

篤学の士に送る一研究者の独り言

A Researcher's Soliloquy for the Next Generation of Scholars

松浦純生

Sumio MATSUURA

Synopsis

Born in Shikoku, I was deeply affected by the large-scale landslide disaster that occurred in Kochi Prefecture in 1972. The landslide killed a number of rescue workers who were searching for missing persons after the first small slope failure. I believe that this catastrophe motivated me to become a researcher in the field of sediment-related disasters. Now, 37 years have passed since I became a member of the Forestry and Forest Products Research Institute, and I have retired from the Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University. I would like to take this opportunity to share some lessons learned from my extensive research experience. 1) Failure in trial and error is inevitable; so, let us overcome it with ingenuity. 2) Steady efforts are always rewarding; you may be able to pick up gemstones on the roadside. 3) Do not be afraid to take on bold challenges after understanding the associated risks; when faced with serious problems in the field, you gain immeasurable knowledge. 4) Consider following an interdisciplinary approach in your research; avoid stereotypes as more often than not, such approach results in breakthrough ideas. I hope my experience will be helpful to young scholars in alleviating their uncertainties and problems.

キーワード: 試行錯誤, 創意工夫, 地道な努力, 大胆な挑戦, 学際的アプローチ

Keywords: trial and error, ingenuity, steady effort, bold challenge, interdisciplinary approach

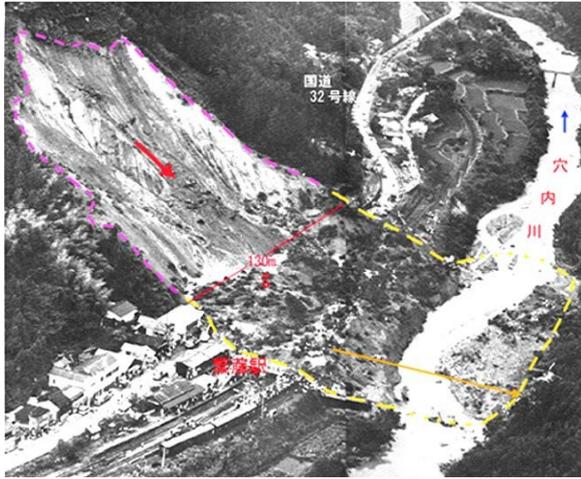
1. はじめに

四国の徳島生まれの私は、子供の頃から台風や梅雨前線による自然災害は身近な存在だった。ただ、平地に住んでいたことから、関係する災害は河川の氾濫による浸水や洪水などであり、土砂災害が発生したとニュースで報じられても遠い出来事のように、実感として捉えることはできなかった。

それを一変させたのが、昭和47(1972)年7月に隣の高知県で発生した繁藤災害である(Fig. 1)。何よりも衝撃的だったのは、最初の小崩壊で行方不明となっていた人々を捜索していた多数の救助隊員が亡くなったことである。今でも、翌朝の新聞記事を忘れることができない。

この繁藤災害が名古屋大学での専攻(農学部林学科治山工学)となり、さらにその後の職業の選択につながったことは間違いない。ただ、その過程でヒマラヤ遠征に行き、それがきっかけで民族地理学や文化人類学に傾倒したこともある。しかし、紆余曲折を経て元の道に舞い戻り、昭和59(1984)年に農林水産省に入省し、運良く希望していた林業試験場(現:森林総合研究所)の治山第三(地すべり)研究室に配属された。

四国で発生する土砂災害の大部分は雨によって起こり、雪と関係することはほとんどない。このため、就職後に担当した雪と地すべりの研究は全く未知のテーマであり、新鮮な気持ちで取り組むことができた。ただ、雪のさまざまな性質に関する知識や理解



(国立研究開発法人防災科学技術研究所)

Fig. 1 A heavy rain induced landslide caused 60 deaths in 1972.

が足りず、当初は雪と地すべりの研究を比較的簡単に進めることができるだろうと安易に考えていた。しかし、問題は予想以上に複雑で、長年にわたり取り組んできたにもかかわらず、振り返ってみれば明らかにできたことは、ほんの少しだけだった。改めて研究の奥深さに畏怖せざるを得ない。

本稿は、雪と地すべりを始めとして海岸地すべりや深層崩壊など、さまざまな課題に取り組んだ研究活動の中で、数多くの失敗を重ねつつ、その過程で得た教訓や基本姿勢などについて、自分なりに取りまとめたものである。自戒を込めながら次世代の若い研究者の参考にしていただければ幸いである。

2. 影響を受けた碩学の教え

格物致知（かくぶつちち）とは、紀元前の中国で成立した儒教（礼記：大学篇）に記されている術語で、物事の道理や真理を理解し、知識や学問を深める意味があるとされる。宋代の朱子学では、格物致知に「窮理（きゅうり）」が加わり、真理を探究し本質を見極めると言う意味合いが強くなった。

江戸時代の末期、蘭学者の宇田川榕菴（うたがわようあん）によって西洋の化学や植物学が紹介され、「圧力」や「沸騰」、「酸素」と言った学術用語が造られた。さらに明治時代になって近代化を急ぐ日本は、世界の進んだ自然科学を怒濤のごとく取り入れることになる。その際、「窮理」から「物理学」や「理学」などの学術用語が多数造り出された。

日本における黎明期の物理学（窮理学）を振り返るとき、X線の結晶透過などに先駆的な業績をあげた寺田寅彦先生を忘れることはできない。寺田先生は繁藤災害が発生した高知県の出身で自然災害にも造

詣が深く、「天災は忘れた頃にやってくる」という有名な言葉を残した。また、優れた文筆家でもあり昭和8(1933)年には「科学者とあたま」という随筆を書き残している。そこには示唆に富む数々の至言が記されていて、研究上の壁に直面した際に大いに励まされた。

人類学者であり、フィールドワークを通して民俗学や民族学にも顕著な業績を残した鳥居龍蔵先生は故郷の出身であり、自宅近くにあった記念館を通し、文化人類学などに興味を誘う存在であった。

中学生時代に読んだ「鳥葬の国」という本は衝撃的であった。鳥葬とはチベット仏教が信仰されている地域で行われる葬儀方法で、死者の遺体をハゲワシなどに食べさせる。世界にはこのような葬儀方法があるのかと驚くとともに、死者の霊を天空に戻すという意味を知り、ひどく納得したことを覚えている。この本の著者が川喜田二郎先生であった。

大学時代にヒマラヤ遠征に行った際、シイカ村というネパールの小さな村に宿泊した。後日、ここで川喜田先生が学術調査と技術援助を行っていたことを知るようになる。ネパールの山村は貧しく生活は厳しいものの、人々は優しく親切だったことから、民族地理学に興味を惹かれ、大学院は川喜田先生が教鞭をとる筑波大学に進学した。

川喜田先生は既成の概念にとらわれない発想をもち、野外調査や議論の結果を有機的に整理するKJ法という独特の方法を編み出した（川喜田, 1967）。修士時代は先生の指導の下、KJ法などを用いてシイカ村（谷）で約4ヶ月にわたり現地調査を行った。このときの経験が、約30年後に携わったグローバル生存基盤展開ユニットの活動に役立つことになる。詳しくは後述したい。

3. 試行錯誤に失敗はつきもの

寺田(1948)は「けがを恐れる人が大工になれない」と同様に、失敗を怖がる人は科学者にはなれない」と述べている。試行錯誤に失敗はつきものである。しかし、創意工夫を凝らし、忍耐強く困難を乗り越えれば新たな発見に出会うこともある。その事例を紹介したい。

日本海に面した新潟県などの中間山地は、暖温帯に位置する世界有数の豪雪地帯として知られている。一方、この地方には新第三紀の脆弱な堆積岩が広く分布し、毎年のように地すべりが発生する。統計的にみると、融雪期に地すべりが多発することから（青山ほか, 1982）、主要な誘因は雪解けとされてきた。ところが、積雪初期や最寒期あるいは融雪初期にも地すべりの発生が報告されるなど（Fig. 2）、必ずし



(国立研究開発法人森林総合研究所：浅野博士撮影)

Fig. 2 Landslide that occurred in the early snowmelt period.

(This is a rare landslide that occurred when there was still more than 2 m of snow on the ground.)

も融雪だけが誘因とは考えにくい。しかし、厳しい自然環境のため冬期間の観測が困難で、地すべりの変位特性はおろか、そのメカニズムも不明な点が多かった。

このため、日本海に面する豪雪地帯の中山間地に試験地を設定し、さまざまな観測を行う計画を立てた。しかし、現場は冬期間に数mを超す雪に覆われることに加え、地すべりの変位量も大きく、最初からさまざまな失敗を繰り返すことになる。

当初、地すべりの変位を観測するため、孔内傾斜計や鋼管ひずみ計を設置して観測を試みたが、動きが活発で短時間のうちに観測不能に陥ることが頻発した。中には削孔してから一回も観測できないまま破壊された観測孔もある。

その後、測定範囲がより広い300mmの変位計を投入したものの、短期間にセンサーがスケールオーバーする事態が発生した (Fig. 3)。地すべりの変位量を通年にわたり連続観測できなければ、積雪環境との関係も明らかにすることができない。このため、試行錯誤を繰り返しながら、多回転式のポテンシオメータやコンベックスなどを用い、深い積雪の中でも一回で3,100mmの連続観測が可能で、最大7,500mmの測定範囲を持つ変位計を設計・製作した (Fig. 4)。

ただし、センサーを開発してもデータをロギングできれば意味がない。このため、データ収集・監視システムも独自で開発した (松浦ほか, 1992)。最初の観測システムは、8ビットのハンドヘルドコンピュータHC-40 (CPU:Z80, OS: CP/M Ver.2.2) を用いた。HC-40の長所としては電源のバックアップが容易なことや、当時としては数多くのインターフェイス (RS232C, シリアル, システムバス, カートリッジ

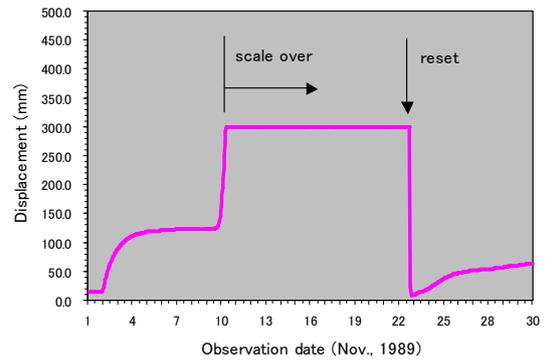


Fig. 3 Missing data caused by an out-of-range sensor signal.



Fig. 4 A prototype of multi-layer displacement meter in production.

メモリ等) を内蔵していることなどである。問題点としてはCP/M_BASICの制約としてタイマー割り込みができないことや、ディレクトリ数などに制限があったことなどである。ちなみにメインメモリは64KBであった。

各種センサーからの信号は、パルスや抵抗値、ひずみ、電圧などと複雑多岐にわたる。したがって、2台のデータロガー (UCAM-10A, THEMODAC-E) を使い、これらをHC-40で制御するシステムとした。これが最も苦心したところで、ロガーとの関係からHC-40のRS232Cインターフェイスを用い、RS232CをGPIOに変換するGPNETを経由してUCAM-10Aを制御した。一方、THEMODAC-EはGPNETからGPIOコンバータを経由して再びRS232Cモードに変換してデータを取得した (Fig. 5)。なお、シリアルインターフェイスはデータ転送用に必要のため、ロガーの制御には使えなかった。

本観測システムを昭和62 (1987) 年12月から稼働させ1時間ごとの観測に成功した。しかし、その後もシステムフリーズや落雷などの被害を受けたため、プ



Fig. 5 Eight-bit handheld computer, RS232C-GPIB converters and other peripherals.

プログラムの変更や耐雷装置などに絶え間ない改良を加えた。また、センサーの異常を検知したため、最寒期に2.7mの雪を掘って修理したこともある。

試行錯誤し数多くの失敗を繰り返したものの、最終的には冬期間も含めた複数年の観測に成功した。得られた観測データ (Fig. 6) をもとに、地すべりの変位特性を詳細に検討した結果、11月中旬～12月初旬、4月中旬、7月中旬をピークとする3つの顕著なパターンが出現することを明らかにした。そのうち最も変位量が大きかったのは積雪期直前の期間で、意外なことに融雪期の変位量は非常に小さく、従来の通説とは大きく異なる結果となった。

さらに詳しく観測結果をみると、各寒候期とも積雪期間に入ると急速に変位量が逓減する傾向が得られた。このため積雪荷重 (水量) に着目し検討したところ、各寒候期とも積雪荷重が5~6kN/m²程度になるまでは、急速に変位量が低下し、その後、積雪荷重が増加すると、ある一定の変位量に収束する傾向が得られた。

このため、極限平衡法や有限要素法による力学的な検討を加えたところ、積雪荷重の効果はすべり面の強度やすべり面の地形的特徴などに依存することが分かった。つまり、内部摩擦角がすべり面の平均傾斜角よりも大きい場合、積雪荷重の増分は有効応力の増加となって地すべりの安定に寄与することになる。逆に言えば、積雪荷重が大きくなると変位量が低減する地すべりは、一般に内部摩擦角がすべり面の平均傾斜角よりも大きいことを意味する (Fig. 7)。対象とした地すべりも、まさに積雪量が増加するとともに地すべりの変位速度が減少し、最大積雪水量を記録した時期に最小となった。

以上のように、すべり面が比較的浅い再活動型の地すべりは、積雪荷重の影響を強く受けることを明らかにした。しかし残された課題も数多くある。本

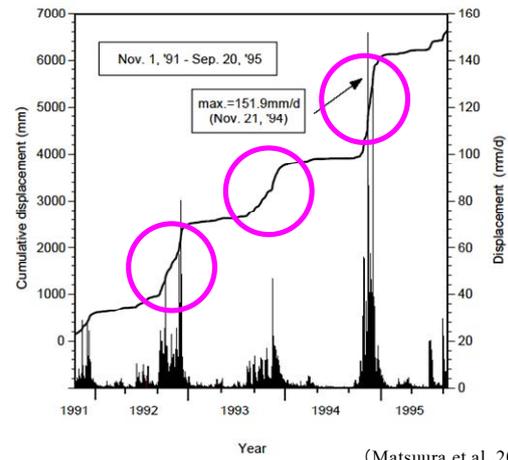


Fig. 6 Results of landslide displacement monitoring over multiple years.

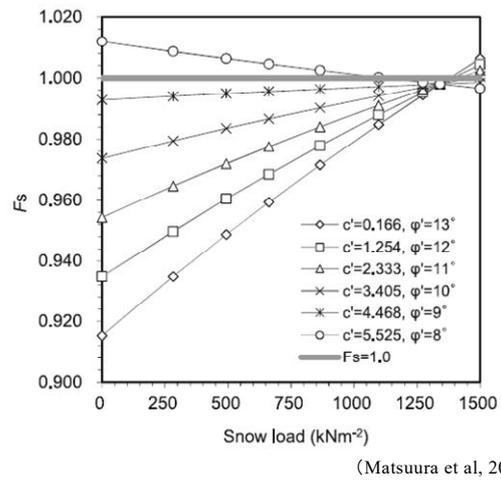


Fig. 7 Relationship between snow load and safety factor under various soil parameters.

地すべりは積雪荷重が除荷される過程においても、つまり融雪期になっても積雪期間前の変位量に戻ることがなかった。

これは積雪の载荷によって、地すべり移動体の表層や浅層部の浸透能が変化し、さらに移動体内部の間隙比が変化する可能性を示す (Okamoto et al, 2018)。また、载荷によってすべり面強度が回復した可能性も否定できない。一方、積雪層が持つせん断抵抗力や圧縮強さが関与しているという指摘 (Shibasaki et al, 2008) や、さらに積雪荷重の偏分布なども影響していると考えられる。このように、本課題を進めることで明らかになった点があるものの、新たな課題も残った。これらの問題は今後の科研費プロジェクト (26560190, 19H0309) などを通して、徐々に解明が進みつつある (Osawa et al, 2017)。次世代の研究者による今後の取り組みに期待したい。

4. 地道に努力すれば報われることも

「頭のいい人は、足の早い旅人のようなもので、人より先に行き着くこともできる代わりに、途中の道ばたにある肝心なものを見落とす恐れがある」と寺田(1948)はその著書の中で述べている。ごく普通の研究者でもコツコツと地道に努力すれば報われることもあるのだと、この言葉には大いに励まされた。

現地観測で長期間にわたり信頼性の高いデータを取得するためには、相当な根気と不断の努力を必要とする。いわば子育てと同じで、少しでも手を抜くと知らない間に障害が発生し、良質なデータを取得することはできない。当然のことながら、漫然と観測を続けるだけでは意味がなく、得られたデータを定期的に検証し解析しなければならない。この作業によって、センサーの不備が見つかることもあるし、丹念にデータを吟味していると、値の背景にある現象が自然と見えてくることがある。それ故、自分で苦勞してデータを取る意義は大きい。そして、根気強く、丁寧に観測システムを維持・管理すれば思わぬ大きなイベントを捉えることができる。

日本海側での降雪は気団の変質と地形性の上昇気流によりもたらされることが多い。したがって、山間地では多量の雪が降り、深い積雪層が形成される

(Fig. 8)。しかし、山間地における積雪環境は意外に良く分かっていない。温暖化が進行する現在、降雨はもちろんのこと、降雪とそれともなう積雪環境の実態と変動特性を明らかにすることは、水資源の管理や災害リスク評価の観点から、重要な課題になりつつある。

我々は日本海に面した標高560mの中山間地で、昭和62(1987)年から積雪環境の観測も継続して行ってきた。この間、平成6(1994)年4月に10 m/sを超える強風が11時間以上も吹き、融雪洪水によって死者が出るなどの災害が発生した。さらに、平成16(2004)年や平成29(2017)年、そして令和3(2021)3月3日の融雪期にも強風ともなう多量の融雪水が観測され、洪水や地すべりなどが発生した(Fig. 9)。

雪はおもに日射や気温によって解ける。このうち、気温による融雪は大気と雪面との熱交換によって発生する。気温と日射量の間には良好な相関関係があることに加え、気温の観測は比較的簡単で観測密度も高い。したがって、融雪予測に気温を指標とする積算暖度法が良く用いられてきた。

一方、積雪層に出入りする短波放射や長波放射、顕熱、潜熱、降雨、伝導熱、さらに地中熱流などをすべて考慮し融雪水量を推定する熱収支法という方法がある。しかし、平成6年4月のイベントについては、積算暖度法はもちろんのこと、最も厳密な熱収

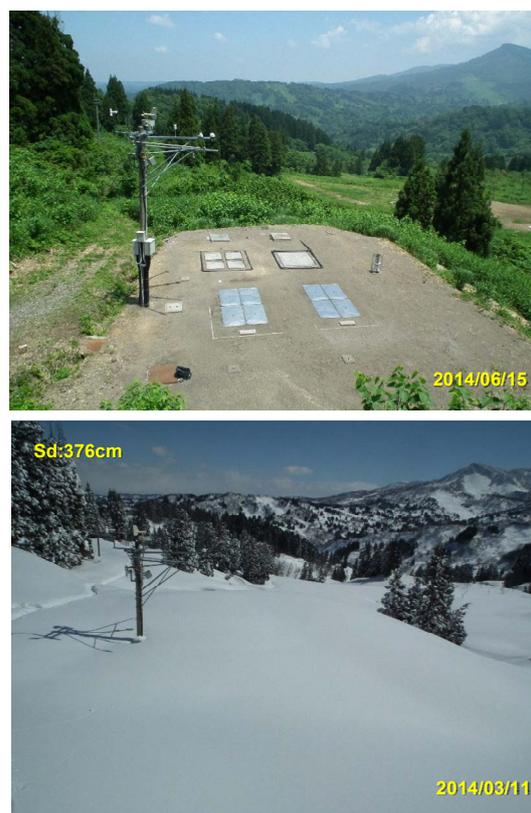


Fig. 8 Formation of seasonal snowpack in a midland area on the Sea of Japan side.



Fig. 9 A landslide that traveled a long distance in the early stage of snowmelt period during strong winds.

支法を用いた解析でも強風時の融雪水量を説明することはできなかった(Fig. 10)

このため、実際に観測された融雪水量から顕熱・潜熱フラックスを逆算したところ、大気と雪面との熱交換を表すパラメータであるバルク係数が、従来から用いられる一般的な値(Kondo and Yamazawa, 1986)よりも2~2.5倍も高くなることが分かった。これは、強い風が吹いた場合、山間地では従来の予測より遙かに多量の雪が解けることを意味する。

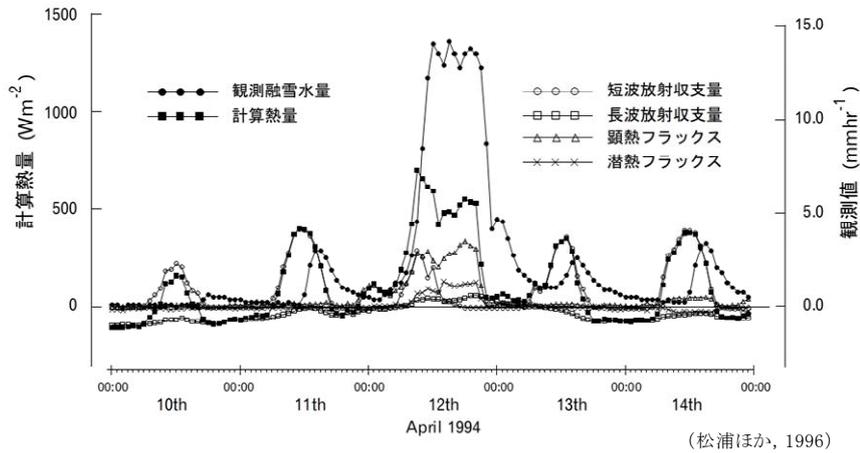


Fig. 10 Calculation of heat fluxes and observation of meltwater.

通常、降雨によってさまざまな災害をもたらされるので、積雪期間中に雨が降れば住民も災害の発生を警戒する。しかし、降雨と違って強風イベントの出現頻度は低いことから、強風によって雪が解けるという概念が必ずしも地域住民に共有されていない。したがって、強風時には地すべりなどの土砂災害のみならず、雪崩などの雪氷災害や、融雪洪水などの水象災害のリスクが高まっているにもかかわらず、それを見過ごすことになりかねない。

強風時のデータを詳しく解析すると、暖かく強い風が吹いたときに多量の雪が解ける理由としては、山地斜面の粗度が関係している可能性が大きいことが分かってきた。山地斜面の粗度は、a) 山地における地形特性、b) 森林などの植生状態、さらにc) 積雪表面の凹凸などが考えられる (Table 1)。さまざまな角度から検討した結果、これらの粗度が強風時の顕熱・潜熱フラックスに影響を与えた可能性が高いと結論づけるに至った。

この仮説を検証するため、風洞などを用いた室内実験を京都大学防災研究所、および国立研究開発法人防災科学技術研究所で行った。ここでは、最も可能性が高いと考えられるb)森林植生の効果について実験した事例を紹介する。

試験管洗浄用のブラシを使って樹木模型とし、風洞内部に敷きつめた断熱材の上に、幾何学的な相似を維持しつつ、植被率7%および1.9%の樹木模型を配置した。なお、事前に植被率0%での実験も行っている。雪は月山の雪渓から採取し、1トン近くの雪を何回も新庄にある実験所に運んだ。

風下側にフローティングライシメータを設置し、集水範囲内で捕捉した融雪水量をデジタル重量計で計測して実験融雪強度とした。風速はX型の熱線風速計を用いて水平方向に3点、鉛直方向に6点の計18点を1kHzで測定した。

植被率7.0%と1.9%の実験結果をもとに、鉛直方向の乱れの強さと歪度について検討したところ、林内

Table 1 Factors that may affect snowmelt during strong winds.

推定される要因	水平方向		鉛直方向	
	a)地形特性	マイクロ α	0.2~2km	境界層
b)森林等の植生	マイクロ β	0.02~0.2km	接地層	<0.05km
c)積雪面状態	マイクロ γ	0.002~0.02km	接地層最下部	<0.005km



a)地形特性



b)森林等の植生



c)積雪面の凹凸

の熱輸送に大きな影響を与えると考えられる樹冠頂付近における乱れの強さは、植被率7.0%の実験パターンで最も大きく、風速2.0m/sの歪度は他の実験パターンの約2.0倍程度を示した (Fig. 11) .

したがって、植被率7.0%の実験パターンでは樹冠頂付近で発生する乱流が林内に侵入し、下向きのフラックスとなって融雪を加速させた可能性がある。さらに、植被率7.0%を維持しつつ、単木の場合や9本群による実験などを行った。それによると、群状配置した場合にレイノルズ応力が大きくなるとの成果が得られた (Fig. 12) . しかし、森林等の植生と融雪の関係は未解明な点が数多く残されており、今後の課題となっている。

根気よく、長期間にわたり観測を維持したことにより、数年から十数年の頻度で発生する極端なイベントを捉え、既往の値とは大きく異なる係数が存在することを明らかにした。さらに、新たな研究要素も発掘することができたことは幸運である。

品質が担保された長期間の観測データセットはそれ自体オリジナリティがありユニークで、宝の山と言えるだろう。しかし、昨今は観測そのものに軸足を置いた論文はあまり評価されない。このような風潮を残念に思う。

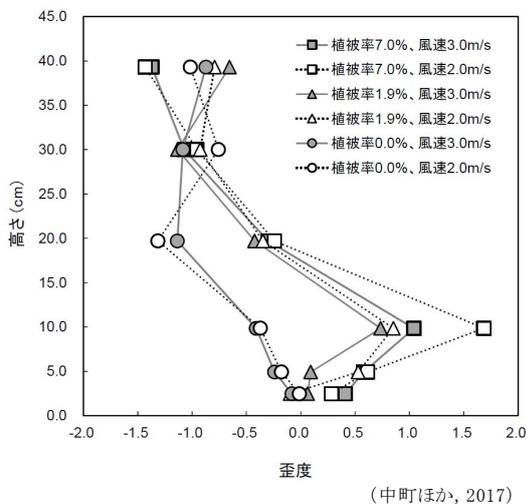
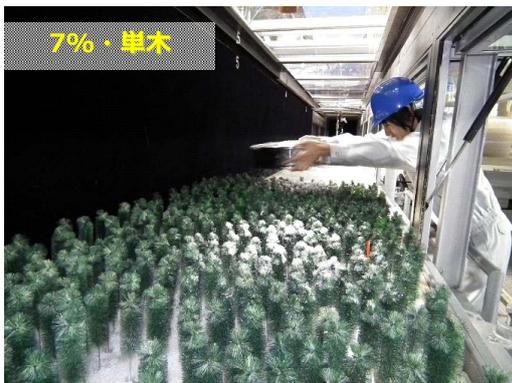


Fig. 11 Vertical profiles of skewness. (Vegetation coverage : 0%, 1.9%, 7%)

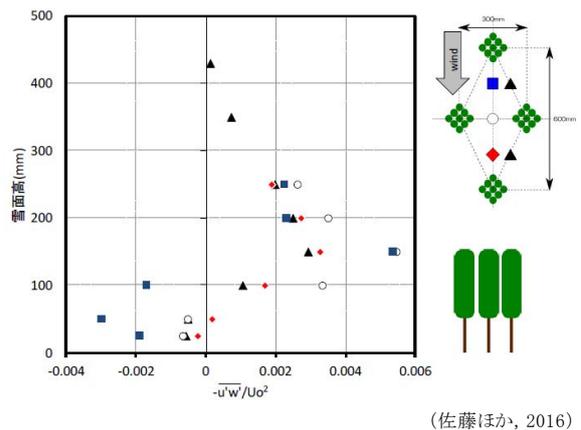


Fig. 12 Vertical profiles of Reynolds stress. (Vegetation coverage:7% (a group of 9 trees))

5. リスクを理解し大胆にチャレンジ

研究にかかわらず、何かを行うときはリスクがつきまとう。やみくもに挑戦しても時間を浪費するだけで何も得られないことも多い。段取り八分との格言があるが、研究の場合でも事前にはしっかりとレビューをし、作業仮説を立てた上で困難な課題に大胆に取り組む姿勢や勇気が必要になってくる。また、失敗してもそこから謙虚に学ぶ姿勢は貫きたい。

現場の調査にも同じことが言えるであろう。基本的に土砂災害の研究は、現場を詳細に観察し調査することが原点となる。そして、実際の現場は安全な所から見ただけでは分からない。中途半端に経験を積んだ人は、一見しただけで全体像が分かったと勘違いすることがあるので注意を要する。

災害対策のための調査は、一般に現地調査から始まり、ボーリング調査などの機構調査を経て、データを解析し最適な対策工を計画・施工することになる。土砂災害の中でも、地すべりは非常に個性が強く、同じ現場は一つとしてない。したがって、機構

解析には画一的な既往概念にとらわれず、現場の個性を尊重し理解した柔軟な判断が必要となる。

地すべりは降雨や融雪によって斜面地盤内部の間隙水圧が上昇し、発生することが多い。したがって、原因となる地下水を排除する工法は非常に重要な対策工となる。地下水排除工には、数m以浅に存在する地下水を抜く工法や、さらに深い箇所にも賦存する地下水を排除する工法がある。後者は集水井工や排水トンネル工などが代表的な工法で、比較的規模の大きい地すべりに適用される。

Table 2 Classification of landslide prevention and control works.

抑制工	地表水排除工	浸透防止工 水路工(廻水路工、排水路工、承水路工、流路工)
	地下水排除工	浅層地下水排除工 明渠工・暗渠工 地表ボーリング工 (ボーリング暗渠工、横ボーリング工) ウェルポイント工・スーパーウェルポイント工
		深層地下水排除工 集水井工★ 排水トンネル工★ 小断面排水トンネル工 ディープウェル工・スーパーディープウェル工
		地下水遮断工
	斜面改良工	排土工 押え盛土工
	侵食防止工	ダム工(堰堤工) 床固工 護岸工 波消ブロック工
	ガス排除工	
抑止工	杭工 深礎工(シャフト工) 深礎・集水併用工 アンカー工 擁壁工	
その他	待ち受けダム工 河川付替え工 河川トンネル工 軽量盛土工 垂直縫地工	

日本の地すべりは、初めて移動する地すべりは少なく、ほとんどが再活動を繰り返す特徴をもつ。そのため、対策工が施工された後も機能の低下や外的要因によって再活動し、施設が破壊されることがある。そして、自然斜面と異なり人工構造物は破壊が現れやすい特徴をもつ (Fig. 13)。

したがって、破壊の形態を詳しく調査することは、なぜ破壊が発生したのか、それが不十分な調査に起因するのか、解析の際に用いるパラメータなどの設定に問題があったのか、それとも想定外の外力がかかったのか、対策工の設計ミスなのか、あるいは施工不良だったのかなどの原因を究明する重要な手がかりとなりうる。

破壊された構造物を調査することは危険を伴う。とくに、地下構造物においては、たちまち生命の危険を伴うこともある。しかし、周到に準備して安全管理に配慮しながら現場調査を行うと、危険を冒してしか分からない様々な現象が見えてくる。このような破壊の形態やモードは我々に新たな知見と教訓を与えてくれることがある。



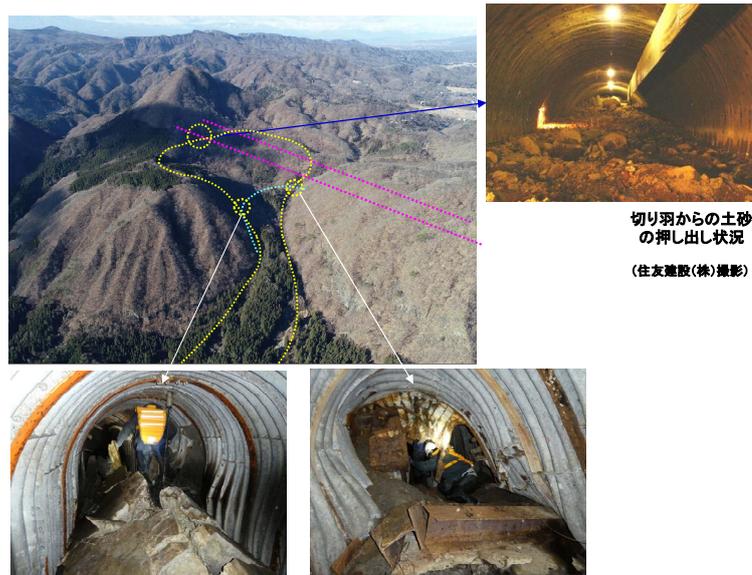
Fig. 13 Destruction of a concrete drainage well due to the displacement of reactivated landslide.

地すべり地の近傍に自動車専用トンネルを建設する際、切羽から多量の土砂が流入し、長期間にわたって工事がストップした事故が発生した。この主要な原因は、地すべりの頭部陥没帯が当初の予想よりも深い位置にあったことによる。地すべり本体を抑止・抑制するための排水トンネルも、すべり面の形状が想定と異なったことに加え、深度も深かったため、地すべり対策用の排水トンネルも破壊される事態となった (Fig. 14)。

通常、すべり面の深度や形状はボーリング調査やひずみ計の観測などで同定されることが多いが、いずれも「点」での調査となる。ところが実際のすべり面の形状は複雑で、さまざまな断面型を呈し、三次元の形状を「点」の調査で正確に把握することは難しい。このため、想定したすべり面とは異なる位置ですべり変位が発生し、対策構造物が破壊されることになる。

対策構造物の破壊は大きな損失だが、なぜ事前の調査で把握できなかったのかを教訓として次に活かす必要がある。トンネルの調査は非常に危険であるため、なかなか調査はされない。しかし、破壊された位置や形態などを直接調査できることや、すべり面の粘土などを採取できるなどメリットは大きい。

調査ボーリングの孔径は66-86mmが一般的で、そこに多様なセンサーを入れて観測することが多い。



切り羽からの土砂の押し出し状況
(住友建設(株)撮影)

Fig. 14 Deformation and destruction of drainage tunnels due to landslide displacement.

これに対して集水井の口径は通常、3,500mmあることから、人間が内部に入ることが可能で、井筒の状況を肉眼で直接、観察できるメリットがある。したがって、調査ボーリングで推定せざるを得なかったすべり面の位置や移動体の変形などの重要な情報を提供してくれる場合がある。

ただし、集水井の調査は排水トンネルに比べ、さらに大きな危険を伴う。内部は酸欠になっていることが多く、有毒ガスの湧出もあることから、入坑前の酸素濃度の検知はもちろんのこと、酸素マスクの携行や落下防止策など二重三重の安全対策をして入坑しなければならない。

中央構造線の外帯には「付加帯地すべり」が多数存在する。地質年代は古いので岩石の強度は大きいものの、付加作用によって断層や節理が発達し、山体はクリープ変形を起こし、中にはそれがすべり面に転移する場合もある (Chigira, 1992)。このような箇所に設置した集水井に変状が発生した場合、それを調査することによって、実際のすべり面の位置や変位量、さらに移動体の変形量などを検証することが可能になるばかりでなく、付加帯の地すべりの発生機構を解き明かす上で、大きな手がかりとなり得る (Fig.15)。いずれも、細心の注意を払って危険な現場に入る必要があるが、その結果、得られる成果は大きい。

いかに丁寧に調査・解析を行っていても、ミスや失敗はつきものであるが、それを漫然と見過ごすのではなく、失敗とどうやって向き合い、その原因を冷静に分析して突き止め、次に失敗をしないように

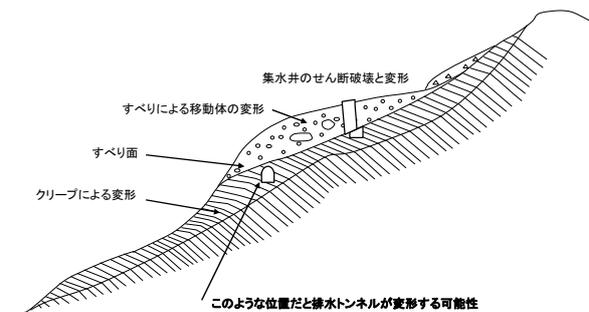


Fig. 15 Deformation and destruction of a drainage well in the accretionary prism landslides.

するための糧とする必要がある。

サイド(2015)によれば、航空業界では失敗に学ぶ姿勢があり、航空事故を減らすことに成功しているものの、医療業界では失敗を公開しない傾向があり、医療事故が減少しない理由になっているという。

災害対策についても、このような失敗事例が積極的に公開されることはあまりない。しかし、これら

の失敗の中から学ぶことによって次への成功につながる可能性が高いことから、それらを冷静に分析することが重要となる。

6. 分野横断・学際的アプローチの勧め

国連教育科学文化機関(ユネスコ)は、昭和46(1971)年に人間活動と生物圏との相互関係を理解し、資源の持続可能な利用と環境保全を促進することを目的とした国際協力プログラム「人間と生物圏計画

(MAB: Man and the Biosphere Programme)」をスタートさせた。この計画は現在でも継続され、加盟国が最適かつ効果的な政策を策定できるように支援するとともに、2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals)」の実現にも資するとされる。

現在、地球には人口、都市、食料、砂漠化など複雑多岐にわたる環境問題が山積している。中でもアジア、アフリカなどの開発途上国における山岳地域の環境が悪化して久しい(Eckholm, 1975)。人間活動の結果は土地利用の急激な改変、主として森林破壊の形態として現れる。山間地では森林が蚕食されると、土壌侵食や崩壊などを引き起こし、山地のみならず下流域にも洪水などによって甚大な影響を与える。

山岳国のネパールでも例外ではなく、人口増加に伴う森林破壊とそれに起因する土砂災害が多発している。ヒマラヤ遠征がきっかけとなり、MAB計画に触れ、複雑な要因がからむネパールの小流域における森林破壊と土砂災害に関する問題に取り組み、分野横断的・学際的アプローチの重要性を学んだ。

調査地域はネパールの北西部に位置し、ヒマラヤ

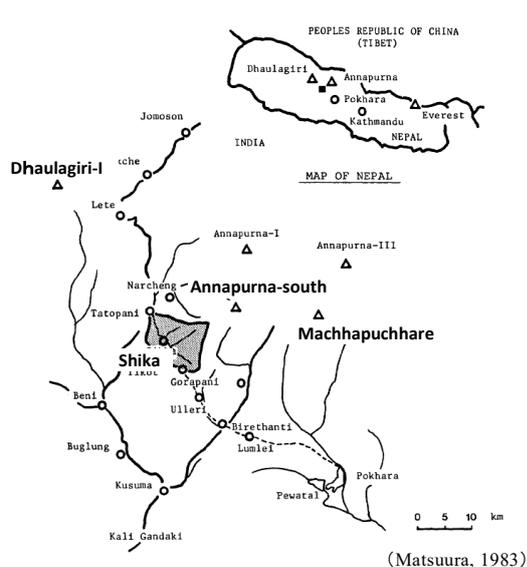


Fig. 16 Location map of Shika valley in Nepal.

山脈の南面に位置するシカ村(谷)というネパールの典型的な山村である (Fig. 16)。このシカ谷は流域面積が76.1km²であるが、最高点が標高4,700mの高山帯であるのに対し、最低点は標高1,160mの亜熱帯となる大きな垂直構造をもつ。

流域の北部にはヒマラヤの大断層の一つである主中央衝上断層 (MCT) が通過し、流域の広い範囲は脆弱な結晶片岩が基盤岩となっており、土壌侵食や溪岸崩壊、地すべりなどが多発する (Fig. 17)。当初は地すべりに焦点をあて、粘土鉱物の分析や水質分析から素因を調査し、同じような環境にある四国の中央構造線外帯の地すべりと比較研究を行った。



Fig. 17 Devastated forest lands due to soil erosion and landslides in a thick weathering area.

自然科学的な調査とは別に、流域の環境保全について分野横断的な生態学的な研究も行った。そこで見てきたものは、地域住民の価値観やコミュニティの結束力などの潜在力を活かした環境保全のあり方である。

シカ谷の標高1,800m以下には、インド・イラン語派のパルバテ・ヒンドゥー族を中心とした村が点在し、生業は稲作である。これに対し、流域の上部はチベット・ビルマ語派のマガル族の村が点在し (Fig. 18)、畑作+牧畜が主な生業で、かつてはグルカ兵として出稼ぎに出ていた (Hitchcock, 1965)。

周知のように、水田耕作は温暖な気候と豊富な水によって成立し連作障害もない。一方、マガル族の生業である畑作+牧畜は森林との関係が非常に深い。ネパールの牧畜は木の葉を家畜の飼料に与える。このため、ヒマラヤ南面に存在するカシ類を主体とした常緑広葉樹林の存在が欠かせない。この点が欧米の牧畜と大きく異なる点で、ネパールでは牧畜と森林は密接な関係にあると言えよう。

シカ谷の約2,400mの農耕限界までは人為の改変を受けて原植生は見当たらない。それ以上の高度になると、カシの類(*Quercus lamellose*, *Quercus semicarpifolia*)などの森林が出現してくる。しかし、カシ



Fig. 18 Distribution of each tribe in Shika Valley.

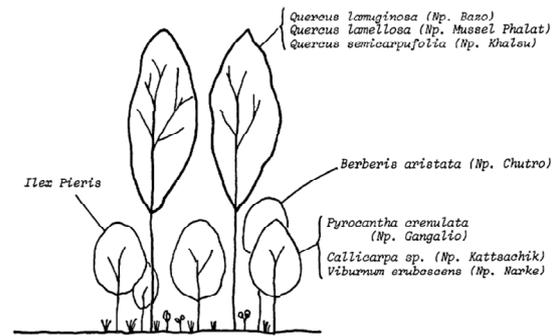


Fig. 19 Degradation of forests due to decline in dominant species and disappearance of understory vegetation.

類などの優占種は飼葉をとるために枝払いをされ、不定芽だけになった棒状の樹木が林立する (Fig. 19)。高木層の樹勢の減退も問題であるが、過放牧による天然更新の阻害や薪炭等の抽出による中低木層の破壊も森林の質の低下の大きな原因となっている。

森林との関わり方は、パルバテ・ヒンドゥー族とマガル族では全く異なる。チェットリー（上位カースト）を中心とする前者の土地所有制度は少数の地主を頂点とし、多数の小作をかかえた典型的なカースト制度を持ち、農繁期にはダマイやカミなどの下位カーストも農作業に従事する。シイカ谷では標高1,600m～1,800m付近は稲作と畑作の遷移するところで、水の便の良いところでは水田耕作が営まれている。水田耕作は畑作と違い、それほど施肥を必要としない。したがって、家畜への依存度もマガル族と比較して相対的に低く、その結果、流域上部にある森林への関心も低い。

一方、マガル族はその生業から森林とは密接な関係にあり、信仰の対象となることもある。また、施肥や耕作のため家畜は非常に重要な存在となり、したがって飼料の場としての森林は大きな意味を持つ (Kawakita, 1977)。聞き取り調査においても、マガル族は過放牧が森林破壊に結びつくことを十分に認識しているものの、現実には生活のためやむなく森林を収奪せざるを得ない状況であった。

以上のように、同じ流域に住んでいても、民族の価値観や生業パターンによって森林に対する認識の

程度も大きく異なる。シイカ谷には先駆樹種のハンノキ (*Alnus nepalensis*) が多く、荒地地周辺に自生していた。住民はハンノキが荒地地に侵入し、表層土を安定させる効果があり、タキギや丸太として利用できることを十分認識している。しかし、パルバテ・ヒンドゥー族はハンノキを積極的に保護することはない。一方、マガル族の村ではきめ細かい森林利用の規制を独自で作っており、カシ類も含めハンノキもこの対象となる。他にもモンスーン期には特定の樹木の枝払いを制限したり、夏放牧の際の仮小屋の位置を村民会議で決めるなど、森林の偏在した利用を避ける努力もしている。また造林事業にもきわめて積極的な対応をする。

ただし、同じマガル族の村でも集落の歴史や立地場所によってコミュニティの結束が大きく異なる場合がある。マガル族のパウダール村では、ガリー侵食によって集落の存在自体が脅かされる事態になっている。これに対し村民会議によって後背斜面に廻水路工を建設することを決め (Fig. 20)、政府からの補助金をもらって建設した実績をもつ。彼らは、地元で算出される結晶片岩や粘板岩などを使って、古くから培われた石工技術を用い、村人を動

員して3つの廻水路を建設した (Fig. 21) . 彼らには「結 (ゆい) 」と呼ばれる相互扶助組織があり、村の結束は非常に固い。

このように、ネパールのような多民族国家では、民族のもつ社会文化的構造だけでなくその価値観、宗教観により森林という自然に対する対応の方法も多岐にわたっている。したがって森林の再生や環境保全も単に技術的な側面からだけではなく、森林に関わる地域住民の社会織造や文化的特徴も十分に調査し尊重しながら進めていく必要がある。その際、住民が持つ自助努力能力やコミュニティの力などを活かし、地域の実情にあった適正技術を用いて森林保全に努めることが、遠回りしても持続可能な方法であると考えられる。

地球規模の環境問題を考える上で、民族地理学や文化人類学、森林生態学や地形・地質学、さらには対策技術などの分野横断的なアプローチは非常に重



Fig. 20 A meeting of the Magar tribe discussing local environmental measures.



Fig. 21 A settlement threatened by gully erosion and their own countermeasure facility.

要となる。平成18 (2006) 年度に発足した生存基盤科学研究ユニットは、平成28 (2016) 年度にグローバル生存基盤展開ユニットに発展し、平成27 (2015) 年の国連サミットで採択された持続可能な開発目標

(SDGs) に寄与することを最終目標にすることになった。ここではまさしく、分野横断的な研究を協働研究システムの枠組みを利用して推進し、新たな発想に基づいて既往概念からの脱却を進め、未踏科学の課題解決型研究を推進するものである。

この活動を通じて、エネルギー理工学研究所や生存圏研究所、化学研究所などの研究者と議論する機会に恵まれ、地すべり面の強度や摩擦特性などを明らかにするために必要な、粒子の配向・配列に対する考え方やアスペリティの評価手法などについての重要な手掛かりを得ることができた。

また、東南アジア地域研究研究所や地球環境学堂/学舎に所属する研究者からは、「地方固有の知」を真摯に学ぶ必要性を説かれた。地域住民が日常の感性を研ぎ澄ましながら自然現象を細かく観察し、地域の生活を守るために作り上げた固有の知を、観測などで得られたデータを用いて定量的に解析することで、知の背景となる自然現象を解き明かすことが可能になると思われる。さらに、科学的に裏付けされた固有の知を巧みな「わざ」として発展させることは、地域防災をより一層強靱化させることに繋がるだろう。これらは、まさに異分野との学際的な交流から生まれた成果と言える。

令和2 (2020) 年度からは持続可能社会創造ユニットに衣替えし、アジア諸国の防災・減災に貢献するため、防災研究所と東南アジア地域研究研究所が協働プロジェクトを発足させた。文理融合による学際的なアプローチが、新たな研究分野の開拓につながるとともに、防災技術の社会実装と持続可能な社会の形成に貢献することを期待したい。

6. おわりに

最近は短期的な成果を求める風潮が強くなり、地道な研究や息の長い研究は看過される傾向にあるように思えてならない。加えて、失敗は許されないような社会的風潮となってきた。これは、まさしく足の速い旅人になれと言われていたのと同じで、足下にある宝石を見逃すのではないかと危惧する。

もちろん、研究費を使っている以上、結果を出すのは当然である。しかし、ある程度余裕をもって取り組まないと、表面的な現象を少し掘り起こしただけで、ブレークスルーにつながる独創的な発想や新たな研究要素が取り残されてしまうのではないかと懸念する。また、準備万端整え果敢に挑戦しても失

敗することがあるが、問題はその失敗から教訓を得て、いかに成果を勝ち取るかが大切と考える。

最後に、寺田先生曰く「年少気鋭の科学者が科学者としては立派な科学者でも、時として陥る一つの錯覚がある。それは、科学が人間の知恵のすべてであるもののように考えることである。科学はいわゆる「格物」の学であって「致知」の一部に過ぎない。」と述べている

これは、科学は物事の本質を見極める手段であって全てではなく、得られた知識や知見を正しく使用できる英知にまで深化させることが重要という意味とも解釈できる。次世代を担う若い篤学の士に参考となれば幸いである。

謝 辞

本稿は、令和3(2021)年2月の防災研究所特別講演の内容を文章に書き起こしたものです。防災研究所での10年間は大変楽しく、また有意義に研究・教育活動を行うことができました。防災研究所はもちろんのこと、理学研究科やグローバル生存基盤展開ユニットなどでは、数多くの皆様に大変お世話になりました。記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 青山清道, 中俣三郎, 小川正二(1984): 融雪期における地すべりと雪の相関性に関する検討, 地すべり, 21(3), pp.11-16.
- 川喜田二郎 (1967): 発想法 - 創造性開発のために -, 中公新書, 中央公論社, 202p.
- サイド マッシュー(2016): 失敗の科学 失敗から学習する組織, 学習できない組織 (有枝 春訳), ディスカヴァー・トゥエンティワン, 343p.
- 佐藤北斗, 松浦純生, 阿部 修, 平島寛行, 丸山 敬, 中町 聡, 柴崎達也, 大澤 光(2016): 樹木分布が強風時の融雪特性に及ぼす影響, 京都大学防災研究所年次発表会, P35.
- 寺田寅彦(1948): 科学者とあたま, 小宮豊隆編:「寺田寅彦随筆集 第四巻」, 岩波文庫, 岩波書店, pp.246-252.
- 中町 聡, 松浦純生, 平島寛行, 阿部 修, 阿部和時 (2017): 樹木模型を用いた予備的な融雪実験, 日本雪工学会誌, 33(3), pp.10-15.
- 松浦純生, 落合博貴, 竹内美次, 梁瀬秀雄(1992): 豪雪地帯における地すべり自動観測システムの開発, 地すべり (日本地すべり学会誌), 29(3), pp.18-26.
- 松浦純生, 竹内美次, 浅野志穂, 落合博貴(1996): 強風時における山地斜面の融雪特性, 水文・水資源学会誌, 9(1), pp.48-56.
- Chigira, M. (1992): Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep, *Engineering Geology*, 32, pp.157-184.
- Eckholm, E. P. (1975): The Deterioration of Mountain Environment, *Science*, 189, pp.764-770.
- Hitchcock, J. T. (1965): Sub-tribes in the Magar community in Nepal, *Asian Survey*, 5(4), pp.207-215.
- Kawakita, J. (1977): The Hill Magars and Their Neighbors (Hill Peoples Surrounding the Ganges Plain, III), Tokai University Press, 484p.
- Kondo, J. and Yamazawa, H. (1986): Bulk transfer coefficient over a snow surface, *Boundary-Layer Meteorology*, 34, pp.123-135.
- Matsuura, S. (1983): An Ecological Study on the Mass-Wasting and Erosion in a Catchment Area of Nepal Himalayas, Association for Technical Cooperation to the Himalayan Areas (ATCHA), 61p.
- Matsuura, S., Asano, S., Okamoto, T., Matsuyama, K, and Takeuchi, Y. (2003): Characteristics of the displacement of a landslide with shallow sliding surface in a heavy snow district of Japan, *Engineering Geology*, 69, pp.15-35.
- Matsuura, S., Okamoto, T., Asano, S., Osawa, H. and Shibasaki, T. (2017): Influences of the snow cover on landslide displacement in winter period: A case study in a heavy snowfall area of Japan, *Environmental Earth Sciences*, 76:362, pp.1-10.
- Okamoto, T., Matsuura, S., Larsen, J. O., Asano, S. and Abe, K.(2018): The response of pore water pressure to snow accumulation on a low-permeability clay landslide *Engineering Geology*, 242, pp.130-141.
- Osawa, H., Matsuura, S., Matsushi, Y. and Okamoto, T. (2017): Seasonal change in permeability of surface soils on a slow-moving landslide in a heavy snow region, *Engineering Geology*, 221, pp.1-9.
- Shibasaki T., Shinoda K. and Yamasaki T. (2008): Possible mechanism to explain various landslide behaviors during snow season. International conference on management of landslide hazards in the Asia-Pacific Region, pp.809-817.

(論文受理日: 2021年9月30日)