

北アルプス・白馬大雪渓における落石 および雪面滑走岩片のモニタリング

刈谷 愛彦* 松永 祐** 宮澤 洋介***
小森 次郎**** 石井 正樹***** 佐藤 剛*****

Monitoring Rockfall and Supranival Debris Movement in the Shirouma Daisekkei Valley, Northern Japanese Alps

Yoshihiko KARIYA*, Yu MATSUNAGA**, Yosuke MIYAZAWA***,
Jiro KOMORI****, Masaki ISHII***** and Go SATO*****

Abstract

The Daisekkei Valley (1600-2300 m ASL) is a late Pleistocene glaciated trough in the northern Japanese Alps, and its attractive landscape has enchanted many climbers. Even today, there is a late-lying snowpatch 2 km long at the bottom of the valley in midsummer. Unique natural conditions in and around the Daisekkei Valley (e.g., Quaternary rapid uplift, complex geology, humid climates, sparse vegetation cover) have been responsible for the occurrence of various geomorphic changes that threaten climbers. This study, using an image data-logger capable of capturing a JPG image with a fixed time-interval in the summer of 2007 reveals supranival debris movements, micro-weather conditions and the behavior of climbers in the Daisekkei Valley. Analysis of captured images indicates that the daily numbers of dangerous supranival debris movements gradually decreased from early June to early August and supranival debris movements were caused by rock fragments moving in from valley walls or tributaries to the snowpatch, as well as posture changes of rock fragments on the snow surface with rapid ablation. Besides, image-inspection allows us to consider the relationships among climber traffic, micro-weather, and holiday almanac. Using an image data-logger for monitoring geomorphic changes is considered to be effective for analyzing alpine environments.

* 専修大学文学部環境地理学研究室

** 海洋研究開発機構

*** 北陽建設

**** 日本大学文理学部地球システム科学教室

***** 長野県庁

***** 帝京平成大学現代ライフ学部

* Department of Environmental Geography, Senshu University

** Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

*** Hokuyo General Constructing Co., Ltd.

**** Department of Earth System Science, Nihon University

***** Nagano Prefectural Government

***** Faculty of Modern Life, Teikyo Heisei University

Key words : rockfall, monitoring, image data logger, mountaineering, Mount Shirouma-dake
キーワード : 落石, モニタリング, 画像データロガー, 登山, 白馬岳

I. はじめに

長野県白馬村白馬尻と白馬岳（標高 2932 m）山頂とを結ぶ通称「白馬大雪渓」ルートは、北アルプスの代表的な登山路である（図 1）。一方、大雪渓沢（本稿では、同地の谷底を埋める雪渓を大雪渓、この谷地形を大雪渓沢、ここを通る登山道を大雪渓ルートと仮称する）の谷底や谷壁では融雪期～根雪開始期を中心に様々な地形変化や雪氷の変質が生じており（例えば、Kawasaki *et al.*, 2006）、それに因する登山事故が毎年のように起きている（小森, 2006）。とくに、広い意味での落石や、岩片の雪面滑走—岩壁や未固結堆積物から剥離・落下・転動した岩屑が谷底の雪渓まで達し、それらが雪面で停止せず、またはいったん停止しても再転動して滑走する現象—は、時間や天候を問わずに発生しているとみられ危険性が高い（荻谷ほか, 2006; 荻谷, 2007, 2008）。しかし大雪渓谷では、こうした地形変化の実態は散発的にしか解明されていないのが現状で、とくに日々生じている落石のように小規模・高頻度な現象は調査それ自体が危険なことから、大雪渓沢以外でも日本の高山での取り組みはごく少ない（例えば、岩船, 1996; Matsuoka and Sakai, 1999）。

落石は植被に乏しい高山・寒冷域での地形変化に重要と考えられ、その発生時期や斜面後退速度の評価は地形学的に重要な課題である（French, 2007）。またそればかりではなく、大雪渓ルートのように通過者の多い登山路では、土砂災害につながる地形変化の発生機構や発生時期のほか、重大な傷害を受ける可能性がある登山者の動態を解明することも事故抑止のためには重要である。そこで本研究では、大雪渓沢下部に静止画像データロガー（IDL）を設置し、地形や雪氷、気象の状態および登山者の行動を観察・解析した¹⁾。

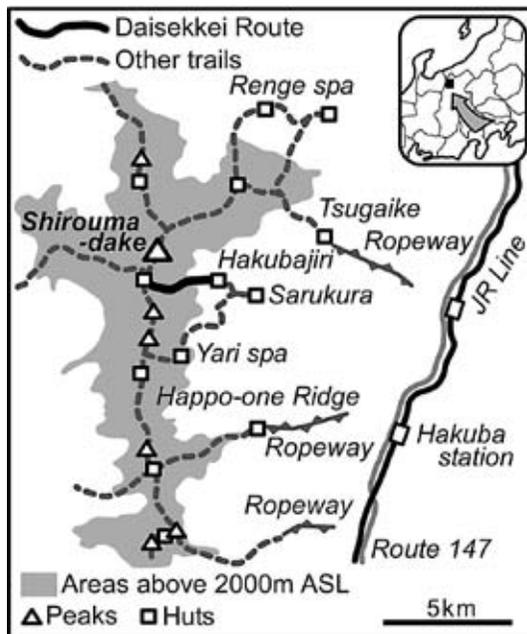


図 1 白馬大雪渓ルートの位置。

Fig. 1 Location of the Daisekkei route and its surrounding mountains in the northern Japanese Alps.

II. 調査地域

白馬岳の東面一帯は姫川水系北股入の流域となっており、その最上流部には白馬岳の南西面と北東面をそれぞれ流域とする大雪渓沢と白馬沢とが存在する（図 2）。大雪渓沢には、その名の由来でもある全長約 2 km に達する残雪が夏季もみられる。この雪渓は北アルプスの象徴的な観光資源の一つとなっている。

大雪渓沢の源頭では、白馬岳の南側と杓子岳（標高 2812 m）の北側にそれぞれ 1 つの圏谷があり、両圏谷底から白馬尻まで谷は直線的に東流する。圏谷底の周辺には堆石堤が分布し、大雪渓沢は水食谷と考えられている（小疇ほか, 1974; 石井・小疇, 1999）。

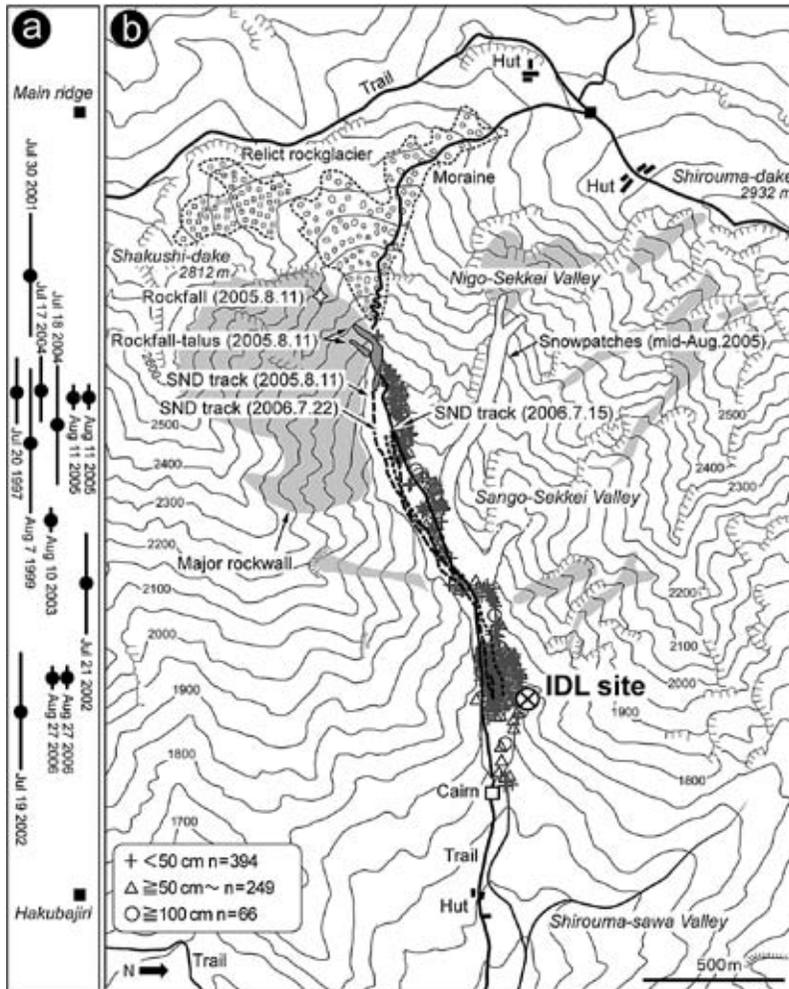


図 2 大雪渓における落石分布，雪面滑走岩片の軌跡，残雪分布，および本研究での画像データロガーの設置点（荻谷，2008 を改作）。

(a) は最近 10 年間の重大な事故の発生地点・発生日（小森，2006）を示す。(b) は判明している主な地形変化を示す。2006 年 7 月 14 日に残雪上で確認された落石（長径 30 cm 以上）の位置と粒度を記号で表す。雪面滑走岩片の軌跡（SND）と登山道の位置は GPS で測量した。

Fig. 2 Positions of rockfall debris, supranival debris movement tracks, late-lying snowpatches, and image-data logger site in the Daisekkei Valley (reproduced from Kariya, 2008).

(a) Locations of significant climbing accidents during the past 10 years (after Komori, 2006). (b) Previously reported major geomorphic changes. Rockfall debris (larger than 30 cm long axis) on snow surface and their size classifications, as of 14 July 2006, with cross, triangle and open circles. Tracks of supranival sliding debris (SND) and mountain trail were measured with a hand-held GPS receiver by the authors.

大雪渓沢周辺の地質は，飛騨外縁帯の古生界・中生界，新第三紀の貫入岩類および未固結第四系からなる（中野ほか，2002）。それらの多くは，断層で接したり，著しく変形したりして複雑な分

布を示す。

III. モニタリングの方法

IDL はコーナシステム KADEC21 EYE II (100

万画素カラー CCD、レンズ水平画角約 42 度、電池・記憶素子内蔵)を用い、その筐体に風化岩石状の擬装塗色を施し、基盤岩に取り付けた。設置点は大雪渓沢左岸谷壁下部(図 2、標高 1730 m)とし、レンズ光軸の方位角は約 240 度、仰角は約 5 度とした。これは大雪渓沢下部を中心に、大雪渓沢のほぼ全域を見通すことが可能な設定であり、2005 年に岩屑量約 8000 m³の中規模崩壊を起こした杓子岳北面の岩壁(Kariya *et al.*, 2007)も視野に含まれる。

IDL は 2007 年 6 月 10 日～8 月 7 日、毎日 3 時 30 分～19 時 0 分の間の毎時 0 分と 30 分に撮像するよう設定した(6 月 10 日は 10 時 0 分記録開始)。当初は 11 月下旬まで撮像を行う予定だったが、8 月 7 日に浸水による電子回路の損傷が発生し、作動が停止した。このため、これ以後の記録はない²⁾。また 7 月 9 日 15 時 0 分～7 月 10 日 6 時 30 分は保守のために撮像を中断した。画像(jpg 形式)は CF カードに記録された。1 画像の容量は約 100～200 kB で、記録できた全ファイルは 1767 だった。

画像の静止画、または静止画を疑似動画化した映像を用いて、主に肉眼で解析を進めた。解析項目は、気象、通過登山者数、落石・雪面滑走岩片などである。このほか、関連する野外調査を 2007 年 5 月～11 月に複数回行った。

IV. 結果および考察

1) 撮像状態および気象

IDL の自動露出機能により、日出から日没まで露出過不足がない鮮明な画像がほぼ毎日得られた(図 3)。IDL 設置点の周囲では雪面に定置している約 50 cm 以上の岩片を 1 つずつ識別することができたが、対象までの距離が約 500 m を超える範囲(おおむね、大雪渓沢と左岸支谷である通称三号雪渓沢との合流点付近;図 2)以遠では個々の岩片の識別は難しかった。また霧やレンズへの着水による画像の乱れも生じた。これらの原因により大雪渓沢をまったく見通せない状態は、全記録の約 21%存在した(図 4)。なお、視界不良は 7 月 20 日を中心とする前後約 1 週間に

とくに集中していた。これは、梅雨末期の前線活動に伴い、降雨や霧が頻繁に生じたからであろう。また大雪渓沢上部だけに霧や移流霧が確認された場合もあった。一方、大雪渓沢下部で認められた降雨や霧が同上部で同時に発生していたか否かは不明である。いずれにせよ、長さ約 2 km、高度差約 700 m に及ぶ大雪渓沢では、上部と下部とで気象が異なる場合もあることが示された。

2) 通過登山者数

登山者の衣服や装備、隊列の人数などを手がかりに、前後の画像で同一人物が重複しないように留意して通過者を計数した。図 4 に、1 日あたりの上昇(白馬岳方面に向かう登山者)・下降者数の和を示す。一般に、悪天時は登山を控えることが多いが、すべての登山者が登山を中止するわけではない。視界不良率が高い日はそのような登山者を画像解析で捕捉できていない可能性が高いが、以下の傾向を把握することができた。

通過者はおおむね 7 月中旬までは 1 日 20 人以下で推移したが、7 月第 3 月曜(国民の祝日)を含む前週末(第 2 土曜日)から漸増し、7 月下旬から 8 月上旬にかけては最大 1 日 200 人超となった。また時間帯別では、6 時 0 分以降に増えて 8 時 30 分～10 時 30 分に最多となり、11 時 0 分以降に減少することが判明した。標準的な歩行・休憩時間を考慮し逆算すると、大雪渓ルートにおける白馬岳への登山基地となる猿倉(図 1; 自家用車やバス、タクシーでここまで入れる)を 6 時 30 分～8 時 30 分ごろ出発する登山者が多いと推定される。

3) 落石・雪面滑走岩片

すべての静止画や動画の前後比較を行った結果、雪渓に到達し、そして定置した岩片が複数個確認された。例えば、8 月 5 日 5 時 30 分には三号雪渓沢合流点付近に長径 1～1.5 m と推定される岩片 1 個が確認できた。しかし、この岩片は 8 月 4 日 19 時 0 分には視認できなかった(8 月 5 日 5 時 0 分以前は濃霧のため画像状態は不良だった)。このことは、8 月 4 日夕刻から 5 日早朝にかけて、三号雪渓沢または大雪渓沢の上部から岩片が雪渓内に移入し、三号雪渓沢合流点付

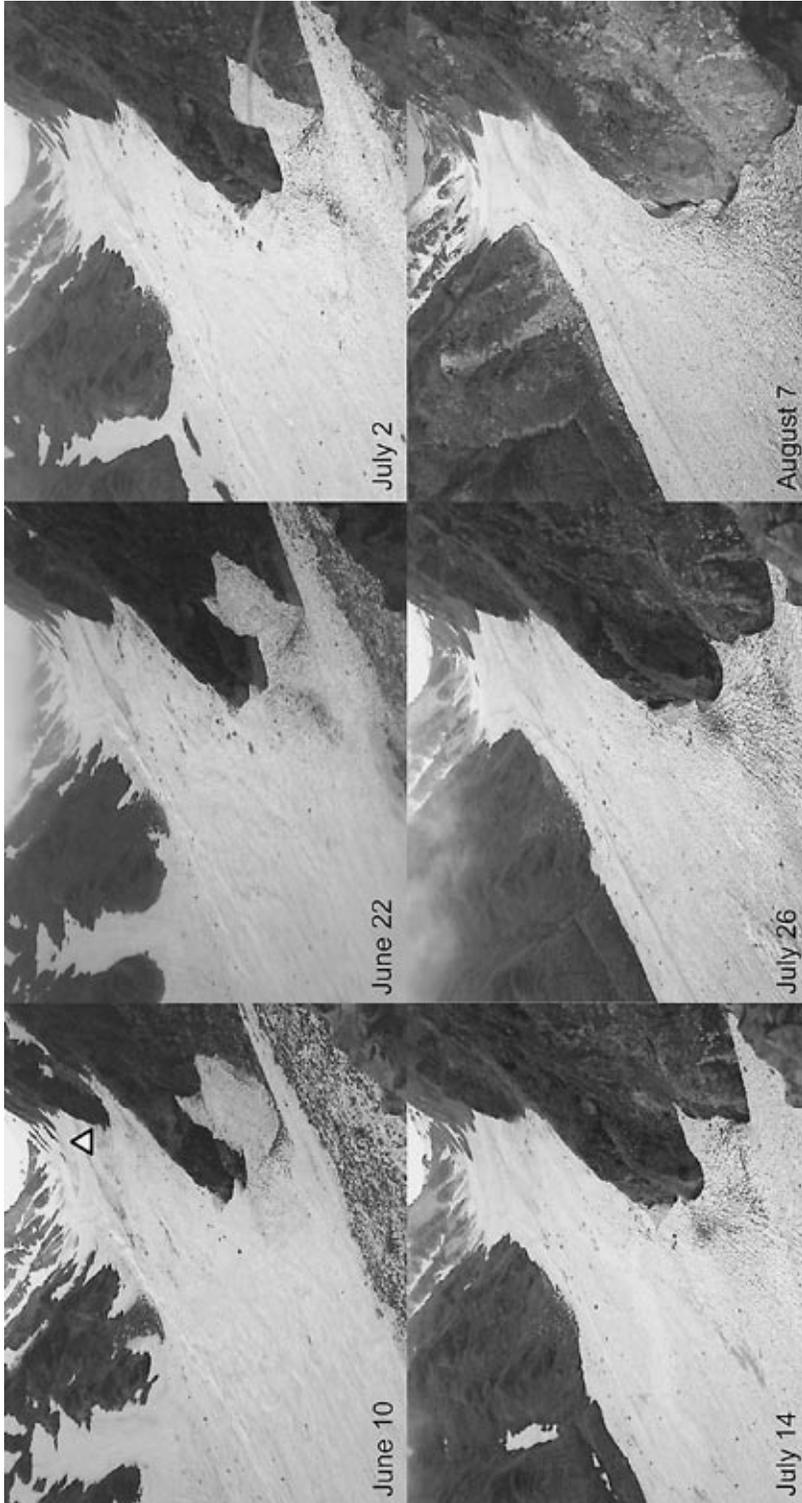


図 3 IDL による約 12 日ごとの記録画像。

6 月 10 日の画像に示された三角印は大雪渓谷と左岸支谷である三号雪渓沢との合流点を示す。

Fig. 3 IDL-captured photo images taken at ca. 12-day intervals.

The open triangle shown in the image on June 10 indicates the confluence of the Daisekkei Valley and the Sango Sekkei Valley (tributary at left bank).

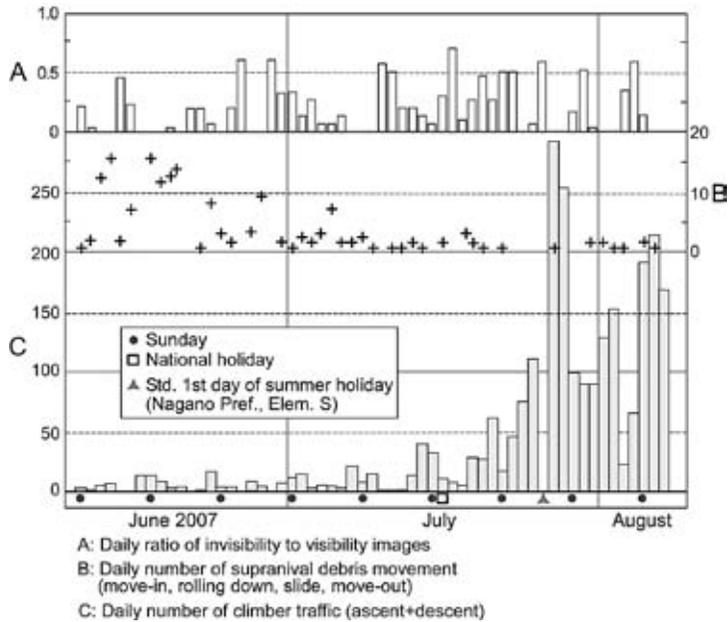


図 4 画像解析に基づく 1 日あたりの視界不良率，滑走・転動・移入・移出岩片の数，および登山者数。視界不良率は，1 日ごとに着水や霧で視認不能な画像数を日記録画像数で除したもの。日曜・祝日および長野県公立小学校の標準夏季休暇初日も記した。

Fig. 4 Daily changes in the ratio of invisibility to visibility of images, supranival debris movement and climber traffic based on IDL-captured image analysis.

A daily low-visibility ratio calculated that the daily number(s) of a less-visible image(s) is divided by numbers of total daily images. Sundays, a national holiday and standard first day of summer vacation for the public elementary schools in Nagano Prefecture are also indicated.

近に定置したことを示している。

これとは別に，急傾斜な雪渓では落石などによって移入した岩片が一度定置し，再び雪面を滑走することが知られている。大雪渓でもこの現象は登山者らにたびたび目撃されており，時には 1 km も滑走することが知られている（荻谷ほか，2006；荻谷，2007，2008）。今回のモニタリングでもこのような雪面滑走岩片が捕捉された。例えば，6 月 23 日 11 時 30 分には大雪渓沢下部左岸（標高約 1750 m）の雪面に明瞭な滑走痕（滑走する岩片により雪面が浅く掘られ，白い軌跡が残る）が認められた。一方，その 30 分前の 11 時 0 分の画像では滑走痕は確認できなかった（この間，天候や雪面状態は大きな変化はなかった）。そして滑走痕の下流端には長径約 1 m と推定される岩片 1 個が確認できた。滑走痕は幅約 200 m の

雪渓を斜交して上流側右岸へ追跡できたが，三号雪渓沢合流点以遠では視認できなくなった。このため岩片がどこから滑走してきたのかは不明である。しかし，以上のことは，同日 11 時 0 分から 30 分以内に岩片が雪渓内に移入し，大雪渓下部で定置したことを示している。

定置した岩片が滑走を始める機構についても今回新しい情報が得られた。従来の研究では，雪面の滑走岩片は周辺の岩壁から岩屑が自由落下し，転動して雪面に達したのち（転動を伴わず自由落下したまま達することもある），運動エネルギーを保持しつつ雪面を滑走する場合と，雪面に一度定置した岩片が融雪に伴う姿勢変化などで再転動して滑走する場合とがあると考えられてきた（荻谷，2007）。手法の制約上，前者の機構による滑走岩片の実態は把握することができなかったが，

後者を直接示した画像を多数確認できた。実際、画像で視認可能な大雪渓下部に限っても、周囲の谷壁や支谷から流入した雪崩堆積物や土石流堆積物、小規模崩壊堆積物などに含まれていた岩片が晴天・降雨時の急な融雪によって徐々に姿勢を変え、やがて滑走し始める様子が捕捉された。初動時の滑走斜距離は数十 cm ～数 m のものが多かったが、その後は画像から消失したり（視野外へ移出したと考えられる）、1 回の滑走で完全に見失われたりするものもあった。

雪面上における岩片の変化、すなわち移入、転動、滑走、移出の総発生数を 1 日ごとに集計した（図 4）。これらの現象は、視界不良率の高い日には十分捕捉できていない可能性があるが、全体としては以下の傾向が認められた。

雪面での岩片変化は、6 月中旬ごろは 1 日 15 回前後確認できた。しかし、この時期を頂点に次第に減少し、7 月下旬には天候が良好な場合も現象が確認できなかった日があった。これは、7 月下旬以降は落石そのものが発生しにくくなったことや、雪崩堆積物の融解が進んで不安定な岩片が落ち着いていたこと、および 2007 年夏季は不安定岩片の供給源となりうる土石流堆積物が生じなかったことなどが関係しているためと考えられる。ただし、この解析結果は三号雪渓沢合流点付近より下部についてあてはまるものであり、これ以高の領域での状況は明らかでない。仮に大雪渓沢下部と同程度の岩片の変化が 6 月中旬ごろに大雪渓沢上部でも生じていたとすると、その数は面積比からみて大雪渓沢全体では 1 日 30 ～ 40 回程度だった可能性がある。なお、2006 年のように大量の土石流堆積物が雪面に存在する状況下（荻谷, 2007, 2008）では、雪面での岩片の変化が秋まで高頻度に発生することは十分考えられる。このような地形変化が発生した場合は注意が必要といえよう。

V. 結論および今後の課題

本研究では、白馬大雪渓沢における落石および雪面滑走岩片の動態を中心に、2007 年 6 月から 8 月の地形変化を一定間隔で撮像可能な IDL を

用いてモニタリングした。機器の不調のため、収集できたデータは当初見込みよりも少なかったが、日本の高山の周水河帯では同種の試みがなかっただけに、これまでにない新知見が得られた。具体的には、岩片の滑走数の経時変化や登山者数の推移が具体的に日単位で明らかにされた。この知見は、大雪渓ルート of 安全を維持するうえで重要な資料となるであろう。本稿で論じたモニタリング調査を継続発展させることは登山者の安全確保にとって有用であると考えられ、今後の課題である。

筆者らは、2008 年度も IDL を設置した。今後、落石や雪面滑走岩片と気象条件（気温・地温）との関係について議論を行う予定である。また解像度がより高い IDL や長時間動画撮影可能な機器を導入するなどして、大雪渓沢の地形変化の実情をさらに詳しく把握したいと考えている^{3,4)}。

謝 辞

本研究は、平成 19 年度東京地学協会研究助成（代表者：荻谷）を受けた。また同協会編集委員会の意見は原稿の改善に有益であった。さらに、研究遂行にあたり、次の方々や機関に協力・助言いただいた（岩田修二、川崎 巧、高藤泰介、富田国良、目代邦康、白馬村役場、（株）白馬館）。以上、紙面を借りてお礼申し上げます。

注

- 1) 東京地学協会研究助成への申請時は松永と小森を研究補助者としたが、これまで荻谷や上記 2 名と白馬大雪渓で共同研究を進めてきた数名が本研究にも参画した。そこで本研究に直接関係し、現場で議論を行った者を本稿の著者とした。
- 2) 機器の修復に時間を要したため、2007 年度は 8 月 7 日以降の撮像を断念せざるを得なかった。
- 3) KADEC21 EYEII より高解像度の CCD を有し、データの無線電送や太陽電池の搭載も可能な IDL が市販されている。しかし価格や筐体容積の制約が少なくない。
- 4) 2008 年 8 月 19 日午前、大雪渓ルート上部の左岸斜面で崩壊が発生して登山者 2 名が犠牲となった。筆者らも 20 日朝に現場を訪れ、簡単な調査を行った。崩壊は 2006 年 7 月 22 日に土石流が流下したガリー（荻谷, 2007）の西側で発生し、その広がり白馬村役場の発表によれば幅 50 m、長さ 100 m であった。

文 献

- French, H.M. (2007): *The Periglacial Environment (3rd edition)*, Wiley and Sons.
- 石井正樹・小疇 尚 (1999): 1995年7月豪雨によって白馬大雪渓上流で起きた堆石堤の崩壊. 地学雑誌, **108**, 629-637.
- 岩船昌起 (1996): 穂高岳潤沢カールで融雪期に生じた岩壁崩壊. 地学雑誌, **105**, 569-589.
- 荻谷愛彦 (2007): 2005年8月に崩壊を起こした大雪渓上部・杓子岳北面の岩壁, および飛騨山脈・白馬大雪渓における最近の地形変化. 地学雑誌, **115**, 表紙および口絵解説.
- 荻谷愛彦 (2008): 白馬大雪渓を地形学の眼で見る—登山と観光の「安全」のために. 地理, **53**(5), 96-107.
- 荻谷愛彦・石井正樹・目代邦康・小森次郎・佐藤 剛・宮澤洋介 (2006): 山岳リクリエーションに活かす地形学・地質学. 地質ニュース, **617**, 41-45.
- Kariya, Y., Sato, G., Mokudai, K., Komori, J., Ishii, M., Nishii, R., Miyazawa, Y. and Tsumura, N. (2007): Rockfall hazard in the Daisekkei Valley, the northern Japanese Alps, on 11 August 2005. *Landslides*, **4**, 91-94.
- Kawasaki, T., Kariya, Y., Komori, J., Mokudai, K., Matsunaga, Y., Sato, G., Ishii, M., Miyazawa, Y. and Iwata, S. (2006): Various geohazards along a popular trail in a Pleistocene glaciated valley in the Northern Japanese Alps. *EOS Transactions*, **87** (52), Fall meeting supplement abstract. <http://www.agu.org/meetings/fm06/> [Cited 2008/06/01].
- 小疇 尚・杉原重夫・清水文健・宇都宮陽二郎・岩田修二・岡沢修一 (1974): 白馬岳の地形学的研究. 駿台史学, **35**, 01-086.
- 小森次郎 (2006): 白馬大雪渓の落石事故から安全対策を考える. 岳人, **710**, 147-149.
- Matsuoka, N. and Sakai, H. (1999): Rockfall activity from an alpine cliff during thawing period. *Geomorphology*, **28**, 309-328.
- 中野 俊・竹内 誠・吉川敏之・長森英明・荻谷愛彦・奥村晃史・田口雄作 (2002): 白馬岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター.

(2008年6月18日受付, 2008年7月15日受理)