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

高岡 貞夫* 荻谷 愛彦* 佐藤 剛**

Influence of Landslide Activities on the Origin and Spatial Distribution of Alpine Ponds in the Northern Area of the Northern Japanese Alps

Sadao TAKAOKA*, Yoshihiko KARIYA* and Go SATO**

Abstract

Little is known about the biotic and abiotic characteristics of alpine ponds and lakes even though they are prominent and important features of alpine landscape. This study examines the influence of gravitational landforms on the origins and spatial distribution of alpine ponds in a landslide-prone area in central Japan. Ninety-four ponds were detected by aerial-photo interpretation in an area above 2000 m a.s.l. (7838 ha) in a northern area of the Northern Japanese Alps. Of these, 60 ponds occurred inside or at the outer boundaries of gravitationally displaced masses, and 27 ponds occurred in linear depressions that were formed outside masses displaced by gravitational force; the remainder of the ponds were formed by volcanic activities. A logistic regression analysis was performed to determine whether environmental variables explain the presence of ponds in linear depressions. The results indicate that presence of ponds is related to the depth of a depression, snow-cover duration, and bedrock geology. Deeper depressions have ponds more frequently, and ponds tend to be found in depressions on snowy slopes underlain with ultramafic rocks. The concentration of alpine ponds in snowy, ultramafic rock areas suggests ponds are mainly fed by snow melt, and that soil material from weathered ultramafic rocks supports the water storage of ponds.

Key words : alpine pond, landslide, snow cover, geology, remote sensing

キーワード : 高山湖沼, 地すべり, 残雪, 地質, リモートセンシング

I. はじめに

高山地域に存在する湖沼は、水生動物や水生植物、藻類の生息・生育場所となることはもちろんのこと、水域の分布が限られる高山地域に生息する鳥類や哺乳類に対しても貴重な水場を提供するなど、その生態的機能は重要である。

高山地域の湖沼の多くは、雪氷に覆われていた最終氷期以降に形成された歴史の浅い生態系であると考えられるが、湖沼ごとに異なる環境が多様な生物相を育てている (Hinden *et al.*, 2005)。しかし、高山の湖沼は気候変化や大気汚染などによる環境変化の影響を受けやすく、また外来種の侵入に対して脆弱であることなどから、継続的な

* 専修大学文学部環境地理学科

** 帝京平成大学現代ライフ学部

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

** Faculty of Modern Life, Teikyo Heisei University, Tokyo, 170-8455, Japan

モニタリングを含めた調査研究が行われてきた (Catalan *et al.*, 2006; Robinson and Oertli, 2009)。これらの研究では、湖沼の標高、面積、水深、水源などの違いや湖沼間の位置関係などが湖沼の特性を考える上で着目されているが、湖沼の成因や形成時期との関係が論じられることは少ない。

高山に湖沼が形成されるのは、火口、溶岩じわ、線状凹地など周囲より低い地形が形成される場所や、モレーン、溶岩流・溶岩ドーム、地すべり移動体などにより堰き止めが起こる場所である。湖沼の立体的構造（水面の面積や形状、水深など）は貯水が起こる場所の地形に規定され、水温や水質の特徴とその季節変化は、この湖沼の立体的構造に影響を受けるほかに、湖沼の集水域に相当する場所の地形およびその構成物質の特徴、さらにはそれらに規定される残雪や植生などの違いに左右される。また湖沼の生物相は、上述の水温・水質以外に湖沼が形成されてからの時間の長さとも関係していると予想される。したがって、湖沼の物理的・化学的特性や生物相の特徴は、湖沼形成に関わる地形の成因や発達史との関係において理解することが必要である。

日本の高山における湖沼については多くの調査がなされており、水温・水質・透明度などの観測（例えば、渡辺・桜井, 1980; Tanaka and Tominaga, 1994）や生物群集の記載（例えば、昆野, 2003）が行われてきたが、それらが湖沼の成因との関係において検討されることはほとんどなかった。

本研究では、上述のような検討を行うための基礎として、高山地域における湖沼が地形的にどのような場所に形成されるのかを明らかにすることを目的とする。本稿では、研究対象地域に卓越する地すべりにとくに着目して、湖沼の成因と分布の特徴を論じる。北アルプス北部は、日本の山地のなかで地すべりが最も卓越する地域の一つである（清水ほか, 2000; 佐藤・荻谷, 2005）。

高山地域の稜線上およびその下方につづく斜面には、低崖地形がみられることがあり（清水ほか, 1980）、向き合う二つの低崖に挟まれた凹地や、尾根向き低崖（崖面が稜線側に向いている低崖）

図 1 長梅山東斜面にみられる尾根向き低崖沿いの線状凹地内の湖沼。破線は尾根向き低崖の上端。

Fig. 1 Ponds in linear depressions along uphill-facing scarps on the east slope of Mount Nagatsugayama. Dashed line shows upper edge of the scarp.

とその上方の斜面との間にできる凹地は線状凹地と呼ばれる。本稿で検討する湖沼の多くは、このような線状凹地に存在する（図 1）。線状凹地を形成するこれらの低崖は重力性の岩盤変形で生じた正断層に由来するものと考えられ（Dramis and Sorriso-Valvo, 1996）、本地域でも同様の成因によって、地すべり移動体の背後の斜面や地すべり移動体内部に形成されていると考えられる（佐藤・荻谷, 2005）。

II. 調査地域

本研究では飛騨山脈北部において佐藤・荻谷（2008）による地すべり地形学図（1/25,000）が作成された範囲のうち、標高 2000 m 以上の地域（7838 ha）を調査対象とした（図 2）。本地域には、朝日岳（2418 m）、乗鞍岳（2469 m）、白馬岳（2932 m）、鎗ヶ岳（2903 m）など、2500 m 前後の山頂標高をもつ山々が連なっている。

対象地域は、地体構造区分上は飛騨外縁帯にあたる（原山ほか, 1996; 中野ほか, 2002）。北部の朝日岳から鎗ヶ岳周辺にかけては、付加コンプレックスの基質をなす堆積岩類のほかに、珪長質火山岩類（貫入岩）や蛇紋岩が占める面積が大きく、それより南部では花崗岩が卓越する。また乗鞍岳周辺は苦鉄質火山岩類に覆われ、天狗原の溶岩台地を形成している（図 3a）。

図 2 調査地の位置。
標高 2000 m 以上の斜線部が調査対象地域。Ng 長拇山、A 朝日岳、Nr 乗鞍岳、S 白馬岳、Y 鍵ヶ岳。

Fig. 2 Location of study area.
Hatched area above 2000 m a.s.l. shows the study area.
Ng, Mt. Nagatsugayama; A, Mt. Asahidake; Nr, Mt. Norikuradake; S, Mt. Shiroumadake; Y, Mt. Yurigatake.

堆積岩類および蛇紋岩の分布域を中心に地すべり地形が卓越し、地すべり地形学図(佐藤・荻谷, 2008)に示された地すべり移動体は、対象地域の 18.9% を占める(図 3b)。移動体の内部および周辺部には、尾根向き低崖沿いにできた線状凹地が多数観察される。

植生は多量の降雪の影響を強く受けており、調査地域のほぼ全体が森林限界を超えた非森林性の植生域になっている。ダケカンバ、ミヤマハンノキ、オオシラビソ、ハイマツなどが優占する低木林や、雪田草原、湿性草原などが卓越する(横山, 1992)。

III. 方 法

1) 湖沼分布図の作成

空中写真(国土計画局 1976・1977 年撮影、カラー、縮尺 1/15,000)を用いて、対象地域内の

湖沼を判読し、白馬岳周辺と朝日岳周辺における現地踏査の結果を加味して、湖沼の分布図を作成した。図化の対象としたのは、森林限界以上の斜面に分布する湖沼である。

判読に用いた空中写真はいずれも 9 月から 10 月に撮影されたもので、融雪期に一時的に形成される湖沼は含まれていないが、大雨の直後に一時的に形成されたものが含まれている可能性はある。

この湖沼の分布図を地すべり地形学図(佐藤・荻谷, 2008)と重ね合わせ、地形と湖沼分布との関係を検討した。

2) 湖沼分布と線状凹地との関係の分析

分布図が作成された湖沼のうち、尾根向き低崖沿いの線状凹地内に分布する 63 個を対象に、ロジスティック回帰モデルを用いた湖沼の形成条件の分析を行った。この分析では、地形学図(佐藤・荻谷, 2008)に図化された尾根向き低崖のうち、標高 2000 m 以上の斜面にある合計 1152 条の尾根向き低崖を対象とし、それらに湖沼が隣接して存在するか否かを従属変数とした。なお、尾根向き低崖は等高線に対してほぼ平行なものが多いが、なかには等高線と交わる角度が大きいものも存在する。そこで低崖がつくる凹地の貯水地形としての効果を考慮して、等高線に対して 45 度以下の角度で交差する低崖のみを対象とした。

独立変数は、基盤岩の地質、残雪の占める面積、低崖の長さ、低崖の比高、斜面傾斜、主稜線からの距離とした。

基盤岩の地質は 1/200,000 地質図(地質調査総合センター, 2009)を用いてダミー変数化した。すなわち蛇紋岩分布域を 1、その他の地質を 0 としたうえで、尾根向き低崖ごとに変数を与えた。

残雪分布は ALOS PRISM の画像(2007 年 6 月 23 日撮影)について RPC ファイルを用いてオルソ化したものから推定し(図 3c)、地表を覆う残雪の割合(%)を 50 m メッシュ単位および 500 m メッシュ単位で算出した。ただし、ALOS 画像の一部は雲により残雪域が推定できなかったため、雲域を含むメッシュにかかる 36 条の尾根向き低崖は、残雪に関する変数を欠損値の扱いに

図 3 対象地域内の地質 (a), 地すべり地形 (b) および残雪 (c) の分布。

(a) ax 堆積岩類, ab 玄武岩, al 石灰岩, ac チャート, u 蛇紋岩, vi 珪長質火山岩類 (貫入岩), vf 珪長質火山岩類, vp 凝灰岩類, vb 苦鉄質火山岩類, gp 珪長質深成岩類, gr 花崗岩, s 変成岩, w 水域. 地質調査総合センター (2009) を改変. (b) dm 地すべり移動体, ld 尾根向き低崖沿いの線状凹地. 佐藤・垣谷 (2008) を改変. (c) sn 残雪域, cl 雲域. 2007 年 6 月 23 日撮影の ALOS PRISM 画像から図化.

Fig. 3 Maps showing geology (a), landform (b) and snow cover (c).

(a) ax, melange matrix of accretionary complex; ab, basalt; al, limestone; ac, chert; u, ultramafic rocks; vi, felsic volcanic intrusive rocks; vf, felsic volcanic rocks; vp, tuff (pyroclastic flow); vb, non-alkaline mafic volcanic rocks; gp, felsic plutonic rocks; gr, granite; s, schist; w, water. Modified from Geological Survey of Japan (2009). (b) dm, gravitationally displaced mass; ld, linear depression along uphill-facing scarp. Modified from Sato and Kariya (2008). (c) sn, snow cover; cl, cloud cover. Mapped from ALOS PRISM data acquired on June 23, 2007.

して分析に供した。

尾根向き低崖の比高は、低崖が位置する場所で 1/25,000 地形図の 10 m の等高線が 1 本も変形していないものに 0, 1 本の等高線が変形しているものに 1, 2 本以上が変形しているものに 2 をそれぞれ割り当てた。

斜面傾斜は 10 m メッシュ DEM (国土地理院, 数値標高モデル 10 m メッシュ (標高)) を用いて, 50 m メッシュ単位および 500 m メッシュ単位で算出した。

主稜線からの距離は, 10 m メッシュ DEM を用いて主稜線からの距離に基づく距離ラスタを 50 m メッシュ単位で発生させた。主稜線は, 1/25,000 地形図上で 500 m 間隔の等高線 2 本以上から引ける尾根線と定義した。ただし, 主稜線の位置を決める際には, 10 m の等高線も参考にした。

これらの独立変数のうち基盤岩の地質については, 低崖の線分が複数の種類の地質分布域にまたがる場合に, 各地質分布域にかかる線分の長さが最も長いものをその線分の変数として与えた。また, 残雪分布, 斜面傾斜, 主稜線からの距離については, 低崖の線分が複数のメッシュにまたがって存在する場合に, 各メッシュにかかる線分の長さの比で案分することによってメッシュ値の平均値を求めた。

ロジスティック回帰分析では, 独立変数間の相関係数を考慮しながら, 多重共線性が問題とならない独立変数の組み合わせを複数組用意して投入した。

なお, 分布図の重ね合わせ, DEM や衛星画像の処理には GIS ソフト TNTmips 2010 を用い, ロジスティック回帰分析には統計ソフト IBM SPSS Statics 19 を用いた。

IV. 結 果

1) 湖沼分布の概要

対象地域内には 94 個の湖沼が判読された (図 4)。これらのうち乗鞍岳の東に位置する白馬大池を除くと, すべての湖沼の面積は 6000 m² より小さく, 大半は 1000 m² に満たない小規模な

図 4 調査地域内の湖沼の分布。
p 湖沼, ld 尾根向き低崖沿いの線状凹地。

Fig. 4 Distribution of ponds in the study area.
p, pond; ld, linear depression along uphill-facing scarp.

ものである。

これらの湖沼の分布と地すべり地形学図 (佐藤・荏谷, 2008) との対応関係をみると, 94 個のうち 60 個は地すべり移動体の内部か移動体に接して存在している (表 1)。また, 移動体の外部にある 34 個の湖沼のうちの 27 個は, 稜線付近から斜面中腹にかけて存在する低崖に沿う場所に位置している。地すべり移動体の外部で低崖と関係なく存在していた 7 個の湖沼のうちの 6 個は, 乗鞍岳東方の苦鉄質火山岩類の分布域に位置している。

表 1 湖沼が分布する場所の地形的位置.

Table 1 Topographic position of alpine ponds on mountain slopes.

地形的位置		個数	合計
移動体の内部 および隣接地	尾根向き低崖沿い	38	60
	低崖のない場所	6	
	移動体の外周沿い	10	
	移動体と移動体の境界	6	
移動体の外部	尾根向き低崖沿い	25	34
	谷向き低崖沿い	2	
	低崖のない場所（溶岩台地上）	6	
	低崖のない場所（非溶岩台地上）	1	

表 2 地質分布域別の湖沼分布.

Table 2 Number of observed and expected ponds in areas with different bedrock.

基盤岩		全湖沼			尾根向き低崖沿いの湖沼		
		面積(ha)	観察数*	期待値**	低崖の数	観察数*	期待値**
付加コンプレックス	堆積岩類	3296.4	48	39.5	624	37	34.1
	玄武岩	107.6	1	1.3	22	1	1.2
	石灰岩	12.8	0	0.2	3	0	0.2
	チャート	137.8	2	1.7	19	0	1.0
	蛇紋岩	663.7	20	8.0	144	15	7.9
珪長質火山岩類（貫入岩）		1290.9	2	15.5	113	3	6.2
珪長質火山岩類		119.8	2	1.4	39	0	2.1
凝灰岩類		32.5	0	0.4	0	0	0.0
苦鉄質火山岩類		521.9	13	6.3	45	2	2.5
珪長質深成岩類		448.5	1	5.4	36	0	2.0
花崗岩		1183.2	3	14.2	104	3	5.7
変成岩		11.0	2	0.1	3	2	0.2

*: 本研究で図化した湖沼の数を意味する.

**: 地質別の面積と低崖数からそれぞれ求めた期待値を示す.

地質図（地質調査総合センター, 2009）と湖沼分布を比較すると、湖沼の分布には偏りがみられる（表 2）。すなわち蛇紋岩および苦鉄質火山岩類の分布域に出現する湖沼数は、面積から期待される数より多く、珪長質火山岩類、珪長質深成岩類、花崗岩の分布域では少ないという傾向が認められる。

上述のように、湖沼は地すべり移動の内部においても外部においても、尾根向き低崖沿いに出現するものが多いが、これらの低崖は基盤岩の地質が異なると観察される頻度も異なる。そこで尾根向き低崖の多寡を考慮しながら、尾根向き低崖沿いに分布する 63 個の湖沼の分布を地質別に比較すると、蛇紋岩分布域では低崖数から期待される

表 3 湖沼形成条件に関するロジスティック回帰分析の結果.

Table 3 Effects of site characteristics on alpine-pond distribution determined by logistic regression analysis.

変数	標準偏回帰 係数	標準誤差	有意確率	オッズ比	95% 信頼区間	
					下限	上限
低崖の比高	0.517	0.298	0.000	3.652	2.036	6.549
残雪の面積 (50 m メッシュ)	0.498	0.005	0.001	1.017	1.007	1.028
基盤岩の地質	0.313	0.352	0.007	2.573	1.290	5.132
斜面傾斜 (500 m メッシュ)	-0.314	0.024	0.055	0.956	0.913	1.001
主稜線からの距離	0.299	0.000	0.056	1.001	1.000	1.002
定数		0.495	0.000	0.019		

数よりも多くの湖沼が出現する傾向が認められる (表 2)。

ALOS PRISM 画像から推定される 2007 年 6 月 23 日の残雪域と湖沼分布を比較すると、地すべり移動体内部の凹地や移動体外部の低崖沿いなどは残雪域となっているところが多く、94 個の湖沼のうち 82 個は残雪域内に位置していた。

2) ロジスティック回帰分析

前節で述べたように、地形に関連づけてみた場合に、湖沼は尾根向き低崖がつくる線状凹地内にみられることが多いが、湖沼が形成されているのは、対象地域内に多数存在する尾根向き低崖の一部にすぎない。そこで、これらの低崖のどのような条件が湖沼の有無に関わっているのかを検討するために、ロジスティック回帰分析を行った (表 3)。尾根向き低崖の比高、残雪の占める面積 (50 m メッシュ)、基盤岩の地質の三つの変数が、湖沼の有無に対して有意な効果をもつ変数であり ($p < 0.01$)、また、標準偏回帰係数の値を比較すると、上記の順に効果の大きい変数であることがわかる。すなわち、崖高が大きく深い凹地が形成されることが湖沼の形成に最も重要であり、また残雪が多くみられる場所に位置するほうが湖沼はできやすく、蛇紋岩分布域の方が他の地質の分布域よりできやすい。

なお、尾根向き低崖の位置する場所の斜面傾斜と主稜線からの距離は 5% 水準で有意な変数ではなかったが、傾斜が緩いほど、また主稜線からの距離が大きいほど、湖沼が形成される傾向があることが読み取れる。

V. 考 察

対象地域にみられる 94 個の湖沼のうちの 87 個は、地すべり移動体の内部や隣接地にあるか、あるいは移動体の外部であっても線状凹地をつくる尾根向き低崖沿いに存在していた (表 1)。したがって、対象地域の湖沼のほとんどが、地すべりの発生と関係して形成されたと考えられる。地すべりは山地の生物多様性を高める重要な役割を果たすことが指摘され (Geertsema and Pojar, 2007; Alexandrowicz and Margielewski, 2010)、日本の山地でも着目されてきたが (小泉, 1999; 岡村・磯貝, 2002; 菊池, 2002; 宮城, 2002; 稲垣ほか, 2004; 三島ほか, 2009 など)、本研究では高山地域における地すべりの役割の一端が示された。

なお、地すべり移動体の外部において溶岩台地上に分布する 6 個には乗鞍岳東方の白馬大池が含まれるが、これは乗鞍岳溶岩の噴出にともなう堰き止めによって形成されたものである。残りの 5 個は乗鞍岳東方にある天狗原の内部に位置する。天狗原内部にも低崖に沿って分布する湖沼が存在するが、これら 5 個の湖沼の近くには低崖は認められないので、地すべりと無関係の溶岩台地上の凹地に形成されたものと考えられる。

本地域では、稜線部を中心に氷食地形が多数観察されるが (五百沢, 1979; 佐藤・荻谷, 2008)、モレーンなど圈谷底の氷河地形が明瞭に観察される場所は少なく、氷河地形が湖沼の形成に関わっているかどうかは判然としない。地すべりと関連すると推定された 87 個の湖沼のなかには、氷河

作用を含むさまざまな地形形成作用との複合によって生じたものが含まれている可能性がある。

調査地域には多数の尾根向き低崖があるが、これらの低崖のすべてが湖沼を伴うわけではない。ロジスティック回帰分析の結果（表3）によれば、湖沼が形成される条件として、低崖の比高すなわち凹地の深さが第一に重要であるが、そのほかに低崖が消雪の遅れる斜面に位置することや、基盤岩が蛇紋岩である斜面に位置することも重要である。このことは高山地域の湖沼の涵養に融雪水が重要であることと、透水性に影響する風化土層が蛇紋岩地域で形成されやすい（横田ほか、1995）ことが湖沼の形成に関わっていることを示唆している。

本地域のように湖沼形成に地すべりが関与している場合には、さまざまな形成時期の湖沼が混在している可能性がある。本研究では、個々の湖沼の形成時期を具体的に論じるデータはないが、対象地域のうち白馬岳北部地域では、完新世のいくつか異なる時期に地すべりにともなう地形変化が生じたことが明らかになっている（荻谷ほか、2005；佐藤・荻谷、2005）。

VI. おわりに

本研究では北アルプス北部の高山地域における湖沼の分布と成因について検討し、湖沼の多くが地すべりと関係するかたちで存在していることが明らかになった。これまで高山地域における植生や地形を中心とした地生態学的研究では、主として氷河・周氷河地形が注目されてきたが、地すべりによる地形もまた高山の生態系を特徴づける因子として重要であることが示された。

本研究で判読された湖沼のなかには、空中写真で確認される水面の形状が近年の土砂流入により変化したと考えられるものがあることが、現地調査で確認されている。湖沼の形成時期、形成後の拡大あるいは縮小・消滅の過程、およびそれらと湖沼の水質や生物相との関係は、今後明らかにされるべき課題の一つである。

謝 辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（代表：

荻谷愛彦 2151004）による研究成果の一部である。

文 献

- Alexandrowicz, Z. and Margielewski, W. (2010): Impact of mass movements on geo- and biodiversity in the Polish Outer (Flysch) Carpathians. *Geomorphology*, **123**, 290-304.
- Catalan, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, T., Bartumeus, F., DeMendoza, G., Miró, A., Casamayor, E., Medina-Sánchez, J., Bacardit, M., Altuna, M., Bartrons, M. and Díaz de Quijano, D. (2006): High mountain lakes: Extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, **25**, 551-584.
- 地質調査総合センター (2009): 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版, 地質調査総合センター. [Geological Survey of Japan (2009): *Seamless Geological Map of Japan at a Scale of 1:200,000 DVD edition*. Geological Survey of Japan. (in Japanese with English abstract)]
- Dramis, C.B.F. and Sorriso-Valvo, M. (1996): Rock flow (Sackung). in *Landslide recognition. Identification, Movement and Causes* edited by Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L. and Ibsen, M.L., Wiley, 150-160.
- Geertsema, M. and Pojar, J.J. (2007): Influence of landslides on biophysical diversity—A perspective from British Columbia. *Geomorphology*, **89**, 55-69.
- 原山 智・滝沢文教・加藤碩一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (1996): 20 万分の 1 地質図幅「富山」. 地質調査所. [Harayama, S., Takizawa, F., Kato, H., Komazawa, M., Hiroshima, T. and Sudo, S. (1996): *Geological Map of Japan, 1:200,000, Toyama*. Geological Survey of Japan. (in Japanese with English abstract)]
- Hinden, H., Oertli, B., Menetrey, N., Sager, L. and Lachavanne, J.B. (2005): Alpine pond biodiversity: What are the related environmental variables?. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **15**, 613-624.
- 稲垣秀輝・小坂英輝・平田夏美・日下速太・稲田敏昭 (2004): 四国御荷鉢地すべりの多様な生態系. 日本地すべり学会誌, **41**, 245-254. [Inagaki, H., Kosaka, H., Hirata, N., Kusaka, H. and Inada, T. (2004): Diverse ecosystem in Mikabu landslide, Shikoku district. *Journal of the Japan Landslide Society*, **41**, 245-254. (in Japanese with English abstract)]
- 五百沢智也 (1979): 鳥瞰図譜—日本アルプス [アルプス・八ヶ岳・富士山] の地形誌. 講談社. [Iozawa, T. (1979): *The Japanese Alps: Atlas of bird's eye view (Chokanzufu Nihon Alps)*. Kodansha. (in Japanese)*]
- 荻谷愛彦・佐藤 剛・黒田真二郎 (2005): 飛騨山脈・白馬岳柳又谷源流の大規模地すべり. 日本地理学会発表要旨集, 2005 年度日本地理学会春季学術大会. [Kariya, Y., Sato, G. and Kuroda, S. (2005): Landslide complexes in the uppermost Yanagimatadan

- valley, Mount Shirouma-dake, central Japan. *Annual Meeting of the Association of Japanese Geographers, Spring 2005*. (in Japanese)]
http://www.jstage.jst.go.jp/article/ajg/2005s/0/2005s_147/article-char/ja/ [Cited 2011/8/30].
- 菊池多賀夫 (2002): 地すべり地における植生とその立地条件. 地すべり, **39**, 338-342. [Kikuchi, T. (2002): Landslide vegetation and its habitat condition. *Journal of the Japan Landslide Society*, **39**, 338-342. (in Japanese)]
- 小泉武栄 (1999): 日本海側多雪山地における地すべり起源の植物群落. 東京学芸大学紀要第3部門社会科学, **50**, 49-59. [Koizumi, T. (1999): Plant communities caused by landslides in snowy mountains on the side of Japan sea. *Bulletin of Tokyo Gakugei University. Section 3, Social Sciences*, **50**, 49-59. (in Japanese with English abstract)]
- 昆野安彦 (2003): 大雪山バルサ湿原の止水性水生昆虫. 陸水学雑誌, **64**, 145-149. [Konno, Y. (1999): Lentic aquatic insects in the ponds of a palsa bog in Daisetsuzan National Park, Hokkaido. *Japanese Journal of Limnology*, **64**, 145-149. (in Japanese with English abstract)]
- 三島佳恵・檜垣大助・牧田 肇 (2009): 白神山地の小規模地すべり地における微地形と植生の関係. 季刊地理学, **61**, 109-118. [Mishima, Y., Higaki, D. and Makita, H. (2009): Relationship between microtopography and plants in a small landslide area in the Shirakami Mountains. *Quarterly Journal of Geography*, **61**, 109-118. (in Japanese with English abstract)]
- 宮城豊彦 (2002): 地すべりによって形成される土地自然特性とその保全. 地すべり, **39**, 343-350. [Miyagi, T. (2002): Natural characteristics and its conservation of landslide area. *Journal of the Japan Landslide Society*, **39**, 343-350. (in Japanese)]
- 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), 地質調査総合センター. [Nakano, S., Takeuchi, M., Yoshikawa, T., Nagamori, H., Kariya, Y., Okumura, K. and Taguchi, Y. (2002): *Geology of the Shiroumadake District*. Geological Survey of Japan. (in Japanese with English abstract)]
- 岡村俊邦・磯貝晃一 (2002): 地すべり地の自然の多様性とその環境的意義. 地すべり, **39**, 351-355. [Okamura, T. and Isogai, K. (2002): The diversity of nature in landslides and its environmental value. *Journal of the Japan Landslide Society*, **39**, 351-355. (in Japanese)]
- Robinson, C.T. and Oertli, B. (2009): Long-term bio-monitoring of alpine waters in the Swiss National Park. *eco.mont (Journal on Protected Mountain Areas Research)*, **1**, 23-34.
- 佐藤 剛・荻谷愛彦 (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. [Sato, G. and Kariya, Y. (2005): Geomorphological development caused by landslides in the northern area of Mt. Shiroumadake, the Hida Mountains, Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **114**, 58-67. (in Japanese with English abstract)]
- 佐藤 剛・荻谷愛彦 (2008): 北部飛騨山脈の地すべり地形学図 (1:25,000). 帝京平成大学. [Sato, G. and Kariya, Y. (2008): *Landslide Map of the Northern Hida Mountains (1:25,000)*. Teikyo Heisei University. (in Japanese)]
- 清水文健・東郷正美・松田時彦 (1980): 日本アルプス・野口五郎岳付近における小崖地形の成因. 地理学評論, **53**, 531-541. [Shimizu, F., Togo, M. and Matsuda, T. (1980): Origin of scarplets around Mt. Noguchigoro-dake in the Japan Alps, central Japan. *Geographical Review of Japan*, **53**, 531-541. (in Japanese with English abstract)]
- 清水文健・井口 隆・大八木規夫 (2000): 地すべり地形分布図 第11集「富山・高山」, 地すべり地形分布図27葉, 同読図解説書. 防災科学技術研究所. [Shimizu, F., Inokuchi, T. and Oyagi, N. (2000): *Landslide Maps, Series 11 "Toyama and Takayama" 1:50,000, 27 sheets; Landslide Maps and Explanations for the Landslide Maps*. The National Research Institute for Earth Science and Disaster Preventions. (in Japanese with English abstract)]
- Tanaka, S. and Tominaga, H. (1994): Seasonal changes in water temperature, pH, dissolved oxygen and transparency in Japanese high mountain lake, L. Mikuriga-ike. *Japanese Journal of Limnology*, **55**, 61-65.
- 渡辺義人・桜井善雄 (1980): 長野県山岳湖沼の水質現況とその保全—二ノ池, 三ノ池, 濃ヶ池, 白馬大池, 風吹大池. 日本水処理生物学会誌, **16**, 47-64. [Watanabe, Y. and Sakurai, Y. (1980): The present state of water quality and the conservation of some alpine lakes in Nagano prefecture: Nino-ike, Sanno-ike, Noga-ike, Shirouma-Oike and Kazabuki-Oike. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, **16**, 47-64. (in Japanese)]
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1995): 蛇紋岩の風化粘性土の強度特性. 土木学会論文集, **529**, 155-163. [Yokota, K., Yatabe, R. and Yagi, N. (1995): Strength characteristics of weathered serpentine. *Proceedings of JSCE (Japan Society of Civil Engineers)*, **529**, 155-163. (in Japanese with English abstract)]
- 横山秀司 (1992): 飛騨山脈における森林限界の景観生態学的研究 (1). 宮崎産業経営大学研究紀要, **4**, 1-19. [Yokoyama, H. (1992): Landschaftsökologische Studien zur Waldgrenze im Hida-Gebirge Japans. *Review of Miyazaki Sangyo-Keiei University*, **4**, 1-19. (in Japanese)]

* Title etc. translated by S.T.

(2011年9月20日受付, 2012年1月8日受理)