

雪氷災害研究グループの現状と展望

河島克久*・和泉 薫*

Recent state and future subjects in snow and ice disaster research

by

Katsuhisa KAWASHIMA* and Kaoru IZUMI*

はじめに

新潟県を中心とする本州の積雪地域は温暖多雪であるとともに、地殻変動が活発な北部フォッサマグナ地帯にも位置している。そのためこの地域は日本列島有数の災害多発地域でもある。とりわけ新潟県はこの地域の中央に位置しており、降積雪量、雪崩危険箇所数とも群を抜いて多い。また、新潟県は、「豪雪地帯対策特別措置法」によって全県が「豪雪地帯」に指定され、さらに県土の面積の約70%が「特別豪雪地帯」に指定されている。

このような温暖多雪地域で発生する雪氷災害は多種多様な側面を持つ。その中で雪崩は地震にも似た突発的災害であり、医療で言うところの急性疾患的要素をもつ災害として認知度が高い。雪氷災害のもう一つの本質は、毎冬、広域にわたる生活圏が積雪で覆われ、日常の生活に支障をきたす慢性疾患的要素が強いところにある(小林, 2003)。例えば、吹雪や視程障害等による交通事故、屋根雪処理に伴う高所からの転落事故、流雪溝など水路への転落事故などによる死傷者が毎年後を絶たない。この結果、個々の事故の規模は地震災害などに比べて小さいケースが多いものの、その発生頻度が格段に高いため、リスク(=規模×頻度)という概念で評価した場合、雪氷災害はリスクの高い自然災害であることが認識される(上村, 2003)。

近年、温暖多雪地域において暖冬少雪の冬が頻繁に出現するようになりつつあり、地球温暖化との関連が議論されている。温暖化は、それが進行していく過程において雪氷災害にも影響を及ぼし、従来あまり認識されてこなかった複雑化した災害を引き起こす可能性が高い。最近、多発化傾向にある雪泥流災害、融雪土砂災害、ブロック雪崩災害、雪渓崩落災害などは温暖化の影響が顕在化したものと言うことができる。

本稿では、まず積雪地域災害研究センターでこれまで行われてきた雪氷災害に関する研究を概観した後に、今後の研究の方向性や展望を当センターで掲げた平成16年度からの中期的研究課題を踏まえて説明する。

これまでの研究課題と成果

研究課題

これまで、雪氷災害研究グループでは、豪雪地帯である新潟において、地域から極域に至るまでの雪氷現象、雪氷災害、雪氷環境、雪氷文化の解明に取り組んできた。具体的な研究課題は以下のとおりである。

- (1)雪崩災害の履歴と発現機構の解明及び災害対策
- (2)雪泥流災害の履歴と発現機構の解明及び災害対策
- (3)融雪に起因する雪氷災害の研究
- (4)道路雪氷災害の研究
- (5)極域雪氷圏環境の研究
- (6)雪氷災害に関連する積雪の地域的特性と降雨・降雪量予測の研究
- (7)雪氷文化の研究とその教育・普及

雪崩災害に関する研究の概要と成果

上記の研究課題のうち、ここでは特に重点的に取り組んできた「雪崩災害の履歴と発現機構の解明及び災害対策」に関する研究を取り上げ、その研究概要と成果を述べる。

雪崩災害は他の雪害と違って突発的な一過性の災害で、地震、台風、津波などと同様、災害としてのインパクトが強い。新潟県ではこの雪崩災害が都道府県別で最も多く発生しており、雪崩による死者も最も多い。そこで当グループでは、雪崩災害を主要な研究テーマの一つとし、過去の災害履歴の把握によって災害ポテンシャルを分析し、新潟県内外で発生した雪崩災害の現地調査によって災害の発現機構、流動機構を解明し、その検知技術や防止対策を研究してきた。また、世界的にまだ未解明の部分が多い氷雪崩についても南米パタゴニア地域で調査を行った。本研究により得られた代表的な成果は次のとおりである。

- (1)これまで未解明であった本州中部域における表層雪崩の弱層に関して、多くの現地調査からしもぎらめ雪やぬれぎらめ雪が弱層となりうること、及びそれらが形成される気象条件を明らかにした。特に弱層となる強度低下したぬれぎらめ雪の形成過程に関しては、ぬれ雪が日射を受けると急速に強度低下すること

*新潟大学積雪地域災害研究センター

を低温室内実験から明らかにし(図-1), 本州における表層雪崩の発生過程の解明に大きく貢献した(Izumi, 1987).

- (2)1981年の56豪雪以降, 国内で発生した主な雪崩災害について, 発生する度に現地に赴き実地調査を行ってきた. 特に, 1986年1月の新潟県能生町柵口の大惨事(死者13名)や2000年3月岐阜県上宝村で発生した3.27左俣雪崩災害(日本最大規模の表層雪崩)では, 当グループの研究者が調査活動の代表者となり, 他機関の研究者と共同で雪崩発生に至る気象・積雪過程(発生要因), 雪崩の運動・流動, 被災状況を明らかにするとともに, 今後の防災対策を提言し, 地域の雪崩防災について学術的貢献を果たした(小林, 1986; ㈱日本雪氷学会, 2001).
- (3)雪崩災害の過去の履歴を調べておくことは, 地域の雪崩災害ポテンシャルを把握し, 今後起こりうる雪崩災害に備える上で欠かせない. そこで古文書, 歴史書, 中央及び地方新聞記事などを網羅的に調査して, 日本国内の都道府県別雪崩災害データベースの作成に取り組んだ. その結果, 新聞記事によって調べることが可能な20世紀に関しては, 100年間のデータベースが

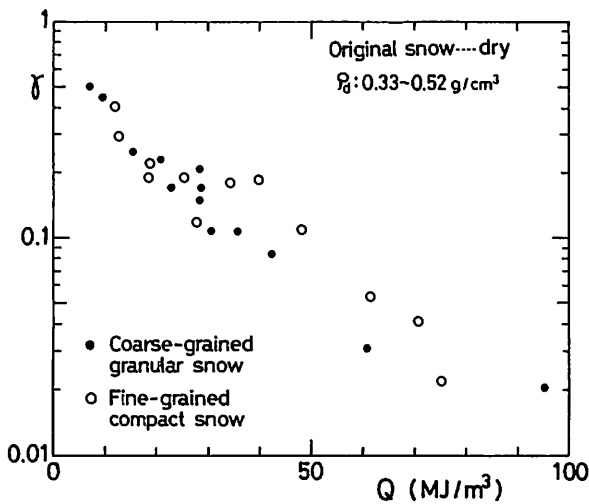


図-1 日射量(Q)と雪の硬度減少率(γ)との関係

まとめ(図-2), それを公表した(http://www.argos-net.co.jp/nadare_bunkakai/nadare_db/). 20世紀百年間の日本では, 7168件の雪崩災害が発生し5349名の人命が失われ, 1年たりとも雪崩死者の出ない年はなかったことが明らかにされた(Izumi et al., 1997).

- (4)1986年1月, 新潟県能生町島道鉦泉において柵口雪崩とはほぼ同時刻に発生していた表層雪崩が, 同所に設置されていた東京大学地震研究所の地震計に記録されていたことを見出した(図-3). この地震計の震動記録から島道鉦泉雪崩の運動を解析した結果, 地震計で雪崩の発生検知が可能で, 震動は雪崩の運動状態を反映していることを日本で初めて明らかにした(和泉・小林, 1986). その後, 島道鉦泉に災害研の地震計を設置し観測を行って, 雪崩の震動は自然地震の震動と区別できることを明らかにし, 地震計を使った表層雪崩の発生検知・警報システムを提案した.
- (5)新潟県入広瀬村浅草岳(図-4)において, 2000年6月山菜取り遭難者の捜索・救助隊がブロック雪崩に襲われて4名が死亡する災害が発生した. 現地調査, 気象解析, 過去の災害事例調査, 運動シミュレーションを行って, この浅草岳ブロック雪崩の規模, 発生・運動過程など実態を解明した(和泉ら, 2002). 災害を引き起こしたブロック雪崩としては最大規模であったこと, 時期的に多量の雪ブロックが残っていた原因, 雪ブロックの速度, 衝撃力などが明らかにされた. ブロック雪崩が学術的に研究されたのはこれが初めてである.
- (6)氷雪崩(Ice avalanche)は, アクセスが大変なことや調査に危険を伴うことなどのため, これまで世界的に見ても研究は非常に少ない. そこで文部省科学研究費による南米パタゴニア・ソレル氷河調査に際して, 氷雪崩の観測を行った(筑波大, 北大との共同研究). その結果, 氷河雪崩の発生は小規模なものは日射の照射と, 規模の大きなものは氷河からの融水の流出や氷河の流動変化と関係すること, 集中して発生する領域が時間的に移

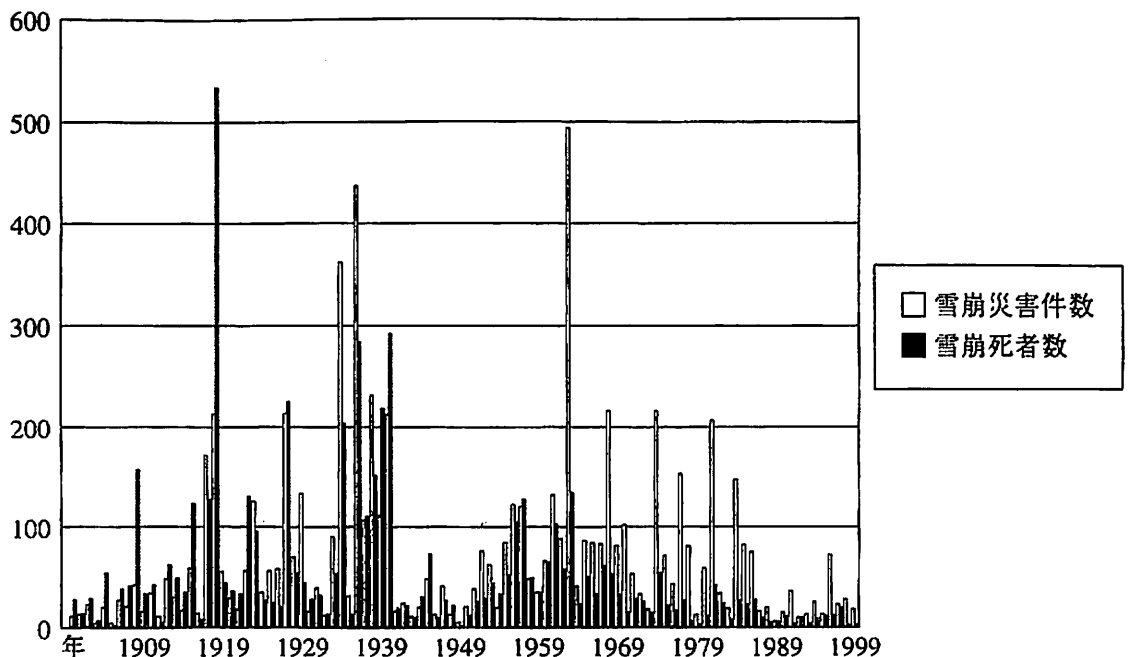


図-2 日本における雪崩災害件数と雪崩死者数の経年変化(1900~1999)

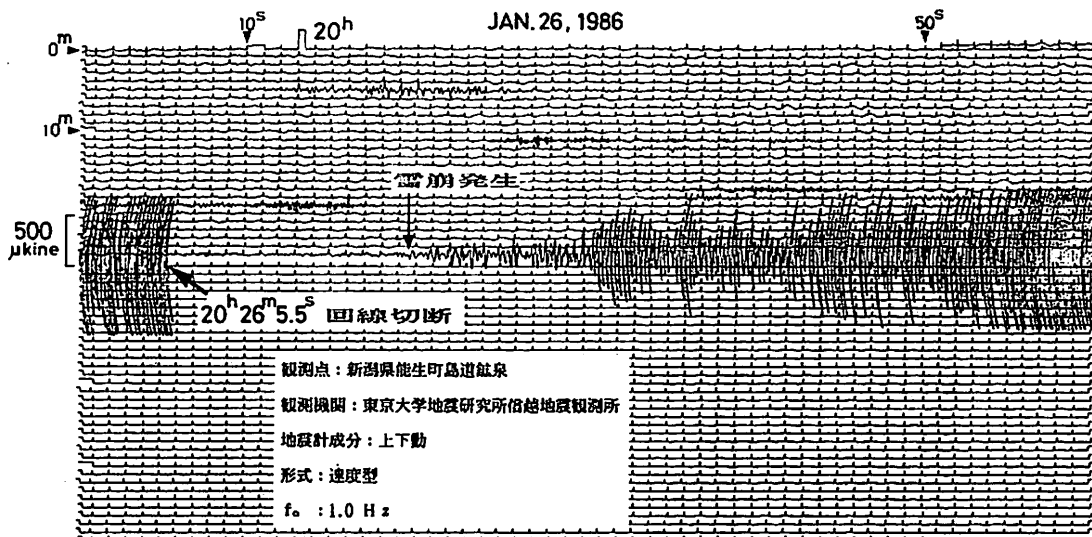


図-3 地震計に記録された雪崩の運動

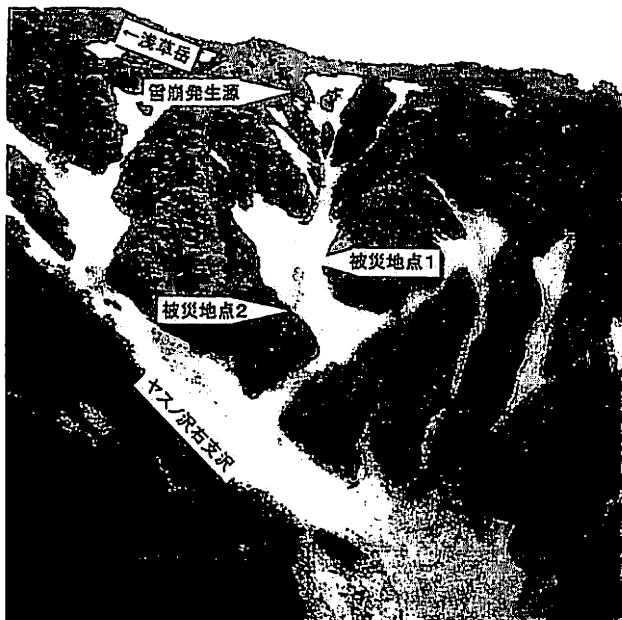


図-4 ブロック雪崩発生直後の災害現場
(2000年6月18日新潟県警撮影)

動すること、大規模な氷雪崩は先行する小雪崩を伴うなど雪なだれと同様の発生形態を示すことを明らかにした(Izumi and Naruse, 2002)。

地球温暖化が雪氷災害に与える影響

地球温暖化予測とその影響評価を行う国際的な枠組み「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第三次報告書(2001年)では、20世紀の100年間に全球平均で気温が0.6℃上昇し、その影響が多方面に現れていることが明記された。気象庁の調査では、我が国における20世紀の気温上昇は1.0℃とされており、世界全体のものよりも大きい。また、気象庁が地域気候モデルを用いて予測した約70年後の1月の月平均気温は、新潟県を含む本州の日本海側地域のほとんどで2.0~2.2℃上昇するとされており、20世紀に比べて昇温が一層加速する可能性が高い(気象庁, 2002)。

このような温暖化の進行は、積雪地域から雪を完全に消滅させるといった単純なものではなく、むしろその進行過程においてこれま

であまり経験したことがない現象を生むものと考えられる。例えば、厳冬期に雨が降る頻度が山間部でも著しく高まったり、積雪が存在する中で豪雨が発生したりといった現象である。さらに、山元(2004)が指摘しているように、温暖化によって降水量や気温の年々変動が拡大する傾向にあるため、突如として豪雪に見舞われる冬が出現する可能性もある。1995/96年冬期に北陸地方から東北地方を襲った豪雪(死者13名、雪崩災害78件)や2004年1月に北海道東部が見舞われた記録的大雪などはその好例であり、暖冬少雪に慣れ、住民や社会の危険意識が低下した状況下では大災害につながりかねない。

今後取り組む雪氷災害研究

今後の研究の位置付けと課題

積雪地域災害研究センターでは、今後重点的に取り組む領域を大きく2つに絞り、平成16年度からの中期的研究課題として掲げた。雪氷災害に関する今後の研究の方向性は、その内の1つである「地球温暖化にともない新潟地域のような温暖多雪地域で、より複雑化する雪氷・土砂災害と、都市から中山間地の複合雪氷・土砂災害の発生予測と減災に関する研究」によって位置付けられる。この中期的研究課題の中のキーワードは、「地球温暖化」と「複雑化・複合化した雪氷災害」である。複雑化・複合化した雪氷災害の例としては、厳冬期の大雨などのように温暖化の影響を受けて発生する水と積雪が複合化した災害や、水害や地震などによる地表変動と積雪が複雑に絡み合って発生する災害などがあげられるであろう。

この中期的研究課題を重視し、さらにこれまで実施してきた研究の実績や継続性を考慮した上で、雪氷災害研究グループとして今後取り組むべき研究課題を以下のように設定している。

(1) 降雨・融雪が関与した雪氷災害

- 雪泥流の発生過程と始動メカニズムの解明
- ブロック雪崩の運動及び衝撃力特性の解明
- 山岳雪渓の崩壊現象の解明

(2) 自然・社会環境の変貌が招く複雑化した雪氷災害

- 水害、地震等による地表変動がもたらす雪氷災害(雪崩、融

雪土砂災害)

(3)温暖多雪地域における近年の雪氷圏変動の実態把握

- 冬期降水の変動特性の解明
- 積雪水量および融雪量の空間分布の評価

(4)継続的に取り組む雪崩災害の研究

- 表層雪崩の弱層の形成機構に関する研究
- データベースによる雪崩・雪泥流災害史の体系化

雪泥流に関する今後の研究計画

上記の研究課題のうち、ここでは特に重点的に取り組む予定でいる「雪泥流の発生過程と始動メカニズムの解明」に関する研究を取り上げ、その研究計画を述べる。

雪泥流は日本を含む世界各地の寒冷雪氷圏でみられ、発生場所によっては甚大な被害をもたらす災害現象として、また斜面の地形形成営力として注目を集めている。近年では地球温暖化による雪泥流現象の多発化・大規模化が懸念されており、その実態把握が急務の課題となっている。

積雪地域災害研究センターは、雪泥流の研究を組織的に取り組んでいる我が国唯一の機関であり、これまで日本国内の雪泥流災害の発生履歴調査、雪泥流災害調査、河川内積雪調査などを行うとともに、低温実験室内で雪泥の粘性係数及び衝撃力の測定や、雪泥流の再現実験を他研究機関と共同で精力的に進めてきた(小林, 1995; 和泉1997; 小林1998)。その結果、雪泥流の発生履歴と発生条件、雪泥の物性に関して多くの新知見を得ている。しかし、過去に雪泥流の始動や流動を実見・観測した研究者は国内外ともにほとんどなく、発生時の積雪、気象、水文などに関する現場データの欠如が、雪泥流の発生過程や始動メカニズムの解明にとって大きな障害となっている。

以上のような雪泥流研究の実状に鑑み、本研究課題では現場観測によって雪泥流の実態に関するデータを獲得し、その発生過程と始動メカニズムの解明を目指す。本研究の特色は、従来の我が国における雪泥流研究では雪氷学的アプローチが中心であったのに対し、これを流域水文現象として捉え、水文気象学、雪氷学、水文地質学の見地から総合的に実態把握しようとする点である。このような着眼点に至った理由には、新潟県で発生する雪泥流にみられる特徴が大きく関係している。すなわち、新潟県では雪泥流の多くが渇水期に表面水流が消失する沖積扇状地上の河川(失水河川)において、厳冬期(1~2月)に強い降雨を伴って発生している。このことは、雪泥流の発生過程を明らかにするためには、積雪流域における厳冬期の降雨流出過程(rain-on-snow events)を解明する必要があることを意味する。また、雪泥流の始動メカニズムに地表水と地下水の交流関係が関与していることを強く示唆している。したがって、厳冬期における降雨の河川流出過程、表面水流の伏没・復水過程、河道上積雪への水の浸透・流下過程をそれぞれ定量的に把握し、その上で雪泥流の発生過程と始動メカニズムを論じる必要がある。

本研究では、研究対象流域を豪雪地域にあり、越後三山を源とする水無川流域(新潟県南魚沼市、図-5)に絞り、以下の(1)~(4)の解明を目指す。なお、水無川は扇状地に形成された典型的な失水河川であり(図-6)、扇頂から扇端に至る河道において雪泥流が頻繁に発生する河川であることが事前調査によってわかって

いる(図-7)。

(1)扇頂部における水文気象観測とその解析から、厳冬期の降雨から生じる河川流出の応答特性を定量的に明らかにする。

(2)扇状地の地下構造や帯水層構造を調べ、扇頂から扇端に至る表面水流の伏没・復水過程を明らかにする。

(3)河道上積雪分布調査や完全伏没区間の調査から、河道上における積雪の形成過程を明らかにする。

(4)降雨時における表流水の積雪内部への浸透過程を観測し、積雪内に形成される自由水面(water table)の動態と雪泥流始動との関係を明らかにする。

上記(1)~(4)により、雪泥流を流域の水循環過程の中に位置付けることで、その発生過程の全容を理解できるとともに、始動メカニズムの解明が可能になるものと考えられる。また、本研究から得られる成果は、将来の雪泥流発生予測手法の開発や雪泥流運動モデルの構築に大きく貢献するものと確信している。

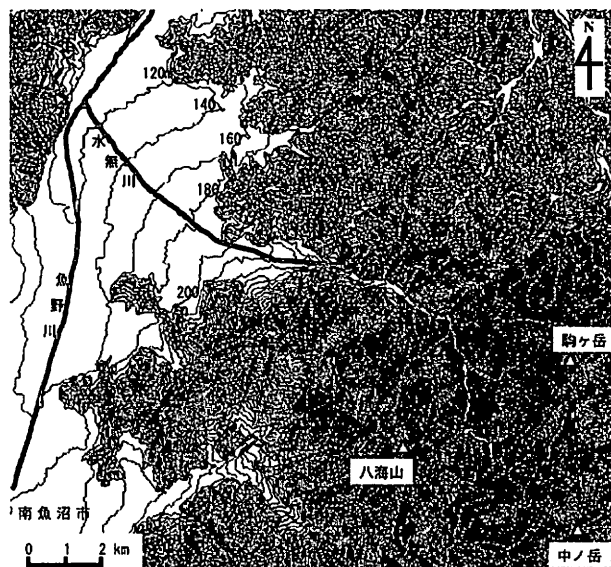


図-5 水無川周辺の地形(等高線の間隔は20m)

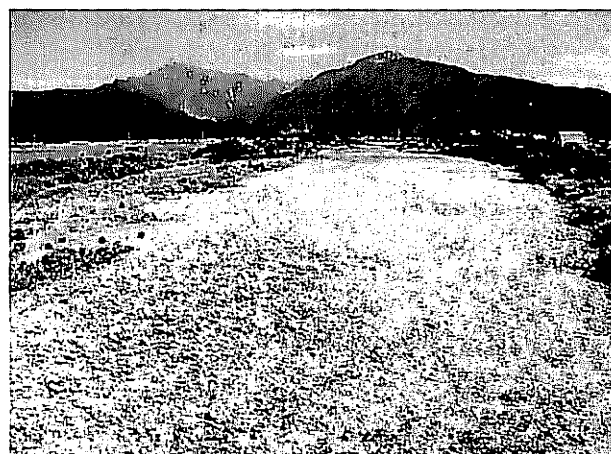


図-6 渇水時の水無川下流部(表面水流が消失した状態)

文 献

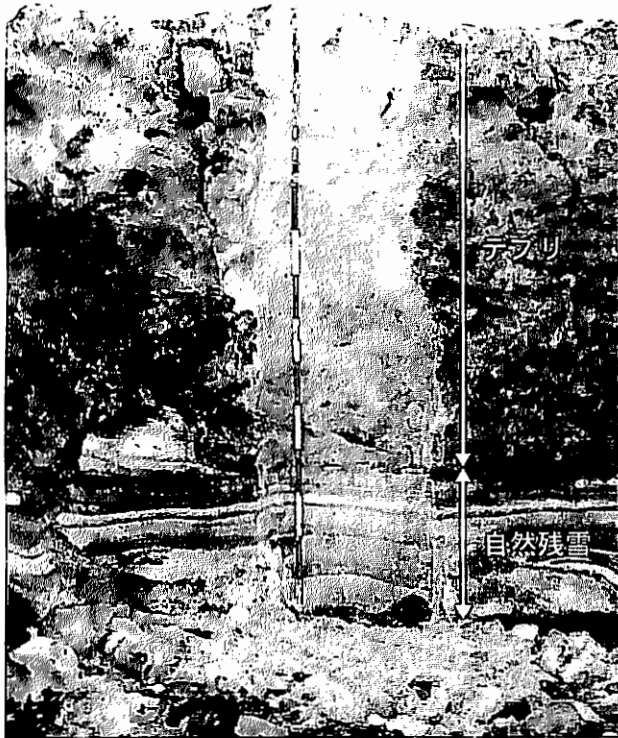


図-7 2004年2月23日に発生した雪泥流のデブリ
(自然積雪の上に堆積、厚さ2.1m)

おわりに

本稿では、積雪地域災害研究センターでこれまで行われてきた雪氷災害に関する研究を紹介するとともに、今後取り組む研究課題について当センターで掲げた平成16年度からの中期的研究課題を踏まえて述べた。

新潟地域のような温暖多雪地域では冬期の平均気温が雪氷の融点(0℃)付近であるため、わずかな気温の変動が雪氷現象を大きく変える。その意味で、新潟地域は地球温暖化の影響をまともに受ける雪氷圏の一つであり、将来、自然環境の変貌や社会システムの変革とも相まって、我々が経験したことがないような雪氷災害が出現するかもしれない。そのような災害にも戸惑うことなく適切に対応するためには、現場に根ざした研究活動を地道に続けることが重要である。

なお、ここで挙げた今後の研究課題については、これまでに引き続き、必要に応じて関連する研究機関、自治体、産業界と連携を取りながら、学際的かつ総合的に研究活動を推進していきたい。また、研究成果の公表と普及・啓蒙活動を積極的に行い、関連分野の学術的進展や成果の地域還元に向けていく予定である。

Izumi, K. (1987): Studies on the hardness of wet snow and its decrease due to solar radiation, Annual Report of Research Institute for Hazards in Snowy Areas, **9**, 1-42.

和泉薫(研究代表者)(1997):雪泥流(Slushflow)災害の発生条件分析と防災対策の検討,平成8・9年度科学研究費補助金基盤研究(C)研究成果報告書,76pp.

和泉薫,小林俊一(1986):地震計に記録された表層雪崩.新潟大災害研年報,**8**,99-104.

和泉薫,小林俊一,永崎智晴,遠藤八十一,山野井克己,阿部修,小杉健二,山田稔,河島克久,遠藤徹(2002):2001年6月新潟県浅草岳で発生したブロック雪崩災害の実態.雪氷,**64**(1),39-47.

Izumi, K., Kobayashi, S., Yano, K., Endo, Y., Ohzeki, Y. and Watanabe, S. (1997): Statistics on avalanche accidents in the central part of Japan. Snow Engineering, Recent Advance, Izumi, Nakamura and Sack (eds), Balkema, Rotterdam, 91-96.

Izumi, K., Naruse, R. (2002): Ice avalanche activities at Soler Glacier, northern Patagonia, in the summer of 1998. Bulletin of Glaciological Research, **19**, 81-84.

上村靖司(2003):新潟県における人身雪害のリスク分析.雪氷,**65**(2),135-144.

気象庁(2002):20世紀の日本の気候.財務省印刷局,116pp.

小林俊一(研究代表者)(1986):新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究.文部省科学研究費,自然災害特別研究突発災害研究成果(B-60-8),90pp.

小林俊一(研究代表者)(1995):雪泥流の発生機構とその災害特性.平成5・6年度科学研究費補助金一般研究(B)研究成果報告書,92pp.

小林俊一(研究代表者)(1998):雪泥流の凝集構造の解明,平成8・9年度科学研究費補助金萌芽の研究研究成果報告書,91pp.

小林俊一(2003):地球温暖化による積雪災害の変化.学術月報,**56**(7),693-698.

財団法人日本雪氷学会(2001):日本最大の雪崩はいかにして起こったか-3.27左俣谷雪崩災害調査報告書-.68pp.

山元龍三郎(2004):地球温暖化と気象変動の増大.電力と気象,**38**,71-99.