

大幅に融けた2016年秋の飛騨山脈北部の氷河・雪渓

The big melt of the perennial snow patches and glaciers in the autumn of 2016 in the northern part of the northern Japanese Alps

*福井 幸太郎¹、飯田 肇¹

*Kotaro FUKUI¹, Hajime IIDA¹

1. 立山カルデラ砂防博物館

1. Tateyama Caldera Sabo Museum

1.はじめに

2016年冬の記録的な少雪の影響で、同年9～10月にかけて飛騨山脈北部の雪渓や氷河は20年ぶりといわれるほど大幅に融解した。本発表では、博物館が2009年から観測を行っている飛騨山脈北部の氷河・雪渓の融解状況についてUAVやヘリコプターを用いて撮影した空中写真や地中レーダーによる雪渓断面の観測結果、雪尺を用いた質量収支観測結果について報告する。

2. 劔沢雪渓

0.26 km²に達する日本最大の多年性雪渓である。2016年秋に中央部2カ所で雪渓が消失し河原が露出、雪渓は大きく3つに分割された。

年8月17日の地中レーダー観測の結果から、武蔵谷、平蔵谷、長次郎谷など支流の合流点（出合）では、厚さ18 m前後の氷体が存在するが、それ以外では存在しないことが判明していた。氷体が無い場所で2016年秋に雪渓が消失した。

3. 白馬大雪渓

越年する面積が0.17 km²に達する多年性雪渓で、白馬岳山頂に通じる日本屈指の人気登山ルートが雪渓上に設置されている。2016年秋、支流の三号雪渓から下流側でスノーブリッジの崩落やクレバスの発達が悪化し、同年9月1日に登山ルートが通行止めになった。2015年10月21日の地中レーダー観測の結果から、二号雪渓の合流点から下流側200 mでは、雪渓の厚さが20 mと厚いものの、それ以外の部分は厚さ5～10 mと薄いことが分かっていた。この雪渓は面積の割に全体的に薄く、融解が進んだ年にはかなりの部分が消失してしまう可能性があったといえる。

4. 御前沢氷河

立山の主峰雄山の東側に位置する面積0.12 km²の氷河である。2016年は9月に入ると氷体が表面に露出し、中央部や末端のモレーンが大きく露出したものの、劔沢や白馬大雪渓のようにスノーブリッジの発達はみられない。氷河上4カ所で実施している雪尺を用いた質量収支観測によると2011/2012年は平衡線高度が2660 m付近であったが、2012/2016年は質量収支（4年間の平均）が氷河全域でマイナスであった。

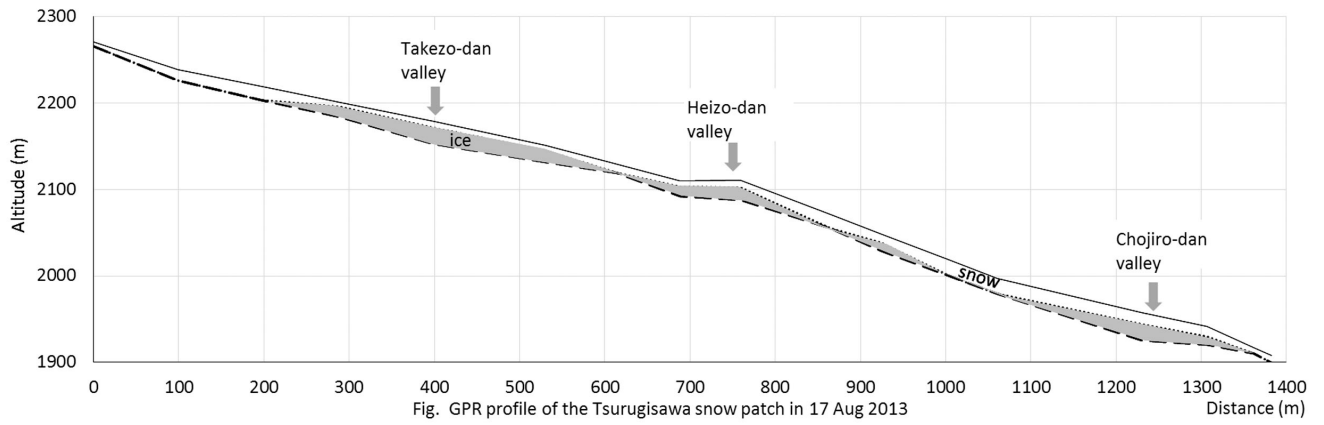
5. 内蔵助雪渓

立山の真砂岳の東側に位置する面積が0.04 km²の多年性雪渓である。厚さ30 mに達する氷体をもつ。2016年は表層にムーランが20近く表面に出現した。

出現したムーランの深さの測定や地中レーダーによる雪渓断面観測から内蔵助雪渓の氷体の厚さは25～30 mで30年前の1988年とほとんど変わっていないことが分かった。

キーワード：氷河、雪渓、飛騨山脈、UAV、地中レーダー

Keywords: glacier, perennial snow patch, the northern Japanese Alps, unmanned aerial vehicle, ground penetrating radar



北アルプスの氷河・越年性雪渓の年間質量収支と地形環境

Annual mass balance and geomorphological condition of glacier and snow patch in the northern Japanese Alps.

山本 遼平¹、*奈良間 千之²、福井 幸太郎³、飯田 肇³

Ryohei Yamamoto¹, *Chiyuki Narama², Kotaro FUKUI³, Hajime IIDA³

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学部理学科、3. 立山カルデラ砂防博物館

1. Niigata University, Graduate school of science and technology, 2. Niigata University, Department of Science, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum

北アルプスの御前沢氷河・小窓氷河・三ノ窓氷河・カクネ里雪渓・白馬大雪渓・内蔵助雪渓を対象に、2015年10月9日（融雪末期）、2016年3月16日（積雪最大期）、2016年9月30日（融雪末期）に空撮したデジタル画像とSfM-MVS（Structure from Motion- Multi View Stereo）から作成した各時期の氷河・雪渓のDSM（Digital Surface Model）を比較し、6つの氷河・雪渓の年間質量収支を算出した。平均積雪深の最大は三ノ窓氷河の18.8mで、最小はカクネ里雪渓の7.6mであった。また、北アルプス全域を対象に、衛星画像と国土地理院10m DEM（Digital Elevation Model）を用いて主稜線から水系網状に一定距離離れた点を流出点とする集水域を作成し、集水域ごとに雪の涵養に関わる要素（集水域面積・緯度・経度・斜面方位・標高・傾斜角）を用いて、雪氷体の面積を目的変数とするDecision treeモデルを構築したところ、氷河・越年性雪渓が形成されるために重要な要素は最大標高値の大きさであった。

キーワード：氷河、雪渓、年間質量収支、北アルプス

Keywords: glacier, snow patch, annual mass balance, the Northern Japanese Alps

乗鞍岳東斜面における降雨および融雪に対する地表流の応答

Response of surface runoff to rainfall and snowmelt in the Mt. Norikura alpine area

*清水 啓紀¹、佐々木 明彦²、鈴木 啓助²

*Shimizu Hironori¹, Akihiko SASAKI², Keisuke Suzuki²

1. 信州大学理学部学部生、2. 信州大学理学部

1. Undergraduate student, Faculty of Science, Shinshu University, 2. Faculty of Science, Shinshu University

乗鞍岳東斜面の谷頭小流域において、2016年6月22日から2016年10月13日にわたり、地表流、雪渓融雪水の調査および気象観測を行った。

10分間降水量から算出した先行降雨指数を用いることで、融雪期後期に集水域からの地表流の流出が最も多い流出口付近での、地表流発生ポテンシャルの定量的な評価を行うことができた。

乗鞍大雪渓からの融雪水は、直接的に地表流として流下するのではなく、一度伏流したのち数10m下方で地表面に湧水として現れる。この湧水は雪渓の化学成分に比べ、土壌や岩石が起源とされるHCO濃度が高いことがわかった。伏流し地表に現れるまでの過程で、土壌および岩石から化学的風化作用によるイオン溶出を受けたものと考えられる。さらに、集水域からの地表流出経路5地点のうち1地点からも、水質的に地下水の寄与が大きいと考えられる地表流が、無降水期間中にも連続的に観測された。従って、雪渓の融雪水を介して、地下水成分が下流へと安定して供給されていることを示唆する。

降雨イベントにより、地表流のpH、電気伝導度、HCO濃度の一時的な上昇と直後の大幅な低下、その後の緩やかな回復が観測された。これは、降雨直後の降雨の地下浸透に伴う地下水の押し出し流形成と、降水による希釈作用が要因と考えられる。

キーワード：先行降雨指数、雪渓、地下水

Keywords: antecedent precipitation index, snow patch, ground water

山岳地域における積雪期の熱収支解析

Heat Balance Analysis during the Snow Covered Season in the Alpine Area

*西村 基志¹、佐々木 明彦²、鈴木 啓助²

*Motoshi Nishimura¹, Akihiko SASAKI², Keisuke Suzuki²

1. 信州大学大学院理工学系研究科、2. 信州大学理学部

1. Graduate school of Science and Technology, Shinshu University, 2. Faculty of Science, Shinshu University

積雪融解に関する研究はその土地の自然環境を形成する因子を理解する上で非常に重要である。積雪融解にはその地点の大気環境が最も重要であるが、大気環境は気候や地域によって大きく異なるため、ある地点での積雪融解を理解するためには実際に気象観測を行い、実測値に基づいた議論が必要である。本研究では乗鞍岳東斜面の標高1590 m地点において気象観測と熱収支解析を行い、積雪融解に寄与する熱量の時間変化と融解特性を明らかにした。本研究成果は気象条件や地形などによって異なる融解特性について、未だ詳細に明らかになっていない山岳地域の垂高山帯下部での積雪融解の地域的特徴を明らかにするものである。

乗鞍岳東斜面の標高1590 m地点の平坦地にて、2011/12年～2015/16年冬季の2014/15年を除く積雪期に気象観測と熱収支解析を行った。気象観測項目は、気温、相対湿度、風速、気圧、降水量、短波放射収支、長波放射収支および積雪深である。風速のデータは10分毎、その他のデータについては60分データを用いて解析を行った。また、任意の時刻の積雪密度と積雪深変化量を用いて積雪融解量を計算する雪面低下法を用いて、熱収支解析による融解量計算結果と照合し、解析結果の妥当性を検討した。

気象観測の結果、本研究地点では気温と水蒸気圧が低く、風速が小さいという気象特性が明らかになった。熱収支解析を行った結果、放射収支による熱量が総融解熱量に対してほぼ100%を占める割合であり、顕熱輸送量と潜熱輸送量はそれぞれ10～15%と-20%を占めることが明らかになった。また、降雨時には短波放射収支が減少し、長波放射収支が増加した。また、顕熱輸送量と潜熱輸送はそれぞれわずかに増加した。降雨時には多くの融解熱量が供給されるが、降雨による伝達熱自体は総融解熱量の1%程度であり、ほとんど融解には影響していなかった。融雪期後期における雪面低下法による融解量は水当量で544 mmだったのに対し、熱収支法は515 mmであり、概ね一致した。

熱収支解析により、放射収支による熱量が総融解熱量に対して大部分を占めていることが明らかになった。これは気温と水蒸気圧が低く、風速が小さいという気象特性が顕熱輸送量と潜熱輸送量を小さくしているためと考えられる。また、降雨時には気温と水蒸気圧が増加するために、顕熱輸送量と潜熱輸送量が増加するため、晴天時に比べ多くの融解熱が供給された。雪面低下法と熱収支法によるそれぞれの融解量を比較すると両方法の差は約30 mmだった。本研究で用いた熱収支法は地表面からの熱輸送などを考えていない。それらを含めた融解量を考慮すると両方法の融解量はほぼ一致するため、本研究における熱収支解析の妥当性が示された。

キーワード：熱収支解析、融雪、気象観測

Keywords: heat balance analysis, snowmelt, meteorological observation

積雪期の上高地における特異な低温

Extreme Low Temperature in the Snow Covered Season at Kamikochi

*黒雲 勇希¹、佐々木 明彦²、鈴木 啓助²

*Yuki Kurokumo¹, Akihiko SASAKI², Keisuke Suzuki²

1. 信州大学大学院総合工学系研究科、2. 信州大学理学部

1. Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 2. Faculty of Science, Shinshu University

気象要素はフィールドにおける諸現象の制御因子であり、とりわけ気温は様々な分野にとって不可欠な情報となる。特に標高が高く複雑な地形を有する山岳地域では気温の空間的変動が大きく、局地的な現象の発生要因となるため、正確な気温分布の把握が重要である。そこで、2011年より中部山岳地域の上高地・槍・穂高地域において、標高差を生かした空間的に密な気象観測を実施し、気温の鉛直構造を解析してきた。これまでの観測より、上高地では冬季に冷気湖が頻繁に発生すること、また最低気温が -18°C を下回る極端な低温日があることが明らかになった。雪面上の気温は主にアルベドの大きさによって支配されることが知られており、冬季は雪に覆われる上高地では、強い冷え込みに積雪が寄与している可能性がある。本研究では、上高地で積雪期となる12月から翌3月に発生した特異な低温および冷気湖について、積雪を関連付けて発生条件を明らかにすることを目的とした。

期間内に信州大学上高地ステーションで観測された日最低気温のうち、約1割が -18°C 以下の極端な低温であり、一積雪期の間概ね十数日程度の割合で発生した。低温日の中でも -23°C を下回る最も低温となった事例は、直前の降雪から3日以内のみ発生した。また、特異な低温に結びつく強い冷気湖も降雪から1日半から3日後の間に集中して発生し、時間が経つほど発生数が減少した。積雪表面は時間の経過とともに融解や汚れによるアルベドの低下が進むが、厳冬期の上高地では概ね3日以内であれば新雪が保存され、積雪表面が強い冷却効果を保つため、この期間に極端な低温が集中したと考えられる。観測期間内に発生した冷気湖のほぼ全ては形成から解消までが一昼夜のうちに完結する夜間の冷気湖であり、このような冷気湖については持続時間と逆転強度が正の相関を示した。一方で、中には複数の日にまたがる持続時間の長い冷気湖も見られた。長時間の冷気湖は、盆地内に冷気湖が形成された状況下で上空のリッジが接近し、暖気が流入して移流性逆転が生じることで、冷気湖の解消が阻害された場合に見られた。

キーワード：冷気湖、積雪、山岳地域

Keywords: Cold Air pool, Snow Cover, Alpine Area

蔵王火山亜高山帯のオオシラビソ林における積雪グライド量の観測

Observation of snow cover glide on Sub-Alpine Coniferous Forests in Mount Zao, Northeastern Japan

*佐々木 明彦¹、鈴木 啓助¹

*Akihiko SASAKI¹, Keisuke Suzuki¹

1. 信州大学理学部

1. Faculty of Science, Shinshu University

多雪地域の斜面で発生する積雪のクリープやグライドは、積雪層の緩慢な動きではあるものの、積雪層の沈降圧と移動圧の合力として大きな雪圧を斜面にかけるので、積雪期間を通じて樹木にストレスを与え続ける。多雪山地でみられる樹木の根曲がりはその典型例である。積雪グライドは、植林の雪害の克服のため、あるいは、雪崩の発生の前兆であることから防災の面でも着目され、移動量の観測を中心にその運動メカニズムの解明がなされてきた。ところで、斜面の雪圧は積雪水量が最大になるときに最大値を記録し、森林帯における積雪水量は標高に比例して増加する。したがって、日本の多雪山地においては、亜高山帯における雪圧がもっとも大きいと考えられるが同地域における積雪グライドの観測例はほとんどない。そこで、東北日本の蔵王火山の亜高山帯（標高1400m；38°07'5.8"N, 140°25'50.4"E）において積雪グライドの観測を実施したので報告する。

積雪グライドは一般的なソリ式によって観測された。最大厚2.5cmの小型のソリを地面に設置し、ワイヤーに繋いだ。積雪層がソリを引きずって滑動すれば、ワイヤーが引き出されるため、その引き出される量を1時間間隔で計測した。観測は、オオシラビソ林内と林外において2014年11月1日に開始し、2015年5月10日に終了した。積雪グライドの発生機構を検討するために、気温および積雪深を1時間間隔で観測し、積雪断面観測を積雪期間内に4回実施した。

積雪期間は2014年11月13日～2015年4月21日である。1月初旬には積雪深が150cmを超え、2月1日に最大積雪深242 cmを記録した。3月16日の降雪を最後に積雪深は5cm～10cm/日の割合で減少した。この間の積雪水量の最大値は、3月21日の観測による856.8mmである。積雪期間の平均気温は-3.7°Cで、12月1日～2月21日はほぼ氷点下で推移した。日最低気温は-19.5°C、日最高気温は21.9°Cであった。積雪グライドは、林内では2月21日に初めて生じた。以後3月5日まで断続的に滑動し、累積グライド量は1.5 cmとなった。3月5日～25日には滑動はほとんどみられず、3月26日～4月1日に1.0cm滑動して累積グライド量は2.6cmとなった。林外では、2月10日に初めて動き、2月14日に0.9cm/日、2月20日に1.3cm/日、2月24日に1.4cm/日と加速した後速度が弱まり、3月16日に1.9cm/日滑動を最後に動きは収束した。累積グライド量は21.1cmであり、日平均で0.4cmの移動量であった。今回オオシラビソ林内で観測された積雪グライドは、非常に小さな動きであり、雪崩の前兆となったり地形を変えるようなインパクトはもっていない。しかし、亜高山帯の植生分布やその動態を考える上で非常に重要な現象であると考えられる。

キーワード：積雪グライド、積雪深、積雪水量、オオシラビソ、亜高山帯、蔵王火山

Keywords: snow cover glide, snow depth, snow water equivalent, *Abies mariesii*, sub-alpine zone, Zao

日本の山岳地における泥炭湿原の分布変化

Distribution change of the mountainous peaty wetlands in Japan.

*安田 正次¹*Masatsugu YASUDA¹

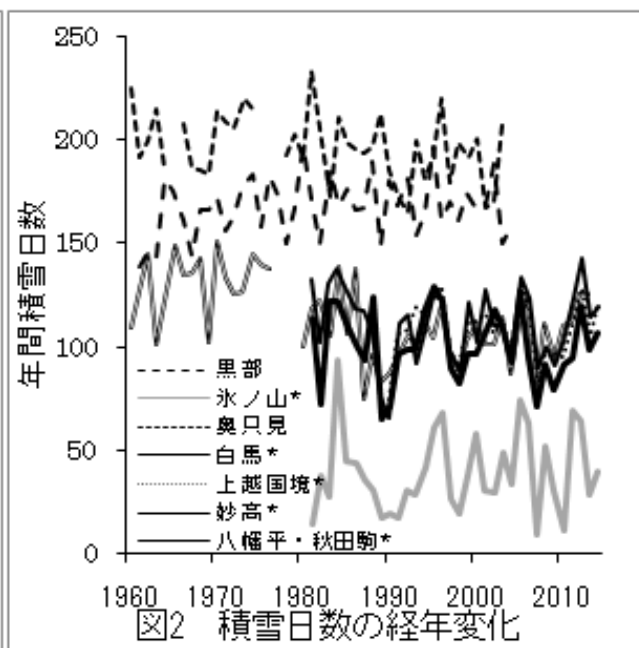
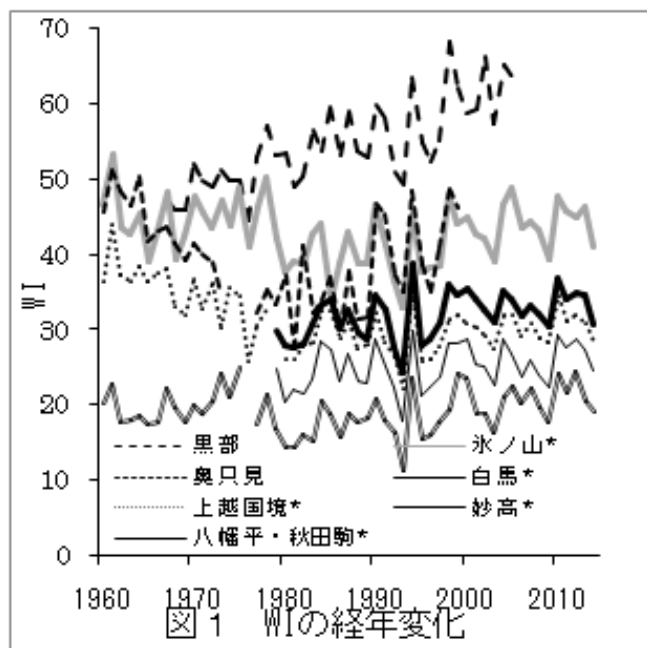
1. アジア航測株式会社

1. Asia Air Survey Co., Ltd.

気候の変動に対して脆弱とされる山地湿原について、近畿から中部、関東、東北の24地点で面積と植物種の変化を検証した。その結果、すべての湿原の面積が減少しており、湿原の面積が小さいものほど縮小の速度は大きかった。植生の変化はほとんどがチシマザサとハイマツの増加によるものだった。気候の変化を検討した所、暖かさの指数（WI）は多くの場所で大きな上昇は示していなかったが積雪日数が減少していた。植生への影響を考えると、湿原の縮小の主な要因は積雪日数の減少によると考えられた。

キーワード：泥炭湿原、チシマザサ、ハイマツ、暖かさの指数、積雪、気候変動

Keywords: peaty wetlands, Sasa kurilensis, Pinus pumila, warmth index, snow, climate change



立山室堂と千畳敷における消雪と高山植生の展葉・紅葉フェノロジーの年変動

Annual variations in snowmelt timing and phenology of green-up and autumnal color for alpine plants at Tateyama Murodo and Senjojiki

*井手 玲子¹、小熊 宏之¹、浜田 崇²、尾関 雅章²、鈴木 啓助³、久米 篤⁴

*Reiko Ide¹, Hiroyuki Oguma¹, Takashi Hamada², Masaaki Ozeki², Keisuke Suzuki³, Atsushi Kume⁴

1. 国立研究開発法人 国立環境研究所、2. 長野県環境保全研究所、3. 信州大学、4. 九州大学

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Nagano Environmental Conservation Research Institute, 3. Shinsyu University, 4. Kyusyu University

1. はじめに：地球温暖化により、極めて寒冷な環境条件で隔離的に生育する高山植物の展葉、開花、紅葉、落葉などの生物季節（フェノロジー）や分布域の変化が各地で報告されている。また、植物とそれを利用する昆虫や動物種ごとの異なる温度応答により生ずる活動時期のミスマッチなど、高山生態系の気候変動に対する脆弱性が危惧され、モニタリングの重要性が認識されている。多雪を特徴とする日本の高山帯においては積雪や消雪時期が生物の活動にとって重要な要因となる。そこで、消雪と植生フェノロジーを高頻度・高解像度で把握するため、山小屋などに自動撮影デジタルカメラを設置し定点観測を行ってきた。本研究では定点カメラの画像解析から、立山室堂と千畳敷における消雪時期と植生の展葉・紅葉フェノロジーの年変動を検出する。さらに、気象観測データを用いて、フェノロジーや紅葉の色付きと気象要因との関係性を解明することを目的とした。

2. 方法：定点カメラにより2009-2016年に北アルプス立山室堂山荘（標高約2450m）から雄山方面を撮影した約18000シーンと、2012-2016年に中央アルプス千畳敷（約2650m）から極楽平方面を撮影した約11000シーンの画像を用いて解析を行った。これらの画像から画素毎に記録されているRGB三原色のデジタルカウント値を抽出し、統計的手法により積雪画素と非積雪画素に判別し、消雪過程を調べた。さらに、画像中に撮影されているナナカマドとダケカンバの画素について、RGBの合計値に対するGとRの割合をそれぞれ緑葉と紅葉の指標値として時系列変化を算出し、展葉や紅葉時期、紅葉の色の鮮やかさを定量的に評価した。

3. 結果：立山室堂および千畳敷において、2015-2016年は最近数年間で最も積雪量が少なく気温が高めに推移したため融雪の進行が早く、例年と比較してそれぞれ約22日、38日早い消雪となった。それに伴って2016年は展葉が非常に早く、落葉性植物の生育期間は最長になった。紅葉時期については、例年は8月下旬から9月中旬の平均気温と高い相関を示したが、2016年は気温が高い割りに紅葉が早く、気温だけでは説明できなかった。そこで葉の寿命を考慮して、気温に加えて展葉時期を説明変数とした回帰式により紅葉時期の予測が可能になると考えられた。また2016年は紅葉の色付きが悪い傾向が見られたが、紅葉の色の鮮やかさの年変動には夏期の日射量や秋の最低気温などとの関係が認められた。このような定点カメラを用いた観測により、高山帯における消雪時期や植生フェノロジーを高い時空間解像度で検出し、多時期かつ多地点での客観的な比較が可能になった。今後、定点カメラを多地点で展開し、気象観測データと合わせた解析を進めることにより、気象要因による展葉や紅葉フェノロジーへの影響評価と将来予測が期待される。

キーワード：定点カメラ、画像解析、RGB、葉の寿命、紅葉の鮮やかさ

Keywords: Time-lapse camera, Image analysis, RGB, Leaf longevity, Brightness of autumnal leaf color

八幡平および秋田駒ヶ岳における過去2,500年間のオオシラビソ林分布の時空間変化

Spatial and temporal variations of subalpine coniferous (*Abies mariesii*) forest distribution during the past 2,500 years in Mt. Hachimantai and Akita-Komagatake, NE Japan

*今野 明咲香¹

*Asaka Konno¹

1. 東北大学大学院理学研究科

1. Graduate School of science, Tohoku University

This study aimed at clarifying the trends of *Abies mariesii* distribution and the environmental factors that determine moisture conditions in wet meadows, such as landform, and surface geology. Further, it aimed to discuss the factors underlying the difference in distribution of *A. mariesii* forests between the subalpine (Mt. Hachimantai) and the pseudo-alpine zone (Mt. Akita-Komagatake).

In Mt. Hachimantai, the landform consisted of volcanic original surface (angle: 1-10°), dissected slope (angle: >10°). This area had a high percentage and density of wet meadow distribution. Thick *A. mariesii* forest tended to be distributed around wet meadows on volcanic original surface. Surface geology survey revealed that loam layers composed of clay were present in all the sites. *A. mariesii* forest area in the southern part was narrower than that in the northern part. According to pollen analysis, *Abies* pollen started to occur approximately 2,500 years ago in the northern part and landslide area, and approximately 1,000 years ago in the southern part (Morita, 1985).

In Mt. Akita-Komagatake, the landform was similar to that of Mt. Hachimantai. Wet meadow distribution in the northern part was similar to that in Mt. Hachimantai in terms of density of wet meadow distribution. In the southern part, the percentage of wet meadows was extremely low. The thickest *A. mariesii* forest in either part of Mt. Akita-Komagatake was narrower than that in Mt. Hachimantai. Scoria and pumice composed of granule gravel characterized the surface geology of the southern part. According to pollen analysis, *Abies* pollen started to occur approximately 1,000 years ago in the northern part, and approximately 2,500 years ago in southern part (Morita, 1985; Ikeda, 2002).

Evidently, it can be concluded that the present distribution of *A. mariesii* forest has been determined by the starting time and the speed of expansion of *A. mariesii* forests, which are affected by environmental conditions such as wet meadows.

キーワード：オオシラビソ林、亜高山帯、時空間変化、八幡平、秋田駒ヶ岳

Keywords: *Abies mariesii* forest, Subalpine zone, Spatial and temporal variations, Mt. Hachimantai, Mt. Akita-Komagatake

立山地獄谷における積雪の化学組成と火山ガス成分による植生被害への影響把握

Chemical composition of snow cover and vegetation damage caused by volcanic gas in Jigoku-dani, Mt. Tateyama

*田代 裕慶¹、張 勁²、和田 直也³、佐澤 和人²、遠山 和大⁴

*Hironori Tashiro¹, JING ZHANG², Naoya Wada³, Kazuto Sazawa², Kazuhiro Toyama⁴

1. 富山大学大学院理工学教育部、2. 富山大学大学院理工学研究部、3. 富山大学研究推進機構極東地域研究センター、4. 富山大学総合情報基盤センター

1. Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, 2. Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, 3. Center for far Eastern Studies, University of Toyama, 4. Information Technology Center, University of Toyama

東北地方太平洋沖地震以降、立山・地獄谷において火山活動が活発化し、火山ガスに含まれるHClやSO₂が増加している。しかし、火山ガスの観測は夏期に限定されており、冬期は観測が行われていない。冬期の火山ガス成分は積雪に取り込まれるため、本研究では、冬期火山活動の推測と、積雪に取り込まれた火山ガス成分が植物体に与える影響を把握することを目的とした。

2013～2016年に複数の地点で積雪断面より採取した積雪の主要化学成分と同位体比の分析結果、及び2016年は高山植物の葉に付着した成分を溶出させ、主要化学成分を測定した結果から以下のことが明らかになった。

1) 積雪のd値から降雪時期を推定し、積雪中の火山ガス成分と火山活動に伴う立山の山体標高の変化を比較することで、冬期火山活動の観測に活用することができた。

2) 噴気孔周辺において、3年間の積雪中のpHは2.85～4.93であり、噴気孔に近いほど積雪が酸性化していた。2013年及び2014年は、nss-Cl⁻の[H⁺]への寄与が約9割を占めていたことから、積雪の酸性化には火山ガス由来と考えられるnss-Cl⁻が強く寄与していることが考えられる。一方、2015年は積雪中のnss-Cl⁻の鉛直分布や酸性化への寄与の低下から、融雪による成分の溶出が起きたと考えられた。nss-SO₄²⁻は3年間を通して3.1～5.0%であり、融雪時の鉛直分布においても各層を比較した結果、差は小さかった。積雪表面の[SO₄²⁻]と[Cl⁻]を比較した結果、SO₄²⁻がCl⁻よりも高濃度であったことからCl⁻は融雪に伴い急激に溶出しやすく、SO₄²⁻は徐々に溶出すると推測された。

3) 植物体に沈着した成分の測定結果からも、nss-Cl⁻はnss-SO₄²⁻より溶出しやすいことが明らかとなり、沈着量も多いことからnss-Cl⁻が強い酸性化をもたらしている事が示唆された。

キーワード：火山ガス、降雪・積雪、植生、立山・地獄谷

Keywords: volcanic gas, snow, vegetation, Jigoku-dani, Mt. Tateyama

ケニア山における同位体高度効果を用いた氷河融解水と山麓河川、湧水の関係性の解明

Elucidation of the relationship between glacier melting water and water resources of mountain foothills using isotopic altitude effect in Mt.Kenya

*大谷 侑也¹

*Yuya Otani¹

1. 京都大学大学院文学研究科地理学専修

1. Graduate School of Letters, Department of Geography, Kyoto University

ケニア山(5199m)は赤道直下にあるにもかかわらず、その頂に氷河を有する。しかし、近年の地球規模での気候変動により、その「熱帯の氷河」は急速に縮小している。ケニアは概して降雨量が少なく、その年変動は大きい。そのため、降雨のみで農業や生活用水を安定的に供給することは難しい。しかしケニア山周辺では山体由来の地下水が安定的に供給されるために、コーヒーや紅茶、バラ等の生産が可能な環境が整っている。そのような状況下、氷河の融解水がどの程度周辺域の水環境に寄与しているかはわかっていない。

本研究の目的は、ケニア山の水環境の現状と氷河融解水の位置づけを明らかにし、今後氷河が減ることによって周辺域の水環境や生態系、山麓に住む人々に与えられる影響を把握することである。ケニア山の標高3000m以上では河川水、湧水、氷河融解水、降水を採水し、標高3000m以下の山麓域では湧水、河川水を採水し、現地観測を行った。それらのサンプルを日本に持ち帰り、酸素・水素同位体比を測定した。

採水した降水サンプルの酸素同位体比から、明瞭な高度効果(標高が高くなると酸素・水素同位体比の値が低くなる効果)が確認された。この高度効果直線の算出により、山麓域で利用される湧水や河川水の涵養標高を推定することができた。西麓の標高1997m付近に流れ、住民に広く利用されるティゲディ川の酸素同位体比は-3.089‰であった。この値を今回得られた高度効果の直線($y = -469.35x + 3630.4$)に代入すると5080.2(m)となる。その標高帯は氷河と積雪が多く存在することから、ケニア山西麓の河川水は氷河と降雪の影響を強く受けている可能性が高い。一方で、標高1972mの山麓湧水の酸素同位体比(-3.32‰)から、その涵養標高を推定すると5191.8(m)と算出されることから、山麓湧水においても山頂部の氷河と降雪が大きく寄与していることが示唆された。

今回の調査で得られたナロモル川の水位(1985～2016年)から、ナロモル川の水量は減少傾向にあることが確認された。一方で山体の高い標高帯における降水量は、大きな減少傾向を示しておらず、山麓の河川水量減少は、近年の急速な氷河融解水の減少の影響を受けていることが考えられる。

トリチウム、CFCs、酸素同位体比の分析の結果、ケニア山の5000m付近の氷河地帯の水がケニア山の山体に取り込まれてから山麓の湧水として流出するまで40～60年かかることが判明した。40～60年前には、ケニア山の5000m付近には広大な氷河が存在していた。したがって、40～60年前の氷河融解水が山麓に流出していると考えられる。以上の結果から、ケニア山における氷河縮小により、将来的に山麓の水資源は減少することが推測され、地域住民の農業や生活用水に大きな影響が出ることが予想される。

キーワード：東アフリカ、氷河縮小、水環境、安定同位体

Keywords: East Africa, Glacier reduction, Water environment, Stable isotope

山岳科学的理解に基づく新たな空間情報技術の利用 Utilizing new special information techniques based on the understanding of mountain science

*大丸 裕武¹、戸田 堅一郎²

*Hiromu Daimaru¹, Kenichiro Toda²

1. 国立研究開発法人森林総合研究所、2. 長野県林業総合センター

1. Forestry and Forest Products Research Institute, 2. Nagano Prefecture Forestry Research Center

日本の山地の地質的脆弱性は古くから指摘されており、土砂災害の予測の困難さの主要な原因となることも多かった。多雨気候がもたらす豊富な地下水や脆弱な岩盤は深層崩壊などの土砂災害の原因となることも多いが、一方で日本の山地の豊かな多様性を支えていると考えられる。日本の山地の地下環境と生態系の多様性、そして両者の相互作用を理解することは、自然特性の理解に基づく日本の山地の利用と保全を考えるうえで、きわめて重要な課題である。近年登場した、航空機レーザー測量等による地形や植生に関する高解像度空間データとその可視化技術は、この分野を前進させる上で非常に大きな可能性を秘めている。

キーワード：微地形、高解像度DEM、山岳科学

Keywords: microlandform, high resolution DEM, mountain science

ケニア山とボリビア・アンデスにおける植物分布に関わる氷河後退と地球温暖化

Glacial Retreat and Global Warming in Relation to Vegetation Succession in Mt. Kenya and the Bolivia Andes

*水野 一晴¹

*MIZUNO KAZUHARU¹

1. 京都大学

1. Kyoto University

1. ケニア山における温暖化による氷河縮小と植生遷移

ケニア山のティンダル氷河の後退速度は、1958-1997年には2.9m/年、1997-2002年は9.8m/年、2002-2006年は14.8m/年、2006-2011年は8.2m/年、2011-2016年は11.0m/年であった。その氷河の後を追うように、*Senecio keniohytum*や*Arabis alpina*のような先駆的植物種は、それぞれの植物分布の最前線を氷河の後退速度と類似する速度で斜面上方に拡大させている。地衣類・蘚苔類や*Agrostis trachyphylla*も前進していた。これらの種は氷河の後退と同様に1997年以降に、それ以前に比べて早い速度で前進していた。

1996年に氷河末端に接して設置した方形区（幅80m×長さ20m）での植物個体数（群数）と植被率がともに、15年後の2011年には大幅に増加していた。1996年には、個体数（群数）と植被率がともに、氷河の末端から16-18mの距離で、それ以内の距離に比べて有意に高かった。このことは、氷河から最近開放された場所では、氷河末端からの距離が、植物個体数（群数）と植被率の両方に影響を及ぼしていることを示している。1984年から1996年の氷河の後退速度を2.9m/年とすると、*Senecio keniohytum*の実生の多くは、氷河から解放されてから5-6年で発芽したことになる。氷河末端からの距離の効果は、氷河から解放されて15年以上経っている場所では確認されなかった。

ケニア山山麓（高度1890m地点）の月平均最低気温と月平均最高気温は1963年から2011年までの48年間で2℃以上上昇している。一方、1956年からの過去55年間に、年による変動はあるものの、顕著な降水量の減少はなかった。ティンダル氷河の後退する速度は、調査地周辺の高度4500mにおける月平均最低気温の上昇によって説明されることができた。*Senecio keniohytum*の移動は、ある程度の*Arabis alpina*の移動とともに、氷河の後退する速度によって説明することができた。

ムギワラギクの仲間*Helichrysum citrispinum*は、2006年までティンダル・ターン（池）（4470m）の北端より斜面上方には生育していなかったが、2009年には4470m以上のラテラルモレーン上に32株が確認された。この種の分布拡大に氷河後退が直接影響しているようには見えず、むしろ、この植物分布の高標高への拡大は気温上昇と関係していることが推定される。*Helichrysum citrispinum*の分布拡大は2009年に3-9月の生育期間中約1℃気温が高かったことが影響していると推測される。

2. ティンダル氷河周辺の植生に影響する環境条件

大型の半木本性ロゼット型植物であるジャイアント・セネシオ（*Senecio keniodendron*）とジャイアント・ロベリア（*Lobelia telekii*）の生育前線の移動変化は、1997年までは氷河の後退とは無関係のように見えたものの、それ以降は、斜面上方に前進している。これらの種の遷移は、氷河の後退とは直接関係あるようには見えず、むしろ、先駆種による土壌条件の改善や地表の安定性、気温上昇がそれらの生育環境を斜面上方に拡大させていると考えられる。

3. ボリビア・アンデスのチャルキニ峰の氷河縮小と植生遷移

ボリビア・アンデス、コルディレラ・リアルのチャルキニ峰（5740m）の西カールにおいて分布するモレーンとその植生分布を2012-2014年に調査した。チャルキニ峰西カールは、Rabatel (2005)により、モレーンが1-10に区分されている。それらのモレーンのうち、Rabatel(2005)で年代が示されているモレーン

2 : 1700±12、モレーン3 : 1739±12、モレーン6 : 1791±10、モレーン9 : 1873±9と、Rabatel(2005)に出てこない、さらに新しいモレーン11の計5カ所に10m×10mのプロットを設け、そのなかの2m×2mの方形区ごとに、植生分布と地表面構成物質の礫経分布を調査した。また、氷河末端付近の植生分布も調査した。モレーン11の年代は1970年代と推定される。

モレーンの年代が新しくなるにつれて、分布する堆積物の礫経も大きく、植物の出現種数や植被率が低下していった。現在の氷河末端は高度4990mであり、氷河末端付近における出現種は *Perezia* sp. (*Perezia multiflora* ?)、*Deyeuxia chrysantha*、*Senecio rufescens* の3種のみで、それらが大きな岩塊のわきに点在し、植被率はきわめて低い。

キーワード：地球温暖化、氷河後退、植生遷移、熱帯高山

Keywords: global warming, glacial retreat, vegetation succession, tropical high mountain

氷河湖の湖盆形状の特徴 -ブータンヒマラヤの例-

Characteristics of the basin topography of glacial lake: a case of the Bhutan Himalayas

*小森 次郎¹

*Jiro Komori¹

1. 帝京平成大学

1. Teikyo Heisei University

本発表ではブータンヒマラヤの氷河湖の湖盆の深淺測量の結果を紹介する。この成果は2009年～2012年の「ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する研究（プロジェクト代表：西村浩一 名古屋大学教授）」において実施された現地調査によるものである。

これらの氷河湖は小氷期以降に拡大をつづけた水域で、ほとんどの氷河湖において上流側に最深部をもつ特徴がある。またいくつかの湖には、湖底には沈水したエンドモレーンによる堤状の地形がみとめられる。本発表では、周囲の地形と湖盆地形の関係、および決壊危険性について議論を行う。

キーワード：深淺測量、山岳氷河、モレーン、危険度評価、地球温暖化、氷河湖決壊洪水

Keywords: bathymetric survey, mountain glacier, moraine, hazard assessment, global warming, GLOF

北アルプス・白馬大雪渓における落石分布と地形変化

The distribution of rockfall and topographical change in Shirouma Daisekkei, the Northern Japanese Alps

*畠 瞳美¹、奈良間 千之²、森 義孝¹、福井 幸太郎³

*Hitomi Hata¹, Chiyuki Narama², Yoshitaka Mori¹, Kotaro Fukui³

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学科、3. 立山カルデラ砂防博物館

1. Niigata University Graduate School of Science and Technology, 2. Niigata University Department of Science, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum

北アルプス北東部に位置する白馬大雪渓は日本三大雪渓の一つで、夏季には毎年1万人以上の登山者が通過する日本屈指の登山ルートである。白馬大雪渓上では岩壁の落石や崩落で生産される岩屑により毎年のように登山事故が起こっている。2005年8月に杓子岳北面の岩壁で崩落が生じ、2名の死傷者がでた。2008年8月には大雪渓の左岸斜面で崩落が発生し、登山者2名が犠牲になっている（苜谷ほか、2008）。また、白馬大雪渓での落石事故は、1992～2013年で起きた滑落事故を除く登山事故件数が日本の山地で最多である。本研究では、落石・崩落の実態や大雪渓周辺の地形変化を明らかにすることを目的として、2014～2016年に現地調査を実施した。2014年の7月～8月に設置したインターバルカメラの撮像結果より、この時期に岩壁から生産された礫の雪渓への侵入はわずかであり、雪渓上に無数に点在する礫の多くは雪渓内部から融出したものであった。2015年は例年より積雪が多く、前年融解末期の雪渓表面まで融解が達しなかったため、雪渓内部から融出した礫はほとんどなかった。UAVの空撮画像を用いて作成した50 cm解像度DEMから得られた表面傾斜角をみると、大雪渓本流では緩傾斜地と急傾斜地が交互に存在し、インターバル撮像から急傾斜地で礫の再転動・再滑動が多く確認された。複数年の航空レーザーデータDEMの差分から侵食域を抽出したところ、地質による侵食様式に違いがみられた。また、GPR探査とクレバスの分布により、大雪渓底部の水路と巨大なトンネルの位置が明らかになった。

キーワード：落石、白馬大雪渓、地形変化、アイスレーダー、UAV

Keywords: rockfall, Shirouma-Daisekkei, topographical change, ice radar, UAV

巨摩山地・櫛形山東麓における斜面変動と後期更新世の古湖沼の発達史 Development of paleolakes related to landslide activities in the late Pleistocene epoch on the eastern foot of Mount Kushigata, the Koma Mountains in central Japan

*太田 凌嘉¹、苅谷 愛彦²

*Ryoga Ohta¹, Yoshihiko Kariya²

1. 専修大学・学、2. 専修大学文学部環境地理学科

1. Undergraduate at Senshu University, 2. Department of Environmental Geography, Senshu University

山梨県巨摩山地の櫛形山東面山腹には長さ5 km、幅1~1.5 kmの凹地帯が南北走向に発達する。この凹地帯の少なくとも一部の領域は更新世中期に遡る可能性をもつ旧期地すべり堆積物に埋積される。旧期地すべり堆積物は、泥炭やシルトを主とし御岳第1 (Pm1 ; 100 ka) ・御岳伊那 (In ; 95 ka) 両テフラを挟む厚さ数m~16 mの湖成堆積物に覆われる。湖成堆積物は複数の地点で観察されるが、それらの分布高度は3つに分かれる。これより、古湖沼は凹地帯に独立して3つまたはそれ以上存在していたとみられる。また湖成堆積物中のPm1とInの層位および花粉分析結果によれば、古湖沼はPm1降下前の海洋酸素同位体ステージ6 (185~135 ka) または5d (112~110 ka) に生じ、In降下後までの約1万~数万年間継続したと推定される。その後、湖成堆積物は凹地帯西方の櫛形山山腹斜面を発生域とする新期地すべり堆積物に覆われた。凹地帯自体の形成過程は検討中であるが、湖成堆積物やテフラとの関係からみてそれが更新世後期初頭に生じていたのは明らかである。凹地帯の発達には櫛形山の山体重力変形や東麓を走る市之瀬断層の挙動が関係していた可能性がある。

キーワード：地すべり、湖成堆積物、テフロクロノロジー、花粉分析、御岳第1テフラ、御岳伊那テフラ

Keywords: Landslide, Lacustrine sediments, Tephrochronology, Pollen analysis, On-Pm1 tephra, On-In tephra

日本アルプスの地すべり性凹地を埋積する第四紀有機質堆積物の古環境・古生態学的研究への応用

Application of Quaternary organic sediments filling landslide-induced depressions to paleoenvironmental and paleoecological studies in the Japanese Alps

*苅谷 愛彦¹、高岡 貞夫¹

*Yoshihiko Kariya¹, Sadao Takaoka¹

1. 専修大学文学部環境地理学科

1. Department of Environmental Geography, Senshu University

日本の高山帯・亜高山帯における更新世・完新世の古環境は、必ずしも十分に解明されていない。日本の山岳における侵食速度は世界的にみても速く、古環境復元に欠かせない微化石や大型植物遺体、火山灰層（鍵層）を含む堆積物が侵食されやすいためである。このような状況下において、尾根や谷壁に生じた地すべり性の閉塞・半閉塞的凹地は、古環境を適切に復元するための有効な場を提供すると考えられる。このような凹地は微化石や大型植物遺体、火山灰層を含む有機質堆積物に充填されることがあり、有機質堆積物の放射性炭素年代測定も可能だからである。大起伏な地形条件、多雨多雪な気候条件、地震・火山活動の高い活動性、および速い隆起速度などの条件を具えた日本の山岳では、このような地すべり性の凹地が各地に発達する。

本発表では、地すべり性凹地の形態や分布、発達過程について、特に日本アルプスにおける事例（朝日岳、白馬岳、柵池、烏帽子岳、高天原、上高地など）を中心に報告する。有機質堆積物の地質や年代にかかわるデータも示す。また人力可搬機器を用いた掘削法についても紹介する予定である。以上より、日本の高山帯・亜高山帯における総合的環境変動研究のために、地すべり性凹地の有機質堆積物がもつ有効性・発展性を議論し、情報を共有したい。

キーワード：岩盤重力変形、地すべり、第四紀学、高山・亜高山帯

Keywords: deep-seated gravitational slope deformation, landslide, Quaternary sciences, alpine-subalpine zones

日本アルプスにおける大規模岩盤崩壊: 大起伏山岳地形の形成過程における気候変動の影響

Large-scale bedrock landslides in Japanese Alps: an implication to the influence of climate change in shaping mountainous landscapes

*松四 雄騎¹、苅谷 愛彦²、原山 智³、松崎 浩之⁴

*Yuki Matsushi¹, Yoshihiko Kariya², Satoru Harayama³, Hiroyuki Matsuzaki⁴

1. 京都大学防災研究所、2. 専修大学文学部、3. 信州大学理学部、4. 東京大学総合研究博物館

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. School of Letters, Senshu University, 3. Faculty of Science, Shinshu University, 4. Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator, The University of Tokyo

Several recent heavy rainfall events in Japan reveal the sensitive nature of deep-seated landslide occurrence to rainfall anomaly, which invokes potential influence of both of natural and anthropogenic climate change on such catastrophic mass movements in mountainous terrains. A combination of river incision under long-term tectonic activity and episodic deep-seated landsliding by climate forcing may progress the mountainous landscape evolution. The present study attempts to verify the role of climate change in shaping the mountainous landscapes by dating of paleo bedrock landslides using terrestrial cosmogenic nuclide ^{10}Be in Japanese Alps. Samples for exposure dating were collected from top of a boulder on landslide deposits or bare rock slip surface exposed since the landslide. Effect of snow shielding on nuclide production were corrected for accurate determination of exposure ages, and the correction procedure was calibrated by ^{14}C dating for some deposits yielded by the identical landslide event. The ages of landslide deposits concentrated in Holocene epoch especially at just after the Termination I (transition from the last glacial to present interglacial stage) and also recent period during the last 3 kyr. These results imply that climate change has potentially instigated the landslide occurrence and thus contributed to form and maintain bedrock dominated steep topography adjacent to incised valleys in mountainous ranges.

キーワード: 岩盤崩壊、露出年代測定、河川の下刻、氷期-間氷期サイクル、準動的平衡状態、地形発達

Keywords: deep-seated bedrock landslide, exposure dating, river incision, glacial-interglacial cycles, quasi dynamic equilibrium, landscape evolution