

特集号「地球寒冷圏の地表変動 —成果と課題—」

序 説

松 岡 憲 知* 池 田 敦* 福 井 幸 太 郎**
熊 木 洋 太*** 小 出 仁****

Introduction to 'Earth Surface Dynamics in the Cryosphere: Review and Outlook'

Norikazu MATSUOKA*, Atsushi IKEDA*, Kotaro FUKUI**,
Yohta KUMAKI*** and Hitoshi KOIDE****

I. 背景と経緯

「地球寒冷圏」には固体状態の水、すなわち海水・氷河（氷床）・凍土が広域に存在する。このうち、氷河や凍土で特色づけられる陸域寒冷圏は高緯度地域から中・低緯度の高山地域にかけて分布し、特徴的な氷河・周氷河景観をつくりだしている。氷河に覆われていない広い意味での周氷河地域には、木本類の生育しないツンドラと森林地帯（タイガ）が含まれる。また、陸域寒冷圏は第四紀の寒冷期（氷期）には現在よりも低緯度・低標高域に拡大し、地球の広域、そして日本列島でも広範囲が氷河・周氷河作用の影響下にあった。

このような陸域寒冷圏の地表景観（地形・雪氷・植生・水域など）の成り立ちや変化について、大学を超えて研究を推進し情報を交換するために、1971年に当時の若手研究者や大学院生を中心として「寒冷地形談話会」が結成された。「地形」の名がついていても、寒い地域ないし山地の自然

環境に関するテーマであれば何でも話題となりうる、開放的かつ学際的な会であった。寒冷地形談話会は、現在まで40年以上にわたり、毎年数回の研究発表会や夏の野外学校を開催してきた。そして、「卒業研究や修士・博士研究を支援する」「高山地域の共同研究を組織する」「ヒマラヤや南極・北極など海外のフィールド研究を企画する」「山岳や極地に関する書籍を出版する」など日本における陸域寒冷圏の自然環境研究の拠点として機能してきた。その功績が認められ、2010年3月には日本地理学会賞（特別賞）も受賞した。

寒冷地形談話会結成時の主力メンバーであった4名の当時の大学院生（岩田修二、小野有五、小泉武栄、平川一臣：敬称略、アイウエオ順に記載）は、現在までつねに日本の気候地形学・第四紀学・地生態学のリーダーとして研究を切り開き、国内外での共同研究を推進し、そして多数の研究者を育成してきた。「四人組」とも称されるその先生方が停年に近づいた時期に、ちょうど寒

* 筑波大学生命環境系

** 立山カルデラ砂防博物館

*** 専修大学文学部環境地理学科

**** 産業技術総合研究所

* Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

** Tateyama Caldera Sabo Museum, Tateyama, 930-1405, Japan

*** Department of Geography, Senshu University, Kawasaki, 214-8580, Japan

**** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, 305-8567, Japan

冷地形談話会の40周年、そして日本地理学会賞の受賞が重なった。そこで、彼らの指導を直接的・間接的に受けてきた後進の間で、「寒冷地形研究の40年を総括し、最前線を紹介し、そして次なる課題を探る」記念シンポジウムを開催する企画がもちあがった。半年以上に及ぶ構想・準備を経て、2011年3月の日本地理学会春季大会での開催が近づいた矢先であった。東日本大震災の影響で、シンポジウムは幻となった。

シンポジウムは学会要旨集の出版によって形式上は成立したが、名実ともに寒冷地形関連の最前線の研究が集中して発表される稀有な機会を失うのがあまりにも惜しまれた。そこで、2011年5月21日、寒冷地形談話会の提案により、「寒冷地形研究最前線」と称するシンポジウムが専修大学(川崎市)で自主開催された。シンポジウムには約70名が出席し、学生から名誉教授に及ぶ多彩な顔ぶれによる一般研究発表、中堅メンバーによる各分野のレビュー、停年間近のリーダーたちのコメント、そして全員による熱烈な総合討論が行われた。総発表件数が33件に及ぶ盛会であった。

本特集号は、「寒冷地形研究最前線」シンポジウムでの発表内容を収録するもので、寒冷地形談話会結成以来の氷河・周氷河地形研究、山地の地形・地生態研究の進展について総括するとともに、研究の最前線と課題について紹介・発信することを目的とする。「四人組」の先生方も、論説や総説への寄稿や査読への協力、さらには総説で詳しく業績が紹介されるなど、本特集号の充実化に多大な貢献をされている。

II. 本特集号の構成と概要

1) Part I 「氷河地形と氷河変動」

現在の氷河プロセスを研究することの困難な日本では、氷河地形に関する研究は過去の地形・堆積物に基づく氷河変動史が中心であった。その日本の氷河地形研究の黎明期から現在に至る研究史について、小野(2012)は個人の視点から総括している。辻村太郎や五百澤智也との交流にはじまり、日高山脈での最終氷期中の2つの亜氷期の認定、過去の氷河流動の復元の試み、そして氷

河地形に基づくアジアの広域の古気候の復元に至る自身の研究とその背景が解説されている。さらに、後進へのメッセージとして、完新世の氷河発達、最終氷期以前の氷河作用、氷帽氷河の存在、火山活動が氷河に及ぼす影響などが今後の研究課題として提案されている。日高山脈では、最近10数年間の氷河堆積物の構造解析や編年に基づいて、より詳細な氷河変動史が復元されるようになった。澤柿ほか(2012)は、最終氷期極相期(LGM)に降下した恵庭降下火山灰(En-a)が当時の日高山脈の氷河の融解に及ぼした影響について、氷河堆積物の分布や構造の詳しい分析に基づいて論じている。火山灰の被覆によって、突発的な融氷河流や土石流が何度も発生し、モレーン群の形成に関与したことが指摘されている。

海外においては、最近、数値年代データに基づく氷河の編年と変動史の研究が進んでいる。奈良間(2012)は、これまで情報の少なかった内陸アジアと南半球に焦点をあて、氷河編年研究の進展について総括している。南半球のニュージーランド、アンデス、パタゴニアでは、宇宙線生成核種(TCN)照射年代法の導入により、晩氷期から完新世にかけての氷河変動の解像度が上がり、気候変動との詳しい関連が議論されるようになった。乾燥気候のために地形の保存状態がよく、TCNや光励起ルミネッセンス(OSL)年代資料の得やすい内陸アジアでも氷河編年が急速に進んだ。その成果として、更新世中期以降にチベット氷床は存在しなかったこと、ヒマラヤ山脈の東西では氷河の進退が大きく異なり、それがインドモンスーンと偏西風の影響を反映していること等が紹介されている。内陸アジアにある天山山脈での調査研究として、岩田ほか(2012)は、モレーン構成物質の連続露頭での詳細な岩相・層序の調査結果とOSL年代に基づいて、氷河および融氷河流堆積物の形成プロセスや形成期を細かく論じている。

2) Part II 「凍土と周氷河作用」

氷河地形研究とは異なり、現在の周氷河作用の研究は国内の山岳地でも可能なために、北アルプス・白馬岳での観測研究を皮切りに、全国の山岳

域、そして世界の寒冷地域での観測研究へと展開した。松岡・池田（2012）は1980年代の野外観測機器の革命、そして2000年以降の地表・地下の可視化技術と数値モデリングの全盛が周氷河作用の研究を飛躍的に進歩させた点を指摘し、最新の研究成果を紹介している。観測対象は岩盤や土壌の表層から次第に内部に及ぶようになり、永久凍土の融解に伴う地形変動、とくに岩盤崩壊、土石流、サーモカルスト（陥没）等が注目されている。また、構造土をはじめとする特徴的な周氷河地形の観測やモデル化も進み、類似の地形が火星表面に数多くみつまっている。ソリフラクション・ロープも最近火星表面での存在が話題を呼んでいる地形の一つであるが、澤口（2012）はアラスカのソリフラクション・ロープを対象に地温・凍上・土層変形に関する4年間の観測を行った。主として日周期型の凍上-沈下に伴って斜面物質が動く日本の高山とは異なり、年周期型の凍上-沈下の影響の強い物質移動が観測された。

日本では、富士山の山頂付近で1970年頃に永久凍土が見つかり、その後は温暖化により消滅傾向にあることが指摘されてきたが、池田ほか（2012）は、向きと標高の異なる22地点での表層部の通年地温データに基づいて、永久凍土分布の再評価を行った。北～西向きの積雪の少ない風衝地の標高3500m以上には永久凍土が現存する可能性が高いという結果、今後の長期観測や、降雨浸透による熱対流と火山活動（地熱）の影響を評価する必要性が指摘されている。北アルプス・槍穂高連峰においては、青山（2012）は小礫型と巨礫型の2種のロープ地形の存在を指摘し、形態と気温・地温データに基づいてそれらのロープの成因を比較検討した。小礫型ロープは年周期型の凍結融解で表層土が変形して形成されたと考えられるのに対し、巨礫型ロープには永久凍土の変形が関与している可能性が指摘されている。平均的な永久凍土下限高度よりも数100m低い標高帯でも、崖錐など岩塊の集積地や熔岩トンネルでは、熱対流により寒気が地下に集積し、永久凍土や越年性の氷塊が発達する場合がある。北八ヶ岳山域の火口底にみられるこのような「風穴」現象につい

て、清水ほか（2012）が気温・地温の観測データとともに報告している。地下の水塊が部分的に融ける前に、一時的に火口湖が出現することがあるという。

3) Part III「地生態と斜面変動」

寒冷地形談話会では、「寒冷環境」とは直接的には関わりのない山岳研究も進められてきた。とくに、気候・地形・地質・土壌・植生の相互作用を調べる地生態学研究、岩盤崩壊・地すべり・土石流などの斜面変動の研究が盛んである。Part IIIではこれらの研究成果を収録した。目代（2012）は日本における地生態学研究を整理して、その特徴について分析した。日本の地生態学の生みの親といえる小泉武栄の果たした役割、地生態学には景観構造学（システム論／地誌）と植生地理学（機械論／系統地理）の二側面があること、環境保全など現実社会での諸問題の解決にはこの二つのアプローチが両輪として機能する必要性が指摘されている。

ところで、氷河地形や氷河堆積物の認定に関しては統一基準はなく、地すべりや土石流など非氷河性のマスマーブメントによる地形・堆積物が誤認される可能性もある。荻谷ほか（2012）は、北アルプス・白馬岳東麓の地すべり地形と堆積物の詳しい調査を行い、斜面変動史を議論した。調査地域では、最終氷期から完新世にかけて地すべりや土石流が繰り返し発生したこと、そのなかにはモレーンと認定されてきた堆積地形も含まれており、氷河地形の認定に再検討が必要であることが指摘されている。山腹斜面に地すべりが発生する際に、山頂付近にはしばしば滑落崖や線状凹地が生じる。高岡ほか（2012）は北アルプス・白馬岳周辺を対象に、高山湖沼の分布条件の統計解析を行い、湖沼の9割以上が地すべり移動体内部や線状凹地内に形成されており、残りの多くが火山活動（溶岩流）と関連した凹地に分布することを明らかにした。この点において、地すべりが高山の生態系に大きく関わっていると指摘している。

謝辞

シンポジウムの趣旨に賛同され、コメント・研究発

表・論文執筆・査読により、本特集号に多大な貢献をしてくださった岩田修二（立教大）、小野有五（北海道大）、小泉武栄（東京学芸大）、平川一臣（北海道大）の先生方、シンポジウムの企画から開催まで中心的な役割を果たされ、本特集号の刊行への道筋をつけてくださった苅谷愛彦（専修大）、青木賢人（金沢大）、澤田結基（福山市立大）の皆様には深謝いたします。また、短期間での編集に快くご協力下さった著者・査読者の皆様にも、お礼申し上げます。なお、編集の最終段階で投稿規定が変わり、著者の皆様には追加の作業をお願いすることになりました。この場を借りてお詫びいたします。

文 献

- 青山雅史（2012）：飛騨山脈檜穂高連峰南岳周辺の周氷河性平滑斜面における気温・表層地温と礫質ロープ形成プロセスの検討。地学雑誌，**121**，342-358。
- 池田 敦・岩花 剛・末吉哲雄（2012）：富士山高標高度における浅部地温の通年観測—永久凍土急激融解説の評価も含めて—。地学雑誌，**121**，306-331。
- 岩田修二・塚本すみ子・黒田真二郎（2012）：天山山脈ウルムチ河源流、望峰上位モレーンの形成プロセス

と時代。地学雑誌，**121**，235-251。

苅谷愛彦・佐藤 剛・小森次郎（2012）：白馬岳東麓、長走沢・金山沢の地すべり地形と堆積物。地学雑誌，**121**，384-401。

松岡憲知・池田 敦（2012）：周氷河地形プロセス研究最前線。地学雑誌，**121**，269-305。

目代邦康（2012）：日本における地生態学の誕生と発展。地学雑誌，**121**，367-383。

奈良間千之（2012）：氷河編年研究の展望—南半球・アジア山岳地域の最近の事例—。地学雑誌，**121**，215-234。

小野有五（2012）：日本における1960-2010年の氷河地形研究—研究者の回顧と展望—。地学雑誌，**121**，187-214。

澤柿教伸・松岡直子・岩崎正吾・平川一臣（2012）：日高山脈北部七ツ沼カールの融氷河堆積物と恵庭a火山灰。地学雑誌，**121**，252-268。

澤口晋一（2012）：アラスカ中部イーグルサミットにおける地温と凍上および斜面物質移動の観測。地学雑誌，**121**，332-341。

清水長正・山川信之・石井正樹・藤森美佐枝・遠藤海斗（2012）：北八ヶ岳，地獄谷火口底の氷塊と一時的な火口湖。地学雑誌，**121**，359-366。

高岡貞夫・苅谷愛彦・佐藤 剛（2012）：北アルプス北部における高山湖沼の成因と分布に対する地すべりの影響。地学雑誌，**121**，402-410。

I. Background

The cryosphere represents part of the Earth's surface dominated by solid-state water including sea ice, glaciers (ice sheet), and frozen ground. Of these, glaciers and frozen ground are the major components of the terrestrial cryosphere, which occurs from high-latitude areas to low-latitude high mountains and produces unique glacial and periglacial landscapes. During the Quaternary glacial periods, the terrestrial cryosphere expanded toward lower latitudes and altitudes, inducing extensive glaciation and periglaciation also in the Japanese archipelago.

In 1971, young researchers and graduate students in Japan established an inter-college research union called 'Kanrei-Chikei Danwakai' (hereafter, abbreviated as KCD), which means the cold-region landform colloquium. KCD is

an informal, interdisciplinary group studying any topics related to natural environments in cold and/or mountain areas, and it has been organizing regular meetings and field excursions for over 40 years. KCD has also acted as a research center, supporting undergraduate and graduate studies, organizing collaborative projects on alpine geomorphology and geoecology, producing overseas fieldwork in the Himalayas, Arctic, and Antarctica, and publishing books and journals on mountain and polar environments. These long-term, intensive activities of KCD were recognized by an Association of Japanese Geography (AJG) Award in March 2010.

Four professors, K. Hirakawa, S. Iwata, T. Koizumi, and Y. Ono, who were PhD students when KCD was founded, have played leading roles in KCD by advancing climatic geomorphology, Quaternary sciences, and geoecology, organizing national and international research

projects, as well as mentoring a large number of young researchers. Scientists mentored or influenced by 'the quartet' planned a memorial symposium to celebrate the AJG award and the 40th anniversary of KCD, as well as to say thank you for the long-term guidance provided by 'the quartet'. The symposium was to have been held during a biannual meeting of AJG in March 2011, but unfortunately it was cancelled following the Great East Japan Earthquake.

Although the symposium was formally recognized by the publication of an AJG proceeding volume, potential attendees could not accept missing such a great event. Finally, KCD organized a separate symposium entitled 'Research frontier of earth surface dynamics in the cryosphere' at Senshu University on 21 May, 2011. The symposium was highly successful with about 70 persons attending and 33 presentations. This special issue is a collection of papers from the symposium, introducing the progress of glacial, periglacial, alpine, and geocological studies, and their prospects.

II. Contents of this Special Issue

1) Part I: Glacial Geomorphology and Glaciation

Glacial geomorphology in Japan has focused on glacial chronology based on glacial landforms and sediments. Ono (2012) reviews Japanese glacial geomorphology during the last half of the century from a personal viewpoint, highlighting the role of two great predecessors, identifying two stadials during the last glaciation, and reconstructing past glacial flows and Asian paleoclimate using glacial landforms. Sawagaki *et al.* (2012) identifies repetitive outwash and debris flow events following a tephra-fall on glaciers in the Hidaka Range, Hokkaido, during the last glacial period, based on the distribution and structure of glacial sediments.

Recent overseas studies have addressed high-resolution glacial chronology using new dating methods (*e.g.* TCN and OSL). Narama (2012) summarizes studies from central Asia, the Andes, and New Zealand, from which data have

increased significantly: the new findings include glaciation out of phase between the west and east of the Himalayas, affected by the Indian monsoon and westerlies. Iwata *et al.* (2012) discuss ages and processes of glacial and fluvio-glacial sediments in the Tiantian Mountains, China, based on sequential stratigraphy and OSL dating.

2) Part II: Frozen Ground and Periglaciation

Periglacial research in Japan has mainly been process-oriented, having started from observations of slope movements in the Japanese Alps and been extended to monitoring permafrost processes worldwide. Matsuoka and Ikeda (2012) review the latest progress of periglacial research around the world, supported by technological advances in data loggers and surface/subsurface visualization, as well as by numerical modeling: the newest topics include small-scale periglacial landforms on the Martian surface. Sawaguchi (2012) monitored frost heave and solifluction processes in Alaska over four years and emphasize the role of seasonal heave and settlement in shallow soil movements.

In Japan, Ikeda *et al.* (2012) re-evaluate the distribution of permafrost on the Mt. Fuji volcano, where preceding studies have suggested significant degradation of permafrost during the last few decades. A new network for ground temperature monitoring indicates the presence of permafrost above 3500 m a.s.l. on windy north to west slopes near the summit, but the effects of advective heat from rainfall and geothermal activities have to be incorporated. Aoyama (2012) discusses the process of lobate forms in the northern Japanese Alps based on ground temperature records and morphometric parameters, concluding that small pebbly lobes originate from seasonal solifluction, while large bouldery lobes possibly originate from permafrost creep. In a volcanic crater located far below the lower limit of permafrost, Shimizu *et al.* (2012) found the occurrence of an ephemeral pond reflecting seasonal evolution of ground ice.

3) Part III: Geocology and Slope Dynamics

Studies on the cryosphere also include geocological approaches and mountain slope dynamics, which are not necessarily associated with cryogenic (*e.g.* glacial and periglacial) processes. Mokudai (2012) reviews geocological studies in Japan since its beginnings during the 1970s, proposing that two aspects of geocology, regional and systematic approaches, have to be combined to challenge ongoing environmental issues.

Glacial landforms and sediments are often confused with non-glacial mass movement features. Based on landslide forms and deposits, Kariya *et al.* (2012) discuss Late Quaternary slope dynamics in valleys east of Mt. Shirouma, Northern Japanese Alps. They identify frequent occurrences of landslides and debris flows after the last glaciation, some of which may have been misinterpreted as glacial events. Landslides are often accompanied by linear depressions and uphill-facing scarps on the top slopes. Takaoka *et al.* (2012) suggest that more than 90% of the alpine ponds in the Mt. Shirouma area are located in such landslide depressions and the remainder are associated volcanic depressions, which implies a significant role for landslides in controlling alpine ecology.

References

- Aoyama, M. (2012): Air and shallow ground temperatures associated with the formation of gravelly lobes on a periglacial smooth slope at Mt. Minamidake, Northern Japanese Alps. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 342-358. (in Japanese with English abstract)
- Ikeda, A., Iwahana, G. and Sueyoshi, T. (2012): Year-round monitoring of shallow ground temperatures at high altitudes of Mt. Fuji with a critical discussion on the popular belief of rapid permafrost degradation. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 306-331. (in Japanese with English abstract)
- Iwata, S., Tsukamoto, S. and Kuroda, S. (2012): Depositional processes and ages of the upper Wangfeng moraine in the upper Urmuqi River valley, Tianshan, China. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 235-251. (in Japanese with English abstract)
- Kariya, Y., Sato, G. and Komori, J. (2012): Landslide geology and geomorphology of the Nagashirisawa and Kanayamazawa Basins, the east side of Mount Shiroumadake, Northern Hida Range, central Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 384-401. (in Japanese with English abstract)
- Matsuoka, N. and Ikeda, A. (2012): Research frontier in periglacial processes. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 269-305. (in Japanese with English abstract)
- Mokudai, K. (2012): Origin and development of geocological studies in Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 367-383. (in Japanese with English abstract)
- Narama, C. (2012): Overview of recent studies on glacial chronology: Examples from the Southern Hemisphere and Asian Mountains. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 215-234. (in Japanese with English abstract)
- Ono, Y. (2012): Studies on glacial landforms in Japan between 1960 and 2010: Personal review. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 187-214. (in Japanese with English abstract)
- Sawagaki, T., Matsuoka, N., Iwasaki, S. and Hirakawa, K. (2012): Fluvio-glacial sediments and Eniwa tephra in the Nanatsu-numa cirque area, northern Hidaka Range, Hokkaido, Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 252-268. (in Japanese with English abstract)
- Sawaguchi, S. (2012): Ground temperature, frost heave, and slow mass movement measurements at Eagle Summit, central Alaska. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 332-341. (in Japanese with English abstract)
- Shimizu, C., Yamakawa, N., Ishii, M., Fujimori, M. and Endo, K. (2012): Ground ice and temporary crater lake in Jigokudani Crater, Kita-yatsugatake, Central Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 359-366. (in Japanese with English abstract)
- Takaoka, S., Kariya, Y. and Sato, G. (2012): Influence of landslide activities on the origin and spatial distribution of alpine ponds in the northern area of the Northern Japanese Alps. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 402-410. (in Japanese with English abstract)