shiaolin Village. The landslide occurred on a dip slope in late Miocene to early Pliocenesedimentary rocks consisting of shale, massive mudstone, and sandstone. The source area was the slope that had been gravitationally deformed beforehand. The deformation appeared as a hummocky slope surface before the event and was observed as gravitational buckle folds in the source area after the event. Gravitational deformation occurred with a preferable geological structure of wedge-shaped detachments consisting of bedding planes and joints or fault planes. Gravitational deformation occurred at the margin of a low-relief paleosurface, the apparent result of denudation of this surface. The gravitationally deformed rocks were not only mechanically but also chemically deteriorated, as suggested by large amounts of calcite precipitation from water draining from the source area. Thus, structural factors, weathering, and gravitational slope deformation were the underlying causes of the landslide. The landslide deposit consisted of a thin sheet of debris consisting of rock blocks and pulverized rock with weak clayey material at their base. This clayey material, which was probably produced by shearing during the landslide movement as well as earlier gravitational deformation, must have played an important role in the long, rapid runout by pressure build up and its persistence.

## Acknowledgements

We thank professors Su-Chin Chen of National Chung Hsing University, Gonghui Wang of Kyoto University and Jia-Jyun Dong of National Central University for useful discussion. Mr. Takeshi Shibasaki of NHK provided details on eyewitness accounts. Broadband seismic data from stations SGSB and TWMB and rainfall data were kindly supplied by the Central Weather Bureau of Taiwan. We are grateful to Dr. Takashi Oguchi and anonymous referees whose comments improved the paper. This study was partly supported by the Interchange Association, Japan, a Sasakawa Scientific Research Grant, and the National Science Foundation of Taiwan (NSC-97-2313-B-005-042-MY3).

## References

- Ambrosi, C., Crosta, G.B. (2006): Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps, *Engineering Geology*, Vol. 83, No.1-3, pp. 183–200.
- Arsenault, A.M., Meigs, A.J. (2005): Contribution of deep-seated bedrock landslides to erosion of a glaciated basin in southern Alaska, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 30, No. 9, pp. 1111-125.
- Bovis, M.J., Evans, S.G. (1996): Extensive deformations of rock slopes in southern Coast Mountains, Southwest British Columbia, Canada, *Engineering Geology*, Vol. 44, No. 1-4, pp. 163-82.
- Brückl, E., Brückl, J. (2006): Geophysical models of the Lesachriegel and Gradenbach deep-seated mass-movements (Schober range, Austria), *Engineering Geology*, Vol. 83, No. 1-3, pp. 254–272.
- Brunsdon, D. (2001): A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology, *Catena*, Vol. 42, No.2-4, pp. 99–123.
- Caine, N. (1980): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows, *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*, Vol. 62, No. 1-2, pp. 23-27.
- Catane, S.G., Cabria, H.B., Tomarong, C.P., Saturay, R.M., Zarco, M.A.H., Pioquinto, W.C. (2007): Catastrophic rockslide-debris avalanche at St. Bernard, Southern Leyte, Philippines, *Landslides*, Vol. 4, No. 1, pp. 85-90.
- Catane, S.G., Cabria, H.B., Zarco, M.A.H., Saturay, R.M., Mirasol-Robert, A.A. (2008): The 17 February 2006 Guinsaugon rock slide-debris avalanche, Southern Leyte, Philippines: deposit characteristics and failure mechanism, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 67, No. 3, pp. 305-320.
- Central geological Survey (2010a): Query system of topographic and geological databases for watersheds. Available at <http://gwh.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-2/sys9/> (in Chinese).
- Central geological Survey (2010b): Query system of environmental geological hazard. Available at <http://envgeo.moeacgs.gov.tw/> (in Chinese).
- Chigira, M. (1992): Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep, *Engineering Geology*, Vol. 32, No. 3, pp. 157-184.
- Chigira, M. (1993a): Basic geologic causes of Aka-kuzure. *Landslide News*, Vol. 7, pp. 14-15.
- Chigira, M. (1993b): Dissolution and oxidation of mudstone under stress, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 30, No. 1, pp. 60-70.
- Chigira, M. (2001): Geological structures of large landslides in Japan, *Journal of Nepal Geological Society*, Vol. 22, pp. 497-504.
- Chigira, M. (2009): September 2005 rain-induced catastrophic rockslides on slopes affected by deep-seated gravitational deformations, Kyushu, southern Japan, *Engineering Geology*, Vol. 108, No. 1-2, pp. 1-15.
- Chigira, M., Kiho, K. (1994): Deep-seated rockslide-avalanches preceded by mass rock creep of sedimentary-rocks in the Akaishi Mountains, Central Japan, *Engineering Geology*, Vol. 38, No. 3-4, pp. 221-230.
- Crockett, R.G.M., Perrier, F., Richon, P. (2010): Spectral-decomposition techniques for the identification of periodic and anomalous phenomena in radon time-series, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 10, No. 3, pp. 559-564.
- Crosta, G.B., Chen, H., Frattini, P. (2006): Forecasting hazard scenarios and implications for the evaluation of countermeasure efficiency for large debris avalanches, *Engineering Geology*, Vol. 83, No. 1-3, pp. 236-253.
- Dhakal, A.S., Sidle, R.C. (2004): Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions, *Hydrological Processes*, Vol. 18, No. 4, pp.757-776.
- Evans, S.G., DeGraff, J.V. (2002): Catastrophic landslides: effects, occurrences and mechanisms, In: S.G. Evans and J.V. DeGraff (Editors), *Reviews in Engineering Geology*, Vol. 15. Geological Society of America, pp. 411.
- Evans, S.G., Guthrie, R.H., Roberts, N.J., Bishop, N.F. (2007): The disastrous 17 February 2006 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: a catastrophic landslide in tropical mountain terrain, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 7, No.1 , pp.89-101.

- Feng, Z.Y. (2011): The seismic signatures of the 2009 ShiaoLin landslide in Taiwan, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 5, pp. 1559-1569.
- Fukuzono, T. (1985): A new method for predicting the failure time of slope, *Proc. of 4th I.S.L.*, Tokyo, 145-150.
- Godt, J.W., Baum, R.L., Chleborad, A.F. (2006): Rainfall characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 31, No. 1, pp. 97-110.
- Goguel, J. (1978): Scale-dependent rockslides mechanisms, with emphasis on the role of pore fluid vaporization, In: B. Voight (Editor), *Rockslides and Avalanches, Developments in Geotechnical Engineering*, 14A. Elsevier, New York, pp. 693-705.
- Guthrie, R.H., Evans, S.G. (2007): Work, persistence, and formative events: The geomorphic impact of landslides, *Geomorphology*, Vol. 88, No. 3-4, pp. 266-275.
- Guthrie, R.H., Evans, S.G., Catane, S.G., Zarco, M.A.H., Saturay, R.M. (2009): The 17 February 2006 rock slide-debris avalanche at Guinsaugon Philippines: a synthesis, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 68, No. 2, pp. 201-213.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P. (2008): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides*, Vol. 5, No. 1, pp. 3-17.
- Heim, A. (1932): *Bergstürz und Menschenleben*, Fretz and Wasmuth, Zürich, 218 pp.
- Hewitt, K. (2006): Disturbance regime landscapes: mountain drainage systems interrupted by large rockslides, *Progress in Physical Geography*, Vol. 30, No. 3, pp. 365-393.
- Hewitt, K., Clague, J.J., Orwin, J.F. (2008): Legacies of catastrophic rock slope failures in mountain landscapes, *Earth-Science Reviews*, Vol. 87, No. 1-2, pp. 1-38.
- Hsü, K.J. (1975): Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls, *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 86, No. 1, pp. 129-140.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C., Liu, H.H. (1998): The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, *Proceedings of Royal Society of London Series A* 454, 903-995.
- Hutchinson, J.N. (1988): General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology, *Proceedings, 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, Switzerland, pp. 3-35.
- Kent, P.E. (1966): The transport Mechanism in Catastrophic Rock Falls, *Journal of Geology*, Vol. 74, No. 1, pp. 79-83.
- Kilburn, C.R.J., Petley, D.N. (2003): Forecasting giant, catastrophic slope collapse: lessons from Vajont, Northern Italy, *Geomorphology*, Vol. 54, No. 1-2, pp. 21-32.
- Korup, O. (2004): Geomorphic implications of fault zone weakening: slope instability along the Alpine Fault, South Westland to Fiordland, New Zealand *Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 47, No. 2, pp. 257-267.
- Lin, M.L., Jeng, F.S. (2000): Characteristics of hazards induced by extremely heavy rainfall in Central Taiwan -Typhoon Herb, *Engineering Geology*, Vol. 58, No. 2, pp. 191-207.
- Lin, C.H., Kumagai, H., Ando, M., Shin, T.C. (2010): Detection of landslides and submarine slumps using broadband seismic networks, *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, No. L22309, doi:10.1029/2010gl044685.
- Lollino, G., Arattano, M., Allasia, P., Giordan, D. (2006): Time response of a landslide to meteorological events, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 6, No. 2, pp. 179-184.
- Melosh, H.J. (1979): Acoustic fluidization- a new geologic process?, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, No. B13, pp. 7513-7520.
- Moriwaki, H. (2001): A risk evaluation of landslides in use of critical surface displacement. *Landslides - Journal of the Japan Landslide Society*, Vol. 38, No. 2, pp. 115-122 (in Japanese, with English Abstract).
- Mudge, M.R. (1965): Rockfall-avalanche and Rockslide-avalanche deposits at Sawtooth ridge, Montana, *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 76, No. 9, pp. 1003-1014.
- National Disasters Prevention and Protection Commission, R.O.C. (2009): *Typhoon Morakot*

- Disaster Responses Reports from Typhoon Morakot Central Emergency Operating Center 74th Report, Available at <http://www.nfa.gov.tw/upload/content/2009/20090909/2009998323063.pdf>
- Okuda, S. (1984): Features of debris deposits of large slope failures investigated from historical records, Disaster Prevention Research Institute. *Annals* 27 (B-1), pp. 353-468 (in Japanese, with English Abstract).
- Petley, D.N., Allison, R.J. (1997): The mechanics of deep-seated landslides, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 22, No. 8, pp. 747-758.
- Petley, D.N., Higuchi, T., Petley, D.J., Bulmer, M.H., Carey, J. (2005): Development of progressive landslide failure in cohesive materials, *Geology*, Vol.33, No. 3, pp. 201-204.
- Saito, M., Uezawa, H. (1966): Forecasting the time of occurrence of a slope failure, *Journal of Japanese Landslide Society*, Vol. 2, No. 2, pp. 7-12 (in Japanese).
- Schuster, R.L., Krizek, R.J. (1978): Landslides: Analysis and Control, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 176. National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 234.
- Shreve, R.L. (1966): Sherman landslide Alaska, *Science*, Vol.154, No. 3757, pp. 1639-643.
- Sidle, R.C., Chigira, M. (2004): Landslides and debris flows strike Kyushu, Japan, *EOS*, Vol. 85, No. 15, pp. 145-51.
- Sung, Q.C., Lin, C.W., Lin, W.H., Lin, W.C. (2000): Explanatory text of the geologic map of Taiwan, Chiah sien sheet, scale 1/50,000, Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, 57 pp.
- Takahashi, T. (2010): Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures, Taylor and Francis, London, 448 pp.
- Tommasi, P., Verrucci, L., Campedel, P., Veronese, L., Pettinelli, E., Ribacchi, R. (2009): Buckling of high natural slopes: The case of Lavini di Marco (Trento-Italy), *Engineering Geology*, Vol. 109, No. 1-2, pp. 93-08.
- Voight, B. (1978): Lower Gros Ventre slide, Wyoming, U.S.A. In: B. Voight (Editor), *Rockslides and avalanches*, Elsevier, Amsterdam, pp. 113-60.
- Voight, B. (1988): A method for prediction of volcanic eruptions, *Nature*, Vol. 332, No. 6160, pp.125-30.
- Wang, G.H., Sassa, K. (2003): Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content, *Engineering Geology* Vol. 69, No. 1-2, pp.109-125.
- Wang, W.N., Chigira, M., Furuya, T. (2003): Geological and geomorphological precursors of the Chiu-fen-erh-shan landslide triggered by the Chi-chi earthquake in central Taiwan, *Engineering Geology* Vol. 69, No. 1-2, pp. 1-13.
- Yu, F.C., Chen, T.C., Lin, M.L., Chen, C.Y., Yu, W.H. (2006): Landslides and rainfall characteristics analysis in Taipei City during the Typhoon Nari event, *Natural Hazards*, Vol. 37, No. 1-2, pp.153-167.

## 2009年台風モラコットによる台湾の深層崩壊災害

鄒青穎・馮正一\*・千木良雅弘

\*台湾国立中興大学水土保持学系

### 要 旨

台湾南部の小林村は2009年8月9日に台風莫拉克 (Morakot) によって深刻な崩壊がもたらされ、400人以上の死者が出た。三日間の累計降雨量は1676.5mmに達し、降雨強度のピークを迎えた翌日に崩壊が発生した。今回の崩壊は流れ盤に起こり、崩壊体積は $25 \times 10^6 \text{m}^3$ に及んだ。その基盤は中新世後期から鮮新世前期にかけて形成した堆積岩であり、シルト質

岩，厚い泥岩と砂岩を含有する。大規模な斜面崩壊土が旗山川の谷を塞ぎ，向かい側の急斜面上に広がりながら，村の上流に高さ60mの天然ダムを形成した。天然ダムは形成後の1時間24分後に崩壊した。崩壊の移動速度は約 $20.4\sim 33.7\text{ms}^{-1}$ と推定され，また，見かけ摩擦角度は $14^\circ$ であった。崩壊源のディタッチメントは層理，節理及び断層であった。崩壊源の地層は重力変形を受けており，崩壊前には不規則な凹凸の地形を示していた。また，この地層の重力変形は崩壊後に座屈変形として確認された。崩壊の堆積物は泥岩，頁岩および砂岩などの岩屑を含有し，底部には広く粘度が認められ，それはイライト，緑泥石，石英，長石および方解石からなっていた。この粘度が高速かつ長距離の移動の大きな要因となったと推定される。

**キーワード：**台風モラコット，豪雨，地すべり，深層崩壊，重力斜面変形，小林村

## 宮城県北部および茨城県の港湾と河川施設の被災状況速報

飛田哲男・井合進・甲斐誠士\*

\* (株) ダイヤコンサルタント

### 要 旨

平成23年(2011年)3月11日午後2時46分に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、4月5日から8日にかけて、宮城県北部の主に港湾、漁港施設及び河川堤防の被災状況を、5月9日と10日に茨城県の港湾施設および霞ヶ浦周辺の宅地の液状化被害状況を調査したので報告する。

**キーワード:** 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 宮城県北部, 茨城県, 港湾, 河川施設

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、東北支部・関西支部合同第1次調査団が編成され、同年4月5日から8日にかけて、宮城県北部の主に港湾、漁港施設及び河川堤防の被災状況について調査した。本調査報告のうち宮城県北部については飛田(2011)に報告されている。ここでは、まず宮城県北部の調査結果を示し、そのあとこれに追加する形で茨城県の調査報告を載せる。

調査範囲は、Fig. 1 に示すように、宮城県北部の気仙沼市から石巻市の沿岸部と北上川中流域である。



Figure 1 Route map of site investigation in the northern Miyagi prefecture.

### 2. 宮城県北部の港湾施設の被災状況

#### 2.1 気仙沼漁港

気仙沼漁港は東北屈指の水揚げ高を誇る特定第3種漁港である。湾口には大島を有し、湾奥までの距離は10 km、水深は5mから40mである(社団法人全国漁港漁場協会, 2011)。

最湾奥部に位置する「港ふれあい公園」周辺では、大島行きフェリーの岸壁天端に約1.5度の傾斜と、背後地に津波による洗掘で生じたと思われる陥没が見受けられた。フェリー棧橋の流失2か所が見られたものの、岸壁の被害程度は総じて軽微であり、調査時点において大島行きフェリーは運航されていた。

港ふれあい公園の東に位置する棧橋式係船岸は、床板間の隙間や30 cm程度の法線のずれが見られたが、係留施設としての機能は維持している。しかし、棧橋部と背後地の間にかかる渡版が流失しており、一見水路のようにになっている (Fig. 2)。

川口町の気仙沼終末処理場の南東側の壁面は、津波で大きく損傷し消失している。同処理場の南側に位置する防潮堤は、先端の隅角部を除いてほぼ無被災であった。隅角部については、下部に鋼板矢板をもつ防潮堤が海側に傾斜しており、津波の引き波によって背後地盤の一部も流失している (Fig. 3)。



Figure 2 Damage to pier supported wharf in Kesen'numa



Figure 3 Damage to coastal levee in Kesen'numa

## 2.2 石巻港・石巻漁港

石巻港は定川と旧北上川河口にはさまれた地点に位置する工業港であり、重要港湾に指定されている。今回の調査では、4月5日時点で被災状況が報告されていない西部の中島埠頭3号、4号岸壁周辺の調査を行った (Fig. 4)。その他の地点については、港空研ホームページ(2011)等を参照のこと。同埠頭の陸に近い部分は掘り込み、先端部は埋め立てによって築造されたとのことである。中島埠頭3号岸壁は、矢板式控え工による矢板式岸壁である。調査時点においてエプロンの沈下により泥水がたまっていたが、津波に洗われるので噴砂かどうかは不明である。ただし、被災程度は軽微であり、3月27日から供用が開始されているとのことである(国交省 HP, 2011)。埠頭先端部は東西約 60m にわたりエプロンが陥没し、海水が流入している (Fig. 5)。また、岸壁の継ぎ目部に法線の一部に約 30cm 程度の海側へのずれが生じている。今回調査した中島埠頭は 1978 年宮城沖地震においても、長さ 400m にわたり上部工の傾斜とエプロンの沈下が発生し、エプロン上で噴砂が確認されたことが報告されている(土田他, 1979)。

また、背後地のオイルタンクが約 30m 移動しているが、その周辺での浸水高さは約 GL. +4m であった。



Figure 4 Satellite image of damaged area in Nakajima wharf.



Figure 5 Damaged apron of the Nakajima wharf, I Shinomaki port.

石巻漁港は、特定第3種漁港であり、水揚げ量、水揚げ高ともに日本有数の大漁港である(石巻市 HP, 2011)。

今回の調査地点は、その東端部に位置する東防波堤周辺である。当地点は 1978 年当時の資料(土田他, 1979)によると、岸壁は整備されておらず砂浜であったことがわかる (Fig. 6)。したがって、岸壁および背後地は埋め立てにより築造されたものである。調査した時間は 4 月 7 日午後 4 時ごろであるが、満潮に伴い地盤沈下した背後地に海水の流入が見られた (Fig. 7)。背後地の沈下量は目測で約 50 cm 程度であった。また、海水面と岸壁天端との距離を目視したところ 40 から 50cm と通常よりも短いため、岸壁法線が一樣に海側にはらみ出したのか、あるいは沈下したと思われる。その他の被害としては、東防波堤の一部に欠損が見受けられた (Fig. 8)。また、津波による重油タンクの移動と転倒により付近の道路に重油が散乱していた。この重油タンクはコンクリート基礎の上に据え付けられていたが、特にボルトなどでは固定されておらず、内容物が少ない軽いものが移動したようである。この周辺で観察された津波の浸水高さは GL. +5m であった。



Figure 6 Ishinomaki fishery port: (Top) Present, (Bottom) Past in 1978 (土田他, 1979)



Figure 7 Invasion of sea water into the harbor, Ishinomaki fishery port.



Figure 8 Lost jetty in the eastern part of the Ishinomaki fishery port

### 2.3 女川港

女川港は、三方を山に囲まれ、南方に牡鹿半島を有する天然の良港（第3種漁港）である。1978年宮城県沖地震では無被災とのことである(土田他, 1979)。今回調査したのは、石浜地区の物揚場のコンクリート方塊式護岸 (Fig. 9) であるが、地震動あるいは津波の波力により、護岸の一部が欠損し、舗装コンク

リート下部が空洞になっていた (Fig. 10)。また、衛星写真から湾口に設置されていた北および南防波堤が、津波により転倒し消滅していることが確認される。ただし、石浜埠頭の一部では3月27日より暫定的に供用が開始されたとのことである(石巻市 HP, 2011)。また、女川町では、RC造建物数棟の転倒が確認されるなど、津波による被害は甚大である。

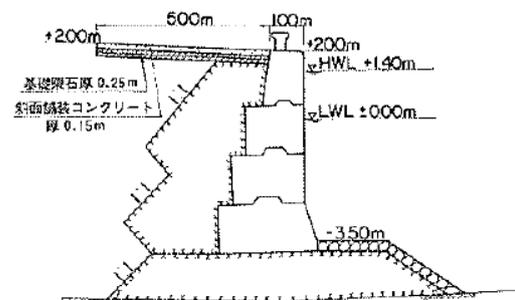


Figure 9 Cross section of the sea wall of concrete block type in Onagawa fishery port(港空研HP, 2011).



Figure 10 Lost sea walls in Onagawa fishery port.

## 3. 宮城県北部の河川堤防の被災状況

### 3.1 北上川河口部

国交省東北地整によると、北上川河口部左岸 (0.4k-3.0k) の長さ  $L=3,400\text{m}$  と右岸 (4.0k-4.6k) の長さ  $L=1,100\text{m}$  が決壊したとのことである(国土交通省, 2011b) (Fig. 11)。調査時点では、堤防の復旧作業が急ピッチで実施されており、堤防に沿って仮復旧道路が整備されていた。被災した堤体断面から推測される盛土材料は、礫交じりの砂である。

国道398号線の新北上大橋 (全長566m, 7スパントラス橋) の左岸側2スパン (155m) が津波で流失した (Fig. 12)。左岸側の橋台には、橋げたの流失に伴う変位は見られない。橋台下流部のコンクリート護岸はほぼ無被害であるが、上流部は津波の掃流力あるいは橋げたの落下にともなって大きく破損している。

調査時点では、左岸堤防の堤内地は水浸している

ものの、水深は水田のあぜ道が見える程度に浅い。一方、右岸側の決壊地点周辺の堤内地は、浸水深が深く排水ポンプ車による排水が行われていた。北上大橋周辺では、Fig. 13 に示すように、堤防の川裏側の浸食がはげしいのに対し、川表側についてはコンクリート護岸で保護されていることもあり大きな浸食は見られない。川裏側の浸食が大きいのは、越流時の流速が川表側と川裏側とで大きく異なることが原因であるとの報告がある(幸左他, 2010)。



Figure 11 Satelite image of near the river mouth of the Kitakami River.



Figure 12 View of the Shin Kitakami bridge.



Figure 13 Washed embankment near the Shin Kitakami River

### 3.2 定川河口部

石巻港の西部に河口を有する定川に架かる県道427号線定川大橋左岸取り付け盛土が流失し、橋げたも上流側に流失している (Fig. 14 and 15)。また、同地点右岸の堤防が長さ約400mにわたり決壊している。4月25日現在、堤防決壊地点付近に締切りを設置し、排水ポンプ車9台による排水が継続されているとのことである(国土交通省, 2011b)。

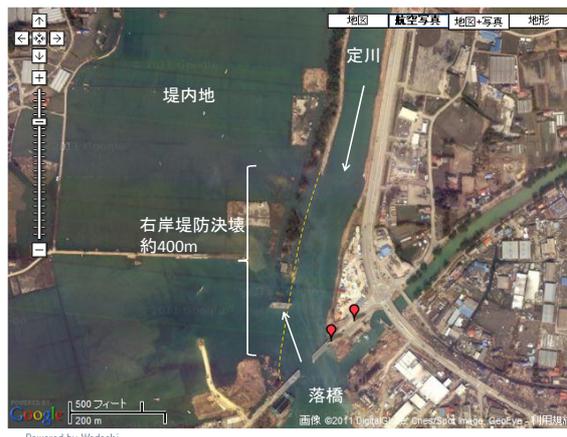


Figure 14 Satellite image of the Jo River near the Jokawa bridge in Ishinomaki.



Figure 15 Lost embankment of Jokawa bridge.

### 3.3 北上川中流部

調査地点は、東和町錦織周辺の北上川が大きく南北に蛇行する地点周辺である。付近の東和中学校におけるK-Netの加速度記録では、東西成分に約780galの最大値が記録されている。このあたりの堤防の多くが傾斜1:2で幅広の堤防の上に小段を設け、やや幅の狭い傾斜1:1.5の堤防が築造されている。左岸44.3k付近では、堤体に生じた亀裂の多くは、小段部と天端のエッジ付近に集中していた (Fig. 16)。地盤図より推察される原地盤の地質は、腐植土交じり粘性土である。堤体は細粒分を含む砂質土主体であるが、亀裂周辺には液状化による噴砂跡は認められなかった。右岸45.4k付近では、小段に円弧上の亀裂

を伴うすべり破壊が見受けられた (Fig. 17)。その付近の天端のアスファルト舗装には長さ約 60m にわたって縦断亀裂が観察された (Fig. 18)。

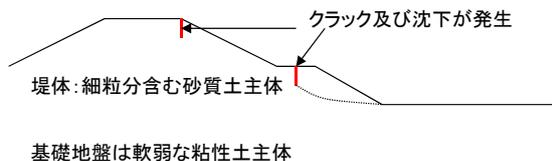


Figure 16 Typical crack location of a river embankment observed in the Kitakami River.



Figure 17 Semi-circular crack observed in the embankment of the Kitakami River (45.5k).



Figure 18 Longitudinal cracks at the top of the embankment of the Kitakami River (45.5k).

#### 4. 茨城県内の調査報告

##### 4.1 港湾関連施設

5月9日から10日にかけて、茨城県の港湾施設の被災状況を調査した。調査したのは、茨城港日立港区、同常陸那珂港区、同大洗港区、及び鹿島港である。いずれの施設においても、液状化に起因すると思われるエプロンの亀裂や沈下、法線の乱れ等が見受けられた。常陸那珂港では、Fig. 19 に示すように、

重力式岸壁背後地のエプロンが約1.6m沈下した。この被害形態は1995年兵庫県南部地震の際、ポートアイランド等で見受けられたものと同様である。Fig. 20には、同岸壁の標準断面図(国土交通省, 2011c)を示す。Fig. 19において、岸壁法線が海側へ移動したため、コンテナクレーンの脚部が広がっており、海側の車輪が脱線していた。一方、陸側のレール部は、鋼管杭のキャップの打ち継ぎ目に水平方向にギャップが見られたが、大きな沈下は発生していなかった。

Fig. 21 は、常陸那珂港周辺の電力施設内における排水タンクの浮上状況である。鉄柵の下端が地震前の地表面高さであることから、角部で約2mの浮上が確認される。周辺の土質は、シルト混じり砂であった。周辺の道路面は、上下に波打っており液状化の影響が推察される。

Fig. 22 は、鹿島港における被災状況である。同港は、1969年開港の掘り込み式港湾である。また、国の重要港湾に指定されており、鹿島臨海工業地帯を形成する工業港である。陸地を掘り込んで建設されたため、石油化学プラントや製鉄所の施設は、標高約5mから6mに位置し、今回の津波による被害は免れたとのことである。しかし、同港沿岸部の一部において、Fig. 22 に示すように、斜面の法肩部が崩壊するなどの被害があった。これは、港湾築造以前に軟弱地盤地帯であった地点、あるいは盛土により形成された地点である可能性が高い。調査時点では、地盤の復旧作業が急ピッチで行われており、工場内の主要施設には、外観上の損傷は見られなかった。



Figure 19 Settlement of the apron behind the gravity type quay wall at the Hitachinaka port.

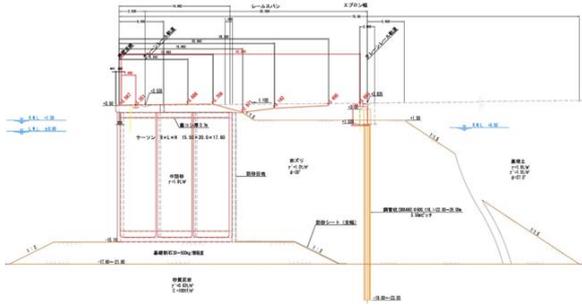


Figure 20 Cross section of the quay wall at the Hitachinaka port (-12m)(国土交通省, 2011c)



Figure 21 Uplift of the reserve tank in Hitachinaka electric power station.



Figure 22 Damaged embankment in Kajima port

#### 4.2 茨城県の潮来市日の出地区の液状化被害

霞ヶ浦の南端に位置する潮来市日の出町では、液状化による大きな被害が発生した。同町内の家屋には傾斜したものが多く見受けられた。Fig. 23 には、電柱の傾斜と、その下部の側溝のふたが持ち上がっている状況が示されている。これは、地盤が液状化し、幅約1.5mの側溝がつぶれる方向に側壁が移動したためである。Fig. 24 は、同町内の地盤変状の状況である。宅地部の地盤が舗装面にせり出している様子が見受けられる。Fig. 25(安田, 2011)によると

同町周辺は、明治36年ごろは池であり、その後の埋め立てにより宅地化されたものと推察される。同図には、日の出町以外にも、埋め立てが進んだ地区が示されており、そのような地区では同様の被害が発生している(安田, 2011)。



Figure 23 Inclined electric pole and uplifted lids of drain in Hinode cho, Itako city.



Figure 24 Ground deformation in Hinode cho, Itako city.

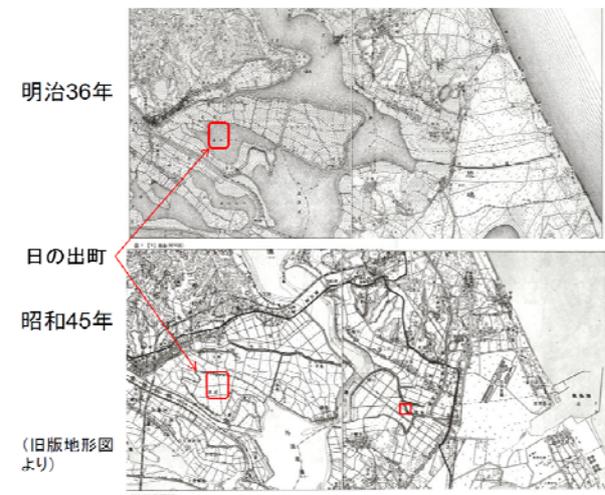


Figure 25 Transition of land use in the southern part of the Kasumigaura (安田, 2011).

## 謝 辞

本調査では、東北大学京谷孝史教授、同山川優樹准教授、徳島大学渦岡良介教授から情報提供頂いた。ここに謝意を表します。

## 参考文献

石巻市HP (2011): <http://www.city.ishinomaki.lg.jp/suisan/port.jsp>.  
幸左賢二, 宮島昌克, 藤間功司, 小野祐輔, 重枝未玲, 廣岡明彦, 木村吉郎(2010): 津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No. 19-2, 新道路技術会議, 平成22年6月.  
港湾空港技術研究所HP, (2011): <http://www.pari.go.jp/files/3525/696358192.pdf>.  
国土交通省(2011a): [http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_fr1\\_000039.html](http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr1_000039.html), 2011.  
国土交通省(2011b): 東北地方整備局北上川下流河川

事務所HP: <http://www.thr.mlit.go.jp/karyuu/bosai/bosai.html>.

国土交通省(2011c): 関東地方整備局, 横浜港湾空港技術調査事務所資料.

社団法人全国漁港漁場協会HP (2011): <http://www.gyokou.or.jp/tokusan/page/02.html>, 2011.

土田肇, 稲富隆昌, 野田節男, 柳生忠彦, 田端竹千穂, 徳永省三, 大槻有吾, 平野忠告(1979): 港湾技研資料, 運輸省港湾技術研究所, No. 325.

飛田哲男, 甲斐誠士(2011): 宮城県北部の港湾と河川施設の被災状況, 地盤工学会誌, Vol. 59, No. 6, pp. 36-39.

宮城県HP (2011): <http://www.pref.miyagi.jp/kouwan/saigai/110328%E5%A5%B3%E5%B7%9D%E6%B8%AF%E4%B8%80%E9%83%A8%E4%BE%9B%E7%94%A8%E9%96%8B%E5%A7%8B.pdf>.

安田進(2011): 東北地方太平洋沖地震 災害調査報告会 (第一回) 資料, 地盤工学会.

## Preliminary Report of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake: Port facility, River dykes and Liquefaction-induced Damage in Northern Miyagi and Ibaragi Prefecture

Tetsuo TOBITA, Susumu IAI and Seiji KAI\*

\* Dia Consultants, Co.

### Synopsis

Results of site investigation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake occurred on March 11, 2011 are reported. The investigation focused on port facilities, river dykes, and liquefaction-induced damages in the northern Miyagi prefecture and Ibaragi prefecture. Substantial damage caused by liquefaction was found as well as damage caused by the tsunami.

**Keywords:** the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Miyagi, Ibaragi, Liquefaction



## ミャンマーにおける高潮災害について —ヤンゴン港を中心とした港湾災害について—

平石哲也

### 要 旨

2008年5月2日にミャンマー西部に上陸したサイクロン（NARGIS）は沿岸に甚大な高潮被害を与え、イラワジ川河口デルタを中心に10万人以上の犠牲者をだした。最大都市ヤンゴンでは復興の拠点ともなる内陸水運用の栈橋を中心とした港湾被害が生じ、100隻以上の貨客船が沈んだ。そこで、迅速な復興を支援するために、ヤンゴン港の被害を中心として現地調査を実施し、被害実態を明らかにするとともに、対策について提案を行った。

**キーワード：**サイクロンNARGIS, 高潮災害, 港湾の被害, ミャンマーでの調査

### 1. はじめに

サイクロン NARGIS は、インド洋上で東向きに進路を変え、2008年5月2日の夜にミャンマー西南部イラワジ川河口デルタに上陸した。上陸時の風速は50m/s以上で2005年米国南部の高潮被災をもたらしたハリケーン(河合ら, 2006)と同規模のカテゴリー4に相当する。サイクロン接近に伴って生じた高潮により、多数の方が亡くなり、多くの家屋が破壊された。ミャンマー最大の都市ヤンゴン市内でも強風による樹木倒壊が相次ぐと共に、港湾施設が被害を受け、係留中の船舶約100隻が多数ヤンゴン川に沈没した。特に、潮位差が大きいヤンゴン港内に設置されている国内航路用の浮き栈橋施設が数多く被災したことが明らかになった。ヤンゴン港は、高潮による被害が最も甚大であったイラワジ川河口部への物資輸送拠点であり、沈船の除去と港湾施設の復旧はイラワジデルタへの救援物資の積み出しにも緊急に必要であり、ミャンマー政府の要請により、被害実態調査を実施した。調査期間は2008年5月26～30日で、主な調査項目は港湾施設の被害状況である。ただし、その後我が国との協力で復旧が進み沈船は2011年1月現在ですべて引き揚げられている。栈橋に関しては被害が甚大で、干満の差を利用して浅瀬に曳航できるものから再使用がなされているが、すべての復旧には及んでいない。

調査に先立って整理した高潮による被害状況は以

下の通りであった（国連人道支援事務所,2008）：

上陸時(現地時間 2 日 16:00)  
最大風速：54m/s (カテゴリー 4)  
1 分間最大風速：66m/s  
中心気圧：962hPa  
移動速度：19km/h  
死者：78,000 名  
行方不明者：56,000 名  
重軽傷者：20,000 名  
被災人口：2,400,000 名  
被害額：100 億円

### 2. 高潮の状況と偏差

#### 2.1 高潮の概況

Fig.1 は、ミャンマー気象水理庁（DMH, Department of Meteorology and Hydrology, Myanmar）が、緊急に高潮痕跡高（地表から）を調べ、サイクロン NARGIS の中心位置経路と測定地点を示した図である。図中に白丸で示す浸水高調査位置（I～VIII）がミャンマー気象水理庁によるものである。Fig.2 にミャンマー気象水理庁から提供されたデータを基にして、西海岸から調査位置（I～VIII）順にメートル表示で換算した浸水高を示す。ただし、被災地の混乱のため基準面から痕跡を測量した結果ではなく、低地帯での概略値である。最も被害が大きかったイ

ラワジデルタにおける高潮浸水高は最大で6~7mであった。

ヤンゴン港には潮位変化を読み取る円筒型の表示塔が設置されているだけで、潮位や波高の観測はなされていない。ミャンマー港湾公社 (Myanmar Port Authority, 以下 MPA と略す) が作成する潮位表(ミャンマー港湾公社, 2008)等は、表示塔の数値を職員が読み取ることによって作成されている。今回のサイクロンでは高潮や風雨のため表示塔の目視記録はできず、表示塔も高潮により破損してしまった。したがって、ヤンゴン港内においては、数値記録は無く、目視では偏差約2mで、目視で観測できる範囲では、渦を巻くような強い流れは現れなかったようである。通常、高潮の偏差は最高水位から天文潮位を引いた値として示される。しかし、ヤンゴン港の潮位差は4m以上と大きく変化が激しいこと、高潮による高潮位はサイクロン接近時から1日近く続き、最高潮位の起時が不明であること、機器による観測データが存在しないこと等から、高潮偏差は満潮位から最高水位までの高さとして現地調査記録を整理した。

## 2.2 高潮痕跡高の測定

Fig. 3 に潮位定数から推算したヤンゴン港の潮位

変化を示す。天文潮位はサイクロン中心が最も接近した5月3日早朝に満潮に近くなり、このときに大きな浸水被害が生じたと考えられる。なお、MPAの潮位表によると満潮水位は5.2mであり、測定した痕跡高と最高水位(D.L.+5.2m)の差を高潮偏差とした。

現地痕跡調査は、Fig. 4 に示したヤンゴン港平面図中の北岸2箇所(栈橋 No.13 および No.19)と南岸1箇所(栈橋 No.25)で測定した。図中の[U]は、30数隻の船舶が打ち上げられた中州である。調査では、ヒアリングにもとづき室内や家屋前面での最高水位を求めてD.L.上の高さに換算した。その結果、ヤンゴン港北岸での高潮偏差は最高で1.86m(No.13)、南岸で0.90m(No.25)であった。南岸は田園および湿地帯が広がり、河川を溢れた水が広く流れてしまうため、痕跡高が北岸よりも小さくなった。

Photo 1 にヤンゴン港北岸の栈橋と護岸の高さの関係を示す。市内の地表面や護岸上の道路面(G.L.=D.L.+5.70m)は朔望満潮時の水面(H.W.L.=D.L.+5.80m)より低い場合があり、ヤンゴン港では大潮の際には、局所的に市街地の一部が浸水することもあり得る。栈橋取り付け部のピアの天端高(表面)は地表道路と同一面となっており、この高さは全栈橋で同一である。NARGIS 来襲時には、高潮の潮位

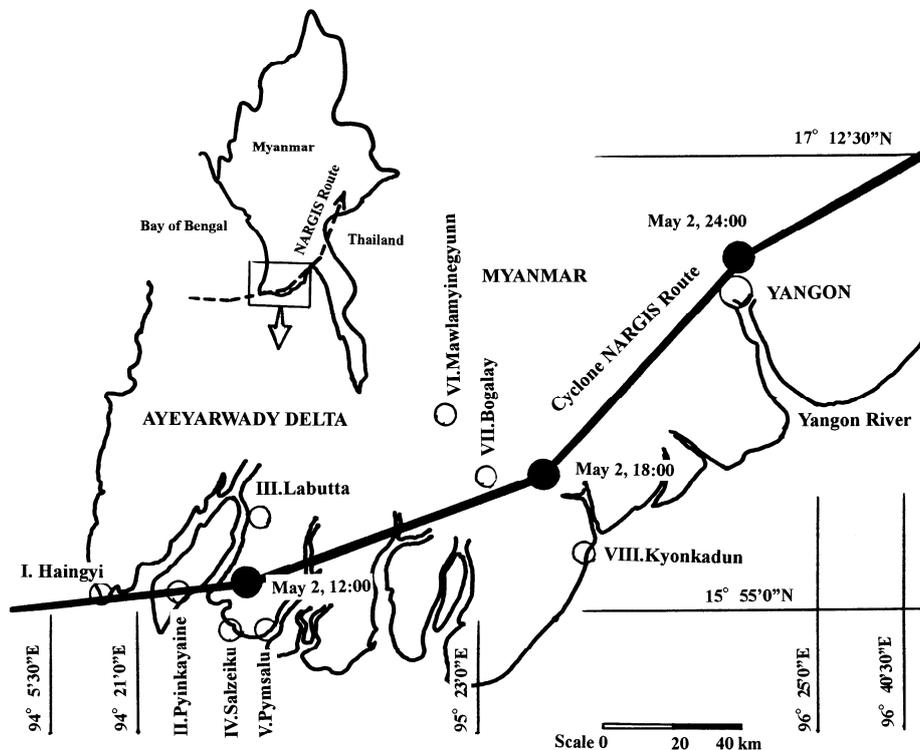


Fig. 1 Storm surge inundation depth and trace of cyclone measured by DMH (modified by author)

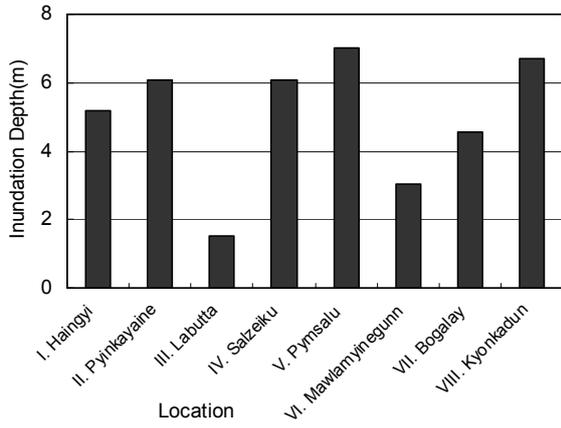


Fig. 2 Inundation depth above ground in measurement point (by DMH)

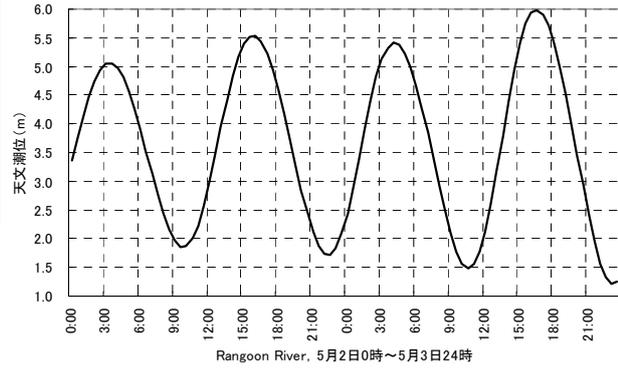


Fig. 3 Metrological tide in Yangon

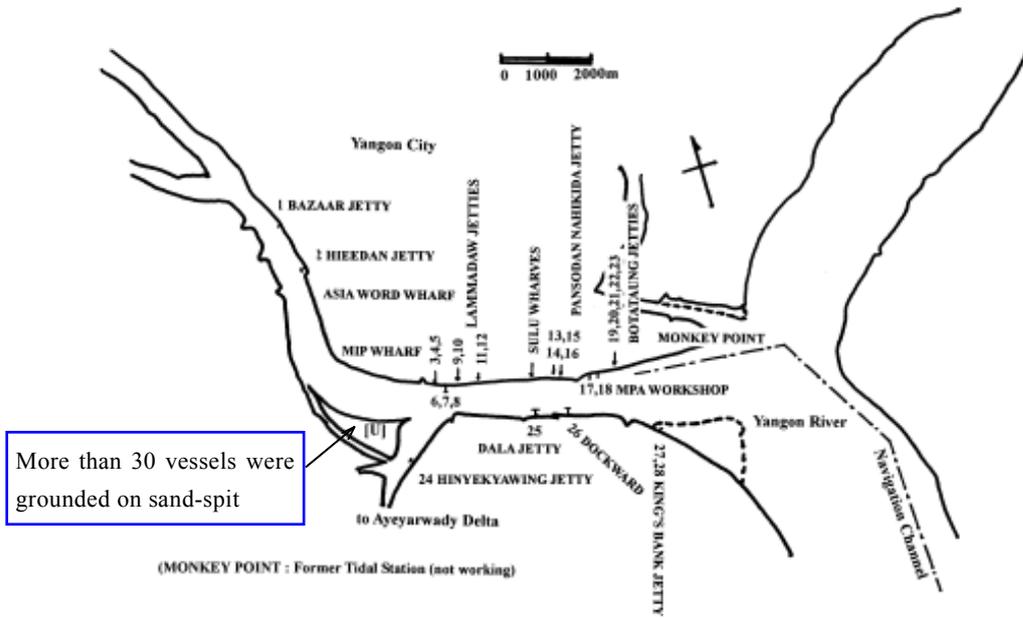


Fig. 4 Map of Yangon harbor and location of broken pier



Photo 1 Relation of pier, seawall and road



Photo 2 Lifted up vessel on sand spit [U]

Table-1 Damage of harbor activity by cyclone

	サイクロン以前 (Before Cyclone)	サイクロン後 (After Cyclone)
航路 (Route)	22	4
貨物 (Cargo)	1600 ton/day	400 ton/day
旅客 (Passenger)	4000 person/day	1400 person/day

(H.H.W.L.(2008)= D.L.+7.06m)は護岸より高くなった。したがって、高潮来襲時には、背後の市街地に浸水していたと考えられる。現地調査でも岸壁背後の倉庫壁面に浸水跡と考えられる泥跡を確認している。

### 3. 港湾施設の被害

#### 3.1 施設の構造

ヤンゴン港はミャンマー唯一の外貿埠頭を有する。外貿埠頭は吃水 9m 対応の杭式固定岸壁であり、今回の高潮で土砂が流入し航路が埋没したために、吃水が 7.5m に制限されているほかは施設被害が見られなかった。内航海運は、その多くが港奥から西へ延びる運河を活用したイラワジ河口部との貨物輸送に使われているので、その被害は救援物資の運搬にも支障が生じている。

Table 1 に MPA による高潮被災前後の貨物動態の比較を示す。従来は 22 航路が運行されていたものが、2008 年 5 月 26 日現在 4 航路しか復旧されておらず、貨物量は 1/4 に、乗客数は 1/3 に減少している。また港内に係留されていた多くの内航用船舶は沈没し、航行の障害となっている。Photo 2 に中州 [U] に乗り上げた船舶を示す。

内航海運は、すべて港内の浮き棧橋によって運用されており、浮き棧橋の総数は 37 基である。そのうち 28 基が何らかの被災を受けていた。浮き棧橋の構造は共通しており、ほぼ同規模である。

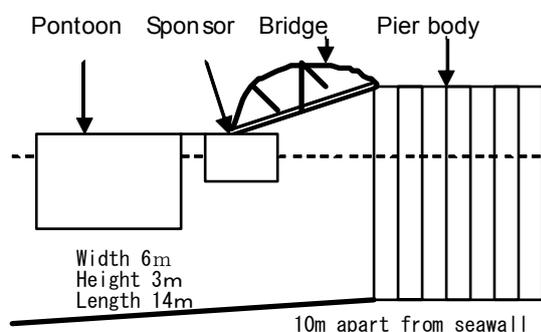


Fig. 5 Cross section of floating pier in Yangon

Fig. 5 に標準的な構造を示す。図中の棧橋本体 (Pier) は鉄筋コンクリート製の杭により製作された杭式岸壁構造で、天端高は 5.70m で設計され、一部を除き大きな被害を受けていない。連絡橋 (Bridge) は長さ 24.4m のトラス橋で、潮位の変化に応じて上下方向に移動可能である。浮き基礎 (Sponsor) は、連絡橋を支える小型ポンツーン (Pontoon, 矩形浮体) である。ポンツーンは船舶の接岸場所であり、ポンツーンに平行に貨物船ならびに旅客船が接岸する。

Fig. 6 は、MPA 資料を基にしたポンツーンの係留状態を示している。ポンツーンの長さは約 37m で 4 本のチェーンによって係留されている。図中のポンツーン 4 隅から延びている太実線が係留チェーンを示す。チェーンの呼径は 3.175cm である。棧橋本体と連絡橋は、本体に設けた穴に直立のピンを差し込んだ構造となっている。

連絡橋と浮き基礎は、Photo 3 に示すようなローラーを介して接続されており、軸回りの回転と浮体運動で定義されるスウェイ方向 (ポンツーン短軸方向) の運動に対しては追従できるようになっており、大きな潮位差を有する水域の係留施設としては適している。ただし、サージ方向 (ポンツーン長軸方向) 運動に対しては自由度が無く、係留チェーンの張力だけでポンツーンの水平運動を支えなければならない構造となっている。

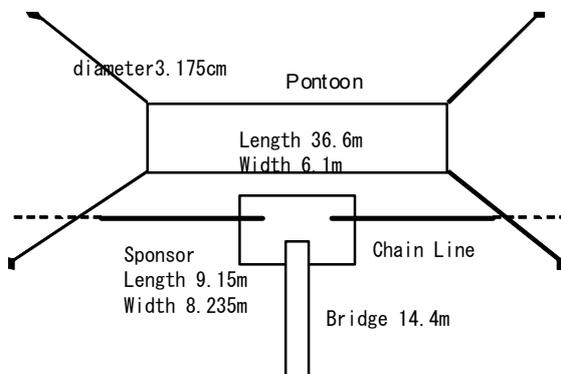


Fig. 6 Plane formation of floating pier



Photo 3 Connection of floating small pontoon and Bridge

### 3.2 施設被害の分類

#### (1) 栈橋本体

鉄筋コンクリート製で、ほとんど被害はなかったが、一部は表層面が崩落したり、杭が一部で切断されているものがあった。この原因は、従来から歩行者用連絡橋の水平運動を抑止するために、連絡橋と栈橋本体を1本のチェーンで一緒に巻き付けて固縛していたことが主なものと考えられる。すなわち、連絡橋やポンツーンが大きな運動をして、チェーンを通じて局所的に剪断力が栈橋本体の杭に作用したものと考えられる。今後の対策として、固縛が必要であれば、繊維索を用いることが考えられ、索自体が連絡橋の動きに追従して伸びるので、大きな力の作用が抑止できる。また、漂流した船舶の衝突によると考えられるものもあり、船舶の係留対策と一体となった検討が今後必要である。

#### (2) 連絡橋 (Photo 4)

連絡橋の大部分は、大きな水平運動によって接続点が破壊され水中に落下していた。このとき、単純に落下したのではなく、ねじれ方向の力が作用したために、連絡橋自体も一部折れているものがあった。被災連絡橋は27基であり、1基を除いてすべて被災したが、形状が大きく変形していないものは一部引き上げられて、再使用が可能であった。

#### (3) 浮き基礎

浮き基礎は、大部分は連絡橋とともに沈没していたが、連絡橋先端に留まらず、離れた浅瀬に半ば埋まってしまっているものもあった。上部に点検用の開放口が設置されていたと見られ、浸水対策が今後必要と考えられる。流出して位置が確認できない物も含めて、被災数は17基である。

#### (4) ポンツーン (Photo 5)

ポンツーンの被災状況を見ると、係留チェーンが

付随しているものではなく、ほとんど係留チェーンが切断されたことによって流出し、沈没したか陸岸に打ち上げられたものと考えられる。ポンツーンは大型の浮体構造物であり、漂流すると衝突によって陸上構造物へも危険を及ぼすので、流出対策等が今後必要と考えられる。被災総数は12基である。



Photo 4 Damage of connection bridge



Photo 5 Broken pontoon on seawall

### 3.3 係留法等の対策

ヤンゴン港内で唯一被災箇所が無く、残存した栈橋が存在した。これは主に政府機関の船舶が使用する専用岸壁で大型のポンツーンが使用されている。Fig. 7 に被災しなかった栈橋の大きさを示す。栈橋本体は、複数の小型ポンツーンを連結した構造であり、長手方向に屈曲できる構造となっている。また、通常のポンツーンに比べると、ポンツーンの水平運動を抑止できる浮き基礎および連絡橋が2基となっており、安定性が増している。チェーン呼径は約2倍になっていたため、破断荷重は4倍に増加すると考えられる。下流側に杭式の外洋貨物用湖底岸壁が位置しており、流れによる力が小さくなって影響など地形的な要素もあつ

たと思われる。

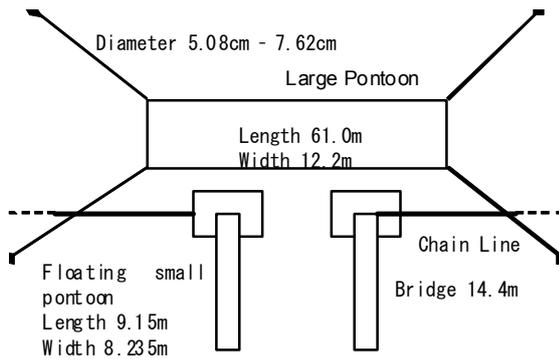


Fig. 7 Remained pontoon ( Combined type)

近隣の通常型ポンツーンが被災している状況を考慮すると、ポンツーンの大型化とそれに伴う係留チェーンの強度増強なども高潮時の対策としては有効であろう。チェーンの破断を防止するには、衝撃力を吸収できる弾性チェーン（平石ら、1995）の使用も検討できる。また、係留チェーンの延長、中間シンカーの活用等も有効で、ポンツーンの流出が防止できれば船舶を強固に係留することで船舶漂流も防止することが可能になる。したがって、今後の詳細な現地調査や情報収集の過程において、係留チェーンの長さやアンカー形状などが明らかになれば、ポンツーンの動揺計算も可能になる。

栈橋の連絡橋も含めて、流出したポンツーンなどは引き上げることによって再使用が可能なものもある。ただし、現在ヤンゴン港にはクレーン船が存在しないので、水中から引き上げることができない。現在わずかな連絡橋が引き上げられているが(2009年5月)、干満差を利用して台船で移動させており、作業が可能な水深や形状が限定されているため、港内全域で活用することは不可能である。したがって、作業基地の復旧とともに、適切な作業船の充当が必要と思われる。日本からの技術協力としては、造船所の復旧と修理後の船体

を進水させる函台の整備も進められている。

#### 4. まとめ

2008年5月にミャンマーを襲ったサイクロンNARGISにより、イラワジ河口デルタでは浸水深が7mに及ぶ大規模な高潮が生じた。ミャンマー最大の貿易港であるヤンゴン港においても、高潮により港湾施設が大きな被害を受けた。現地調査の結果、高潮偏差については、市街地の浸水痕跡をヒアリングで確認し、ヤンゴン港北岸での偏差が約1.8mであった。港湾施設の中では、内航海運用の浮き栈橋が大きな被害を受けた。浮き栈橋は、天端高5.70mの陸上基礎・長さ24mの連絡橋・浮き基礎・長さ約37mのポンツーンからなり、37基中28基の栈橋が何らかの被災を受けた。被災形態の主要なものは、連絡橋の落下、浮き基礎・ポンツーンの漂流と沈没であった。連絡橋と陸上杭式基礎部を固縛したチェーンは杭の切断を助長した可能性が高い。

#### 参考文献

- 河合弘泰・平石哲也(2006)：ハリケーン・カトリナによる米国メキシコ湾岸の高潮災害の現地調査，港湾空港技術研究所資料，No.1121，27p.
- 国連人道支援事務所(OCHA)(2008)：OCHA 17May Home Page，<http://www.reliefweb.net.int/rw/rwb.nsf/>
- 平石哲也・富田康大(1995)：係船ブイに作用する衝撃張力の低減法に関する模型実験，港湾技術資料，No.816，18p.
- ミャンマー港湾公社(2008)：潮位表（Tide Table 2008 for the Yangon River and Elephant Point）,61p.
- UNOSAT (2008)：UNOSAT Myanmar Cyclone Nargis overview (homepage <http://unosat.web.cern.ch/unosat/asp/default.asp>).

**Storm Surge Generated by 2008 Cyclone NARGIS in Myanmar  
- On Harbor Facility Damage -**

Tetsuya HIRAISHI

**Synopsis**

A huge disaster was induced in Myanmar by the attack of Cyclone NARGIS on May 2<sup>nd</sup>, 2008. The Yangon port which is the largest in Myanmar was heavily damaged while the port operation was urgently necessary to carry the emergency supply by waterway to the Ayeyarwady Delta severely devastated in storm surge. A field survey was carried out in order to study on the disaster characteristics in the harbor and to obtain the information for recovery planning. As the results in the survey, the storm surge deviation above the high water level was measured up and it was about 1.8m in the northern side of the Yangon River. The floating pontoon and connecting bridge parts in the jetties were mainly damaged in the storm surge of harbor. The number of damaged jetties was 28 out of the total number of 37 in the harbor.

**Keywords;** storm surge, cyclone NARGIS, field survey, Myanmar Port Authority



## アイスランドにおける火山噴火と航空関連の大混乱

安田成夫・梶谷義雄・多々納裕・小野寺三朗\*

\* 桜美林大学自然科学系

### 要 旨

2010年4月14日、アイスランド共和国のエイヤフィヤトラヨークトル (Eyjafjalla-jökull) 火山が噴火した。火山は首都レイキャビクの東方向125 kmに位置する。噴煙は上空10,000m以上の成層圏に達し、火山灰は上空の気流に乗り西ヨーロッパ全土に拡散したために、ヨーロッパの空港を中心に航空路の混乱が生じた。短期間ではあったが、欧州約30ヶ国の空港が一時閉鎖し、1週間に航空機10万便が運休した。結果的に航空路の混乱はヨーロッパを中心とした経済活動に多大な影響を及ぼした。

日本は、世界有数の火山国の一つであり、過去に大規模噴火を記録している。昨今、東アジア圏における経済的発展は眼を見張るものがあるとともに、近隣諸国がサプライチェーンに伴う物的移動で緊密に結ばれるにつれて、航空関連による人的移動も活発化している。このような状況にあって、大規模火山噴火が航空機に及ぼす影響を見過すことはできない。本調査は、日本近傍において将来想定される大規模噴火について、民間航空及びそれを取り巻く関連施設の影響軽減策を検討する際の参考とするために実施したものである。

**キーワード:** 航空路火山灰, 民間航空, 経済損失

### 1. まえがき

2010年4月14日、アイスランド共和国（以下アイスランド）のエイヤフィヤトラヨークトル (Eyjafjallajökull) 火山が噴火した。火山は首都レイキャビクの東方向125 kmに位置します。噴煙は上空10,000m以上の成層圏に達し、火山灰は上空の気流に乗り西ヨーロッパ全土に拡散したために、航空機が飛行禁止となった。さらに、英国内の空港が閉鎖となったのをはじめ、フランスやドイツでも空港閉鎖となり、ヨーロッパの空港を中心に航空路の大混乱が生じた。短期間ではあったが、欧州約30ヶ国の空港が一時閉鎖し、1週間に航空機10万便が運休した。結果的に航空路の混乱はヨーロッパを中心とした経済活動に多大な影響を及ぼした。今回、ヨーロッパにおける航空路の混乱を鎮静化するにあたって、英国政府の果たした役割が大きく、さらには噴火に関わる騒動が鎮静化した9月に今回の火山噴火に伴う航空混乱について討議する国際会議がアイスランドで開催された。そこで、10月の末に英国の対応を

調査すべく、英国ブリストル大学、英国政府機関の Government Office for Science, 並びに火山噴火と航空に関する国際会議が開催されたアイスランドの Keilir Atlantic Center of Excellency他を訪問した。

### 2. 火山灰の航空機への影響

#### 2.1 火山噴火の実態

アイスランドは火山活動が活発なことで世界的に有名であり、ここから噴出したマグマは東西に分かれプレートの一部を形成することになる。アイスランドには約130の火山があり、そのうちの18は、アイスランドへの植民が始まった西暦900年頃以降に噴火を起こしている。今回の噴火を除けば、ここ1100年の間にエイヤフィヤトラヨークトル火山では3回の噴火が起きている。920年、1612年、そして1821年から1823年にかけての噴火となる。エイヤフィヤトラヨークトル火山は2010年3月20日に最初の噴火を起こしたが、その後小康状態となった。2010年4月14日、エイヤフィヤトラヨークトル火山は、短期間休

止した後に再び噴火した。噴煙柱はおおよそ9 キロメートル (30,000 ft)の高さに至り、VEI (火山爆発指数) はIVと評価された。再度の噴火は氷河中央の頂上部噴火口から氷河湖決壊洪水を引き起こし、大量の水が近くの川に流入したため800人の住民が避難を強いられることとなった。この2度目の噴火は、数キロメートル上空の大気に火山灰を噴き上げ、火山灰は上空の気流によって北西ヨーロッパ全土に拡散した。このことは、2010年4月15日より始まったヨーロッパ上空の大部分の空域を閉鎖する原因となり、北西ヨーロッパに航空混乱をもたらすこととなった。

火山活動は5月に入っても継続しており、16日に活動が活発化し、英国中部の空港、アイルランドの空港、更には英国のヒースロー空港も閉鎖された。オランダでは翌日に一部の空港が閉鎖されるに至った。

## 2.2 火山灰と航空機

火山灰からなる雲の周辺を飛行することは、航空機にとって大変な危険を伴う。噴火による煙と火山灰は視覚による航法においてその可視性を低減する。さらに火山灰に含まれる微細な破片はフロントガラスにショット・ブラストのように作用することもあり得る。Fig. 1に示すように、ジェットエンジンに吸い込まれた極細粒の火山灰は、エンジン内部の熱によって融解しタービンブレード (羽) その他の部品に付着する。このことによって、部品の腐食や破損等が生じる。その結果、推力の低下やエンジン停止をもたらすことがある。レシプロエンジンでもシリンダーやピストンを傷める原因となる。

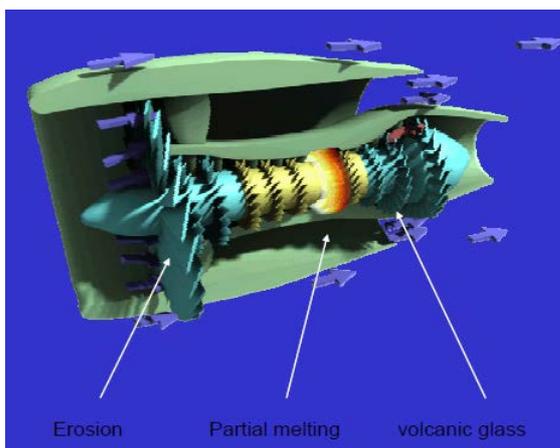


Fig. 1 Cross section of jet engine (Royo, 2010)

火山灰が航空機のジェットエンジンに対してどのような影響を及ぼすかを以下に詳細に記述する。火山灰はガラス質成分であるため、700 °C程度で融解してしまう。ジェットエンジンの燃焼室は1700 °C近くに達するが、エンジンを構成するタービンブレード

が高温で溶けないように、1000 °Cまで冷却する必要がある。そのため、タービンブレードには冷却孔が設置されており、タービンを構成する部材の過熱を防止している。しかしながら、火山灰は1000 °Cで融解し、溶けた火山灰はブレードに付着あるいは冷却孔を塞いでしまい、エンジンが過熱されることになる。エンジンの推力は低下し、最終的にエンジンが停止することとなる (Figs. 2, 3)。

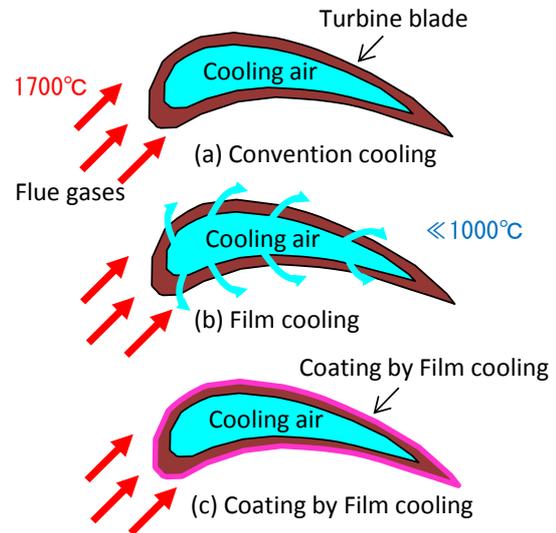


Fig. 2 Cooling of turbine blade

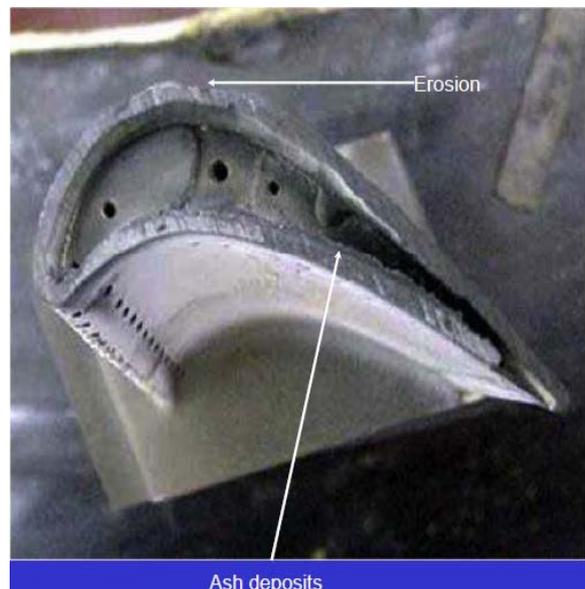


Fig. 3 Melted ash on turbine blade (Royo, 2010)

火山灰によるエンジントラブルとして以下のような事例がある。1982年にインドネシア上空でマレーシア発、オーストラリア行きのボーイング747型機がガルングン (Galunggung) 火山の噴火による火山灰が航空路に存在していることに気づかず飛行してし

まった。その結果12分間にわたり4基のジェットエンジン全てが停止し、ジェット機は滑空飛行状態になってしまった。7000 m高度が低下してエンジンが再始動したが、操縦席の窓ガラスは火山灰によって傷つき前方の視野が極端に損なわれていたのと、夜にもかかわらず、奇跡的に最寄りの空港に着陸することが出来た。1989年にはアラスカ上空にて、やはりボーイング747型機がリダウト（Redoubt）山の火山灰により8分間エンジン4基が停止している。

### 2.3 航空における火山灰の対応

上述したように、火山灰による航空機への影響を懸念し、1980年代に国際民間航空機関（ICAO）は、世界気象機関（WMO）、国際測地学・地球物理学連合（IUGG）など協力の基に国際航空路火山灰監視計画（IAVW）を推進した。その結果1990年代に各国の気象監視局（MWO）が火山灰に関する情報を空域悪天候情報（SIGMET）によって発表することとした。火山灰に関するSIGMETの発表を支援するために、世界各地に航空路火山灰情報センター（VAAC）を設置することとした。日本では1993年に気象庁内に東京VAACを設置している。VAACはFig. 4示すように現在世界9ヶ所に設置されている（小野寺ら，1997；新堀・桜井，2010）。

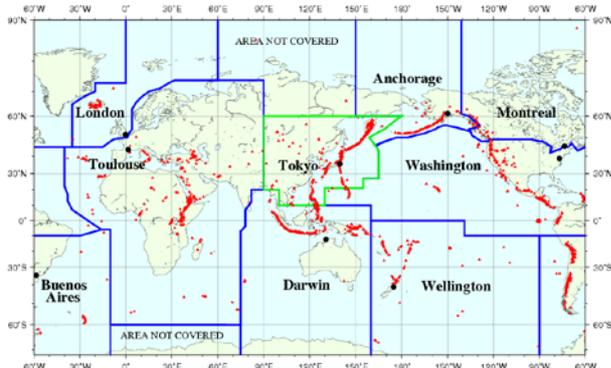


Fig. 4 Volcanic ash advisory centers – areas of responsibility (Shinbori and Sakurai, 2010)

### 3. 火山噴火に伴う欧州の飛行規制

アイスランドと英国の航空路火山灰情報を支援しているのが、ロンドンVAACであり、その情報に基づいて各国航空局が航空管制をしていると推察される。それにより、欧州の領空が飛行禁止となり、ヨーロッパの航空便をはじめヨーロッパ以外の地域からヨーロッパへ向かう便がキャンセルとなった。そのような状況下で、4月18日、19日に欧州の航空会社及び航空機製造会社が試験飛行を実施し、機体やエンジンに異常がないことを確認している。しかしな

がら、各国航空当局が依然として、欧州全域で空港閉鎖や飛行禁止の措置を継続したことに対して、欧州航空会社協会（AEA）を通じて過剰な制限であるとして速やかな見直しを要望している。特に、国際航空運送協会（IATA）からは航空当局の規制に対する厳しい指摘があった。このような状況の中で、4月19日にEUはテレビ会議による緊急運輸相理事会を開き、20日朝（現地時間）からの航空路の段階的再開を決定した。具体的には、航空路火山灰が存在していると飛行禁止としていたものをFig. 5に示すように航空路火山灰の濃度に応じて飛行の禁止基準を緩和し飛行区域を3つに分けている。火山灰の濃度が $4 \text{ mg} / \text{m}^3$ 以上は「全面飛行禁止（図中黒色ゾーン）」、 $0.2 \sim 4 \text{ mg} / \text{m}^3$ の範囲が「事前許可が必要」あるいは「条件遵守で飛行可能；飛行時間の制限（図中灰色ゾーン）」、 $0.2 \text{ mg} / \text{m}^3$ 以下は「通常飛行可能」としている。飛行可能基準は、CAA（イギリス民間航空局）によって原案が示されており、今回大きな役割を果たしている。それまでは火山灰が航空路に存在していれば完全に飛行禁止であった。「事前許可が必要」の区域にあつては、許可を得るためには事前に地上からのLIDAR（レーザー光レーダー）による計測を行う必要がある。今回の飛行規制緩和は、2010年5月21日以降に今回のエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火に伴い、ヨーロッパ・北大西洋地域（EUR / NAT）で決められたものであり、正式情報であるVAAの補助情報としての位置付けとなる。Fig. 6に示すよう、飛行禁止区域が大幅に変更されることとなった。

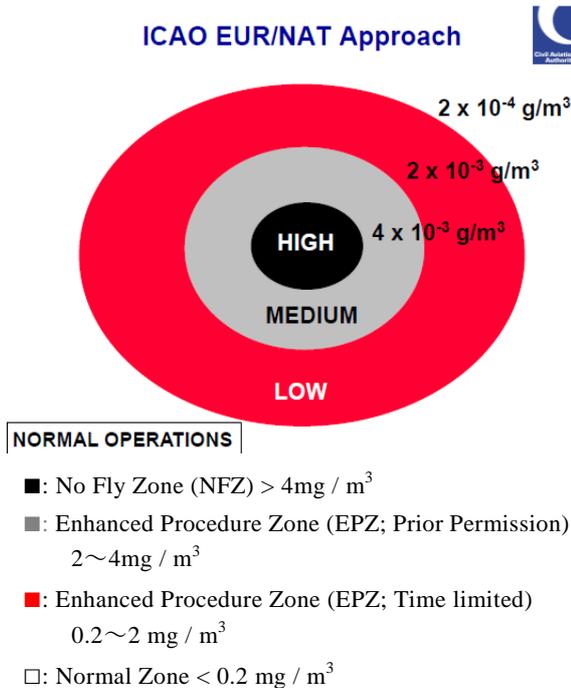


Fig. 5 Volcanic ash safety regulation (Kelleher, 2010)

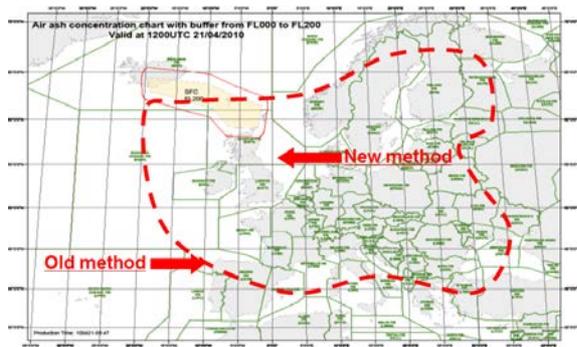


Fig. 6 Old and new no-fly areas in Europe after 21 April 2010 (Keilir, 2010)

また、今回の調査によって航空路火山灰の拡散について、ロンドンVAACと東京VAACとは予測の手法が異なることが明らかとなった。解析コードが、ロンドンVAACがNAMEIIIを用い、東京VAACが航空路火山灰拡散モデルを用いており殆ど差異はないようである。しかし、ロンドンVAACでは、衛星写真と噴煙柱の諸元を初期値として火山灰の拡散計算を実施している。そのため、火山灰の拡散範囲が広めとなる傾向にあるようである。一方、東京VAACでは、衛星データからその時点における火山灰の拡散範囲を求め、次にその範囲を拡散モデルに境界条件として与えることにより、数時間後の火山灰の拡散範囲を予測している。

ところで衛星写真あるいは衛星データはあくまでも衛星からの視覚的な火山灰の範囲であり、航空機のエンジンにとって問題になる細かい粒子の航空路火山灰まで追跡することは不可能とも考えられる。そのため、ロンドンVAACの予測情報が航空機にとって安全側となることは止むを得ないかもしれない。

#### 4. 航空機の飛行禁止に伴う経済的損失

今回のエイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火による経済的損失は、IATAの集計によると120万人 / 日の旅客が影響を受け、航空会社は6日間で\$17億（1,700億円）に達したとしている。Fig. 7にはヨーロッパにおける航空便への影響を示す。特に、4月17日～19日の3日間で\$4億 / 日の減収としている。経済的損失は航空業界ばかりでなく、農業生産品や工業生産品を空輸に頼っている産業においても多大な経済的損害をもたらした（Table 1）。

表中では、わが国の空港における滞留旅客の対応が、問題になっている。フランクフルト空港（ドイツ）の管理会社、フラポート株式会社 (Fraport AG) では、滞留旅客に対して食糧や寝具の提供を積極的に行った。フラポート株式会社では、年に何日か豪雪による航空麻痺を経験することから、滞留旅客のための備品が準備してあり、それらを今回放出したとのことである (Templin, 2010)。

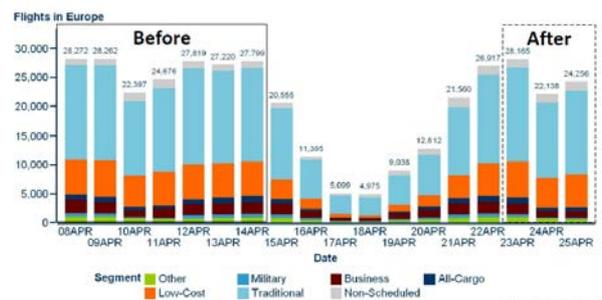


Fig. 7 Traffic in Europe before and during April crisis (Eurocontrol, 2010)

Table 1 Influence to the companies by aviation restriction

Europe	Airline (UK)	The loss to be £ 15 – 20 million (¥2.1 – 2.8 billion) a day. (entire world: €1.7 billion (¥192 billion)*)
	Airports (UK)	The loss to be £ 500 million (¥70 billion) a day.
	Distribution company (EU)	Delay of 1-2 days (domestic), delay of 3-5 days (overseas).
	Fishery company	Reduction of salmon fishing due to the difficulty of airlift.
	Motor company	In 3 factories, the operation was stopped for 2 – 3 days one by one due to the shortage of parts' supply.
	Flower market;	In flower market in Netherland, the import of roses from Kenya was broken off. The roses were kept in the refrigeration facility in Kenya. The loss to be \$2 million (¥ 185 million) a day.
Japan	Personal computer manufacturer	Influence on export to European nations.
	Airlines and travel agency	Slip in stock prices. Anxiety to decrease of number of travelers during the coming golden week holidays.
	Airports	Criticism of travelers to the response of Japanese airport authority compared with those of Europe. The stay traveler measures were announced by Japan tourism agency.
	Travel agency	Cancellation of Europe travel.
	Sales industry of medicine;	Import of radiologist medicine for diagnosis of breast cancer was broken off. Shipping cannot be used as the half – life of the radioactivity is 2 -3 days.
	Manufacturer of electric appliance	Some companies depending on airlift were influenced.

Source: SJRM report, 28/may/2010; \* Flight International, Sep/2010

## 5. 現地聞き取り調査

### 5.1 英国及び欧州における火山噴火への対応

ブリストル大学では、Bristol Environmental Risk Research Centre (Brisk) において、今回の火山噴火の対応に関する大学の関与について説明がなされた。最初に、Steve Parks教授からBriskの紹介がなされた。続いてWilly Spinall教授から今回の噴火対応は、英国政府と全英の関連大学との総合的な共同作業 (Multidisciplinary collaboration) であり、5~6人からなるブレイクストーミングが頻繁になされたとのことである。Aspinall教授は、原子力の核廃棄物の問題を専門しており、日本の原子力関係と密接な繋がりを有しておられる。次に、Mathew Watson講師からは、航空路火山灰は英国気象庁 (UK Met Office: United Kingdom Meteorological Office) から発せられており、大気拡散コードName IIIを用いて解析的に予測しているため、火山の噴煙柱の設定の仕方によって分布範囲が異なってくるとの説明があった。また、飛行機に搭載したLIDAR (レーザー光レーダー) によって、火山灰の高さ方向の分布を計測したところ、解析による分布範囲数 kmに対して数百 mと狭い結果となった。また、当時、火山灰の拡散予測は衛星写真に比べて過大になっているのではないかといった意見も出された。さらに、拡散予測では初期値である噴煙柱の設定が重要であり、火山学者の大いなる関与が必要であると締め括っていた。

次に、ロンドンのGO-Science (Government Office for Science) を訪問した。GO-ScienceはDepartment for Business, Innovation & Skills (BIS) に属しており、そのHead of Civil Contingency TeamであるDr. Christopher McFeeと、Cabinet Office所属のAnita Friendから説明がなされた。GO-Scienceは科学技術を種々の問題に対してどのように適用するかを検討する機関であり、もともとは30年以上前にCabinet Officeに設立されたが、扱う内容が科学技術に関連しているため数年前にBISに所管替えになった。GO-Scienceは重要な科学技術研究に予算が適切に配分されているかを検証したり、クロスバウンダリーの問題に対して省庁間の調整をする役割を担っている。また、GO-ScienceはCabinet OfficeやPrime Ministerに対してBriefing (状況説明) を行う。実際のBriefingは、Government Chief Science Advisor (GCSA; 現在はProfessor John Beddington) が行う。危機管理問題が発生した際にはCOBRA (Cabinet Office Briefing Room-A) が立ち上がるようになっており、今回の火山噴火にともなう航空路火山灰に関する問題でも設立された。COBRA設立は、1986年に英国で発生したBSE問題を契機としている。

エイヤフィヤトラヨークトル火山が4月14日二度目に噴火した翌日、GCSAはCabinet OfficeのCivil Contingency Secretariat (CCS) と協議の結果、科学的アドバイスが必要と判断し、4月18日に首相と協議の結果、翌日にはCOBRAが立ち上げられた。その際の焦点は、国外にいる英国国民の安全な英国への送還である。今回のCOBRAの主務官庁は、Ministry of TransportとMinistry of Foreign Affairsであり、扱う問題によってCOBRAの主務官庁が異なる。最終的には軍艦の派遣による英国内への送還がなされた。

4月20日にはSAGE (Science Advisory Group for Emergency) の電話会議が開催された。SAGEはCOBRAが科学的根拠に基づいた判断やアドバイスを適宜提供できるようにサポートする役割を担っている。構成メンバーは、政府の専門家、政府以外の専門家、幾つかの省庁のChief Science Adviser及び民間航空局 (CAA) の代表からなり、議長はGCSAが務める。また、SAGEはGO-Scienceによってサポートされる。SAGEでは、以下の事柄について着目した。

1. 今回の事象に対する新たな研究の必要性及びペアレビュー; 微細な火山灰が大気中に拡散した理由は何か。UK Met Officeが使用している拡散モデルの不確実性。飛行機のエンジンに対する火山灰の影響。
2. 選択する政策として何があるか。
3. 航空産業界の代表に対する科学的な根拠に基づいた状況説明をする。
4. 火山灰に関して計測能力並びに研究能力の現況。
5. 火山噴火に関わるハザードについての全般的なリスク評価の5項目である。

### 5.2 火山噴火と航空に関する大西洋会議

火山噴火後の9月15~16日に、アイスランドのKeilir Atlantic Center of Excellencyにおいて今回の火山噴火と航空に関する国際会議が開催された。筆者らは英国の次にアイスランドを訪問し、この国際会議に出席したアイスランドの研究者からヒアリングを行った。国際会議の概要を以下に記述する。

会議は、著名な火山学者と欧州委員会の航空輸送局長の基調講演で始められた。

飛行の安全について、最終的に責任を持つのは、航空会社、飛行パイロット、管制官等の誰であるべきかといった議論が、ICAO、米国航空会社、国際航空機操縦士協会 (IFALPA) 及び国際航空管制官協会 (IFALDA) からの専門家によってなされた。会場から航空管制当局が最終的に飛行判断を行うべしとした意見が出された。

技術的要因として、航空機本体とジェットエンジンの専門家によって議論がなされた。火山灰濃度に関する正確な情報提供をする必要があるとの意見があった。ロールスロイス社のジェットエンジン350

基について調査したところ、火山灰濃度 $2\text{ mg} / \text{m}^3$ で安全性に問題がなかったことが報告された。さらに、高濃度の火山灰中でも飛行が可能かもしれないが、現時点では航空機メーカーからの支持は得られていないとのことである。いずれにしても、航空機メーカーからは火山灰が視認できる状態では飛行すべきではないとの意見が出された。

火山灰の科学的観点から、火山学者、火山灰予測及び火山灰計測の専門家によって議論がなされた。今回の火山噴火に続き、将来アイスランドのカトラ(Katla)山の噴火が懸念されるとの指摘がなされた。火山灰予測では、入力パラメータ及び初期条件の不確実性が課題であることが強調された。すなわち火山灰予測では、火山から放出される火山灰噴出量の見積りに依存している。幾つかの国が火山灰の大気中観測を実施したが、予測された火山灰濃度がかなり過大であったことを指摘している。これには、LIDARによる観測や火山近傍で実施された火山灰の現地観測結果に基づく指摘も含まれている。このことは、火山灰の中を実際の飛行機を用いたテスト飛行によっても支持されることとなった。そのため、火山灰の予測過程において、その他の観測データとともに衛星画像を活用することが必要であるとの指摘がなされた。さらに火山灰の地上計測に加えて、大気中計測が重要であるとの意見が大方の支持を得た。

国際的活動として、ICAOと国際火山灰問題特別委員会(IVATF)の活動が高く評価され、活動が重要事項として実行されるべきであることが合意された。この活動を通じて火山灰を取り扱う新しい方法論や手順が確立されることが期待される。さらに、火山灰濃度の解析モデル、計測、予測において広範囲の改善が必要であることについても合意がなされた。火山灰濃度 $2\text{ mg} / \text{m}^3$ まで条件なしで飛行が許容できるとの指摘もあったが、エンジン製造メーカーのさらなる研究が必要とされた。また、この火山灰濃度値には、懐疑的な意見もあるのでさらなる議論が必要とのことであった。

最後に、欧州航空安全局(EASA)と欧州航空航法安全機構(Eurocontrol)に対して、将来の火山噴火に対する航空の管理システム構築に向け、今後の活動に大きな期待を寄せるということで閉幕した。

15日～16日の大西洋会議のあとに「エイヤフィヤトラヨークトル噴火と小規模火山噴火の影響」に関するワークショップが2010年9月17～19日に開催された。そこでは、以下の事柄について非公式の口頭討議セッションが設けられた。

1. 噴火前あるいは噴火時における地表の地形変化の計測

2. 噴火計測および火山噴出物の排出量の特定
3. エイヤフィヤトラヨークトル火山噴火並びに最近の噴火から得た教訓

このほかにも、国際的な調査プロジェクトの可能性についても議論がなされていた。

## 6. おわりに

日本は富士山、桜島をはじめとして47の火山が存在している火山国であり、日本以外に環太平洋火山帯に位置する東アジアの国々にも大規模火山が存在する(聯合ニュース, 2010; 小川・早川, 1998)。我が国の経済は東アジアの経済活動と密接な関係にある。将来起こりうる大規模火山噴火への対応を、我が国における事業継続計画の一環として検討しておくことは、ことが起こってから「想定外」と言い訳しないためにも重要である。

今後の検討としては、第一に将来我が国の航空路に影響を及ぼす大規模火山噴火のシナリオを作成する。第二としては、大規模火山噴火が発生した時の航空路火山灰の観測方法について検討を実施する。特に火山灰の観測技術では、XバンドMPレーダーを用いた火山灰観測の可能性について、検討が開始されている。現在XバンドMPレーダーは、降雨計測において有力な監視手法として多い注目されており、次の段階として降雪量計測に可能性についても検討がなされている。さらに考え方を拡張し、降下火山灰や航空路火山灰計測の可能性についても検討が開始されようとしており、火山灰計測が可能となればLIDARを用いた計測と併せて、精度の高い豊富な情報取得が期待される。

## 参考文献

- 小野寺三朗・井口正人・石原和弘(1997): 火山噴火による航空機災害の防止と軽減, 京都大学防災研究所年報, 40, B-1, pp. 73-81.
- 新堀敏基・桜井利幸(2010): 火山灰の輸送シミュレーションと航空路火山灰情報, 地震研共同利用研究集会, 火山現象の数値計算研究
- 聯合ニュース(2010): 白頭山に数年内噴火の兆候--気象庁が対策準備に着手--.
- 損保ジャパン・リスクマネジメント(2010): アイスランドの火山噴火と企業への影響, SJRMレポート.
- 早川由紀夫・小山真人(1998): 日本海をはさんで10世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日--十和田湖と白頭山--, 火山, 43巻, 5号, pp. 403-407.

- Eurocontrol (2010): Ash-cloud of April and May 2010-- Impact on air traffic--, European Organization for the Safety of Air Navigation.
- Kelleher, R. (2010): Atlantic conference on Eyjafjallajökull and aviation, UK volcanic ash safety regulations, Keflavik Airport, Iceland.
- Royo, C. C. (2010): Atlantic Conference on Eyjafjalla- jökull and Aviation, IFALPA's position paper submitted to ICAO's International Volcanic Ash Task Force, Keflavik Airport, Iceland.
- Templin, C. (2010): Icelandic volcanic eruption-- Damage and response from the experience of Frankfurt airport, Mini seminar on Icelandic volcanic eruption and impacts on aviation systems.

## **The Economic Influence on the Civil Aviation by the Large-scale Eruption in Iceland**

Nario YASUDA, Yoshio KAJITANI, Hirokazu TATANO and Sabro ONODERA\*

\* J. F. Oberlin University

### **Synopsis**

The volcano of Eyjafjallajökull in Republic of Iceland which is located in 125km east of Capital Reykjavik erupted on April 14, 2010. The eruption column reached the stratosphere of 10,000m or more in the atmosphere, and volcanic ashes had been diffused by the air current in high altitude to the whole land in west Europe. The volcanic ash clouds caused the confusion of the aviation in the airports in Europe. The airports of about 30 countries in Europe closed temporarily, and 100,000 aircraft flights a week interrupted operations. The confusion of the airline consequentially exerted a large influence on an international economic activity centering on Europe.

Japan is one of the eminent volcano countries in the world and the large-scale eruptions were recorded at the surrounding of the eastern Asia in the past. Recently, a human movement by the aircraft has been activated according to remarkable economic development in the eastern Asian countries, which are connected in the supply chain. In such a circumstance, the influence by a large-scale volcanic eruption to the aircraft is not neglected. In this study, we prepare the assumption scenario of the volcanic ash clouds in the future to investigate the influence reduction of the civil aviation and the related facilities as for the large-scale eruption.

**Keywords:** volcanic ash, civil aviation, economic loss



## 防災問題における資料解析研究 (38)

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) 総合防災セミナー、2) 第16回地域防災計画実務者セミナー、3) 災害対応研究会、4) 第11回比較防災学ワークショップ、5) 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. 総合防災セミナー

巨大災害研究センターでは過去10年以上にわたって、当センターの教員・研究員および客員教員等によるオープンセミナーを開催してきた。2010年度からは本セミナーを発展させ、防災研究所社会防災研究部門との共催で総合防災セミナーとして開催することとなった。

2010年度の開催日と講演者およびタイトルは以下のとおりであり、総合防災グループをはじめとして防災研究所の関係教官、学生、さらに特別講義として公開している情報学研究科の大学院生が参加し、毎回活発な議論が重ねられた。

・ 第1回 (2010年5月7日)

「Some contributions of Professor F. J. Sanchez-Sesma to understand the effects of surface geology on seismic ground motion」

Professor Francisco J. Sanchez-Sesma (Visiting Professor at DPRI Kyoto University)

「気候変動及び人間活動を考慮した広域水・物質循環に関する研究 (Study on large scale water and material cycle considering climate change and human activity)」

賀 斌 特定准教授 (学際融合教育研究推進センター・極端気象適応社会教育ユニット)

・ 第2回 (2010年7月2日)

「Building Disaster Resilient Organizations in the Non-Government (NGO) Sector」

Professor Richard Eisner, FAIA (Visiting Professor at

DPRI Kyoto University)

・ 第3回 (2010年9月6日)

「End-to-end earthquake simulation : From source to urban impact」

Professor Jacobo Bielak (University Professor at Carnegie Mellon University, Visiting Professor at DPRI Kyoto University)

・ 第4回 (2010年10月1日)

「首都直下地震対策に向けた法制度のあり方—序説 (Ideal legal systems for coping with inland earthquakes in Tokyo - Introduction)」

大分大学教育福祉科学部 山崎 栄一 准教授 (巨大災害研究センター客員准教授)

・ 第5回 (2011年1月7日)

「昨今のダム技術あれこれ (The latest technologies in dam engineering in Japan)」

社会防災研究部門防災公共政策分野 安田 成夫 教授

・ 第6回 (2011年3月14日)

「Water Quality Determination Through Remote Sensing」

Prof. Geoffrey Schladow (Professor of Water Resources and Environmental Engineering, Director, Tahoe Environmental Research Center, University of California, Davis)

## 2. 第16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16回目を迎えて、本年度は大雨災害への対応をテーマに、初日に大雨災害対応に関わる基礎知識について、2日目には近年発生した大雨災害についての検証結果を紹介し、最終日には国での新たな取り組みについて紹介した。京都大学百周年時計台記念館2F会議室Ⅲ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85名、2日目102名、最終日77名の参加を得た。

### ■第1日目（平成22年10月18日）プログラム 《大雨災害対応の基礎知識を学ぶ》

13:30 挨拶（京都大学防災研究所巨大災害研究センター・准教授 牧 紀男）

13:40 講義1（～14:40）  
「警報（Public Warning）と避難の基礎知識」（京都大学防災研究所巨大災害研究センター・教授 林春男）

14:50 講義2（～15:50）  
「土砂災害の基礎知識」（京都大学防災研究所斜面災害研究センター・准教授 福岡 浩）

16:00 講義3（～17:00）  
「気象情報・洪水の基礎知識」（京都大学防災研究所社会防災研究部門・准教授 山敷 庸亮）

17:00 終了

### ■第2日目（平成22年10月19日）プログラム 《大雨災害を振り返り、災害対応に活かす》

●2009年の兵庫県佐用町の大雨災害を検証する  
9:30（～10:20）

「台風9号災害に対する兵庫県検証委員会の検討」（関西大学社会安全学部・教授 河田 恵昭）

10:30（～11:20）  
「佐用町検証委員会を代表して」（関西学院大学総合政策学部・教授 室崎益輝）

●2009年の山口県防府市の土砂災害を検証する

11:30（～12:20）

「防府市検証委員会を代表して」（山口大学理工学研究科・准教授 瀧本浩一）

12:20（～13:30）昼食

13:30（～14:20）

「内閣府大雨災害における避難のあり方等検討会を代表して」（富士常葉大学大学院環境防災研究科・教授 重川希志依）

●大雨災害の教訓を防災対策に活用する

14:25（～15:15）

「2004年豊岡水害の反省を活かす」（豊岡市・副市長 中川 茂）

15:15（～16:05）

「2004年福井豪雨災害」（特定非営利活動法人 ドラゴンリバー交流会・理事長 有塚達郎）

16:05（～16:55）

「2009年佐用町水害」（佐用町・復興担当理事 山田聖一）

17:00（～18:00）パネルディスカッション

「大雨災害対応を考える」  
モデレータ：京都大学防災研究所 牧 紀男  
パネリスト：話題提供者全員

18:00 終了

### ■3日目（平成22年10月20日）プログラム 《国が提供する防災情報の最前線》

9:30（～10:20）

「降水ナウキャスト・降水短時間予報の読み方を学ぶ」（気象庁予報部業務課・気象防災情報調整官 弟子丸卓也）

10:30（～11:20）

「土砂災害警戒情報（土壌雨量指数・スネーク曲線・タンクモデル）を読み解く」（気象庁予報部業務課・気象防災情報調整官 弟子丸卓也）

11:30（～12:20）

「河川情報に関する新たな取り組み」（国土交通省河川局河川計画課・河川情報企画室長 五道仁実）

12:20（～12:30）

閉会の挨拶（京都大学防災研究所巨大災害研究センター・准教授 牧 紀男）

12:30 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員をはじめ、行政の防災関係者、研究機関の教員、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22年度の講演のキーワードは、「災害時広報」、「アートで防災」、「一重川 希志依ワールドを訪ねてー災害エスノグラフィー研究との出会い」、 「ISO TC223“公共安全 (Societal Security)”の成果を日本の防災/危機管理にどう活かすか」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23年1月には、神戸国際会議場で行われた神戸市主催の第4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(本章「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<災害時広報>

日時：平成22年4月16日(金) 13:30~16:30

場所：堂島リバーフォーラム

参加者数：42名

「中越沖地震時の民間視点による行政広報」

高島哲夫(内閣官房参事官)

「危機におけるマスコミ対応～震災と新型インフルの体験から～」

中川和之(時事通信社 編集委員, 「防災リスクマネジメントWeb」編集長)

「災害時広報について」

安富信(読売新聞大阪本社 編集委員, 人と防災未来センター リサーチフェロー)

危機管理の重要な柱にマスコミ対応があるという認識が広まりつつある。その最先端煮る方々に自らのご体験を踏まえて、話題提供いただいた。

高島氏は新潟県中越沖地震の際の「新潟県広報監」としての活動について、なぜ民間人(博報堂)が県の広報監になるのか、そこでは何を期待されていたのか、想定外の地震が起きて何をされたのか、どこに苦勞したのか、どこを工夫したのかをご紹介いただいた。

中川氏と安富氏には、マスコミの立場から、2010年の新型インフルエンザを例にして、どこを苦勞したのか、どこを工夫したのか、をご紹介いただいた。

#### ・第2回<アートで防災>

日時：平成22年7月23日(金) 13:30~16:30

場所：堂島リバーフォーラム

参加者数：35名

「ある防災ダンサーの5年間ー地味に地道にー」

黒崎ひろみ(名古屋大学災害対策室 助教)

「防災を+arts的アプローチで編集する」

永田宏和(NPO法人プラス・アーツ 理事長)

防災では心技体、知情意のすべてに訴えかける必要がある。どちらかという知に偏りがちな防災に関する活動を、アートという切り口から考えるということで、この分野の第一人者のお二人から話題提供いただいた。

元プロのダンサーというめずらしい経歴を持つ黒崎氏には、パフォーマンス型防災を始める契機や、活動内容、今後の目指す姿などをご紹介いただくとともに、実技指導もいただいた。

「かえるキャラバン」「地震イツモノート」などいつもセンスあふれる活動をされる永田氏には、わが防災論として日頃のお考えを体系的にお話しいただいた。

#### ・第3回<一重川 希志依ワールドを訪ねてー災害エスノグラフィー研究との出会いー>

日時：平成22年10月22日(金) 13:30~16:30

場所：堂島リバーフォーラム

参加者数：30名

「災害を理解するー災害エスノグラフィー研究との出会いー」

重川希志依(富士常葉大学環境防災研究科 教授)

「重川ワールド(エスノグラフィー事始め)私の先遣役としての役割」

浦田康幸(ハイパーリサーチ株式会社大阪営業所 所長)

「観察と参加とエスノグラフィー」

田中聡(富士常葉大学環境防災研究科 教授)

第3回は「XXワールドを訪ねて」シリーズ第3弾として、富士常葉大学の重川希志依先生に当日のプログラム編成お任せし、重川先生を中心と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。

#### ・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。(本章「4.比較防災学ワークショップ」を参照)

## 4. 第11回比較防災学ワークショップ —みんなで防災の知恵を共有しよう— 11th Workshop for “Comparative Study on Urban Mega 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、2009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、第10回を神戸国際会議場で2010年1月19日、20日に開催した。今年度も第11回として、また前回よりは、災害対応研究会（本章「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2011年1月19日、20日に開催した。

### 4.2 開催日時

2011年1月19日（水） 13:30～16:50、  
1月20日（木） 10:00～16:50

### 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

「ISO TC223“公共安全（Societal Security）”の成果を日本の防災/危機管理にどう活かすか」

<2011年1月19日>

「ISO TC223“Societal Security WG3（社会セキュリティ緊急事態管理）”活動と成果物としての国際規格について学ぶ」

13:30～13:40

開会挨拶

京都大学 防災研究所 林 春男

13:40～14:40

「ISO22320 及び ISO22322 の策定経緯と概要」

京都大学 防災研究所 林 春男

14:40～15:40

「大規模災害現場における経験と考察」

岩手医科大学 救急医学講座 岩手県高度救命救急センター 秋富慎司

15:40～16:00 休憩

16:00～16:50 パネルディスカッション「これらの規格をどう活用していくか」：話題提供者全員

<2011年1月20日>

「ISO TC223“社会セキュリティ (Societal Security)”活動の意義と意味」

10:00～10:10

開会挨拶

関西大学社会安全学部・社会安全研究科 河田恵昭

10:10～11:10

「社会セキュリティと国際標準」

早稲田大学 研究戦略センター 中島一郎

(ISO TC223“公共安全 (Societal Security)”国内委員会委員長)

11:10～12:10

「“ISO PAS22399 (事業継続マネジメントシステム-指針)”の概要とその影響」

東京海上日動リスクコンサルティング株式会社 経営企画室 岡部紳一

12:10～13:30 昼食休憩

13:30～14:30

「“ISO22398 (社会セキュリティ-訓練と試験)”の概要とその影響」

名古屋工業大学大学院 工学研究科 渡辺研司

14:30～15:30

「“ISO22320 (社会セキュリティ-緊急事態管理-指揮命令のための要求事項)”及び“ISO22322 (社会セキュリティ-警報システム)”の概要と課題」

京都大学 防災研究所 林 春男

15:30～15:50 休憩

15:50～16:40 パネルディスカッション「わが国でどのように活用するのか」：話題提供者全員

16:40～16:50

閉会挨拶

関西大学社会安全学部・社会安全研究科 河田恵昭

#### 4.5 研究成果

[1] 延べ 109 名が参加した。

[2] 組織はさまざまな危機への対応を迫られており、自然災害、人為災害、あるいはテロから組織を合理的にまもる必要がある。ISO では、2005 年に TC223“Societal Security” (公共安全) を立ち上げ、民間企業の事業継続から、公的機関の危機管理までを包括的にとらえる安全・安心のための国際規格の策定に取り組んでいる。その成果として 2011 年にはいよいよ国際規格が生まれようとしている。今年の比較防災学ワークショップ/災害対応研究会公開シンポジウム

では、わが国の代表として ISOTC223 で活躍いただくエキスパートを招き、多方面にわたる TC223 の活動と、現在検討中の国際規格案の内容を体系的に紹介し、TC223 の成果をわが国が今後どのように利活用していくべきかを考えた。

[3] 研究成果の詳細をまとめた第 1 1 回比較防災学ワークショップ Proceedings を刊行した。

### 5. 自然災害データベース

#### 5.1 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ている。これらの実績を踏まえて、昭和 57 年度よりデータベース“SAIGAIS”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“SAIGAIS”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 22 年度には新たに約 9,000 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 11 万 5258 件となっている。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。

#### 5.2 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

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/saigaishiryō/> でアクセス可能となっている。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23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。

平成22年度は南海トラフで発生した歴史地震津波を対象として、1605年慶長地震、1707年宝永地震、1854年安政地震後の記述を収集した。その内容は次のとおりである。

- [1] 1605年慶長度については、後世の編纂物、京都の公家日記等、1707年宝永度については、江戸、大阪、および各地である程度史料が存在、1854年安政度については膨大な史料が存在する。
- [2] 江戸町触集成、京都町触集成から関連する触れを収集した。当時の対応がうかがえる。
- [3] 公家日記や在江戸の書肆より、各地での被害やその後の状況の様子を記述する部分を抽出した。
- [4] 和歌山県、大阪市の自治体史より、関連の記述を抽出した。他の自治体においても膨大な史料が存在すると考えられるので、その収集、整理、分析するための方法を検討した。

## Information Analysis in the Field of Natural Disaster Science (38)

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 16th Seminar for Regional Disaster Prevention Plan was held focusing on heavy rain disaster reduction. The 11th Workshop on Comparative Disaster Studies was held to discuss the international standard of social security. 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 22 年度 共同研究報告

平成 8 年度より、全国共同利用研究所として共同研究を実施している。平成 22 年度からは「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」として新たな枠組みで共同研究課題の募集を行った。応募があった研究課題は、共同利用・共同研究拠点委員会で公正な審査のうえ採択が決定される。平成 22 年度の各種目についての、応募件数、採択件数および共同研究費は次の表のとおりである。

	応募件数	採択数	共同研究費 合計
一般共同研究 (平成 22 年度)	40	19	21,900,000
萌芽的共同研究	4	3	900,000
一般研究集会	10	10	7,300,000
長期滞在型共同研究	2	1	1,400,000
短期滞在型共同研究	0	1 (長期滞在型申請より)	720,000
重点推進型共同研究	2	2	3,200,000
拠点研究 (一般推進)	7	6	26,800,000
拠点研究 (特別推進)	1	1	2,000,000
特定研究集会	1	1	800,000

以下の報告は、平成 22 年度に実施された一般共同研究 19 件、萌芽的共同研究 3 件、一般研究集会 10 件、長期滞在型共同研究 1 件、短期滞在型共同研究 1 件、重点推進型共同研究 2 件、拠点研究 7 件、特定研究集会 1 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 218 名、研究集会参加者は 510 名、長期・短期滞在型共同研究の参加者は 11 名、重点推進型共同研究の参加者は 69 名、拠点研究の参加者は 92 名、特定研究集会の参加者は 200 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：22G-08）

課題名：InSAR 解析による地震に誘発された地すべりの検出

研究代表者：國生剛治

所属機関名：中央大学理工学部

所内担当者名：松波孝治

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 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：14 名（所外 10 名，所内 4 名）

- ・大学院生の参加状況：4 名（修士 4 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 現地調査，微動観測，InSAR 解析 ]

### 研究及び教育への波及効果について

本共同研究により，研究ネットワークが形成され，幅広い議論ができるようになった。本学の院生のみならず他大学の院生とも交流ができるようになった。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

既往の地すべり地で，中規模以上の地震により再活動することがあるならばその地すべり地は来るべき大地震時には勿論のこと，豪雨時にも高い確率で再活動するであろう。大地震時に誘発され易い危険な地すべり地の予測とその活動の監視には，地表面の変位の時間的変化を検出できる InSAR 解析と地表面の傾斜分布や表層流分布等の水文地形的特徴を抽出できる DEM 解析を併用することが有効である。ここでは，震度 4 以上の地震を経験している地すべり地を数ヶ所選定してその検証を行った。

#### (2) 研究経過の概要

2007 年能登半島地震時の輪島市門前町及びその周辺を対象地域として研究を実施した。地震前後の地表面変位分布，表層流分布，及び傾斜分布を GIS 手法により重ね合わせ，有意な変位を示す地すべり地について現地調査を行った。InSAR 地表面変位と実地盤変動の比較・分析，及び，地震誘発地すべり地での現地調査，微動観測から得られた結果を報告する。

#### (3) 研究成果の概要

1. InSAR は震源主断層による広域的な地殻変動のみならず小規模で局所的な地盤沈下，地すべり，斜面崩壊等の地盤変動をも検出できる。震央近くでは地殻変動が卓越し，震央から離れるほど局所的な地盤変動の影響が強い。
2. 新・旧の河道，支流と本流の合流部，支流が形成した扇状地の扇端部，及び本川の作る自然堤防の後背湿地等では InSAR 変位量が顕著で現地踏査でも地表面変状とよい一致があった。更に液状化発生地，地すべり・斜面崩壊箇所では InSAR 変位量が顕著である事が確認された。このように InSAR 変位量の大きい部分は地盤変状箇所等に一致する。
3. 山地では既往の地すべり地やその周辺に大きな InSAR 変位量が検出され，対応する変状が現場で確認できた。DEM による地形解析から，地すべり斜面の地下水流分布及び傾斜分布は InSAR 変位量分布とよい相関を示す。既往地すべり

り地は周辺山地に見られる広域的な地殻変動による変位方向とは異なり，地すべり方向への変位を示した。これは地震による地すべり地の再活動を InSAR によって検出し監視できることを示している。

4. スペクトル比解析から，地すべり地盤は 4～6Hz に卓越するピークを持つ。これは他の斜面には見られないことから地すべり斜面の特性と考えられる。国内の他の地域の地すべり地での観測事例がいくつかあるが，いずれもこの周波数帯に卓越ピークを持つことが報告されており興味深い。

上記のように，本手法の有効性を確認できた。しかし，解析事例が少ないためこの手法を確立させるには更なる事例研究を必要とする。

#### (4) 研究成果の公表

成果 1 から 4 について，それぞれ自然災害学会誌に投稿準備中である。

## 一般共同研究（課題番号：22G-12）

課題名：造構環境と断層地盤構造の解析に基づく潜在断層の地震危険度評価に関する包括的研究

研究代表者：金折裕司

所属機関名：山口大学大学院 理工学研究科

所内担当者名：遠田 晋次

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：防災研究所地震予知センターおよび山口大学理工学研究科

共同研究参加者数：5 名（所外 4 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

広域応力場の中で潜在断層の存在を位置づけることによって、これまで活動性が不明であった地質断層についてもその活動性を論じることができるようになり、さらにプロセスゾーンの微細構造解析で得られた局所応力場とGPS測地や震源メカニズムによる広域応力場との関係がわかり、活断層地震の危険度評価に関して断層プロセスゾーンの重要性が認識された。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

本研究では、西南日本内帯で発生した内陸地震の造構環境を解析し、テクトニクスの視点から共通の特徴および差異を明らかにするとともに、潜在断層の地盤構造と微細組織の解析を組み合わせ、局所的な古応力場およびその変遷史を明らかにする。造構環境解析によって得られた現在の広域応力場と対比して、潜在断層の地震危険度評価およびそのランキング(順位付け)法の確立を目指す。従来の活断層地震の長期予測では、平均活動間隔と最新活動時期の2つのパラメータが用いられてきたが、これらに造構環境指標を加えることによって、現在の応力場で動きやすい断層（潜在断層）の抽出が可能となり、活断層地震の長期予測に新しい視点を提供する。

#### (2) 研究経過の概要

6月22日に防災研究所にて、本共同研究の概要について説明し、各共同研究者の役割分担を決定した。さらに、研究の進め方について議論し、断層プロセスゾーンの性質と特徴に関して共通の認識を持つために、野外調査を行うことで合意した。広域応力場の中で潜在断層を抽出するために、以下の解析を行うことにした。(1) 内陸地震の発震機構とGPS測地による変位ベクトル解析、(2) 活断層に沿ったプロセスゾーンの微細構造および断層ガウジ中のMn濃集の分析、(3) Coulomb3.2プログラムを用いた局所応力場と広域応力場のシミュレーション。

10月8、9日には山口県にて現地調査および研究打ち合わせを実施した。まず、山口県北部に位置する活断層である萩北断層を対象として地形的な特徴を調査したが、断層プロセスゾーンの地形的な特徴を明らかにすることができなかった。次に、徳佐-地福断層の露出する長門峡河床露頭で断層プロセスゾーンの空間的な広がりとその特徴を観察するとともに、断層運動および広域応力場について議論した。木戸山西方断層の活断層保存施設に立ち寄り、周辺の変動地形と断層の性質を観察した後に、化学分析用の断層ガウジ試料を採取した。これらの結果をもとに、総合討論を行い、研究の進め方を決めた。

2月4日に防災研究所にて、研究成果報告会を実施し、次の(3)研究成果の概要に述べる事が報告され、最終報告書の作成に向けてそれぞれの成果を詰めていくこととなった。

### (3) 研究成果の概要

- ①造構環境と広域応力場の解析：(1)中国地方西部を対象として地質断層と活断層が位置的に一致するものについて、現在の応力場の中で活動し易い方向にあるものを抽出した。(2)鳥取県西部地震や福岡県西方沖の地震など大地震の震源メカニズム解、長期間の地震活動データ、GPS測地データを総合して、西南日本の現在の広域応力場を解析した。
- ②微細組織と局所応力場の解析：(1)低活動度の活断層として山口-出雲地震帯に沿った大原湖断層系を構成する活断層を対象として、断層地盤の複合面構造、滑りセンス、局所応力場など微細構造特性を明らかにした。一方、高活動度の活断層として、中部地方の根尾谷断層と阿寺断層を選定し、複合面構造による滑りセンス、局所応力場の復元、最新の地震性滑りで動いた断層ガウジに濃集するマンガン(Mn)など微細構造解析を実施した。(2)プロセスゾーン内の小断層、節理および複合面構造やマイクロクラックなどのデータを使って、古応力場の変遷に関する基礎資料を得た。
- ③断層地盤特性と地震危険度の評価：Coulomb3.2プログラムを用いて、造構環境と広域応力場の中での断層運動に伴う局所応力変化を計算し、広域応力場と局所応力場の関連性を解明した。

### (4) 研究成果の公表

相山光太郎・金折裕司(2010)：島根県南西部、弥畝山西断層と都茂断層のテクトニックインバージョンと性状。

平成22年度日本応用地質学会 研究発表会講演論文集, pp. 213-214.

Aiyama, K., Kanaori, Y., Sagawa, A., Morioka, T. and Tanaka, T. (2010) : Spatial-temporal migration of active-fault earthquakes in central Yamaguchi Prefecture, southwest Japan. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Congress of the IAEG Geologically Active, 5-10 September Auckland. (CD-ROM).

Fukushima K., Kanaori, Y. and Miura, F (2010): Influence of Fault Process Zone on Ground Shaking of Inland Earthquakes: Verification of Mj = 7.3 Western Tottori Prefecture and Mj = 7.0 West Off Fukuoka Prefecture Earthquakes, Southwest Japan. Engineering Geology, 116, pp. 157-165.

今井利宗・金折裕司(2010)：1927年北丹後地震(Mj7.3)、郷村断層と山田断層のテクトニクス。平成22年度日本応用地質学会 研究発表会講演論文集, pp. 211-212.

小坂和夫・金折裕司・千木良雅弘・吉田鎮男(2010)：日本の断層マップ, 培風館, 248p.

後根裕樹・金折裕司(2010)：山口県西部、菊川断層の形態について。平成22年度日本応用地質学会 研究発表会講演論文集, pp. 3-4.

山口祐貴子・金折裕司(2010)：断層プロセスゾーンを考慮した断層運動シミュレーションー平成7年兵庫県南部地震(Mj7.3)を例に。平成22年度日本応用地質学会 研究発表会講演論文集, pp. 209-210.

## 一般共同研究（課題番号：22G-13）

課題名：防災考古学の構築と展開—京都・近江盆地における発掘調査成果を例に—

研究代表者：中塚 良

所属機関名：財団法人 向日市埋蔵文化財センター

所内担当者名：釜井 俊孝

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：斜面災害研究センター

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）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 資料整理・現地調査補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

本研究によって、新たな文理工融合領域である「防災考古学」の基礎が確かなものになった。成果の一部は、大学院における学際融合プログラム「防災考古学」の中で講義される予定である。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

我が国は、モンスーン域に位置する島弧変動帯である。ここでは、斜面災害が毎年のように繰り返されてきた。斜面災害（広義の地盤災害）の発生には地質構造（素因）や地震・降雨（誘因）等の自然条件だけでなく、人間活動が影響を与える。その大小は場合によるが、少なくとも都市的空間においては、両者は互いに強く影響を及ぼし合いながら「災害」を発生させてきた。この相互作用には様々な側面があるが、その痕跡は山麓に位置する遺跡に良く残っている。本研究では、京都盆地周辺に分布する山麓遺跡の発掘記録を整理し、災害と人間活動の関係史を再検討する事を目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

京都盆地周辺は歴史遺産が重層的かつ空間的に配置されている点で、我が国では地盤災害史の研究に最も適した地域である。本研究ではこの地域で展開された災害と人間活動の関係史を編纂し、具体的成果として「長岡宮都図譜」を印刷公表すると共に、「京都盆地及び長岡宮・詳細数値地形図」を作成した。

#### (3) 研究成果の概要

「長岡宮都図譜」は、山麓から盆地内部にかけての地形と土地利用を具体的かつ詳細に描いた図集であり、人間活動がもたらした災害の痕跡を調査し研究するための基図の一つである。これにより、例えば山麓の遺跡は中世の堆積物で覆われていることが多いが、こうした堆積物は周辺山地の荒廃（斜面崩壊等の土砂生産）がもたらした土石流堆積物や洪水堆積物であると考えられる事が明らかになった。さらに、堆積物について得られた年代値を概観すると、盆地周辺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は近世よりも古く、14 世紀代の南北朝期ころまで遡りうることも明らかにされた。

これ以降、我が国では現代につながる経済原理に基づいて自然を改変し開発することを是とする様になる。山麓で遺跡を覆う洪水堆積物はこうした開発・発展に対する自然の反作用の痕跡であり、歴史遺産でもある。現代の都市におい

ても、同様の事例（負の歴史遺産に今後なりそうな候補）は、宅地の谷埋め盛土や都心の崖っぷち等に典型的に見られる。開発、災害、環境の保全は互いに矛盾する問題であり、単純な解は存在しそうもないが、未来を切り開くためには直視しなければならないパラドックスである。そのための手法として、歴史学・考古学と地球科学的手法の融合に基づいた「防災考古学」は大いに有効であることが、本研究によって示された。

#### (4) 研究成果の公表

中塚良・釜井俊孝（2011）：長岡宮都図譜，同朋舎

## 一般共同研究（課題番号：22G-14）

課題名：巨大空間における火災時の煙流動シミュレーション技術の開発

研究代表者：原田 和典

所属機関名：京都大学大学院工学研究科

所内担当者名：田中 哮義

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 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：5 名（所外 4 名，所内 1 名）

- ・大学院生の参加状況：4 名（修士 2 名，博士 2 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 実験補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

建築物の火災時の煙流動予測および制御については、多様な火災シナリオに対する性状予測を行い、総合的安全性を確保する枠組みを構築するための研究に視することができると見られる。教育上の観点では、煙流動とその制御の原理を大学院生等に身につけさせ、次世代の工学技術基盤を担う人材の育成に資する。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

建築物の火災安全設計では、出火室および出火階からの在館者の避難と、出火階への消防隊の進入経路を階ごとに行うのが通常の方法である。いわゆる普通の中高層のビルであれば、現状の方法でそれなりの安全性を確保することができ、避難安全検証法などの簡易な設計式が設計現場では広く使われている。

しかし、近年の建物の超・超高層化や平面大空間化、さらには交通施設内の商業利用など、建築と都市インフラ施設との境界部分が増えている。これらの空間では、明示的な安全設計が行われず不安定な状態で使われる傾向がある。建築と都市施設を一体の空間として総合的な火災安全設計を行うためには、火災シナリオに基づくハザード予測が不可欠である。本研究では、従来は建築空間に適用されてきた二層／多層ゾーン煙流動予測プログラムを巨大空間にも適用するための研究開発を行ない、建築およびインフラ施設の設計と管理への利用を促すことを目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

本研究では 3 つのサブテーマがあり、個々のテーマは最終的には煙流動性状予測と避難性状予測モデルに組み込まれ、最終的には統合モデルとし、ケーススタディを経て実建物プロジェクトへの利用を可能とすることが目標である。

サブテーマ 1（多様な火災性状に対応した煙流動予測モデルの提案）においては、既存の二層ゾーン、多層ゾーンモデルの問題点を整理した上で、注目すべき物理現象について模型実験等を行い、モデル化を行う。

サブテーマ 2（大空間における出口選択と歩行安全性の評価モデル）については、秋月が分担し、煙層存在時の避難者の視野における輝度分布からの出口発見の評価方法と歩行空間における床面照度の予測モデルの作成を行う。輝度分布については、サブテーマ 1 の実験時に計測を行い、予測精度を検討する。

サブテーマ 3（避難行動予測と煙流動予測の統合モデルへの組み込み）については、ポテンシャル法による避難モデルの改良と、サブテーマ 2、3 で得られたサブモデルとの関連を定量化して、避難ポテンシャルを設定する方法を構築

する。このテーマに関しては、現行の避難プログラム作成者である円谷信一氏の協力を得て実施する。

本研究計画の最終段階では、上記の3つのサブテーマの成果を統合したシミュレーションプログラムを作成し、実大プロジェクトを想定した規模の空間での火災性状を予測し、設計ツールとしての利用可能性を検証する。

### (3) 研究成果の概要

サブテーマ1に関しては、巨大空間で多用される天井開口を通じた自然排煙システムに着目し、排煙効率の測定を行った。特に、温度が低く浮力が小さい煙層から天井開口を通じて排煙を行う場合の流れ性状について、模型実験を行った。その結果、安定した一方向流が崩れて二方向流あるいは振動流となるとききの圧力差を求め、無次元圧力差として定式化した。

サブテーマ2については、居住空間において煙層が存在する際の床面照度の簡易予測式を検討することを目的として、縮尺の異なる模型空間を用いて、室形状、室内表面反射率、光散乱物質の反射率（色）、光学的濃度、層の高さを実験変数として測光実験を行った。縮尺の異なる模型空間の床面照度を測定した結果を用いて、光学的濃度の縮率の取り扱いについて検討し、縮尺  $1/K$  の光学濃度  $C_k$  を  $C_k=KC_s$  とすれば、実空間の光の伝達を模擬可能であることを確認した。

サブテーマ3については、ポテンシャル法による避難モデルの基本的要件を検討し、煙流動予測プログラムとの整合性について検討した。

### (4) 研究成果の公表

研究成果の一部は、下記の研究集会において発表する予定である。

- 1) 宮本拓幸, 原田和典, 「微小な圧力差における水平開口の流れ性状の測定」, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第51号, 環境系, pp. 321 - 324, 2011年6月 (発表予定)
- 2) 宮本拓幸, 原田和典, 「微小な圧力差における水平開口の流れ性状の測定」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (防火), pp. 311-312, 2011年8月 (発表予定)
- 3) 秋月有紀, 原直也, 「煙層下の床面照度算出式の構築に関する研究 その1 光学的濃度の縮率の取り扱い」, 日本建築学会全国大会学術講演梗概集 D-1 環境工学 I, pp.459-460
- 4) Yuki AKIZUKI, Shino OKUDA, Michico IWATA and Takeyoshi TANAKA, "Study on the Visual Environment Designs for Effective Evacuation Guidance - Measurement and evaluation of sign installation in escape routes", Proceedings of the twelfth international conference Interflam 2010, Volume 2, pp.1479-1485

## 一般共同研究（課題番号：22G-15）

課題名：豪雨時の降雨浸透に伴う土の飽和度上昇による砂質斜面のせん断変形と流動化

研究代表者：笹原 克夫

所属機関名：高知大学教育研究部自然科学系農学部門

所内担当者名：福岡 浩

研究期間：平成 22年4月1日 ～ 平成 23年2月28日

研究場所：高知大学農学部，京都大学防災研究所，広島市

共同研究参加者数：7名（所外 4名，所内 3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 [ 共同研究に関わる実験等の実施 ]

### 研究及び教育への波及効果について

最近地震時および降雨時の斜面崩壊発生機構に関して，注目を浴びつつある不飽和斜面の地震動による流動化や不飽和斜面の飽和度上昇に伴うせん断変形について，研究グループを形成することができ，研究体制を構築することができた。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

地球温暖化による極端な気象現象の1つとして，降雨強度の大きな豪雨の頻発が予想される。降雨強度の大きな豪雨における斜面崩壊の発生予測を確立するためには，土中水の浸透（吸水）速度が大きな条件下での不飽和状態の降雨浸透に伴う斜面のせん断変形機構の解明が不可欠であるが，まだ研究事例は少ない。特に地表面変位計測に基づく降雨時の斜面崩壊発生時刻の予測手法を確立するためには，このメカニズムの解明は不可欠である。また土の飽和度がそれほど高くない状態でも，斜面崩壊や地すべり開始後のすべり面付近でのせん断変形により，コラプスに伴って急激に非排水状態での間隙水圧上昇に伴う斜面の流動化が発生し，土石流に転じて被害を大きくすることも考えられる。これらを鑑み本研究では，浸透（吸水）速度の大きさが不飽和砂質土のせん断変形および流動化に与える影響を解明するものである。

#### (2) 研究経過の概要

① 降雨浸透に伴う斜面のせん断変形を検討するために，まさ土より成る大型模型斜面を作製し，人工降雨を与えて降雨浸透過程と斜面の変形を計測する模型実験を行った。これにより降雨浸透に伴う不飽和状態および飽和状態の斜面内の土のせん断・圧縮変形の実態を検討した。② 吸水速度の大きさが不飽和砂質土の吸水過程における変形に与える影響を検討するための，サクシオン制御式三軸圧縮試験装置を用いた不飽和砂質土のサクシオン除荷および吸水試験を行った。③ 地表面変位計測に基づく斜面崩壊発生時刻の予測手法の確立のための，非排水条件下でリングせん断試験装置内の砂・シルト混合土内の間隙水圧を増加させ，せん断変形させる実験を行った。④ 不飽和状態のレスの地すべり発生および流動化機構を検討するために，攪乱した含水比の異なるレスをリングせん断試験装置に入れ，排水条件下でせん断させた。

### (3) 研究成果の概要

① まさ土よりなる大型模型斜面の人工降雨実験により、斜面のせん断変形は降雨中はもとより降雨後も進行することが明らかになった。また降雨浸透に伴う斜面中の土要素のせん断変形は体積含水率増加やサクシオン減少に伴う成分のみならず、それらが一定の下でも進行する成分があることが判明した。またせん断変形の体積含水率増加およびサクシオン変化依存性は、土要素の位置が深くなるほど大きくなること、そして体積含水率増加速度（吸水速度）が小さいほど、大きくなることが判明した。② サクシオン制御式三軸圧縮試験装置を用いて不飽和砂質土のサクシオンを除荷したり（サクシオン除荷試験）、吸水させたり（吸水試験）させると、供試体のせん断・圧縮変形は、供試体の単位時間あたりの体積含水率増分で定義される吸水速度と正の相関関係を有することが示された。③ 非排水条件下でリングせん断試験装置内の砂・シルト混合土の間隙水圧を上昇させる試験を実施し、三次クリープ段階のせん断変位のクリープ曲線について検討すると、クリープ曲線の形状は、試験条件や応力載荷経路により影響を受けることが判明した。④ レスの含水比を変えた供試体を排水条件下でリングせん断を受けさせると、レスの含水比が塑性限界より大きい場合は、せん断後の供試体のすべり面付近の含水比が低下することが判明した。これはせん断ゾーンから間隙水が逃げることを意味する。

### (4) 研究成果の公表

笹原克夫, 山口純平, 酒井直樹, 植竹政樹: 降雨浸透に伴う砂質斜面の吸水・排水過程における圧縮・せん断変形, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.1, pp.129-140, 2011.

笹原克夫, 酒井直樹: 不飽和砂質斜面の降雨浸透による吸水に伴うせん断変形, 日本地すべり学会誌 (投稿中).

笹原克夫他: 繰り返し降雨履歴が降雨時の斜面変形に与える影響, 第45回地盤工学研究発表会発表講演集(CD-ROM), pp.1717-1718, 2010.

笹原克夫: 異方応力載荷された砂質土の吸水によるせん断変形, 第49回地すべり学会研究発表会講演集, pp.134-135, 2010.

山口純平他: 繰り返し降雨履歴が降雨時の斜面変形に与える影響, 第49回地すべり学会研究発表会講演集, pp.142-143, 2010.

笹原克夫: 異方応力を載荷した不飽和砂質土の吸水に伴う変形について, 第5回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.219~224, 2010.

笹原克夫: 異方応力下の不飽和砂質土の吸水に伴う変形, 土木学会論文集 C (投稿中).

Atikagna DOK, 福岡浩: Tertiary Creep of Pore Water Pressure Increase Test in Ring Shear Apparatus, 平成22年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2011.

F.,ZHANG, G.,WANG, and T.,KAMAI: Water Migration on the Shear Zone of Loess in Large Shear Displacement, 平成22年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2011.

## 一般共同研究（課題番号：22G-16）

課題名：山崎断層系の地震発生深度から地表までの3次元比抵抗構造の解明

研究代表者：山口 覚

所属機関名：大阪市立大学

所内担当者名：大志万 直人

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

研究場所：兵庫県山崎断層系一帯および大阪市立大学

共同研究参加者数：7名（所外7名，所内1名）

- ・大学院生の参加状況：2名（修士2名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 観測，データ解析および結果の考察 ]

### 研究及び教育への波及効果について

研究：本研究対象地域は、山崎断層系の中で、大きく分岐している唯一の場所である。本共同研究によって、山崎断層系全体の地下構造を解明する上で、特徴的かつ重要な部分の地下構造の解明が進んだ。

教育：本研究を進める際に、観測時の測定装置の設置、操作に加え、観測点の選定や地権者との交渉などに、意識して学生を同行し、経験を積ませた。これらの内容は、学生が将来自立して研究を進める上で不可欠な要件であるが、現場でした教えることができない内容である。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

山崎断層系は岡山県美作市から兵庫県三木市にかけて北西-南東方向に80km以上にわたってのびる西南日本を代表する横ずれ断層系である。この断層系は、地震発生確率が高く、また人口密集域に近いので地震発生時には大きな物的・人的被害が生じることが予想されている。活断層の地下構造は、地震破壊開始点、破壊範囲の予測および震度分布の推定など防災案の策定上重要な基礎情報である。本研究では、地磁気地電流法（Magnetotelluric法）を用い、電気比抵抗モデルの構築を介して、断層地下構造を解明することを目的とした。

#### (2) 研究経過の概要

安富断層と暮坂峠断層の両方を横切る約15kmの観測測線を設定し、測線上の9地点に観測点を設けた。また、観測測線の北東約20kmの地点に参照磁場観測点を設けた。

幅広い周波数帯域（10, 400Hz～0.35Hz）のMT応答関数を算出した。この応答関数から、研究対象地域の電気比抵抗構造は2次元性が卓越することと、そのRegional StrikeはN60°W-S60°Eと、山崎断層系の地質学的な走向とほぼ同じあることを見いだした。

TE, TM両モードの見かけ比抵抗値と位相差から平滑化拘束付き2次元比抵抗構造インバージョンプログラムを用いて、2次元地下比抵抗構造モデル解析とその解釈を進めた。

#### (3) 研究成果の概要

安富断層と暮坂峠断層を横切る測線の地表から深さ約2kmまでの2次元地下比抵抗構造モデルを得た。このモデルは2つの高比抵抗領域と3つの低比抵抗領域の存在で特徴づけられる。安富断層の地表位置付近では100Ωm以下の低

比抵抗な領域が深部まで伸びている。また、安富断層と暮坂峠断層の間の表層に近い(約 300m 以浅)部分には低比抵抗( $<100\Omega\text{m}$ )な領域が広がっている様子が明らかになった。前者は、断層に伴うダメージゾーンに、地下水や天候水が浸入ことによって生じたと解釈し、断層地下構造の特徴を示していると結論した。

#### (4) 研究成果の公表

本研究で行った探査の概要および電気比抵抗構造の序報は、地球電磁気惑星圏学会の分科会である Conductivity Anomaly (CA) 研究会および平成 22 年度京都大学防災研究所研究講演発表会で講演した。また、さらなるモデル解析を進めた結果を日本地球惑星科学連合 2011 年大会で報告する予定である。さらに、これまでの山崎断層系の比抵抗構造探査と総合した結果を学術雑誌に投稿する予定である。

## 一般共同研究（課題番号：22G-17）

課題名：「満点計画」（次世代型稠密地震観測）と連動した防災教育手法の確立

研究代表者：船木 伸江

所属機関名：神戸学院大学防災・社会貢献ユニット

所内担当者名：矢守 克也

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所，神戸学院大学，鳥取県日野郡根雨小学校ほか

共同研究参加者数：10 名（所外 4 名，所内 6 名）

- ・大学院生の参加状況：4 名（修士 3 名，博士 1 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 小学校における防災教育の実施など研究の主体を担い，その成果は所内担当者の研究室において，修士論文（水谷健一郎）としてまとめられた。 ]

### 研究及び教育への波及効果について

防災研究所地震予知研究センターで推進してきた「満点計画」と，巨大災害研究センターが提供する防災教育プログラムを関連させることにより，両研究センターの研究活動のさらなる融合が図られ，年度途中に，本研究の所内担当者がダブルアポイントメントによって両センターに所属するなど，研究体制上の波及効果もあった。かつ，上記修士論文の指導教員（主査・副査）を両センターの教員がつとめるなど，教育上の波及効果も存在した。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

本研究では，学習に関する「正統的周辺参加理論」に基づき，京大防災研地震予知研究センターと同巨大災害研究センターが開始した「満点計画」（次世代型稠密地震観測）と防災学習との連動プロジェクトを，長期的に展開可能なプログラムとして確立することを目的とした。

#### (2) 研究経過の概要

本研究では，鳥取県西部地震（2000 年）の被災地鳥取県日野町が，地震から 10 年を迎えるにあたって計画した地域ぐるみの防災教育プログラムと連携し，「満点計画」のプログラムを地元の小学校（根雨小学校）に導入するとともに，地元自治体や NGO の協力を得て，被災経験の大人から子どもへの語り継ぎ活動などの形式で，「満点計画」（防災教育）と地域防災実践とを連携させることを試みた。

具体的には，以下の日時に小学校等での授業・活動を行い，その成果を検証するための研究を実施した。

- ・2010 年 5 月 18 日：同小および津地地区で，同小 6 年生を対象に，満点地震計の紹介とデモ実験，子どもたちによる地震計設置
- ・9 月 3 日：同小および津地地区で，子どもたちが地震計からのデータ回収とメンテナンス（1 回目），データの解説
- ・9 月 16 日ほか：同小で，子どもたちが地域住民から地震の体験談聞き取り
- ・10 月 5 日：日野町文化センターで，同小 6 年生が，「鳥取県西部地震から 10 年目フォーラム」において防災教育の成果を発表
- ・11 月 22 日：地震計からのデータ回収とメンテナンス（2 回目），データ解説
- ・2011 年 2 月 28 日：地震計からのデータ回収とメンテナンス（3 回目），データ解説

### (3) 研究成果の概要

上記に集約した取り組みの成果は、10月5日に開催された「フォーラム」において、根雨小学校6年生児童全員による成果発表として結実した。さらに、このフォーラムの様や、小学生による地震計の設置プロジェクトと連動した学習プログラムについては、テレビ、新聞等でも報道され、本研究の成果は社会的にも大きな注目を集め高く評価された。

また、地震計を用いた学習については、来年度の6年生（現5年生）に引き継ぐことが決定され、「地震計をもつ小学校」という特徴が定着することが期待される。このように、小学校、大学、地域（地元自治体やNGO団体など）ぐるみで展開する防災教育について、本研究は、これまでにないユニークなスタイルを提示したと思われる。

### (4) 研究成果の公表

船木伸江・矢守克也・住田功一 2011 学びのプロセスを重視した防災教育の重要性

—阪神淡路大震災 [写真調べ学習] プロジェクトを事例として— 災害情報, 9,  
137-147.

水谷健一郎 2011 満点計画を通じた防災学習に関する研究 京都大学大学院情報学研究所平成22年度修士論文

水谷健一郎・矢守克也・飯尾能久 2011 満点計画と地域や学校における防災学習 2010年度・京都大学防災研究所  
一般研究集会（地学教育の現状とその改革—防災知識の普及に向けて—）論文集録  
(<http://www.k2.dion.ne.jp/~geod-5/bosai/index.html>)

## 一般共同研究（課題番号：22G-18）

課題名：流域の治水・水質・環境安全バランスに果たす河川横断構造物の役割に関する研究

研究代表者：石塚 正秀

所属機関名：香川大学

所内担当者名：張 浩

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：紀の川岩出井堰，京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー

共同研究参加者数：9 名（所外 6 名，所内 3 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 [ 現地調査，実験補助，分析補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

本研究で得られた成果によって、さらなる展開を図るための研究費の申請として、社団法人近畿建設協会の研究助成の検討が可能となった。また、本研究の成果は、香川大学工学部生の卒業論文（2010 年度）、香川大学大学院工学研究科生の修士論文（2011 年度見込）の主要部の一部を構成している。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

わが国における中小河川を含む大多数の河川では、古来より農業用水を主体とした取水がなされており、そのための横断構造物を多く有している。本研究は、近年その是非が論じられることの多い横断構造物の撤去・改変が流域の治水・水質・環境安全バランスにもたらす影響を予測する手法の開発を目標として、河道地形や流況・流砂量の変化に伴う流域内の治水安全度・水質分布や生態系の応答特性の定式化を目指す。

#### (2) 研究経過の概要

水路実験では、河道の流況および粒径特性と構造物の改変によって新たに発生する移動土砂量および地形変化を検討した。数値解析では、二次元および三次元河床変動カップリングモデルによる構造物周辺の河床変動計算を試みた。現地観測では、紀の川水系岩出井堰の周辺における流水環境・土砂流送・水質・生態系に関する実態調査を行った。

#### 3) 研究成果の概要

得られた成果を以下に示す。

- 1) 岩出井堰上流部における紀の川本川の低水路は、砂州の存在と流路の遷移に加えて深掘れ部があるなど、かなり複雑な地形であることが分かった。また、このような地形に対して、サイド・スキャン・ソナーおよび超音波ドップラー流向流速プロファイラの有用性を示すことができた。
- 2) 今回開発した流況および河床変動モデルは、堰周辺部の局所的 3 次元構造を除いて、水路実験結果と概ね一致する妥当な結果が示された。さらに、現況、堰部分撤去、堰全体撤去の 3 ケースについて、堰撤去による影響は全体撤去の場合でも春日川合流点およびその上流の右岸側わんどの入り口部分に留まることが確認された。しかし、河床材料の粒径の設定が河床変動計算に影響を与えている可能性も示された。
- 3) 水質調査により、本川においては、堰の上流側と下流側で濃度に大きな差はみられず、堰の影響は小さかった。し

かし、汚れた支川は止水性の強まる湛水期や下流への長期的な影響があると考えられた。

- 4) 灌漑期の堰の湛水域では、SS、クロロフィルaなどの懸濁性物質の増加がみられ、湛水による影響を受けていることが明らかとなった。とくに、湛水域のわんどではクロロフィルaが大きく増加した。
- 5) 生物調査により、岩出井堰では下流よりも上流に影響が出ていることが明らかになった。これは、堰の上流側でも堰に近い部分では、灌漑による水位変動が大きく生物が定着できなかったためであり、とくに、わんどの最奥部は水位変動により水没・干出を繰り返すため、個体数密度が低かった。一方、堰の下流では、灌漑期にも維持水量を流していることから流水環境が維持され、生物にとって大きな影響はなかったためと考えられる。
- 6) カワヨシノボリを指標種として堰の撤去に伴う影響の一次的な評価を行った結果、堰の撤去はカワヨシノボリの生息場を増加させると共に、カゲロウ類やトビケラ類を増加させることが予想された。また、堰の撤去により右岸側のわんど環境が消失ないしは縮小することが予想されるが、当該わんど環境が消えてもとくに大きな影響はないと予想された。
- 7) ボックスモデルにより土砂収支を算定した結果、岩出井堰周辺部においては、上流側では近年減衰傾向にあるものの一貫して堆積傾向にあり、35年間で160万m<sup>3</sup>の堆積となっている。一方下流側では、総じて侵食傾向にあるが、1998年以降は堆積に転じており、35年間では40万m<sup>3</sup>の侵食となっていることが分かった。

#### (4) 研究成果の公表

- 1) 岩田圭佑・石塚正秀・野口真央・武藤裕則:固定堰が堰直上湛水域の水質環境に与える影響, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, 2011(印刷中)。
- 2) 野口真央・石塚正秀・岩田圭佑・武藤裕則:固定堰により生じる湛水域が瀬とわんどの水質に与える影響, 平成23年度土木学会四国支部第17回技術研究発表会講演概要集, pp. 307-308, 2011。
- 3) 武藤裕則・張浩・石塚正秀・奥井伸一:取水堰上流部における堆積河床地形の詳細計測, 平成23年度土木学会四国支部第17回技術研究発表会講演概要集, pp. 85-86, 2011。
- 4) 石田裕子・壺林裕士・津本雄哉・松村勇希・三雲唱平・片野泉・石塚正秀:固定堰が上流の水生生物群集の生息場構造に与える影響, 第58回日本生態学会講演要旨集, P2-216, 2011。
- 5) 石塚正秀・岩田圭佑・野口真央・石田裕子・武藤裕則・張浩:紀の川岩出井堰が瀬-わんど地形の水質変化に与える影響調査, 平成22年度防災研究所研究発表講演会, P37, 2011。
- 6) 石田裕子・津本雄哉・壺林裕士・松村勇希・三雲唱平・片野泉・石塚正秀:紀の川岩出井堰上下流における水生生物群集の生息特性の変化, 応用生態工学会 第14回札幌大会・第14回研究発表会, P3-5, 2010。
- 7) Muto Y., Kanda K. and H. Zhang: BED EVOLUTION PROCESS AFTER DAM REMOVAL IN THE UPSTREAM REACH, ISRS, pp.1-9, 2010。
- 8) 岩田圭佑, 石塚正秀, 石田裕子, 武藤裕則:紀の川岩出井堰の上下流における水環境調査, 平成22年度土木学会四国支部第16回技術研究発表会講演概要集, pp.157-158, 2010。

## 一般共同研究報告書（課題番号：22G-19）

課題名：桜島火山における反復人工地震実験によるマグマ移動の経時追跡研究

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 22 年 4 月 1 日～平成 23 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：15 名（所外 13 名，所内 2 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 [ 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

本研究では桜島火山の地下における状態変化を追跡することを目的として2008, 2009年に引き続き同一測線で反射法地震探査を反復してデータ取得を行い、観測記録の後続相に注目した解析を行った。

#### (2) 研究経過の概要

2010年12月に人工地震観測を実施してこれまでと同一の観測網で人工地震波形データを取得した。

#### (3) 研究成果の概要

平成22年度に取得されたデータとそれまでに取得されたデータとを比較し、平成22年度の活動ともなう人工地震波形の変化を抽出した。人工地震波形の変化は桜島北東部を通過する波線に多く現れることが明らかになった。特に2009年度から実施されている桜島北岸の発破では後続相の変化が顕著であることを見いだした。このことは今後の地下構造変化を追跡する上で重要なことである。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23年度 地球惑星科学連合2011年大会にて口頭発表1件
- 2.論文発表 京都大学防災研究所年報 第54号B, 投稿受付済み

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-01）

課題名：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戦略に関する国際共同研究

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

所内担当者名：岡田 憲夫

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所，京都大学工学研究科谷口研究室その他

共同研究参加者数：24 名（所外 17 名，所内 7 名）

・大学院生の参加状況：2 名（博士 2 名）（内数）

・大学院生の参加形態【セミナー，シンポジュームの議論に参加するとともに，個別の関連研究にも従事する】

### 平成 22 年度 実施状況

1. 谷口と岡田(防災研)が中心となって，3 ヶ月ごとに全体的な研究打ち合わせを行った。
2. 谷口は多々納(防災研)，横松(防災研)，畑山(防災研)，竹林(神戸大学)，秀島(名工大)，Fwa 教授(シンガポール大学)らと港湾や空港などをグローバルな社会基盤とみなし，特に物流運輸ネットワークの視点から共同研究を実施した。
3. 岡田は安田(防災研)，多々納(防災研)，梶谷(防災研)，Ana Maria Cruz(防災研)，ならびに Kroeger 教授(スイス連邦工科大学)らとグローバルリスクガバナンスの方法論について共同研究を行った。
4. 成果はシンガポールのセミナー(2010 年 5 月)，政策ワークショップ(同 11 月)などで発表・議論した。また，その報告書は 6 月頃までに英語で公表の予定である。

### 平成 23 年度 実施計画

1. 前年度の成果を踏まえ，谷口が岡田と密に連絡を取りながら，最終成果に向けての全体の研究を調整し，情報交換と議論の場を定期的に設ける。
2. 2011 年 9 月末頃を目途に，これまで参画していない他分野の専門家・実務家も交えて小規模な国際セミナーを開催する。必要なら 12 月頃までにもう一回国際セミナーを行う。これらの議論も反映した研究成果の報告書を 2012 年春までに作成する。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-02）

課題名：振動台再現可能振動数帯域の飛躍的増大をめざす振動台実験手法の開発

研究代表者：梶原 浩一

所属機関名：(独) 防災科学技術研究所兵庫県耐震工学センター

所内担当者名：中島 正愛

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 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 2 名，所内 11 名）

- ・大学院生の参加状況：10 名（修士 4 名，博士 6 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 実験補助 ]

### 平成 22 年度 実施状況

近年、通常的设计で想定する以上の地震動が記録されている。これら地震動には 20Hz 以上の高振動数成分を含むこともあり、剛性の高い構造物（例えば電力施設）の応答を刺激する懸念が高まっている。このような地震動を振動台によって実現しようとしても、大多数の振動台の駆動源である油圧式サーボアクチュエータでは、高振動数領域における加振性能が低下してしまうため、その実現は容易ではない。

このような背景の下、振動台限界を克服するために、第二振動台となる機構とそれに衝突によって自由振動を励起させる補助機構の 2 つを振動台上に配置し、第二振動台において振動台限界以上の高振動が実現されるという仕組みを開発した。この実験手法では、第二振動台において任意波形を実現することを目的としており、その波形を実現するための振動台入力を同定しなければならないが、衝突という非線形挙動を応用していることから、一般的に用いられている線形制御理論を応用することができない。そこで、近年、非線形構造物に対しても追従できることが期待されている (MCS: Minimal Control Synthesis) を応用することによって、この強非線形性を有する制御対象にも所定の波形を実現する入力波同定手法を構築し、その有効性を数値解析を通じて示した。

### 平成 23 年度 実施計画

これまでの実施状況を反映させて、23 年度においては、以下の 3 課題に取り組む。

- (1) 衝突振動台実験による振動台限界以上の高振動の実現
- (2) MCS 制御による非定常波形の実現
- (3) 衝撃加速度の抑制に関する実験的考察

(1) では、京都大学防災研究所の振動台上に、第二振動台となる高振動の機構とそれに衝突によって自由振動を励起する補助機構を配置する。この実験では、補助機構が十分な速度を持って第二振動台に衝突する入力波を振動台に入力を用いることで、第二振動台に十分な振幅の高振動を実現できることを実験的に検証する。(2) では、これまでに構築した MCS による入力波同定手法を衝突のような強非線形挙動に対しても適用できることを、衝突振動台実験に適用することによって実証する。(3) に関して、衝突振動台実験手法の数値解析では、衝突時には重力加速度の数倍に相当するインパルスが生じ、実際の実験時にも大きなインパルスが生じることが予測される。このようなインパルスは波形全体の形状を大きく損なうことになる。そこで、衝突によって十分な振幅の高振動数を励起しつつ、インパルスも抑制する手法を提案し、その有効性を衝突振動台実験を通して検討する。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-03）

課題名：地動雑音を使用した地震波速度不連続面とその時間変化検出の試み

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 3 月 31 日

研究場所：防災研究所地震防災研究部門，および附属地震予知研究センター

共同研究参加者数：3 名（所外 1 名，所内 2 名）

・大学院生の参加状況：0 名

### 平成 22 年度 実施状況

本研究では、日本国内のいくつかの地域を選び、地殻内反射面やモホ面・プレート境界面等の地震波速度不連続面の検出、およびそれら不連続面や地震前後の活断層の構造などの時間変化の検出を目標として掲げた。平成 22 年度は、近畿地方を対象地域として、地動信号の雑微動部分の相関解析により、これらの反射面からの信号の検出を試みた。解析結果のうち、主として Hi-net のボアホール観測点と他の観測点間の相互相関関数 (CCF) には、Rayleigh 波の基本モード以外の信号(以下、X フェイズという)が認められる。近畿地方には 1000m を超える深さのボアホール観測点が 3 点あるが、これらの点と他の観測点の間の CCF には、Rayleigh 波の基本モード以外の、明瞭な信号が認められ、既往研究による適切な地下構造を仮定した検証を試みたところ、これらの X フェイズの走時は、概してモホ面や地殻内反射面からの反射信号として解釈可能であることがわかった。

### 平成 23 年度 実施計画

平成 22 年度の解析結果から、雑微動の相関解析によって地殻内反射面やモホ面からの反射信号の検出が可能であることが明らかとなり、これらの信号の時間変化の監視により、地震発生層の挙動を監視できる可能性が見えてきた。ただし、今回は 15 ヶ月間のデータのスタックによる結果であるため、時間変化の監視のためには、本手法の時間分解能を評価する必要がある。平成 23 年度は、他地域での同様の事例を増やすとともに、本手法の時間分解能の評価とその向上を図ることを課題とする。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-04）

課題名：強風時を対象とした大気・海洋相互作用観測プロジェクト

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 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：19 名（所外 11 名，所内 8 名）

- ・大学院生の参加状況：2 名（修士 2 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態【データ解析】

### 平成 22 年度 実施状況

2010 年 8 月 18 日から 2010 年 10 月 17 日までの 2 ヶ月間、田辺中島観測塔において大気・海洋相互作用に着目した現地観測を実施した。既設の計測機器に加えて、超音波風速計、 $H_2O \cdot CO_2$ アナライザー、赤外放射温度計を大気側に設置し、ADCP を 2 箇所(水深 10m 及び 30m)、及び、水温計を 8 箇所海洋側に設置した。大気側の計測項目は、風速、気温、湿度及び二酸化炭素濃度の平均量及び乱流量であり、海洋側の計測項目は、流速、水温、海面温度、水位及び波高の平均量である。取得したデータを用いることにより、海洋側の乱流フラックスに対する砕波が与える影響、大気側海面粗度高さに対する波浪状態の寄与、及び、港内副振動と気象擾乱の関係について検討した。

### 平成 23 年度 実施計画

平成 21 年度及び 22 年度に田辺中島観測塔で計測した気象・海象データを解析することにより、波浪状態や砕波が大気側及び海洋側境界層の構造へ与える影響について検討する。またワークショップを開催することにより、本研究での結果を公開するとともに、広く情報交換を行う。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-05）

課題名：台風接近時の強風被害予測技術と防災・減災のための準備手順の開発

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 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：13 名（所外 5 名，所内 8 名）

・大学院生の参加状況：0 名

### 平成 22 年度 実施状況

メソスケール気象モデルを用いた台風接近時の気象状況予測を予想通過経路上にマップ表示することによって、インタラクティブに風向風速などの必要情報を取得できるシステムを構築するとともに、建物の強風被害の程度・範囲を気象予測結果から予測する手法を作成した。また、本研究成果の社会還元として、平成 22 年 8 月 26 日に大阪府庁（新別館南館 8 階）大研修室において、自治体や関連業界の防災担当者および一般市民を対象にした講演会「台風などの強風に伴う災害の現状と防災・減災対策に関して」を開催した。その他、平成 23 年 3 月 28 日に九州大学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、研究成果内容を討議した。

### 平成 23 年度 実施計画

台風接近時の各地点・各時刻での危険度予測機能を上記システムに組み込む。平行して、システムから得られる情報を活用して、予測される危険度に応じた防災・減災のための対策を具体的に進めるための手順書を試作し、「防災・減災のための教育・研修プログラム」への適用上の課題を抽出するために、講習会を試験的に開催して検討する予定である。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-06）

課題名：極端な豪雨時に砂質土の流動化を引き起こす過剰な間隙圧の変動特性

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 2 月 29 日

研究場所：独立行政法人森林総合研究所，京都大学防災研究所

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：0 名

### 平成 22 年度 実施状況

全長 9 m（10 度傾斜の下部 4 m，32 度傾斜の中部 4 m，水平の上部 1 m），幅 1 m の大型斜面模型を対象に砂試料を用いて人工斜面を形成し，毎時 100mm の集中豪雨を与える斜面崩壊実験を行った。降雨開始からしばらくの間，地下水は鉛直方向に移動したが，浸潤前線が斜面模型底部に到達した後は，斜面下方への移動が顕在化した。斜面傾斜の変換点（10 度傾斜と 32 度傾斜斜面の接合部）近傍で地下水位の上昇が顕著となり，これに伴い斜面中部の土層が斜面下方へクリープ変形を起こした。このクリープ変形も斜面中部で均質に発生しているわけではなく，上方の深部で大きな歪み変形が計測された。斜面崩壊はこの辺りで発生した。斜面崩壊が発生した箇所近傍の間隙圧変化を確認すると，激しく増減を繰り返したものの，静水圧以上の過剰な圧力の上昇は認められなかった。一方，崩壊した土砂が下方へ移動し 10 度傾斜部の土層に乗りあげるような形で衝突した際，土層内部で過剰な間隙圧が発生したと推定される結果が得られ，その圧力水頭値は土層深の約 1.3 倍に達した。

### 平成 23 年度 実施計画

平成 22 年度と同様，大型の人工斜面を用いた降雨による斜面崩壊の実証実験を行う。与える降雨強度を毎時 150～200mm 程度までとさらに増大させることにより，いわゆるゲリラ豪雨に相当する極端な降雨を与え，その場合の崩壊発生にいたるクリープ変形，崩壊規模，運動モードを調べる。地下水の流下方向やせん断歪みの方向と斜面崩壊発生の関係を詳細に解析する。また，土質要素内部ですべり面を形成可能なリングせん断試験を実施するものとし，大型人工斜面を用いた斜面崩壊実験で計測された間隙圧ならびに変形量をインプット情報として与えた場合のせん断挙動の追跡を試みる。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-07）

課題名：ミュオン・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（Ⅱ）

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 3 月 31 日

研究場所：桜島火山周辺

共同研究参加者数：12 名（所外 10 名，所内 2 名）

- ・大学院生の参加状況：1 名（修士 1 名，博士 0 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ データ解析補助 ]

### 平成 22 年度 実施状況

ミュオン・ラジオグラフィー観測を桜島湯乃地区で 1 年間継続し、より鮮明な透視画像を得るためのデータを蓄積した。また、平成 22 年 4 月～平成 23 年 3 月中旬まで、有村地殻変動観測坑において、ほとんど欠測のない絶対重力連続観測を実現した。暫定的なミュオン透視画像から推定される桜島昭和火口及び南岳火口の火道径を用いて、重力の時間変動を火道内マグマ昇降でモデル化した。その結果、2010 年前半においては、「マグマ頭位が上昇もしくは高い位置に留まっている時期」と「桜島爆発活動の活発な時期」とが対応していることが分かった（2010 年 1 月～4 月末及び 6 月中旬から 7 月中旬）。逆に頭位の下降期には、爆発が静穏化している（2010 年 5 月初旬から 6 月中旬）。桜島では、降雨・地下水流動にともなう重力変化が明瞭にとらえられている。モデル計算を通じて、この変化を定量的に見積り、一定の効果をあげることができた。しかし、平成 22 年 6 月中旬から 7 月中旬の 1 か月間には、平年の 50%に相当する 1,000mm もの大規模豪雨があり、これによる 8 月以降の中長期的な重力変動についてはさらに検討の余地があることが分かった。

### 平成 23 年度 実施計画

ミュオン・ラジオグラフィー観測をさらに 1 年間継続し、より鮮明な透視画像を得るためのデータを蓄積する。また、平成 23 年 5 月末を目途に、有村地殻変動観測坑において、絶対重力連続観測を再開する。

前年度に判明した、大規模豪雨後の中長期的な重力変動については、さらに検討をすすめ、より高品位な重力連続データを生産する。重力データとミュオン透視画像から、火道内マグマの位置をより、高い信頼度で決定する手法を構築する。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-09）

課題名：最新の予測強震動による液状化地盤において杭基礎の崩壊による高層建築物の倒壊の可能性の検討

研究代表者：木村 祥裕

所属機関名：長崎大学

所内担当者名：田村 修次

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所，長崎大学

共同研究参加者数：9 名（所外 4 名，所内 5 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 [ 遠心载荷実験の準備・実施，動的解析モデルの作成・実施 ]

### 平成 22 年度 実施状況

地震時に地盤が液状化した場合，上屋構造物の慣性力によって生じる  $P-\Delta$  効果により転倒モーメントが偶力として杭頭に作用すると，軸圧縮力の大幅な増加に伴い，細長比の大きい鋼管杭は曲げ座屈を生じる可能性がある。本研究では，数値解析により鋼管杭の座屈耐力及び座屈後挙動を明らかにするとともに，遠心载荷実験により，上屋構造物・杭基礎における鋼管杭の動座屈崩壊挙動を再現した。鋼管杭の動座屈崩壊挙動を再現することを目的としており，試験体は杭-基礎部-上屋構造物系とし，基礎的なモデルとして地盤拘束が無い場合のメカニズムを解明した。遠心载荷実験は，京都大学防災研究所の遠心载荷装置を用い，遠心加速度を  $40g \sim 50g$  とした。事前解析により杭長及び上屋高さをパラメータとして杭の座屈耐力，上屋の固有周期を変化させることとし，杭の崩壊メカニズムに与える影響を検討した。

その結果，遠心载荷実験により，上屋構造物・杭基礎における鋼管杭の動座屈発生及び崩壊メカニズムを明らかにした。上屋構造物の固有周期や杭材の座屈長さ，遠心加速度の違いと，変動軸力や初期圧縮力との関係を明らかにし，それらが鋼管杭の動座屈崩壊挙動に与える影響を示した。

### 平成 23 年度 実施計画

昨年度は，杭の動座屈崩壊メカニズムを解明するために，最も危険な状態として地盤のない場合について検討した。その結果，ある杭が動座屈を生じ，鉛直支持能力を喪失すると，他の杭も連鎖的に支持能力を喪失することが明らかになった。そこで，本年度は液状化地盤における鋼管杭の動座屈挙動の発生及び進展を調べ，地盤の液状化過程と座屈発生メカニズムの関係を明らかにする。昨年度の知見を踏まえて，遠心加速度を  $40g \sim 50g$  とし，試験体は 5 体程度とし，杭長及び上屋高さ，地盤剛性をパラメータとする。

さらに，杭の動座屈解析を行い，杭頭に初期軸力及び変動軸力が作用するときの鋼管杭の動座屈挙動を明らかにし，係数励振現象により不安定挙動となることから，静的座屈耐力に対する動座屈耐力の低下率を把握する。さらに，遠心载荷実験下での地盤・杭-上屋構造物系における杭の動座屈耐力を比較する。また，3.11 に発生した東北地方太平洋沖地震により仙台市内の複数の建物で杭の損傷による上屋の傾斜が見られたことから，上記の解析及び実験モデルにおける崩壊メカニズムと，実構造物の被害との関係を調べる。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-10）

課題名：都市域の強風シミュレーションに関する研究

研究代表者：田村 哲郎

所属機関名：東京工業大学大学院 総合理工学研究科

所内担当者名：河井 宏光

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所，京都大学東京オフィス，東京工業大学

共同研究参加者数：15 名（所外 10 名，所内 5 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 [ 都市内の建物周りの流れに関する流体計算の実施 ]

### 平成 22 年度 実施状況

1. 東京丸の内地区を中心の高層ビル街の建物周りの流れ場の解析，品川地区の建物周りの流れと温熱環境の解析を行い実測結果と比較した。
2. 流体計算の入力条件として用いている航空機による温度計測結果の有効性を調べるため，建築研究所の敷地ないに赤外線温度計を設置し，航空機による温度計測と同時計測を実施した。
3. 流体数値計算手法の有効性を確認するため，比較的単純な形状の高層ビルに対して流体計算を実施した。
4. ステレオ 3 次元 P I V で計測した風速変動を初期条件とした L E S 流体計算を実施し，初期条件に実験結果を用いることの有効性を確認した。
5. 都市を襲ったダウンバーストに関する観測結果の解析と流体シミュレーションを実施した。
6. 都市域などを襲う竜巻による被害を予測するため，竜巻状渦の発生装置を製作し，発生した渦の状況を 2 次元 P I V によって調べた。
7. 建物周りの流れ場の詳細を把握するため，ステレオ 3 次元 P I V を用いて，高層ビルおよび低層建物の後流における流れ場の 3 次元計測を実施した。

### 平成 23 年度 実施計画

1. 単純な形状の建物の流体計算をすすめ，解析結果を 3 次元ステレオ P I V による実験結果と比較し，手法の問題点を抽出するとともに，より精度の高い計算方法を開発する。
2. 都市内の流れ場の流体計算を進め，その結果より，台風などの強風により高層建物が密集した都市域においてどのような状況が引き起こされるかを検討する。
3. 3 次元ステレオ P I V の実験結果の解析をすすめ，高層ビルや低層建築物の後流流れ場の詳細な構造を明らかにする。
4. 流体数値計算結果に基づいて，強風時における都市域での物体の飛散状況を解析するとともに，飛散した物体が窓ガラス等の開口部に衝突した場合の被害を予測する。
5. 竜巻発生装置によって作られた流れ場に建物模型を設置し，模型が受ける風力を測定し，竜巻時の被害を予測する。

## 一般共同研究 中間報告（課題番号：22G-11）

課題名：冬季対流圏における異常気象発生に対する成層圏突然昇温の影響とその予測

研究代表者：廣岡 俊彦

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 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 24 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：19 名（所外 15 名，所内 4 名）

- ・大学院生の参加状況：12 名（修士 11 名，博士 1 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ データ解析の実施，数値実験の実施などを分担 ]

### 平成 22 年度 実施状況

本研究は，データ解析と広範な数値実験を通して成層圏突然昇温(SSW)と対流圏循環との相互作用や，成層圏循環が対流圏の予測可能性に及ぼす影響を明らかにしようというものである。

まず，平成 22 年度は，東西波数 2 のプラネタリー波が引き起こした 3 例の大規模 SSW について，対流圏のプロッキング現象とプラネタリー波活動の関係，及びこれらと大規模場の相互作用について詳細な解析を行った。

また，北半球における異常気象発生と緊密に関連する北半球環状モード(NAM)の予測可能性に対する SSW の影響を調べるため，2009 年と 2010 年冬季の気象庁 1 ヶ月アンサンブル予報結果，及び気象研究所/気象庁統一 AGCM を用いた予報実験結果を用いて解析を行った。特に，SSW 前後での NAM 指数の予測可能性変動について詳しく調べた。その結果，SSW 後を初期値とする予報は，SSW 前を初期値とする予報に比べて予測スプレッドが有意に小さいことが明らかになった。この結果は Mukougawa et al. (2009) と整合的である。また，SSW 後の予報における対流圏 NAM 指数の予測誤差は，2009 年に比べ 2010 年は有意に小さいことがわかった。このことから，SSW の振舞いが異なる 2009 年と 2010 年とで，SSW が対流圏 NAM 指数の予測可能性に異なる影響を与えている可能性が示唆される。

### 平成 23 年度 実施計画

まず，平成 22 年度の結果を受けて，東西波数 1 のプラネタリー波が卓越する SSW と波数 2 のプラネタリー波が卓越する SSW の比較を行い，両者の SSW において対流圏循環にどのような差異が生ずるのかについて明らかにする。

一方，2009 年と 2010 年冬季について，成層圏を解像しない気象研究所/気象庁統一 AGCM を用いた予報実験を行い，平成 22 年度に行った予報実験と比較・解析することにより，対流圏 NAM 指数の予測可能性に及ぼす SSW の影響をより詳細に明らかにすることを目指す。また，両者の予報実験結果の比較から，成層圏循環が対流圏循環の予測可能性に及ぼす影響をより定量的に評価できることが期待できる。

さらに，西日本で顕著な寒波を観測した 2011 年 1 月について詳細な解析を行い，この寒波と成層圏循環との関連について検討する。特に，この事例では，成層圏下部で対流圏から上方伝播したプラネタリー波が反射し対流圏に下方伝播したことが報告されているので，このようなプラネタリー波の反射と日本での寒波との関連に注目した解析を行う。また，さらに過去の東アジア域での厳冬事例について解析を行い，プラネタリー波の反射が東アジア域の寒波をもたらす可能性を定量的に評価することを試みる。

## 萌芽的共同研究（課題番号：22H-01）

課題名：災害の「経験からの学習」によるイノベーションを考慮した経済成長モデルの開発

研究代表者：横松宗太

所属機関名：京都大学防災研究所 巨大災害研究センター

所内担当者名：横松宗太

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所 巨大災害研究センター

共同研究参加者数：3 名（所外 1 名，所内 1 名）

- ・大学院生の参加状況：1 名（学部 1 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [数値シミュレーションの補助]

### 研究及び教育への波及効果について

本研究は基礎理論の構築に主眼があったが、期間の最後に東日本大震災が発生し、原発事故への対応をはじめとした「経験からの学習」の実践の顕著な例を目の当たりにした。東日本大震災を対象とした実証研究や、実データを用いた定量的研究が急務であり、今年度の課題とする。また、参加した学部 4 回生（23 年度より修士課程）は研究の社会的意義を実感し、今後の研究活動への意欲を高めている。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

学術・実務の両面で、防災分野の展開においては、災害直後の被災地調査と調査結果に基づいた対策の革新の循環が鍵となる。本研究では災害時に、実験やモデル分析からはわからない新しい知見や次なる課題を得るプロセスを"Opportunity-based Learning（「経験からの学習」、OBL）"と定義し、OBL をエンジンとする研究開発の効果を表現した、新しい経済成長モデルを開発する。そして、起こった惨事が将来繰り返されないよう、その機会(opportunity)の経験・知見を最も有効に利用するための財政等の対策を導くことを目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

22 年度前半は共同研究者の東京大学・石倉智樹准教授と 2 ヶ月に一度の研究打ち合わせをしながら、概念の精緻化やモデルの定式化を進めた。後半は横松が属する研究室の 4 回生・角元恵理歌による補助を得ながら、数値シミュレーション等を行った。また望ましい政策の検討を行った。

#### (3) 研究成果の概要

本研究では、はじめに地域の防災力を向上させるための知識体系が、専門的かつ体系的な一般知識と、地域の地形や住民の特性に関する地域知識で構成されていることを指摘した。前者は専門家により、後者は住民により創出され、共有される。本研究では一般知識と地域知識が組み合わされた防災知識の構造と形成過程を定式化した。そこでは災害調査や災害経験など、災害時にしか得られない知見の獲得と共有のプロセスに着目した。とりわけ地域防災ワークショップ等における住民間の「対話」の機能に着目した。個人は対話において、相手の思いがけない状況想定に直面することを通じて、想定外のことが起こりえるという感覚を維持し続けることができる。

それによって災害の希少性による危機意識の希薄化を防ぐことができる。本研究では社会心理学の視点を取り入れた動学的地域経済モデルを用いて、知識形成の活性化に主眼をおいた地域防災力の向上の方策のあり方について検討した。

#### (4) 研究成果の公表

22年度は以下のような研究発表を行った。

横松宗太・角元恵理歌・石倉智樹・岡田憲夫：災害時の“Opportunity-based Learning”と経済成長，平成22年度防災研究所研究発表講演会，2011。

23年度は，第43回土木計画学研究発表会（2011年5月28日-29日，筑波大学）において以下のタイトルで発表を予定している。

角元恵理歌，横松宗太，岡田憲夫「防災知識の形成過程に着目した災害リスク下の地域経済成長モデル」

さらに以下の論文の投稿を予定している。

横松宗太，石倉智樹「“Opportunity-based Learning”による地域防災力と経済の成長（仮題）」

## 萌芽的共同研究（課題番号：22H-02）

課題名：インド亜大陸北東部における竜巻による被害実態現地調査

研究代表者：山根 悠介

所属機関名：常葉学園大学教育学部

所内担当者名：林 泰一

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：常葉学園大学

共同研究参加者数：3 名（所外 2 名，所内 1 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 [ 現地被害調査に同行 ]

### 研究及び教育への波及効果について

実際に現地へ赴いての被害調査から、これまであまり明らかになっていない被害の実態の把握を行い、将来の被害対策のための基礎となる成果を得ることができた。大学院生が調査に同行し、現地での被害の状況や実際の現地調査についてより直接的に学ぶことができた。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

バングラデシュとその周辺のインド北東部からなるインド亜大陸北東部は、世界でも有数の竜巻の多発地帯として知られており、これまでに幾度も甚大な被害を被ってきた。例えば 1996 年 5 月バングラデシュのタンガイル地方で発生した竜巻により、死者 700 人、負傷者 34105 人という被害が発生した。これまでこの地域ではサイクロンと洪水に焦点が当てられ、それらに比べると被害規模の小さい竜巻はあまり注目されてこなかった。しかし竜巻はひとたび発生するとその被害は破壊的であり、当該地域における近年の経済発展と人口増加に伴う社会の複雑化に伴い、竜巻被害が地域社会に与える影響は今後ますます深刻化することが予想される。それゆえ、竜巻被害の軽減に向けた対策を講じることが喫緊の課題となっている。本研究は、未だ理解が不十分である当該地域における竜巻被害の実態と被害の拡大要因を過去の竜巻被災地における現地調査から明らかにし、もって竜巻被害軽減対策の構築に資することを目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

バングラデシュにおいて 2010 年 8 月 24 日から 25 日にかけて被害の実態を明らかにすることを目的として現地調査を行った。具体的には 2010 年 4 月 26 日バングラデシュのパプナ県で発生した竜巻と思われる突風災害を対象とした被害調査を実施した。現地において被災者及びその関係者への聞き取り調査を行った。この調査結果から、被害の詳細や発生時の気象状況の詳細などが明らかとなった。

#### (3) 研究成果の概要

2010 年 4 月 26 日にバングラデシュのパプナ県で発生した突風災害の被害調査から、被害の詳細や発生時の気象状況の詳細などが明らかとなった。複数の被災者の証言から発生時刻は 16 時半ごろに発生したと思われる。発生時は雷、突風、強雨があり降雹はなかったようである。また発生直前は気温がいつもよりかなり高めであったと感じている人が多かった。主な被害内容としては、突風で学校の屋根が吹き飛ばされた、強風で倒れてきた木の下敷きとなって死亡した、屋外で金属製の器を洗っていたらそこに落雷して死亡した、などがあった。また聞き取りを行った人全てが被害発生後に困ったこととして、食料や水の調達が困難になることを挙げていた。

#### (4) 研究成果の公表

本研究の成果を平成 22 年度常葉学園大学教育学部研究紀要の内容の一部として発表した。

山根 悠介, 林 泰一, 木口 雅司, Ashraf Mahmood Dewan, Yead Arefin, Taiabut Rahman, Marju Bin Sayed, 寺尾 徹 「バングラデシュにおける竜巻などのシビアストーム被害の現地調査報告」, 常葉学園大学教育学部研究紀要, 第 31 号

## 萌芽的共同研究（課題番号：22H-03）

課題名：韓国の地域コミュニティにおける四面会議システムを用いた参加型防災活動実践計画づくり

ワークショップアプローチの提案

研究代表者：羅 貞一

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

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：日本（京都市）と韓国（ソウル市，江原道）

共同研究参加者数：2 名（所外 0 名，所内 2 名）

・大学院生の参加状況：1 名（博士 1 名）（内数）

### 研究及び教育への波及効果について

本研究代表者は、修士課程以来、四面会議システムの適用の最前線で研究を続けている。本研究では三段階システムを用いて参加者が災害状況、復興・復旧のプロセスなどをよりイメージできるような四面会議システムとの融合の試みが行われた。韓国では台風・洪水による水害の被害は最近増えている。地域自律防災団も結成されているが、まだ、地域コミュニティを対象にする防災活動と防災教育までは広がっていないのが現状である。従って、住民参加の実践計画づくりワークショップの実施は、防災意識の向上と実現可能な防災活動への体験学習を与えた。また、地域コミュニティに対する研究活動の実行のために計画樹立、コンタクト、実施運用などを主導的に遂行することは自主独立的な研究活動に対する教育成果ができたと考える。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

本研究は、参加型防災活動実践計画づくりのためのワークショップアプローチを提案するとともに、その有用性を検証することを目的とする。既存の技法では、参加した個人の災害リスクを認識し、それを共有するためのコミュニケーションの場を提供することにとどまっていた。本研究では、その限界を克服するために、協働的実践行動計画づくりを目的とする「四面会議システム」・「三段階システム」を適用する。韓国の地域コミュニティを対象に、参加型防災活動実践計画づくりワークショップを実施して、その有用性を検証する。

#### (2) 研究経過の概要

本研究では、羅（研究代表者）は岡田（指導教員）の指導の下で、日本での参加型ワークショップや四面会議システムの適用事例の分析を行った。その結果、四面会議ワークショップを補完し、機能的に強化する方法として、四面会議ワークショップで防災活動計画づくりを実行する前に、住民に災害状況のイメージと地域コミュニティの復旧・復興の活動を疑似体験できる「三段階システム」ワークショップを実施することが有効だと判断した。三段階システムでは、参加者自らが自然災害の被害状況を想定し、その想定の下で地域性に合うシナリオを考える。時間軸とともに対策計画案を個人と地域コミュニティの両方の視点で作れることが特徴である。2011 年 2 月には江原発展研究院（韓国）の協力を得て、韓国の地域コミュニティを対象に地域コミュニティの復旧・復興

を目指す三段階システムを適用した参加型防災活動実践計画づくりのワークショップを実施するとともに、四面会議システムの機能を強化する使い方について検討した。

### (3) 研究成果の概要

参加型ワークショップの対象になっている韓国，江原道のガリサン里（集落）は，2006年の集中豪雨で約250名の住民の中で8名がなくなった被災地域である。しかし，その後，地域コミュニティのリーダーを中心に災害復旧・復興に取り組んで現在は，防災体験まちづくりをコミュニティ発展のきっかけとして計画している。しかし，具体的な方向性や災害復旧・復興活動に対する全体的なプロセスなどに対して住民自らが計画活動を行ったことがなかった。今回実施されていた三段階ワークショップを通じて参加者は，個人行動は勿論，地域コミュニティという生存生活共同体の復旧・復興まで議論することで，協働作業の行動計画づくりという集団的な防災計画活動への体験学習ができた。

これにより四面会議システムの機能の強化につながることを確認した。

### (4) 研究成果の公表

- 1) Jong-il Na, Norio Okada: The Sandankai System Method for Participatory Disaster Scenario Development, The Integrated Disaster Risk Management Society, The 1st Annual Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (IDRiM 2010), September 1-4, 2010, Vienna, Austria, 1 page, 2010

## 一般研究集会（課題番号：22K-01）

集会名：自然災害に関するオープンフォーラム 2010（孤立集落の防災を考える～自助・共助・公助の実現化に向けて）Open Forum on Natural Disasters, 2010

主催者名：日本自然災害学会

研究代表者：能島 暢呂

所属機関名：岐阜大学工学部社会基盤工学科

所内担当者名：多々納 裕一

開催日：平成 22 年 9 月 15 日

開催場所：十六プラザ（岐阜市）

参加者数：115 名（所外 106 名，所内 9 名）

- ・大学院生の参加状況： 4 名（修士 3 名，博士 1 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 参加者 ]

### 研究及び教育への波及効果について

孤立集落の防災を多面的に議論することによって、より深い問題の理解に繋がっている。  
この成果は自然災害科学に報告され、多くの自然災害研究者やそれを志す学生諸君によって共有されたと考えている。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

地域特有の自然災害をテーマとして、研究成果を一般の方々にもわかりやすく伝えるとともに、パネルディスカッションを通じて自然災害防止軽減に関する知識の普及・啓発を図ることを目的とする。今回は、中山間地域の孤立集落の問題に焦点を当て、災害に強いまちづくりについて地域住民とともに議論し、ハード面での脆弱性の克服方法や、地域住民のソーシャルキャピタルを活かしたソフト面での対策強化について考える。

#### (2) 成果のまとめ

高齢化や過疎化が進み、災害時の孤立可能性が高い中山間地域の現状や課題について、第一線の研究者や専門家が整理するとともに、これまでの災害経験や研究成果の中から、実際に活用可能な処方箋について一般の方々にわかりやすく述べることによって、参加者が防災対策の実践に向けて新たな一歩を踏み出すきっかけとなり得たものと考えている。パネルディスカッションを通じて、産官学民の役割分担の明確化と連携強化のための具体的な取り組み方法について総合的に議論することによって、産官学民協働の自助・共助・公助による防災対策の実現に向けての示唆を得ることが出来た。中山間地を中心に高齢化や過疎化が進み、災害時には孤立する可能性があるが、(1)このような地域は自然災害について意識も高く、都市部に比べて地域の絆やつながりが深いため、日常の地域住民の関わりや触れ合い、暮らしの中での工夫が災害対策につながる部分があること、(2)防災というものを特別なものと捉えないで、普段の生活の延長線上に防災があると認識する必要があること、(3)中山間地域においても、人と人のつながり、また、その地域が元気であることが基本であり、それが災害時や緊急時の対応の強さにもつながっていくこと、等の重要性が確認された。地域住民が地域づくりに積極的に参加し、それが防災につながるような取り組みのためのヒントが共有され、中山間地域における防災への取り組みの方向性の一つが明らかになったと考える。

### (3) プログラム

13:00-13:10 開会挨拶 八嶋 厚 (岐阜大学理事・副学長)

13:10-14:10 第一部 基調講演：孤立集落の課題と展望

小倉真治 (岐阜大学大学院医学系研究科救急・災害医学分野教授, 岐阜大学医学部附属病院高次救命治療センター長)

「孤立集落と救急・災害医療～救急医療支援情報流通システム (GEMITS) による医療全体の最適化に向けて」

14:10-15:30 第二部 話題提供：「孤立集落の防災について考える」

照本清峰 (和歌山大学防災研究教育センター特任准教授)

「孤立集落の減災と支援の課題」

稲垣文彦 ( (社) 中越防災安全推進機構 復興デザインセンター長)

「中越地震の復興プロセスから考える孤立集落 (中山間地) の防災対策」

15:30-15:50 休憩

15:50-17:20 第三部 パネルディスカッション (総合討論) :

孤立集落の自助・共助・公助に向けた産官学民の役割と連携

モデレータ：高木朗義 (岐阜大学工学部社会基盤工学科教授, 岐阜大学社会

資本アセットマネジメント技術研究センター長, 岐阜県地域政策・都市政策監)

パネリスト：小倉真治 (岐阜大学大学院医学系研究科救急・災害医学分野教授)

照本清峰 (和歌山大学防災研究教育センター特任准教授)

稲垣文彦 ( (社) 中越防災安全推進機構 復興デザインセンター長)

若宮克行 (岐阜県 危機管理統括監)

竹腰藤年 (特定非営利活動法人神通砂防 理事長)

17:20-17:30 閉会挨拶 今村文彦 (日本自然災害学会会長, 東北大学教授)

### (4) 研究成果の公表

自然災害科学 29-4 pp. 517-524

## 一般研究集会（課題番号：22K-02）

集会名：地学教育の現状とその改革－防災知識の普及に向けて－

研究代表者：竹本 修三

所属機関名：国際高等研究所

所内担当者名：飯尾 能久

開催日：平成 22 年 9 月 1～2 日

開催場所：防災研究所

参加者数：55 名（所外 41 名，所内 14 名）

・大学院生の参加状況：3 名（修士 2 名）（内数）

・大学院生の参加形態 [ 発表および聴講 ]

### 研究及び教育への波及効果について

様々な組織・個人による地学教育・防災知識の普及活動の報告により，現状の問題や今後の課題が明らかになり，改善へ向けての道筋が見えてきた。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

近年，若者の理科離れが問題視されているが，理科のなかでも地学はマイナーであり，先細りが懸念されている。大学法人化が進んで，地学関連のコースを設ける大学も減っているが，これは地球変動のフィールド調査や天文観測などの大規模施設の整備に高額の予算が必要なことなどが原因であるとされている。本研究集会では，各大学で行われている地学教育の現状を把握し，その改革に向けた取り組みの方向性を見出すことを目的とする。

#### (2) 成果のまとめ

防災知識の普及のために，若者の理科離れや地学教育の機会の減少を食い止めることが必要であることが共通認識された。そのためには，「地学」を「宇宙と地球についての自然科学」と位置づけ，「身近な事物から大自然の奥深さと美しさを実感する「センス・オブ・ワンダー」の感性を育む重要な学科であることを広く認識させることの重要性が確認された。

#### (3) プログラム

9月1日（水）

10:00-10:10 開会挨拶：竹本修三（国際高等研究所）

[基調講演]

10:10-10:50 Natural History の復権を目指して：廣田 勇（京都大学名誉教授）

[大学法人化以後の大学地学教育の現状と課題]（司会：竹本修三）

10:50-11:10 茨城大学における地学教育の現状と展望：岡田 誠（茨城大学理学部）

11:10-11:30 静岡大学における地学教育と防災教育：里村幹夫（静岡大学理学部）

11:30-11:50 広島大学理学研究科における地学教育：須田直樹（広島大学大学院理学研究科）

- 11:50-12:10 将来の地学教育・研究を担う大学院生・若手研究者の実情— 気象学会のアンケート調査から —：  
中村 尚（東京大学大学院理学系研究科）
- 12:10-13:30（昼食・休憩）
- 13:30-13:50 新潟大学における子どもを対象とした防災知識の普及活動：卜部厚志（新潟大学災害復興科学センター）
- 13:30-13:50 防災と時間学：藤沢健太（山口大学時間学研究所）
- 13:50-14:10 富山大学理学部における英語教育の副産物 — 火山噴火による航空機事故の例：  
氏家 治（富山大学名誉教授）
- 14:10-14:30 高知女子大の改組と地学教育の課題：大村 誠（高知女子大学生生活科学部）
- 14:30-14:50 神戸学院大学における地学教育の変遷と現状—非理工系総合大学における地学教育の一例として—：  
大塚成昭（神戸学院大学人文学部）・藤原保裕（神戸学院大学教務事務グループ）
- 14:50-15:10 私立大学における地学教育の試み—奈良産業大学の場合—：向井厚志（奈良産業大学情報学部）
- 15:10-15:20（休憩）
- [小・中・高校地学教育の現状と課題]（司会：竹本修三）
- 15:20-15:40 小・中学校の理科の授業での地学防災教育の試み：角縁 進（佐賀大学文化教育学部）
- 15:40-16:00 小学校教員を目指す大学生の地球温暖化問題に対する関心と知識：山森美穂（都留文科大学初等教育学科）
- 16:00-16:20 高校地学教育の現状と課題（I）：宮嶋 敏（埼玉県立深谷第一高校）
- 16:20-16:40 高校地学教育の現状と課題（II）：中井 仁（大阪府立茨木工科高校）
- 16:40-17:00 日本地球惑星科学連合教育問題検討委員会の活動：瀧上 豊（関東学園大学経済学部）
- 17:00-17:20 地学は生き残れるか：吉岡直人・藤田勝代（深田地質研究所）
- 17:20-17:50 質疑応答
- 9月2日（木）
- [地域と連携した地学・防災教育]（司会：飯尾能久）
- 09:10-09:50（招待講演）ジオパーク活動と地学教育：尾池和夫（国際高等研究所）
- 09:50-10:10 深田地質研究所における地学普及活動：藤田勝代・吉岡直人（深田地質研究所）
- 10:10-10:30 満点計画と地域や学校における防災学習：飯尾能久・矢守克也（京都大学防災研究所）
- 10:30-10:40（休憩）
- 10:40-11:00 公開天文台（仙台市天文台）と地学教育：土佐 誠（仙台市天文台）
- 11:00-11:20 金沢大学能登半島スタディ・ツアー「奥能登の景勝地から地震に迫る」：  
加藤道雄（金沢大学理工研究域自然システム学系）
- 11:20-11:40 地学復権に向けての京都大学の試行錯誤—地質の日の取り組みなど—：  
前田晴良（京都大学大学院理学研究科）
- [総合討論]（竹本修三・飯尾能久・瀧上 豊）
- 11:40-12:30 総合討論  
地学・防災教育への提言

#### (4) 研究成果の公表

報告書を印刷，配布した。

## 一般研究集会（課題番号：22K-03）

集会名：土砂生産・輸送プロセスに基づいた山地流域からの土砂流出量の長期変動予測と対策  
—流域内の貯留土砂量の変化が及ぼす影響—

研究代表者：堀田 紀文

所属機関名：東京大学大学院（現：筑波大学大学院）

所内担当者名：藤田 正治, 堤 大三

開催日：平成22年10月14-16日

開催場所：京都大学防災研究所 穂高砂防観測所

参加者数：38名（所外35名，所内3名）

- ・大学院生の参加状況：2名（修士2名）（内数）
- ・大学院生の参加形態【研究集会に参加し，研究発表を聴講した】

### 研究及び教育への波及効果について

異なる専門分野の研究者が土砂生産・移動プロセスについて研究発表を行ったうえで，それぞれの立場から議論を行うことで，流域における土砂流出を総合的に理解することが可能となる。その議論および現地検討会に共に参加することは学生への教育効果も高い。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

土砂流出量の予測に際し，流域内の土砂生産・輸送の各過程の理解が不可欠である。また，各過程が複合的に影響を及ぼし，流域から流出する土砂の直接的なソースとなる，流域内の貯留土砂量の変化も併せて評価することが長期的には重要であろう。本研究集会では，土砂流出量の長期予測とその対策を講じるため，流域貯留土砂量の変化に着目し，砂防工学・河川地形学・水工水理学・水文学等の視点から，経験的・実証的・理論的立場から総合的に議論を行うことを目的とした。

#### (2) 成果のまとめ

最初に，総論／背景を共有するための議論を行った。日本における長期的な土砂災害の実態と傾向について，国土の変遷とともに紹介された。また，流出する土砂を資源としてとらえたときに，人間社会との関係性がどのように理解できるかが，海外での事例とともに紹介された。そのうえで，山地河川における土砂流出の実態について，さまざまな事例とともに解説が行われ，土砂流出に対する観点と実態の全体像について共通認識を得た。

各論においては，まず，流域源頭部および山地斜面における土砂生産についての発表が行われた。斜面崩壊が降雨とその浸透様式の違いによって異なる規模で引き起こされることが示され，崩壊に対する植生の影響として，樹木根系による補強効果が定量的に示された。流域源頭部の流出土砂量における，崩壊起源と浸食起源の土砂の寄与率の分析結果について発表された。

続く土砂輸送の発表に先立ち，流出土砂量の計測技術の紹介があった。河床材料の粒度分布を画像解析によって計測した結果と，その技術を土砂流出量予測に適用するための展望が示された。また，音響センサーを用いた掃流砂量の計測について，音圧の解析による手法が紹介された。

河道における土砂輸送に関しては，集合流動，および流砂が河川地形に及ぼす影響に関する議論が行われた。実河川

における土砂の堆積状況と土石流の数値シミュレーション結果の比較から、砂防構造物が流域における土砂の集合流動による堆積量分布にどのような影響を与えるかが示された。また、砂堆、平坦床、反砂堆などの河川地形の出現特性が、流砂および河床変動に関する各種の無次元数によって分類され、洪水時の交互砂州と平常時の水みち形成の関係が、洪水減水パターンによってどのように変化するかが実験的に示された。

最後に、上記の各プロセスを反映した、広域・長期における土砂生産・流出特性の議論が行われた。流域スケールにおいて、豪雨時に土砂生産源である崩壊地がどのように分布するかが示されたのち、日本全域での崩壊実績データとの比較から、降雨パターンに応じて斜面崩壊が分類可能であることが示された。また、宇宙線生成核種を用いた分析結果から、超長期（千年スケール）での土砂流出特性がと山体の浸食との関係が示された。加えて、2400年前に発生した土石流が現在の地形とどのように対応しているかが、発掘調査の結果に基づき議論された。まとめとして、土砂流出特性は対象とする時間スケール、空間スケールに応じて多様であるが、対象地内における土砂貯留量という概念を援用することによって、土砂生産プロセス、あるいは土砂輸送プロセスによって規定されるというように土砂流出特性の分類が可能であることが示された。

これらの認識に基づいて山地流域からの長期的な土砂流出変動の予測、対策を行う必要があるとの共通認識が構築された。また、そのため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

平成 22 年 10 月 14 日 18 : 00 京都大学防災研究所 穂高砂防観測所 集合

平成 22 年 10 月 15 日 8 : 30~18 : 00 研究集会

#### プログラム

##### 総論／背景

多田泰之：(独)森林総合研究所

国土の変遷と災害

藤田正治：京都大学

土砂資源という観点からの土砂移動現象

水山高久：京都大学

土砂河川の土砂流出と流砂計測

—流砂モニタリングに基づく土砂流出コントローラー—

##### 斜面／源頭部

高濱淳一郎：京都府立大学

不飽和砂質土斜面における表層崩壊発生予測に関する実験的研究

福山泰治郎：信州大学

山地小流域における流出土砂量の推定と貯水池堆積物の解析に基づく検証

北原 曜：信州大学

樹木根系の崩壊防止機能

##### 計測

大橋慶介：岐阜大学

画像処理による粒度分布調査および土砂流出量予測技術への適用

鈴木拓郎：国土技術政策総合研究所

ハイドロフォンによる掃流砂量計測手法

#### 河道～流域

中谷加奈：京都大学

Kanako による土石流対策工の機能評価

—Hongqiao Gully, Sichuan Province, China を対象として—

泉典洋：北海道大学

砂堆, 平坦床, 反砂堆遷移現象の分岐特性と安定性

渡邊康玄：北見工業大学

洪水時に形成された砂州と平常時にみられる水みちとの関係

#### 流域～広域

執印康裕：宇都宮大学

流域スケールから見た降雨履歴と斜面崩壊発生の関係性について

齋藤仁：首都大学東京

日本列島における斜面崩壊の発生と降雨パターンとの関係

松四雄騎：京都大学

宇宙線生成核種による千年スケールでの山地斜面の削剥速度と流域からの土砂生産量の推定

富井眞：京都大学

京都白川の 2400 年前の土石流堆積物の概要

堀田紀文：東京大学

流域の土砂貯留量と土砂流出量の変化

#### 総合討論

平成 22 年 10 月 16 日 現地検討会 解散

#### (4) 研究成果の公表

特になし

## 一般研究集会（課題番号：22K-04）

集会名：水資源マネジメントと法制度 ―総合水管理施策の実装に向けて―

研究代表者：磯村 篤範

所属機関名：島根大学大学院

所内担当者名：堀 智晴

開催日：平成22年8月26日

開催場所：京都大学宇治地区 木質ホール

参加者数：56名（所外 33名，所内 23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 [ 聴講 および 運営補助 ]

### 研究及び教育への波及効果について

水資源マネジメントに関する技術的・法制度的諸課題を整理・共有することができたことにより、総合的な水資源マネジメントについて、その施策の実装戦略までを視野に入れた学際的研究を進め得るプラットフォームの構築への礎を築くことができた。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

水管理施策が水という公共物をその対象とする以上、自然科学的・工学的見地から構築された水循環機構モデルや計画・設計モデルを通じて考えられる施策について、法や社会制度の中でいかなる実装が可能か、法や社会制度にいかなる変革を求められるのかといったことを、総合的に検討することが不可欠である。本研究集会では、その第一歩として、主として洪水に関わる河川管理の技術・制度・考え方の変遷と現在抱える問題点について国際比較を試みることで、科学・技術の水準と行政制度・法制度との関わり、安全度の考え方や安全性に対する行政・地域・個人の権利と責任・役割の範囲に対する考え方を整理し、自然科学・技術と社会制度との関係を踏まえた総合水管理施策の実装方法を考えるきっかけとする。

#### (2) 成果のまとめ

水マネジメントに関わる各国の管理手法や法制度について互いに比較を行いながら、法学・工学といった専門分野の違い、あるいは研究者（学）・実務者（産・官）といった立場の違いを超えて議論を交わした結果、総合水管理施策へ向けた技術的・制度的諸課題をより客観的に整理し、かつ参加者間で共有することができた。また、本研究集会で互いに課題点を共有できたことをきっかけとして、講演者の Ziekow 教授や、韓国からの参加者である金教授らと共に、課題点のうち特に重要と考えられる洪水リスクの分担・マネジメント・対応の責任範囲に関する文理融合型国際共同研究を、ドイツ・韓国・日本を中心として進めることを検討している。

#### (3) プログラム

10:00 Welcome remarks 岡田憲夫（防災研究所所長）

【セッション1】 司会：佐藤嘉展（防災研究所特定准教授）

10:05-10:20 水資源マネジメントと法制度研究の視点 堀智晴（防災研究所教授）

- 10:20-10:50 行政法の基礎と日本から見たドイツ水法の特徴  
磯村篤範（島根大学大学院法務研究科教授，日本）
- 10:50-11:50 ドイツにおける水の法制度，変遷・現状と課題 1 —ドイツにおける洪水防止制度の傾向性—  
Dr. Jan Ziekow（シュパイヤー行政学院教授，ドイツ）
- 【セッション 2】 司会： 角哲也（防災研究所教授）
- 13:20-14:20 日本における河川管理・氾濫原管理の変遷・現状と課題  
尾澤卓思（国土交通省近畿地方整備局河川部長，日本）
- 14:20-15:20 オーストリアにおける河川・水管理に関わる法制度  
Dr. Rudolf Hornich（Styria 州土地水管理局長，オーストリア）
- 【セッション 3】 司会： 堀智晴（防災研究所教授）
- 15:50-16:50 ドイツにおける水の法制度，変遷・現状と課題 2 —新しい水管理法による水法上の許可決定—  
Dr. Annette Gukelberger（ザールラント大学教授，ドイツ）
- 16:50-17:50 水資源管理における法と技術の交差—米国カリフォルニア州の経験—  
遠藤崇宏（筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授，日本）
- 17:50-18:20 総合質疑

#### (4) 研究成果の公表

当日の質疑や質問票で提出された質問・回答のうち，講演者の確認が得られたものを本研究集会のホームページ (<http://gwd.dpri.kyoto-u.ac.jp/sympo2010/>) に掲載した。

## 一般研究集会（課題番号：22K-05）

集会名：地震・火山噴火予知のための地球電磁気学の新展開：3次元構造探査とモニタリング

研究代表者：小川康雄

所属機関名：東京工業大学火山流体研究センター

所内担当者名：大志万直人

開催日：平成22年4月1日～平成23年3月31日

開催場所：京都大学宇治キャンパス 「おうばくプラザ」 セミナー室4・5

（ポスター会場：「おうばくプラザ」 ハイブリッド・スペース）

共同研究参加者数：63名（所外55名，所内8名）

- ・大学院生の参加状況：9名（修士8名，博士1名）
- ・大学院生の参加形態【口頭あるいはポスターによる発表と講演の聴講】

### 研究及び教育への波及効果について

電磁気観測は、地震火山噴火予知研究において、地殻内の流体のイメージングを通じて有用な情報を提供しているが、最近では、3次元構造のモデリングや、時間変動のモデリングに関して新展開がなされつつあり、これらに関する最新の成果の情報交換が行われた。最新の成果に関する特別講演やレビュー招待講演により、院生に対する教育効果を高めた。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

地震・火山噴火の災害の予測や被害の低減のために、地震・火山の“場”とその発生や推移の“過程”とを理解することは本質的な基礎研究である。多くの地球物理学的観測手法の中で、電磁気観測は地殻内流体や温度場に敏感な情報を取り出せるため、“場”と“過程”に関しては重要な情報を与える。ここでは最近進展の著しい3次元比抵抗構造解析と電磁場モニタリング研究に焦点を当て最新の成果を発表する。

#### (2) 研究経過の概要

平成23年2月24日（木）13:00-18:00 および 翌25日（金）9:00-17:00に、京都大学宇治キャンパス 「おうばくプラザ」 セミナー室4・5および「おうばくプラザ」 ハイブリッド・スペースにおいて、研究集会を開催した。

#### (3) 研究成果の概要

全体で44件におよぶ研究発表が行われた。このうち、口頭発表は31件、ポスター発表は13件である。口頭発表に関しては、地震発生直前の電磁気信号の検出、火山体の3次元構造モニタリングに関するそれぞれ1件の招待講演のほか、内陸地震にかかわる地震波速度の時間変化、内陸地震発生と地殻内流体、インドネシア国メラピ火山と霧島火山新燃岳に関して、それぞれ、招待講演を実施した。これらの招待講演には十分な時間を割くことによって、大学院生や若い研究者に対する教育に資した。

#### (4) プログラム

開催日時：平成23年2月24日（木）13:00-18:00（18:45-20:30 懇親会）

2月25日(金)9:00-16:55

開催場所：京都大学宇治キャンパス 「おうばくプラザ」 セミナー室4・5

(ポスター会場：「おうばくプラザ」 ハイブリッド・スペース)

2月24日(木)

13:00-13:05 開会の辞 大志万直人(京大防災研)

【セッション1：地震に関連した電磁気観測】座長：吉村令慧・竹内昭洋・市原寛

13:05-13:20 漏洩電流の影響の大きいMT 応答関数の改善について

○村上英記(高知大)・最上巴恵(神戸大)・山口覚(大阪市大)・小河勉(東大)

13:20-13:35 安富断層・暮坂峠断層を横切るAMT探査(2010年度観測結果)

○山口覚・窪田高宏(大阪市大理)・上田哲士(神戸大理)・村上英記(高知大理)・  
加藤茂弘(人と自然の博物館)

13:35-13:50 長野県西部の3次元比抵抗構造と微小地震活動の関係

○吉村令慧・大志万直人(防災研)・笠谷貴史(JAMSTEC)・飯尾能久(防災研)・  
小村健太郎(防災科研)

13:50-14:05 神津島における地電位差変動と地震との関係に関する定量的および統計的有意性に  
関する研究

織原義明(東海大)・○鴨川 仁(東京学芸大)・竹内昭洋(東海大)・長尾年恭(東  
海大)・上田誠也(日本学士院)

14:05-14:20 火成岩の不均一な圧縮に伴う熱起電力変化

○竹内昭洋・藍壇オメル・佐柳 敬造・長尾年恭(東海大)

14:20-14:35 自然地震における電場と速度の周波数応答関数の特徴

○栗城麻由・本蔵義守・松島政貴・小川康雄(東工大)

14:35-15:05 地震直前の電磁気異常検出は期待できない?

○本蔵義守(東工大)・大志万直人(京大防災研)・松島政貴(東工大)・吉村令慧  
(京大防災研)・M. Tuncer(イスタンブール大)・S. Baris(コジャエリ大)・B. Tank  
(ボアジチ大)

15:05-15:20 休憩

【セッション1：地震に関連した電磁気観測】座長：吉村令慧・竹内昭洋・市原寛

15:20-15:50 地震観測からみた三次元地殻構造と時間変化の検討 - 岩手・宮城内陸地震・鳴子・  
鳥海山を例に

○岡田知己・高木涼太・吉田圭佑(東北大)

15:50-16:20 内陸地震の発生過程と深部流体の役割-山陰地方の地震帯を例として-

○飯尾能久(京大防災研)

【セッション2：火山に関連した電磁気観測】座長：橋本武志・小山崇夫・山谷祐介

16:20-16:35 霧島火山新燃岳周辺での全磁力モニターについて

○上嶋誠・小山崇夫(東大震研)・鍵山恒臣(京大理)

16:35-17:05 火山噴火予知のいま - Merapi 山と霧島新燃岳 -

○石原 和弘 (京都大学防災研究所)

17:05-18:45 ポスターセッション

18:45-20:30 懇親会 (宇治キャンパス生協食堂内)

2月25日 (金)

【セッション2 : 火山に関連した電磁気観測】 座長 : 小山崇夫・山谷祐介・畑真紀

09:00-09:30 伊豆大島における人工電流源を用いた比抵抗構造連続観測

○小山崇夫・長竹宏之・上嶋誠・歌田久司 (東大地震研究所)

09:30-09:45 Activeによる伊豆大島三原山の比抵抗構造探査

○長竹宏之・上嶋誠・小山崇夫 (東大地震研究所)

09:45-10:00 AMT 法電磁探査と比抵抗法電気探査から推定された伊豆大島火山の比抵抗構造の特徴

○高倉伸一 (産総研)・松島喜雄 (産総研)・西祐司 (産総研)・鬼澤真也 (気象研)・  
長谷英彰 (東大地震研)

10:00-10:15 鬼首カルデラの3次元比抵抗モデリング

○吹野浩美・小川康雄・神田径 (東工大火山流体)・市來雅啓 (東北大理)・ブレン  
トタンク (東工大火山流体)

10:15-10:30 草津白根火山の3次元比抵抗構造と新たな高温域との関係

○小川康雄 (東工大火山流体)・Nurhasan (バンドン工科大)・山脇輝夫・野上健治・  
神田径 (東工大火山流体)

10:30-10:45 電磁気的手法によるタール火山の監視(SATREPS-Project 2010-2014)

長尾年恭(東海大)・竹内昭洋(東海大)・○笹井洋一(東海大)・山谷祐介(北大)・  
橋本武志(北大)・茂木透(北大)・田中良和(京大)・P.K. Alanis(PHIVOLCS)・J.M.  
Cordon Jr.(PHIVOLCS)・J. Sabit(PHIVOLCS)・J.S. Sincioco(PHIVOLCS)

10:45-11:00 繰り返し空中磁気測量で検出された有珠山の全磁力変化

○橋本武志 (北大理)・宇津木充 (京大理)・中塚 正・大熊茂雄 (産総研)・  
小山崇夫 (東大震研)・神田 径 (東工大火山流体)・鈴木敦生 (北大理)

11:00-11:15 有珠火山 2000 - 2010 年空中磁気データ比較による磁気異常変化と  
2000 年探査高度データ精度の検討

○中塚 正・大熊茂雄・有珠山空中磁気探査グループ

11:15-11:30 伊豆大島の地磁気全磁力観測

○田口陽介・三島稔明・増子徳道・芥川真由美・山崎明・熊坂信之 (地磁気観測所)

11:30-11:45 脱ガスに伴う自然電位の変動

○石戸経士 (産総研)

11:50-12:30 CA 研究打ち合わせ会

12:30-14:00 ポスターセッション

【セッション3 : 海底電磁気観測】 座長 : 松野哲男・藤浩明・後藤忠徳

14:00-14:30 Marine Magnetotellurics on a Continental margin with application to Costa Rican Subduction  
Zone:

- Tamara Worzewski (IFM-Geomar, University of Kiel)
- 14:30-14:15 海陸共同観測データを用いた西南日本背弧域の地下比抵抗構造  
○南拓人(京都大学理)・藤浩明(京都大学理)・笠谷貴史(JAMSTEC)・  
下泉政志(九州職能大学校)・大志万直人(京大防災所)
- 14:45-15:00 ラウ背弧海盆拡大系における長期海底電磁場観測の概要  
○島伸和・柴田侑希・木村真穂・水間恵子・松野哲男(神戸大学)・小林聖也・野  
木義史(国立極地研)
- 15:00-15:15 2D Modeling of OBEM data beneath the Eastern Marmara Sea  
○T. Kaya, ・Y. Ogawa (東工大火山流体)・T. Kasaya (JAMSTEC)・  
S.B.Tank (ボアジチ大)・M.K. Tuncer (ボアジチ大, イスタンブール大)・N. Oshiman  
(京大防災研)・Y.Honkura・M. Matsushima (東工大地惑)
- 15:15-15:30 海底熱水鉱床における ROV による海底電気探査  
○後藤忠徳・今村尚人(京大)・佐柳敬造・原田誠(東海大)・笠谷貴史・澤隆雄  
(JAMSTEC)・松田滋夫(クローバテック)
- 15:30-15:45 ベヨネース海丘における AUV を用いた磁気探査装置の計測試験について  
○佐柳敬造・伊勢崎修弘・原田誠(東海大)・笠谷貴史(JAMSTEC)・松尾淳(OYO イ  
ンターナショナル)・野木義史(極地研)・大西信人(テラテクニカ)・西村清和  
(東海大)・澤隆雄(JAMSTEC)・馬場久紀(東海大)・齋藤章・中山圭子(早稲  
田大)・山下善弘(応用地質)・大美賀忍(JAMSTEC)・後藤忠徳(京大)
- 15:45-16:00 海底電磁気観測による津波モニタリング  
○藤 浩明(京大院理)・佐竹健治(東大地震研)・浜野洋三(JAMSTEC・IFREE)・  
藤井雄士郎(建築研)・後藤忠徳(京大院工)

16:00-16:10 休憩

【セッション4：地磁気観測】座長：山崎健一・多田訓子

- 16:10-16:25 IGRF11 の1 経年変化モデルの評価と磁気異常の年度化成法の提案  
○植田義夫
- 16:25-16:40 高感度フラックスゲートの周波数特性について  
○山崎明・三島稔明
- 16:40-16:55 地磁気観測所構内の土壤磁化特性と地磁気観測値に対する影響  
○三島稔明・大和田毅・森山多加志・石田憲久・吉武由紀・長町信吾・源泰拓(気  
象庁地磁気観測所)・山崎俊嗣・小田啓邦(産業技術総合研究所)

16:55 閉会の辞 小川康雄(東工大火山流体)

#### (5) 研究成果の公表

発表内容に関しては、所定の報告書に CD としてまとめるほか、可能な限り web にも掲載する。さらに、可能な限り  
論文集として、原稿を集め、冊子として出版する。

## 一般研究集会（課題番号：22K-06）

集会名：台風などの強風予測と災害発生機構の解明および低減策に関する研究集会

研究代表者：白土 博通

所属機関名：京都大学大学院工学研究科

所内担当者名：林 泰一

開催日：平成 23 年 1 月 12-13 日

開催場所：京都大学宇治構内総合研究実験棟 遠隔会議室 HW401 号室

参加者数：45 名（所外 34 名，所内 11 名）

- ・大学院生の参加状況：12 名（修士 6 名，博士 6 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 口頭発表 6 名，参加のみ 6 名 ]

### 研究及び教育への波及効果について

理学系の気象学専攻および工学系の風工学専攻の学生が，大きな気象災害を発生させる台風 について，最新の研究成果にふれることにより，「台風」という現象について，その機構の みならず，発生する災害についても知見を深めることができ，将来の被害の低減に大きく役立つ

### 研究集会報告

#### (1) 目的

台風および竜巻，突風の成因と強風災害の発生メカニズムの解明，ならびに災害低減策の開発に関する研究発表および学術技術情報の交換を行い，強風防災の発展に寄与することを目的として，風工学，土木工学，建築学，鉄道，電力等の各分野の最新の研究成果の発表，意見交換を行った。

#### (2) 成果のまとめ

本集会を開催することで，気象学や風工学，土木工学，建築学，災害情報学といった分野の研究情報交換が促進され，台風などの強風防災に対する総合的な研究の進展，今後の災害低減対策の一層の充実が期待できる。

#### (3) プログラム

平成 22 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」

「台風などの強風の予測と災害発生機構の解明および低減策に関する研究集会」

日時：平成 23 年 1 月 12 日（水）・13 日（木）

場所：京都大学宇治構内総合研究実験棟

<http://www.uji.kyoto-u.ac.jp/campus/map.pdf> の 2 番の建物

遠隔会議室 HW401（JR 奈良線黄檗駅下車，徒歩約 10 分）

主催：京都大学防災研究所

1 月 12 日

13:20 - 13:30

趣旨説明

白土博通（京都大学）

座長 白土博通 (京都大学)

13:30 - 13:50 台風のアウターバンドで発生する竜巻

○堀場晃平 (高知大学)・佐々浩司

13:50 - 14:10 台風に伴う竜巻の数値シミュレーション

—T0613 号に伴う延岡竜巻と T0918 号に伴う土浦・竜ヶ崎竜巻との比較—

益子渉 (気象研究所)

14:10 - 14:30 高知沿岸部で発生した竜巻のレーダー解析

○佐々浩司 (高知大学)・濱口祥輝・根平嶺央

14:30 - 14:45 休憩

座長 佐々浩司 (高知大学)

14:45 - 15:05 建築物の突風ハザード評価に資する竜巻状気流発生装置の基本特性

○喜々津仁密 (国土技術政策総合研究所), 奥田泰雄, 神田順, 河井宏允

15:05 - 15:25 オーバーシュート風力の発生に着目した無風状態からの急激な突風の性状

○友清衣利子 (九州大学)・竹内崇・前田潤滋

15:25 - 15:45 突風作用下の構造物の非定常空気力

白土博通 (京都大学)

15:45 - 16:05 台風時の飛散物を模擬した外装材の耐衝撃試験法について

丸山 敬 (京都大学)

16:05 - 16:20 休憩

座長 丸山 敬 (京都大学)

16:20 - 16:40 メソ気象モデルによる台風 0314 号のシミュレーション

○大澤輝夫 (神戸大学)・林泰一

16:40 - 17:00 台風 Fengshen (2008) の発生に関わる総観およびメソスケール過程

○山田広幸 (JAMSTEC), 那須野智江, 柳瀬亘, 城岡竜一

17:00 - 17:20 台風 0918 号上陸時に中心付近で発生したレインバンドの構造と形成メカニズム

○小山真平 (名古屋大学)・坪木和久

18:00 - 懇親会 一般 4,000 円, 学生 2,000 円

宇治生協食堂 <http://www.uji.kyoto-u.ac.jp/campus/map.pdf> の 7 番の建物

1 月 1 3 日

座長 林 泰一 (京都大学)

09:30 - 09:50 発達する熱帯低気圧に対する海面交換係数の影響

○宮本佳明 (京都大学)・竹見哲也

09:50 - 10:10 台風外部コア発達プロセス

○筆保弘徳 (横浜国立大学)・Yuqing Wang

10:10 - 10:30 2001 年 18 号台風の初期渦形成過程について

○吉田龍二 (京都大学)・石川裕彦

10:30 - 10:50 台風の最大風速に関する感度解析

○伊藤耕介 (京都大学)・石川洋一・淡路敏之・宮本佳明

10:50 - 11:05 休憩

座長 筆保弘徳 (横浜国大)

11:05 - 11:25 隣接閉領域トラッキングによる台風トラック

○佐竹祐哉 (北海道大学)・稲津將

11:25 - 11:45 ベンガル湾のサイクロン対策 - 2010年12月の現地調査から -

林 泰一 (京都大学)

11:45 - 12:15 東アジア台風観測計画とアジア台風センターの設立

○佐藤正樹 (東京大学), 筆保弘徳

12:15 - 12:25 閉会の辞

#### (4) 研究成果の公表

京都大学防災研究所一般研究集会

## 一般研究集会（課題番号：22K-07）

集会名：2000年鳥取県西部地震 日野町震災シンポジウム3

あれから10年、住まいと暮らしは

主催：京都大学防災研究所

研究代表者：西田良平

所属機関名：放送大学鳥取学習センター

所内担当者名：松波孝治

開催日：平成22年9月25日

開催場所：鳥取県日野郡日野町根雨 日野町文化センター

参加者数：24名（所外 22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

地震及び災害についての科学的分析結果を地域住民と共有することの重要性が認識できた。

災害の体験・教訓を今後の町づくりにいかに活かし、後世に伝えるかを住民参加の形で議論する必要性が認識できた。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

今回のシンポジウムの目的は「安心して暮らせる地域づくりを旨として」である。

#### (2) 成果のまとめ

2000年鳥取県西部地震の後、中山間地域を襲った一連の大地震はそのもたらした被害の大きさもさることながら、中山間地域が抱えている過疎・高齢化問題を浮き彫りにした。日野町でも震災当初から指摘され行政も対策は立てるもののこれといった有効なものはない。しかし、地震による自然災害に直面したことにより、住民に危機意識の共有をもたらした。高齢化して集落の機能が低下しお年寄りなどの災害弱者を日頃から見守る必要があるとの共通の意識は自治会を基盤とし民生委員と連携したきめ細やかな「自主防災委員会」や、自主ボランティア組織「ひのぼらねっと」を誕生させた。また、地域の歴史遺産の破壊を直視したことにより、地域の歴史を振り返り、地域の文化を見直し、地域の価値を認識し・それに誇りを持つようになった。これが「伯耆国たたら顕彰会」の誕生に導いた。このように日野町では明るい芽が育ってきている。

しかし、地域の再生には若い力が不可欠である。地元の若い力を呼び戻すには彼らが故郷に誇りを持つようになること、また、「里山元気塾」に見られるIターン就農者のように外から若い力に来てもらうには古い仕組みにこだわらず新しい仕組みを作る発想の転換を図り暖かく迎え入れることが必要である。地域住民が現実を直視して危機意識を共有し、これからの10年、20年を安心して暮らせる地域にするには何をすべきかを自分の問題として取り組まなければならない。

### (3) プログラム

開会あいさつ 西田良平(放送大学)

VTR「あの時みんなは・・・」 NHK 鳥取放送局

セッション1「その時何が起きたのか～地震そして住まいは～」

「地震観測で見た 2000 年鳥取県西部地震の全体像」

澁谷拓郎 (京都大学防災研究所)

「2000 年鳥取県西部地震の住宅被害と再建を振り返って」

村上ひとみ (山口大学)

セッション2「その後の 10 年」

レポーター：6 名

コメンテーター：山本徹(NHK 鳥取放送局)

コーディネーター：熊谷昌彦(米子工業高等専門学校)

対談 VTR「あのとき、そしてこれから」

片山善博(総務大臣・前鳥取県知事), 藤吉洋一郎(大妻女子大学・元 NHK 解説委員)

セッション3「これからの 10 年」

レポーター：7 名

コメンテーター：景山誠(日本海新聞)

コーディネーター：浅井秀子(鳥取短期大学)

まとめ「安心して暮らせる地域づくりを目ざして」

藤吉洋一郎(大妻女子大学・元 NHK 解説委員)

閉会あいさつ

景山享弘(日野町長)

### (4) 研究成果の公表

自然災害科学 J. JSNDS 29-4 439-471(2011) 特集記事 別刷り送付

「2000 年鳥取県西部地震から 10 年 安心して暮らせる地域づくりを目ざして」  
～日野町震災 10 年シンポジウム～

## 一般研究集会（課題番号：22K-08）

集会名：GIS Landslide 研究集会

主催：京都大学防災研究所，GIS Landslide 研究会，共催：(独)防災科学技術研究所

研究代表者：井口隆

所属機関名：防災科学技術研究所

所内担当者名：千木良雅弘

開催日：平成 22 年 11 月 27 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：62 名（所外 51 名，所内 11 名）

・大学院生の参加状況：7 名（修士 4 名，博士 3 名）（内数）

・大学院生の参加形態 [ ポスター発表 5 名，聴講 2 名 ]

### 研究及び教育への波及効果について

口頭・ポスター発表あわせて 35 件，聴講者を含めて 62 名の参加者があり，目的通り GIS を用いた土砂災害研究を実施している研究者間のネットワークを形成することができた。参加者の所属も様々であり，GIS を用いた土砂研究の発展に寄与することが出来た。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

近年，高解像度 DEM などの GIS データが供給されるようになり，土砂災害を対象とした GIS 研究が活発になってきた。しかし研究者間の技術的な交流やデータ共有などは十分でなく，研究者は独自の手法で研究を行う必要がある。本研究集会では GIS を用いた土砂災害研究を実施している研究者間のネットワークを確立し，技術手法や必要データの共有を行い効率良く研究を進めるとともに，技術的な議論を行い今後の展望を得ることを目的とする。

#### (2) 成果のまとめ

今回，GIS を用いた土砂災害研究についてより理解を深めるため，3 つの研究テーマを設けて研究集会を行った。1. ケーススタディ，2. 汎用性の高い解析手法，3. 技術的なトピックである。1. ケーススタディにおいては，過去実際に起きた災害事例を紹介することでどのような解析手法が求められているかについてを議論，2. 汎用性の高い解析手法では，現在の最先端の解析事例の紹介，3. 技術的なトピックでは，解析手法・解析データの紹介及び解析手法の問題点等で研究者が悩むことが多い内容について議論することができた。また学生でも参加しやすいようにポスターセッションも開催し，多数の修士・博士学生が発表を行うことで，今後の研究についての展望を得ることができた。研究集会の開催前に各発表者に要旨の提出を依頼し，その要旨集をホームページにて公開することで事前に研究内容を把握することができ，より深い議論を行うことが可能となった。

研究集会後のアンケートの結果，通常の学会ではほとんど聞くことができない技術的なトピックについての評価が高く，研究集会目的でも述べた研究者間の技術的な交流の重要性を明らかにすることができた。今後も同様の研究集会を希望する声も多いことから，今回の研究集会において，目的通り，GIS を用いた土砂災害研究を実施している研究者間のネットワークを確立，技術手法や必要データの共有，技術的な議論を行い今後の展望を得るなどの，十分な成果は得られたと思われる。

### (3) プログラム

受付 : 9:30 スタート : 10:20

10:20-10:30 開会挨拶 井口隆(防災科研)

午前の部 10:30-12:00 座長 : 土志田正二(防災科研)

O1. 10:30-11:00 Colin Stark(Columbia Univ.)

Landslide Force History inversion: Measuring the dynamics of catastrophic landslides using seismology and satellite remote-sensing

O2. 11:00-11:20 千木良雅弘(京都大)

航空レーザー計測と GIS と山体重力変形

O3. 11:20-11:40 小口高(東京大)

日本の地形発達史研究とランドスライド

O4. 11:40-12:00 山岸宏光(愛媛大)

動画による斜面災害の可視化と最近の豪雨崩壊の GIS 解析

昼食 12:00 - 12:40

ポスターセッションコアタイム 12:40 - 13:40

午後第 1 部 ケーススタディ 13:40 - 14:40 座長 : 佐々木明彦(国土館大)

O5. 13:40-13:55 井上公夫(砂防フロンティア)

2010 年 4 月 25 日の台湾北部基隆市・第二高速公路の高速地すべり災害

O6. 13:55-14:10 濱崎英作((株)アドバンテクノロジー)

大規模初生地すべり発生に関わるトリガーとしての巨大地震動の可能性研究

O7. 14:10-14:25 岡野和行(アジア航測(株))

DEM で見た庄原災害

O8. 14:25-14:40 今泉文寿(筑波大)

崩壊跡地への土砂供給量の空間分布について

休憩 15 分 (14:40-14:55)

午後第 2 部 汎用性の高い解析手法 14:55 - 15:55 座長 : 早川裕弐(東京大)

O9. 14:55-15:10 内田太郎(土木研究所)

深層崩壊と地形, 地質

O10. 15:10-15:25 王功輝(京都大)

甘粛省南部の土砂災害と危険度予測について

O11. 15:25-15:40 陳光齊(九州大)

GIS を用いた日本における地球温暖化による土砂災害リスク評価

O12. 15:40-15:55 林一成(奥山ボーリング(株))

地形・地質解析と地震応答解析による地震地すべりの危険度評価

休憩 15 分 (15:55-16:10)

午後第3部 技術的なトピック 16:10-17:10 座長：岩橋純子(国土地理院)

O13. 16:10-16:25 佐藤浩(国土地理院)

斜面防災のための電子国土 Web システムの利用の紹介

O14. 16:25-16:40 田中靖(駒沢大)

GIS で地形計測? -地形の測り方再考-

O15. 16:40-16:55 片谷信治(ESRI ジャパン(株))

実務に効く! ArcGIS での解析手法と便利なツールの紹介

O16. 16:55-17:10 内山庄一郎(防災科研)

判読した地すべり地形を効率よく GIS に入力する方法

午後第4部 総合討論 17:10-17:40 司会進行 土志田正二(防災科研)

・「GIS の利用用途」「土砂災害を GIS を用いて解析する際に欲しい機能」など  
(参加申込書アンケートより)

17:40-17:50 閉会挨拶 千木良雅弘(京都大)

意見交換会 (Cafe Restaurant きはだ) 18:00-19:30

挨拶 山岸宏光 (GISLandslide 研究会代表)

<ポスター発表プログラム> [コアタイム 12:40-13:40]

[サブテーマ1] ケーススタディ

P1. 松四雄騎(京都大)

流域の長期的侵食速度と斜面プロセス: 表層崩壊の発生場からみた解釈

P2. 西井稜子 (筑波大)

航空レーザー測量による山岳地の岩盤斜面変形の抽出 - 現地測量による検証 -

P3. 目代邦康(自然保護助成基金)

堆積岩山地の地形分類

P4. 落合翔(東京大)

DEM・GIS を用いた扇状地とその上流域の地形特性値間の関係の分析

P5. 早川裕弐(東京大)

地上写真測量および航空・地上レーザー測量を用いた小規模崖錐の時系列変化の解明

P6. 佐々木明彦(国土館大)

岩手・宮城内陸地震による地すべり再滑動を規定した要因の検討

P7. 樋口衡平(京都大)

台湾南西部にバッドランド地形を形成する泥岩の風化過程

P8. 馬場茂彰(筑波大)

宮崎県鰐塚山におけるテフクロロジーおよび航空レーザー測量データを用いた深層崩壊発生履歴の検討

[サブテーマ2] 汎用性の高い解析手法

P9. 土志田正二(防災科研)

地すべり地形分布図を用いた地すべりの再滑動・危険度評価

P10. 神原規也(エイト日本技術開発(株))

L.P.DEM データによる傾斜区分図の作図・活用手法について

P11. 平春(立正大)

LIDAR データによる微地形の傾斜変換線の抽出に関する研究

P12. 石丸聡(北海道立総合研究機構地質研究所)

ロジスティック回帰分析を用いた斜面崩壊危険度マップについて

P13. 武澤永純(土木研究所)

地震による土石流の到達距離に与える地形の影響

P14. 鄒青穎(京都大)

The distribution of slope breaks in Shihmen Reservoir watershed in Taiwan

[サブテーマ 3] 技術的なトピック

P15. Edgar PIMIENITO(Freelancer)

地すべり調査のためのオープンソースソフトウェアについて

P16. 岩橋純子(国土地理院)

LiDAR による 5mDEM の利活用 – 基盤地図情報を用いた地すべり・断層地形の観察 –

P17. 井口隆(防災科研)

防災科学技術研究所の地すべり地形分布図の Web 公開の歴史と今後の展開

P18. 小花和宏之((株)ビジョンテック)

小型無人機搭載用撮像装置を用いた土砂災害関連データの取得

P19. 笹原克夫(高知大)

航空レーザー測量データはどこまで微少な微地形を抽出できるか? -Lidar データの落石・表層崩壊調査への適用-

#### (4) 研究成果の公表

GISLandslide 研究会ホームページにて、要旨集・アンケート結果を公開

(<http://lswb1.ess.bosai.go.jp/gis-landslide/workshop2010-2nd/index.html>)

## 一般研究集会（課題番号：22K-09）

集会名：河口閉塞 ～河口部における土砂堆積モニタリングと長期予測～

研究代表者：西田 修三

所属機関名：大阪大学大学院工学研究科

所内担当者名：馬場 康之

開催日：平成23年1月19日

開催場所：おうばくプラザ セミナー室4&5

参加者数：19名（所外15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 [ 聴講者として ]

### 研究及び教育への波及効果について

工学的な側面に加えて、生態系、環境面からの視点を合わせた議論を展開することができ、新たな研究テーマの展開につながる参加者間相互の意見交換が実現できた

### 研究集会報告

#### (1) 目的

本研究集会は、気候変動もたらす河川流況や海象の変化が河口部に与える影響を検討するために、最新のモニタリングおよび予測手法の情報共有を行い、河口部の堆積に起因する災害の長期展望について討議することを主たる目的としている。

#### (2) 成果のまとめ

河口閉塞、河口部における土砂輸送や沈降・堆積現象、環境・生態系への影響などに関連した7件の講演を行い、参加者間の情報共有、意見交換を行った。工学的な側面だけではなく、生態系、環境面からの講演踏まえて、幅広い観点から河口現象に関する問題を取り上げ、学際的な貴重な議論を行うことができた。

#### (3) プログラム

13:00 開会，趣旨説明

13:10 基調講演 大阪大学大学院 西田修三 先生

「河口部における土砂堆積と水環境」

(13:50～14:00 休憩)

14:00 招待講演1 東北大学大学院 田中 仁 先生

「河口地形変動のモニタリング」

14:40 招待講演2 京都大学防災研究所 平石哲也 先生

「港湾域における開発が河口閉塞に及ぼす影響について 一羽田空港第4滑走路の建設調査一」

15:20 一般講演1 香川高等専門学校 野村一至 様

「二級河川香東川における河口特性に関する検討」

(15:40～15:50 休憩)

15:50 招待講演3 首都大学東京 横山勝英 先生

「緩流河川の感潮河道における土砂動態と地形形成について」

16:30 招待講演4 阿南工業高等専門学校 大田直友 先生

「生物多様性の高い干潟の創出・復元のためには

～二つの人工干潟における底生生物の生活史特性からの考察～」

17:10 一般講演2 東亜建設技術株式会社 高崎敦彦 様

「平成21年7月洪水による佐波川の河床変動」

17:30 閉会

#### (4) 研究成果の公表

本研究集会の開催にあたり、全講演の概要をプログラムと合わせて取りまとめている。講演概要は当日の参加者に配布済みである（公表の予定は無し）。

## 一般研究集会（課題番号：22K-10）

集会名：災害科学を基盤とした地域防災活動に関する総合討論会

研究代表者：牛山 素行

所属機関名：静岡大学防災総合センター

所内担当者名：矢守 克也

開催日：平成 22 年 12 月 6 日

開催場所：京都大学宇治おうばくプラザ セミナー室

参加者数：33 名（所外 21 名，所内 12 名）

・大学院生の参加状況： 8 名（修士 4 名，博士 4 名）（内数）

### 研究及び教育への波及効果について

理学，工学，社会科学の多方面のバックグラウンドを持つ研究者からの話題提供が行われた。この集会で初めて顔を合わせた研究者も多く，分野を超えた活発な議論が展開された。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

各種訓練，DIG，ワークショップなど，近年活発化している住民参加型の地域防災活動に関し，その実例を紹介するとともに，災害科学的な視点から見た問題点を指摘し，今後のあり方について，ハザード研究者，人文・社会科学系研究者が一堂に会して総合的に議論する。住民参加型の地域防災活動の活発化自体は歓迎すべきだが，画一的，表層的な「活動・運動」にとどまり，場合によっては災害科学的に見て明らかに問題がある地域合意の形成につながることも懸念されている。このような取り組みを一面的に賞賛するだけでなく，客観的に評価・検証することにより，さらにその効果を高める方向性を提案できることが期待される。

#### (2) 成果のまとめ

自然災害による被害を軽減していく上で，「公助」に頼るだけではなく，「自助共助」が重要であることは間違いではない。しかし，「自助共助」は「公助」を代替するものではなく，相互補完すべきものである。また，「たすけあい」「おもしろい」といった情緒的なキーワードも無視すべきものではないが，それだけでは自然災害による被害軽減はできない。最新の科学的知識は必須であり，様々な知識，思い，技術が融合し合って防災活動は行われていくべきものである。防災においては唯一解が存在しないことも多く単なる知識の羅列では解決しない。研究者をはじめとした「専門家」の地域への関わり方について，さらに実証的研究が必要である。

#### (3) プログラム

「自助共助」の限界 ―災害科学的基礎を持った防災実務者養成を目指して―

牛山素行(静岡大学防災総合センター)

工業団地における災害後の協力の可能性に関する一考察

横松宗太(京都大学防災研究所)

知縁組織による地域防災の実践 ―神戸市住吉呉田地区の事例より―

畑山満則(京都大学防災研究所)

高水計画と地域防災の史的展開

中村晋一郎(東京大学生産技術研究所)

個人の被災体験を地域防災活動にいかす試み

林 能成(静岡大学防災総合センター)

火山危機対応シナリオ訓練手法およびバーチャル訓練システムの開発

小山真人(静岡大学防災総合センター・教育学部)

地域防災活動への貢献～神戸学院大学生の取り組み

船木伸江(神戸学院大学防災・社会貢献ユニット)

山梨県における住民・行政協働による地域防災活動の取り組み

秦 康範(山梨大学工学部)

中越地震被災集落における被災体験と「防災」活動

関 嘉寛(関西学院大学社会学部)

防災ワークショップを活用した大規模水害時における緊急一時避難体制の確立に向けた取り組み

金井昌信(群馬大学大学院工学研究科)

「学ばない」ことによる被災者や地域の損失 -水害訴訟を事例として-

柄谷友香(名城大学都市情報学部)

防災無関心層への迂回的コミュニケーション・チャンネル開拓の試み

片田敏孝(群馬大学大学院工学研究科)

防災教育の大衆化・一般化 vs. 専門化・資格化

矢守克也(京都大学防災研究所)

#### (4) 研究成果の公表

話題提供者による報告内容の原稿をとりまとめ、2011 年度前半中に研究代表者 Web(<http://disaster-i.net/>)等で公開する予定である。

## 長期滞在型共同研究（課題番号：22L-01）

課題名：高精度地震時地すべり危険度評価手法の開発と実用化

研究代表者：Maurice James McSaveney

所属機関名：ニュージーランド 地質・核科学研究所

所内担当者名：王 功輝

滞在者：Maurice James McSaveney (ニュージーランド 地質・核科学研究所)

滞在期間：平成 22 年 10 月 4 日 ～ 平成 22 年 11 月 14 日

滞在場所：京都大学防災研究所斜面災害研究センター・徳島地すべり観測所・徳島県阿津江地すべり地・  
徳島県善徳地すべり地

共同研究参加者数：8 名（所外 3 名，所内 5 名）

- ・大学院生の参加状況：3 名（修士 1 名，博士 2 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 実験研究の補助およびデータ解析の参加 ]

### 研究及び教育への波及効果について

- 高速せん断中における異なった圧力下での粒状体のせん断挙動を解明したことにより，大規模高速岩盤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。また，これらの成果は，地震断層の破壊過程と地震動の関係の解明へも貢献できる。
- 3 名の大学院生及び 1 人の外国人共同研究者が室内実験の補助およびデータの解析に参加し，共同研究者の皆様と英語で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，世界各地で頻発する大地震に伴い，人類がかつて経験した最大級の地すべり災害が多発している。しかし，地震時地すべりの発生・運動機構に対する知識が未だに不十分であるため，その災害の予測と軽減は極めて難しい。地域性や特異性及び斜面土層の異方性を考慮し，高精度の地震時地すべり危険度評価手法を開発することは，広く山地とその周辺に多くの都市・集落を抱える日本とニュージーランドにとって目下の急務である。従って，本研究では，地震時にニュージーランドおよび日本で発生した大規模地すべりを対象に，現地調査と計測の結果を検討し，地震時地すべり再現実験を行い，これらの地すべりの発生・運動機構を解明するとともに，より信頼性の高い巨大地震に備えた大規模土砂災害の発生危険度評価手法の開発を促進する。

#### (2) 研究経過の概要

1. 現地調査・計測結果の共同解析：(a) ニュージーランドで地震時に発生した大規模地すべりと 2008 年岩手・宮城内陸地震時に発生した荒砥沢地すべりに対する現地調査・計測の結果を共同で解析し，地域特性を有する地震時地すべりの発生・運動機構について検討を行った。(b) 徳島県南部にある豪雨により活動した深層地すべりに対して，合同で現地調査を行い，現在までに斜面災害研究センターにより観測された地震動結果に基づいて，当該地すべりの震動特徴について調べた。
2. 実験研究：(a) ニュージーランドの地すべり地から採取した試料に対して，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，試料の動的せん断試験を行った。(b) 異なる粒径を有するガラスビーズを使って，異なる垂直応力状態での粒状体のせん断挙動を調べた。これにより，異なるせん断速度におけるせん断抵抗の変化を調べた。また，可視型リングせん断試験機を使って，せん断中の土粒子の速度分布と土試料の力学パラメーター（せ

せん断強度) の関係についても調べた。さらに、岩塩を使って、運動中における脆性を有する岩塊の破裂によるせん断抵抗の変化についても調べた。

### (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。

- リングせん断試験機を用いて、ニュージーランドの大規模地すべりのすべり面付近から採取した試料（粘土とシルト質砂）に対して行ったせん断試験結果、降雨などによる地下水の変動により、地すべり変動が粘土層において発生しやすいが、地震時に飽和したシルト質砂層において発生する可能性が高いと考えられる。また、2008年岩手・宮城内陸地震時に発生した荒砥沢地すべりでは、地震によってすべり面付近の土層において液状化現象が発生し、高速地すべりが引き起こされたと思われるが、ニュージーランドのある大規模岩盤地すべりにおいては、すべり面付近の岩塊の破碎によって、せん断抵抗が低下し、高速運動が引き起こされたと考えられる。
- ガラスビーズを用いて、異なるせん断速度でせん断試験を実施した結果、せん断速度が速くなるほど、せん断抵抗が小さくなることが分かった。これは、せん断に伴って、弾性体であるガラスビーズの間で起こされた振動により生じた結果だと考えられる。また、岩塩を用いたせん断試験において、粒子破碎やせん断の局所化が著しく発生し、せん断履歴の増加に伴って、ピーク強度から残留強度になるまでに要するせん断変位が小さくなる傾向が認められた。
- 大規模再活動地すべり地において地震観測を行った結果、山地斜面の地震動増幅が、地形および地すべり土塊の性状に強く影響されていることが分かった。

### (4) 研究成果の公表

研究成果の一部が H22 年度京都大学防災研究所研究発表会にて発表された。

- Mauri MCSAVENEY, Gonghui WANG, Tim DAVIES : Fast shear behavior of granular materials in ring shear tests. 2011/2/23, D21

また、実験結果を纏めた論文を国際学会誌に投稿する予定である。

## 短期滞在型共同研究（課題番号：22S-01）

課題名：岩盤河床の侵食プロセスと河床変動特性

研究代表者：泉典洋

所属機関名：北海道大学大学院工学研究科

所内担当者名：竹林洋史

滞任者：所属 泉典洋（北海道大学大学院・教授）、渡邊康玄（北見工業大学・教授）

滞任期間：平成 22 年 9 月 15 日 ～ 平成 22 年 9 月 29 日

滞任場所：宇治川オープンラボラトリー

共同研究参加者数： 3 名（所外 2 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

本研究により、掃流砂による基岩の侵食特性に関する知見が得られ、岩露出河川の河川整備を行う上で貴重な情報が得られたと考えられる。また、研究成果について 2 件の学会発表が北海道大学及び北見工業大学の学部 4 回生により行われ、教育的な効果があったものと考えられる。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

旧来、河床低下の主たる原因は上流からの土砂供給量の減少や掃流力の増大による土砂輸送量の局所的な増加が原因であった。ところが近年、多摩川上中流部や石狩川上流部等では、軟らかい泥岩や凝灰岩が侵食されることによって急激な河床低下が進行するという深刻な問題が生じている。このような岩盤は平衡状態を持たず水と土砂が流れる限り侵食が止まらないため河床低下が進行し続けるのである。本研究は、礫の移動による岩盤の摩耗や剥離の物理的機構を明らかにし、流量や底面せん断力などの水理量の他、岩盤表面の砂礫の被覆率等をパラメータとした岩盤の侵食速度式を定式化し、岩盤河床の河床変動特性を明らかにすることを目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

平成 22 年 9 月に、泉典洋（北海道大学大学院・教授）、渡邊康玄（北見工業大学・教授）、北海道大学 4 回生 1 名、北見工業大学 4 回生 1 名が参加して、宇治川オープンラボラトリーの高濃度流実験水路を用いて、岩河床が砂礫によってどのように侵食されるかを実験した。岩河床の実験モデルとしては、異なる耐侵食性を示すものを必要としたため、水分比率を変化させた 3 種類のコンクリートを用いた。砂礫としては、粒径 1cm 程度の玉石を用いた。

#### (3) 研究成果の概要

いくつかの条件を除いて、単位時間当たりの給砂量が増加すると単位時間当たりの洗掘深も増加する傾向がみられた。このような傾向が見られなかった条件については、次の 2 つが考えられた。すなわち、

(a) 河床上に上流から給砂された砂礫が間欠的に移動を停止して堆積し、モルタル表面を覆ったことにより、砂礫が直接モルタル表面に衝突しなかったことによるもの。

(b) 供給された砂礫どうしが掃流中に衝突し、モルタル表面への衝突エネルギーが減少した。

サルテーションの跳躍距離は無次元掃流力に比例し、単位時間での給砂量に影響される。また今回の河床洗掘は跳躍距離により衝撃力が支配的になることを、動画による目測と理論式によって示した。また、昨年度の研究で示された、

磨耗係数の算出法をもとに算出した結果と、磨耗試験による磨耗係数を比較した結果、オーダーが異なることが明らかとなり、今回のモルタルの洗掘が、摩擦によるものではないことが示された。そこで、摩擦による磨耗係数以外に、砂礫の衝突による「損傷係数」に着目し、衝突による洗掘の考え方を導入し、間接的ではあるが、昨年度の研究での「衝突と摩擦とでは洗掘機構が異なる」ことを具体的に明らかにした。この結果から、軟岩の洗掘を支配する砂流掃砂礫は均一なものではなく、粒度分布を持っていることから「摩擦による洗掘」と「衝突による洗掘」の両者の状態を考慮し、式を適用していく必要があることがわかった。

#### (4) 研究成果の公表

本研究成果は、既に土木学会北海道支部での口頭発表として公表されている。また、さらに検討を加えて、水工学論文集（土木学会）や Journal of Hydraulic Research (IAHR) 等に投稿する予定ある。

## 重点推進型共同研究（課題番号：22N-01） （自然災害研究協議会企画）

課題名：突発災害時における初動調査体制拡充および継続的調査研究支援システムの試行

研究代表者：矢田部 龍一

所属機関名：愛媛大学

所内担当者名：間瀬 肇・西上 欽也

研究期間：平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

研究場所：自然災害の発生地および自然災害研究協議会の各地区

共同研究参加者数：36 名（所外 30 名，所内 6 名）

- ・大学院生の参加状況：8 名（修士 5 名，博士 3 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態[ 主として成果報告のシンポジウムに出席 ]

### 研究及び教育への波及効果について

災害発生直後の初動調査は、突発災害調査・研究にとって重要で新たな試みの提案であり、今後の災害調査のあり方に大きな影響を与えるとともに、新たな知見や研究成果も期待される。研究上の波及効果は大きいと考えられる。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

自然災害の発生後、急速にその痕跡が失われ、また、被災者の記憶も時間とともに曖昧になっていく。本研究課題では、災害発生直後の数日間に速やかな調査を行い、災害時の状況を正確に把握する。また、これまで十分な調査が行われなかった中小規模で局所的に集中した災害をも対象として調査を行う。これらにより、災害を理解するうえで本質的に重要な情報、あるいは災害対策につながる新たな知見を得ることをめざす。さらに、科研費等による調査の終了後も継続的な調査・研究を必要とする課題に対してサポートを行い、研究の進展につなげる。

#### (2) 研究経過の概要

自然災害研究協議会の突発災害調査委員会の枠組みを利用し、そこで行われる災害情報の収集や調査に関する意見交換を通じて、初動調査を行う体制を整えた。しかし、当該期間中には対象となる災害が発生しなかったため、調査実施には至らなかった。継続的な調査研究へのサポートについては、山口水土砂災害および岩手・宮城内陸地震を対象として、自然災害研究協議会の西部地区および東北地区の研究者に対して研究実施のためのサポートを行った。

#### (3) 研究成果の概要

継続的な調査研究として、「2009 年 7 月下旬の中国・九州北部豪雨の気象状況」および「2008 年岩手・宮城内陸地震において地盤の非線形応答が低層 RC 造建物の被害に与えた影響」の 2 つの研究課題が実施され、その研究成果については、第 47 回自然災害科学総合シンポジウム（12 月 20 日，東京工業大学にて開催，参加者 52 名）において口頭発表された。

#### (4) 研究成果の公表

継続的な調査研究の成果は、第 47 回自然災害科学総合シンポジウムにおいて口頭発表されるとともに、同講演論文集に掲載された。これらは防災研究所（自然災害研究協議会）の HP 上でも公開されている。

## 重点推進型共同研究（課題番号：22N-02） （自然災害研究協議会企画）

**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に関する検討

**研究代表者：**矢田部 龍一

**所属機関名：**愛媛大学

**所内担当者名：**西上 欽也・牧 紀男

**研究期間：**平成 22 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日

**研究場所：**京都大学防災研究所ならびに自然災害協議会メンバーの研究機関

**共同研究参加者数：**33 名（所外 27 名，所内 6 名）

- ・大学院生の参加状況： 5 名（修士 3 名，博士 2 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態[ 主としてシンポジウムに出席 ]

### 研究及び教育への波及効果について

自然災害研究協議会の将来ビジョン構築を通して、災害研究者間での情報交換、多分野間やステークホルダーを交えた研究の企画・調整、それらを支える情報ネットワーク構築等に関して研究・教育上の波及効果は大きいと考えられる。

### 研究報告

#### (1) 目的・趣旨

自然災害研究協議会は、日本唯一のマルチハザードでの災害研究者の研究企画・研究者ネットワーク組織であり、自然災害研究の企画調整、研究者のネットワークの構築・維持等を行ってきている。本研究課題では、近年の災害リスクの高まり、情報ネットワーク環境の変化、社会条件の変化等を踏まえて、多くの分野の研究者、防災に関わるステークホルダーとの協働により、自然災害研究協議会の新たな役割や将来ビジョンの構築を行うことを目的とする。

#### (2) 研究経過の概要

第 47 回自然災害科学総合シンポジウムを平成 22 年 12 月 20 日、東京工業大学蔵前会館（ロイヤルブルーホール）において開催し、この中で、本研究課題による講演、討議を行った。シンポジウムのプログラムを資料 1 に、また参加者名簿（52 名）を資料 2 に添付する。

#### (3) 研究成果の概要

第 47 回自然災害科学総合シンポジウムでは以下の 3 つのセッション毎に各 2 件の講演が行われた。1) 環境・社会構造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・調査体制の構築セッションでは、気候変動と首都直下地震に関して各々の防災・減災に関する研究成果が紹介され、他分野研究者間での討議が行われた。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）セッションでは、マスコミおよびボランティアの視点から防災・減災のための研究や市民活動への提言が行われた。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セッションでは、気象情報の提供企業と大学の教育・研究情報の国際間発信についての取り組みが紹介され、活発な討議が行われた。

#### (4) 研究成果の公表

第 47 回自然災害科学総合シンポジウムにおいて口頭発表されるとともに、同講演論文集に掲載された。これらは防災研究所（自然災害研究協議会）の HP 上でも公開されている。

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-01）

実施課題名：地すべり変動の動的観測態勢の構築

研究代表者：釜井俊孝 京都大学防災研究所・斜面災害研究センター・教授

共同研究者数：所内4名，所外3名

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

大学院生の参加状況：修士課程 2名，データ整理及び野外調査補助

### 研究概要

近年、多くの地震災害を経験しているにも関わらず、地震時における地すべりの挙動は良くわかっていない。この背景としては、地すべりの変動は比較的緩やかに進行するという想定に基づき、地すべり観測機器の性能設計、配置、観測が行われてきた経緯がある。すなわち、地震時の地すべり斜面の挙動に関する知見は不足している。そこで、本研究では、地すべり斜面の地震時の挙動を検討するため、新たな観測態勢を整備することを目指した。

地すべり斜面における地震動を観測するため、高知県森山地すべり（広帯域強震計1箇所、満点地震計2箇所）と東京都南部の谷埋め盛土斜面に観測施設（強震計2箇所、回転角速度計1箇所、間隙水圧計1箇所）を構築した。前者は、典型的な四国山地の地すべりであり、堅い地盤で構成される斜面を代表している。後者は、1995年兵庫県南部地震で多発した様な、柔らかい人工地盤で構成される斜面である。観測施設設置後、偶然にも2011年東北地方太平洋沖地震が発生したため、両方の斜面でそれぞれ特徴的な変動を捉える事に成功した。

森山地すべりでは、2.5Hz付近に鋭いピークを有する1cm/s/s以下の地震動が観測された。また、斜面の最大傾斜方向に強軸を持つ、水平面上の粒子挙動が顕著であった。一般に、山地斜面の卓越周波数は3Hz程度と言われており、今回の観測結果は、比較的堅い斜面上における地震動の特徴を捉えていると考えられる。東京南部サイトでは、最大地動加速度218cm/s/s、最大地動速度16.4cm/sの強震動を記録した。後続波では、周期2～5秒の地震動が顕著であった。

地震動の回転成分は観測点近傍の震動で生じるせん断歪みの大きさに相当している。すなわち、回転角が微少な場合、回転角 $\theta$  (rad)は、その面上でのせん断ひずみにほぼ等しい。したがって、ひずみに関係する回転成分の観測は、強震時における地盤の変形を議論する上でも重要であると考えられる。今回の観測結果（回転角）をもとに、地震時に地盤に作用したせん断ひずみのレベルを検討した結果、東京南部観測点近傍の地盤では、降伏（軟化）が始まっていた可能性が高いと考えられる。

今回の一連の観測結果は地すべり斜面の強震動応答を議論する上で基礎的な情報を与えると考えられる。今後、地すべりの耐震対策を進めるためには、観測点を増やすこと、観測施設の整備によって記録の質を向上させることが必要である。

### 関連して公表した論文、学会・研究会発表など

T. Kamai and A. Sangawa (2011): Landslides on ancient embankments in the Kinki district (Japan): strong motion seismoscope of the 1596

Keichou-Fushimi earthquake, Quaternary International, (印刷中)

釜井俊孝 (2011) : 谷埋め盛土における地震動と間隙水圧の観測, 日本地すべり学会誌, 投稿中

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-02）

実施課題名：日本-ニュージーランド内陸地震研究ネットワークの構築 ―代表的な沈み込み帯における比較研究―

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5名，所外17名

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

### 研究概要

ニュージーランドには多数の活断層が存在し火山活動も活発である。これらの地震・火山の発生には、日本と同様に、沈み込む海洋プレートから脱水した水が深く関与していると考えられている。沈み込む海洋プレート内の地震活動が活発であるなど、ニュージーランドは内陸地震の観測研究に適しているが、特に、南島(NZSI)の北部には、平行して走る数本の断層の直下で多数の微小地震が発生しており、内陸地震の観測研究のためには、世界最高のフィールドとなっている。しかし、このように観測研究に適した場所であるが、既存の地震観測網は貧弱であり、NZSIには100kmおきに数点の定常観測点があるに過ぎない。そこで、日本-ニュージーランドを中心とした内陸地震研究のための新たなネットワークを作り、NZSIにおける観測研究のための体制を構築して、外部資金を獲得するための事前調査を行った。平成22年10月1～10日に5名が渡航し、GNS Science, VUW (Victoria University of Wellington)およびカンタベリー大学を訪問して会議を持ち、研究計画を練り上げるとともに、NZSIのマーチソン盆地周辺で観測点候補地の調査を行った。加えて、9月に発生したクライストチャーチ地震の地表地震断層調査を行った。平成23年2月に再びクライストチャーチで大地震が起こったことを受けて、3名が渡航し、カンタベリー大およびオタゴ大等と共同で余震観測点を29カ所設置した。加えて、平成21年度から継続しているマーチソン盆地におけるpilot地震観測点2点のメンテナンスを行い、得られたデータのpreliminaryな解析を行った。その結果、これらの観測点直下では、ニュージーランドの定常観測網では捉えられていない多数の地震が発生していることが分かった。平成23年度科学研究費補助金が認められ、本格的な研究を開始した。

関連して公表した論文、学会・研究会発表など：

なし

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-03）

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10名

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

大学院生の参加状況：修士課程学生 10名，博士後期課程学生 4名，共同研究，研究集会出席等。

### 研究概要

本研究は、近年の大地震時に震源近傍の被害域で記録された大加速度、大速度の強震記録をもとに、これら最強地震動の特徴、それが入力した際の地盤の挙動、地盤-構造物の相互作用、および土木・建築構造物の応答特性を、強震動地震学、土木及び建築の地震工学、地盤工学者が連携することによって解明する。その知見をもとに、将来発生が予測される地震による長周期地震動を含む強震動とそれがもたらす地震被害の予測手法を再検討し、強震動による地震被害軽減のための方策を探ることを目指した。これまで防災研究所地震災害研究部門を中心として、地球物理、建築、土木の研究者が集い、地震学・地震工学・耐震工学の若手研究者を中心に構築してきた研究ネットワークを、本研究では所内において、社会防災、地盤災害、地震防災研究部門にも展開し、地震災害に関わる研究者によるネットワーク作りを行うことができた。

全国共同利用施設の各設備やデータベースを用いて、大加速度・速度の地震動の特徴や、実験設備を用いた観測地震動の再現など、幅広い研究をすすめることができた。それに基づき、将来発生する巨大地震や直下型地震による予測地震動の高度化、入力地震動評価に関する研究をすすめた。これらの研究の多くは、協力講座として大学院教育を行っている理学研究科、工学研究科の大学院生との共同研究によって行われたものであり、研究分野の将来を担う大学院生に、最先端の研究を共同で行うことができたことを自負している。また、研究科の学生が混在している防災研究所ならではの総合研究を行うことにより、実験・ゼミナール・観測等を通じた他研究科の学生・教員との交流の場を提供することができた。

大加速度・速度で揺れているのに、従来に比べて被害が少ない、といった現象は、地震動特性の分析、入力地震動としての地盤-構造物相互作用、構造物そのものの強度を精度よく求めることで解釈することができる。そのためには、このような理工学が連携した地震災害に関する研究グループの保持・拡大が重要である。

研究期間の最後に起きた東北地方太平洋沖地震では、甚大な津波被害が生じた。地震動災害については、大きく報じられてはいないが、本研究グループメンバーにより、宮城県古川市における地震被害の状況などが分析されはじめている。本研究は「大加速度・速度」地震動を対象としていたが、この地震では広範な地域が震度6弱以上の揺れに見舞われた。M9という超巨大地震は広い震源域を持ち、広い領域が「震源近傍」となる。そしてその震動特性も様々であり、それぞれの詳細な分析を進める必要がある。

### 関連して公表した論文、学会・研究会発表など

Iwata, T. and K. Asano (2011). Characterization of the Heterogeneous Source Model of Intraslab Earthquakes toward Strong Ground Motion Prediction, *Pure Appl. Geophys.*, **168**, 117-124.

Iwata, T. and K. Asano, 2011, Validation of Characterized Source Model of Intraslab Earthquakes for Strong Ground Motion Prediction, Seismological Society of America Annual Meeting.

関口春子・吉見雅行・堀川晴央、震源パラメータのばらつきを考慮した相模トラフ沿いの地震の震源モデルと地震動の予測、地球惑星科学連合2011年大会、SSS023-P07, 2011年5月。

王寺秀介・澤田純男、断層の破壊伝播効果と放射特性を考慮した応答スペクトルの距離減衰式、第13回日本地震工学シンポジ

- ウム, 2010.
- 小寺雅子・高橋良和:遠心場ハイブリッド地震応答実験手法の基本的特性に関する一考察, 平成22年度土木学会全国大会, 2010.
- Goto, H. and S. Sawada, Trade-offs among dynamic parameters inferred from results of dynamic source inversion, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.100, pp.910-922, 2010.
- Goto, H. and S. Sawada, Trade-offs among dynamic parameters inferred from 2D dynamic source inversion results, 2010 AGU Fall Meeting, 2010
- 和田一範・後藤浩之:拡張有限要素法(X-FEM)を用いた弾塑性媒質中の自発的な断層破壊の解析, 日本地震学会2010年秋季大会, 2010.
- 和田一範・後藤浩之, 拡張有限要素法(X-FEM)を用いた自発的な断層破壊の数値解析手法の開発, 第13回応用力学シンポジウム, 2010.
- 宝音図・川瀬 博・松島信一, 観測データに基づいた耐震補強効果の定量的評価手法に関する研究— 京都大学宇治地区研究所本館を対象に —, 日本建築学会技術報告集, 投稿中, 2011.
- 宝音図・川瀬 博・松島信一, 観測データに基づいた耐震補強効果の定量的評価手法に関する研究 —京都大学宇治地区研究所本館を対象に, 第13回日本地震工学シンポジウム, G016-Fri-PM-8, 2010. 11.
- 肥田剛典, 田村修次:基礎の根入れ効果を考慮した応答変位法による液状化地盤の相対密度が杭応力に及ぼす影響の検討, 構造工学論文集, Vol.57B, pp.101-106, 2011. 3
- Tamura, S., Adachi, K. and Tokimatsu, K.: Centrifuge tests of impulsive vertical acceleration generated by foundation uplift during strong shaking, Soils and Foundations, Japan Geotechnical Society, Vol. 51, No. 3, 2011.6, (採用決定)
- 田村修次, 足立圭佑, 時松孝次:基礎部の表面粗さが直接基礎建物の大地震時応答に及ぼす影響, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 1070-1075, 2010. 10.
- 肥田剛典, 田村修次:液状化地盤における杭剛性が免震構造物の地震時応答と杭の曲げモーメントに及ぼす影響, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 2461-2467, 2010. 10.
- 柏尚稔, 秀川貴彦, 岸本美季, 宮本裕司, 田村修次:杭—地盤の非線形性を考慮した杭基礎建物の地震応答性状, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 1024-1031, 2010. 10.
- Tamura, S., Adachi, K. and Tokimatsu, K.: Vertical acceleration caused by foundation uplift during strong earthquake, 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 2011. 1.
- Tokimatsu, K., Tamura, S., Tohyama, K., Suzuki, H. and Yoshida, H.: Ground Settlements and Earth Pressures Ground Embedded Foundations Subjected to Strong Ground Shaking, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, CUEE, Tokyo Institute of Technology, Paper No. 02-001, 2011. 3.
- Tamura, S., Adachi, K. and Tokimatsu, K.: Impulsive Vertical Acceleration Caused by Foundation Uplift during Earthquake, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, CUEE, Tokyo Institute of Technology, Paper No. 02-128, 2011. 3.
- Hida T. and Tamura, S.: Effects of Pile Rigidity on Response of Base-isolated Structure during Soil Liquefaction Based on Centrifuge Tests, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, CUEE, Tokyo Institute of Technology, Paper No. 02-006, 2011. 3.
- Tobita, T., Iai, S. and Iwata, T. (2010): Numerical Analysis of Near-Field Asymmetric Vertical Motion, Bulletin of the Seismological Society of America, 100(4), 1456-1469.
- 飛田哲男, 羽田浩二, 青井真, 岩田知孝, 井合進 (2010): 震源近傍の上下動の非対称性に対する模型振動台実験, 第13回日本地震工学シンポジウム, 4199-4206.

- Tobita, T., Iai, S. and Iwata, T. (2010): Numerical analysis of trampoline effect in extreme ground motion, Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, CA, USA, Paper No. 3.22a.
- Tobita, T., Iai, S., Iwata, T., Aoi, S. and Hada, K. (2010): Site response studies on extreme vertical ground motions beyond 1g, 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, January 2011, 10-13, Santiago, Chile, Paper No. SRSTT.

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-04）

実施課題名：国際防災技術情報基盤データベースによる防災教材の作成に関する研究

研究代表者：寶 馨 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5名，所外15名

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

### 研究概要

#### 【研究目的・趣旨】

防災技術情報を知識ベース化し、それを世界各国に広めることが本研究の目的である。これまでアジアを対象として開発したデータベース DRH-Asia の管理機構を防災科学技術研究所（NIED）から京都大学防災研究所（DPRI）に移設し、格納されているコンテンツをさらに増強する。また、このコンテンツを用いた大学生・大学院生レベルの防災技術知識の学習教育教材、自治体等の防災担当者の技術向上、一般住民の防災意識向上のための研修教材のあり方を考究するとともに、プロトタイプを作成する。

#### 【研究経過】

DRH-Asiaについては、平成16年度よりまず日本の防災技術情報のカタログ化から（独）防災科学技術研究所地震防災フロンティアセンター（NIED-EDM）が主導して始め、京都大学防災研究所はプロジェクトの主要メンバーとして協力してきた。平成22年度末で組織を解散するNIED-EDMから、DRH-Asiaの管理機構を DPRIに移設し、コンテンツを両者が共有して、その内容を教育目的で利用し、国内外のネットワークを発展させようというのが本研究の趣旨である。

#### 【研究成果】

- 1) サーバマシンを本研究経費で購入し、最新のデータベースシステムと全てのコンテンツをNIED-EDMのサーバーから移植した。これにより、NIEDとDPRIの両方で同時にコンテンツの更新ができるミラーサイトの役割を相互に果たすことができるようになった。
- 2) 3月24～25日に国際ワークショップを開催した。これには、5人の外国人研究者を招へいし、ネパール、中国、マレーシア、南アジア・ヒマラヤ地域での災害、防災技術情報、防災教育の状況について話題提供を得た。我が国の東日本大震災、極端気象・水災害、DRH-Asiaの最新状況、多言語化などについて報告し、国際的なネットワークのもとでコンテンツの増強を行う方策について議論した。
- 3) 既存のコンテンツを防災教材として利用する方策について、9月にウィーンで開催された国際会議において発表するとともに、3月の国際ワークショップでは、海外・日本での教材開発事例を紹介し、その方向性を定めた。
- 4) 国際ワークショップの前後には、若手研究者をファシリテーターとして養成するためのセミナーを行い、博士を取得して間もない若手研究者にDRHシステムの操作方法や、査読・改良の手続きについて理解させた。

### 関連して公表した論文、学会・研究会発表など

- Special Volume "Disaster Reduction Technology Information: DRH Initiative Toward Implementation of Product, Process, and Wisdom", (Guest Editors: Hiroyuki Kameda and Koichi Shiwaku; Chief Editors: Rajib Shaw and R.R. Krishnamurthy), Asian Journal of Environment and Disaster Management, Vol. 3, No. 1 (2011)
- "Implementation Technology" by DRH Contents: Disaster Reduction Hyperbase -Asian Application (DRH-Asia), EDM-NIED Editorial Team: Hiroyuki Kameda, Hiroaki Negishi, Koichi Shiwaku, Naho Ikeda and Miho Tokutake (October 2010)

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-05）

**実施課題名：**南アジアにおける災害発生環境と機構に関する調査研究

ーインド北東部、バングラデシュ、アッサム、メガラヤのサイクロン、洪水災害を中心としてー

**研究代表者：**林 泰一 京都大学防災研究所・流域災害研究センター・准教授

**共同研究者数：**所内5名，所外10名

**研究期間：**平成22年4月1日～平成23年3月31日

**大学院生の参加状況：**修士3名，博士3名 うち4名が研究発表をした。

### 研究概要

南アジアの発展途上国では、突発的な洪水やサイクロン（熱帯性低気圧）などにより、大きな気象災害を引き起こすとともに、飲料水のヒ素汚染のように住民の健康を損ねるような長期的、定常的な災害が発生している。バングラデシュ、アッサム、メガラヤのインド亜大陸北東部を対象として、南アジアの自然科学および社会科学の学際的総合ネットワークを形成し、災害の実態を調査し、将来の災害対策に向けての対策を提案することを目的として研究を進めた。

バングラデシュ気象局、南アジア気象研究所と連携して、最新のドプラーレーダのデータ、地上気象のデータを入手し、精度の高い解析を進め、気象予報の精度高度化の可能性を探った。これらの解析を基に、数値モデルを使ったサイクロン、竜巻などのメソ気象現象の構造、発生機構を明らかにした。二次災害としての感染症の発生流行については、防災研究所と協定を結んでいるバングラデシュ下痢疾患研究センター、総合地球環境学研究所の門司が長崎大学熱帯医学研究所と協力して進めた。農業生産については、東南アジア研究所の安藤が収穫量の資料を解析し、これまでのサイクロンや洪水被害との比較検討をする。さらに村山が災害発生における経済損失を評価し、将来の感染症と農業被害については、災害発生後の事後の経過を一年間のモニタリング調査を進めた。

長期間の影響が懸念されるヒ素汚染災害については、これまでの現地での聞き込み調査で、その実態が明らかになってきた。この実績を基にして、現地調査さらに進め、ヒ素汚染災害の詳細な空間分布、まだ十分に調査がなされていない地域の情報をとりいれた。

バングラデシュでは、経済的な発展が著しく、都市に人口が集中していて、このような背景の下で、短期的な気象災害、長期的なヒ素汚染被害がどのように推移してきているのかをモニタできるような研究を進めた。経済学的な分析がどうしても必要であり、自然科学的手法、社会科学的手法を絡めあうことにより、総合的、融合的な研究を進めていくことを模索し、将来的に災害対策を提案することを目指した。

(1)過去の気象・水災害の実体解明と現地政府、自治体などの事前事後対策の実効性の確認し、これまでの洪水、サイクロン、土砂災害の被害の実態および事前事後の対策の有効性を現地調査を実施した。被災後の2次災害の感染症の発生、農業収穫量の減少など経済的影響などを調査した。

#### (2)ヒ素汚染災害の影響

長期にわたるヒ素汚染の実態を明らかにするために、現地の水質調査、聞き込み調査を実施する。また、安全な水資源の確保についての方策を考察した。また、社会学的な分析を進め、どのように有効な実効的手段がとりうるかを探った。将来の災害対策に向けての対策を提案することを目的として研究を進めた。

### 関連して公表した論文、学会・研究会発表など

山根悠介, 林 泰一, 木口雅司, Ashraf Mohammad Dewan, Marju Bin Sayed, 寺尾徹(2011)：バングラデシュにおける竜巻などのシビアストーム被害の現地調査報告, 常葉学園大学紀要（教育学部）, 第31号, 117-137.

## 拠点研究・一般推進（課題番号：22A-06）

**実施課題名：**強震時のダム湖縁辺地すべり地の危険度評価

**研究代表者：**松波孝治・京都大学防災研究所・強震動・准教授

**共同研究者数：**所内5名，所外10名

**研究期間：**平成22年4月1日～平成23年3月31日

**大学院生の参加状況：**修士4名（京大1名，滋賀県立大1名，岩手大2名）が参加。主に現地での地形地質調査，地盤構造調査を行った。

### 研究概要

2008年岩手・宮城内陸地震により，荒砥沢ダム湖北岸山地斜面で大規模な長距離地すべりが発生した。また，ダム湖への大量の崩壊土の突入により数波に及ぶ波高約3mの地すべり段波がダム堤体に押し寄せ，ダムを決壊させる可能性のある現象を起こしていた。地震によるこのような大規模なダム地すべりはこれまで国内では例がない。また，我が国では地震によるダム地すべりの対策が決定的に欠落している現状を考えると，今回の荒砥沢ダム地すべりは，国内のダム，特に，その縁辺に地すべり地を有しているダムについて，緊急に地震に対する地すべり危険度の評価を行いその対策をたてる必要があることを警告している。本研究では荒砥沢ダム地すべり地を試験地とし，その発生機構と斜面物質移動様式について現地調査及び地震・地形・水文・地質学的分析を行う事により，ダム湖縁辺地すべり地の地震に対する危険度を判定するための主要な評価項目について検討した。

地震波による強震動が粘着力の弱い高い地下水位を有する土塊に加わったことで生じた液状化が端緒となって，一連の土塊の不安定が短時間で斜面上方に伝搬した結果，類を見ない大規模な物質移動現象を引き起こした。

荒砥沢ダム上流の斜面物質は，いくつかの土塊が複雑に連鎖して短時間に移動したことが，現象の発生前後の空中写真から斜面を構成する物質をそれぞれ追跡する方法で明らかとなった。この物質移動の発生の端緒は，ダム湖内にある斜面脚部で液状化が発生したことで考えられる。この液状化は，粘土鉱物の少ない凝灰岩や溶結凝灰岩からなる土塊に，4～8Hzの高周波成分が卓越し最大加速度が荒砥沢ダム監査廊RCKでの本震加速度の少なくともおよそ4倍以上の強震動が加えられた結果発生した。

ダムの貯留量の変化から，液状化した物質は，短時間でダム湖内に流入したことが，また，シツミクキ沢での橋脚を破壊していることから，泥流あるいは乱泥流の特徴を持っていたと考えられる。この液状化した物質が地下水位の高い谷部，斜面下部，および斜面脚部から短時間で除去されたことが，一連の土塊の不安定の連鎖による物質移動を引き起こし，結果的に大規模な物質移動となった。また，荒砥沢ダムの上流部にある連続的な亀裂は，一連の土塊の不安定の連鎖によって出現した可能性がある。

地震地すべりの発生に関与すると考えられる項目の中で荒砥沢ダム地すべりにおいて主要な項目は(a)地すべり斜面末端部の地下水分布及び地質状況，(b)地すべり斜面の水系・傾斜分布，(c)地すべり地での強震動，であった。地震地すべり危険度評価において特に重要な評価項目はこの3項目と考えられる。

### 関連して公表した論文，学会・研究会発表など

森井亙・齊藤隆志・松波孝治：2008年岩手・宮城内陸地震により発生した荒砥沢地すべり地の巨大移動山塊の余震による傾斜・下降運動，2011年地球惑星科学連合大会，SCG010-P10

## 拠点研究・特別推進（課題番号：22B-01）

実施課題名：建築・都市火災性状に関する縮尺模型実験手法の開発

研究代表者：田中 哮義 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1名，所外2名

研究期間：平成22年4月1日～平成23年3月31日

### 研究概要

一般に火災時の煙流動に関係する条件は多岐に亘るので、建築物やトンネル火災時を想定した安全対策を計画する実務上では、考えられる多様なシナリオに対する予測が必要であり、そのためには計算が速い煙流動予測モデルと、使いやすい計算実行環境が重要である。

共同研究者等が科学研究費研究で開発を進めてきた多層ゾーン煙流動予測計算モデル(Multi Layer Zone model, MLZモデル)のトンネル火災適用モデルのGUI (graphic user interface)として、従来からの二層ゾーン煙流動予測モデル用のGUIであるVprestを基盤にしたGUIを開発した。これにより

- ユーザーは平面図を下絵にした2次元座標上にマウス操作で領域や火源などの位置を決定し、また必要項目をプルダウンリストの選択やテキストボックスへの数値入力することができる
- 計算結果も設定で作成した平面図や、それと天井高さ等の設定値をもとに作成された断面図に温度などの計算値をカラー表示して重ねることで、視覚的に確認することができる

ことになり、トンネル火災時煙流動の予測計算のユーザーフレンドリー性が向上した。

## 特定研究集会（課題番号：22C-01）

集会名：第6回ラプラタ川流域ワークショップ

- 1) 第6回ラプラタ川流域ワークショップ専門家会議

開催日：2011年3月11日

開催場所：UNESCO南米本部 モンテビデオオフィス

- 2) 洪水と土砂災害に関する防災会議

開催日：2011年3月17-18日

開催場所：リオデジャネイロ市会議場

研究代表者：山敷庸亮 京都大学防災研究所・社会防災研究部門・准教授

参加者数：8名/200名（所外198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

京都大学防災研究所における研究活動を広く関係諸国に伝達することが出来、特に地滑り、土石流関連の専門的知識に関して現地から大きな反応を得た。

### 研究集会報告

#### (1) 目的

今回の会合は、当初ラプラタ川流域におけるダム湖および流域の環境保全に関する第6回ラプラタ川流域ワークショップを開催するという準備が進んでいたが、流域諸国のブラジルにおいて2011年1月13-15日に大規模な洪水及び土砂災害が発生し、多くの死者が出たことより、(A)UNESCO南米本部での「ラプラタ川流域専門家会議」と、(B)リオデジャネイロ市における「洪水と土砂災害に関する防災会議」の開催を連続して開催し、(A)前者は主に流域全体の環境問題と今後の政策決定に焦点を絞り、(B)後者は洪水・土砂災害の低減に関する知見や情報の交換に焦点をあて、一般市民の参加も加えて会議を開催した。開催にあたっては、(A)についてはUNESCO南米本部と京都大学防災研究所、(B)後者はリオデジャネイロ州政府、リオデジャネイロ市防災局、オズワルド財団、リオデジャネイロ連邦大学とリオデジャネイロキリスト教大学、京都大学防災研究所、リオデジャネイロ日本領事館との共済にて開催された。

#### (2) 成果のまとめ

##### (A)UNESCO南米本部でのラプラタ川流域専門家会議

UNESCO南米本部国際水文プログラム長のVictor Pochat博士、同国際水文プログラムのZelmira May専門員、そしてアルゼンチン水資源研究所のAna Muguetti副代表らと交えて以下についての議論を行なった。

- 1) 第一回から第五回の過去のラプラタ川流域ワークショップの概要整理について、過去のワークショップにおける結論、論点、指摘された問題点と次回ワークショップへの課題などの整理・出版方法について。UNESCO南米本部が出版を行なっているAQUALACを通じて成果を出版してゆくことで合意された。
- 2) 第六回ラプラタ川流域環境ワークショップとして大規模な流域全体の会議を開催する場合の場所・参加予定人数・過去のワークショップから導かれる論点について、特に現在流域で稼働しているUNEP-GEFにおけるラプラタ川流域気候変動影響評価プロジェクトとの連携について議論が行なわれ、3月14日にブエノスアイレスのラプラタ川流域政府間委員会にて具体的

な協力について合意が行なわれた。

3) ラプラタ川におけるダム湖等の情報データベースの整備について、過去京都大学や日本大学などの協力により整備が進んでいるラプラタ川流域ダム湖データベースにおいてその完成と公開、データ補充について議論が行なわれた。また、継続して京都大学からインターンを受け入れ本活動を進めてゆくことについても合意され、それに従って地球環境学舎より平成23年度もインターンの学生が派遣される予定である。

#### (B) リオデジャネイロ市における洪水と土砂災害に関する防災会議

会議においては、日本から現地入りした研究代表者（山敷）が我が国における大規模気象予測計算と融合した斜面災害予測について結果を示した他、防災研究所福岡准教授が3月15/16日に現地視察を行い、リオデジャネイロにおける大規模地滑り災害の発生原因及びその調査方法についての提言を現地政府（市および州）に対して行なった。また、リオデジャネイロ市でのワークショップ前半（3月17日開催）においては、大規模な洪水・土石流災害において多くの死者を出したリオデジャネイロ市／テレゾポリス市における市の防災部局(Defesa Civil)と赤十字が具体的な災害時の救出活動やその限界、また市民に対する警報のあり方などを発表し、市民らとの議論を行なった。

#### (3) プログラム

3月11日 ラプラタ川流域ワークショップ専門家会議

13:00-13:45 現在までのUNESCO南米本部の活動に関する総括 VICTOR POCHAT

13:45-14:30 第一回から第五回のラプラタ川流域ワークショップ活動について ANA MUGETTI

14:30-14:45 休息

14:45-15:30 第六回ラプラタ川流域ワークショップについて YOSUKE YAMASHIKI

15:30-16:30 報告事項に関するまとめ

3月17日 リオデジャネイロ市における減災と災害に対する抵抗力増大のための教育者・技術者・科学者のための第一回ミーティング

13:45-14:00 開会挨拶

14:00-14:30 京都大学防災研究所（山敷／福岡）

洪水土石流災害と斜面災害に関する日本における調査研究の実例

14:40-15:25 Nova Friburgo / Petrópolis / Teresópolis市防災局

ブラジル東部山脈地域における豪雨災害に対する防災活動の成功点と問題点の整理

15:30-15:45 議論

15:50-16:15 休息

16:15-17:00 ブラジル赤十字

ブラジル東部山脈地域における豪雨災害に関する人命救助に関する成功点と問題点

17:00-17:15 議論

17:20-17:50 リオデジャネイロ市地質局および防災局

豪雨災害に関する危険度評価システムの構築とその運用

17:50-18:10 議論

18:10-18:30 今後の活動

3月18日リオデジャネイロ州政府との洪水と土砂災害に関する防災会議

9:30-10:00 開会挨拶 リオデジャネイロ州代表, 在ブラジルリオデジャネイロ総領事

10:00-10:30 洪水土石流災害予測における日本の現状 山敷

10:30-11:00 土砂災害提言に関する我が国の知識と現状 福岡

11:00-11:30 洪水土砂災害におけるブラジルの対策状況 リオデジャネイロ州担当館

11:30-12:15 総合討論

13:30-16:30 今後の協力体勢に関する議論

#### (4) 研究成果の公表

(A)においては、UNESCO南米本部が出版するAQUALACを中心とした成果報告を行なう事が合意されたが、現在進行中である。また(B)については今後両者が協力して専門家レベルの情報を公開してゆくことで合意された。

本現地視察およびワークショップは折しも東日本大震災発生日直後となり、同行予定であった国土交通省幹部らは急遽日本に帰国することとなったが、残った専門家の来伯に対して関係者からは大きな賞賛かが寄せられ、地元有力新聞であるグローボ紙およびブラジル外務省のホームページに掲載された。本報告書末尾にそのリンクを掲載する。

本ワークショップの開催は、在ブラジル日本大使館勤務の福代氏および、在リオデジャネイロ日本領事館勤務の林氏らに多くのご協力をいただいた。リオデジャネイロ周辺では引き続き洪水・土砂災害の危険性が高い事が指摘されており、今後我が国からの技術協力が一層大切になり、引き続き活動を継続してゆく事が必要である。

#### 【ワークショップ紹介記事】

<http://oglobo.globo.com/mundo/mat/2011/03/17/missao-japonesa-visita-rio-com-objetivo-de-contribuir-na-area-de-prevencao-de-catastrofes-924039311.asp>

(グローボ)

<http://www.itamaraty.gov.br/sala-de-imprensa/selecao-diar-ia-de-noticias/midias-nacionais/brasil/o-globo/2011/03/18/grupo-niponico-ajuda-o-rio>

(外務省)

<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/rj/especialistas-da-universidade-de-kyoto+ajudam+a+regiao+serrana/n1238179745346.html>

<http://falar.io.com.br/2011/03/18/especialistas-da-universidade-de-kyoto-ajudam-a-regiao-serrana/>

平成22年度 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
1	坂井 佑介	鹿児島県土木部砂防課	桜島昭和火口で発生した火砕流の写真 (2009年4月)
2	村松 あずさ	NHK鹿児島放送局	桜島のGPS連続観測の水平変動を示したグラフ
3	土井 浩一郎	国立極地研究所	火山活動研究センター 桜島・黒神観測室
4	高田 盛宏	南日本新聞社 社会部	京都大学防災研究所火山活動研究センター作成の「GPS連続観測による地盤変動のグラフ」
5	遠藤 徳孝	金沢大学理工学域	50cm幅流砂基礎実験水路
6	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
7	蛭沢 勝三	独立行政法人 原子力安全基盤機構	造波装置を備えた開閉型移動床水路
8	横山 康二	JFEアドバンテック	SALD3000 (粒度分析装置)
9	高田 盛宏	南日本新聞社	京都大学防災研究所附属火山活動研究センター作成の「水準測量変動量グラフ」
10	香西 克俊	神戸大学海事科学研究科	風向風速計, 温度計, 湿度計, 水温計による観測データ
11	橋本 学	京都大学防災研究所	GPSアンテナおよび受信機
12	多幾山 法子	京都大学工学研究科建築学専攻	強震応答実験装置
13	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
14	新井 宗之	名城大学理工学部システム工学科	第4実験棟スペース
15	大谷 孝文	徳島県 西部総合県民局	徳島地すべり観測所
16	原田 敏雄	株式会社 エスイー	徳島地すべり観測所
17	風間卓仁	京都大学理学研究科	防災研究所附属火山活動研究センター ハルタ山観測室
18	元木 幸男	徳島県 西部総合県民局	徳島地すべり観測所
19	渡部 弘明	(株) 基礎建設コンサルタント	徳島地すべり観測所
20	水谷 司	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤工学	雨水流出実験装置
21	横尾亮彦	東北大学大学院理学研究科	諏訪之瀬島山頂部地形図
22	山元 大輔	鹿児島市市民局市民部安心安全課	・平成21年4月9日の火砕流 ・桜島の地盤変動と爆発回数

23	石垣 泰輔	関西大学 環境都市工学部	浸水時水没車避難体験装置および地下室ドア浸水時避難体験実験装置
24	遠藤 徳孝	金沢大学理工学域	50cm幅流砂基礎実験水路
25	平石 哲也	京都大学防災研究所	宇治川オープンラボラトリー 第3実験棟
26	小谷 賢太郎	関西大学	実物型階段模型
27	吉川 美由紀	阿蘇火山博物館	写真・展示用パネル一式・火山活動ビデオ一式
28	楊 峻	香港大学	徳島地すべり観測所（伸縮計・土圧計・歪計・地温探査計・気圧計・地震計）観測計器
29	Kanungo Debi Prosanna	Central Building Research Institute	徳島地すべり観測所（伸縮計・土圧計・歪計・地温探査計・気圧計・地震計）観測計器
30	鶴本 慎治郎	国土交通省 九州地方整備局	伸縮計 主計測部センサー
31	日浦 啓全	山地災害研究所	採水器・PH測定器他
32	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
33	山口 覚	大阪市立大学大学院理学研究科	広帯域電場磁場観測装置 2式
34	曾田 聖人	ロンツ株式会社	Explnight-s（南岳噴火映像）
35	宮本 拓哉	日本放送協会	実物大階段模型，地下空間浸水実験装置
36	荒木 慶一	京都大学大学院工学研究	強震応答実験装置
37	小倉 秀幸	鹿児島市議会事務局	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
38	佐藤 峰司	白山工業株式会社	黒神観測室
39	塩崎 一郎	鳥取大学大学院工学研究科	広帯域電場磁場観測装置用 AMT磁場計測用センサーコイル3本
40	高田 盛宏	南日本新聞	研究所の井口正人准教授が撮影したインドネシア・スマトラ島のシナブン山観測状況の写真2枚
41	Mauri McSaveney	ニュージーランド地質・核・科学研究所	伸縮計・水位計・歪計・土圧計・地温計・気圧計・地震計
42	小泉 尚嗣	独立行政法人産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター	水位/水温モニタリングブローブIn-Situ社製miniTROLL 8台

43	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
44	白木 貞二郎	京都市消防局教養課	宇治川オープンラボラトリー 第4実験棟セミナー室, 第1実験棟, 第2 実験棟
45	里深 好文	立命館大学	斜面水文崩壊実験装置
46	原田 智史	気象庁総務部企画課国際室	実物大階段模型, ドア模型, 降雨流出 実験装置, 局地異常気象観測解析装置 (屋外)
47	柴田知之	京都大学理学研究科地球熱学研究施設	ハルタ山観測井ボーリングコア試料 (深度 5 4 m)
48	林 泰一	京都大学防災研究所	観測所全体と高潮観測塔
49	小里 隆孝	株式会社 環境総合テクノス	磁気計器持ち込み
50	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
51	宮町 宏樹	鹿児島大学大学院理工学研究科	低周波マイクロフォン1台, 地震計1台, 記 録計1台, バッテリー2個(測定機器用)
52	石垣 泰輔	関西大学 環境都市工学部	降雨流出実験装置
53	小林 寛則	株式会社エヌ・アンド・エス企画	桜島火山観測所の外観の写真 桜島火山観測所の内部の写真(観測機 器)
54	肥後 陽介	京都大学大学院工学研究科社会基盤工 学専攻 地盤力学講座	淀川堤防砂, スコップ
55	新添 多聞	京都大学大学院医学研究科	電源
56	伊藤 崇	読売新聞東京本社科学部	桜島の年間爆発回数と年間降下火山灰 量, 始良カルデラ周辺地盤の上下変動の データ
57	高田 盛宏	南日本新聞社	京都大学防災研究所研究所火山活動研 究センター作成の「黒神地区二酸化炭 素検出の経過グラフ」
58	内田 直之	K Y T 鹿児島読売テレビ	井口准教授から提供頂いた インドネ シアジャワ島 メラピ火山の写真
59	岡橋 太郎	有限会社 九州ヘルメット工業所	桜島火山の噴火写真 2点
60	山下 和則	鹿児島県立博物館	①京都大学防災研究所桜島火山観測所 パンフレット(2009) ②平成20年11月桜島人工地震波に よる探査の様子がわかる画像(地震計 および海底地震計の設置の画像) ③ムラピ山(インドネシア・ジャワ 島)の火砕流画像 ④地震計(展示用)
61	里保 好文	立命館大学	PF試験機

62	奈佐原 顕郎	筑波大学	第4実験棟 セミナー室
63	里深 好文	立命館大学	粒度分析器
64	小池 長幸	京都府相楽中部消防組合消防本部	雨水流出実験装置, 実物大階段模型, 地上洪水氾濫実験模型 地下街氾濫模型, ドア模型
65	日浦 啓全	山地災害研究所	徳島地すべり観測所
66	William H.Schulz	米国地質研究所	地震計・地温計等
67	中川 康一	大阪市立大学大学院	西井川地すべり地
68	坂 靖範	京都大学防災研究所 技術室	内水・外水氾濫模型, 地下模型, 浸水車, 浸水ドア, 流水階段歩行
69	大窪 孝浩	NHK科学環境番組部	ハルタ山観測坑道内部の写真
70	服部 克巳	千葉大学理学研究科 地球生命圏 科学専攻地球科学コース	西井川地すべり地
71	日浦 啓全	山地災害研究所	徳島地すべり観測所
72	海堀 正博	広島大学	西井川・釣井地すべり地他
73	西島 潤	九州大学大学院工学研究院	ハルタ山絶対重力観測点
74	岡橋 太郎	有限会社九州ヘルメット	霧島新燃岳写真3点
75	津田 敏隆	京大学生存圏研究所	洪水流実験水路 上流観測室 (上記機器の設置場所)
76	家森 俊彦	京都大学大学院理学研究科	上宝観測所 (蔵柱観測室) で取得された磁場3成分データ
77	大久保 慎人	(財)地震予知総合研究振興会 東濃 地震科学研究所	B-1 地殻変動連続観測解析システム

## 京都大学防災研究所平成 22 年度公開講座（第 21 回）

### “災害のことわざシリーズ 2”

—災害は忘れた頃にやってくる—

平成 22 年 9 月 30 日（木）

キャンパスプラザ京都 5 階 第一講義室

司 会：飯尾 能久 教授  
パネリスト：澤田 純男 教授  
平石 哲也 教授  
井口 正人 准教授  
松浦 純生 教授  
矢守 克也 教授

質問への回答も公開させていただきますので、ご  
了解いただきたいと思います。

では最初に平石先生に、ちょっと厳しいご指摘  
ですが、「大阪湾における津波対策は無策ではない  
のか。高潮対策はされているように感じられるが、  
どのようですか。安政の大地震に対してはどうな  
のでしょうか」という質問をいただいています。

#### 総合討論

（飯尾） 朝早くから長時間熱心に聴講していただ  
きまして、ありがとうございます。私はこの公  
開講座担当の、防災研究所地震予知研究センター  
の飯尾と申します。もう 25 分ぐらいお付き合い願  
いたいと思います。

講演の後にはお受けできなかった質問を、たく  
さん質問用紙に書いていただきまして、ありがと  
うございました。ざっと拝見しますと、非常に質  
問が集まっている講義もあれば、ほとんど質問が  
ない講義もあります。それはご講義が分かりやす  
かったためなのか、分かりにくかったのか、ちょっ  
とよく分かりませんが、ここでは時間の制約もあ  
りますので、数多くいただいた質問から答えさせ  
ていただきたいと思います。それで質問が残りま  
したら、来ていただいた皆さま限定のウェブで、  
講演いただいたパワーポイントファイルと一緒に

（平石） まず大阪湾で安政津波が来たらどうな  
るかというのは、シミュレーションをしています。  
それからもう一つ、大阪湾には高潮のシミュレ  
ーションもあり、伊勢湾台風が室戸台風のコースを  
通るとどうなるかということで、水の高さについ  
ては比較をしています。どちらが大きいかとい  
うと、高潮の方が実は大きいのです。ですから、大  
阪湾の防潮対策は、津波ではなく高潮の高さで決  
まっています、安政津波が来ても防潮堤が完全であ  
れば大丈夫です。

われわれが何を恐れているかといいますと、や  
はり地震で防潮堤が閉まらない、あるいは、古い  
防潮堤が壊れるということです。そのため、順次、  
耐震性を上げるということをしております。高さ  
で言えば大丈夫なのですが、やはり怖いのは地震  
で津波の前に防災施設が壊れてしまって閉めるこ  
とができないことなのです。どう言っていいのか、

ちゃんとやっているのだけれども最後は地震によって防潮堤の耐震性が決まってしまうから、地震に強い施設を作れば津波も防げると考えております。

(飯尾) よろしいでしょうか。では、続きまして、前に出ていただいていますので平石先生に、「堤防の整備にお金をかけるよりも、避難用のタワーの建設にかかる方が、津波の被害を少なくできるのではないのでしょうか」という質問をいただいています。

(平石) 両方を複合的にしなければいけないと思います。堤防がないと、津波は遡上して大きな力が働きますから、タワーに対しても大きな力になります。従いまして、防潮堤があったら、それを乗り越えた津波に対しては避難タワー等で逃げるのが可能ですが、まるっきり防潮堤のないところで津波が来たときに、避難タワーだけで何とか対応するというのは、やはり危険だと思います。また、避難する時間等を稼ぐためにも防潮堤が必要です。

従いましてどちらも必要で、私たちは防潮堤とさらに避難タワーを組み合わせて、できれば両方も整備を進めていきたいと考えております。防潮堤がないとすぐに津波が来ますので、防潮堤があることによって、たとえ津波の高さが防潮堤より高くなっても勢いはそこで殺されるわけですから、避難もしやすくなります。その辺は流速の計算等で分かっていますので、やはり防潮堤をまず作って、さらにそれを越えるような浸水については避難タワーで何とか逃げられない方は逃げていく。あるいは、今考えているのは、近くのマンションの鍵を自由に開けていただいて海辺の避難ビルにして、そういうものを活用していこうということです。どうもありがとうございます。

(飯尾) よろしいでしょうか。もう一つよろし

いですか。たくさん質問が来ておまして、「防潮堤があるのですが、陸地側における開発等による環境の変化の影響で、高潮・津波災害のリスクが高まっている事例というはあるのでしょうか」という質問をいただいています。

(平石) これはあります。なぜかといいますと、皆さん、まず考えていただきたいのは、今、遊びに行くといえば、まず海へ行きます。それから、海辺にビルなどの社会資本が集中してきていて、われわれの着ているものなどもすべて港から陸揚げされています。われわれの生活というのは、海にかなり依存しているのです。防潮堤を越えてきた津波は、昔は田んぼの中にしか入らなかったのですが、それよりも今はリスクが高くなっているのではないかと。ですから、われわれは防潮堤や防波堤を作って何とか津波の高さを少しでも下げようと思うのですが、先ほどお見せしましたように、地下街も海岸のすぐそばにできるようになってきていますので、逆にリスクのポテンシャルが上がってきていると思います。

これは最後の矢守先生のお話ではないのですが、前に堤防があるからといって完全ではなくて、やはり浸水はあるかもしれない。そのときに、もしわれわれが地下街にいたら、水が入ってくるということは、常に考えておかなければいけないと思います。ですから、社会構造としては、ますます津波・高潮に対してはリスクが高くなりつつあると私は思います。

(飯尾) よろしいでしょうか。どうもありがとうございました。

それでは次に、松浦先生にお願いしたいと思えます。やはり地球温暖化関係でたくさん質問をいただいているのですが、最初に、テレビでも紹介されたと思うのですが深層崩壊についてです。「温暖化の影響を受けた、最近の特徴なののでしょうか。もしそうなら、最近の降水量であるのか、森林荒

廃であるのか、どのような影響によるものなのでしょうか。防止対策はあるのでしょうか」という質問をいただいています。

(松浦) ご指摘の深層崩壊については、過去にも深層崩壊、大規模崩壊はあったとご紹介しました。それが単なる数年、数十年周期の気象変動によるものなのか、あるいは温暖化が始まっていてその影響が出たことによるものなのかは、さらに時代が進んで振り返ってみたときに分かることで、現時点では判断しかねます。もうちょっと時間をいただいて、後できちんと統計的に処理をしてみて初めて、それが温暖化の影響か否かということが判断できるのではないかと考えていますので、それが単なる通常の変動現象なのか、終わりの始まりなのかというところは、ちょっと判断に苦しむところだと思っています。ちょっと言い逃れのように申し訳ないのですが。

それと、深層崩壊は深いところで崩壊が発生いたしますので、ほとんど地上の植生の状態には影響しないと考えています。浅い崩壊、表層崩壊は森林土壌に影響する、つまり岩盤の上に乗っている土壌層はせいぜい1mか2mぐらいの厚さなのですが、それが崩壊する現象は森林に対してかなり効いてくると考えていますが、深層崩壊というのはもっと深いところ、10mとか20mとか、さらに深い50mとかの、地質的に非常に脆弱なところ、あるいは地下水がたくさんたまるところで発生しますので、それは地上の状態とはあまり関係ないと考えています。

それから、深層崩壊をわれわれは予測できるのかというご質問なのですが、今、そういった研究をいろいろな大学や研究機関で進めているところです。深層崩壊が発生する予兆現象というのは、例えば山体が微妙に変形してくるといったようなことで、早期にここは危ないぞということが抽出できるといわれ始めてきました。これには、最後の方でご紹介したのですが、航空レーザー測量と

いう、飛行機からレーザーを発射して地表面の微妙な変動を正確に把握するツールを、われわれは現在手にしてきているという現状があります。解像度が格段に上がりましたので、それで見ると、より小さな地形の変化を広範囲にとらえることができます。こういったものを活用することによって、危険な地域をあらかじめ把握する、その危険度を把握することが可能になってくるのではないかと期待しています。

(飯尾) 深いところの現象なので難しいとは思いますが、防止対策は可能なのでしょうか。

(松浦) 防止対策は、例えば前兆現象が起こったり、単に体質的にすごく危険であったりしても、背中を押す何かがないと駄目です。例えば降雨や融雪などが定量的に推定できるのであれば、例えばほとんどの深層崩壊が降水や融雪で発生するとすれば、それは地下水が原因になりますので、あらかじめ地下水を抜いておくとかといった対策が考えられます。しかし、一般的にはなかなかそういう判断は難しいので、あらかじめここが危険と評価されているのであれば警戒避難して逃げるとか、あらかじめそういったところには家を建てないといった対策が必要になるのではないかと考えています。

(飯尾) よろしいでしょうか。それから、今日のご講演と直接関係ないのですが、例の報告書について複数ご質問をいただいています、ご関心があるテーマのようです。「温暖化については、その根拠に疑問が出されたこともある。寒冷化しているという指摘もあるけれども、どうでしょうか」という質問をいただいています。

(松浦) 僕は温暖化そのものに関してはあまり知識がないのですが、IPCCの報告にちょっと疑問があるというような報道もあったのですが、でも

IPCCの最新の報告によりますと、気温は確実に上昇していて、それはやはり人為、つまり化石燃料を使うことによって中生代の頃に封じ込められたCO<sub>2</sub>が放出している、それが影響していることは事実であるとされていますので、それによって温暖化が進んでいると考えざるを得ないのではないかと思います。

もちろん長期的にはあまり確かな情報ではなくて、氷河期に至るまでにはあと確か2万年か3万年ぐらいかかると思うのですが、長期的ないろいろな気候変動の中で短期的には、ここ100年あたりは、人為起源による温暖化が進んでいるのではないかと感じています。

(飯尾) ありがとうございます。それでは次に、井口先生に基本的な質問をいただいています。「火山と普通の山の違いは何でしょうか。日本における火山はすべて特定されているのでしょうか」という質問をいただいています。

(井口) 今日は桜島の話をしたので、近畿地方には火山はないし、あまり関係ないのではないかと思いますと思うのですが、実は近畿地方にも火山はないことはないのです。

まずは質問の答えなのですが、火山かどうかというのは、火山活動でできた山であるかどうかで、それをどうやって調べるかという地質です。火山体そのものが火山噴出物で構成されているかどうかという地質調査をすれば、それは火山か、ただの普通の山か、つまり単なる造山運動で隆起してできた山かということは分かるはずですが。

火山の中でも、最近1万年以内に噴火した火山は全部、活火山になっています。活火山については、監視していく義務があります。なぜ活火山を1万年以内にしかかという、1万年以内に噴火すれば、今後も噴火する可能性があるということだからです。

近畿地方には兵庫県の北部に神鍋山という、今

スキー場になっている山がありますが、実はあれは活火山に指定されています。ですから、ないことはないですし、神鍋山自体がいわゆる単成火山群、同じところから噴く複成式の火山ではなく、場所を変えて噴く火山で、神鍋山が火山に指定されているということは、今後、神鍋山周辺で火山活動があり得るということの意味しているわけです。

ですから、矢守先生の「キュア」ではないですが、近畿地方においても火山に関するキュアは、ないことはないということです。

(飯尾) よろしいでしょうか。それでは、澤田先生に基本的な質問をいただいているのですが、震度について、「震度8はあるのでしょうか」と。恐らくこの質問の意図は、兵庫県南部地震の前までは体感で震度を測っていたのです。震度7を示していただきましたが、震災の帯の震度7というのは、気象庁の方が現地調査に行き、そこで現地を見て倒壊率などから決めていたのですが、その後は計測震度になり、機械的に決められるような形になっています。その辺で、震度8というのがあり得るかどうかという質問ではないかと理解していますが、もしお分かりになれば。

(澤田) 考えたこともないのですが、地震計上はあり得ると思います。ただ、普通の場所だとそれほどの揺れになると地盤の方が先に壊れてしまうので、実際にそこまでの加速度は発生しない場合が多いのではないかと思います。

震度というのは、現在は地震計で測るようになっていますが、かなりいい加減な数値だと思っています。ですから、それは被害とも必ずしも関係がないし、単に地震の揺れを表すある一つの指標であると理解された方がいいと思います。

(飯尾) 関連してお伺いしたいのですが、震度

7の領域とか震度6の領域とかが、例に出すと悪いのですが、中央防災会議よりはより現実的と思われる範囲に定まってきたということになりますと、例えば最大震度6が予想されている地域と、最大震度7が予想されている地域では、そこに住んでいる人間は防災対策や心構え、気を付けるべきことに違いがあったりするのでしょうか。

(澤田) 今お見せしたような予測は、そんなにシャープに見ないでほしい、ぼやっと見てほしいという話をしましたが、あの地図で自分は赤いところにいるからとか、震度6のところにいるからということには、それほど大きな意味はないと思います。いずれにしろ、断層に近いところは震度が大きいし、断層から離れたところは揺れは小さくなります。それから、地盤の違いによって被害の出方が違ってくるといことです。

近畿地方は断層が非常によく分かっていますので、既存の断層に近いところはやはり危険度が大きいとお考えになった方がいいと思いますし、既存の断層から離れていれば、比較的自分のところは近いところに比べれば揺れは小さいのだろうというふうにお考えいただければいいと思います。

基本的に、一般的な視点から言いますと、やはりきちっとした住宅に住む、とにかくまず住宅の耐震補強等をきちっとお進めになるのが一番いいと思います。実は住宅の耐震補強をきちっとしても、震度7の中にいると被害は出ます。ただ、完全につぶれるような被害にはまずならないと思います。震度6の範囲だと、きちっと耐震補強があれば、ほとんど被害はないという状況になると思います。ですから、それこそ先ほどの安心を自分で確保するという意味では、そういうことをするのがよいと思われま。

(飯尾) ありがとうございます。よろしいでしょうか。それでは、矢守先生へのご質問を書き込んでいただく時間がなかったのです。最初にお聞き

すべきだったかもしれないのですが、矢守先生のご講演に対して、今、フロアからもしご質問等がありましたら、ここでお受けしたいと思います。何か最後に言い残したことなどはありませんか。

すみません、講演前にいただいていたので失念していましたが、今日の講演の内容に深く関係していることで、「先生のご専門のクロスロード等は市民が実際に被災したときの擬似体験の要素を含んでおり、大変有効と心得ております。しかしながら、市民の災害の意識の継続は難しく、苦慮しておりますが、この部分において何かよい案等があればお聞きしたいと思います」という質問です。

(矢守) ご質問いただきありがとうございます。しゃべる前にいただいていたご質問で、どうして質問をお考えいただけたのかもちょっと分からないのですが、いわゆる防災意識の継続等々についてのご質問だったと思うのですが、2点だけ。

1点は、今日いろいろな先生方のお話を伺っていて、改めて、変な例ですけれども、例えば神戸の地形を見れば、そこがこれまで地球がどういう運動をしてそのような地形になったのかということは、見る人が見れば分かるのだということが、よく事後的には書いてあります。それから、今の火山の話にもありましたように、全然自分たちの知らない火山も周りにはあるわけで、地形、つまり自分たちが住んでいる地域の川の跡や池の跡などもそうですし、そういうことについて学ぶことは、僕はすごく大事だとこのごろ思っています。地形というのは非常に長い時間にわたって記憶を伝達してくれているメディアになっているということに、もう一回私たちは思いを馳せる、教訓を伝えると言うと心や社会の問題で、人間の問題だとすぐに回収されがちなのですが、そういう地形や自分たちの住んでいる生活環境をそういう目で見るといことが、一つは大事かと思ひます。

もう一つは、今日、3番目の事例でご紹介しよ

うと思ってできなかったのですが、3番目の事例は、阪神淡路大震災のときに7歳だった女の子のお父さんは、神戸市のレスキュー隊の隊長だったのです。その女の子が14年たって21歳になって、今、同じ神戸市の消防署員になっているのです。この女性とお父さんの話を今の子供にしてもらうというプログラムをやったことがあります。つまり、語りつないでいくというときも、過去にこんなことが起こったということ話す、私もそういう活動をしているので、そういう活動にも意味はあると思いますが、そういうことだけでは、やがて経験者の方はだんだん少なくなっていくし、限界があるので、そういうふうに次の世代が一つ上の世代を見て、どんなふうに変ってきたのかということをもう一つ次の世代に見せるといった形の語り継ぎ活動をこれからはしていかないと、

20年、30年なら1世代、世代から世代、世代Aから世代Bの語り継ぎでもつのですが、100年もたせようとか、さらにもっともたせようと思うと、そういういわゆる教訓を語り継ぐというあり方も工夫をしなければいけないと思っている次第です。以上です。ご質問ありがとうございました。

(飯尾) よろしいでしょうか。もう時間が来ておりますが、何かありましたら。

では、これで時間がまいりましたので終わらせていただきたいと思います。今日は長時間にわたって熱心に聴講していただきまして、ありがとうございました。

最後に講師の先生方に拍手をして、終わらせていただきたいと思います(拍手)。

防災研究所職員配置表

所長：中島 正愛（23.4.1～25.3.31） 副所長：中川 一・橋本 学・堀 智晴

平成23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：寶 馨 23.4.1～24.3.31）</b>					
<b>社会防災研究部門</b> （部門長：寶 馨 23.4.1～24.3.31）					
都市空間安全制御	川瀬 博	松島 信一		矢野佐永子・伊藤 晴子(tw) 岡田 達司(tw)	宝音図(r)・飛田 幸樹(0・A)・長嶋 史明(0・A) 仲野 健一(0・A)・秋月 佑太(0・A) 山本 梨絵(0・A)
都市防災計画 防災技術政策	田中 哮義 寶 馨◎	関口 春子 山敷 庸亮	樋本 圭佑	家長 恵子 井上 園(s)・瀧井 優子 松田 早穂(s) LAHOURNAT, Florence	邵 俊豪(r) 木村 直子(k) 西野 ひかる(0・A)
防災社会システム	多々納裕一	畑山 満則		山下 敦代・井上けい子(t)	Samaddar, Subhajyoti(k) 池田 菜穂(k)
国際防災共同研究(客員) 防災公共政策(寄附)	安田 成夫	梶谷 義雄		工藤 由佳	
<b>附属巨大災害研究センター</b> （センター長：矢守 克也 23.4.1～25.3.31）					
巨大災害過程	矢守 克也◎		鈴木 進吾	清水 豊子・大橋 由季 川方 雅代・西村有希子 菌頭 彰子・尾形 理恵子 横尾 真由美	石津 裕之(0・A) 陳 海立(特)・永井 一弘(k) 小松 瑠実(0・A)
災害情報システム	林 春男	牧 紀男			
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)	岡田 憲夫 吉越 昭久☆ 瀧美 公秀☆ SIEMBIEDA, William John	横松 宗太 山崎 栄一☆ 近藤 宏二☆			
<b>地震・火山研究グループ（グループ長：岩田 知孝 23.4.1～24.3.31）</b>					
<b>地震災害研究部門</b> （部門長：岩田 知孝 23.4.1～24.3.31）					
強震動 耐震基礎	岩田 知孝◎ 澤田 純男	松波 孝治 高橋 良和	浅野 公之 後藤 浩之	浅野 幸 岡本 彩子(s)	CONTRERAS RUIZ ESPARZA, Moises Gerardo(0・A) 田中 伸明(0・A)・西村 俊亮(0・A) 河村 雄一(0・A)・中田 光彦(0・A)
構造物震害	田中 仁史	田村 修次		荒木 紀子	
<b>地震防災研究部門</b> （部門長：Mori, James Jiro 23.4.1～24.3.31）					
耐震機構	中島 正愛			蒲生 千里	保木 和明(特)・伊藤 麻衣(r) 古川 幸(r)
地震テクトニクス 地震発生機構	大志万直人 MORI, James Jiro◎	大見 士朗	吉村 令慧 山田 真澄	辻井 喜子 松島 正美	SMYTH, Christine Wendy(特)・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 23.4.1～25.3.31）					
地殻活動	澁谷 拓郎	遠田 晋次	徐 培亮 高田陽一郎(上) 福島 洋	中島 智子(t)	千葉 慶太(r)・有本 美加(0・A)
海溝型地震 内陸地震	橋本 学 飯尾 能久◎(阿) 矢守 克也(兼)(阿)	深畑 幸俊		坪内 まどか 秋月 美佳 大川 愛(tw) 平尾由美香(tw)・森山富士子(tw)	平野 憲雄(北)(g)
地震予知情報	西上 欽也	竹内 文明	加納 靖之 寺石 真弘(宮) 森井 互 山崎 健一(宮)	中尾愛子(鳥)・三和佐知栄 年見 文子(宮)	畑 真紀(0・A)
地球計測 リアルタイム総合観測 地球物性(客員)	岩森 光☆	宮澤 理稔 片尾 浩			
<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	島木垂子(t) 杉本 成美(t)・武盛 照美(t) 片山詩央里(t) 宇治野 初美	三反田めぐみ(g)
<b>地盤研究グループ（グループ長：釜井 俊孝 23.4.1～24.3.31）</b>					
<b>地盤災害研究部門</b> （部門長：松浦 純生 23.4.1～24.3.31）					
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 松四 雄騎 寺嶋 智巳	飛田 哲男 齋藤 隆志	湯山 和香 北村 和子 山藤 望美	姜 基天(k) 鄒 青穎(r)・樋口 衡平(r)・田 炳坤(r)
<b>附属斜面災害研究センター</b> （センター長：釜井 俊孝 23.4.1～25.3.31）					
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)	

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: 小尻 利治 23. 4. 1~24. 3. 31)</b>					
<b>気象・水象災害研究部門</b> (部門長: 石川 裕彦 23. 4. 1~24. 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	榎本 剛 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 辻まゆみ	吉田 龍二(r)  二宮 順一(r) 中條 壮大(特)・Apip(特)・木島梨沙子(r) KIM Kyoungjun(特)・ABUDOUREYMU, Batuer(r)
<b>附属流域災害研究センター</b> (センター長: 藤田 正治 23. 4. 1~25. 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 堤 大三(穂) 馬場 康之(白)	宮田 秀介(穂)  張 浩(宇)  東 良慶(宇)	天野 純子(宇) 森 美穂 杉村 夏世(宇) 水室 智子 松本 友理(宇) 三浦 晴美	TERAGUCHI, Hiroshi(g)(宇)・水谷 英朗(r) 内山 清(k)(大) 河内 啓(g)(潮)
<b>附属水資源環境研究センター</b> (センター長: 小尻 利治 23. 4. 1~25. 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 齊藤 修☆ 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 茨木 純子 山本 優美	中田 淳子(特)・SAPKOTA, Mukta(r) 小槻 峻司(r)  玉 基英(k)
<b>研究企画推進室</b> 橋本 学室長(兼) 川瀬 博教授(兼)・多々納裕一教授(兼)・安田 成夫教授(兼)・田村 修次准教授(兼)・寺嶋 智己准教授(兼) 田中 賢治准教授(兼) 真田 奈生子(tw)					
<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					
<b>室 員</b>		松浦 秀起(技術職員 兼)		東 佑香・竹内 ふき(tw)	
<b>技 術 室</b>				技 術 職 員	
				非常勤研究員等	
室 長	高橋 秀典				蟹口 和枝(g)
情報技術グループ	坂 靖範				阪口 光(g)(阿)
実験技術グループ	辰己 賢一・松浦 秀起・澤田麻沙代(育休)・藤木 繁男*				田中 愛子(tw)
機器開発技術グループ	坂 靖範(兼) 富阪 和秀・山崎 友也・加茂 正人・多田 光宏・清水 博樹*・吉田 義則(宇)*・藤原 清司(宇)*				
観測技術グループ	三浦 勉 西村 和浩(休)・米田 格(阿)・細 善信* 三浦 勉(兼) 園田 忠臣(桜)・久保 輝広(白)・市田兎太郎(穂)・小松信太郎(宮)・濱田 勇輝(上)・和田 博夫(上)* 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 (s)…教務補佐員 (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 (O・A)…オフィス・アシスタント (ta)…ティーチング・アシスタント \*…再雇用職 (tw)…派遣社員  
(u)…宇治勤務 (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 (休)…休職 (育休)…育児休業

常 勤 職 員 113				客員教員・研究 7			107														
96			一般職(-) 17	教授	准教授	外国人研究員	教授	准教授	助教	研究員	特定職員	再雇用職員	教務補佐員	事務補佐員	技術補佐員	非常勤研究員	研究支援推進員	T・A	O・A	R・A	派遣員
教授	准教授	助教	技術職員																		
34	34	28	17	4	3	0	2	2	1	7	1	12	3	47	6	6	6	0	15	16	8