

2018年 秋季研究大会

一般研究発表 要旨集

2018 Fall meeting

Abstracts

日本山の科学会

Japan Society of Mountain Science

日本山の科学会

2018年 秋季研究大会・一般公開シンポジウム・現地討論会

共催：信州山の環境研究センター・信州大学理学部

日時：10月27日（土） 研究大会・一般公開シンポジウム
10月28日（日） 現地討論会

会場：信州大学松本キャンパス・上高地

※会場へのアクセスは <http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/science/access/> をご覧ください。

研究大会

会場：理学部講義棟第1講義室・A棟多目的ホール
参加費 一般 2000円、大学院生 1000円、学部生以下無料

- 9:30 受付開始
10:00-10:05 開会挨拶と会場等の説明（理学部講義棟第1講義室）
10:05-10:25 ポスター発表 ショートサマリー（理学部講義棟第1講義室）
休憩・移動
10:30-12:20 ポスター発表 コアタイム（理学部A棟多目的ホール）
(12:30-13:00) 日本山の科学会 総会 会場：理学部講義棟第1講義室

公開シンポジウム「日本アルプスの自然環境－わかってきたことと、これから」

- 13:00 受付開始 会場：理学部講義棟第1講義室
13:30-13:35 開会挨拶・趣旨説明 参加費無料（事前申し込み不要）
13:35-14:05 「飛騨山脈に現存する氷河」 どなたでも参加いただけます。
福井幸太郎（立山カルデラ砂防博物館）
14:05-14:35 「中央アルプス駒ヶ岳の植生変化の動向－10年間の植生モニタリングから－」
下野綾子（東邦大学）
14:35-15:05 「日本アルプスの昆虫とその遺伝的構造」
関根一希（立正大学）
休憩
15:15-15:45 「活火山焼岳のいま、噴気観測からわかってきたこと」
齋藤武士（信州大学）
15:45-16:15 「日本アルプスの自然環境保全の課題と持続可能な開発」
目代邦康（日本ジオサービス株式会社）
16:20-17:20 総合討論 司会：佐々木明彦（国土舘大学）

意見交換会 18:15-20:15 会場：ホテルモンターニュ1階 レストランぎんが（松本駅西口）

現地討論会「上高地の地形と植生－その価値と保全」

日時：10月28日（日）9:00 JR松本駅西口集合 16:30 同駅解散
案内者：目代邦康（日本ジオサービス）・若松伸彦（横浜国立大学）
定員：20名（先着順）
参加費：4,000円（保険代、資料代、借り上げ交通費）

上高地の景観は山地や河川の地形と生態系が密接に関連して形成されています。
その成立・維持メカニズムについて解説し、その保全のありかたについて現地討論を行います。

※発表申込・予稿の電子投稿・現地討論会・意見交換会の申し込みは、「日本山の科学会」ホームページ
<http://jasms.org/> および会員メーリングリストでご案内します。

日本山の科学会2018年秋季研究大会（松本）

1. 期日 2018年10月27日（土）・28日（日）
2. 会場 信州大学理学部 講義棟1番教室・多目的ホール（長野県松本市旭3-1-1）
3. 日程 10月27日（土）
 - 10:00～12:20 研究発表（※受付開始時刻 9時30分）
 - 12:30～13:00 総会
 - 13:30～17:20 一般公開シンポジウム
「日本アルプスの自然環境—わかってきたことと、これから」
(※受付開始時刻 13時00分)
 - 18:15～20:15 研究交流会（ホテルモンターニュ レストランぎんが）10月28日（日）
 - 9:00～16:30 現地討論会 「上高地の地形と植生—その価値と保全」
※各事項は予定時間であり、発表申込状況により変更の可能性があります。

4. 研究発表

研究発表はポスター発表のみとなります。発表者はコアタイムにポスターの前で説明をして下さい。1件につき縦180 cm 横90 cm の掲示板を用意します。ポスターの上部には、発表題目・発表者名・所属を表示して下さい。発表番号札、若手・学生優秀発表賞の選考対象の表示は事務局が行います。ポスターを固定するピンなどは会場に用意したものを使用して下さい。また、発表者はひとり30秒程度の内容紹介をお願いします。

研究発表に参加されるかたは、一般2,000円、大学院生1,000円の参加費が必要です（学部生は無料）。

5. 一般公開シンポジウム 『日本アルプスの自然環境—わかってきたことと、これから』

演者と演題

- 福井幸太郎（立山カルデラ砂防博物館）：飛驒山脈に現存する氷河
- 下野綾子（東邦大）：中央アルプス駒ヶ岳の植生変化の動向—10年間の植生モニタリングから—
- 関根一希（立正大）：日本アルプスの昆虫とその遺伝的構造
- 齋藤武士（信州大）：活火山焼岳のいま、噴気観測からわかってきたこと
- 目代邦康（日本ジオサービス株式会社）：日本アルプスの自然環境保全の課題と持続可能な開発総合討論

6. 研究交流会

日時：10月27日（土）18:15～20:15

会場：ホテルモンターニュ レストランぎんが（長野県松本市巾上3-2）

会費：5,000円（学部生・大学院生は2,500円の予定）

7. 現地討論会

日時：10月28日（日）9:00～16:30 （JR松本駅集合、同駅解散）

テーマ：「上高地の地形と植生ーその価値と保全」

行先：上高地

案内：目代邦康（日本ジオサービス）・若松伸彦（横浜国立大）

参加費：4,000円（保険代、資料代、借り上げ交通費含む）

定員20名（先着順）

8. 宿泊 松本市内のホテル等を利用してください。

9. お問い合わせ先 日本山の科学会事務局（メールアドレス：inf@jasms.sakura.ne.jp）

交通

東京、名古屋からのアクセス



松本バスターミナルから信州大学へ

JR松本駅のお城口（東口）を出て、右前方の松本バスターミナル（アルピコプラザ）の1番のりばから、信大横田循環線あるいは浅間温泉行きに乗車し、「大学西門」で下車します。乗車時間は15分前後です。料金は200円です。

信州まつもと空港から松本バスターミナルへ

信州松本空港と松本バスターミナル間は、直通の「エアポートシャトル」と路線バスの「空港・朝日線」が運行しております。エアポートシャトルの乗車時間は約30分で、料金は600円です。空港・朝日線の乗車時間は約30分で、料金は560円です。

アルピコ交通バス時刻表 <https://www.alpico.co.jp/access/matsumoto/>



(図等は信州大学松本キャンパス Web サイトから転載)

松本キャンパス地図

会場は下図の左上、赤塗りの建物（理学部）の中央の「講義棟」です。さらに詳細は次ページを参照してください。



信州大学理学部案内図



一般研究発表

今大会の一般研究発表は全てポスター発表形式で行われます。

- ・ポスター掲示会場：理学部 A 棟多目的ホール
- ・ポスターの概要紹介：理学部講義棟第 1 講義室 10 時 05 分～10 時 25 分
- ・ポスター発表のコアタイム：ポスターナンバー 奇数 10 時 30 分～11 時 20 分
ポスターナンバー 偶数 11 時 30 分～12 時 20 分

若手・学生優秀発表賞 審査対象
(★：若手, ☆：学生) ↓

ポスター No.	著者名 (所属)	タイトル	
1	栗林正俊 (長野県環境保全研)・浜田崇 (長野県環境保全研)・牧田直樹 (信州大)	カラマツ人工林における林内と林外の気象観測値の比較	★
2	佐々木明彦 (国土館大)・西村基志 (信州大)・鈴木啓助 (信州大)	北アルプス乗鞍火山の高山帯における気温・地温観測	
3	上原元樹 (信州大)・佐々木明彦 (国土館大)・鈴木啓助 (信州大)	中部山岳域における局地風系および水蒸気の日変化	☆
4	桂川 司 (信州大), 山中 勤 (筑波大), 佐々木明彦 (国土館大), 黒雲勇希 (信州大), 西村基志 (信州大), 清水啓紀 (信州大), 鈴木啓助 (信州大)	中部山岳地域における降水安定同位体比の時空間変動	☆
5	清水啓紀 (信州大)・佐々木明彦 (国土館大)・鈴木啓助 (信州大)	乗鞍岳の源流集水域における渓流水質の形成に及ぼす大気沈着物質の寄与	☆
6	渡邊茜 (千葉大)・高橋翼 (千葉大)・竹内望 (千葉大)	山形県月山の樹林帯における雪氷藻類の繁殖と樹木が与える影響	☆
7	竹中將起 (信州大)・谷野宏樹 (信州大)・鈴木智也 (信州大)・小林健介 (信州大)・院)・柳生将之 (環境アセスメントセンター)・東城幸治 (信州大)	千曲-信濃川水系で新規発見されたカワヨシノボリ集団の遺伝構造：その起源の究明と保全	☆
8	百瀬加奈子 (信州大)・東城幸治 (信州大)	中部山岳域におけるキイロヒラタカゲロウの集団遺伝構造	☆
9	小池花苗 (信州大)・吉井幸 (信州大)・東城幸治 (信州大)	日本列島の地史がもたらす遺伝的分化：山岳棲昆虫トワダカワゲラ <i>Scopura longa</i> の分子系統解析	☆
10	東城幸治 (信州大)・三上賢司 (信州大)・野崎隆夫 (神奈川県二宮町)	高山帯・亜高山帯に生息する山岳昆虫オンダケトビケラ類の分子系統・生物地理研究	
11	尾崎貴久 (信州大)・松田浩和 (信州大)・東城幸治 (信州大)	高山植物コマクサの分子系統・生物地理学的研究：日本列島集団の遺伝構造	☆
12	山崎遥・関谷知裕 (信州大)・永山駿・平澤桂・戸倉溪太 (アクアマリンいなわしろカワセミ水族館)・佐々木彰央 (静岡大)・一柳英隆 (熊本大)・元木達也 (環境アセスメントセンター)・東城幸治 (信州大)	中部山岳域におけるカワネズミ 2 遺伝系統群の二次的接触について：マイクロサテライト解析を用いた分子系統解析	☆
13	田路泰志 (信州大)・竹中將起 (信州大)・谷野宏樹 (信州大)・東城幸治 (信州大)	富士山麓の大規模湧水柿田川と狩野川本流の生物のつながり：遺伝子流動の観点から	☆
14	吉田暁人 (信州大)・伊藤拓生 (信州大)・増本泰河 (信州大)・榊原厚一 (信州大)・牧田直樹 (信州大)	中央アルプスの標高勾配に対するオオシラビソとダケカンバの異なった葉の適応戦略	☆
15	岡本瑞輝 (信州大)・高橋耕一 (信州大)・牧田直樹 (信州大)	乗鞍岳標高勾配に対する樹木細根の呼吸速度と形態特性の応答性	☆
16	永井 信 (海洋研究開発機構)・斎藤 琢 (岐阜大)	インターネット上で公開されている植物季節情報を利用した山岳域における紅葉季節の時空間分布変動の評価	

17	井手玲子 (国立環境研)・小熊宏之 (国立環境研)・浜田崇 (長野県環境保全研)・鈴木啓助 (信州大)	定点カメラの画像を用いた高山植生のフェノロジーの変動と要因解析	
18	西井稜子 (新潟大)・松元高峰 (新潟大)・河島克久 (新潟大)・秋山一弥 (土木研究所)	中越地震による崩壊斜面の植生回復状況	
19	松元高峰 (新潟大)・勝島隆史 (森林総研)・宮下彩奈 (東京大)・小田憲一 (日本大)・河島克久 (新潟大)・竹内由香里 (森林総研)・佐々木明彦 (国士舘大)	急斜面上における積雪と樹木との間の力学的相互作用に関する観測	
20	雨谷教弘 (国立環境研)・小熊宏之 (国立環境研)	立山における 34 年間のハイマツとササの被覆率変化	★
21	浜田 崇 (長野県環境保全研)・尾関雅章 (長野県環境保全研)・堀田昌伸 (長野県環境保全研)・須賀 文 (長野県環境保全研)・小熊宏之 (国立環境研)・井手玲子 (国立環境研)	長野県の山岳地における気候変動に関するモニタリング調査の紹介	
22	安田 正次 (アジア航測)	黒部第四ダムおよび立山室堂における気温の較差および経年変動	
23	小熊宏之・井手玲子 (国立環境研)・浜田崇 (長野県環境保全研)	定点カメラ画像の活用による高山帯の消雪過程の広域モニタリング	
24	西村基志 (信州大)・佐々木明彦 (国士舘大)・鈴木啓助 (信州大)	上高地と乗鞍高原における積雪融解特性と融解モデルの比較	☆
25	井上峻 (新潟大)・河島克久 (新潟大)・松元高峰 (新潟大)・沖田竜馬 (新潟大)・佐藤雅彦 (利尻町立博物館)	利尻山ヤムナイ沢雪溪の内部構造と氷化過程	☆
26	河島克久 (新潟大)	日本の多年性雪溪における氷体形成機構－温暖氷河との共通点・相違点－	
27	有江賢志朗 (新潟大)・奈良間千之 (新潟大)・福井幸太郎 (立山カルデラ砂防博)・飯田肇 (立山カルデラ砂防博)	北アルプス・唐松沢雪溪は氷河なのか！？	☆
28	大谷侑也 (京都大)	ケニア山における氷河縮小と水環境の変化	☆
29	櫻井尚輝 (新潟大)・奈良間千之 (新潟大)・エセナマン・モハメド (CAIAG)・ウセコヴァーザルベク (CAIAG)	南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性	☆
30	奈良間千之 (新潟大)・ミルラン・ダイウロフ (CAIAG・新潟大学)	天山山脈とヒマラヤ東部の氷河湖決壊洪水の違い	
31	石橋真那美 (専修大)・苅谷愛彦 (専修大)・目代邦康 (日本ジオサービス)	上高地・横尾地区における異地性岩屑の発見：氷河性堆積物の可能性	☆
32	苅谷愛彦 (専修大)・高岡貞夫 (専修大)	上高地・玄文沢源頭「きぬがさの池」における線状凹地埋積物の層序と年代	
33	杉山博崇 (新潟大)・奈良間千之 (新潟大)	白馬大雪渓底の基盤復元と葱平堆積物の挙動	☆
34	小森次郎 (帝京平成大)・千葉達朗 (アジア航測)・山川修二 (日本大学)	2018 年 3 月 5 日に富士山東麓で発生した土石流の特徴	
35	栗本享宥 (専修大)・苅谷愛彦 (専修大)・目代邦康 (日本ジオサービス)	岐阜県郡上市明宝の水沢上地すべりににおける地形形成史と 1586 年天正地震	☆
36	徳本直生 (専修大)・苅谷愛彦 (専修大)・目代邦康 (日本ジオサービス)	天城火山南東部、白田川および川久保川の河成段丘面群	☆
37	畠瞳美 (ESRI ジャパン・新潟大)・奈良間千之 (新潟大)	白馬大雪渓における礫生産時期と積雪の関係	★

カラマツ人工林における林内と林外の気象観測値の比較

栗林正俊・浜田崇（長野県環境保全研究所）・牧田直樹（信州大学）

Comparison of meteorological data observed at inside and outside of artificial larch (*Larix Caempferi*) forest
 Masatoshi KURIBAYASHI, Takashi HAMADA (Nagano Environmental Conservation Research Institute), Naoki MAKITA (Shinshu University)

1. はじめに

大気CO₂濃度の上昇に伴う気候変化への対策が喫緊の課題となり、我が国は2030年度に森林のCO₂吸収量を2780万t確保する目標を定めた。我が国の人工林の10%を占めるカラマツは、国内で唯一の落葉針葉樹で、展葉・落葉のタイミングはCO₂吸収量を推定する上で重要である。既往研究によると、カラマツの展葉・落葉のタイミングは積算気温と関係があり、その関係式は標高に応じて異なる(e.g. 只木ら(1994); Nagai et al. (2015))。しかしながら、ほとんどの既往研究は林外の気温から積算気温を計算しており、林内と林外の気象条件の違いは考慮されていない。そこで、本研究では林内と林外の気象観測値を比較して、気温、相対湿度、降水量にどの程度の差があるかを定量的に評価することを目的とする。

2. 方法

長野市北西部の飯綱高原に位置する長野県環境保全研究所(北緯 36°43'21", 東経 138°9'24", 標高 1030 m)のカラマツ人工林を対象に、林内と林外に自動気象観測機器を設置した。林外には地上高 2.4 m に VAISALA 社製の温湿度センサー(HMP45)を強制通風筒に入れて設置した。また、飯綱庁舎の屋根(地上高 8 m 程度)に大田計器社製の転倒 0.5 mm の転倒ます型雨量計(No. 34-T)を助炭付きで設置した。林内には地上高 1.8 m に VAISALA 社製の温湿度センサー(HMP155)を強

制通風筒に入れて設置した。また、地上高 0.45 m に FieldPro 社製の転倒 0.2 mm の転倒ます型雨量計(7852N-II)を助炭なしで設置した。どちらの温湿度センサーも 1 秒毎の瞬時値を 10 分間平均して 10 分値として出力し、どちらの雨量計も 10 分毎の積算降水量として出力している。各気象要素の観測値を比較する期間は、2018 年 8 月 18 日 0 時以降とする。

3. 結果

日最高気温は林内よりも林外の方が期間平均値で 0.64℃高く、雨天日は林内と林外でほぼ同じだが、晴天日は林内よりも林外の方が 1℃以上高い(図 1)。日平均気温と日最低気温は林内と林外でほぼ同じである。相対湿度は基本的に林内の方が林外よりも約 5%高く、この差は日最高相対湿度に比べて日最低相対湿度の方がより顕著である。日降水量は林内の方が林外よりも 25~50%少なく、この割合は降水強度が強いほど小さい傾向がある。また、林内は林外に比べ降水量が観測され始めるタイミングが遅い傾向がある。

引用文献

只木ら(1994) 日本生態学会誌, 44, 305-314.
 Nagai et al. (2015) *Int. J. Biometeorol.* 59, 47-54.

謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2RF-1803)により実施された。

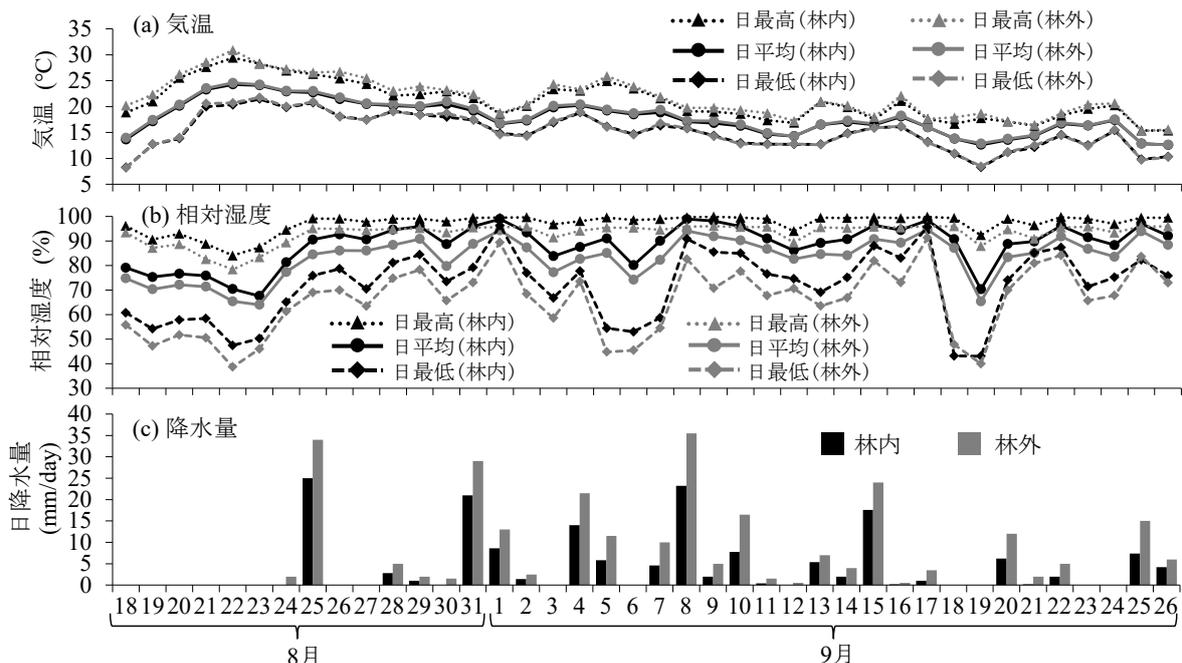


図.1 2018/8/18~2018/9/26 の林内と林外の (a) 気温、(b) 相対湿度、(c) 降水量、の日別値

北アルプス乗鞍火山の高山帯における気温・地温観測

佐々木明彦 (国士舘大)・西村基志 (信州大)・鈴木啓助 (信州大)

Observation of air and ground temperatures on alpine zone of Norikura Volcano, Northern Japanese Alps
Akihiko SASAKI (Kokushikan Univ.), Motoshi NISHIMURA (Shinshu Univ.)
and Keisuke SUZUKI (Shinshu Univ.)

1. はじめに

乗鞍火山は標高 2500~3000 m の山頂を有する火山体が南北に 10 km 以上にわたって連なる山域で、日本海側と太平洋側との境界をなす。乗鞍火山には広大な高山帯がみられ、周氷河環境の研究対象として重要であるほか、植生帯と気候の関係を検討するうえでも貴重な研究対象になりうる。また、こうした巨大な山塊を挟んだ東西両斜面における積雪過程や融雪過程の違いなど、気象状況に対する山塊効果などを検討するうえでも重要な研究対象と考えられる。このような研究を今後実施するにあたり、乗鞍火山の各所で気温データを取得し、気温状況を整理することは基本的な作業として重要と考えられる。本研究では乗鞍火山の山地帯-亜高山帯の境界、亜高山帯-高山帯の境界、および高山帯において、気温の通年観測を行った。また、高山帯において地温の観測を実施したので報告する。

2. 方法

気温の観測は、標高 1700 m の亜高山帯下限、標高 2500 m の高山帯下限、標高 2795 m の高山帯の各観測点で実施した。温度観測には自記記録式のサーミスタ温度計 (T&D 社製 TR-52S) を用い、1 時間インターバルでデータを記録した。センサーの分解能は 0.1°C、精度は±0.3°Cであるが、センサーは融点においてキャリブレーションを行っており、融点近傍での精度は±0.1°Cが保証されるようにした。

気温の観測は 2011 年の秋季に開始した。地表面から 2 m の高さに自然通風型の日射シェルターを設置し、それに温度センサーを格納して気温の観測を実施した。地温観測は標高 2795 m の高山帯の砂礫斜面において 2016 年秋季に開始した、センサーは 1 cm, 10 cm, 40 cm, 100 cm の 4 深度に設置した。

3. 結果と考察

データロガーの電池切れのための欠測や、センサーの積雪への埋没による無効データがあるため、観測期間のデータは冬季を中心に一部取得できていない。それらをのぞき、気温データを整理した。気温データは、全観測期間を通じて、最高気温は標高 1700 m における 26.6°C、最低気温は最高所の 2795 m における -26.8°C であった。

各観測点の気温データを月ごとに整理した。最暖月は各年各観測点とも 8 月であった。一方、最

寒月は 1 月か 2 月であった。データの欠測期間があるため、年平均気温の算出は難しい。高山帯の標高 2795 m では、2013 年に -2.1°C、2017 年に -2.4°C となったが、2016 年には -0.3°C と他の 2 カ年に比べ高い値となった。高山帯下限の標高 2500 m では、2014 年に 0.1°C、2017 年に -0.3°C となった。亜高山帯下限の標高 1700 m では、2014 年に 4.8°C、2015 年に 5.6°C であった。

各観測点の月平均気温を用いて、温量指数を検討した。その結果、本地域の亜高山帯下限の標高 1700 m において 43.3°C・月 (2014 年)、45.2°C・月 (2015 年) となり、亜高山帯下限の一般的な温量指数である 45°C・月におおむね一致した。一方、高山帯下限の標高 2500 m における温量指数は、19.7°C・月 (2014 年)、21.8°C・月 (2015 年)、19.8°C・月 (2017 年) であり、高山帯下限の一般的な温量指数である 15°C・月に比べると、かなり大きい値となっている。実際の温度環境よりも、風や積雪の着き方などの山頂効果によって温度条件見合いよりも低所まで高山帯が広がっていると考えられる。

高山帯の標高 2795 m で観測された地温の最高・最低値は、いずれも 1 cm 深で記録され、それぞれ 24.1°C、-19.3°C であった。1 cm 深では、凍結進行期の 10-11 月に 10 回程度の日周期の凍結融解サイクルがみられ、その後は凍結したまま推移した。3 月~6 月が季節凍土の融解進行期にあたり、1 cm 深ではおおむね 20 数回の日周期の凍結融解サイクルが認められた。一方、本観測期間において、10 cm 以深では日周期の凍結融解サイクルは発生しなかった。また、凍結進行期において、1 cm 深が凍結期間に入る日と 10 cm 深のそれはほぼ変わらないが、40 cm 深と 100 cm 深における凍結開始日は、1 cm 深の凍結開始日よりそれぞれ 1 週間および 1 ヶ月以上遅れた。凍結進行期には、急激に気温が低下し、それに対応して少なくとも 10 cm 深までは比較的短期間に凍結が進行すると考えられる。一方、融解進行期の 100 cm 深では、1 cm 深で季節凍土の融解がみられてから 2 ヶ月以上、40 cm 深の融解から 40 日以上凍結状態が継続した。融解進行期には、季節凍土は 40 cm 深までは比較的速やかに融解するものの、100 cm では季節凍土が維持されることが明らかとなった。

中部山岳域における局地風系および水蒸気の日変化

上原元樹 (信州大学)・佐々木明彦 (国土館大学)・鈴木啓助 (信州大学)

The Local Wind System and the Diurnal Variation of Water Vapor in the Japanese Alps Region

Uehara Genki (Shinshu University), Sasaki Akihiko (Kokushikan University), Suzuki Keisuke (Shinshu University)

1. はじめに

山岳地域では山体の熱力学的な作用を受けた特徴的な風系が形成される。中でも代表的な山岳風系として山谷風や斜面風と呼ばれる熱的循環流が挙げられる。日中、地表面付近の大気層が暖められることで斜面や谷軸に沿って上昇する斜面上昇風や谷風が吹く。夜間は地表面付近の大気層の冷却により斜面下降風や山風が吹く。こうした風によって空気塊が輸送されるため、風系の形成が山岳地域の熱や水蒸気の分布に大きな影響を及ぼすことになる。例えば、木村 (1994) は簡易的な山岳地形上の数値シミュレーションによって日中の斜面上昇風循環によって潜熱(湿潤空気塊)が谷から山へ輸送されることを示した。また、中部山岳地域で発達する斜面上昇風の収束や上昇気流が雲や降水を発生させると指摘されている (大橋・川村, 2006)。このように、山岳における熱的循環流とそれに伴う、水蒸気の変動や降水との関連性については多くの研究がされてきた。しかしながら、これらの研究の多くが気象庁の観測網や数値シミュレーションによるものである。しかしながら、気象庁の観測網は高標高地域については整っているとは言い難い。さらに、数値シミュレーションの結果に対しても、実測値による検証が必要不可欠である。本研究では長野県西部に位置する乗鞍岳東斜面の標高 2798 m と 1450 m における観測値を用いることで、それぞれの卓越風系と水蒸気の日変化を明らかにした。

2. 方法

気象観測 (風向・風速, 気温, 相対湿度, 気圧, 降水量, 日射量) は乗鞍岳東斜面に位置する富士見岳 (標高 2798 m) と信州大学乗鞍ステーション (乗鞍 st.) (標高 1450 m) において行われた。なお、富士見岳の日射量は通年、風向・風速, 降水量は冬季欠測である。本研究では 2009 年 7 月から 2018 年 6 月のデータを使用した。

3. 結果

富士見岳では夏季においても西風が卓越し、偏西風の影響が大きい。しかしながら、日中に斜面上昇風に該当する東風も現れやすい。日中の斜面上昇風が山岳稜線上付近まで到達し、影響を及ぼしていると考えられる。相対湿度や比湿は日中増加し、夕方に最大となる。日中の斜面上昇風によって低標高帯から水蒸気が供給されていると考えられる。また、富士見岳では気温の日変化が小

さいため、飽和水蒸気圧の日変化も小さい。そのため、相対湿度は輸送された空気塊に含まれる水蒸気によって敏感に変化すると考えられる。

一方、乗鞍 st. では、季節によって卓越する風系のパターンが異なる。夏季や秋季は日中を通して東風(斜面上昇風)、夜間は西風(斜面下降風)が吹く典型的な熱的循環風を反映した日変化が明瞭である。冬季においては夏季や秋季に比べると斜面上昇風は吹きにくく、上空の強い一般風によって 1 日を通して西風が卓越する。春季は日の出から昼前までにかけて斜面上昇風が吹くが、昼過ぎからは斜面下降風に転じ、一般的な山岳風系と異なる特異的な日変化が卓越する。このような日変化には山岳斜面の積雪の存在が影響しており、日中に雪面温度を気温が上回る状態となることで下降風が発生すると考えられる (Zou et al, 2008)。乗鞍 st. における相対湿度は日中に低下し夜間に高い。乗鞍 st. では気温の日変化が大きく、気温(飽和水蒸気圧)が日中に十分大きくなるため、相対湿度としては小さくとなると考えられる。比湿の日変化のパターンは季節によって異なる。夏季を中心とした時期には、朝と夕方に 2 つの極大をもつ日変化となる。発達した斜面上昇風循環においては谷の上空から谷底へ向けた鉛直下降流が生じ、それによって上空の乾燥した空気が谷底へともたらされる (kuwagata and Kimura, 1997)。そのため斜面上昇風の最盛期である昼頃に比湿が下がると考えられる。一方、冬季や春季は日中に少しずつ上昇し夜のはじめごろに最大となる比湿の日変化を示す。この季節では斜面上昇風循環は発達しにくいため、夏季とは異なった日変化となると考えられる。

4. 結論

乗鞍岳東斜面の異なる標高での気象観測により、各所で卓越する局地風系や相対湿度、比湿の日変化の特徴を明らかにした。同じ斜面上昇風であっても山頂側か谷側かによってもたらされる影響は異なる。また、卓越風系は季節によって異なり、それによって水蒸気の日変化も異なる。

引用文献

- 木村(1994)天気, 36. 9, 43-49
 Kuwagata & Kimura (1997) *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 64, 602-610.
 大橋・川村(2006)天気, 53. 4, 15-29
 Zou・Zhou・Li・Wang・Li・Jia and Gao (2008) *Geophysical Research Letters*. 35, L13813.

中部山岳地域における降水安定同位体比の時空間変動

桂川 司(信州大), 山中 勤(筑波大), 佐々木明彦(国土館大), 黒雲勇希(信州大),
西村基志(信州大), 清水啓紀(信州大), 鈴木啓助(信州大)

Spatiotemporal variations in stable isotope ratios of precipitation in the Japanese Alps Region

Katsuragawa Tsukasa¹, Yamanaka Tsutomu², Sasaki Akihiko¹, Kurokumo Yuki¹,
Nishimura Motoshi¹, Shimizu Hironori¹, Suzuki Keisuke¹
¹ Shinshu University ²University of Tsukuba

1. はじめに

水の安定同位体比は水循環を解明するための有効なツールである (Dansgaard, et al., 1964). とくに降水の安定同位体比は, 大気中での輸送過程や凝結・蒸発といった相変化によって変化することが知られており, 水循環に関連した研究で幅広く用いられてきた. 多くの既往研究において降水の安定同位体比の時空間的な変化について議論されてきたが, 日本国内における降水の安定同位体比の研究の多くは観測期間が1~2年と短く, 長期間のデータを用いて行われた研究は少ない. そこで, 本研究は中部山岳域において2011年1月から2016年12月にかけて6年間にわたる降水試料のデータを用いて対象地域における降水の安定同位体比の時空間的な変動とその要因を明らかにすることを目的とした.

2. 研究方法

降水の採取は中部山岳地域内の9地点(長野, 松本, 諏訪, 大町, 菅平, 乗鞍, 上高地, 志賀高原, 西穂高)において行った.

各採取地点には, 10 Lのタンク上部にロートを取り付けた降水サンプラーを設置し, 2011年1月から2016年12月まで, ほぼ1ヶ月ごとに降水試料の回収を行った.

3. 結果と考察

3-1. $\delta^{18}O$ について

$\delta^{18}O$ はほとんどの地点で春と秋にピークを示す2山型の季節変化を示した. 冬季に低い値を示し夏季に高い値を示したのは降水の $\delta^{18}O$ は主として水蒸気の凝結温度によって決まる (Dansgaard, 1964) からだと考えられる. また6月に $\delta^{18}O$ が低い値を示すのは雨量効果が原因であると考えられる. また, 空間的な変化について $\delta^{18}O$ と標高との間には4月から10月にかけて高い決定係数を示し, 寒候期には低い値であった. また緯度, 経度の決定係数は年間を通して低い値であることから, 暖候期のみ標高差による $\delta^{18}O$ の変化が起きていると考えられる.

3-2. d-excess について

Dansgaard (1964) は降水の d-excess は降水の起源となる海洋での蒸発が起きた時の状況の影響を強く受けると指摘しており, また早稲田・中井 (1983) は主に夏には湿潤な海洋性気団 (小笠原気団) が太平洋からゆっくりと海水を蒸発させ d-excess の低い水蒸気団をもたらし, 冬には乾燥した大陸性寒気団 (シベリア気団) が暖かい日本海から急速な蒸発を引き起こし d-excess の高い気団となり日本に降水をもたらすと述べている. このことから本研究においても d-excess が冬に高く夏に低い値を示したのは夏と冬の降水の起源の違いによるものであると考えられる. d-excess の空間変化については $\delta^{18}O$ と同じく暖候期のみ高度効果が見られた.

4. 結論

$\delta^{18}O$ は気温と降水量の変化により春季と夏季にピークを示す2山型の変動を示し, また4月から10月にかけて標高と明瞭な相関を示した. 高度効果はレーリーの凝縮過程及び地点毎の高度差により生じたと考えられる. d-excess は冬に高く夏に低くなるというような季節変動を示し, これは冬季に冬型の西高東低の気圧配置によって日本海起源の高い d-excess の降水が多くなることによってこのような変動が生じたと考えられる. また空間的な変動として, 夏季は標高との相関が高くなり冬季は経度との相関が高くなる. 夏季の標高との関係は $\delta^{18}O$ と同じくレーリーの凝縮過程によるものだと考察される. 冬季の経度との関係に関しては, 冬季に回収を行っている8地点の中で比較的東部にある大町, 長野, 菅平, 志賀高原に冬型の西高東低の気圧配置による d-excess の高い日本海起源の降水が多量もたらされたことによって経度との相関を示したのだと考えられる.

引用文献

- Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16 (4), 436-468.
早稲田周・中井信之 (1983): 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成. *地球科学*, 17, 83-91.

乗鞍岳の源流集水域における渓流水質の形成に及ぼす大気沈着物質の寄与

清水啓紀 (信州大学)・佐々木明彦 (国士舘大学)・鈴木啓助 (信州大学)

Contribution of atmospheric deposition on the Alpine streams in Mt. Norikura
Hironori SHIMIZU (Shinshu University), Akihiko SASAKI (Kokushikan University),
Keisuke SUZUKI (Shinshu University)

1. はじめに

高山帯は低標高帯に比べ気温が通年で低く微生物活動が乏しいため、一般に貧栄養環境になりやすい。このため高山帯に位置する源流集水域では、大気沈着は主要なイオン供給源の1つとされ、大気沈着物質は湿性沈着や乾性沈着として集水域の渓流水質に影響を及ぼす。日本国内の高山帯の源流集水域にみられる渓流の水質変動に関しては、既往研究は少なく、水質形成に及ぼす大気沈着物質の寄与は定量化に至っていない。

乗鞍岳の源流集水域は越年性雪渓を有しており、融雪および降雨に伴い冬季から夏季にかけての大気沈着物質が集水域にもたらされ、地表流の水質形成に寄与していると考えられる。

本研究では、気象・水文観測により、融雪に伴う集水域からの出水および降雨の化学成分の季節変動を調査し、時空間的な水質変動の傾向や化学成分の起源を検討したうえで、大気沈着が渓流の水質形成に如何に寄与しているのかを検討する。

2. 研究方法

調査対象地域は、乗鞍岳東斜面における流域面積 0.59 km² の源流集水域を含む、標高約 2550 m から 3000 m にかけての範囲である。集水域から延びる 3 本の流路の上下流に採水地点をそれぞれ 1 地点ずつ設け、このうち 1 本の流路については、上下流の採水地点間に水位、水温の自動観測及び自動採水を行う観測局を設けた。降水試料は観測局脇の裸地面に置いた常時解放型バルクサンプラーを用いて採取した。降水量は富士見岳にて 10 分間隔で観測した。積雪試料は雪渓における積雪断面観測時に採取し、雪温、層位、密度の測定も行った。水位の観測期間は 2017 年および 2018 年の 3 月から 10 月までで、各水試料の採取期間および降水量の観測期間は両年の 6 月から 10 月までである。

採取した渓流水、積雪、降水の各水試料はろ過処理を行い、電気伝導度、pH を測定後、イオンクロマトグラフを用いた主要イオン濃度 (Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻) の測定を行った。また、渓流水試料の HCO₃⁻ 濃度は硫酸滴定法により測定した。

3. 結果・考察

乗鞍岳の融雪最盛期において、各流路における渓流水の主要イオン濃度は、地下水の滲出量およ

び融雪水の流入量の差から、特徴的な時間変動を示した。それは、6 月初頭から 7 月末にかけての融雪期にみられる各イオン濃度の通減傾向である。この水質変動は、地表流に対して溶存イオン濃度の比較的低い融雪水がもたらす希釈作用が要因として挙げられる。6 月初頭の各イオン濃度は、この時期の降水や積雪層中のイオン濃度にははるかに高く、集水域内の地中に保持されていた化学成分が融雪水の浸透に伴い流出したものと考えられる。また、集水域内の融雪水量に左右されない、安定した水質の時間変動も 1 地点でのみ確認できた。この特徴がみられる流路は恒常的に地表流がみられ、水質の特徴としては、積雪層中の SO₄²⁻ 濃度に比べ著しく高濃度の SO₄²⁻ が観測された。この流路の上流部にのみ、熱水変質作用で形成されたと考えられる硫化鉄がみられ、高い SO₄²⁻ 濃度は硫化鉄の酸化による SO₄²⁻ の地表流への付加が要因と推測される。

降雨イベントによる水質変動は大きく、融雪が進行し降雨後数日間のみ地表流が生じる 9 月以降の渓流水は重炭酸カルシウム型を示した。降雨イベント時には、集水域内の複数の地点から重炭酸カルシウム型の地下水が降雨によって地表へ押し出され、渓流水の水質変動がもたらされると考察される。従って 9 月以降の降雨直後に生じる地表流は、地殻起源の化学成分が最も高い割合を占める状態と言える。

降水による集水域への主要イオン沈着量は、2017 年の 6 月 15 日から 10 月 10 日のほぼ全期間で NO₃⁻ が最も多く、次いで SO₄²⁻ が多かった。降水の各採取期間における主要イオンの沈着量は、NO₃⁻ はおよそ 50–930 kg/day で全調査期間の平均が 250 kg/day、SO₄²⁻ は 15–730 kg/day で全調査期間の平均が 163 kg/day なのに対し、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻ の全調査期間の平均値は、それぞれ 8、15、2、18、24 kg/day と著しく少なかった。一方で、集水域からの地表流出水を代表する観測局の地表流は、降雨時、一時的に HCO₃⁻ が 20 kg/h 程度流出するものの、HCO₃⁻ を除く各主要イオンの流出は基底流出時には 100 kg/day 以下であり、Ca²⁺ と Cl⁻ は沈着速度に比べ流出速度が上回っていた。越年性雪渓から冬季の大気沈着物質が供給される源流集水域では、春季から夏季の一時期における基底流出時の水質形成に、冬季の大気沈着が夏季の大気沈着に比して大きく寄与している可能性が考えられる。

山形県月山の樹林帯における雪氷藻類の繁殖と樹木が与える影響

渡邊茜 (千葉大学)・高橋翼 (千葉大学)・竹内望 (千葉大学)

The effects of the trees on the snow algal growth in the deciduous forest of Mt. Gassan, Yamagata prefecture, Japan

Akane WATANABE (Chiba University), Tsubasa TAKAHASHI (Chiba University), Nozomu TAKEUCHI (Chiba University)

1. はじめに

雪氷藻類とは寒冷環境に適応した光合成微生物で、世界各地の積雪や氷河の表面で繁殖することが知られている。雪氷藻類は日本の高山の残雪にも広く分布しており、山形県月山山麓の樹林帯では、緑藻の大繁殖によって緑色に色づいた雪、“緑雪”の出現が報告されている。樹林帯の積雪上では、果実や枝葉など樹木からの降下物や、樹木からの溶出物や沈着物を含む林内雨、土壌粒子、生息する動物からの排出物など多くの物質移入があり、高山や氷河の積雪に比べ栄養塩が豊富である可能性がある。しかしながら、樹林帯の雪氷藻類の繁殖過程についての研究はまだ少なく、特に藻類の繁殖過程と樹木からの栄養塩供給の関係についてはほとんどわかっていない。そこで本研究では、山形県の月山の山麓に広がる広葉樹の樹林帯において、融雪期の積雪の物理化学条件と雪氷藻類の調査を行い、樹林帯における雪氷藻類の繁殖と積雪の物理化学条件の時間変化と、樹木の有無による積雪の物理化学条件の違いを明らかにすることで、雪氷藻類の繁殖過程とそれに対して樹木が与える影響を考察することを目的とした。

2. 調査地と手法

調査地は、山形県中央部の月山(標高 1984 m)の南西側山麓に位置する、志津野営場付近の樹林帯の残雪上である(標高約 750 m)。この地域は冬季の最大積雪深が 3 m を超える豪雪地帯で、3 月頃から融雪が始まり、5 月末頃に消雪する。融雪期には毎年、緑雪が現れることが知られている。調査は 2016 年と 2017 年の 4 月から 5 月にかけて、約 2 週間おきに、積雪表面サンプル採取、積雪全層の断面観測を行った。2017 年には雨水サンプルの採取も行った。積雪表面サンプル、雨水サンプルについては、樹木の有無による積雪中の雪氷藻類量や溶存化学成分の違いを明らかにするため、林の中と外それぞれで採取を行った。採取したサンプルは冷凍で千葉大学へ輸送した。実験室での分析は、サンプル融解の後、光学顕微鏡観察、蛍光光度計によるクロロフィル a 濃度測定、EC、pH 測定、イオンクロマトグラフィーによる主要な溶存化学成分濃度の測定を行った。

3. 結果と考察

調査の結果、月山の山麓では 4 月上旬には積雪

表面に雪氷藻類の細胞は見られなかったが、4 月下旬頃には主に林内で藻類の繁殖による緑雪が現れ、緑雪のパッチの数やクロロフィル a 濃度は 5 月にかけて増加していくことが明らかになった。積雪表面サンプルの化学成分を測定した結果、4 月上旬にはリン酸や硝酸、アンモニアなどの栄養塩濃度が低いが、4 月下旬から 5 月にかけてリン酸とアンモニアの濃度が、それぞれ 6.5 $\mu\text{Eq/L}$ から 51.4 $\mu\text{Eq/L}$ 、10.93 $\mu\text{Eq/L}$ から 72.6 $\mu\text{Eq/L}$ へと大きく上昇することが明らかになった。これらのことから、積雪表面の栄養塩濃度の上昇が、雪氷藻類の大繁殖を可能にしていることが示唆された。また、4 月下旬と 5 月上旬の雨水サンプルの溶存化学成分を測定した結果、4 月下旬のサンプルからはリン酸が検出されなかった一方、5 月上旬の林内雨サンプルにはリン酸が含まれていた。これらのことから、樹木は降雨にリン酸を付加して雪上に供給する効果を持ち、その効果の程度は季節によって異なることが示唆された。以上の結果から、月山山麓の樹林帯では、融雪の間、林内の積雪表面に樹木由来の栄養塩が供給されていき、その栄養塩を利用して藻類が大繁殖すると考えられる。

千曲-信濃川水系で新規発見されたカワヨシノボリ集団の遺伝構造：その起源の究明と保全

竹中將起 (信州大院・総合工)・○谷野宏樹 (信州大院・総合理工)・鈴木智也 (信州大・理)・小林健介 (信州大院)・柳生将之 (環境アセスメントセンター)・東城幸治 (信州大・理)

The genetic structure of the newly discovered fish *Rhinogobius flumineus* in the Chikuma-Shinano River System

Masaki TAKENAKA (Shinshu University), Koki YANO (Shinshu University), Tomoya SUZUKI (Shinshu University), Kensuke KOBAYASHI (Shinshu University), Koji TOJO (Shinshu University)

1. はじめに

日本列島は、世界有数の山岳大国である。その中でも中部山岳地域は日本有数の山岳地帯であり、様々な地殻変動の影響を受けてきた。さらに、今なお活発な地殻変動が進行するなど、世界的にも極めて興味深い地域である。特に、中部山岳地域は日本列島の形成において極めて重要な地域である。20-15Ma に東日本と西日本がそれぞれ独立に大陸から離裂し、その後も長きに渡り「フォッサマグナ」(深い海域)の存在により、東日本と西日本は隔てられていたとされる。その影響から、様々な生物種群において糸魚川-静岡構造線付近で遺伝的に分化する事例が多く蓄積されている。中部山岳地域は、地質学的にも、生物学的にも極めて興味深い地域であるだけでなく、地質学的と生物学的を統合した学際的な研究を展開できることが期待される。

純淡水魚類は生涯を淡水域に依存する種群であり、水系を跨ぐような移動分散には氷期-間氷期サイクルに伴う海水準の変動による近隣水系の接続や、河川争奪が大きく寄与すると考えられる。そのため純淡水魚類は、河川争奪などの地質学的イベントと遺伝構造の関連を究明する上で最適な材料である。ハゼ科に属するカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* は、主に河川上・中流域の瀬環境に生息する純淡水魚類である。日本列島においては本州(西部)・四国・九州のほか、壱岐島や五島列島(福江島)などの島嶼にも生息している。従来、本州の日本海側では神通川水系以西、太平洋側では富士川水系以西の分布とされてきた。しかしながら我々の調査において、これらの境界よりも東部にあたり、従来の分布域には含まれていない千曲-信濃川水系内の複数の支流において、カワヨシノボリの生息が確認された。近隣水系にあたる木曾川・天竜川・富士川水系に自然分布するカワヨシノボリ地域集団との形態形質を比較検討した結果、天竜川水系の集団とよく似た形態形質をもつことが示唆されている。

2. 方法

千曲-信濃川から発見されたカワヨシノボリの系統学的な位置づけを把握するため、カワヨシノ

ボリを自然分布集団から採集し、その鱗組織から全ゲノム DNA を抽出し、ミトコンドリア遺伝子 COI, ND5 領域の塩基配列を解析した。得られた塩基配列を基に、分子系統解析を実施した。

また、Maxent により生態ニッチモデリングを行い、カワヨシノボリの潜在的な生息地を推定した。本研究で採集した地点情報、および河川水辺の国勢調査による採集記録を用いて、現在と最終氷期最寒冷期(LGM: 約2万年前)の本種の潜在的な生息地を推定した。

ML tree
ND5 (913-bp)

ノードの値はブートストラップ確率

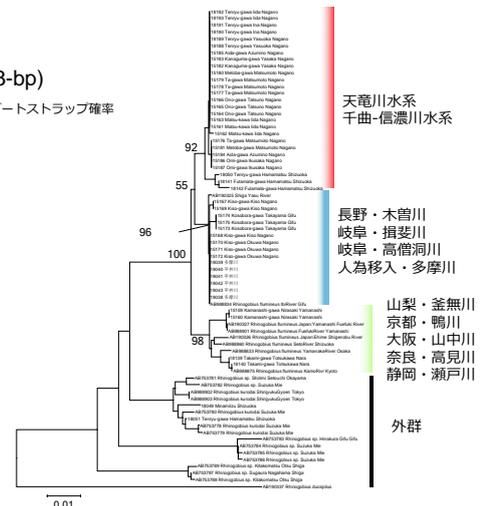


図.1 カワヨシノボリのミトコンドリア遺伝子 ND5 領域 (913-bp) の塩基配列に基づく最尤系統樹。ノードの数字は、最尤法におけるブートストラップ確率。

3. 結果・考察

カワヨシノボリのミトコンドリア遺伝子 COI, ND5 領域の遺伝子解析の結果、千曲-信濃川水系の集団は、単一の遺伝子型に由来せず、多型が検出された。また、遺伝的にも形態的にも天竜川集団と最も近縁である結果が得られた。さらに、生態ニッチモデリングの結果からも自然分布したことを示唆する結果が得られた。しかし、純淡水魚が分水嶺を越えた分散は難しいため、河川争奪などの地殻変動の影響が強いと示唆される。

生物学および地質学双方の学問分野を統合することで、生物の進化、およびより詳細な地殻変動との関連性を紐解き得るような興味深い結果が得られたのでここに報告する。

中部山岳地域におけるキイロヒラタカゲロウの集団遺伝構造

百瀬加奈子 (信州大学・理学部)・東城幸治 (信州大学・理学部)

Phylogeography of the heptageniid mayfly *Epeorus aesculus* in the central mountain region of Japan

Kanako MOMOSE (Shinshu Univ.), Koji TOJO (Shinshu Univ.)

1. はじめに

河川に依存する水生生物は流路に沿った線的な移動・分散という制限を受け、河川の源・上流域の冷水環境に適応したような生物種群ほど集団が分断化されやすく、それぞれの集団サイズは小さくなる傾向があると考えられている。これにより、河川源・上流域に生息する水生生物は、比較的近い地理的距離に位置づけられる集団間においても遺伝的分化が生じやすいことが知られている(東城, 2005; Tojo et al., 2010)。

カゲロウ類は幼虫期を水中で過ごし、幼虫から羽化したカゲロウは数分間から数日間を亜成虫として過ごし、その後もう一度脱皮をして成虫になる。亜成虫期間に加えてこの成虫期間も短く、短い種群では数分間から数時間程度のものが知られ、長い種群においてもせいぜい数日間である(Tojo et al., 2006; Sekine et al., 2013)ため、水系間をまたぐような大きな地理的スケールでの移動・分散は稀であると考えられる。

本研究で扱うキイロヒラタカゲロウ *Epeorus aesculus* は、河川源流域から上流域に適応しており、流速はきわめて速く、滑らかな巨礫の多いような環境を好む種群である。形態的特徴に注目すると、第1腹節葉状鰓は大きく発達し、左右の鰓が腹面で接することで吸盤的機能をもつなど、流速の速い環境に適応した種である。扇谷・中村, (2008)において、小黑川の標高1500mの最上流部と1235mの桂小場においてキイロヒラタカゲロウはカゲロウ類の中では最優占するが、それより下流域においてはほとんどみられなかったことから、下流域を介した別の支流との交流は起こりにくいと考えられる。

中部山岳地域は地質学的背景の異なる複数の山脈から構成されている。北アルプス・中央アルプス・南アルプスを源頭とする河川は、きわめて大きな標高差をもつ(奥穂高岳 3,190m, 木曾駒ヶ岳 2,956m, 北岳 3,193m)。また、フォッサマグナや糸魚川-静岡構造線など、地史的にも重要な活断層があり、世界的視点においても極めて活発な地殻変動が生じている地域であるため、地理・地形そして地史との関連の検討に適している。

2. 方法

採集した標本から全ゲノム DNA を抽出し、ミトコンドリア DNA COI, および 16S rRNA 領域の配列データに基づく分子系統解析および系統地理学的解析を実施した。

3. 結果と考察

本研究では、キイロヒラタカゲロウを対象に、ミトコンドリア DNA COI 領域の遺伝構造を解析した。系統解析により、大きく分化した6つのクレードが検出された。千曲川の本流からは1つのクレードのみが検出され、千曲川水系の支流とは遺伝的に分化していることが示された。また、現在は接続していない別水系の河川間で同一ハプロタイプを共有する事例も検出された。これらの結果から、異なる水系間をまたぐような移動・分散が生じている可能性や、過去の接続(河川争奪)による遺伝的交流の名残である可能性が示唆された。

引用文献

Sekine et al. (2013) Biol. J. Linn. Soc., 109, 181-202.
 東城 (2005) 応用生態工学, 7, 112-127.
 Tojo et al. (2006) Limnology, 7, 31-39.
 Tojo et al. (2010) NOVA Science Publishers, Inc, 157-161.
 扇谷・中村 (2008) 信州大学環境科学年報 30号, 57-66.

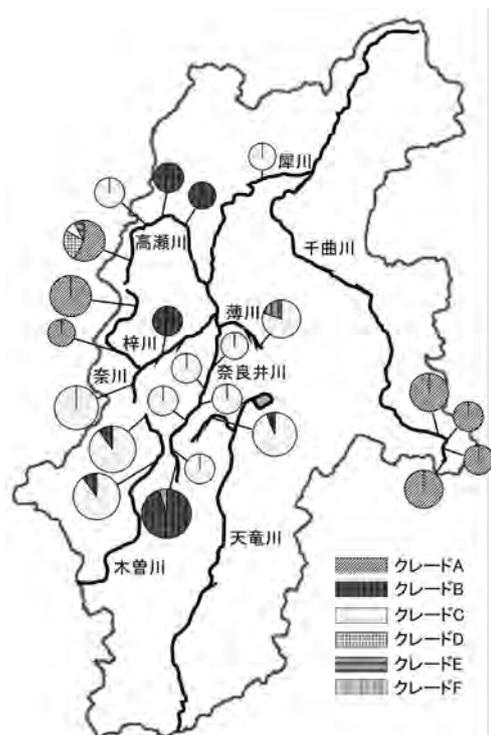


図1 キイロヒラタカゲロウの産地情報とmtDNA COI領域解析におけるクレードの内訳

日本列島の地史がもたらす遺伝的分化：
山岳棲昆虫トワダカワゲラ *Scopura longa* の分子系統解析

小池花苗（信州大院）・吉井幸（信州大）・東城幸治（信州大）

The molecular paleogeography of the alpine headwater specific stonefly *Scopura longa* (Scopuridae)
Kanae KOIKE (Shinshu Univ.), Miyuki YOSHII (Shinshu Univ.), Koji TOJO (Shinshu Univ.)

1. はじめに

日本列島は、今なお激しく地殻変動が生じている世界でも有数の地域である。これらの地史的要素は、日本列島の生物相形成にも大きく寄与すると考えられ、これまで日本列島において様々な分類群における系統地理学的研究が行われてきた。分子マーカーを用いた生物系統地理学的研究において、定着性の強い（あるいは分散力の低い）生物種群では、地理的な遺伝構造が検出されやすく好適な対象である。

トワダカワゲラ科はカワゲラ目内最小の科であり、日本列島と朝鮮半島に各4種ずつが記載されている東アジア固有の分類群である。各種の分布域は、平野や海峡などの地理的障壁により分断される。山岳源流域に孤立・散在的に分布し、翅が退化した成虫は飛翔できないことから、本種群の集団構造は系統進化史や地史の影響を強く反映すると思われる。このような背景から、本種群を対象とした分子系統地理学的研究を展開してきた。

このうちトワダカワゲラ *Scopura longa* は、北限を青森、南限を福島・茨城周辺とする日本列島の東北地域に分布する。今回は、特に、このトワダカワゲラに焦点を当て、種内の遺伝構造・系統進化史を、東北地方の地史と関連付けて議論を行う。

2. 材料と方法

トワダカワゲラの分布域を網羅する採集を行い、標本から全ゲノム DNA を抽出、精製し、ミトコンドリア DNA COI, 16S rRNA 領域、および nDNA Histone H3 領域の配列のデータを基に分子系統解析および系統地理学的解析を実施した。

3. 結果と考察

分子系統解析の結果、遺伝的に大きく分化した2系統から構成されることが示された。この2系統は種の分布域の北部と南部に位置づけられるものの、この分布境界に地理的な障壁はなく、交雑地域も確認された。2系統の交雑地について交雑の程度を調査したところ宮城山形県境を越える笹谷峠地域でのみ交雑個体が確認された。交配隔離機構の有無については現在調査中である。

それぞれの系統はさらに細かく遺伝的分化傾向を示し、山塊や地域ごとに分化した10グループから構成され、その進化史は東北地方の地史に影響を受けてきたものと考えられる（図1）。

また、海洋島（本州と陸続きになったことがない）とされる佐渡島にも飛翔能力をもたないトワダカワゲラが分布している。この佐渡島のトワダカワゲラの遺伝的な位置づけとしては、地理的に近い新潟よりもより北方に当たる山形と近くなった。また、島内において、国仲平野を挟む大佐渡-小佐渡間での遺伝的分化も認められた。

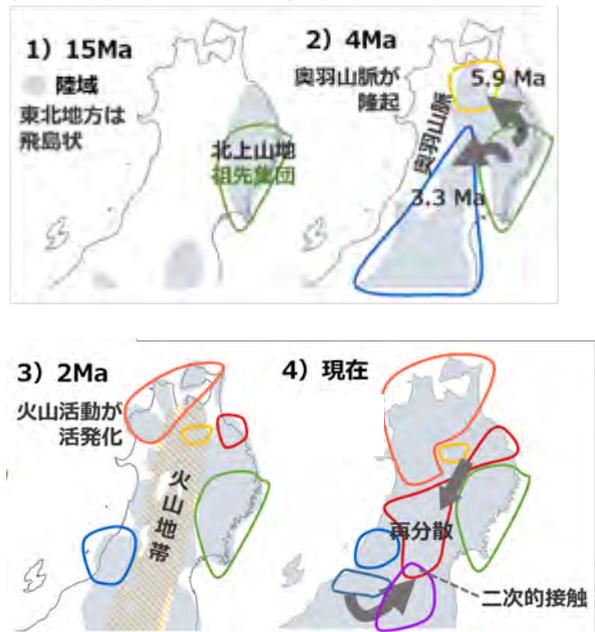


図1. 推定されたトワダカワゲラ *S. longa* の分散と東北地方の地史の模式図 (cf. 佐藤・池田, 1999; Sato, 1994; 小池ほか編, 2005)

引用文献

佐藤・池田(1999)月刊地球, 21, 569-575.
Sato(1994) *Jour. Geophys. Res.* 99, 22261-22274.
小池ほか編(2005)日本の地形, 3, 311-326.

高山帯・亜高山帯に生息する山岳昆虫オンダケトビケラ類の 分子系統・生物地理研究

東城幸治・三上賢司（信州大・理）・野崎隆夫（神奈川県二宮町）

Phylogeography of alpine and subalpine adapted *Pseudostenopsyche* Caddisflies: strong relationship with mountain formation

Koji TOJO, Kenji MIKAMI (Shinshu Univ.), Takao NOZAKI (Ninomiya, Kanagawa)

1. はじめに

オンダケトビケラ類は冷水環境に適応したトビケラ目昆虫類で、日本列島では高山帯や亜高山帯に生息する山岳溪流域の昆虫である。国内では御嶽山・三の池 (2,720m) で最初に発見されたことから「オンダケ」の和名がつけられている。

日本からは 8 種が記載されており、形態形質から「*ondakensis* 種群」と「*adlimitans* 種群」に区別されてきた。水系内の源流域の細流に孤立・散在的な集団を形成することから、集団間の分散も生じ難く、遺伝子流動の低下に伴う集団レベルでの遺伝的固定化が促進され、遺伝的浮動の影響を強く受けてきたと予想される。すなわち、山塊レベルでの遺伝的分化や山塊内でさえも遺伝的分化が生じやすい種群であると考えられる。

さらに、山岳地形や山岳形成史をよく反映した遺伝構造をもつことが予想され、今なお激しく地殻変動（山体形成）が生じている日本列島における本種群の遺伝構造解析を実施し、地理・地形や地史との比較検討を試みた。

2. 材料と方法

日本列島に生息するオンダケトビケラ類全 8 種を、それぞれの分布域広域から、集団を網羅するように採集した。加えて、朝鮮半島から記録されている 1 種を採集し、GenBank に登録されている遺伝子配列を加えて分子系統解析を実施した。系統解析には、ミトコンドリア DNA (mtDNA) の COI 領域 (561-bp) と 16S rRNA 領域 (772-bp)、核 DNA (nDNA) の ITS2 領域 (548-bp) と EF-1 α 領域 (315-bp) の塩基配列を用いた。

3. 結果および考察

遺伝子解析に用いた 4 遺伝子領域のいずれにおいても、*ondakensis* 種群と *adlimitans* 種群の間には大きな遺伝分化がみられ、従来の形態形質によるグループ区分の妥当性を強く支持する結果となった。

また、解析に用いた全 9 種それぞれの種としての単系統性は強く支持された。さらに、北海道から、未記載種と思われる遺伝系統群が検出された。北海道の古地理を参照すると、この未記載種も含めた道産 3 種の分岐年代 (約 3.5Ma) には、北海道が多島化状態にあったとされ、その時代の島の配置とこれら 3 種の分布域がよく合致する。また、道産 3 種で構成する単系統群も強く支持された。

朝鮮半島産の 1 種は *ondakensis* 種群を構成し、日本の種群の内部に位置づけられた。水生昆虫における多くの研究事例では、日本列島と朝鮮半島の系統間の遺伝的分化は大きく、日本列島が大陸から離裂したとされる 15Ma 頃からの遺伝的分化や対馬海峡の形成 (1.55Ma) 以降の分化を示す傾向が強い。しかし、オンダケトビケラ類では異質の結果が得られ、日本列島で多様化した種群の一部（本州の系統群）が大陸へと「逆分散 Back Dispersal」した可能性が示唆された。

西日本に生息する *adlimitans* 種群は、大台ヶ原山、氷ノ山、大山、剣山、石槌山、国見岳に生息し、それぞれの山頂付近の細流に、いずれも局所的な小集団を形成しているが、その遺伝構造は興味深い結果となった。現在の地理・地形よりも、むしろ古地理との関連性が深く、海面が低下した氷期に同一水系となった地域間での遺伝的類縁性が示された。冷水適応した種群であるため、氷期における分布域の拡大と、それに伴う広域的な遺伝子流動が生じたものと推察される。

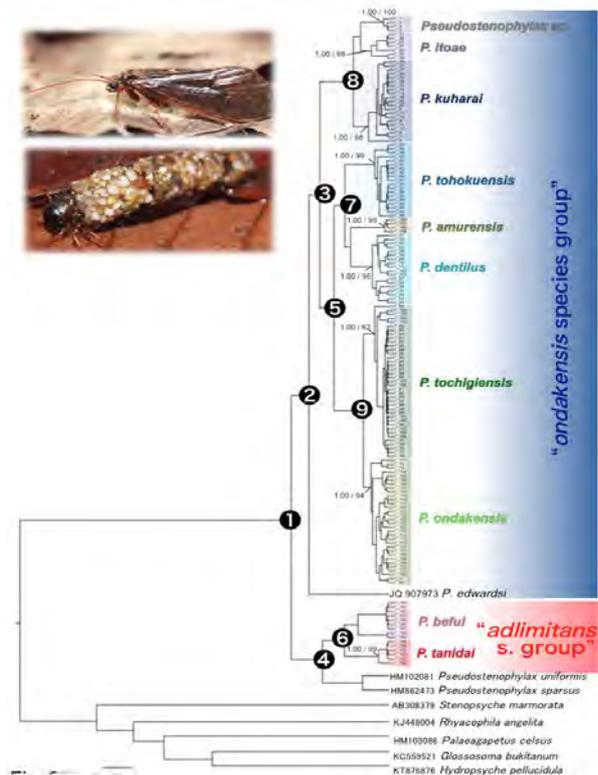


図 1. mtDNA COI 領域のデータセットに基づくオンダケトビケラ類の分子系統解析結果

高山植物コマクサの分子系統・生物地理学的研究： 日本列島集団の遺伝構造

尾崎貴久（信州大院）・松田浩和（信州大）・東城幸治（信州大）

The molecular phylogeography of the alpine gravel environment specific plant *Dicentra peregrina* (Papaveraceae) in Japan

Takahisa OZAKI (Shinshu Univ.), Hirokazu MATSUDA (Shinshu Univ.), Koji TOJO (Shinshu Univ.)

1. はじめに

日本列島に生育する高山植物の多くは、氷期などの寒冷期に分布を拡大した「氷期遺存種」とされ、現在の分布域は孤立・散在的となることが多い。このような分布域をもつ生物種群では、移動分散が制限され、分集団化が進むため、各集団内での遺伝的固定化が促進されるとともに、遺伝的浮動の影響を強く受ける。また、このような生物種群では、遺伝構造の地理的傾向が検出されやすく、これまでに多くの高山植物における事例が報告されてきた。しかしながら、本研究で注目するコマクサのように高山荒原植物については研究対象とされてこなかった。

日本の高山植物は、その相観により (1) ハイマツ群落、(2) 高山荒原植物群落、(3) 高山低茎草本植物群落、(4) 高山高茎草本植物群落、(5) カール底植物群落、(6) カール底荒原植物群落、(7) 雪田植物群落、(8) 高山矮性低木群落に分類される。各植物群落の分布は、主に雪や風などの気象条件、岩層の大きさや安定性といった地質条件などにより決定される。

コマクサ *Dicentra peregrina* は高山砂礫地に生育し、高山荒原植物群落を代表する植物である。日本列島においては、中部山岳域・東北・北海道の高山帯、およびロシア沿海州と千島列島に分布している。高山砂礫地は稜線上の活発に風化が起きている場所や火山の周囲に点在する不安定な環境である。そのため、分布は強く制限され、高山植物のなかでも特に気象や地形・地質学的影響を強く受けていると考えられる。本研究では、日本列島におけるコマクサの分子系統解析を実施し、他の高山植物で得られている結果と比較することで、系統進化史に対する生育環境の影響について検討する。

2. 材料と方法

日本列島におけるコマクサの分布地域をほぼ網羅するように広域から採集した葉標本から、全ゲノム DNA を抽出・精製し、5つの葉緑体遺伝子領域：matK (668-bp), rbcL (316-bp), trnT-trnL spacer (638-bp), trnL-trnF spacer (348-bp), trnH-psbA spacer (367-bp) の塩基配列データをもとに分子系統解析を実施するとともに、系統進化史と地理・地形や地史との関係性を考察した。

3. 結果と考察

分子系統解析から、日本列島のコマクサは2つの主要遺伝系統群で構成されており、その境界は北海道の山岳間に存在するという興味深い結果が得られた。先行研究で報告されてきた多くの高山植物では、中部山岳域と東北地方の山岳間に遺伝系統群の境界が検出されており、コマクサにおける遺伝構造は大きく異なった。すなわち、他の高山植物とは大きく異なる分布形成史をもつことが示唆される。

また、北海道内において、本州の山岳と共通する遺伝系統群が検出された化雲岳を除く他の山域からは北海道に固有の遺伝系統群が検出されたが、地質学的研究により、これらの山域は化雲岳よりも後に形成されたことが示されている。

これらのことから、コマクサの遺伝構造は、地質学的影響をより強く受けており、その要因として、生育環境の地質学的特徴が影響していると示唆された。

本発表では日本列島のコマクサで見出された遺伝構造と、そこから導き出されたコマクサの分布形成史に関する可能性を報告する。

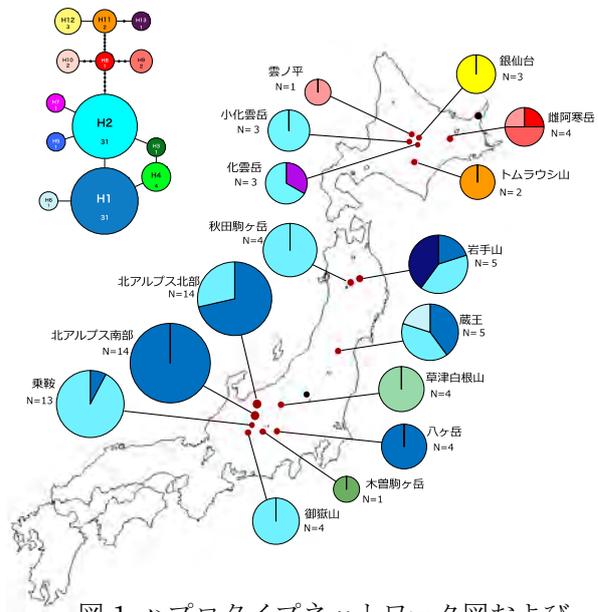


図.1 ハプロタイプネットワーク図および地理的配置
葉緑体遺伝子領域 matK (668-bp), rbcL (316-bp), trnT-trnL spacer (638-bp) に基づく

中部山岳域におけるカワネズミ 2 遺伝系統群の二次的接触について：
マイクロサテライト解析を用いた分子系統解析

山崎遥・関谷知裕（信州大）・永山駿・平澤桂・戸倉溪太（アクアマリンいなわしろカワセミ水族館）・佐々木彰央（静岡大）・一柳英隆（熊本大）・元木達也（環境アセスメントセンター）・東城幸治（信州大）

Molecular phylogeographic study in the central mountain region of the water shrew, *Chimarrogale platycephalus*

Haruka YAMAZAKI, Tomohiro SEKIYA (Shinshu Univ.), Shun NAGAYAMA, Kei HIRASAWA, Keita TOKURA (Aquamarine Inawashiro), Akio SASAKI (Shizuoka Univ.), Hidetaka ICHIYANAGI (Kumamoto Univ.), Tatsuya MOTOKI (Environmental Assessment Center), Koji TOJO (Shinshu Univ.)

1. カワネズミについて

カワネズミは、トガリネズミ目トガリネズミ科の小型哺乳類である。溪流に適応した国内唯一の水生トガリネズミ類であり、餌として水生昆虫や魚類などを食べることから、溪流生態系における上位捕食者として位置づけられる。日本固有種で本州・九州に分布している。希少性が高く、生息が確認されているほぼ全ての都府県において、何らかの絶滅危惧カテゴリーにリストされている。捕獲ストレスに対して極めて脆弱であり、調査が困難とされてきた。

2. ミトコンドリア DNA の遺伝子解析

これまでの我々の研究において、カワネズミの糞をサンプリングし遺伝子解析を実施する手法を確立させた (Sekiya et al., 2017)。この結果、効率的かつ非侵襲的なサンプリングによる遺伝子解析の研究が可能となった。

先行研究において、ミトコンドリア DNA のシトクローム b 領域 (1140-bp) の遺伝子解析がなされ、カワネズミは 4 系統群から構成されることが明らかとなっている (Iwasa and Abe, 2006)。これらのうち 2 系統群が、中部山岳域の広域で混生すると示唆されているものの、解析に用いられた集団数やサンプル数は限定的である。

本研究では、糞からの効率的な遺伝子解析法を導入することで、中部山岳域における対象集団を増大させるとともに、先行研究ではわずかな集団のみを対象とされた九州地方の解析数も増大させることができた。この結果、中部山岳域では同一水系内において両系統が混生している事例が認められたほか、同一地点から両系統が検出される事例も一例のみ認められた。

4 つの遺伝系統群の存在から、氷期-間氷期サイクルにおいて分布域縮小・拡大を繰り返す中で、各遺伝系統群はそれぞれいずれかの地域にレフュugiaがあったと考えられる。すなわち、2 系統群が混生する中部山岳域への移動・分散は比較的近年に起こったと考えられ、2 つのレフュugiaからの分布域拡大により、両系統群が二次的に接触している状態にあると示唆される。

3. マイクロサテライト解析

より鋭敏な遺伝子マーカーとして、マイクロサテライト・マーカー開発を行い、21 座位のマーカーを作成した。これらのマーカーは多数の変異が確認でき、飼育個体の糞を用いてその有用性を試験した結果、有意に個体識別が可能であった。これらのマーカーを用いた遺伝構造解析を行なった結果、地理的傾向がみられたが、ミトコンドリア DNA の場合とは異なる遺伝構造が示された。核 DNA とミトコンドリア DNA の両方の遺伝構造の比較により、メスよりもオスの分散頻度が高いこと、さらに 2 系統群が混生する地域では、浸透交雑が生じていることも明らかとなった。

引用文献

- Iwasa & Abe (2006) Acta Theriologica 51 (1): 29-38
Sekiya et al (2017) JSM Biology 2(1): 1010

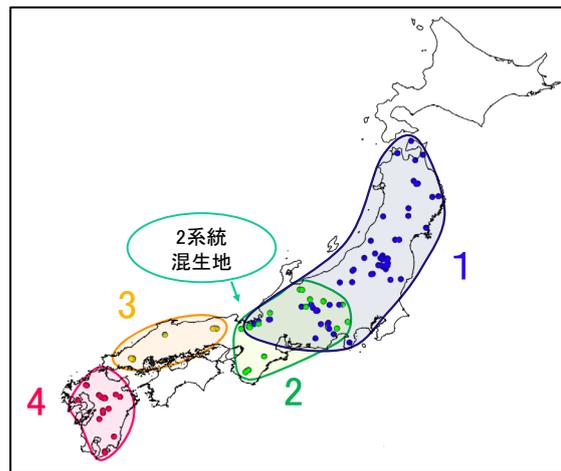


図 1 カワネズミのミトコンドリアDNAにおける遺伝構造・ミトコンドリアDNA cyt b領域 1140-bpの遺伝子解析結果から推定されたカワネズミの遺伝構造。4系統群から構成され、中部山岳域周辺において系統群1と2が混生している。

富士山麓の大規模湧水柿田川と狩野川本流の生物のつながり：遺伝子流動の観点から

田路泰志（信州大・理）・竹中将起（信州大院・総合工）・
谷野宏樹（信州大院・総合医理工）・東城幸治（信州大・理）

Positioning of the large scaled spring water river, Kakita-gawa, within the Kano-gawa River System
: From a view point of gene flow of an aquatic insect

Taishi TOJI, Msaki TAKENAKA, Koki YANO, Koji TOJO (Shinshu Univ.)

1. はじめに

「東洋一の湧水」と謳われる柿田川は、1.2 km という日本一短い一級河川でありながら、1日約100万トンの水が湧出する大規模な湧水河川である。富士山上部の融雪水や富士山斜面への降雨が、三島溶岩中に入り込み、その末端で湧出した地下水を水源とする。また、水量や水温が1年間を通してほぼ一定であるなど（約15℃）、湧水環境特有の自然環境を有しているため湧水固有の生物も生息している。本研究の対象であるヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche marmorata* は日本列島の最優占底生生物に位置づけられ、河川生態系における重要な役割を担っている。また、一般的な河川では年2化だが、水温が年間を通して安定的な湧水では1年中羽化することを松本市内の湧水で確認しており、柿田川でも1年中成虫が羽化することが予想される。つまり、柿田川と柿田川が流れ込む狩野川本流とはヒゲナガカワトビケラ集団の生活史が異なっていると予想される。そのため、相互の遺伝的交流が妨げられている、もしくは柿田川でより遺伝的な分化が検出されることが期待される。そこで本研究では、柿田川を含む狩野川水系全体のヒゲナガカワトビケラの遺伝子流動や各地点間の遺伝的距離を調査し、柿田川における生態系の独自性を解明することを目的としている。

2. 方法

ヒゲナガカワトビケラ幼虫を柿田川と狩野川本流、黄瀬川、修善寺川、大場川、来光川において各地点20個体ずつ採集し、実験室においてDNAを抽出し、ミトコンドリア遺伝子COI領域の解析、および高感度マーカーであるマイクロサテライト解析（個体識別や親子判定にも用いられる解析）を実施し、柿田川と狩野川本流との間の遺伝的交流の有無・強度について調べた。

3. 結果

先行研究における日本列島のヒゲナガカワトビケラのミトコンドリア遺伝子COI領域の解析によると6つのクレードから構成されることが明らかになった（斎藤・東城, 2016）。このうち狩野川水系のヒゲナガカワトビケラ集団は列島広域に分布するクレードVIIIに属した（図1-2）。

また、マイクロサテライト解析の結果、異なる生活史をもつと考えられる柿田川と狩野川本流

の間でも遺伝的に交流していることが明らかとなるなど興味深い結果が得られた。

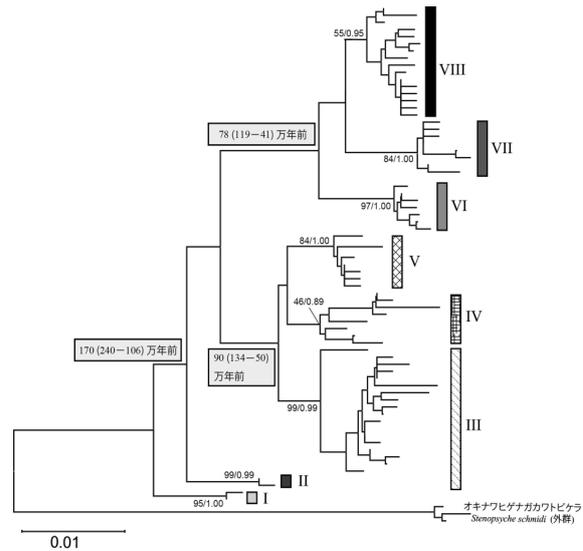


図1.ヒゲナガカワトビケラのミトコンドリアDNA COI領域(636-bp)の塩基配列に基づく最尤系統樹。ノードの数字は、最尤法におけるブートストラップ確率/ベイズ事後確率。枠内の数字は、最近共通祖先(most recent common ancestor; MRCA)の推定年代を示している(括弧内は95%信用区間;斎藤・東城,2016参照)。

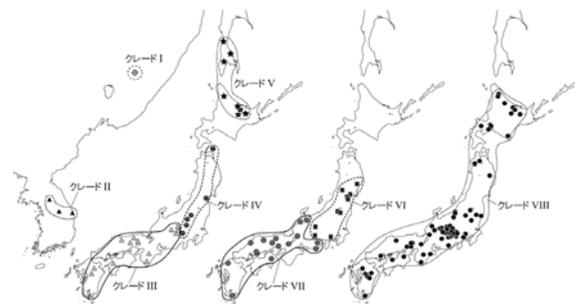


図2. 各クレードを構成したヒゲナガカワトビケラ種内の分布図。各クレードのローマ数字は図1と対応（斎藤・東城, 2016参照）。

引用文献

斎藤梨絵・東城幸治（2016）「ハビタット・ジェネラリスト種」ヒゲナガカワトビケラにおける隠れた遺伝的多様性—分子系統地理とハビタット特性—。昆虫と自然, 51: 20-23.

中央アルプスの標高勾配に対するオオシラビソとダケカンバの異なる葉の適応戦略

吉田暁人・伊藤拓生・増本泰河・榊原厚一・牧田直樹 (信州大学理学部)

Adaptation strategy of leaf traits along elevation gradient in Central Alps, Japan
-*Betula ermanii* vs *Abies mariesii*-Akito YOSHIDA, Takumi ITO, Taiga MASUMOTO,
Koichi SAKAKIBARA, Naoki MAKITA (Shinshu University)

1. はじめに

葉は樹木の部位の中でも、生命維持において最も重要な樹木の器官の一つである。まず光合成を行うことで、植物の成長や生命活動維持に必要な炭素を獲得している。また葉は蒸散を行うことで、根から水をくみ上げるポンプの役割を担っている。したがって、葉の形質についての理解は、樹木の生存について知るための大きな手がかりになる。

高山環境下の植物には低地と違った様々なストレスがかかっている。標高が高くなると平均気温は低下し、風による影響が大きくなる。また植物が光合成を行うことができる期間が大変短く、太陽光の紫外線の割合が低地に比べて高い。このようなストレスに対し、厳しい環境下の樹木の葉は様々な適応戦略を持っていると推察される。例えば、標高が高くなるにつれて樹木の比葉表面積が小さくし、ガス交換の際のストレスへの軽減対策や、葉の栄養利用効率を高めるためであると知られている。

しかし、すべての樹木が高標高でのストレスに適応しているのかは明らかとなっていない。山岳域には、落葉樹と常緑樹が共存しているが、標高勾配に対する落葉樹と常緑樹の葉の形質の適応戦略に関する研究は今後の重要な課題である。

そこで本研究では、木曾駒ヶ岳における、高山帯・亜高山帯に生息する落葉広葉樹であるダケカンバと亜高山帯に生息する常緑針葉樹であるオオシラビソを対象とし、標高の変化による2樹種の葉の生理的・形態的な適応戦略を明らかにすることを目的とした。我々は、落葉樹であるダケカンバは葉に持続性を持たせる必要がないので、より効率よく光合成が行えるような形質を持つと仮説を立てた。それに対して常緑樹であるオオシラビソは葉に持続性を持たせる必要があるため、より環境ストレスに耐えうる形質を持つと仮説を立てた。

2. 材料と方法

長野県中央アルプスに位置する信州大学農学部西駒演習林を調査地とした。本演習林には、亜高山帯から高山帯に分布するシラビソ、オオシラビソ、ハイマツ等の天然生林が分布している。本研究では2018年7月中旬に、標高2100m, 2300m, 2500mにてプロットを作成し、オオシラビソ、

ダケカンバの葉を採取した。オオシラビソ、ダケカンバの葉の採取をそれぞれ各標高3個体の樹木から行い、比葉面積 (cm²/g)、可溶性糖分、クロロフィル量(Chl. a, b)を計測、算出した。比葉表面積の算出は、冷凍保存をした葉を EPSON GT-650 を用いてスキャンし、それを WinRHIZO Pro を用いて葉面積を算出し計算した。可溶性糖分を計測するために、粉碎した葉を乾燥させ 80%エタノールを加えたのち、遠心分離を行った。その後フェノール・硫酸法を用いて可溶性成分を算出した。クロロフィルの算出はユネスコ法を用いて行った。

また、環境要因として、各標高3地点のリターを取り除いた表層土壌を採取した。土壌からは pH, EC, NO₃⁻濃度を計測した。風乾した土壌試料に蒸留水を加え、遠心分離を行ったのち、上澄み液から pH, EC, NO₃⁻濃度を LAQUAtwin で計測した。

3. 結果と考察

土壌の pH は、標高が高くなるほど低くなる傾向が見られた。EC と NO₃⁻濃度は標高に対して明瞭な関係は見られなかった。

葉に関しては以下の結果が得られた。比葉表面積は、ダケカンバでは標高に対して高くなる一方、オオシラビソでは低くなった。クロロフィル量は、ダケカンバでは標高に対して増加する傾向が見られたが、オオシラビソでは減少する傾向が見られた。このことからダケカンバの葉とオオシラビソの葉は、比葉表面積とクロロフィル量において異なる応答性を持つことが明らかとなった。

このような葉の生理・形態特性の結果の違いは、2樹種の葉の異なる適応戦略によるものが考えられる。本発表ではこれらの2樹種の葉が、標高による環境要因の変化によって、それぞれどのような適応戦略をとっているのか考察する。

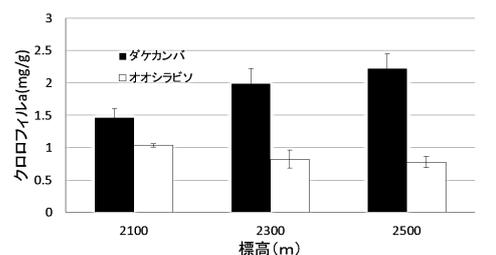


図1. 各標高における2樹種の葉のクロロフィルa量

乗鞍岳標高勾配に対する樹木細根の呼吸速度と形態特性の応答性

岡本瑞輝(信州大学)・高橋耕一(信州大学)・牧田直樹(信州大学)

The Response of Fine Root Respiration Rate and Fine root Morphological Traits to Mount Norikura Elevation Gradient

Mizuki OKAMOTO(Shinshu University), Koich TAKAHASHI (Shinshu University), Naoki MAKITA (Shinshu University)

1. はじめに

樹木根の大きな役割として、樹木地上部の支持と養水分吸収があげられる。樹木細根の中でも直径2mm以下の根である細根は、樹木地上部による光合成により得た炭素を使い、根の成長や養水分吸収を活発に行う。その際、細根の駆動力として炭素が使われ、根呼吸として放出される。

根呼吸は森林生態系における土壤呼吸の大きな部分を占める。土壤呼吸は森林生態系における炭素流出源であり、根呼吸は土壤呼吸のおよそ3割～5割を占める大きな流出源である。そのため根呼吸は森林生態系の炭素循環への理解に必要不可欠である。

根の養水分吸収といった働きは、樹木地上部における炭素獲得に必要な水を獲得するために重要である。細根は養水分吸収を行うために、投資された炭素を用いて根を成長させる。根の養水分吸収や成長といった根機能を直接評価するのは難しく、根の形態特性や呼吸速度を計測することで評価することができる。

根呼吸速度と細根形態特性は根の成長、養水分吸収といった根の機能を評価する。根呼吸速度と根形態特性は関係し、一般に根の先端の直径が小さく根長が長いものほど養水分吸収が活発であり、呼吸速度も高くなる。これら根の機能は温度や土壤中窒素状態に応答し、根呼吸速度や根形態特性が変化する。

山岳において標高が上昇するにつれて温度の低下や土壤中の養水分は制限され、樹木細根の成長や養水分吸収といった根機能も制限される。これら環境の変化に沿って、細根は根機能を適応させ、呼吸速度や形態特性も変化すると思われる。しかし、標高の変化に対する樹木細根の応答性の研究は少なく、根呼吸速度や形態特性がどのような応答を示すのか、明確な見解は出されていない。

本研究では標高勾配に沿った樹木細根の根呼吸速度と根形態特性の応答性を評価する。

2. 方法

本調査は長野県乗鞍岳の亜高山針葉樹林帯で2018年7月～9月に行った。標高1500m、1600m、2000m、2300m、2500mに調査地を設定した。各調査地において1500mではシラカンバ、1600mではシラビソ、2000mではダケカンバとシラビソ、2300mと2500mではダケカンバとオオシラビソを対象樹種に選定した。

対象サンプルは各標高の1樹種につき4次根25サンプル、直径0.5～1mmの根を10サンプル、1.0～2.0mmの根を10サンプルの計45サンプル採取し、現地にて根呼吸の計測を行い、その後持ち帰り形態特性の解析を行った。

根呼吸は赤外線ガス解析器(IRGA GMP343, Vaisala, Finland)を用い1サンプルにつき8分間計測を行った。根呼吸速度($\text{nmol g}^{-1}\text{s}^{-1}$)は最初の計測の1分間を除いた7分間のうち決定係数 $r^2=0.9$ 以上となる300秒を用い算出した。

実験室に持ち帰り、根形態解析ソフトWinRihzo2013(Regent Instruments, Quebec, Canada)を使い、根長(m)、体積(cm^3)、平均直径(mm)を求めた後、50°Cで72時間乾燥させ乾燥重量(g)を求め、形態特性において、養水分獲得能力を評価する比根長(mg^{-1})と、根の丈夫さを評価する根組織密度(gcm^{-3})を求めた。

3. 結果・考察

2300mと2500mにおけるダケカンバとオオシラビソの2樹種において、標高間による根呼吸速度と形態特性の比較を行った。

根呼吸速度と形態特性のそれぞれの値を、多元配置分散分析を用い、標高、樹種、サンプルサイズの比較を行った。

根呼吸速度は標高への応答を示さなかった。また呼吸速度はサンプルのサイズによって明確に異なり、4次根系の呼吸速度が最も大きく、根直径が太くなるに従い根呼吸速度は減少した。

根形態特性について、比根長は標高への応答は見られなかった。また、比根長は樹種とサンプルのサイズによって有意に異なり、比根長はダケカンバがオオシラビソよりも高い値となった。また4次根系の比根長が最も高く、根直径が大きくなるに従い比根長は明確に減少した。

根組織密度も比根長と同様に標高による応答が見られなかった。また根組織密度は樹種、サンプルサイズによって明確な差が見られなかった。

これらの結果から、根呼吸速度は標高勾配に対して応答を示さないことが示唆された。形態特性において比根長は標高勾配に対して応答を示さないが、樹種、サンプルサイズにより明確に異なった。これらの結果は、昨年行った卒業論文と同様の結果となり、これらの結果から樹木細根は樹種により値は異なるが、標高勾配に対して細根の炭素利用は一定であることが考えられる。

インターネット上で公開されている植物季節情報を利用した山岳域における紅葉季節の時空間分布変動の評価

永井 信 (海洋研究開発機構)・斎藤 琢 (岐阜大学)

Evaluation of spatio-temporal variability of leaf-coloring in mountainous regions by using phenology information published on web sites

Shin NAGAI (JAMSTEC), Taku M SAITOH (Gifu University)

1. はじめに

開葉・落葉など植物季節の時空間分布の変動の高精度な観測・地図化は、生態系の機能やサービス・生物多様性を評価するための重要な課題の一つである。これを広域的に遂行するためには、衛星観測が有用である。けれども、植物季節の観測を可能とする衛星に搭載された光学センサーは空間分解能が低く (500~1000m)、雲被覆や大気のノイズによる影響を強く受ける。このため、衛星観測データの解析により検出される開葉や落葉の期日の検証や校正を多地点において観測した地上真値を用いて行う必要がある。特に、高々数 10km において標高が 1000~2000m も変化する日本の山岳地域では、衛星による植生フェノロジー観測の高精度化にとって重要な課題である。

地上真値情報として、タイムラプスカメラによる長期定点観測データは有用である (Nagai et al., 2018)。枝・群落・景観スケールを対象とした詳細な観測を可能とする利点がある一方、観測地点が乏しい欠点がある。これに対して、インターネット上で公開される桜の開花や紅葉情報は、標準化されていない定性的な観測手法に問題点を含む一方、多地点を対象に毎日の観測データを得られる利点がある (永井ほか, 2018)。

本研究は、豊富な地上真値情報を提供するインターネット上で公開された紅葉情報を解析し、その有用性を評価する。

2. 材料と手法

「tenki.jp」 (<https://tenki.jp>) において 2015 年に公開された全国約 750 地点の紅葉季節情報を用いた。本研究では、配信元である鉄道情報システム (株) から購入したオリジナルデータを用いた。紅葉季節と気温の対応関係の空間分布の特徴を評価するため、気象庁より公開されている全国のアメダスの日平均気温データを用いた。

はじめに、「紅葉見頃」初日を対象に、緯度と標高の対応関係を評価した。次に、緯度と標高に着目し、暖かさ指数 (5 度以上の日平均気温を 1 月 1 日から 12 月 31 日まで積算) と「紅葉見頃」初日の対応関係を評価した。

3. 結果と考察

緯度 (1 度) と標高 (200m) 毎に「紅葉見頃」初日の平均値をまとめた (図 1)。高 (低) 緯度および高 (低) 標高ほど「紅葉見頃」初日は早く

(遅く)、DOY (1 月 1 日からの通算日) は 270~340 日に分布した。北緯 36 度付近では、標高分布に対する「紅葉見頃」初日のばらつきが大きくみられた。

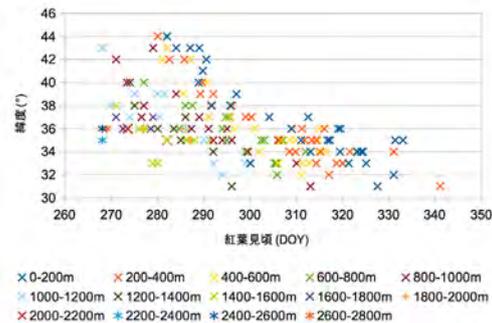


図 1. 2015 年の「紅葉見頃」初日の空間分布

標高 (200m) 毎に「紅葉見頃」初日と暖かさの指数の対応関係をまとめた (図 2)。その結果、「紅葉見頃」初日と暖かさの指数には線形的な対応関係がみられた。「紅葉見頃」の初日により、紅葉の観測地点における気候を推定できる可能性を示唆する。1000m 以上の標高では気象観測地点が乏しいため、秋の環境変動を知る上で生気象データとしての有用性に期待がもてる。

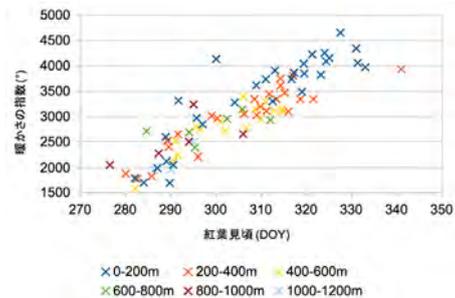


図 2. 「紅葉見頃」初日と暖かさの指数の対応関係。アメダス観測地点が存在する標高帯を対象とした (富士山を除く)

一方、衛星観測データの解析により検出した機能的な着葉期間の終了日は、「紅葉見頃」初日と相関関係を示した ($R^2=0.16$, $p<0.001$, 永井ほか, 2018)。紅葉季節情報と衛星観測データの 1 画素の空間範囲が一致しない問題点はあるが、紅葉季節情報は、衛星リモートセンシングの地上検証値としての有用性が示された。

引用文献

Nagai et al. (2018) *Eco. Res.* in press.
永井・斎藤・奈佐原 (2018) 日本リモートセンシング学会誌, 38, 99-104.

定点カメラの画像を用いた高山植生のフェノロジーの変動と要因解析

井手玲子・小熊宏之（国立環境研究所）・浜田崇（長野県環境保全研究所）・鈴木啓助（信州大学）

Analyses of variations and driving factors in phenological changes of alpine plants using time-lapse camera images

Reiko IDE, Hiroyuki OGUMA (NIES), Takashi HAMADA (NECRI), Keisuke SUZUKI (Shinshu Univ.)

1. はじめに

気候変動の影響により、極めて寒冷な環境条件で隔離的に生育している高山植物の展葉、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、高山生態系の気候変動に対する脆弱性が危惧されている。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時期を決定する重要な要因となる。しかし、高山帯はアクセスの厳しさから現地観測が困難であり、雲や霧の発生しやすい気象条件から衛星観測によるデータ取得頻度も低いという問題があった。そこで国立環境研究所では、消雪と植生フェノロジーの変動を高頻度・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。本研究では高解像度の定点撮影画像の解析から、高山植生の展葉と落葉時期などのフェノロジーの空間分布と年変動を検出し、消雪時期と気象要因や地形などの環境要因との関係を解析した。

2. 方法

今回の解析には、表1に示す4か所において1時間おきに撮影したjpeg形式画像を用いた。

表1 観測概要

観測対象 (カメラ設置地点)	地点 標高 (m)	観測 開始 年/月	解像度 (画素)
北アルプス 立山 (室堂山荘)	2450	2009/9	2100万
北アルプス 涸沢 (涸沢ヒュッテ)	2350	2012/6	500万
北アルプス 涸沢 (涸沢小屋)	2350	2012/10	500万
中央アルプス 極楽平 (千畳敷駅)	2650	2012/7	400万

これらの画像に写っているウラジロナナカムドとダケカンバの画素範囲 (AOI) を数か所ずつ選択し、AOI内のRGB三原色の画素値を抽出した。植生の光合成活動に関連する緑色の濃さを表す指標値としてRGBの合計値に対するGの割合 Green Ratio (GR) を

$$GR = G / (R + G + B) \dots (式1)$$

により算出した。GRは積雪期には $GR \approx 0.33$ を示し、展葉/紅葉に伴って上昇/低下の季節変化を示した。GRの時系列変化をシグモイド関数により近似し、その変化率が最大になる日を緑葉の開始

日と終了日と定義した（文献1）。

気象データは信州大学による千畳敷と涸沢の観測データ、および室堂山荘のデータを用いた。

3. 結果と今後の展望

いずれの地点においても消雪日と緑葉開始日には大きな年変動が見られた。暖冬・少雪であった2016年春は例年よりも約1か月早く消雪し、それに伴い緑葉開始も約1か月早い特異的な年であった。緑葉開始日は消雪日と極めて強い相関があり、消雪日からの積算気温によって予測可能であった。消雪日は微地形の影響によって尾根や凸地形から谷や凹地形に向かって進行し、その消雪傾度に沿った緑葉開始日の時間的・空間的な分布が明らかになった。

一方、緑葉終了日は8月末から9月の気温との相関が強いが、緑葉開始の早かった2009、2016、2018年は緑葉終了も早かった。いずれの地点においても近年はやや早期化の傾向が認められた。2016年の極楽平と2018年の全地点において紅葉しないで落葉した個体や紅葉しても色付きが悪いといった現象が見られた。紅葉のメカニズムには未だ不明の点が多いが、早期の消雪による土壌水分の低下や夏期の高温暖害、秋の長雨、葉の寿命などの原因が考えられた。

最近のこのような変化は高山生態系における他の生物との相互関係にも影響を与えることが危惧される。また、紅葉は観光資源としても重要であり、今後の長期的なモニタリングの継続と将来予測に向けた紅葉メカニズムの解明が必要である。

引用文献

1. Ide R. & Oguma H. (2013) A cost-effective monitoring method using digital time-lapse cameras for detecting temporal and spatial variations of snowmelt and vegetation phenology in alpine ecosystems. *Ecological Informatics*. 16, 25-34.

中越地震による崩壊斜面の植生回復状況

西井稜子・松元高峰・河島克久（新潟大学）・秋山一弥（土木研究所）

Vegetation recovery of landslide scars formed by The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004

Ryoko NISHII, Takane MATSUMOTO, Katsuhisa KAWASHIMA (Niigata University),
Kazuya AKIYAMA (Public Works Research Institute)

1. はじめに

積雪地域において、裸地（崩壊）斜面の植生回復状況を明らかにすることは、地表面の侵食量や雪崩の発生頻度の経時的な変化を検討する上で重要と考えられる。2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、267件の土砂災害が報告されており（新潟県土木部砂防課, 2005）、翌春には、地震によって形成された裸地斜面において、数多くの雪崩の発生が確認されている（関口ほか, 2006）。本研究では、中越地震時に土砂災害が生じた芋川流域の一支流（A）を対象に、地震による裸地斜面の植生回復状況の調査結果について報告する。

2. 調査地と調査方法

新潟県長岡市山古志の芋川流域の一支流 A (0.26 km², 平均傾斜 30°) を調査対象とした (図.1)。地質は、主に新第三紀の泥岩、砂岩泥岩互層からなる。まず、地震発生直後の裸地分布を把握するため、2005年に計測された航空レーザ測量データを用いて、GISソフトウェアで裸地分布図を作成し、裸地面積率等を算出した。抽出対象は、人為的な影響（斜面对策工等）を受けていないと考えられる 10³ m² 以上の裸地とした。そして、表1に示した2009年、2015年の画像データを用いて、地震によって形成された裸地面積の変化を算出した。また、裸地に侵入した植物の樹高は、雪崩の抑止効果を検討していく上で重要な要素となりうる。そこで、DSM (Digital Surface Model) が得られる2009年については、Iwahashi et al (2014)、岡谷ほか (2013) の樹高データ算出方法を参考に、航空レーザ測量データのオリジナルデータを用いて Digital Canopy Model を作成し、30m×30mの平均樹高を算出した。

3. 結果

地震直後の2005年には、計8箇所の裸地が確認された（平均面積 5.8×10³ m²/箇所）。また、2005年、2009年、2015年の裸地面積率（裸地面積/対象流域面積×100）は、それぞれ18%、11%、4%を示した。したがって、地震発生から11年後には裸地面積が約1/5に縮小したことが明らかになった。また、2005年と2009年のオルソ画像の比較から確認された植生回復箇所（図.2の青線）は、平均樹高2m以下の植物が主に分布していることが明らかになった。

謝辞

本研究は、一般財団法人新潟県建設技術センターの助成を受けて実施したものです。国土交通省湯沢砂防事務所、国土地理院には、航空レーザ測量データをご提供いただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- Iwahashi J. Okatani T., Nakano T., Koarai M., Otoi K. (2014) INTERPRAENENT2014 Proceedings.
新潟県土木部砂防課 (2005) 新潟県中越地震と土砂災害, 59pp.
岡谷・乙井・中埜・小荒井 (2013) 写真測量とリモートセンシング, 52, 2, 56-68.
関口・秋山・西村・佐藤・佐藤 (2006) 2006年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 49.

表1 裸地分布図の作成に使用したデータ

撮影日	データ
2005年4月20日～6月3日	航空レーザ測量データ
2009年5月9日～6月2日	航空レーザ測量データ
2015年6月7日	Google Earthの衛星画像

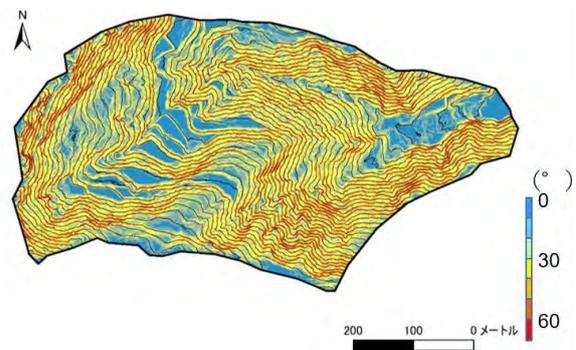


図.1 A流域の傾斜量図
2005年の1mDEMを基に作成。等高線は5m間隔

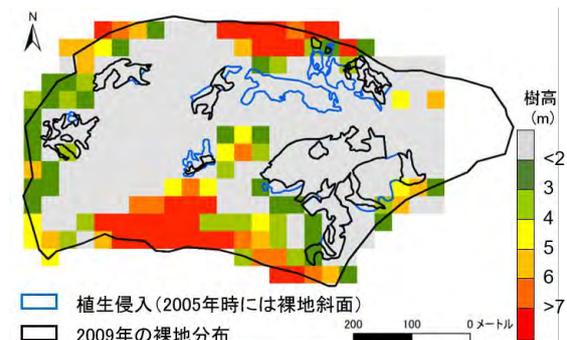


図.2 2009年の平均樹高 (30mメッシュ)

急斜面上における積雪と樹木との間の力学的相互作用に関する観測

松元高峰（新潟大学災害・復興科学研究所）・勝島隆史（森林総合研究所十日町試験地）・宮下彩奈（東京大学大学院理学系研究科附属日光植物園）・小田憲一（日本大学理工学部）・河島克久（新潟大学災害・復興科学研究所）・竹内由香里（森林総合研究所十日町試験地）・佐々木明彦（国土舘大学文学部）

Field observations on the mechanical interactions between snowpack and trees on a steep slope

Takane MATSUMOTO (Niigata University), Takafumi KATSUSHIMA (Forestry and Forest Products Research Institute), Ayana MIYASHITA (University of Tokyo), Kenichi ODA (Nihon University), Katsuhisa KAWASHIMA (Niigata University), Yukari TAKEUCHI (Forestry and Forest Products Research Institute), Akihiko SASAKI (Kokushikan University)

1. はじめに

急斜面に生育する樹木と積雪との力学的相互作用を解明することは、全層雪崩の発生へとつながる積雪の不安定化プロセスや、多雪地域の植生分布を理解する上で極めて重要である。そのためには、斜面における積雪の動態と樹木に加わるストレスとを同時に観察・計測した上で、両者の力学的状態を総合的に評価する必要がある。急斜面上における積雪のグライド（積雪層底面でのすべり）や斜面上の樹木などにかかる雪圧の測定が行われた例は過去にもあるが、しかし上述のような総合的な観測が実施されたことはなく、実際の急斜面における樹木と積雪との力学的相互作用を議論するために利用できるデータは極めて限られているのが現状である。

そこで発表者らは、2016/17 冬季から新潟県魚沼市の山地斜面において、樹木の埋雪過程の観察・計測、積雪による幹の変形過程や幹が受ける力学的ストレスの連続計測などの観測調査を開始した。本発表では、これまで共同で実施してきた観測調査項目について紹介し、併せて結果の概要を示すことにする。

2. 研究地域・方法

各種の現地観測は、新潟県魚沼市大白川の破間川左岸に面した斜面で実施した。この斜面はおもに匍匐した樹形をもつマルバマンサク・ヤマモミジ・ハンノキ類などの低木広葉樹に覆われており、斜面上方の傾斜は 30~45°程度である。この斜面では、発表者らが 5 年以上にわたって積雪グライドの連続計測を実施している。また破間川対岸の平坦地では、各種の気象・積雪観測を 10 年以上にわたって継続している。

樹木と積雪との力学的相互作用に関する予備的な調査として、まず 2016/17 冬季には、樹木が積雪層内に埋没し倒伏していく過程を、積雪期に複数回にわたって樹体を掘り起こしその形状を測定するとともに、降積雪状況やグライド量などと比較することで明らかにするという試みを行った。続いて 2017/18 冬季には、樹木の埋雪・倒伏過程を傾斜計やインターバルカメラを用いて連続計測するとともに、幹の山側と谷側とに貼り付けた 2 枚 1 組のひずみゲージによって幹の変

形過程と力学的ストレスを連続計測するという調査を行ない、さらにこれらのデータから自生する樹木の弾性係数を算出する方法を検討した。

3. 結果の概要

2016/17 冬季には、破間川右岸の観測露場で 3 m 以上の最大積雪深を記録したが、観測斜面では積雪グライドがほとんど進まず、全層雪崩も発生しなかった。埋雪した低木広葉樹の倒伏過程と周囲の積雪の状況から、1 月中旬の大雪に相当する積雪が、粒径の小さいしまり雪を含む積雪層の形で融雪直前まで厚く残っており、多くの樹木がこの積雪層内にしっかりと埋まっていたために、大きな抵抗となってグライドの進行を妨げたものと考えられる。

2017/18 冬季に傾斜計やインターバルカメラを用いて樹木の埋雪・倒伏過程を連続計測した結果、積雪期初期から観測斜面における全層雪崩の発生までに至る降積雪状況の変化に応じて、樹幹の傾斜変化は少しずつ異なるパターンを示しており、大きく 6 つのフェーズに分けることができた。

樹幹の変形は、積雪期の初期から速やかに起こっており、ひずみゲージで計測したほぼ総ての個体において、山側の変形の方が谷側に比べて大きかった。これは広葉樹の引張あて材の効果と考えられる。積雪期間中の幹の変形については、ひずみ量に増減の少ない個体と増加傾向を示す個体とがみられた。これらはそれぞれ、初期の冠雪で地表面まで完全に倒伏した個体と、初期には若干浮いた状態で倒伏し、積雪期後半に地表面まで倒伏するようになった個体とに対応しているものと考えられる。後者の個体についての計測データは、幹が弾性変形以上の変形を強いられている可能性があることを示している。したがって倒伏が不十分な場合には、雪圧によって破壊的なストレスにさらされる危険性が大きくなるものと考えられる。

自生する 2 種類の低木広葉樹の弾性係数をひずみゲージによる計測結果などから算出すると、マンサクの場合は 4.17 GPa、ヒメヤシャブシの場合は 10.2 GPa という、一般的な木材の場合よりも小さい値が得られた。

立山における 34 年間のハイマツとササの被覆率変化

雨谷教弘・小熊宏之（国立環境研）

Quantification of vegetation change (*Pinus pumila* and *Sasa* spp.) during 34 years in the Tateyama Mts, central Japan

Yukihiro Amagai, Hiroyuki Oguma (NIES)

1. はじめに

高山植物の分布は、積雪・生育環境の影響を強く受け、それぞれの環境に応じ様々な植物種・群落が成立している。一方、近年の気候変動の影響により、高山帯で植生が変化していることが示唆されている。植生変化の中で特に顕著なのが、高山帯でも大きなバイオマスをもつハイマツとササの分布拡大である。ハイマツとササは、その高いバイオマスから土壤栄養状態の改変や、高い背丈による被圧など、他の植物に対して大きな影響を持つ。我々は、北海道の大雪山を中心に、それらの分布変化の定量化と影響の解明を行ってきた。

一方で、山岳地域の地質、地形、気象環境は山域ごとに様々なため、植物種・群落の分布も異なる。そのためハイマツ・ササに関する分布拡大の挙動は本州と北海道で異なる可能性がある。本州では、高層湿原を除くと立山室堂平のミクリガ池周辺において個体群に着目したササの拡大が示唆されている（吉田など 2016）。しかしながら、限定的な解析のため山域全体での植生変化の状況が明らかになっておらず、生育環境をふまえた広域での解析が求められる。

本研究は立山の高山帯の標高傾度に沿って（1700m–2900m）解析を行い、本州の植生変化の動態を明らかにし、また、これまで得られている北海道大雪山の知見と比較し、山域による差を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

下記のように立山の標高傾度に沿って、1 km × 1 km の解析枠を設置した（図 1）。1977 年と 2010 年の航空写真から解析枠内でそれぞれハイマツとササを判読し、34 年間の分布変化を定量化した。

- 1700–1900m（高層湿原：ササ）
- 1900–2200m（高山帯・低：ササ・ハイマツ）
- 2200–2400m（高山帯・中：ササ・ハイマツ）
- 2400–2900m（高山帯・高：ハイマツ）

3. 結果と考察

全標高傾度において、ハイマツとササの拡大が確認された。ササは環境によって拡大率が顕著にことなり、高層湿原で 10% 未満であったのに対し、高山帯・低で 35% 以上、高山帯・中で 24% の増加であった。一方でハイマツは標高傾度に沿った増加幅はササより少ないが、標高が高くなる

ほど増加率が高い傾向が示された。

ハイマツ・ササの全域を通じた被覆率の拡大率は立山で 17%、大雪山で 50ha の拡大解析で（金子など 2014）、ハイマツ・ササの被覆変化を併せると 19% の増加率である。また、標高傾度に沿った解析で、大雪山全域（203 km²）の挙動は、ササが低標高を、ハイマツが高標高を選好して分布を拡大しており（雨谷など 2018）、今回の立山の分布拡大の挙動と一致する。高層湿原におけるササの拡大は、限定的なものであったが、現地視察では背が低く侵入したばかりと思われるササの群落や実生が多く生えていたため、今後大きく拡大する可能性がある。

4. まとめ

大雪山同様、立山でもハイマツ・ササの広域的な分布拡大が明らかとなった。拡大率・標高傾度の応答は大雪山と一致する点が多く見られたため、山域差による拡大の傾向は少なく全国の高山帯で同様にササ・ハイマツの分布拡大が生じていると考えられる。一方、山域によって種やその生育要因は異なるため、拡大が他の植物に与える影響を解明していく必要がある。

引用文献

- 吉田・高橋・大宮（2016）富山県中央植物園研究報告, 22, 9–17.
- 金子・星野・雨谷（2014）地球環境, 19, 13–21
- 雨谷・金子・工藤・小熊（2018）日本地球惑星連合 2018 年 大会口頭発表, MG125–15

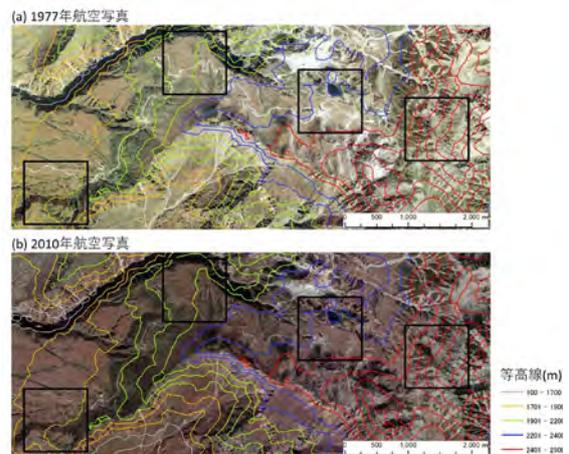


図. 1 立山の 1977 年(a)と 2010 年(b)の航空写真。黒い枠は標高傾度に沿った解析枠を示している

長野県の山岳地における気候変動に関するモニタリング調査の紹介

浜田 崇・尾関雅章・堀田昌伸・須賀 丈（長野県環境保全研究所）・
 小熊宏之・井手玲子（国立環境研究所）

An introduction to the monitoring survey related with climatic change in mountainous area in Nagano Prefecture

Takashi HAMADA, Masaaki OZEKI, Masanobu HOTTA, Takeshi SUKA (NECRI),
 Hiroyuki OGUMA, Reiko IDE (NIES)

1. はじめに

長野県は国内有数の山岳地をかかえ、高標高の山岳地には高山帯が広く分布する。高山帯の生態系は気候変動に脆弱とされているが、その実態は十分明らかになっていない。その理由として、高標高の山岳地には気象データがほとんどなく、気候変動の実態がほとんど明らかになっていないことに加え、高山帯へのアプローチが困難なため、長期間にわたる生態系影響の把握が難しいという課題がある。

こうした問題意識から、現在長野県の山岳地（主に高山帯）において、独自に気象観測や山の残雪域の把握を行うと同時に、高山帯における生態系調査を継続して行っている。そこで、本報告ではこれら気候変動に関するモニタリング調査の概要について紹介する。

2. 気象観測

気象庁では富士山を除くと 1350m 以上の標高帯では雨以外の気象観測が行われていない。そこで、高標高域の気候変動の実態を把握するため、長野県内の山岳地 7 ヶ所において気象観測を実施している（表 1）。

表 1 長野県内の山岳地における気象観測概要

	山名（観測標高）	開始年	観測項目
1	木曾駒ヶ岳(2850m)	1996年	気温, 日射量 etc
2	赤岳(2790m)	2006年	気温, 日射量
3	乗鞍岳(2730m)	2000年	気温, 日射量 etc
4	茶臼岳(2410m)	2010年	気温
5	高峰高原(1954m)	2012年	気温
6	霧ヶ峰高原(1675m)	2010年	気温, 日射量
7	飯綱高原(1030m)	2002年	気温, 日射量 etc

いずれの観測地点においても、機器の故障（破損）や電源電圧の低下などによる欠測、着雪・着氷等による異常値も含まれるが、研究利用に限り提供可能である。

3. 積雪調査

山岳地の降雪量（降水量）の観測は多大な労力がかかる上、雨量計による補足率の問題もあり正確な値を評価することが難しい。そこで、長野県北部に位置する飯縄山およびその周辺域の標高 574m～1590m の 16 地点において、2011 年冬季から毎月 1 回積雪深および積雪水量の観測を実施

している。

この調査では、移動にスキー場のリフトと道路を活用できるため、比較的労力をかけずに高標高での積雪調査が実施可能である。またこの地域は冬季の天気境界付近に位置しており、将来の気候変動による冬季降水量の変動についてもモニタリングが可能と考えている。

4. 残雪画像の取得

高山帯における残雪域の変化は、山岳地での降雪変動の実態を把握するという観点とともに、高山帯の生態系へ影響を及ぼす環境要因の把握としても重要である。そこで、残雪域を把握するため、長野県内の 16 ヶ所において定点カメラを設置して画像を取得している。その画像は、ホームページ（国立環境研究所地球環境研究センターの温暖化影響モニタリングのページ：<http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/mountain/>）より配信している。

なお、上記地点の調査は国立環境研究所と長野県との連携協定ならびに当研究所との共同研究において実施している。

5. 生物調査

高山帯における生物モニタリング調査としては、以下の項目を実施している。

- ・ライチョウ生態調査：北アルプスおよび南アルプス（生息南限付近）で実施。生息環境への影響として、消雪時期の把握も行っている（4 の調査）。
- ・コマウスユキソウ（長野県固有種）生態調査：木曾駒ヶ岳山頂部周辺で個体群動態の長期モニタリングを行っている。
- ・訪花昆虫調査：木曾駒ヶ岳（千畳敷～極楽平）において、植物フェノロジーとあわせて訪花昆虫の出現種についてモニタリング調査を行っている。フェノロジーへの影響として、消雪時期の把握も行っている（4 の調査）。

6. 今後の課題

モニタリングは長期間にわたる調査体制の構築と均一な調査精度が不可欠である。しかし、これらは短期間に確立することが難しい。他の研究事例を参考にしながら調査プロトコルの確立を目指すとともに、欠測にならないような測器の改良なども検討していく必要がある。

黒部第四ダムおよび立山室堂における気温の較差および経年変動

安田 正次(アジア航測)

Air temperature difference between Kurobe dam and Murodou, and it's yearly fluctuation.
Masatsugu YASUDA(Asia Air Survey)

1. はじめに

山岳地の生態系は地球規模での環境変動に対して極めて脆弱であることが知られている。これは、山岳地域の生態系が温度条件や水文条件などの厳しい極限環境下で成立していることや、気温が高度とともに減少するため、気候変動などの影響がより狭い空間で発現することを意味している(鈴木 2015)。ところで、地球温暖化が具体的な懸念事項として検討(IPCC 1990 など)されはじめてから 30 年近くが経過しており、山岳地では温暖化の影響が発現しはじめています。しかし、我が国では山岳地での継続的な気象観測の事例が少なく、生態系への影響について定量的に評価することが難しい。そこで、気候変動による生態系への影響を評価する一環として、北アルプスの黒部第四ダム(以下黒部ダム)および立山室堂(以下室堂)の気象観測記録を用いて気候の変動傾向、特に気温較差(気温逓減率)とその経年的変動傾向を解析した。

2. データと方法

データは黒部ダム(標高 1450m)と室堂(標高 2450m)の観測期間が重複する 1989 年 1 月 1 日から 2006 年 4 月 30 日の日最低気温、日最高気温を用いた。これらから日々の両地点の気温の較差(差分)を求め、その経年的変動を求めた。なお、日平均気温として日最低気温と日最高気温の平均値を用いた。

3. 結果と考察

この観測記録から算出した月平均較差および最大値と最小値を図 1 に、月平均値の経年変動を図 2 に示す。

図 1 で見られるように、4 月から 9 月にかけては最高値と最低値の差が小さく、平均値は 5 ~ 6℃である。10 月から 3 月にかけての冬期は最高値と最低値の差が大きく、平均値は 3 ~ 5℃である。次に較差の経年的変動は図 2 に見られるように、夏期の 5 月から 8 月については変動は見られない。一方 9 月から 12 月については上昇傾向にある。1 月から 4 月にかけては欠測期間が多いため、やや慎重に取り扱う必要があるが、おおよそ上昇傾向にあると考えて良いだろう。

気温逓減率は、基本的には空気が湿潤であるほど低下し、理想的な乾燥空気では約 1 (℃/100m)、大気下層の湿った空気塊では約 0.4 (℃/100m)となる(小倉 1984)。夏期と冬期の較差の違い(図 1)については、冬期の空気中の水蒸気量が多い

ことが主な原因であると推察される。これはこの地域が世界有数の多雪地帯であることから裏付けられる。

次に、冬期の較差が年を経るにつれ大きくなっていることについては、近年冬期の季節風の主な原因である冬型の気圧配置が継続せず、空気中の水蒸気量が一定しなくなってきたことが関連していると考えられる。今後、降雪の継続性などと比較を行って詳細を検討したい。

謝辞: 本研究に用いた気象観測記録は関西電力株式会社および立山黒部貫光株式会社より提供を受けたものである。記して感謝する。

引用文献

鈴木 (2015) 信州大学理学部ホームページ, <http://science.shinshu-u.ac.jp/~kisuiken/blog/329/>.
IPCC(1990) IPCC, 第 1 次評価報告書.
小倉 (1984) 一般気象学, 38-73.

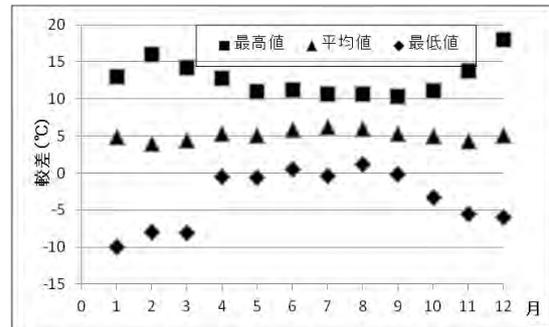


図.1 黒部ダムと室堂の気温較差

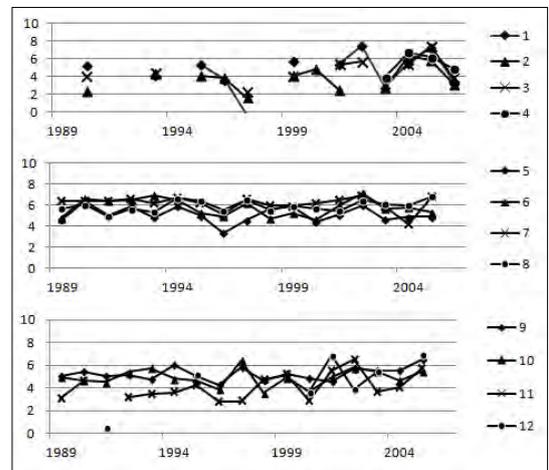


図.2 黒部ダムと室堂の気温較差の経年変動

定点カメラ画像の活用による高山帯の消雪過程の広域モニタリング

小熊宏之・井手玲子（国立環境研究所）・浜田崇（長野県環境保全研究所）

Snowmelt monitoring of alpine zone in Japan by utilizing time-lapse camera images

Hiroyuki OGUMA, Reiko IDE (NIES), Takashi HAMADA (NECRI)

1. はじめに

温暖化の影響による高山植物の種類や生育場所、開花時期などのさまざまな変化が世界各地で報告されており、長期的なモニタリングの必要性が世界的に認識されている。日本の高山生態系は世界的に見ても極めて多雪な環境下で成立しており、気候変動による積雪量や消雪時期の変化は高山域の生態系に影響を与えると考えられる。国立環境研究所では、山小屋などの協力を得て定点観測カメラの設置をすすめ、積雪・融雪過程や植生フェノロジーのモニタリングを行ってきた。2016年には国立環境研究所と長野県との間で『信州の生物多様性保全にかかる基本協定』を締結し、同県内に8箇所の観測点を新設し、2018年10月現在30箇所でのモニタリングを実施している。これらのモニタリングによって得た観測画像に加え、環境省生物多様性センターが運営しているインターネット自然研究所 (<http://www.sizenken.biodic.go.jp/>) と、地方自治体などにより運営されているライブカメラによる山岳域の撮影画像を収集し、長期間かつ多地点での高山帯における消雪過程を解析した。

2. 解析データ

対象として、国立環境研究所のモニタリングデータに加え、既存の定点カメラの撮影データを入手した。インターネット自然研究所の立山、富士山、2000年代初期からのデータ蓄積がある。そのほか、秋田県由利本荘市による鳥海山 (<http://foresta.pixif.jp/?right>)、静岡県富士裾野市による富士山南東方面 (<http://www.city.susono.shizuoka.jp/saijik>) を加え計11箇所を対象とした。

3. 解析方法

収集した画像データは全てJPEG形式で、各画素に含まれる赤緑青(RGB)の強度(以下「RGB値」)が256階調のデジタル値として保存されている。まず、撮影時の天候を判断するため稜線を含む位置に評価領域を定め、領域内の赤色の出力値の相対標準偏差を算出し、経験的に決めた閾値よりも小さい場合には悪天候と判定して解析から除外した。次に、天空部分を除く山体の解析範囲についてRGB値からグレースケールのヒストグラムを求め、Ideら(2013)による手法を用いて各画素の積雪の有無を判別し、対象範囲全体の画素数に対する積雪部分の画素数の割合(以下、積雪画素比)を算出した。

4. 結果と考察

統一した基準で過去から現在までの消雪時期の経年変化を比較するため、便宜的に積雪画素比が0.2となった日の年々変動を求めた。図1に積雪画素比が0.2となった日の年々変動を示す。立山、極楽平では、2016年は観測を始めて以来最も消雪の進行が早く、例年に比べて概ね1ヶ月近く早いペースで進んだが、翌2017年の消雪速度は平年並みであった。富士山では3方位で消雪日が最大50日近い幅で変動するが、観測期間中最も早い消雪は西側斜面の2004年、次いで2002年、2016年となる。2016年は北・中央アルプス、富士山において顕著に早い消雪となった。最長で16年間分の解析結果からは、消雪時期の早期化・晩期化といったトレンドは見受けられないが、2010年ごろからは富士山や利尻山では早期化している可能性もあり、今後詳細に解析を進める予定である。

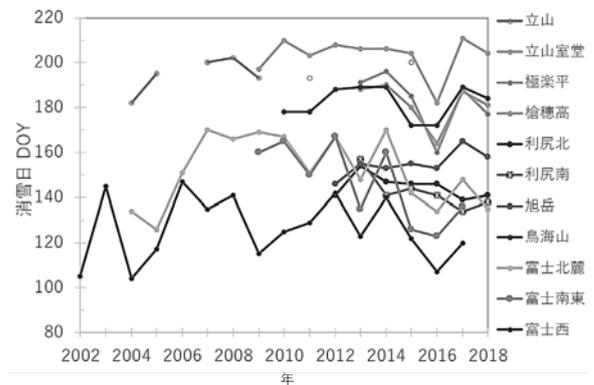


図1. 積雪画素比が0.2となった日の経年変化

謝辞

環境省生物多様性センターインターネット自然研究所および由利本荘市ならびに富士裾野市には画像の利用を快諾していただき、感謝申し上げます。

引用文献

Ide R. & Oguma H. (2013) A cost-effective monitoring method using digital time-lapse cameras for detecting temporal and spatial variations of snowmelt and vegetation phenology in alpine ecosystems. *Ecological Informatics*. 16, 25-34.

上高地と乗鞍高原における積雪融解特性と融解モデルの比較

西村基志 (信州大学大学院)・佐々木明彦 (国士館大学)・鈴木啓助 (信州大学)

Comparison of snowmelt properties and snowmelt models in Kamikochi region and Norikura highland
 Motoshi NISHIMURA (Graduate School of Shinshu University), Akihiko SASAKI (Kokushikan University),
 Keisuke SUZUKI (Shinshu University)

1. はじめに

本研究は、日本の山岳地域における積雪融解プロセスを、対象地域の気象特性と併せて比較したものである。積雪融解は積雪面上部の大気境界層の状態および気象条件によって大きく影響を受けるため、その特徴は対象とする地点によって異なることが考えられる。しかしながら、気象庁による山岳地域における気象観測網は、十分に整備されていないために、わが国の山岳地域における積雪融解特性やそのプロセスは未だ明らかになっていない部分が多い。

本研究の対象地域である上高地と乗鞍高原は、本州中央に位置する中部山岳地域に位置している。起伏に富む山岳地形は局地的な風系や冷気の移流機構を形成するため、山岳地域の特異な地形で形成される大気環境下では特徴的な積雪融解機構が見られると考えられる。

本研究では、上記の2地点における多要素の気象観測から同地域の気象特性を明らかにし、また、積雪融解モデルを作成した。これらの比較を行うことで、山岳地域における積雪融解の特徴が明らかになると共に、地点による気象条件の違いによる積雪融解機構の違いが明らかになる。

2. 対象地域 および気象観測

本研究対象地域は上高地の大正池 (標高 1490 m) と乗鞍高原 (標高 1590 m) の2地点である。両地点において気象観測を行った。観測項目は気温、湿度、風向・風速、大気圧、短波放射、長波放射、積雪深、雪温 (大正池のみ) である。各観測要素は 10 分間隔でデータを取得した。また、両地点の解析期間は地表面が積雪で覆われている積雪期に限定した。解析対象期間は、乗鞍高原は 2002/03 年から 2016/17 年、大正池は 2016/17 年から 2017/18 年である。

3. 解析方法

積雪融解の解析のために熱収支解析を行った。熱収支解析には式 (1) に示す熱収支法を用い、乱流フラックスの算出には式 (2)、(3) に示すバルク法を用いた。

$$Q_M = R_{net} + H + E \quad (1)$$

$$H = \rho C_p C_H U (T_z - T_s) \quad (2)$$

$$E = \rho_i C_E U (q_z - q_s) \quad (3)$$

(Q_M : 融解熱 [$W m^{-2}$], R_{net} : 正味放射 [$W m^{-2}$], H : 顕熱フラックス [$W m^{-2}$], E : 潜熱フラックス [$W m^{-2}$], C_H, C_E : バルク係数, ρ : 空気密度 [$kg m^{-3}$],

C_p : 定圧比熱 [$kJ K^{-1} kg^{-1}$], U : 風速 [$m s^{-1}$], T_z , T_s : 気温, 地表面温度 [$^{\circ}C$], ρ : 蒸発熱 [$J kg^{-1}$], P_a : 大気圧 [hPa], q_z, q_s : 比湿, 地表面の比湿 [$g kg^{-1}$])
 熱収支解析の結果から、気温と日射量をパラメータとして、積雪融解過程を再現することが出来る RT モデル (Konya *et al.*, 2004) を作成した (式 (4))。

$$M = \alpha T_a + \beta R + \gamma \quad (4)$$

(M : 融解量 [mm], T_a : 気温 [$^{\circ}C$], R : 日射量 [$W m^{-2}$])

α, β, γ は任意の定数であり、今回は熱収支解析の結果に基づいて重回帰分析を行い、決定した。

本研究では大気から雪面へ向かう熱輸送の方向を正と定義した。地表面温度は上向き長波放射量の観測値を用い、ステファン・ボルツマンの法則より算出した。なお、本研究対象期間の地表面は常に積雪に覆われており、地表面は雪面と同義である。

4. 結果・考察

大正池と乗鞍高原における解析期間内の気温、比湿、風速の平均値を比較すると、明瞭な差はみられなかったが、大正池の方が気温は $1^{\circ}C$ 低く、比湿は $0.5 \times 10^{-3} g kg^{-1}$ 低く、風速は $0.5 m s^{-1}$ 大きかった。両地点ともに短波放射が主要な融解熱の供給源であり、これはこれまでの多くの報告と同様の結果であった。潜熱フラックスは負の値を示しており、これは大気が乾燥しており、雪面からの蒸発により積雪層の冷却が起こっているという結果を示しており、高標高地域や内陸部の大陸性気候に位置する地点に多く見られる傾向である。

大正池と乗鞍高原の両地点において RT モデルを作成した。モデル式の計算結果は、乗鞍高原と大正池における熱収支解析の結果とそれぞれ有意な相関を示し、モデル式の一定の精度が保証された。各モデルの係数は α と β がわずかに乗鞍高原の方が大きかったが、 γ の値は大正池の方が大きかった。これらの係数は、気温と日射に対する積雪融解の感度を反映しているが、乗鞍高原の方が気温・日射の係数が大きく、これらのパラメータの増加によって積雪融解が起こりやすいことを示唆している。

引用文献

Konya, K., Matsumoto, T. and Naruse, R. (2004) *Geogr. Ann.*, 86A(4), 337-348.

利尻山ヤムナイ沢雪溪の内部構造と氷化過程

井上峻 (新潟大学理学部)・河島克久・松元高峰 (新潟大学災害・復興科学研究所)
 沖田竜馬 (新潟大学大学院自然科学研究科)・佐藤雅彦 (利尻町立博物館)

Internal structure and transformational processes from firn to ice of Yamunaisawa perennial snow patch on Mt. Rishiri

Ryo INOUE (Niigata University), Katsuhisa KAWASHIMA (Niigata University), Takane MATSUMOTO (Niigata University), Ryuma OKITA (Niigata University), Masahiko SATO (Rishiri Town Museum)

1. はじめに

日本の多年性雪溪は、涵養形態によって吹き溜まり涵養型と雪崩涵養型に分けられる。比較的、標高の高い稜線直下に位置する吹き溜まり涵養型雪溪では、消耗期に形成される帯水層が初冬の寒気侵入によって凍結するため、一年での氷化が可能となり、氷体を形成し得ることがわかっている。(Kawashima, 1997)。これに対し、より低標高に存在する雪崩涵養型雪溪では、そもそもこれまでの掘削例が少なく、内部構造や氷体の有無に関する情報が乏しい。

そこで筆者らは、利尻山ヤムナイ沢に存在する雪崩涵養型の多年性雪溪(以下、ヤムナイ沢雪溪)においてコア掘削を行った。ここではその結果について報告する。この場所では1996年にも河島ら(2000)によってコア掘削が行われているが、雪溪内に含まれるデブリによって掘削が困難となったため、深部までの内部構造は明らかになっていない。

2. 調査地点と調査内容

コア掘削は2018年9月9~10日に行った。この時点におけるヤムナイ沢雪溪の上端、下端の標高は、それぞれ約1180m, 660mであり、その全長は約840m, 平均的な幅は約45mであった。また、掘削場所には厚いデブリに覆われていない地点(標高785m)を選んだ。

掘削は、直径7cmのコアが得られるハンドオーガー(地球工学研究所I型)を用いて行い、得られたコアの層構造の観察、密度と含水率の測定を現場で実施した。密度は、長さ10cm程度の円柱にカットしたコアの体積と質量から算出し、含水率の測定には熱量計方式の遠藤式含水率計を用いた。また、得られたコアの一部を持ち帰り、低温温室で薄片を作成して結晶構造を観察した。

3. 調査結果

3.1 内部構造

得られたコアの全長は993cmであり、それ以深は、砂礫層に阻まれたため掘削できなかった。

明らかになった層構造を図.1(左)に示す。表面から638cmまでは水を含んだフィルンであり、その直下には厚さ10cmの氷層が存在していた。この氷層の下は、厚さ34cm, 140cmの氷層と水を含んだフィルンの互層となっていた。

深度649~659cmと掘削孔の底には砂礫層が挟在していた。上部の砂礫層は2017年の消耗末期の雪面(年層境界)を表しているため、これより

上位の雪氷は2017/18年の涵養期に積もったものである。また、2つの砂礫層に挟まれた雪氷は、複数年を経過した同一涵養期のものと判断できる。深度596~638cmには厚さ42cmの帯水層があるが、これは直下の氷層の上に2018年の消耗期の融解水や雨水が帯水したものである。

3.2 密度プロファイル

図.1(中・右)に示した、濡れ密度と含水率とを使って求めたフィルンの乾き密度を見ると、深度約380~440cmにおいて、乾き密度がおおよそ 635kgm^{-3} から 740kgm^{-3} へと急激に増加していることがわかる。フィルンは水に浸ると圧密が進みやすくなるため、消耗期間中に帯水層が深度400cm付近まで一時的に上昇した可能性がある。

深度440~638cmのフィルンの乾き密度と、複数年を経過したフィルンの乾き密度とでは、明瞭な違いは認められなかった。これは乾き密度が 740kgm^{-3} 付近に達すると、圧密速度が急激に低下することを意味している。したがって、圧密のみで厚さ34cmと140cmの氷層が形成された可能性は低く、フィルン内の水の凍結が氷化に関与している可能性が高い。

引用文献

Kawashima(1997):Bulletin of Glacier Research, 15, 1-10.

河島ら(2000):利尻研究, 19, 79-87

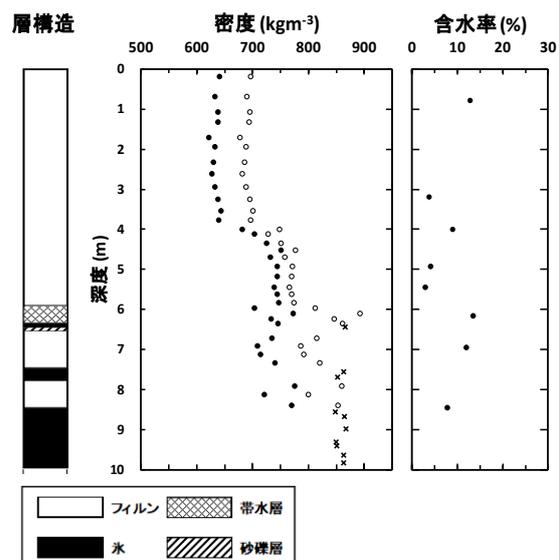


図.1 2018年9月9~10日のヤムナイ沢雪溪の内部構造。密度において、○は濡れ密度、●は乾き密度、×は氷の密度をそれぞれ表す。

日本の多年性雪渓における氷体形成機構—温暖氷河との共通点・相違点—

河島克久（新潟大学災害・復興科学研究所）

Formation mechanism of ice body in perennial snow patches in Japan
with special attention to differences from temperate glaciers
Katsuhisa KAWASHIMA (Niigata University)

1. はじめに

日本の多年性雪渓は、その主要な涵養形態から、吹き溜まり涵養型と雪崩涵養型に大別される。多年性雪渓の中には、フィルンと呼ばれる高密度の積雪層の下に、連続的な氷層（氷体）を有しているものがある。また、世界各地に分布している温暖氷河では、その涵養域の大部分を占める浸潤帯（wet-snow zone）におけるフィルンの圧密現象が主要な氷化過程であることが知られている。両者は、その大きさは異なるものの、夏期に多量の融解水が浸透し、長期間フィルンが水と共存している点が共通している。

著者は、夏期に類似した環境下におかれる日本の多年性雪渓と温暖氷河浸潤帯におけるフィルンの氷化機構（氷体形成機構）を解明することを目的とし、ボーリングによる日本各地の多年性雪渓の内部構造の調査、水に浸ったフィルンの定荷重圧縮実験などを1980～1990年代に実施した。それらから得られた結果に基づき、日本の多年性雪渓の氷体形成機構について議論した。なお、本研究の内容は、2012年6月の日本雪氷学会氷河情報センター公開シンポジウムで報告した内容等に手を加えたものであり、調査や実験の詳細は既発表論文に譲る。

2. 大雪山ヒサゴ雪渓におけるボーリング調査

吹き溜まり型の多年性雪渓である大雪山ヒサゴ雪渓において1986年夏期に4回実施した。この調査から、ヒサゴ雪渓ではその底部に厚さ4.3mの氷体を有しており、夏期間中は氷体の上に水で飽和したフィルン層（厚さ約1m）が形成されていることがわかった。同様なフィルン層は、温暖氷河の浸潤帯でも多数発見されており、firm aquiferと呼ばれている。年層境界から判断すると、この雪渓では毎年厚さ1～2mのフィルンが氷化している。しかも、冬期間に雪渓上にもたらされた雪が、堆積後1年以内に氷へと転化していることが特徴的である。これは、温暖氷河浸潤帯の氷化年数が4～30年であるのと比べて、極めて急速な氷化といえる。酸素同位体組成などから、1年間に形成される氷のうち、厚さ0.2～0.3mの氷は、融雪初期に浸透した融雪水が氷体の上で再凍結した上積氷（superimposed ice）として形成されたと考えられる。夏期間中、firm aquifer内において、フィルンの密度は圧密によって急激に上昇したものの、同時に進行する上載荷重の減少に伴って乾き密度750～780 kgm⁻³に達した時点で停止した。すなわち、ヒサゴ雪渓では、温暖氷河のよう

な圧密のみによる氷化は生じておらず、他の氷化機構を考慮する必要があると結論した。

3. 日本全国の多年性雪渓のボーリング調査

白山から利尻山に至る8箇所の山岳地に存在する多年性雪渓（吹き溜まり涵養型5箇所、雪崩涵養型3箇所）において、1995～1996年夏期にボーリング調査を実施した。その結果、吹き溜まり涵養型雪渓については、氷体、firm aquiferおよび上積氷の形成などに関してヒサゴ雪渓と同様な結果が得られた。さらに、積雪が堆積後1年以内に氷化すること、毎年の氷化厚さが0.3～2.3mであることが明らかになり、氷化過程についてもヒサゴ雪渓と同様に考えることができると判断した。一方、雪崩涵養型の多年性雪渓では、雪渓内に含まれている礫や木片によって、深層まで達するボーリングが不可能であったため、氷体の存在の有無を確認することができなかった。しかし、白馬大雪渓や桑ノ木沢雪渓などにおいて、堆積後2～7年経過したフィルン層が氷化していないことが明らかになり、吹き溜まり型雪渓との大きな相違点として注目される。

4. 氷体形成機構

圧縮実験から得られたフィルンの乾き密度、時間および圧力を関係づける実験式を用いて、吹き溜まり型雪渓において、firm aquifer内のフィルンが圧密氷化するために必要な時間を推定した結果、少なくとも6～7年程度の時間が必要であることがわかった。このことから、吹き溜まり型雪渓では圧密氷化は不可能であることが示された。他の氷化機構として、初冬の寒気の侵入に伴うfirm aquifer内の水の凍結が考えられる。この機構による氷化の可能性を、Stefanモデルによる1次元熱伝導計算によって確かめた。その結果、多くの吹き溜まり型雪渓において、毎年厚さ1m以上の氷化層を形成することが可能であり、初冬の寒気の侵入によるfirm aquifer内の水の凍結が、吹き溜まり型雪渓の主要な氷化機構であることが明らかになった。一方、雪崩涵養型雪渓では、熱伝導計算からは吹き溜まり型雪渓と同様な氷化は不可能な場合が多いと考えられる。これは、雪崩涵養型雪渓が低い標高に存在していることが多いため、初冬に十分な寒気の侵入が得られないことに起因している。もし雪崩涵養型雪渓が氷体を有するならば、その主要な氷化過程は温暖氷河と同様にfirm aquifer内のフィルンの圧密の可能性があり、その場合、氷化年数、氷化深度ともに吹き溜まり型雪渓よりも大きくなるであろう。

北アルプス・唐松沢雪渓は氷河なのか！？

有江賢志朗（新潟大学・院），奈良間千之（新潟大学），福井幸太郎・飯田肇（立山カルデラ砂防博物館）

Possibility of glaciers in Karamatsusawa snow patch in the northern Japanese Alps

K. ARIE, C. NARAMA (Niigata Univ.), K. FUKUI, H. IIDA (Tateyama Caldera Sabo Museum)

1. はじめに

北アルプスは、世界的な豪雪地帯で、その北部地域には多数の多年性雪渓が存在する。福井・飯田（2012, 2018）は、地中レーダー（ground penetrating radar : GPR）やGNSS測量といった近年になって小型・軽量化が進んだ観測機器を用いて、北アルプスの立山連峰と後立山連峰に位置する6つの多年性雪渓（御前沢雪渓，三ノ窓雪渓，小窓雪渓，内蔵助雪渓，池ノ谷雪渓，カクネ里雪渓）の氷厚と流動を観測し、これら雪渓は氷河と認定された。北アルプス北部には、氷河の可能性のある多年性雪渓がほかにも存在する。

本研究では、後立山連峰に存在する唐松沢雪渓において、地中レーダーでの氷厚の測定と、GNSS測量による氷体の流動を測定し、7つ目の氷河の可能性を検討した。後立山連峰の唐松沢雪渓と不帰沢雪渓は、その合計面積が北アルプス内で上位であることが指摘されている（樋口・五百沢，1971）。さらに本研究では、唐松沢雪渓の質量収支を2017年～2018年に実施したセスナ空撮から作成した地形表層モデル（DSM）から算出し、その環境条件を検討した。

2. 研究地域

唐松沢雪渓は、唐松岳（2696m）から、北東方向にのびる氷食谷の源頭部に分布する多年性雪渓である。2017年9月30日での雪渓は長さ998m、幅163m、分布標高2280～1777m、面積90076m²である（表1）。唐松沢雪渓の周囲は岩壁に囲まれており、雪渓の涵養過程は、降雪に加え雪崩がある。それは雪崩涵養型に分類される（五百沢，1979）。

3. 方法

2018年9月19日にGPR（GSSI社）の中心周波数100MHzのアンテナを用いて氷厚測定を実施した（図1）。GPR探査は、電磁波の比誘電率が異なる物質で反射する性質を利用する探査方法である。電磁波を地下に照射し、比誘電率の異なる境界面で反射された反射波の一部を受信すること

で地下構造を可視化させる（中埜，2010）。測定は、縦断方向と横断方向でデータを取得した。

同年9月23日にGPRの解析結果をもとに氷厚の大きい場所で、かつ積雪深が1～2mほどの場所で、5m掘削可能なアイスドリルを用いて、長さ4.5mのステーキを5地点に設置した。ステーキの先端にGEM-1（測位衛星技術社）を取り付けGNSS測量をおこなった（図1）。10月半ばに再測量をおこない、その移動距離から氷体の移動速度を求めた。

セスナ空撮は、小型セスナ機からSony α7IIのデジタルカメラを用いて1秒間隔で撮影をおこなった。取得した画像データと2次元の形状からカメラ位置や3次元形状を特定する手法であるSfM（Structure from Motion）を用いて、多時期のDSMを比較することで雪渓の質量収支を求めた。

4. 結果

GPRの結果から、唐松沢雪渓では30～40mの厚さの氷体が確認された。上流部の氷体が最も厚く、下流部は20mほどであった。縦断と横断のプロファイルでは、同じ深部に基盤の反射を確認した。

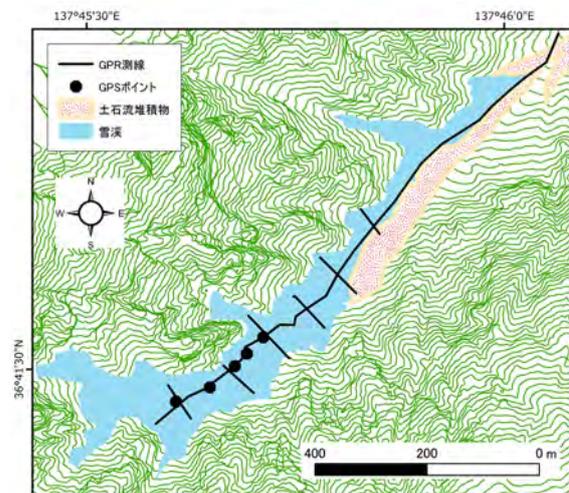


図 唐松沢雪渓のGPR測線とステーキ位

表1 2017年9月30日の融雪末期の氷河・雪渓の分布高度と面積

氷河・雪渓	面積 (m ²)	長さ (m)	幅 (m)	上端高度 (m)	末端高度 (m)	標高差 (m)
唐松沢雪渓	90076	998	163	2280	1777	503
御前沢氷河	100765	845	162	2820	2500	320
内蔵助氷河	34119	518	167	2882	2646	236
三ノ窓氷河	126166	1591	101	2510	1721	789
小窓氷河	129389	1284	192	2308	1908	400
カクネ里氷河	89696	762	188	2156	1801	355

ケニア山における氷河縮小と水環境の変化

大谷侑也 (京都大学大学院生)

The changes of glacial reduction and water environment in Mt. Kenya, Kenya.

Yuya OTANI (Graduate student, Kyoto University)

1. はじめに

東アフリカにそびえるケニア山 (5,199m) 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 (図 1)。

ケニア山周辺域では山からの河川水や地下水が農業および住民生活に広く利用されるが、その具体的な水源を定量的に示した研究例はいまだ無い。もしその地下水が消えゆく氷河を主な水源としているならば、将来的にその量は減少すると考えられる。それが現実となった場合、地域住民生活およびケニア山周辺の生態系に及ぼされる影響は大きいと考えられるが、その水の供給源や水循環に関する知見が得られていないのが現状である。



図 1 ティンダル氷河の縮小

2. 山麓水資源の涵養標高推定

山麓の河川水や湧水が、どの標高帯において涵養され、流れてきているのかを把握するために、これまで水素・酸素安定同位体比 ($\delta D \cdot \delta^{18}O$) が多く利用されてきた (Criss and Davisson 1996; Rowland et al. 2011)。

降水中の $\delta D \cdot \delta^{18}O$ は、同位体高度効果 (標高が高くなるにつれ $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値が軽くなる効果) を示す。山麓から雲が山体に流れ込んでくると、低標高では重力の関係で重い $\delta D \cdot \delta^{18}O$ を含んだ降水が選択的に先に降る。それにつれ、高標高で降る降雪や山体上部の氷河融解水ほど $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 比は軽くなっていく。

この高度効果による氷河・積雪と山麓の降水・河川水の同位体比値の違いを利用して、山麓湧水・河川水に対する氷河・積雪融解水の貢献度を把握する。もし、ケニア山の山麓河川水・湧水がその標高帯で降る降水よりも同位体比値が明らかに小さく、高標高帯の氷河の同位体比値に近ければ、山麓湧水に対して氷河・積雪の融解水が混合していることがわかる。

3. 水素・酸素安定同位体比の分析

ケニア山の標高 2,000m~4,500m における降水、河川水、氷河融解水、積雪を採水した。採水容器は容量 100mL のプラスチック製ボトルを用い、採水後は空気が入らないように密閉した。サンプルは日本に持ち帰り、総合地球環境学研究所の同位体分析装置 (PICARRO, L1102-i) を用いて測定した。

その結果、採水した降水サンプルの酸素同位体比から、明瞭な高度効果が確認された。そこから高度効果直線 ($E (m) = -380.96 \cdot \delta^{18}O + 3496.4$) を算出した (図 2)。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。山麓湧水 (1,943m, 1,965m, 1,972m, 2,085m) の $\delta^{18}O$ の値は -3.89‰ , -3.60‰ , -3.33‰ , -4.12‰ であった。これらの値を高度効果直線に代入すると、それぞれ 5,065m, 4,978m, 4,867m, 4,761m と算出された。また山麓河川水の $\delta^{18}O$ の平均値 (-3.03‰) を高度効果直線にあてはめると、その河川水の涵養標高は平均 4,650m と推測され、これらの結果から、高標高の氷河帯の水が地下水・河川水として流下していることが示唆された。

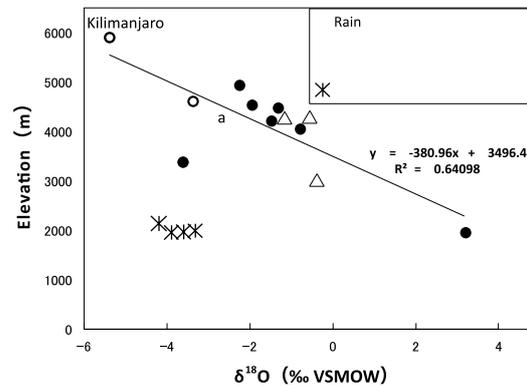


図 2 ケニア山における降水の高度効果

引用文献

- Criss, R. E. and Davisson, M. L. 1996. Isotopic imaging of surface water/groundwater interactions, Sacramento Valley, California. *Journal of Hydrology* 178(1-4): 205-222. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(96\)83733-4](http://doi.org/10.1016/0022-1694(96)83733-4)
- Rowland, H. A. L., Omeregic, E. O., Millot, R., Jimenez, C., Mertens, J., Baciu, C. and Berg, M. 2011. Geochemistry and arsenic behaviour in groundwater resources of the Pannonian Basin (Hungary and Romania). *Applied Geochemistry* 26(1): 1-17.

南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性

櫻井尚輝(新潟大), 奈良間千之(新潟大), エセナマン・モハメド(CAIAG), ウセコヴ・ザルベク(CAIAG)

Daily variations of supraglacial lakes in the southern Inylchek Glacier

N. SAKURAI (Niigata Univ.), C. NARAMA (Niigata Univ.),
M. Esenamanov (CAIAG), and U. Zarylbek (CAIAG)

I. はじめに

近年, アジアの山岳地域においてデブリ氷河末端からの大規模出水が報告されている. このようなデブリ氷河からの出水事例の中には, 巨大な氷河湖が確認されず, デブリ氷河の氷河上湖や氷河内部あるいは底部に発達した氷河内水路に貯まった水が突然出水したと考えられているものもある. デブリ氷河に発達する氷河上湖については, その面積が季節変動すること (Benn et al., 2017; Narama et al., 2017), 氷河上湖の発達が氷河の表面傾斜や流動に関係すること (Liu et al., 2015; Miles et al., 2016), 氷河上湖の発達が氷河の質量収支の状態と関係すること (Benn et al., 2012) などが明らかになってきている. さらに, ネパール中央部のランタン谷のリルン氷河では, ドローンによる空撮画像の解析から, 氷河内水路の立地も推定されている (Miles et al., 2017). 最近数年間で氷河上湖の新知見が報告されているが, 氷河上湖や氷河内水路の出水過程を Landsat などの衛星画像から解析するには情報が限られており, 詳細な水の移動を解明するまでには至っていない. 氷河上湖の出水に関連して引き起されてきた被害を未然に防ぐためにも氷河上湖の理解は不可欠である. そこで本研究では, 南イニルチェック氷河において, 毎日実施したドローン空撮で取得されたデジタル画像と SfM 技術により, 20 cm 分解能のオルソ画像と DSM を作成し, 氷河上湖の湖面変動を調べた.

II. 地域概要

研究対象地域は, キルギス共和国東部に位置する南イニルチェック氷河である. 南イニルチェック氷河は全長約 60.5km のキルギス最長の谷氷河であり, そのうちデブリ域は末端から約 22km を占める. 南イニルチェック氷河の氷河上湖は 4 月から増加しはじめ, 5~6 月に最大となり, 6~7 月に減少が確認されている (Narama et al., 2017). 4~6 月の増加は雪や氷河の融水の流入によるものであり, 6~7 月の減少は氷河内水路ネットワークの開放によるものと考えられている.

III. 研究方法

1 現地調査

現地調査では, 南イニルチェック氷河の中流部の B.C を拠点として, 2017 年 7 月 19 日~8 月 16 日および, 2018 年 7 月 6 日~8 月 1 日の約 1 か月間滞在して調査をおこなった. Phantom-3,

Phantom-4 による UAV 空撮, Trimble GeoExplorer 6000 による GCP データの取得, インターバルカメラと水位計の設置およびデータの回収をおこなった. UAV 空撮ではメルツバツハ氷河湖よりも下流で撮影範囲を固定し, Phantom-3, Phantom-4 を用いて, 2017 年 7 月 19 日~8 月 15 日, 2018 年 7 月 7 日~7 月 29 日に自動ルート設定で等時間隔撮影を毎日実施した. 主に日射の影響や天候の影響を最も受けない早朝の 5 時 30 分から 7 時の時間におこなった.

2 室内解析

室内解析では, PIX4D mapper を用いて作成した 20cm 解像度のオルソ画像と DSM データ, および衛星画像 (LANDSAT8, Sentinel-2) を用いて, 氷河上湖の解析をおこなった. 現地調査で得たデータで氷河上湖の短期変動を, 衛星画像で得たデータで氷河上湖の長期変動 (2014 年~2018 年) の解析をおこなった.

IV. 結果・考察

2017 年の調査では, No. 14 の氷河上湖が 7 月 25 日に出水し水位の急激な低下をみせ, 8 月 4 日ごろに No. 5 の氷河上湖と水位が一致すると水位の低下が止まり安定した変動をみせた. この結果, これら氷河上湖の間には氷河内水路が存在する可能性が高い. また, 2018 年では複数の氷河上湖が同日に出水する事例が観測できた. 氷河内水路の中には複雑に枝分かれする構造をもつものが存在することが考えられる.

引用文献

- Benn and 9 others (2012) *Earth-Sci. Rev.*, 114, 156-174
 Benn and 5 others (2017) *Cryosphere*. 11, 2247-2264
 Liu Q, Mayer and Liu S (2015) *Environ. Res. Lett.* 10, 4545-4584
 Miles, Willis, Arnold and Steiner (2016) *J. Glaciol.* 1-18
 Miles, and 6 others (2017) *Frontiers in Earth Science*. 69, 1-19
 Narama and 6 others (2017) *Geomorphology*. 286, 133-142

天山山脈とヒマラヤ東部の氷河湖決壊洪水の違い

奈良間千之 (新潟大学), ミルラン・ダイウロフ (CAIAG・新潟大学)

Differences of glacial lake outburst flood (GLOF) between Tien Shan and the eastern part of Himalaya

Chiyuki NARAMA (Niigata Univ.), Mirlan DAIYROV (CAIAG/Niigata Univ.)

1. はじめに

近年の温暖化により, アジア山岳地域では山岳氷河が縮小し, 氷河前面には多数の氷河湖が発達している. 1980~1990年代には, ブータンとネパール東部に分布する巨大な氷河湖で大規模な氷河湖決壊洪水 (Glacial lake outburst flood; GLOF) が生じている (Komori et al., 2012). 氷河湖の発達過程, 氷河湖の規模, 出水プロセス, 出水頻度, 被害の程度など, その特徴は地域によって大きく異なる. ここでは, 巨大な氷河湖が分布するブータンとネパール東部のヒマラヤ東部と, 小規模な氷河湖が分布する中央アジアの天山山脈を比較し, その特徴の違いを検討した.

2. ヒマラヤ東部の GLOF の特徴

巨大な氷河湖は岩屑被覆氷河で形成される. ブータンとネパール東部のヒマラヤ東部には, 多数の岩屑被覆氷河が分布する. 消耗域の岩屑帯には多数の小規模な氷河上湖が存在しており, 氷河の縮小過程でベースレベルに達した氷河上湖が連結しはじめ, 巨大な氷河湖に発達していく. 現在分布する巨大な氷河湖は, 1950~1960年代に出現した氷河上湖が連結して拡大したものである (Ageta et al. 2001). 岩屑被覆氷河は雪崩涵養であるため, 氷河は低標高の緩傾斜の谷を埋めることから, 巨大な氷河湖が発達する空間がある. 氷河湖の長さは大きいもので 2~3 km, 水深は 100m 以上ある. GLOF の要因として, 氷河崩落によるモレーンの決壊が報告されている. 最近の犠牲者をとまなう巨大な GLOF は, 1994年10月にブータン北西部のルナナ地方のルゲ湖で発生したものが最後である. 最近では, 2009年, 2015年, 2016年に巨大な氷河湖を持たない岩屑被覆氷河から大規模な出水が報告されている (Komori et al., 2012; Rounce et al., 2017). GLOF による被害は, 水力発電ダムなどのインフラ設備や建物の被害, 河床で放牧をしていた人がなくなっている. 集落は斜面の高い場所に位置するため, 直接被害を受ける例はそれほど多くない.

3. 天山山脈の GLOF の特徴

天山山脈の氷河湖は, ヒマラヤ東部に比べて小規模である. 長さは 100~200m ほどで水深は 30m 以内である. キルギスタン北東部に位置するイシク・クル湖流域では, 2006年~2014年にかけて4回の氷河湖からの大規模出水が生じている. これら出水した氷河湖は, 数か月~1年の間に出現・出水する短命氷河湖と呼ばれるタイプである. 2008年7月には, 西ズンダン氷河湖がわずか2か月半で出現・出水し, この出水による洪水で3

名の犠牲者や家畜の被害がでている. 2013年8月にはジェル・ウイ氷河湖, 2014年7月にはカラ・テケ氷河湖で出水が生じ, 灌漑用水路や農地が破壊されている (Narama et al., 2018). 短命氷河湖の出水は, ネパール東部の氷河湖決壊洪水にみられるようなモレーンが決壊するタイプでなく, 氷河前面のデブリ地形内部に発達するアイストンネルの閉鎖によって, 凹地に一時的に融氷水が貯水され, トンネルの開放によって出水するタイプである. 1960年代より発達し続けるヒマラヤ東部の氷河湖と違い, その形成期間に大きな違いがみられる. また, 山麓部の人々は河川沿いで暮らす土地利用のため, 出水規模が小さくても大きな被害につながる. ウズベキスタンのシャヒマルダン村では 100人以上の犠牲者が出ている (UNEP, 2007).

4. 短命氷河湖の環境条件

天山山脈に短命氷河湖が発達するのはなぜか? イシク・クル湖流域で 2006年~2014年の4つの大規模出水を生じた氷河湖周辺では, 氷を含むデブリ地形とアイストンネルの発達, 湖水を溜める湖盆地形が確認されている (Narama et al., 2018). イシク・クル湖流域の氷河前面には 688のデブリ地形が確認され, ALOS-2/PALSAR-2 を用いた差分干渉 SAR 解析によると, そのうち 487のデブリ地形で地表面変動が検出された. つまり, 7割のデブリ地形が埋没氷を含んでいることを示す (Daiyrov et al., 2018). 過去の空中写真と ALOS/PRISM の DSM を比較すると, 氷河の縮小にともない巨大な湖盆が氷河前面に形成されていることがわかった. また, 埋没氷を保持するデブリ地形周辺で地温と気温の観測をおこなったところ, 年平均気温は -4°C であり, 年平均地温は $-1.3\sim-3.3^{\circ}\text{C}$ であり, 氷河湖周辺は永久凍土環境であることがわかった. 短命氷河湖の環境条件としては, 1) 湖水を溜める湖盆の存在, 2) 永久凍土環境下のアイストンネルが形成される埋没氷を含むデブリ地形の存在である.

引用文献

- Ageta, Y. & 6 others (2000) IAHS, 264, 165-175.
 Daiyrov, M. & 5 others (2018) *Geosciences*, 8.
 Komori, J. & 3 others (2012) *Global Environmental Research*, 16, 59-70.
 Narama, C. & 6 others (2018) *Natural Hazard Earth System Sciences*, 18, 983-995.
 Rounce & three others (2017) *The Cryosphere*, 11, 443-339.
 UNEP (2007), UNEP, 235 pp.

上高地・横尾地区における異地性岩屑の発見:氷河性堆積物の可能性

石橋真那美(専修大学・学部)・荻谷愛彦(専修大学)・目代邦康(日本ジオサービス)

Discovery of allochthonous debris in Yokoo, Kamikouchi Valley: Was it glacial origin?

Manami ISHIBASHI (Undergraduate Senshu Univ.), Yoshihiko KARIYA (Senshu Univ.) and Kuniyasu MOKUDAI (Japan Geoservice Inc.)

1. はじめに

穂高連峰における最終氷期(酸素同位体ステージ4前後)の氷舌最末端は通称「横尾岩小屋」モレーン(標高1695m)とされ(五百沢1962),長く支持されてきた。本研究では,これより約1.5km下流にあたる横尾・黒沢北側の尾根(1615m)で不淘汰岩屑を発見し,それらは氷河運搬作用でもたらされた疑いがあると判断した。本発表では,この堆積物の分布と特徴を報告し,成因と発見の意義を論じる。

2. 調査地域・方法

<地質>黒沢を含む横尾付近の梓川左岸は,美濃帯沢渡コンプレックス砂岩泥岩互層やチャート(原山1990:Sas, Sam, Sac;図)から成る。他方,梓川右岸には同じ堆積岩類が狭小に露出するが,横尾とその上流域(梓川水系横尾谷・槍沢)に広く分布するのは白亜紀末期~古第三紀の奥又白花崗岩(Go)や屏風ノ頭文象斑岩(By),および第四紀の前穂高溶結凝灰岩(Wm)や南岳凝灰角礫岩(Md)などの穂高安山岩類である。<地形>横尾付近では梓川の現河床・氾濫原および沖積錐が発達するが,顕著な河成段丘面は確認されない。岩小屋周辺の南北性の尾根状地形は側方・末端モレーンとされる(上述)。一方,これより上流の槍・穂高連峰には最終氷期のカールが発達する(伊藤・正木1989)。<方法>解像度1m-DEM(国交省松本砂防事務所)ベースの傾斜量図・陰影図や空中写真を用いて地形を判読した。また横尾で踏査を行い,各所で基盤・表層地質を記載(礫種,粒径,円磨度など)した。

3. 結果および考察

<結果>黒沢南北両側の尾根末端(登山道周辺)では,堆積岩類の基盤岩を複数の露頭で確認した。また堆積岩類の斜面における表層崩壊や地すべり性崩壊を由来とする崖錐堆積物や,黒沢の現河床堆積物(Locs.4,5および6)では砂岩礫・泥岩礫の出現率が高かった(両者計100%)。他方,岩小屋のモレーン構成堆積物(Loc.1)ではWmが98%,Mdが2%を示した。また黒沢北側の尾根末端(Loc.3)で新たに発見された岩屑(転石)は,岩小屋付近と同様の礫種構成比(Wm=92%,Md8%)を示した。すなわち,黒沢北側の尾根は全域が堆積岩類から成るにもかかわらず,その表層には穂高安山岩類に由来する岩屑が載ることが新たに判明した。さらに,Loc.1とLoc.3の間に位置する手指状尾根の側面(Loc.2)でもほぼ同様の結

果が得られた。<考察>黒沢北側の尾根において,その一帯に分布しない火成岩類が岩屑として発見された事実は,それらが何らかの運搬・移動作用で他所からもたらされたことを示す。そのような作用として,①大規模崩壊,②融氷流水や土石流など流水運搬や水を含む斜面物質移動,および③氷河運搬が想定される。

このうち,①では槍・穂高連峰の斜面を発生域とする崩壊が考えられる。しかし岩屑はWmを主とし,黒沢の上流側に分布するGoやByをほとんど含まない。もし大規模崩壊がWm分布域で生じたら,現在の露出域から考えて4km以上(水平距離)の物質移動を生じたことになる。しかしそのような大規模崩壊に特有な流れ山や厚層堆積物は全く認められず,説明が難しい。②では,運搬や移動過程での礫の摩耗が想定される。しかし発見された岩屑では角礫・亜角礫の含有率が高い。以上に対し,③ではWmが主に露出する流域を涵養域とした氷河による運搬が想定され,Locs.1,2および3における観察事実(Wmの高い出現率,角礫・亜角礫の高い比率)を説明できる。この想定が正しいなら,斜面のほぼ全域をWmが占める横尾本谷や涸沢が推定氷河涵養域となる。Loc.3付近まで氷舌が達していた場合,氷体は槍沢を堰き止めた可能性がある。編年は今後の課題である。

引用文献

- 原山(1990)「上高地地域の地質」地調。
- 五百沢(1962)地理学評論,35,48-49。
- 伊藤・正木(1989)地理学評論,62,438-447。



図 調査地域。実線:従来考えられていた氷河拡大域。破線:新たに推定される氷河拡大域。

上高地・玄文沢源頭「きぬがさの池」における線状凹地埋積物の層序と年代

荻谷愛彦（専修大）・高岡貞夫（専修大）

Geological description and chronology of a drilling core recovered from Kinugasanoike linear depression on the upper Genbun-sawa drainage basin, Kamikochi Valley, the northern Japanese Alps

Yoshihiko KARIYA (Senshu Univ.) and Sadao TAKAOKA (Senshu Univ.)

1. はじめに

北アルプス上高地周辺では、ジュラ紀堆積岩類から成る蝶ヶ岳・大滝山で岩盤重力変形が顕著で、地表には線状凹地や低崖列が形成されている。一方、第四紀花崗閃緑岩の分布域である岳沢や西穂山荘付近でも同様の現象が生じている（荻谷・松四 2014）。これらの地形・地質現象の発達過程を編むことは、山岳の自然史を正しく理解するために重要である。本研究では梓川右岸玄文沢上部の線状凹地群に生じた「きぬがさの池（KP）」湖岸を掘削し、凹地埋積物のコア記載と年代測定等を行った。掘削にあたり科研（17H02033・17H02029）の支援と、小塚朋子・川上栄之亮両氏及び西穂山荘の協力を受けた。

2. 調査地域の概要・方法

西穂山荘の周辺には平滑な緩斜面が発達する。最終氷期に周氷河作用を受けた可能性があるが、現在の地表面は皺状・さざ波状に変形し、線状凹地や低崖列が発達する。線状凹地の底にあるKPは25×15 m程度の湛水域から成る。水深は数10 cm～1 mと推定される。北岸の水域脇の泥炭地で

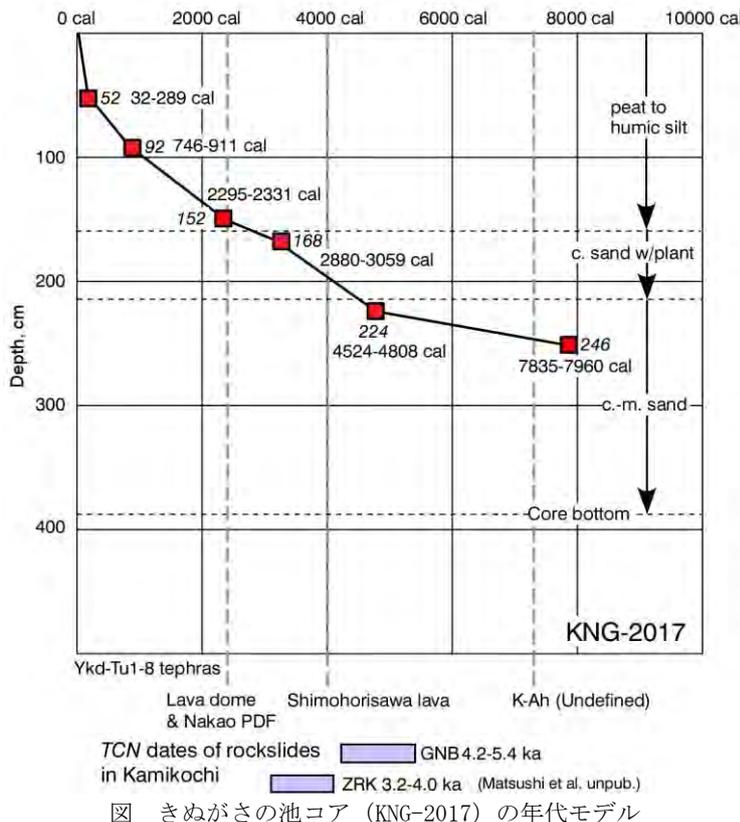
ハンド・オーガーによる掘削を行い、約90%以上の回収率で柱状コア（KNG-2017）を得た。現地と実験室で記載を進め、テフラの同定と植物片・腐植物の¹⁴C年代測定を実施した。

3. 結果・考察

<地表～160 cm> 全般にミズゴケ泥炭と、大量の植物片を含む腐植質シルト層から成る。136～152 cmに粗砂層が挟まれ、特に141～143 cmには非摩耗の火山ガラス片や角閃石を含む中粒砂層が認められる。鉱物組成や年代モデル（図）から判断して、本テフラは2.3 cal kaの焼岳中尾テフラ（Ykd-TNk；及川 2002）と推定される。
<160～208 cm> 植物片を含むが、黒雲母など花崗閃緑岩起源と考えられる鉱物片を主とする粗粒砂層から成る。
<208～383 cm> 中・粗粒砂層から成る。植物片がまれに認められる。246 cmから採取した植物片は7835～7960 cal BPを示した。これ以深から年代は得られていない。広域テフラ鬼界アカホヤ（7.3 cal ka）が期待されたが、未検出である。

4. 考察：凹地埋積物の堆積過程

KPの線状凹地は完新世前期にすでに存在し、砂層を堆積させていた可能性が高い。凹地の形成開始期がいつまで遡るのかは未詳ながら、堆積速度を外挿すると最終氷期に達する可能性もある。その後、4000～3000 cal BPまで砂層の堆積が顕著であったが、それ以降は泥炭や腐植質シルト層の堆積場に変化した。これが岩盤重力変形の進行に伴う凹地の深化や玄文沢（GNB）・善六沢（ZRK）で発生した岩石なだれに関連した地形変化によるのか、気候変化によるのか、両者の複合によるのかは目下不明である。また従来知られていた範囲より広くYkd-TNkが拡散していた疑いが濃くなった。火山防災上、重要な知見である。今後、試料の微化石分析を行う予定である。



引用文献

荻谷・松四（2014）地図中心，502。
 及川（2002）地質雑，108，88-102。

白馬大雪溪底の基盤復元と葱平堆積物の挙動

杉山博崇(新潟大学・学)・奈良間千之(新潟大学)

Bedform of Hakuba-Daisekkei and movement of rocks at Nebukappira moraine

Hiroataka SUGIYAMA, Chiyuki NARAMA (Niigata University)

1. はじめに

白馬大雪溪周辺では、過去の氷河作用で形成された地形が報告されている。それらは、葱平圏谷と杓子岳圏谷、葱平モレーン、羊背岩、氷食谷などである(本田, 1937; 五百沢, 1979; 石井・小疇, 1999)。小疇ほか(1974)は、白馬尻付近の左岸の段丘面状の地形やその下流に分布する堆積地形を更新世後期の氷河作用によるモレーンとした。荻谷ほか(2008)は、一部のモレーンとされる堆積地形で年代測定を実施し、完新世に形成された地すべり地形としている。大雪溪では、積雪の少なかった2016年に雪溪が二つに分かれ、2号雪溪合流部付近の大雪溪底部の基盤が露出した。この際に巨大なアイストンネルが確認され、そのトンネル位置を把握するために地中レーダー(ground penetrating radar; GPR)探査を実施した。大雪溪底部の基盤地形については明らかでなく、トンネルの位置の把握以外にも、かつて氷河が流れていたとされる谷底がU字谷の様相を呈しているかどうかを検討できる。

また、大雪溪を登りきると、植生に覆われ、10mを超える巨礫が点在する葱平の堆積地形がある。これは過去の氷河作用で形成されたモレーンとの記述がある(石井・小疇, 1999)。1995年の集中豪雨では、雨水が上流部の小雪溪内で被圧され、勢いよく流れ出したことで下流の葱平モレーンを削り、大規模な土石流が発生している(松元ほか, 1998)。このモレーンの堆積量や内部構造、侵食による近年の地形変化は明らかになっていない。そこで本研究では、2016年6月~2018年10月に雪溪上で測定したGPRデータを用いて、雪溪底部の基盤地形の復元と葱平モレーンの堆積量の算出を試みた。

2. 地域概要

白馬大雪溪は、後立山連峰の杓子岳と白馬岳の間の葱平モレーン直下から3号雪溪合流部付近に至る越年する雪溪である。2017年9月30日データによると、雪溪の大きさは、標高2150~1760m、長さ1km、幅80m(2号と3号の間)である。大雪溪周辺を構成する岩盤は、珪長岩、超苦鉄質岩、泥岩ホルンフェルスなどである(中野ほか, 2002)。

3. 方法

大雪溪底部の基盤地形復元と葱平モレーンの堆積物の厚さについては、GPR(GSSI社製)の100MHzと270MHzのアンテナを用いて、2016

年6月~2018年10月に雪溪上で測定した。雪溪上の縦断と横断の測線を実施した。

葱平モレーンの礫の挙動を把握するため、ドローン(Phantom4)を用いて2018年7月~10月に5回の空撮を実施した。空撮画像から2次元の形状からカメラ位置や3次元形状を特定する手法であるSfM(structure from motion)を用いて多時期の点群データを作成し、点群解析から礫の挙動を調べた。

4. 大雪溪底部の基盤復元

2016年11月には、大雪溪が二つに分かれ、2号雪溪合流部付近の基盤が露出し、部分的に氷体、トンネル、水路も露出した。2016年に露出した一部の基盤地形がわかっている場所で、2017年と2018年6月に雪溪上でGPR測定を実施し、GPRデータの検証をおこなった。基盤が露出し、基盤地形が既知の場所で得られた反射データを、露出した基盤地形の測量データと照合することで、GPRデータを検証し、その結果を基準とすることで、大雪溪内の構造並びに大雪溪底の地形を復元することができる。基盤地形が露出した2016年11月7日の画像データから作成したDSMの基盤地形と内部のアイストンネルの大きさは、2018年6月2日のGPR測定から得られた反射データと一致した。このデータを基準に、基盤地形が明らかでない場所で測定したGPRデータを解析した結果、雪溪底部の水路は、上流部は中央部から右岸に移動し、2号雪溪合流部から左岸に移動するというクレバスの分布と同じであった。

次に、葱平モレーンにおいて、2016年と2017年に空撮した画像から得られた点群データを解析したところ、葱平モレーン上の10m以上の礫が15mほど動いていることが確認された。この礫は、2011~2016年に移動せず、2017年に急に動いたことがわかった。もし大雪溪に転がりでもすれば、登山者の多い夏場には大惨事を招きかねない。

引用文献

- 五百沢(1979)講談社, 190p
 石井・小疇(1999)地学雑誌, 108(5), 629-637.
 荻谷ほか(2008)地学雑誌, 3, 650-660.
 小疇ほか(1974)地球科学, 6, 259-260.
 中野ほか(2002)地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 105.
 本田武夫(1937)地理学評論, 13(9), 804-821
 松元ほか(1998)雪氷, 1, 37-46.

2018年3月5日に富士山東斜面で発生した土石流

小森次郎 (帝京平成大学)・千葉達朗 (アジア航測)・山川修司 (日本大学)

Debris flow event in the eastern slop of Mount Fuji, March 5th, 2018

Jiro KOMORI (Teikyo Heisei Univ.), Tatsuuro CHIBA (Asia Air Survey), Shuji YAMAKAWA (Nihon Univ.)

1. はじめに

11月から12月と2月から5月頃の富士山では、急激な昇温と強雨によって湿雪表層なだれやスラッシュ雪崩、土石流、およびそれらに伴う下流での河川の増水が発生する。この一連の現象を富士山周辺では雪代(ゆきしろ)といい、火山山麓で発生する火砕物起源の流動でもあることからlahar(火山泥流)の語を加えてスラッシュ・ラハールと呼ぶこともある(安間, 2008)。

2018年3月5日、東麓のふじあざみライン周辺で標高約800mまで達する土石流が発生した。このような低標高まで達する雪代は、この付近では今までに記録は無い。また、山麓で生活する一般の人が被災したこと、道の駅や有料道路の料金所近くまで土砂が達したこと、など山麓全体で見たとしても特筆すべき点が多い。ここではその事象の実態、および発生原因について報告する。

2. 被害概要と発生時刻

【被害概要】この雪代は東麓を流れる海苔川流域で発生し、東富士演習場内にも土石流が流入した。6日の未明には演習場の作業員2名が海苔川調節池(標高780m)で遺体として発見された。また、ふじあざみラインの馬返し付近(標高1350m)は土石流により寸断され、道の駅「須走」の近くでも厚さ1m前後の土石流堆積物が堆積した。

【発生時刻の推定】

犠牲者の携帯電話の通話記録、防災科学技術研究所の地震計の振動波形、および西麓の剣ヶ峰大沢(大沢崩れ)でのスラッシュ雪崩・土石流の発生時刻の記録から、東麓での事象は5日16時28分~16時30分に発生したと考えられる。

3. 発生原因

林野庁等による3月11日の上空からの調査によって、当初この事象は須走口5合目の東にある崩壊斜面、通称「グランドキャニオン」(標高1900m)を起点とした土砂流出として考えられた(静岡新聞, 3月12日記事)。3月6, 7日に筆者が行った現地調査でも、大きな被害が出た馬返し付近の堆積物中に雪や氷の存在は確認できなかった。富士山の雪代の多くは、スラッシュ雪崩、または湿雪表層雪崩が起点となっているが、発生当初から土石流として沢底を流下する事例も確認されていることから、本事象もその可能性が考えられた。しかし、3月19日の調査では、標高2000mよりも上において、新鮮な泥流堆積物を載せた雪崩のデブリの堆積、富士山のスラッシュ雪崩の堆積物の特徴である雪氷とスコリアの混在、および樹林内での樹木の損傷が見られ、更に標高2200m

付近の浅い谷状の地形に4点の雪崩の発生跡を確認した(図1)。したがって、3月5日の事象は単なる降雨による土砂流出ではなく、湿雪の全層雪崩とスラッシュ雪崩から始まり、それらが途中の土砂を取り込み土石流に変化して流下した規模の大きな雪代であったことがわかった。

雪崩発生地点から南東5.4kmの国土交通省赤塚観測点では、16時台の雨量が27mm/h、降り始めからの雨量が112mmであった。この値はこれまで過去のスラッシュ雪崩の発生時の雨量と同規模のものである。

4. 過去の山体崩壊の地形との関係

今回の事象はグランドキャニオンの谷地形を形成・拡大させた一つの事象として考えることができる。また、宮地(2004)は約2900年前に発生した御殿場岩屑なだれによる東麓の崩壊を具体的に想定し、金子ほか(2004)はグランドキャニオンの谷地形が、この岩屑なだれの崩壊地形の側方の滑落崖に相当する可能性を示している。この滑落崖は過去の噴火による堆積物で埋まっており、地形の復元は容易ではないが、今回の雪代も2900年前の岩屑なだれの発生以降続いている崩壊現象の一例として考えることができるかもしれない。

引用文献

- 安間 荘 (2007) 富士山で発生するラハールとスラッシュ・ラハール. 富士火山, 山梨県環境科学研究所, 285-301.
- 金子隆之ほか (2004) 火山活動史に関する研究. 富士火山の活動の総合的研究と情報の高度化に関する研究 (文部科学省科学技術振興調整費先導的研究) 静岡新聞 2018年3月12日記事. <http://www.at-s.com/news/article/social/shizuoka/466909.html>
- 宮地直道ほか(2004) 富士火山東斜面で2900年前に発生した山体崩壊. 火山, 49, 11-14.



図.1 3月5日の雪崩発生域
標高2000m付近からドローンにて撮影。2900年前の山体崩壊でも推定される滑落崖を赤破線で示した。

岐阜県郡上市明宝の水沢上地すべりにおける地形形成史と 1586 年天正地震

栗本享宥(専修大・学)・荻谷愛彦(専修大)・目代邦康(日本ジオサービス)

Historical development of Mizore landslide and its causal link with AD1586 Tensho earthquake in Meiho, Gujo City, Gifu Pref, Japan

Takahiro KURIMOTO (Undergraduate, Senshu Univ.), Yoshihiko KARIYA (Senshu Univ.) and Kuniyasu MOKUDAI (Japan Geoservice Inc.)

1. はじめに

岐阜県郡上市明宝地区には水沢上地すべり (ML: 35.9363° N, 137.0445° E) とよばれる大規模地すべり地が存在する。ML は AD1586 天正地震で生じたとされる (飯田 1987; 河田ら 1988; 井上・今村 1998) が, 先行研究は古文書に基づく議論を主とし, 地質学的論拠を示していなかった。筆者らは地質調査に基づき, ML の形成史と最新滑動年代を明らかにした。

2. 地域概要と方法

<地形> ML 周辺では標高 1000 m 超の山岳が卓越する。木曾川水系吉田川が ML を貫く。<地質> ML の西にある烏帽子岳より 1 Ma ころ噴出した安山岩類が ML 一帯に分布する (河田ら 1988)。同火山岩類は凝灰角礫岩質の Ep 層 (下部) と安山岩質の Ea 層 (上部) に分類される。花崗岩や, 蛇紋岩化したかんらん岩, 美濃帯堆積岩類も分布する。ML の北に庄川断層帯三尾河断層 (MF: B 級左横ずれ) が走る。MF の最新イベントは 840 年前以降で, AD1586 天正地震が対応する可能性が高い (杉山ら 1991)。<方法> 空中写真や 1 m DEM (越美山系砂防事務所) による地形判読と踏査を行い, 大縮尺地形分類図と地質図を作成した。堰き止め湖沼堆積物中の木片の ¹⁴C 年代を測定した。

3. 結果

ML は 3 条の滑落崖と, 地すべり移動体に分類される。やや開析された滑落崖は円弧状を呈す。移動体は吉田川に分断されるため, これを境として次のように便宜区分した。<NW> 層厚 10 m 以上の無層理・不淘汰な巨礫サイズの角礫・亜角礫層から成り, 礫支持である。NW 南縁の吉田川沿いでは, それを覆う堰き止め湖沼堆積物 (砂-シルト互層) が見られる。同層には木片が含まれる。P1 地点で得た木片は cal AD1492~1602 を示す。<N> ジグソーパズル (Jp) 状に破碎した Ea 層から成る。一部無層理・不淘汰の角礫層を含む。また, これらの下部に未破碎の Ep 層が見られる。<NE> Jp 状に破碎した Ea 層起源の角礫層 (厚さ 2 m) を主とする。NE 南部では, NE を成す崩壊堆積物が花崗岩体に乗る。<S> 破碎した巨礫サイズの角礫層から成る。表層に低丘や圧縮リッジ, 閉塞凹地が発達する。圧縮リッジの比高は 1~10 m で, N11° W~N33° W 方向に卓越する。

4. 考察

1) 滑落崖や移動体の形状から, ML は単一イベントではなく, 複数回のイベントで形成されたと推定される。2) 各イベントは周辺の活断層 (特に MF) の活動を誘因とした可能性がある。3) P1 地点で得た年代資料から, ML の最新滑動は AD1586 天正地震に誘発された疑いが濃い。なお平成 30 年 7 月豪雨では期間総雨量 1000 mm 超の降雨があったが, 当地で顕著な地すべり滑動は生じなかった。



図 ML 周辺の地形分類図

NW: 北西移動体, N: 北 (同), NE: 北東 (同), S: 南 (同), MF: 三尾河断層, P: 露頭 (木片を含む堰き止め湖沼堆積物)

引用文献

- 飯田 (1987) 「天正大地震誌」名古屋大出版会。
井上・今村 (1988) 歴史地震, 14, 57-68。
河田・磯見・杉山 (1988) 「荻原地域の地質」地調。
杉山・栗田・佃 (1991) 地震, 44, 283-295。

天城火山南東部，白田川および川久保川の河成段丘面群

徳本直生（専修大・学）・荻谷愛彦（専修大）・目代邦康（日本ジオサービス）

Fluvial terraces along Shirada River and Kawakubo River, southeast of Amagi volcano, Izu Peninsula, Japan

Nao TOKUMOTO (Undergraduate, Senshu Univ.), Yoshihiko KARIYA (Senshu Univ.), and Kuniyasu MOKUDAI (Japan Geoservice Inc.)

1. はじめに 天城火山では南東斜面に多数の地すべり地が生じ、開析されている。最高峰の万三郎岳（標高 1406 m）南面・南西面には特に大きな地すべり移動体が分布し、そこから発する川久保川や白田川、堰口川沿いに段丘地形が発達する。しかし小野・角（1959）が「白田川泥流」や「稲取泥流」の記載に絡め地形の成因に簡単に触れて以降は、この流域の段丘地形や地すべり地形はほとんど研究されていない。本研究は、地形判読や踏査に基づき、段丘地形と地すべり地形を中心に天城火山南東面の地形発達史を編むことを目的とする。

2. 調査地域の概要・方法 天城火山は更新世中期に活動した安山岩質成層火山で、基盤は中新世凝灰質火山岩（湯ヶ島層）を主とする。天城火山は溶岩流出が多く碎屑物は少ない。ただし、天城火山上に生じた伊豆東部火山群の一部（カワゴ平）が広域テフラを拡散する火砕流噴火を 3.2 ka に起こしている。周辺でも稲取火山列などの活動でテフラが飛散している（早川・小山 1992）。本研究では GIS で傾斜量図や陰影図を作成し、空中写真判読も併用して地形分類を試みた。野外地質調査も行い、地層の記載やテフラの同定も行った。

3. 結果 白田川河口から 1.5~5 km 付近で段丘地形が発達する。それらは 3 面に大別できる。H 面は現河床との比高が 140~150 m である。段丘

面構成層は確認中である。M 面は比高 50 m ほどで、淘汰不良の亜角礫・亜円礫を主とし、その層厚は 50 m 程度と厚い。M 面では最も面積の広い面の最上部で層厚 4 m の火山碎屑物（火山灰土）を発見した。また M 面の投影縦断面を延長すると、河口から数 100 m 上流で現河床以下になる。L 面は数面に細分可能な段丘面群で、比高は数 m~30 m である。その構成層は淘汰不良の亜角礫・亜円礫で、層厚は数 m~30 m である。

4. 考察 M 面は構成層の層相から土石流性の堆積段丘と考えられる。上流部に地すべり地が発達しており、土砂供給と段丘面の形成に関連がある可能性が高い。また M 面を覆う火山碎屑物は、早川・小山（1992）や小山・鈴木（2016）によれば、稲取火山列の堰口スコリア丘から供給されたもの（19 ka）を主とすると考えられる。それゆえ M 面は、更新世後期後半には離水していたと推定される。これは M 面の延長が現海水面以下に続くように見えることと調和的である。一方、L 面は M 面と同様の構成層を持つが層厚が小さく、その多くは M 面形成後の侵食性段丘と考えられる。H 面については、さらなる検討を要する。

引用文献

- 小野・角（1959）「稲取地域の地質」地調。
- 早川・小山（1992）火山，37，167-181。
- 小山・鈴木（2016）土と岩，64，12-23。

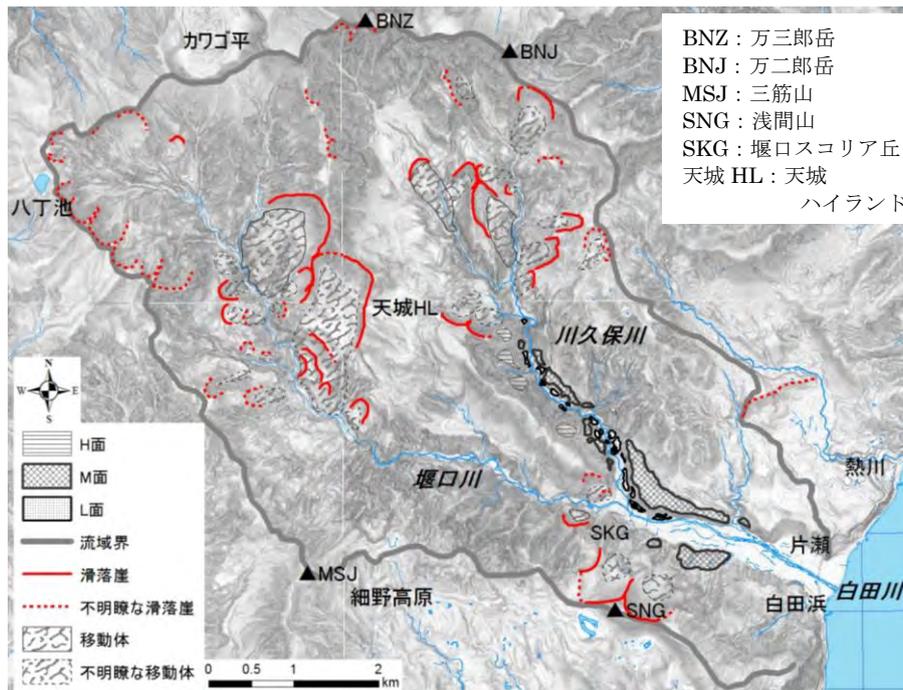


図. 白田川・川久保川沿いの段丘地形と地すべり地形の分布

白馬大雪渓における礫生産時期と積雪の関係

嶋瞳美 (ESRI ジャパン・新潟大学), 奈良間千之 (新潟大学)

Relationship between timing of rock fall and snow depth in Hakuba-Daisseki

Hitomi HATA (ESRI Japan / Niigata Univ.), Chiyuki NARAMA (Niigata Univ.)

1. はじめに

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で生産される落石や崩落により毎年のように登山事故が起きている。例えば、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(苅谷ほか, 2008)。白馬大雪渓周辺で発生した地形災害についての報告例はいくつかあるが、継続した落石や岩盤崩落、雪渓の地形変化のモニタリングが不足しており、落石発生の場所や挙動、岩壁や雪渓の季節的な地形変化など不明な点が多い。本研究では、落石の実態や大雪渓周辺の地形変化を明らかにし、登山者に地形災害軽減のための情報を提供することを目的に、2014~2017年に現地調査を実施した。

2. 地域概要

白馬岳は北アルプスの後立山連峰の北部に位置する。白馬岳とその周辺の主稜線は幅数kmの範囲で東西非対称山稜であり、周氷河作用を受けた西側斜面は緩斜面が発達し、雪崩や崩落の多い東側斜面は急傾斜となっている。白馬大雪渓は、北アルプスの白馬尻から白馬岳(2932 m)の登山道上にある越年雪渓であり、杓子岳と白馬岳の間の氷食谷に存在する。調査地域は、数億年以上前の変成岩類・堆積岩類や、数百万年前の火成岩から構成されている。これらの岩石は多数の断層によって分布が断ち切られており、大雪渓両側岩壁では地質が部分的に異なる。

3. 調査方法

現地調査では、大雪渓上の礫の分布ならびに出現時期と挙動、雪渓とその周辺の地形変化について調べるため、大雪渓でのインターバル撮像、GNSS 測量、地温・気温観測、雪渓上の礫サンプリング、UAV・セスナによる空中写真撮影、航空レーザー測量データを用いた微地形解析を実施した。

4. 結果

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50cm解

像度の地形表層モデル(DSM)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 DSM 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の違いがみられた。主に珪長岩の地質域では谷筋に沿った侵食(線状タイプ)が多くみられ、現地において谷筋侵食による崖錐の形成が確認された(図1)。しかし、超苦鉄質岩、珪長質凝灰岩ではこのような特徴はみられず、面状の侵食が顕著であり、地質による岩盤侵食様式の違いがみられた。

5. 考察

地温・気温観測から日周期の凍結融解は4月~5月にかけて発生しているがこの時期の落石はほとんどなく、年周期の凍結から融解に移行する時期に多くの落石が生じていると考えられる。面状タイプではすでに積雪から解放されている岩盤斜面で4月から落石が起ころはじめる。5月に雪渓上で確認された多数の礫は面状タイプであると考えられる。一方、遅くまで積雪が残る線状タイプは谷筋では、積雪から解放される6月以降に年周期の凍結の融解により落石が生産される。岩盤の面状タイプと線状タイプで落石の時期は異なり、冬季の積雪量によっても両者の落石の時期は大きく異なる。

引用文献

苅谷ほか5名(2008): 地学雑誌, 117, 870-877

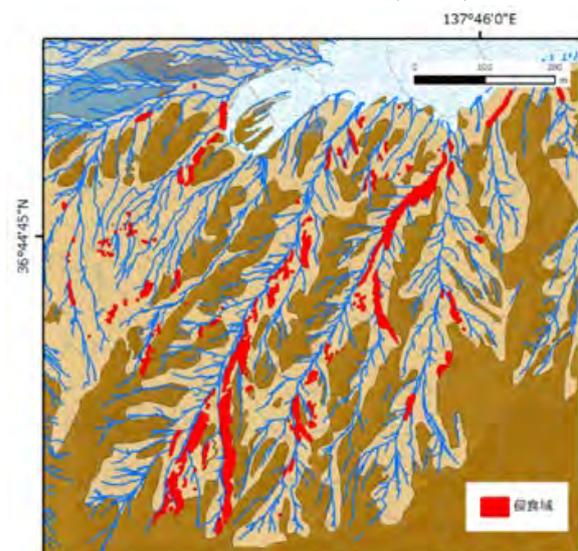


図1 杓子岳北面の珪長岩の侵食域

2018年10月27日発行

©日本山の科学会

© 2018 Japan Society of Mountain Science

<http://jasms.org/>

E-mail: inf@jasms.sakura.ne.jp

(無断転載を禁じます)