

中部山岳地域における最終氷期極相期以降の 山岳永久凍土環境の変動とその地形変化への影響

青山 雅史*

Changes in the Mountain Permafrost Environment and their Effects
on Geomorphic Change in the Japanese Alps, Central Japan,
since the Last Glacial Maximum

Masafumi AOYAMA*

Abstract

The relationships between the formation of accumulation terraces and climatic changes, especially changes in the mountain permafrost environment, were investigated in the upper reaches of the Gamata River on the western side of the Yari-Hotaka Mountains, northern Japanese Alps. Optically stimulated luminescence (OSL) dating of these river terrace deposits is now in progress. The present distributions of mountain permafrost and permafrost-related landforms (e.g. rock glaciers) were investigated around Mt. Shirouma, located in the northern part of the northern Japanese Alps, and Mt. Suisyo, located in the central part of the northern Japanese Alps. The low bottom temperature of the winter snow cover ($BTS < -3$) and the negative mean annual ground surface temperature (MAST) on the blocky landform (protalus lobe) in the Suisyo C cirque indicate the presence of permafrost.

Key words : mountain permafrost, rock glacier, accumulation terrace, climatic change, Japanese Alps

キーワード : 山岳永久凍土, 岩石氷河, 堆積段丘, 気候変化, 中部山岳地域

I. はじめに

山岳永久凍土は気候変動に対して敏感に反応するため、山岳氷河とともに山岳環境の変動を検出するには良い指標となりうる。近年、地球温暖化に伴う山岳永久凍土の融解の進行に伴い、世界の多くの山岳地域で大規模な山地斜面崩壊、岩盤崩落などが発生していることが報告されている(例えば、Haeberli, 1992; Haeberli *et al.*, 1993)。こ

のように、気候変動による山岳永久凍土環境の変化は、山岳地域において様々な地形変化を引き起こす要因となっている。

最終氷期の中部山岳地域には氷河が発達し、現在よりも広範囲に山岳永久凍土が発達しており、最終氷期極相期から現在にかけてそれらは縮小・消失していった(例えば、Ito and Vorndran, 1983; Ono, 1984; 柳町, 1987; Aoki and Hasegawa, 2003; Aoyama 2005)。したがって、中部山岳地

* 財団法人日本地図センター

* Japan Map Center

域でもそれにとまって様々な地形変化が生じたはずである。しかし、中部山岳地域では、氷河地形の編年や、それに基づく古環境復元などは多くなされてきたが（例えば、Ito and Vorndran, 1983; Ono, 1984; Aoki and Hasegawa, 2003）、永久凍土環境の変動やそれにとまなう地形変化、地形発達への影響に関しては未だ研究が少ない。また、中部山岳地域における現在の永久凍土環境に関する情報は近年徐々に蓄積されつつあるが（例えば、Matsuoka and Ikeda, 1998; 福井・岩田, 2000; 青山, 2002b; Ishikawa *et al.*, 2003）、永久凍土が現存している可能性が高いことが指摘されながらも詳細な現地調査がおこなわれていない山域も残されている。

本研究は、現在も山岳永久凍土が存在していることが確認されている飛騨山脈をおもな調査対象地域として、(1) 最終氷期極相期以降の気候変動によって山岳永久凍土環境がどのように変化し、それがこの山域の地形変化、地形発達にどのような影響を与えたか、(2) 山岳永久凍土の現存が有力視されているが、その分布が未だ明らかでない山域における現在の山岳永久凍土分布と、その指標地形の分布、などについて明らかにすることを目的とする。

II. 調査地域と調査の概要

調査対象地域を図1に示した。調査対象地域である飛騨山脈には最終氷期に形成された氷河地形が分布しており（例えば、五百沢, 1979）、その氷河地形の編年に基づいて、最終氷期の氷河変動がこれまで明らかにされてきた（例えば、Ito and Vorndran, 1983; Aoki and Hasegawa, 2003）。また、山岳永久凍土の指標地形である岩石氷河が特にカール内部に多く分布していることが示されている（青山, 2002a）。岩石氷河の多くは晩氷期または完新世初期以降に形成されたことが推定され、飛騨山脈における現在の高山帯は、最終氷期極相期から晩氷期にかけて氷河環境から永久凍土環境への移行が進行したと考えられる（Aoyama, 2005）。立山連峰内蔵助カール内部では山岳永久凍土の現存が確認されており（福井・岩田,

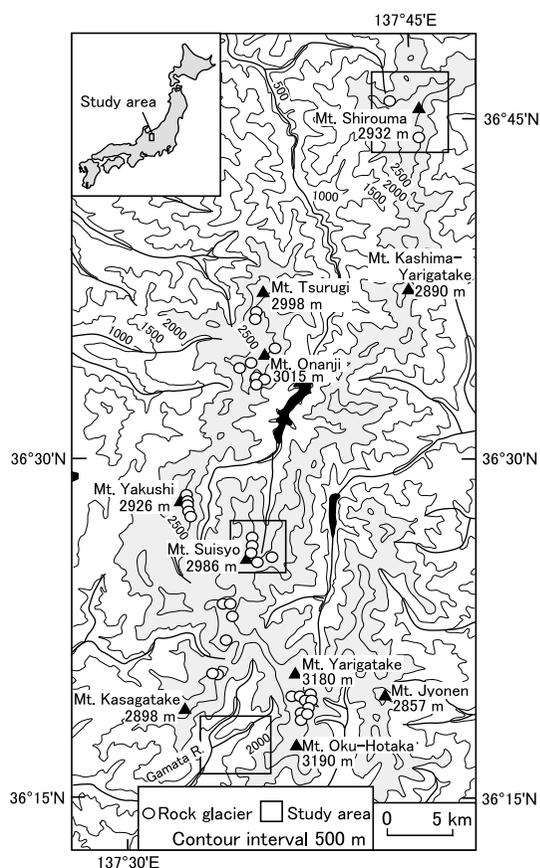


図1 調査対象地域。

Fig. 1 Study area.

2000) 白馬岳周辺や槍穂高連峰の岩石氷河内部にも永久凍土が現在も存在している可能性が高いことが示されている（青山, 2002b; Ishikawa *et al.*, 2003; Matsuoka and Ikeda, 1998）。それらのことから、飛騨山脈では標高3000m以上の北向き斜面や稜線付近の岩塊地には、現在も永久凍土が存在している可能性が高いことが指摘されている（Ishikawa *et al.*, 2003）。

中部山岳地域の山麓部には明瞭な堆積段丘が多く分布しており、槍穂高連峰西麓の蒲田川上流域新穂高温泉周辺においてもそのような堆積段丘が発達している。この段丘の形成要因については、最終氷期の寒冷な気候下における活発な周氷河作用による岩屑生産量の増加などに求める考え(式,

1974)がある一方、山体崩壊による土石流堆積物とする考えや(町田, 1979)、段丘面ごとにその形成要因(氷期における融水河流や岩屑供給量の増加などの影響、最終氷期末期以降の谷壁斜面の崩壊など)が異なるとする考え(藤岡, 1985)などもある。赤石山脈仙丈ヶ岳北面の藪沢に分布している堆積段丘では、段丘構成層中に挟在していた木片の年代測定結果に基づいて、その堆積段丘の形成要因として、晩氷期から完新世への移行期に生じた山岳永久凍土の融解にともなう斜面崩壊の可能性が指摘されている(神澤・平川, 2000)。

本研究では以下の調査をおこなった。(1)現在も山岳永久凍土が存在していることが考えられる飛騨山脈白馬岳周辺、および野口五郎岳・水晶岳周辺において、現在の山岳永久凍土の分布およびその指標地形の分布などに関する調査をおこなった。具体的には、空中写真判読と現地踏査によって、山岳永久凍土の指標地形である岩石氷河およびそれに類する地形の分布に関する調査をおこない、それらの地形上における地表面温度の観測をおこなった。地表面温度の観測は、ティアンドディ社製小型自記温度計TR-52「おんどとり Jr」を用いておこなっている。また、岩石氷河およびそれに類する地形の形態的特徴を明らかにするため、首都大学東京所有の解析図化機を用いて空中写真から等高線間隔2mの詳細地形図を作成し、地形計測をおこなった。(2)過去の氷河・周氷河環境の変化との関連が指摘されている飛騨山脈槍穂高連峰西麓に分布している堆積段丘について、過去の気候変動との関係、特に槍穂高連峰における山岳永久凍土環境の変遷との関係について、調査をおこなった。その堆積段丘の成因を明らかにするため、空中写真判読と現地踏査による段丘の分布に関する調査、現地踏査による段丘構成層の記載をおこなった。また、光ルミネッセンス(OSL)法を用いた年代測定によって段丘の形成年代を求めるため、段丘構成層が露出している露頭において、OSL年代測定をおこなうための試料の採取をおこなった。

III. 調査結果

1) 飛騨山脈北部白馬岳周辺における山岳永久凍土と関連した地形および永久凍土分布

この山域の地質は珪長岩からなる地域が広く分布しており(中野ほか, 2002)、この珪長岩の岩壁からは礫径が10cm前後の比較的細粒な岩屑が多く生産されている。このような細粒岩屑からなる岩石氷河(Pebbly rock glacier: Ikeda and Matsuoka, 2006)は、粗大礫からなる岩石氷河(Bouldery rock glacier: Ikeda and Matsuoka, 2006)よりも小規模なものが多くことが知られている(Ikeda and Matsuoka, 2006)。空中写真判読および現地踏査の結果、青山(2002a)が指摘した岩石氷河以外にも、永久凍土クリープの影響を受けたことが考えられる小規模な岩塊(岩屑)地形が存在していることが見出された。それらの岩塊(岩屑)地形は、細粒な岩屑からなっており、崖錐基部に膨らみや微起伏を持つだけの舌状または耳たぶ状の小規模なものが多く、Ikeda and Matsuoka(2006)が述べている「Pebbly rock glacier」に相当するものと思われる。

そのような岩塊(岩屑)地形の典型的なものが杓子岳北面の岩壁直下の崖錐基部に存在している。五百沢(1979)やMatsuoka and Ikeda(1998)はこれを岩石氷河、または「Protalus lobe」として記載している。白馬岳山頂付近東面や白馬岳から清水岳にかけての東西にのびている稜線の北面に見られる岩石氷河状の地形も礫径10~20cmの細粒岩屑からなっている。しかし、それらの岩石氷河状の地形とその周囲の地形は、この山域に多く分布している地すべり地形(佐藤・苅谷, 2005)の形態的特徴とも類似していることから、地すべり地形との判別が難しい。

杓子岳北面のカール内部には、細粒な珪長岩からなるものの、上述の岩塊(岩屑)地形よりも規模が大きい舌状の明瞭な岩石氷河が存在している。この岩石氷河については、五百沢(1979)、Matsuoka and Ikeda(1998)、青山(2002a)が岩石氷河として記載している。この岩石氷河の斜面傾斜方向への長さは160m、それに直交する

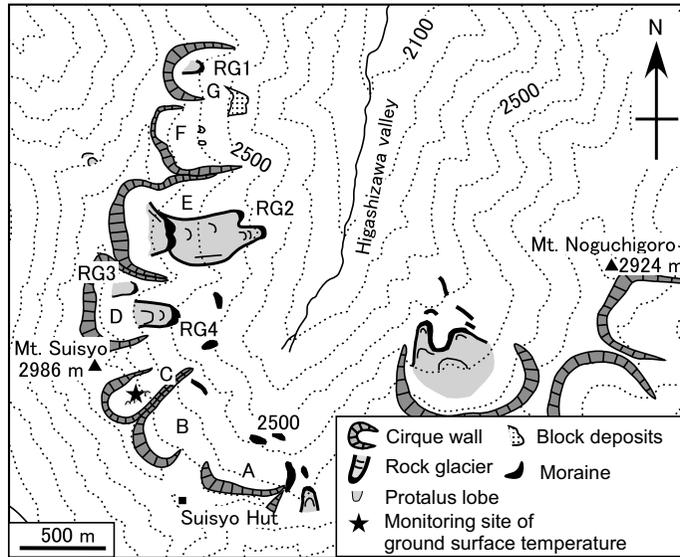


図 2 飛騨山脈水晶岳、野口五郎岳付近におけるカール、モレーン、岩石氷河、岩塊地形などの分布。図中のA-Gは式(1956)による水晶岳周辺のカールの名称。

Fig. 2 Distribution of cirques, moraines, rock glaciers and blocky landforms around Mt. Suisyo and Mt. Noguchigoro. A-G represent the cirque names around Mt. Suisyo, and these were named by Shiki (1956).

幅は 90 m である。岩石氷河頂面には複数のロウブが重なり合うような多重ロウブ状の形態を有している。

2005 年秋期に上述の岩石氷河およびそれに類する地形や残雪砂礫地などの複数の地点において自記記録温度計を設置し、現在地表面温度のモニタリングをおこなっている。今後地表面温度データの回収をおこない、白馬岳周辺における現在の永久凍土分布に関して検討していく予定である。

2) 飛騨山脈中央部水晶岳、野口五郎岳周辺における山岳永久凍土に関連した地形および永久凍土分布

岩石氷河の形態的特徴を明瞭に有するものについては、青山(2002a)でもその分布を示したが、それ以外にも、水晶岳周辺のカール内部において、カール壁直下崖錐基部に膨らみを持つ(末端部の比高が 3 ~ 5 m 程度)舌状または耳たぶ状の比較的小規模な岩塊地形や、水晶岳周辺の主稜

線西側においてもそれと同様の舌状岩塊地形などが存在することが判明した(図2)。この山域の地質は、手取層群の堆積岩や船津花崗岩類、奥黒部花崗岩、有明花崗岩などからなっている(原山ほか, 1991)。主稜線西側の周氷河性斜面やカール内部には粗大な礫が堆積している場所が多く、この山域における岩石氷河などの岩塊地形の表面礫は礫径 30 ~ 100 cm の粗大な角~亜角礫が卓越しており、マトリックスを欠いている。

この山域においては、2004 年秋期から前述の岩石氷河や岩塊地形上の数地点において、地表面温度の観測をおこなっている。2004 年秋期から 2005 年秋期までの約 1 年間の観測結果から、水晶岳のカール内部の舌状岩塊地形上において、晩冬期における積雪底温度(BTS)が -3 を下回り、年平均地表面温度(MAST)は 0 を下回っている(図3)といった結果が得られた(Aoyama, 2006)。晩冬期の BTS が -3 を下回っている地

点や MAST が 0 前後以下の地点では、永久凍土が存在している可能性が高いことが知られている (Haerberli, 1973; Ikeda, 2006)。したがって、その地表面温度の観測結果は、前述の岩塊地形内部に現在永久凍土が存在している可能性が高いことを示している。2005 年秋期に水晶岳および野口五郎岳周辺に分布する岩石氷河など岩塊地形上

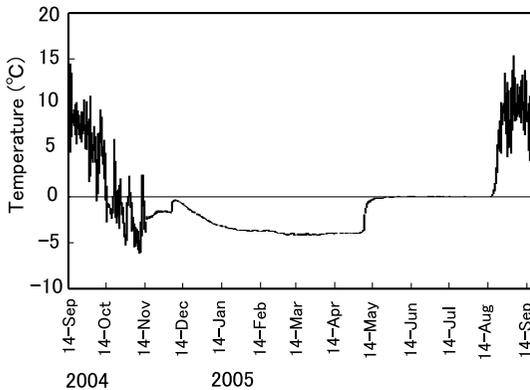


図 3 飛騨山脈水晶岳 C カール内部の岩塊地形における 2004 年 9 月から 2005 年 9 月までの地表面温度の観測結果。

Fig. 3 Annual variations of ground surface temperature in the Suisyo C cirque from September 2004 to September 2005.

の複数の地点に自記記録温度計を増設し、現在地表面温度のモニタリングをおこなっている。今後地表面温度データの回収をおこない、それらの山域における現在の永久凍土分布に関して検討していく予定である。

3) 蒲田川上流域における堆積段丘

堆積段丘は、蒲田川本流沿い新穂高温泉周辺およびその上流部の右俣谷、その支流の小鍋谷、白出沢に沿って分布している (図 4)。蒲田川右俣谷沿いでは、標高 1000 m ~ 1500 m 付近のおもに左岸側に段丘地形が分布しており、段丘面と現河床との比高は最大 170 ~ 180 m にも達する。また、蒲田川上流部の右俣谷および新穂高温泉付近右岸側には、現河床との比高が数 m ~ 20 m の段丘面が点的に分布している。

小鍋谷の堆積段丘は標高 2100 m 付近から右俣谷との合流地点までに沿って分布しており、この段丘面はさらに蒲田川新穂高温泉周辺に分布する鍋平の段丘面に高度的に連続している。堆積段丘は小鍋谷の兩岸に分布しており、段丘面と現河床との比高は下流側ほど大きくなっている。小鍋谷の段丘構成層には弱い成層構造の存在が認められた。中礫から大礫を多く含み、マトリックスはほぼ砂からなる砂礫層中に、最大礫径約 3 m、礫径

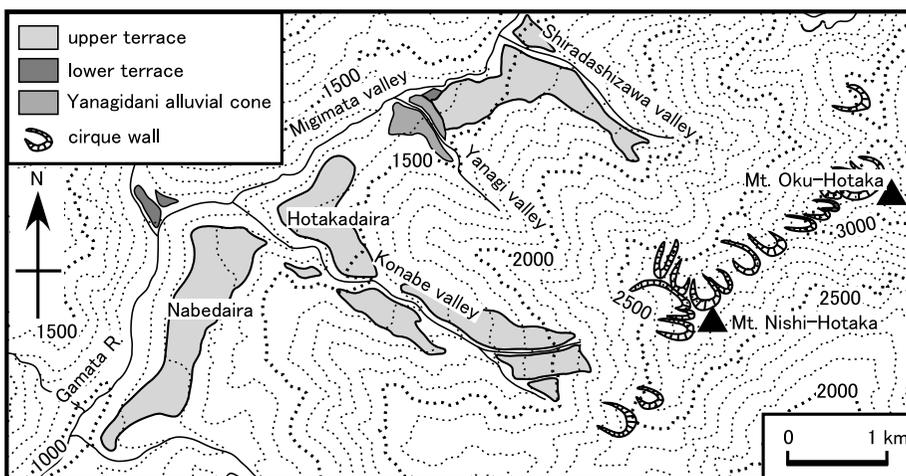


図 4 蒲田川上流域の堆積段丘の分布。

Fig. 4 Distribution of accumulation terraces in the upper reaches of the Gamata River.

30 ~ 100 cm の垂角礫や垂円礫が密集する細粒物質の少ない層が複数挟在している様子が数ヶ所の露頭で観察された。OSL 年代測定用の試料をこの砂礫層の砂がちな部分から採取した。鍋平の段丘面上は傾斜が緩く全体的には平滑な地形面をなしているが、新穂高ロープウェイ鍋平高原駅周辺では、比高 1 ~ 2 m 以内のなだらかな丘陵状の起伏が多く見られる。この段丘面の標高 1200 m 以下は段丘面の傾斜がやや急になっており、段丘面上には礫径 2 ~ 5 m 程度の巨礫が多く見られる。

白出沢沿いにも堆積段丘が分布しており、この段丘面は右俣谷沿いの段丘面へ連続している。右俣谷における現河床とこの段丘面との比高は最大で 40 ~ 50 m である。上述の新穂高温泉付近鍋平の段丘面上は傾斜がほぼ 10 °以下の比較的平坦な地形面となっているが、この段丘面上は傾斜が 10 ~ 20 °の緩斜面となっており、段丘面上は複数のロウブ状の地形が存在するなど新穂高温泉付近の段丘面よりも起伏が大きく、沖積錐状の地形を呈している。また、柳谷下流部の右俣谷との合流地点付近には、柳谷が形成した沖積錐状の地形がこの段丘面を覆うように存在している。白出沢とそれに連続する右俣谷における段丘面では、礫径 30 ~ 100 cm の垂角 ~ 垂円礫を多く含み、一部では礫支持となっている層厚約 5 m 砂礫層が段丘構成層の最上部付近に存在している。また、右俣谷沿いの露頭では、基盤岩を最大礫径約 2 m、礫径 20 ~ 70 cm の垂角 ~ 垂円礫を多く含む無層理無淘汰の砂礫層が覆っている様子が観察された。

現在、段丘構成層から採取した OSL 年代測定用の試料の分析、年代測定作業をおこなっており、その結果や前述の堆積段丘の地形、段丘構成層の特徴などに基づいて、堆積段丘の形成・発達と槍穂高連峰における地形形成環境の変化、特に山岳永久凍土環境の変化との関係を検討していく予定である。

謝 辞

本研究は、平成 17 年度東京地学協会研究・調査助成

金を用いておこなわれた。本研究を進めるにあたり、立教大学観光学部（当時：東京都立大学理学研究科）の岩田修二先生には終始ご指導いただき、東京都立大学（首都大学東京）地理学教室環境変遷学研究室の諸氏には多くのご助言をいただき、議論していただいた。University of Wales の塚本すみ子先生（当時：東京都立大学理学研究科）、明治大学大学院の近藤玲介さんには、OSL 年代測定法に関してご教示いただいた。日本学術振興会特別研究員（名古屋大学環境学研究科）の奈良間千之さん、筑波大学大学院（当時：東京学芸大学大学院）の西井稜子さんには、現地調査の際ご協力いただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

文 献

- Aoki, T. and Hasegawa, H. (2003) Late Quaternary glaciations in the Japanese Alps controlled by sea level changes, monsoon oscillations and topography. *Z. Geomorphol. Suppl. bd.*, **130**, 195-215.
- 青山雅史 (2002a) 日本アルプスのカール内に分布する岩塊堆積地形の成因 岩石氷河説に基づく再検討 . 地理学評論, **75**, 529-543.
- 青山雅史 (2002b) 温度状況および形態的特徴に基づく飛騨山脈槍穂高連峰における岩石氷河の活動状態の評価 . 地学雑誌, **111**, 583-593.
- Aoyama, M. (2005) Rock glaciers in the Yari-Hotaka Mountains, Northern Japanese Alps; palaeoenvironmental implications since the Late Glacial. *J. Quat. Sci.*, **20**, 471-484.
- Aoyama, M. (2006) Monitoring of ground surface temperature on blocky landforms around Mt. Suisyo, central part of the northern Japanese Alps. *Geogr. Rep. Tokyo Metrop. Univ.*, **41**, 1-9.
- 藤岡 毅 (1985) 北アルプス南西部、蒲田川の堆積段丘 . 日本地理学会予稿集, **27**, 92-93 .
- 福井幸太郎・岩田修二 (2000) 立山、内蔵助カールでの永久凍土の発見 . 雪氷, **62**, 23-28 .
- Haerberli, W. (1973) Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. *Z. Gletscherk. Glazialgeol.*, **9**, 221-227 .
- Haerberli, W. (1992) Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts. *Permafr. Periglac. Process.*, **3**, 111-124.
- Haerberli, W., Guodong, C., Gorbunov, A.P. and Harris, S.A. (1993) Mountain permafrost and climatic change. *Permafr. Periglac. Process.*, **4**, 165-174.
- 原山 智・竹内 誠・中野 俊・佐藤岱生・滝沢文教 (1991) 槍ヶ岳地域の地質、地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所 .
- Ikeda, A. (2006) Combination of conventional geophysical methods for sounding the composition of rock glaciers in the Swiss Alps. *Permafr. Periglac. Process.*, **17**, 35-48.

- Ikeda, A. and Matsuoka, N. (2006) Pebbly versus bouldery rock glaciers: Morphology, structure and processes. *Geomorphology*, **73**, 279-296.
- 五百沢智也 (1979) 鳥瞰図譜 = 日本アルプス. 講談社.
- Ishikawa, M., Fukui, K., Aoyama, M., Ikeda, A., Sawada, Y. and Matsuoka, N. (2003) Mountain permafrost in Japan: distribution, landforms and thermal regimes. *Z. Geomorphol. Suppl. bd.*, **130**, 99-116.
- Ito, M. and Vorndran, G. (1983) Glacial geomorphology and snow-lines of Younger Quaternary around the Yari-Hotaka Mountain Range, Northern Alps, Central Japan. *Polarforschung*, **53**, 75-89.
- 神澤公男・平川一臣 (2000) 南アルプス仙丈ヶ岳・藪沢の最終氷期の氷河作用と堆積段丘. 地理学評論, **73**, 124-136.
- 町田 洋 (1979) 信濃川上流と姫川の自然と歴史. 信濃川上流直轄砂防百年史編集委員会編「松本砂防のあゆみ」, 建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所, 1-77.
- Matsuoka, N. and Ikeda, A. (1998) Some observations regarding mountain permafrost in the Japanese Alps. *Annu. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, **24**, 19-25.
- 中野 俊・竹内 誠・吉川敏之・長森英明・苅谷愛彦・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) 地質調査総合センター.
- Ono, Y. (1984) Last glacial paleoclimate reconstructed from glacial and periglacial landforms in Japan. *Geogr. Rev. Jpn.*, **57B**, 87-100.
- 佐藤 剛・苅谷愛彦 (2005) 飛騨山脈・白馬岳北部地域の地すべり地形発達. 地学雑誌, **114**, 58-67.
- 式 正英 (1956) 日本の山地地形. 多田文男・石田龍次郎編: 現代地理学講座 2, 山地の地理. 河出書房, 86-96.
- 式 正英 (1974) 中央日本の山地における洪積世氷期の堆積段丘. 第四紀研究, **12**, 203-210.
- 柳町 治 (1987) 氷河・周氷河地形からみた中部日本における最終氷期の気候. 第四紀研究, **25**, 295-303.