

中部山岳域の領域気候実験

Regional climate experiment in the central mountainous area of Japan

若月 泰孝^{1*}, 原 政之², 吉田 傑¹, 鈴木 智恵子¹

Yasutaka Wakazuki^{1*}, Masayuki Hara², Takeshi Yoshida¹, Chieko Suzuki¹

¹ 筑波大学, ² 海洋研究開発機構

¹University of Japan, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

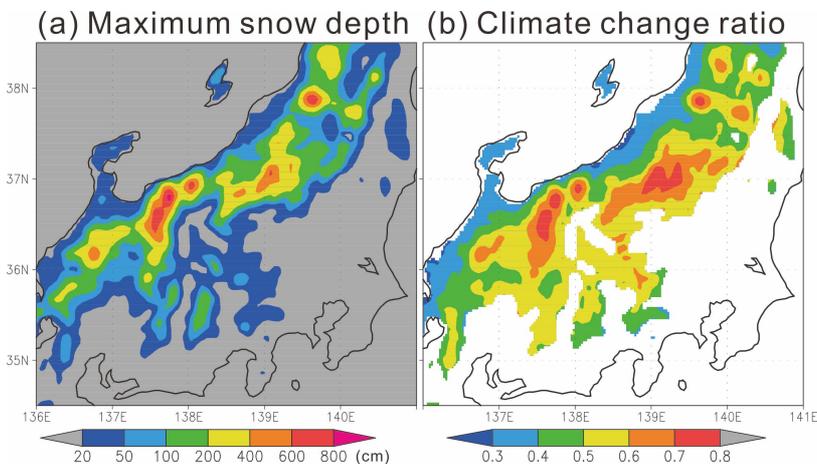
中部山岳域は急峻で複雑な地形を有しており、冬季には多量の降雪がもたらされる。この雪は植生や生態系に大きな影響を及ぼす。しかしながら、降雪量や積雪深の分布を把握することは、観測が極めて少ないことから非常に難しい。雨量計やレーダによる観測データのみで降水量分布を作成すると、不自然な分布パターンを示すことがわかった。一方で、雲解像度大気モデルによる数値シミュレーションが近年顕著に発展しており、高解像度での数値シミュレーションでの降水量再現性も向上している。そこで、降水量の把握において、この数値シミュレーション結果が非常に有益であることが示唆される。我々は、中部山岳域や関東をターゲット領域として、現在と温暖化する将来の領域気候シミュレーションを実施した。領域気候モデル(RCM)としてWRF version3.4を使用し、24-6-2kmの3段階のネスティングによる高解像シミュレーションを実施した。現在気候実験では、客観解析データ(ERA-Interim)を側面境界条件として使用した。将来気候実験では、全球気候モデル(GCM)から見積もられる平均気候差分を客観解析に上乘せし、側面境界条件に用いる。この近似的手法は、Kimura and Kitoh (2007)によって開発され、擬似温暖化手法(PGW法)と呼ばれる。今回、気候差分として、CMIP-3の4つのGCM(csiro_mk3_0, gfdl_cm2_1, miroc3_2_hires, and mri_cgcm2_3)の平均気候差分を用いた。実験年数は、1979年からの32年間(ただし、6km解像度まで)で、将来気候は21世紀末を想定した。積雪を含む陸面過程はNoah-LSMを用いた。

現在気候実験の積雪深は、国土交通省および気象庁の観測データで検証された。その結果、再現性が地点ごとに大きくばらついていることがわかった。観測の地域代表性やモデルのバイアスの問題がこれに含まれる。しかしながら、モデルは観測された積雪深を概ね表現しており、特に2kmの高解像度実験の再現性は6kmのそれよりも良いことがわかった。積雪分布の特徴も2km実験の方が、より現実的なパターンを示す。将来気候実験による積雪深の気候変化の図を添付する(a: 現在気候の年最大積雪深, b: 年最大積雪深の気候変化比)。この地域では、約3度の平均的気温上昇が予測された。積雪深は、高標高地域よりもその周りの低標高地域の方がより顕著であることがわかった。低標高地域では、気温上昇により雪ではなく雨としてもたらされる割合が増加することと関係する。逆に高標高地域では、気温上昇しても雪が雨に変化する割合は小さい。また、消雪の時期も10日から35日早くなり、特に北アルプスなどの高山や北陸の平地で早期化が顕著であった。

本研究は、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムと筑波大学のテニュアトラック普及・定着事業のサポートを得た。

キーワード: 領域気候, 中部山岳, 数値モデルシミュレーション

Keywords: Regional climate, Mountainous area of Japan, Numerical model simulation



領域気候モデルを用いた積雪深の標高依存性の再現性と地域性 Reproducibility and Regional Characteristics in Altitudinal Dependency of Snow Depth using Regional climate model

宇野 史睦^{1*}, 川瀬 宏明¹, 石崎 紀子¹, 吉兼 隆生¹, 木村 富士男¹, 伊豫部 勉², 河島 克久²

Fumichika Uno^{1*}, Hiroaki Kawase¹, Noriko N. Ishizaki¹, Takao Yoshikane¹, Fujio Kimura¹, Tsutomu Iyobe², Katsuhisa Kawashima²

¹ 海洋研究開発機構, ² 新潟大学 災害・復興科学研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

積雪の標高依存性は多くの観測研究により指摘されており, 積雪観測の無い地域の積雪量を推定する上で重要な要素である。しかし, 標高依存性の研究は, ある1つの山地や斜面における解析が多く, 平野から山地またその後面に至るまでの広域な標高依存性に関する議論は少ない。これは冬季における山地の観測は難しく, 広域かつ面的な議論を観測研究から行うことは困難であることが原因である。そこで本研究では, 北陸地方を対象に領域気候モデルを用いた高解像度ダウンスケージングを行い, 広域における標高依存性の地域性について議論する。

本研究は富山・新潟県周辺を対象とし, 2005-2006年の豪雪年について解析を行った, モデル検証データとしてAMeDASに加え, 伊豫部ほか(2007)が収集した様々な行政機関や研究所の観測データを用いた。領域気候モデルはWRF ver3.4を使用し, 初期値/境界値は, ERA-interimを用い, 地表面モデル, 雲微物理モデルはそれぞれNoahLSM, WSM6を用いた。また, 対流パラメタリゼーションは使用していない。積雪の再現性は地形解像度に大きく依存することがLeung and Qian(2003)などにより指摘されているため, 1.5kmの水平解像度とした。

地上観測データから見られる標高依存性は, 富山県では線形な単純増加の傾向を示すが, 新潟県においては標高500m以上で依存性が弱くなる非線形な傾向を示した。WRFにより再現された積雪深でも同様の傾向が見られ, 地域性をよく再現していることがわかった。

1つの山地の風上・風下における標高依存性を見ると, 海岸近くの標高1000m程度の山地における風上斜面までは線形, その後面の平野や山地ではばらつきが大きく, 非線形な標高依存性が見られた。WRFにより再現された冬季における雪の混合比の鉛直分布を見ると, 風上で降雪が多く, 風下では降雪が少なくなっている。これは, 風上側の山地により雪雲の多くが遮断され, 風下への水蒸気輸送量が少なくなるため, 降雪量に地域差が生じることを示唆する。

山地による影響を除去するため, 標高を減少させた感度実験を行った。その結果, 山地の風上斜面における雪の混合比のピークは弱くなり, より内陸の山地斜面で新たなピークが出現した。そのため, 内陸の積雪深が増加し, 標高依存性が内陸の地域まで線形な関係が見られるようになった。つまり, 積雪深の標高依存性を決める要因の1つとして雪雲の流入に影響を与える山地の分布が重要であることを示唆する。

キーワード: 積雪深, 標高依存性, 領域気候モデル, 力学ダウンスケージング

Keywords: Snow Depth, Altitudinal Dependency, Regional climate model, Dynamical Downscaling

地域気象モデル WRF の陸面過程の違いが中部山岳域における積雪深の再現性にもたらす影響

Effect of land surface process for simulating snow depth using WRF model over the mountainous area of central Japan

栗林 正俊^{1*}, 魯南賑¹, 齋藤琢¹, 若月泰孝², 玉川一郎¹, 村岡裕由¹

Masatoshi Kuribayashi^{1*}, NOH, Namjin¹, SAITOH M. Taku¹, WAKAZUKI, Yasutaka², TAMAGAWA, Ichiro¹, MURAOKA, Hiroyuki¹

¹ 岐阜大学流域圏科学研究センター, ² 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

¹River Basin Research Center, Gifu University, ²Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

中部山岳域は世界有数の豪雪地帯であり、山岳域に蓄えられる積雪は貴重な水資源である。気候変動に伴う温暖化は、中部山岳域における積雪を減少させる可能性があり、積雪量の現状評価と将来予測は重要な課題である。積雪量を最も正確に評価する手法は、現地観測である。しかしながら、観測環境の厳しさゆえに、山岳域における積雪深の観測データは乏しい。リモートセンシングによる積雪量の評価は、広域的に積雪深を把握することが可能であるが、連続した観測は行えない。そこで、地域気象モデル WRF を用いた積雪の広域評価や将来予測に関する研究が行われている (e.g., Kawase et al., 2012; Hara et al., 2008)。これらの研究は、共に陸面過程に Noah-LSM を採用しているが、2012年4月にリリースされた WRF3.4 では、Noah-LSM からバージョンアップした Noah-MP が新たに追加された。Niu et al. (2011) では、Noah-MP を陸面過程に用いることにより、WRF による積雪の再現性が向上したことを報告している。

本研究では、WRFv3.4.1 の陸面過程に Noah-LSM を選択した場合と Noah-MP を選択した場合で、中部山岳域における積雪の再現性を比較した。WRF の計算期間は 2006 年 9 月～2008 年 8 月までの 2 年間とした。まず、積雪の密度や積雪水量を観測している森林総合研究所十日町試験地 (標高 200 m) において、降水量、積雪水量、積雪密度、積雪深の観測値と WRF の計算値を比較した結果、Noah-MP を陸面過程に用いた場合は Noah-LSM よりも積雪水量や積雪深、積雪密度をよく再現した。これは、Noah-LSM が積雪を 1 層として扱っているのに対し、Noah-MP では積雪を 3 層として扱っているためと考えられる。すなわち、積雪を 3 層として扱う Noah-MP では、新しい雪と古い雪を区別することができるので、降雪時や融雪時の積雪密度の時間変化をより高精度に表現できる。次に、乗鞍岳の中腹に位置する岐阜大学高山試験地 (標高 1324 m) における積雪深の観測結果と WRF の計算結果を比較した。この結果、Noah-MP は Noah-LSM に比べて積雪深の時間変化が観測値とよく一致した。Noah-MP と Noah-LSM 共に最大積雪深が観測される時期までは観測値とよく整合している。しかし、Noah-LSM では融雪開始時期の融雪速度が速すぎるために、融雪期の積雪深を過小評価し、消雪日も観測値に比べて 2 週間ほど早くなる傾向が明らかとなった。

キーワード: 積雪, 陸面過程, 中部山岳, 地域気象モデル

Keywords: snowpack, land surface process, mountainous area of central Japan, regional climate model

中部山岳域における積雪の再現実験と衛星画像データとの比較

Comparison of WRF Model-simulated and MODIS-Derived snow coverage over the central mountainous area of Japan

鈴木 智恵子^{1*}, 若月 泰孝¹, 飯塚潤平², 木村富士男³

Chieko Suzuki^{1*}, Yasutaka Wakazuki¹, Junpei Iizuka², KIMURA, Fujio³

¹筑波大学, ²東日本旅客鉄道株式会社, ³海洋研究開発機構

¹University of Tsukuba, ²East Japan Railway Company, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

冬季日本の中部山岳域にもたらされる降積雪は、水資源としても観光資源としても重要な役割を持っている。しかし気候再現実験の検証に使うことができる地上気象観測データは比較的標高の低い地域に限られてきた。降積雪現象そのものの年々変動も大きい。本研究では、領域気候モデルを用いた気候再現実験と衛星画像データの比較を通して積雪分布の再現性を検証している。今回は解像度の違いに注目しながら年々変動を解析した結果を報告する。領域気候モデルとしてWRF ver3.4による気候再現実験の結果を利用した。計算は水平解像度 24, 6, 2km の3段階ネスティングで実施した。側面境界条件として客観解析データ ERA-Interim を使用した。衛星画像データとして宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供の、JASMES/MODIS 積雪マップの半月プロダクトを使用した。積雪マップの水平解像度は 500m である。対象期間は 2003 年から 2009 年の 11 月から翌年 5 月とした。積雪面積と標高との関係を探るため、国土地理院の数値地図 250m メッシュ (標高) の標高情報を積雪マップに挿入した。地上観測データとして気象庁 AMeDAS データを使用した。

2005 年と 2006 年の積雪分布を比較した結果、2005 年の方が積雪面積の拡大時期が早く、最大値の出現時期も半月程度早く、冬季全体を積算した積雪面積もより大きい様子が再現された。MODIS と WRF の積雪面積はほぼ一致する時期がある一方、積雪開始時期の 11 月以外でも大きく過大または過小となる時期がみられた。積雪イベントの再現性も影響していると考えられる。

キーワード: 積雪分布, 中部山岳域, 数値実験, 衛星データ

Keywords: snow coverage, central mountainous area of Japan, numerical experiment, satellite imagery

筑波大学川上演習林鞍骨流域における融雪流出の年々変動

Year-to-year variations of snowmelt runoff in the Kurahone watershed on the Kawakami forest, University of Tsukuba

脇山 義史^{1*}, 山中 勤¹

Yoshifumi Wakiyama^{1*}, Tsutomu Yamanaka¹

¹ 筑波大学陸域環境研究センター

¹ Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba

気候変動の影響により融雪に依存する水資源の変化が予想されている中、融雪流出の変化を捉えることは水資源管理上重要な課題の一つである。源流部にある小流域は環境変化に対して鋭敏な反応を示すため、気候変動が水循環に与える影響を調べる上で利用価値が高い。そうした小流域において、融雪流出の年々変動とその要因を理解することは気候変動への対策を講じる上で有意義な知見をもたらすと考えられる。本研究では、筑波大学川上演習林鞍骨流域における1991年、1997年、1998年、2012年の融雪期の水流出データを提示する。鞍骨流域は長野県の川上村にある森林小流域である。標高1410~1790mmの範囲にあり、冬季には積雪が見られる。水流出は90°ノッチ三角堰で観測を行った。1991年、1997年、1998年では冬季の観測結果は記録されておらず、流出量の比較は3月から5月までの融雪期のもの対象とした。気象データは川上演習林内の気象観測所のデータを用いた。1991年、1997年、1998年は冬季(前年12月~2月)の降水量データがないため、野辺山アメダス局と川上演習林総合気象における2002年から2011年までの降水量データをもとに回帰式を求め、降水量データを推定し、解析に供した。冬季および春季(3月~5月)の総降水量は1991年で470mm、1997年で324mm、1998年で661mm、2012年で511mmであった。春季の積算流出高は、1991年で239mm、1997年で179mm、1998年で475mm、2012年で248mmであった。また、冬季および融雪期の平均気温は1991年で-1.9°C、1997年で0.4°C、1998年で1.8°C、2012年で-0.2°Cであった。春季における最大日流量は、1991年で3月25日、1997年で4月6日、1998年で4月25日、2012年で3月5日に観測された。以上の結果からは、気温上昇による融雪流出の減少は明らかではないこと、2012年には他の年に比べて融雪が早いことがわかる。1時間流出高の時系列変化を見ると、1991年、1997年、1998年ではおよそ1か月の間に、徐々に流出量が増加し、その後、緩やかに遞減する様子が見られるのに対して、2012年では、急激な流出高の上昇と速やかな遞減が見られた。このことから、2012年の融雪流出は降雨によって強く規定されたものと考えられた。以上の結果から、近年、春季に発生する降雨の時期や強度の変化が源流部における融雪流出の変化をもたらしている可能性が示唆される。

キーワード: 川上演習林, 気候変動, 森林小流域, 融雪流出

Keywords: climate change, Kawakami forest, small forested watershed, snowmelt runoff

中部山岳地域における降水同位体ラスターマップの高精度化 Improving raster map of precipitation isotopes over the Japanese Alps region

山中 勤^{1*}, 牧野 裕紀², 脇山 義史¹, 鈴木 啓助³

Tsutomu Yamanaka^{1*}, Yuki Makino², Yoshifumi Wakiyama¹, Keisuke Suzuki³

¹ 筑波大学生命環境系, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ³ 信州大学理学部

¹Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ²Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ³Faculty of Science, Shinshu University

降水中の水素・酸素安定同位体組成は、陸域水循環をトレースするうえで重要な情報である。中部山岳地域においては発表者らによるモニタリング体制の構築により観測データの蓄積が進みつつあるが、起伏の激しさゆえに、観測が行われていない場所での同位体組成を推定することは容易でなく、流域水循環解析を行う際の問題となっている。そこで本研究では、中部山岳地域をカバーする高精度な降水同位体ラスターマップの作成を目標として、最適空間補間手法について検討した。まず、2010年6月～2011年11月の13地点における降水同位体データをもとに、地理的・気象的パラメータとの相関解析および重回帰分析を行った。その結果、単回帰モデルとしては最も有効な説明変数として標高が採択された。一方、重回帰モデルでは、標高・降水量・最大積雪深・斜面勾配・斜面方位（南北方向）・斜面曲率（水素同位体に関しては斜面曲率の代わりに経度）の6つを説明変数とした場合に最も良い結果が得られた。校正データと検証データを分離した交差検定による重回帰モデルのRMSE（二乗平均平方根誤差）は、酸素で0.427‰、水素で2.96‰であった。これらは、標高だけを説明変数とする単回帰モデルの誤差のおよそ6割であり、また地球統計学的手法の一つである逆距離加重法による補間よりも精度は高かった。なお、降水量や最大積雪深は水蒸気供給源からの距離に関連していると考えられ、中部山岳地域における降水同位体組成の空間分布を規定する要因として、高度効果に次いで内陸効果が重要であることも示唆された。さらに、得られた同位体マップを用いて流域平均同位体組成を算出し、千曲川および富士川水系の計24地点における河川水の実測値と比較したところ、概ね一致するものの河川水実測値のほうが若干高くなる傾向が得られた。この乖離は土壌面蒸発に伴う同位体濃縮によるものと考えられ、その大きさから人間社会や生態系にとって利用不可能な水（いわゆる white water）の割合を推定できる可能性が示唆された。以上の結果から、重回帰モデルを用いた空間補間によって作成された降水同位体ラスターマップは実用十分な精度を有し、流域水循環の解析に有用であると結論付けられる。

キーワード: 同位体, マッピング, 降水, 河川水, 中部山岳地域

Keywords: isotope, mapping, precipitation, river water, Japanese Alps region

降水によって立山西斜面と富山市に沈着する黄砂に関する研究

Depositions of the Asian dust suspended in precipitation collected on the west slope of the Mt. Tateyama and Toyama city

朴木 英治^{1*}, 渡辺 幸一²Hideharu Honoki^{1*}, WATANABE, Koichi²¹ 富山市科学博物館, ² 富山県立大学¹ Toyama Science Museum, ² Toyama Prefectural University

降水はレインアウトやウォッシュアウトの過程によって大気中の様々な物質を捕捉する。この結果、降水中には海塩や酸性雨関連物質などのイオン性の物質の他、懸濁物も含まれている。降水中の代表的な懸濁物として、黄砂など土壌を起源とする粒子とブラックカーボンなど燃焼起源の炭素質粒子がある。黄砂は平地では春季に観測されることが多いが、最近の研究では夏季においても日本の上空を黄砂が頻繁に通過していることがライダーや航空機による観測から明らかになっている。

立山の西側に広がる弥陀ヶ原台地は、旧立山火山から噴出した火砕流堆積物や溶岩によって形成され、隆起と浸食によって急峻な地形が形成されている立山連峰の中では特異的ななだらかな斜面である。その最大の特徴は、ほぼ一様な傾斜の斜面が西端の美女平(標高 970m)から東端の室堂平(標高 2,450m)まで 13km 程も連続している点にある。この弥陀ヶ原台地上に建設された立山有料道路は立山黒部アルペンルートの富山県側の幹線道路になっている。

試料とする降水を採取するため、同一形状のバルクサンプラーを立山有料道路沿いの駐車スペースなど 10カ所に設置した。各観測点間の標高差は 130m~310m である。比較観測として、富山市の市街地に位置する富山市科学博物館の屋上で同時に降水採取を行った。

降水試料中の懸濁粒子の沈着量測定は以下のように行った。まず、試料水を重量既知(a)の石英繊維フィルターでろ過し、110℃で乾燥後秤量(b)した。次に、フィルターをステンレスシャーレに入れ、シャーレの口を少し開け、電気炉で 500℃、1時間加熱後秤量(c)した。これとは別に、同じ条件で石英繊維フィルターのみを加熱し、フィルターの加熱減量(d)を測定し、以下の式(1)、(2)で黄砂、および、参考値としてブラックカーボンの沈着量をもとめた。

$$\text{黄砂重量} = c - (a - d) \quad (1)$$

$$\text{ブラックカーボン重量} = b - (c + d) \quad (2)$$

富山市、および、立山有料道路沿いの各観測点の降水量には観測点標高が高くなるほど降水量が増加する高度効果が観測された。また、硝酸イオンや非海塩性硫酸イオンなどのイオン成分についても、観測点標高が高くなるほど濃度が低下する高度効果が観測された。

降水中の黄砂濃度は、2011年7月~8月の2ヶ月間の平均濃度で、富山市市街地で 0.59mg/l、標高 2,450mの室堂平で 0.09mg/l となり、大きく見ると標高が高くなるにつれて濃度が低下する高度効果が見られた。しかし、立山の標高 1,280m、1,420、1,620mの観測点では、それぞれ、0.42 mg/l、0.82 mg/l、0.47 mg/l と市街地と同程度か、市街地以上の濃度が観測された。立山の観測点では標高が高くなるにつれて降水量が増加する高度効果が見られるため、降水中濃度と降水量の積として表される沈着量を比較すると、同じ 2011年7月~8月の2ヶ月間では、富山市市街地で 180.7mg/m²、立山の標高 1,280m 地点では 317.3mg/m² となり、この区間では標高の増加と共に黄砂の沈着量は直線的に増加した。また、最高濃度を観測した標高 1,420m 地点での黄砂の沈着量は 647.9mg/m² のピークを示した。しかし、標高 1,800m 地点では黄砂沈着量が 123.4mg/m² に急減し、標高 2,450mの室堂平では 83.7mg/m² となった。

降水によって山岳域に沈着する黄砂は、立山をはじめとする日本の山岳域の土壌形成に少なからず寄与している可能性がある。

2012年の観測値に関しては現在分析中であるが、標高別の沈着量の他、粒子の粒径別個数分布についても報告する予定である。

キーワード: 黄砂, 湿性沈着, 高度効果, 立山

Keywords: kosa, Asian dust, wet deposition, altitude effect, Mt. Tateyama

富山県立山の融雪期積雪表面の化学成分 2012年地獄谷火山ガスの影響について Chemical Composition on the snow surface in the Tateyama Mountains in Toyama Japan

若林 梢^{1*}, 竹内 望¹, 雨宮 俊¹, 大沼 友貴彦¹

Kozue Wakabayashi^{1*}, Nozomu Takeuchi¹, Shun Amemiya¹, Yukihiko Onuma¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Graduate school of Science, Chiba University

本研究は、富山県立山の積雪表面の主要化学成分、電気伝導度（EC）およびpHの分析を行い、融雪期の積雪表面の化学成分の季節変化及び空間分布を明らかにすること、さらに2012年に活発になった地獄谷の火山ガスの噴出の積雪への影響を評価することを目的とした。

立山室堂平の3地点の表面積雪の主要化学成分分析の結果、4月から6月にかけての残雪表面には、どの場所でも塩化物イオンが最も多く含まれていること、その濃度は雷鳥荘付近で最も高く、その中で非海塩由来の塩化物イオンは90%以上にもなることが明らかになった。さらに、雷鳥荘付近の積雪は、ECが最も高くpHが最も低いことが明らかになった。3地点の中で雷鳥荘付近が地獄谷に最も近いことから、この塩化物イオンおよび低いpHは、地獄谷からの火山ガスに含まれる塩化水素に由来するものと考えられる。7月から8月にかけての残雪表面には、どの場所でも硫酸イオンが最も多く含まれていることが明らかになった。これは、この時期の残雪表面には火山ガスや海塩由来ではない別の起源から化学成分が供給されていることを示している。硫酸イオンのはっきりとした起源はわからないが、融雪後に露出する土壌表面に由来するものかもしれない。

以上の結果から、立山の融雪期の積雪表面には、融雪前の積雪に匹敵する濃度の化学成分が含まれており、その優占成分は塩化物イオンから硫酸イオンに変化することが明らかになった。特に融雪期の前半の高い塩化物イオン濃度は、地獄谷の火山ガスの影響であると考えられ、このような積雪の化学成分は、雪氷上の微生物や周辺地域の生態系に影響を与えるかもしれない。

キーワード: 火山ガス, 立山, 融雪期, 化学成分, 積雪表面

Keywords: volcanic gas, Tateyama Mountains, snowmelt season, chemical composition, snow surface

白馬岳高山帯の山火事跡地における地表環境の変化 Geo-environmental change on Post-fire alpine slopes of Mount Shirouma-dake, northern Japanese Alps

佐々木 明彦^{1*}, 苅谷 愛彦², 池田 敦³, 鈴木 啓助¹
Akihiko SASAKI^{1*}, Yoshihiko Kariya², Atsushi Ikeda³, Keisuke Suzuki¹

¹ 信州大学山岳科学総合研究所, ² 専修大学, ³ 筑波大学
¹IMS, Shinshu Univ., ²Senshu Univ., ³Tsukuba Univ.

This is the continuous study to clarify the geo-environmental changes on the post-fire alpine slopes of Mount Shirouma-dake in the Northern Japanese Alps. The fire occurred at May 9, 2009 on the alpine slopes of Mount Shirouma-dake, and the fire spread to the *Pinus pumila* communities and grasslands. Although the grass had a little damage by the fire, the *Pinus pumila* received nearly impact of the fire. In the *Pinus pumila* communities where the leaf burnt, forest floor is exposed and become easy to be affected by atmospheric condition such as rain, wind, snow, and etc.

First, we illustrated a map of micro-landforms, based on geomorphological fieldworks. We observed these micro-landforms repeatedly for three years after the fire. As the results of the observation, it is clear that remarkable changes of these micro-landforms have not occurred but some litter on the ground surface under the *Pinus pumila* communities are flushed out to surroundings. The *Pinus pumila* communities established on the slopes consists of angular and sub-angular gravel with openwork texture, which are covered by thin soil layer. Therefore, it is necessary to pay attention to soil erosion following the outflow of the litter.

In addition, we observe the ground temperature and soil moisture, under the fired *Pinus pumila* communities and the no fired *Pinus pumila* communities, to find influence of the fire. The ground temperature sensors were installed into at 1 cm, 10 cm, and 40 cm depth. The soil moisture sensors were installed into at 1 cm and 10 cm depth. The 1 cm depth of the soil on the post-fire slopes, the number of diurnal freeze-thaw cycles are increase, and the period of seasonal frost at 40 cm depth is extended for one month.

キーワード: 山火事, 高山帯, ハイマツ, 斜面侵食, 地温変化, 白馬岳

Keywords: Fire, Alpine zone, *Pinus pumila*, Slope erosion, Ground temperature variation, Shirouma-dake

花粉組成のモダンアナログ法に基づく中部山岳地域における最終氷期 - 間氷期の気候変動の解析

Paleoclimate for the Last Glacial-interglacial cycle based on a modern analog technique in the central Japanese

木越 智彦^{1*}, 公文 富士夫², 河合 小百合³
Tomohiko Kigoshi^{1*}, Fujio Kumon², Sayuri Kawai³

¹ 信州大学大学院総合工学系研究科, ² 信州大学物質循環学科, ³ 信州大学山岳科学総合研究所

¹Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, ²Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University, ³Institute of Mountain Science, Shinshu University

近年、過去の気候の代理指標 (proxy) としてはいろいろなものが開発されてきたが、中緯度地域の陸域における気候を定量的に復元し、変動の要因を気候学的に解明する指標は限られている。本研究では後期更新統高野層と野尻湖堆積物の花粉組成資料に基づいてモダンアナログ法 (Polygon1.5: Nakagawa et al., 2002) を用いて古気候の定量的復元を試みた結果を報告する。

高野層は長野市信更町高野 (標高 720 ~ 30 m) に分布する後期更新世の湖成層で、そこで掘削された学術ボーリングコア試料 (TKN-2004) について花粉分析を行った。指標テフラを用いた年代モデルから約 160 ka から 40 ka までの経年変動に変換した資料を使った。30 ~ 99 ka は 400 年間隔で、99 ~ 162 ka は 1000 年間隔で分析されている。

野尻湖は長野県の最北部、新潟県との県境に近い位置にある面積 4.6 km² の貧栄養湖で、湖底で掘削された学術ボーリングコア試料 (NJ88) の花粉組成資料を用いた (Kumon et al., 2012)。時間分解能は約 80 年で、3 ~ 72 ka の経年変動が明らかにされている。

両コア試料についてはともに TOC, TN 量が 30 ~ 50 年間隔で測定されており、過去の相対的な気温変動が推定されている (公文・田原, 2009)。以下では花粉組成におけるモダンアナログ法による解析結果と TOC 量変動とを比較しながら、MIS (海洋酸素同位体ステージ) ごとに古い方から気候変動を述べていく。

MIS 6 期 (160 ~ 130 ka) には年平均気温 3.7 °C の、ほぼ一貫して寒冷な気候であった。TOC 量も低い値で安定しており、整合的である。

MIS 5e では年平均気温が 5.7 °C でやや温暖な気候を示している。しかしながら、最終間氷期であるにも関わらず、MIS 1 に比べ気温が低い。また、TOC 量の MIS 5e にあたる層準ではやや遅れた時期にはあるが、高い含有量を示しており、こちらの結果とも整合的ではない。MIS 5d では年平均気温が 3.7 °C でやや寒冷な気候を示している。MIS 5e から MIS 5d にかけて急激に気温が低下し、TOC 量でも同じ変動が見られる。MIS 5c では年平均気温が 5.2 °C であり、やや温暖な気候である。TOC 量でもやや大きな山が確認できる。MIS 5b では年平均気温が 4.5 °C であり、寒冷な気候で、TOC 量も深い谷を形成する。MIS 5a では年平均気温が 6.5 °C であり、やや温暖な気候である。MIS 5a は MIS 5c より気温が高く、TOC 量も同様に MIS 5a の方が多い。

MIS 4 期 (71 ~ 57 ka) には年平均気温 3.2 °C の寒冷で変動の少ない気候であった。また、IS 18 にあたる亜間氷期が確認できる。TOC 量も MIS 4 から変動幅が小さく低い値を示す。MIS 3 期 (57 ~ 29 ka) には年平均気温 5.2 °C の冷涼な気候であった。数百年スケールの急激な温度変動が認められ、D-O サイクルと対応できる。MIS 3 における高野層と野尻湖の解析結果は年代に多少のズレはあるものの、たいへんよく似た変動を示している。

MIS 2 期 (29 ~ 14 ka) には、年平均気温が 3.4 °C と寒冷で、変動が少ない。MIS 2/1 の境界では約 11 °C の大きな温暖化が推定される。この時期に TOC 量も急激に増加し、その後高い含有率が継続する。MIS 1 期 (12 ~ 3 ka) の主部は年平均気温約 13 °C の温暖で安定した気候であるが、MIS 1 末期になると年平均気温が 9 °C に下がった。

モダンアナログ法による気温復元は、おおむね妥当と思われる。しかし、花粉組成と気象資料を結びつける適切なモダンアナログが存在しない場合があるようで、MIS 5 におけるスギの多産や MIS 初期におけるコナラの卓越が過度に温暖な気温を導き出している可能性がある。降水量も復元したが、誤差が大きいと考えられる。

キーワード: 花粉組成におけるモダンアナログ法, Polygon, TKN-2004 core, NJ 88 core, TOC 含有量, TN 含有量

Keywords: pollen compositions of a modern analog method, Polygon, TKN-2004 core, NJ 88 core, TOC content, TN content

中部山岳域における木質材料に関する流通と炭素循環 The distribution and carbon cycle of wood materials in the Japanese Alps region

高村 秀紀^{1*}, 浅野 良晴¹

Hideki Takamura^{1*}, Yoshiharu Asano¹

¹ 信州大学工学部、信州大学山岳科学総合研究所

¹ Faculty of Engineering, Shinshu University and Institute of Mountain Science, Shinshu University

日本の人工林は育林する段階から資源を利用する段階にあると言える。日本中部山岳域である岐阜県と長野県においても民有林の蓄積量が年々増加傾向にあり、その利活用が待たれている。また、木はある樹齢に達すると炭素貯蔵源としての機能は維持するが吸収源としての機能が失われることが分かっている。炭素循環を考慮し、森林を健全な状態で次代へ継いでいくためには、適齢期に伐採を行い、そこに新たに植林を行う。このような資源の循環的な利用によって持続的な森林経営を確立していくことが重要である。実際に住宅で使用されている国産材率は高くないのが現状であり、国産材率上昇のために国産材の供給量を増加させることが重要であると言える。そのため、供給体制の整備と需要拡大が求められている。

既往の研究では、LCA 調査を実施すると共にカーボンバランスを算出し、炭素放出のより少ない材を選択する指標の一つとして手法を確立した。しかし、長野県内のみでの調査にとどまっており、隣県である岐阜県などの他県での調査は行われていない。県により木材の供給体制は異なるため、LCA の手法により、環境負荷の評価に加え、製造過程を明示する必要がある。また、既往の研究において、長野県では木材の供給量を増加させる点から考えると、乾燥機や製材機の保有状況に依る生産能力の問題から、製材工場がボトルネックとなっていることが問題点として挙げられた。岐阜県・長野県ともに保有森林面積は上位である。しかし、製材工場の規模が小さく、製材品出荷量は他県と比べ少ないことが分かる。

これらの状況を踏まえ、岐阜県は H23 年度より「A 材加工戦略プラン」を掲げ、A 材供給量の増加を計画している。その中に「中規模サプライチェーン（既存製材工場の水平連携）」がある。これは、複数の中小規模製材工場から乾燥センターと呼ばれる木材乾燥施設へグリーン材（人工乾燥を行っていない製材品）を出荷し、一括乾燥・仕上げ工程を行い出荷するものである。木材の乾燥可能量が増加することで、供給量の増加が見込める。そこで本論文では、岐阜県において供給量増加を目的とした「中規模サプライチェーン」の製材経路に沿った LCA 調査を実施する。既往研究で明らかとなった長野県の結果を踏まえ、林地や製材工場の各工程における県（産地）による違い、製材経路による違いを調査し、比較検討を行う。また、木材流通調査を実施することにより、製材工場を中心とした木材の流れを明らかにし、流通量増加に向けた供給体制を検討するための現状把握を行うことを目的とする。本論文における LCA の境界条件は既往研究と同様、原材料調達段階から生産段階とし、炭素放出量及びカーボンバランスの算出を行った。本論文ではこのスギとヒノキを実測調査対象とする。

本論文の予備調査において、岐阜県ではシステム販売と呼ばれる林地から製材工場へ原木市場を介さず丸太を直送する方法が約半数を占めていることが分かっている。そして今後システム販売が増加されることが見込まれている。よって本論文では林地から製材工場へ直接搬入するとして算出を行った。また、今回調査を行った Y 製材工場から T 乾燥センターへのグリーン材出荷は、スギの桁材のみを取り扱っていた。よって、「中規模サプライチェーン」に沿った炭素収支の算出は対象をスギの桁材とし、スギの板材については Y 製材工場にて人工乾燥を行い出荷した場合として算出を行った。ヒノキについては製材工場にて人工乾燥を行った場合として算出を行った。次に、製材工場を中心とした木材の流れを把握するために岐阜県内の製材工場に木材流通に関するアンケート調査を実施した。調査内容は年間仕入れ材積量・年間出荷材積量・端材発生量と利用用途・乾燥機の保有状況の 4 項目について行った。岐阜県内の製材工場のうち、取り扱い材積量の多い上位 15 社に対してアンケート調査を実施した。以上より得られた知見を以下に示す。

1) 「中規模サプライチェーン」の製材経路による岐阜県産スギは優位性が認められたため、岐阜県や長野県などの中小規模製材工場が多い地域において有効であると言える。

2) 林地における調査では、長野県産ヒノキに比べ、岐阜県産ヒノキの方が伐採時の歩留りが小さい結果となった。また、絶幹重量の算出により、岐阜県産材の炭素固定量が低い結果が得られ、岐阜県と長野県では炭素固定量に差が見られた。製材工場における調査では、工場が保有する機械によって製材効率が異なるため、出荷材積量当りの電気使用量に差がみられる結果となった。

3) 木材流通調査では、仕入れにおいて林地から直送するシステム販売は 18% であった。出荷において、今回調査を行った製材経路である乾燥センターへのグリーン材出荷は 5% であった。

キーワード: ライフサイクルアセスメント, カーボンバランス, 地場産材, 木造住宅, 中部山岳域

Keywords: life cycle assessment, carbon balance, local wood, wooden houses, Japan Alps region

温暖化による生育期間延長を考慮した落葉広葉樹林における炭素収支 Impact of the expanded growing period length on carbon budget in a deciduous broad-leaved forest in future climate

齋藤 琢^{1*}, 永井信², 吉野純¹, 三枝信子³, 玉川一郎¹, 村岡裕由¹

Taku Saitoh^{1*}, NAGAI, Shin², YOSHINO, Jun¹, SAIGUSA, Nobuko³, TAMAGAWA, Ichiro¹, MURAOKA, Hiroyuki¹

¹ 岐阜大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 国立環境研究所

¹Gifu University, ²JAMSTEC, ³NIES

The growing period length of plants is one of the major interests in studying the current and future carbon cycles in terrestrial ecosystems, since it would directly affect the photosynthetic CO₂ uptake and respiratory CO₂ release in those ecosystems. In this study, we examined the possible effects of growing period length on forest canopy and understory vegetation ecosystem CO₂ budget under future climate conditions, by combining [1] canopy-phenology model based on in-situ canopy observation and its dependency on microclimate and [2] ecosystem carbon cycling model. First, by using daily canopy surface images and air temperature data at the Takayama deciduous broad-leaved forest site (TKY) from 2004 to 2009, we examined the dates of the beginning of leaf expansion, the beginning of autumn leaf color development, and the end of leaf-fall, and their relationships with air temperature. Second, we adapted these relationships between leaf phenology and air temperature to account for the seasonal variation of canopy leaf area index (LAI) under future climatic conditions by referring to the climate projection data based on A1B, A2 and B2 scenarios from CMIP3 Multi-Climatic Models. Under the near future condition (2046 ? 2065) as compared to the current condition (2002 ? 2007), the beginning of leaf expansion and the end of leaf-fall were 10-13 days earlier and 7-9 days later. As a result, the potential growing period was predicted to be enhanced by 17-22 days. We also estimated the photosynthetic period of understory evergreen vegetation (i.e., from the end of snowmelt in spring to the beginning of snow cover in late autumn) under current and near future climate conditions using NCAR/LSM model. Under the near future condition (2046 ? 2065) as compared to the current condition (2002 ? 2007), the end of snowmelt in spring and beginning of snow cover in late autumn were 8-12 days earlier and 5 days later. As a result, the potential length of photosynthetic period of understory evergreen vegetation was predicted to be enhanced by 13-17 days. Then we introduced simulated phenology of canopy leaf area index into NCAR/LSM model to examine its possible effects on photosynthesis (GPP), ecosystem respiration (RE) and resulting net ecosystem CO₂ budget (NEP) of overstory and understory vegetation in the near future climate. Annual total ecosystem GPP, RE and NEP was greater under the future condition than under the current condition by 9-12 %, 9-13% and 12-17%. The increased GPP, RE and NEP were almost accounted by these increased by overstory vegetation. Our analysis indicates the importance of understanding space-time distributions of canopy phenology dynamics and snow-cover and of their consideration into the mechanistic evaluation of ecosystem functions in the climate studies.

キーワード: 炭素収支, 落葉広葉樹, 将来気候, 温暖化, フェノロジー, 林床植生

Keywords: Carbon budget, Deciduous broad-leaved forest, Future climate, Global warming, Phenology, Understory vegetation

空中写真による北八ヶ岳の伊勢湾台風風倒跡地の抽出と現在の森林構造 Mapping of forest area blown-down by the Isewan typhoon and the structure of current forests in Northern Yatsugatake

鈴木 智之^{1*}, 西村 尚之², 鈴木 準一郎³

Satoshi Suzuki^{1*}, NISHIMURA, Naoyuki², SUZUKI, Jun-Ichirou³

¹ 東大・農・秩父演習林, ² 群馬大・社会情報, ³ 首都大学東京・理工

¹The University of Tokyo Chichibu Forest, The University of Tokyo, ²Faculty of Social and Information Studies, Gunma University, ³Grad School of Science & Engineering, Tokyo Metropolitan University

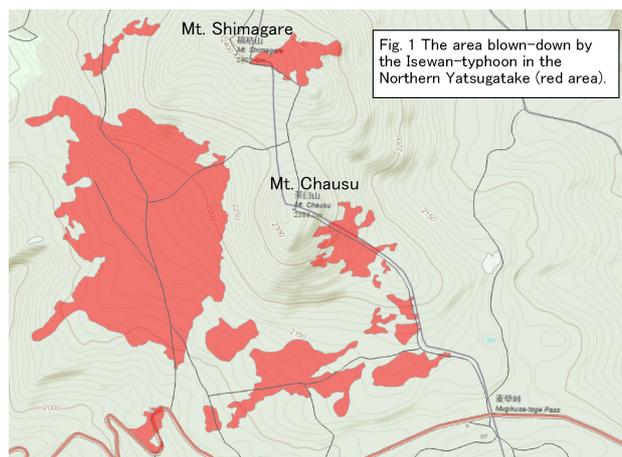
Subalpine forests are susceptible to strong wind. Therefore, strong wind storm, such as typhoon, is an important disturbance which consequently influences structure, dynamics and landscape of subalpine forests in Japan. The Isewan typhoon was the one of the strongest typhoon in 20th century, and destroyed a vast area of forests of central Japan in 1959. However, there are only a few detailed data on where the forest has been disturbed by the typhoon. In this study, the area disturbed by the Isewan-typhoon was mapped for the subalpine region in Northern Yatsugatake by using air photographs. Further, biomass, productivity and forest structure derived from field survey in the disturbed area were compared with that in the undisturbed area.

Aerial photographs taken in 1962 revealed that 10% of the studied forest area was blown-down by the typhoon, especially heavily on a western slope of Mt. Shimagare and Mt. Chauzu (Fig. 1). From aerial photographs taken in 1966, blown-down trees were removed from most of the disturbed area. The above ground biomass of disturbed stands was 70% smaller than that of the undisturbed stands in 2012. The recent growth in biomass in disturbed stands is twice as high as that of undisturbed stands. Although both disturbed and undisturbed stands were dominated by *Abies* species, the disturbed stands lacked *Tsuga diversifolia* and *Picea jezoensis* var. *hondoensis*, compared with the undisturbed stands.

These results indicate that a single super typhoon can destroy a large amount biomass of a subalpine forest and have a large influence on structure and dynamics of a forest even 50 years later.

キーワード: 北八ヶ岳, 伊勢湾台風, 森林の大規模攪乱, 空中写真

Keywords: Northern Yatsugatake, Isewan typhoon, large-scale disturbance on a forest, air photograph



標高万能植物ミヤマハタザオのトライコームおよび光受容体の適応分化 Involvement of trichome and phytochrome in local adaptation along altitudinal gradients in *Arabidopsis kamchatica*

平尾章^{1*}, 恩田義彦², 清水(稲継)理恵³, 瀬々潤⁴, 清水健太郎³, 田中健太¹

Akira Hirao^{1*}, ONDA, Yoshihiko², SHIMIZU-INATSUGI, Rie³, SESE, Jun⁴, SHIMIZU, Kentaro K.³, TANAKA, Kenta¹

¹ 筑波大学菅平高原実験センター, ² 理化学研究所バイオマス工学研究プログラム, ³ チューリヒ大学, ⁴ 東京工業大学

¹Sugadaira Montane Research Center, Univ. Tsukuba, ²RIKEN Biomass Engineering Program, ³Univ. Zurich, ⁴Tokyo Institute of Technology

標高傾度を進化生態学の野外実験システムに適用することは、生物の環境適応研究のための強力なツールとなる。なぜならば標高方向の移動は、緯度方向に比べて約800倍の速さで気温が変化するため、急激な環境勾配によって、表現型のみならず遺伝的な分化の検出が期待されるからである。シロイヌナズナ属野生植物であるミヤマハタザオ (*Arabidopsis kamchatica* subsp. *kamchatica*) は、本州中部山岳地域において標高30~3000mまでの極めて幅広い標高帯に生息する。これまでにミヤマハタザオのさまざまな形質が標高間で遺伝的に分化していることが明らかになってきた。本発表では、標高適応の遺伝的基盤の解明を目的とした適応遺伝子スクリーニングについて概説し、とくに標高との相関が認められたトライコーム(葉や茎の毛状突起)形成制御遺伝子 *GL1* および光受容体遺伝子 *PHYB* の塩基多型解析の詳細を報告する。

キーワード: 標高傾度, 適応, 遺伝子, トライコーム, フィトクローム

Keywords: altitudinal gradients, adaptation, gene, trichome, phytochrome

山岳森林限界の植生移行帯における温暖化実験：二年間の植生への影響

The effect of the warming experiment on the vegetation in the Japanese alpine-forest-limit vegetation transition zone

田中 健太^{1*}、金井隆治¹、正木大祐¹、古川桂子²、高橋一太³、川谷尚平³、藪田泰基²、鈴木智之⁴、平尾章¹、熊田勇斗³、船木昇³、尾鼻陽介²、東俊太郎²、榎拓登¹、長澤亮¹、細川奈々枝³、金井日向子³、板東貴興³、古屋諒³、秋本真宏³、小松快甫³、小林元³

Tanaka KENTA^{1*}、KANAI, Ryuji¹、MASAKI, Daisuke¹、FURUKAWA, Keiko²、TAKAHASHI, Kazuta³、KAWATANI, Shohei³、YABUTA, Taiki²、SUZUKI, Satoshi⁴、HIRAO, Akira¹、KUMATA, Yuto³、FUNAKI, Noboru³、OBANA, Yousuke²、AZUMA, Shuntaro²、MAKI, Takuto¹、NAGASAWA, Ryo¹、HOSOKAWA, Nanae³、KANAI, Hinako³、BANDO, Takaoki³、FURUYA, Ryo³、AKIMOTO, Masahiro³、KOMATSU, Kaiho³、KOBAYASHI, Hajime³

¹ 筑波大学菅平高原実験センター、² 信州大学理学部、³ 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター、⁴ 東京大学秩父演習林

¹Sugadaira Montane Research Center, Univ. Tsukuba, ²Faculty of Science, Shinshu Univ., ³Education and Research Center of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University, ⁴The Univ. of Tokyo Chichibu Forest

山岳森林限界部では標高が100m上昇しただけで、高木帯から低木帯に植生が劇的に変化する。このような場所は、わずかに温度が上昇するだけで生態系が劇的に変化する、地球温暖化に対する感受性が極めて高い生態系だと考えられている。そこで、地球温暖化の影響を解明して対策を講ずるために、山岳森林限界部を人工的に温暖化する実験を2010年に開始し、温暖化による生物多様性と物質循環に与える影響を追跡観測している。この温暖化実験のうち、2012年までの二年間の植生への影響について報告する。

実験地は、中央アルプス将基ノ頭直下の信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学研究センター西駒ステーション演習林内の山岳森林限界部で、標高は約2600mである。オオシラビソ帯とハイマツ帯の間で、樹高4m前後のダケカンパの下に低木等が生えている、平均斜度35度の急斜面である。2010年9月に、105×105×高さ210cmのオープントップチャンバー10基を設置し、そのうち5基は通年温暖化区、残りの5基は冬季にポリカーボネート製の壁を外す夏期温暖化区とした。オープントップチャンバーを設置しない対象区も5つ設定した。全ての実験・対象区に55×55cmのコドラートを設置して植生調査を開始した。

暫定的な解析によると、優占低木であるクロウソグの当年枝成長は、2010-2011年には対照区よりも温暖化区（通年温暖および夏季温暖）で高い傾向があったが、2011-2012年には処理間の差は小さく、温暖化の影響には年変動があることが示唆された。また、2010-2012年のクロウソグとミヤマホツツジ（ともに優占低木）の生存率が対照区よりも温暖化区で高かった。優占草本4種（コガネイチゴ・ゴゼンタチバナ・タケシマラン・ミヤマアキノキリンソウ）の個体数は、温暖化区で対照区よりも2011-2012年に減少する傾向があった。これらの結果は、地球温暖化によって山岳森林限界域では低木が繁茂し、草本が被陰されて衰退することを示唆する。この植生変化が、動物・微生物群集や物質循環にどのような影響を与えるのか、共同研究者とともに調査を続けている。

キーワード: 地球温暖化, 生物多様性, 群集, 生態系, オープントップチャンバー, 中部山岳地域

Keywords: Global warming, Biodiversity, Community, Ecosystem, Open Top Chamber, JALPS

異なる標高帯に生息するクロナガオサムシ亜属 2 種の遺伝的分化に山岳地形が与える影響

Effect of mountainous topography to genetic differentiation of two *Leptocarabus* beetles that inhabit different altitude

小粥 隆弘^{1*}, 平尾章¹, 田中健太¹

Takahiro Ogai^{1*}, Hirao, Akira¹, Tanaka, Kenta¹

¹ 筑波大学菅平高原実験センター

¹ Sugadaira Montane Research Center, University of Tsukuba

日本は世界有数の生物多様性ホットスポットである。高い多様性が維持される主要因の一つに、標高方向に幅広い地形が挙げられる。高山帯では、固着性の植物で数多くの固有種が知られ、分子系統地理学的研究がなされてきた。しかし、山岳地形が遺伝的分化に与える影響を定量的に明らかにした例は少ない。また、全生物種数の過半数を占め、生物多様性を理解する上で最も重要な分類群の一つである昆虫類において、高山帯での分子系統学的研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、地形の起伏が激しい中部山岳地域において、生息標高帯の異なるクロナガオサムシ亜属 2 種を用い、山岳地形が生物の遺伝的分化へ与える影響を定量的に明らかにする。

中部山岳地域において、オサムシ属クロナガオサムシ亜属 (*Carabus*; *Leptocarabus*) のキタクロナガオサムシ (*C. arboreus*) は高標高帯、クロナガオサムシ (*C. procerulus*) は低標高帯に分布する。種間で生息標高帯が異なる場合、高標高種のほうが低標高種よりも地形の影響によって集団間の遺伝的交流が小さくなり、遺伝的分化が大きくなることが予想される。山域間の遺伝的分化の程度と、鞍部 (山域間で最も標高の高い場所) の標高との関係をこの 2 種について調べることで、山岳地形が遺伝的分化に与える影響を定量的に明らかにすることができる。また、中部山岳地域のキタクロナガオサムシは形態学的視点から 7 亜種に分けられているが、亜種が遺伝学的にも支持されるのかは検討されていない。そこで本研究では上記のクロナガオサムシ亜属 2 種を用いて、(1) 高標高種の方が山域間で遺伝的に分化している、(2) 集団間の鞍部標高が遺伝的分化に効いている、という作業仮説を検証した。また、(3) 形態亜種の遺伝的な再検討を試みた。

中部山岳地域の北・中央・南アルプス、八ヶ岳など主要 8 山域で各 2 地点以上、計 28 地点で採集したキタクロナガオサムシ 7 亜種・37 個体とクロナガオサムシ 36 個体から DNA を抽出し、オサムシの系統解析によく用いられる核遺伝 28s rDNA 遺伝子と *Wingless* 遺伝子の塩基配列を決定して系統樹を作成した。さらに、同種個体間総当たりの水平距離 (捕獲地点間の距離) と標高距離 (各捕獲地点と中間鞍部との標高差の絶対値の和) が、遺伝距離 (個体間の総塩基変異数) に与える影響を重回帰分析で調べた。

その結果、(1) 高標高種のキタクロナガオサムシの方が低標高種のクロナガオサムシよりも山域間でハプロタイプが異なる傾向があり、水平距離による遺伝的分化の程度も強く、遺伝的分化が進んでいた (図: 同種個体間総当たりの水平距離と標高距離が、遺伝距離に与える影響。A は高標高種、B は低標高種、×印は採集地点を示す)。(2) 高標高種でのみ、標高距離が離れるほど遺伝的に分化しており (図: Mantel $P < 0.05$)、特に鞍部標高が 1000m 以下の場合にはそれが顕著で、山岳地形による高標高種の地理的隔離効果を定量的に明らかにすることができた。現在だけでなく、過去の山岳地域の遺伝的分化への影響については、検討中である。(3) 約半数の亜種が亜種固有のハプロタイプによって構成されており、形態学的亜種が遺伝学的に支持された。

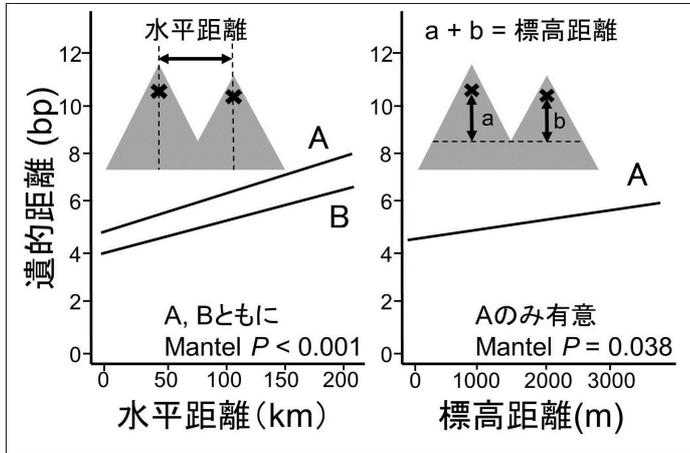
キーワード: 分子生物地理学, 地表徘徊性昆虫, 亜種分化

Keywords: molecular biogeography, ground-beetle, subspeciation

ACG35-16

会場:301A

時間:5月22日 14:30-14:45



長野県南部におけるクロコノマチョウの分布拡大について Range expansion of *Melanitis phedima* in Southern part of Nagano Prefecture

江田 慧子^{1*}, 井原 道夫², 森谷 浩之³, 桐生 雄介³, 辻井 美徳³, 中村 寛志³

Keiko Koda^{1*}, Michio Ihara², Hiroyuki Moriya³, Yusuke Kiryu³, Yoshinori Tsujii³, Hiroshi Nakamura³

¹ 信州大学山岳科学総合研究所, ² 長野県飯田市, ³ 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター

¹Institute of Mountain Science, Shinshu University, ²Iida City, ³Education and Research Center Of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

【はじめに】

クロコノマチョウ *Melanitis phedima* (Cramer) はかつては九州や四国にしか生息していない南方系のチョウであった。しかし、近年、地球温暖化の影響を受けて北上していることが明らかになり、東海・関東地方でも目撃されるようになった。長野県南部には1970年ごろから確認され、1990年代には定着していることが明らかとなった。一方、長野県中部では目撃されているものの、越冬できずにいると考えられている。そこで、本研究ではクロコノマチョウの分布拡大を定量的に明らかにすることを目的として、現在の長野県南部を中心に分布状況を調査し、1981年から蓄積されたデータをもとに今後の生息域の拡大範囲を予測した。また室内において様々な温度帯で飼育を行い飼育温度と発育日数の関係から、卵期の有効積算温度と発育零点を求めたので報告する。

【野外調査】

2011・2012年に長野県上・下伊那地方の過去に目撃情報がある地域を中心に、最南は長野県下伊那郡天龍村、最北は長野県松本市まで173地点の調査を行った。発見したクロコノマチョウの発育段階と個体数をカウントした。クロコノマチョウが確認された場所はGPSデータを取得した。さらに長野県天龍村・中川村・飯田市で定点観測を行い、発育段階ごとの死亡状況を確認した。2011年においては計360個体のクロコノマチョウが確認された。成虫の発生状況から長野県内において年2化であることが明らかになった。標高別の発見地点数は601-800mが最も多かった。また、1000mを越える地点でも発見された。

市町村ごとの分布の推移を見てみると、1981~1990年の分布範囲を基準とすると、1991~2000年に4.2倍、2001~2010年に8.3倍、2011年には9.5倍と分布域が拡大していた。また今後の分布域を、最外郭法を使いシミュレーションしたところ、5年以内には長野県中信地方松本市全域・安曇野市南東・上田市南西で、10年以内には上田市などでも越冬成虫が目撃される可能性が示唆された。定点調査地の発生個体の生育日数は41~43日であった。幼虫の平均生存率は71%と高く、齢期を重ねるごとに死亡する個体は減少していることが確認できた。

【室内実験】

次に2012年にクロコノマチョウの飼育を行った。野外で捕獲したメス成虫に卵を産ませ、産卵した日にインキュベータに入れ、定量的飼育を行った。飼育は日長を16L8Dと一定にし、15、20、25、30の5つの温度区で、卵期からインキュベータ内で行った。

その結果、クロコノマチョウの幼虫は若令期に集合を形成することが分かった。4令幼虫以降は単独で生活した。また多湿条件でないと生存することができないことが分かった。

異なる温度帯で飼育した結果を見てみると、すべての温度帯で孵化率は80%以上となり、温度ごとの差は認められなかった。一方、幼虫の生存率を比較すると最も生存率が高かったのは25の42.9%で、15と30ではほとんど生存できずに死亡してしまうことが明らかとなった。卵から羽化までに要した期間を見ると、最も発育期間が短い30で飼育した個体の発育期間を基準にして、25で1.3倍の日数を、20では1.7倍の発育期間を要した。卵期の有効積算温度とクロコノマチョウ卵期の発育速度(1/D)と温度(T)との回帰直線式は、 $1/D = 0.014T + 0.1464$ となり、これより発育零点は 10.48 ± 1.80 、有効積算温度は 71.61 ± 10.42 日/ となった。

キーワード: クロコノマチョウ, 長野県, 分布拡大

Keywords: *Melanitis phedima*, Nagano Prefecture, Range expansion

中部山岳のシワクシケアリは1種か?: 分子系統解析と化学分類を用いた検証 Is the mountain ant *Myrmica kotokui* a single species?: an approach from molecular phylogeny and chemical taxonomy

上田 昇平^{1*}, 松月哲哉², 野沢泰斗², 山本剛史², 安藤太織², 市野隆雄¹

Shouhei Ueda^{1*}, Matsuzuki, Tetsuya², NOZAWA, Taito², YAMAMOTO, Takeshi², ANDO, Tao², ITINO, Takao¹

¹ 信州大学山岳科学総合研究所, ² 信州大学理学部生物科学科

¹Institute of Mountain Science, Shinshu University, ²Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University

分子系統解析の技術のめざましい進歩によって、これまで形態的にみて単一と考えられてきた「種」のなかには遺伝的に大きく離れた複数の隠れた種（隠蔽種）が含まれる場合があることが明らかになってきた。隠蔽種の発見は生物多様性の正確な評価に必須であり、その地理的な分布調査は生物地理学的・保全生物学的に重要である。しかし、近年では、分子系統解析のみから隠蔽種を分類することには問題があることが指摘されてきた。なぜなら、それぞれの遺伝子は独立した進化的系譜を持つため、種分化の過程を反映する種の系統樹と一致しない可能性があるからである。したがって、隠蔽種の分類は、分子系統解析だけではなく、形態や化学物質を用いた分類など複数の証拠を統合した上でおこなう必要がある。例えば、Schlick-Steiner et al. (2006) は、形態分類では種の判別が難しいヨーロッパのシワアリ属種群の分子系統解析と体表炭化水素の化学分析を併用することによって、ヨーロッパのシワアリ属種群は7つの隠蔽種を含むことを明らかにした。

これまで、我々は、中部山岳の6山域から採集したシワクシケアリの分子系統解析をおこない、形態的に単一種とされてきたシワクシケアリには4つの遺伝的系統が存在すること、および、それぞれの系統は標高傾度に沿って分布を違えている傾向があることを明らかにした (Ueda et al. 2012)。しかし、これらの「系統」は、分子系統解析のみに基づいて推定されたものであり、隠蔽種であるか否かは明らかではない。そこで、本研究では、分子系統解析をおこなった標本を用いて体表炭化水素 (cuticular hydrocarbon: CHC) の化学分析をおこない、シワクシケアリ種内のDNA系統間で体表炭化水素の組成が異なるかどうかを検証した。CHCとは、一般に昆虫類が体表面に持つワックス成分であり、昆虫の体を乾燥から保護する。しかし、ケミカルコミュニケーションが発達したアリ類において、CHCは血縁関係にある巣仲間個体を異種や同種の異巣個体から認識するために使われる。CHCの組成は種特異的であることがわかっており、CHC組成を使った化学分類は隠蔽種の評価に有用である。

我々は、ガスクロマトグラフ質量分析機を用いて、シワクシケアリのCHC組成を分析した。その結果、シワクシケアリの種内には、CHC組成が大きく異なる3つのタイプ (A, B, C) が存在することが明らかになった。得られたCHCタイプと遺伝的系統を比較すると、中・高地型の2系統には単一のCHCタイプ (C) が対応するのに対して、低地型の2系統には2つのCHCタイプ (AとB) が対応し、それぞれの系統内では2つのCHCタイプが混在することが明らかになった。これらの結果は、より高標高に分布するタイプ (C) は生殖的に隔離された「種」の可能性が高いが、低地型のタイプ (AとB) 間では交雑が起り、遺伝子の浸透 (浸透交雑) が起こっていることを示唆する。

キーワード: 隠蔽種, 体表炭化水素, 標高傾度, 浸透交雑, 日本アルプス

Keywords: cryptic species, cuticular hydrocarbon, altitudinal gradient, introgressive hybridization, Japanese Alps

森林性ネズミ2種の生育地分割パターンと寒冷地特異的繁殖行動 Habitat partitioning between sympatric Japanese wood mice

鈴木 亮^{1*}, 坂本信介², 鈴木智之³
Ryo Suzuki^{1*}, Shinsuke Sakamoto², Satoshi Suzuki³

¹筑波大学菅平高原実験センター, ²宮崎大学フロンティア科学実験総合センター, ³東京大学大学院農学生命科学研究科
¹Sugadaira Montane Research Center, University of Tsukuba, ²Divisions of Bio-Resources, Department of Biotechnology, Frontier Science Research Center, University of Tsukuba, ³The University of Tokyo Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences

Habitat partitioning can maintain the coexistence of species with very similar ecological traits. We studied habitat partitioning between terrestrial and semi-arboreal congeneric rodents (*Apodemus speciosus* and *A. argenteus*) that often coexist despite asymmetry in their competitive abilities. To understand seasonal and habitat variation in their partitioning, we evaluated seasonal variation in food resources, habitat use, and habitat similarity between the species in a site comprising a mixture of grassland, pine forest, and mixed forest. Food resources were available on the ground in all vegetation types in spring and autumn, but were severe in summer. *Apodemus speciosus* was observed in all types of vegetation on the ground. In contrast, *A. argenteus* was observed on the ground and on trees in pine forest, especially areas where the understory is covered by dwarf bamboo.

Habitat similarity tests revealed that habitat partitioning between two *Apodemus* species may vary seasonally, and the relationship depends on habitat structure. This study suggests that the mechanism of habitat partitioning between terrestrial and semi-arboreal rodents in temperate forest is more complex than previously recognized.

This study additionally found that breeding seasons of the two species in this cold region were observed on summer from June to October, whereas breeding seasons of them are observed on spring and autumn in many temperate regions in Japan.

キーワード: 共存メカニズム, 水平生育地分化, ニッチ分割, 垂直生育地分化
Keywords: coexistence mechanisms, horizontal partitioning, niche division, vertical partitioning