

再 録

掲載誌	年	タイトル
1 長野県環境保全研究所研究報告 7	2011	中央アルプス千畳敷におけるハイマツの年枝伸長量
2 長野県環境保全研究所研究報告 10	2014	長野県環境保全研究所飯綱庁舎における積雪深連続観測地点近傍の積雪深分布
3 長野県環境保全研究所研究報告 10	2014	IPCC 第5次評価報告書の気候シナリオに基づいた長野県における年平均気温の変化予測
4 地学雑誌 122	2013	地球温暖化が山岳域と極域の生態系に与える影響—人工温暖化実験によって何がわかってきたか?—
5 長野県環境保全研究所研究報告 10	2014	高山帯風衝斜面におけるオープントップチャンバー内の風速の観測
6 鳥類標識誌 23	2011	南アルプス南部(赤石山脈)におけるライチョウ <i>Lagopus mutus japonicus</i> の標識調査
7 長野県環境保全研究所研究報告 10	2014	センサーカメラによる北アルプス後立山連峰の岩小屋沢岳周辺でのニホンジカ初確認
8 長野県自然保護研究所紀要 4	2001	温暖化によって千曲川上流域のイワナ生息地点はどうなるか
9 長野県環境保全研究所研究報告 8	2012	千曲川上流域における魚類の生息状況—夏季水温と関連して
10 長野県植物研究会誌 46	2013	長野県におけるベニシダの分布Ⅱ—西暦2000年から約10年後の分布変化—
11 長野県環境保全研究所研究報告 9	2013	長野市浅川流域におけるセミ類種構成の季節変化および標高分布
12 長野県環境保全研究所研究報告 8	2012	長野県における夏鳥の初認・初鳴き調査(2011年):野鳥関係の8市民団体の会員による
13 長野県環境保全研究所研究報告 10	2014	長野市周辺におけるカラ類の産卵日と気象条件

中央アルプス千畳敷におけるハイマツの年枝伸長量

尾関雅章¹・浜田 崇²・飯島慈裕³

中央アルプス千畳敷カールで得られたハイマツを用いて、1980年から2009年までの30年間の年枝伸長量を計測した。計測した30年間では、ハイマツの年枝伸長量は平均4.14cmであった。この30年間で年枝伸長量は有意な増加傾向を示した。年枝伸長量と気温の関係では、前年の6月と7月の月平均気温と有意な正の相関関係が認められた。

キーワード：ハイマツ，年枝伸長量，年次変動，高山帯，気候変動

1. はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第4次評価報告書は、過去50年で平均気温は急速に上昇し、その原因は人間活動による温室効果ガスの増加である可能性が非常に高いとしている¹⁾。そして、この温暖化にともなう長期的な展望の一つとして「極地や高山の地域社会、生態系など特異で危機にさらされているシステムへのリスクの増加」を示している。

日本の本州中部山岳で、その最上部に形成される高山帯は、北半球におけるハイマツやライチョウなど北方性または周極性の生物の世界的な分布南限となっている。この高山帯域は、その分布域が極めて限定的であること、またその形成に温度、風衝、積雪などの気候条件が深く関与していることから、気候の変化にきわめて脆弱な生態系の一つと考えられる。

ハイマツ *Pinus pumila* Regel は、日本では本州中部山岳から北海道に分布する常緑低木で、中部山岳の森林限界以上の植生における優占種となっている。ハイマツの年枝は、およそ6月から8月にかけて伸長し、その年枝は翌年以降伸長しない²⁾。その特性を利用して、節間の長さから年枝の伸長成長量を20～30年程度さかのぼって計測することができる^{3,4)}。この年枝伸長量は、前年夏の気温と相関が高いことが明らかとなっており^{3,5)}、その性質から、近年の気候変動がハイマツの年枝伸長に及ぼす影響を検討した研究もある⁶⁾。しかし、本州中部

山岳高山帯における気候変動と高山植物の成長に関する研究事例は乏しく、その影響については十分明らかとなっていない。

2009年9月に中央アルプス県立自然公園内ならびに長野県天然記念物の千畳敷カールにおいて、登山道管理の一環として登山道周辺のハイマツが伐採された。このほど、その伐採されたハイマツ幹枝を研究試料として得たことから、中央アルプス高山帯での高山植物の成長量の変動に関する資料として、ハイマツの年枝伸長量を計測したので報告する。

2. 材料と方法

2.1 ハイマツ試料の採取

千畳敷カール (N35° 46'39" E137° 48'47") は、木曾山脈北部の宝剣岳 (標高2,933m) 東方直下に位置し、カール底の標高は2,640mである。カール底はほぼ森林限界に位置しており、カール内の植生は、カール壁や山腹の凸型斜面にハイマツ林、カール底や山腹の凹型斜面に亜高山高茎草原群落、亜高山夏緑低木群落、カール壁上端の稜線部に風衝草原群落などからなる⁷⁾。

今回計測に用いたハイマツは、千畳敷カール底から宝剣岳南峰の鞍部である極楽平 (標高2,700m) に至る登山道の沿線で伐採されたもので、伐採後に集められた幹枝から採取したため、試料の個々の生育位置は明らかではない。

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

2 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

3 海洋研究開発機構地球環境変動領域 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15

2.2 ハイマツ年枝伸長量

ハイマツ年枝長の計測は、損傷のない幹を対象とし、試料から20本を選定し行った。先述のようにハイマツの年間の伸長量は年枝跡間の長さで表されていることから、年枝跡間長の測定によって年枝伸長の推移を把握した。また、ハイマツの年枝を正確に判断できるのは通常20から30年とされる^{3,5,8)}。そのため、今回の調査では、1980年から2009年までの30年間を測定対象とした。

2.3 統計解析と気象観測

ハイマツの年枝伸長量の年次変動傾向の分析には一次回帰分析を用いた。

また、千畳敷カール周辺の気候変動とハイマツの年枝伸長量の関係を検討するため、千畳敷カールより約1.4km北北西で、木曾駒ヶ岳(標高2,956m)の南斜面、標高約2,850mの風衝地において、筆者らが1996年から設置している気象観測サイトでの気温観測資料を用いた。同サイトでは、地上高約1mの気温を観測し、データロガー(Campbell Scientific社製:CR-10X)を用いて記録している。

測定された気温データの1時間値を利用し、月平均気温を算出し、ハイマツの成長期間に相当する6月から9月の月平均気温をもとめた。なお、月平均気温の算出にあたっては気象庁の基準に準じ、日平均気温が得られた日数が月の日数の85%を上回った場合のみ求めた。参考として、同サイトの年平均気温を、月平均気温が12ヶ月分揃った年のみについて求めると、 $-1.48 \sim 0.03^{\circ}\text{C}$ ($n=6$)であった。

ハイマツ年枝伸長量は、前年夏の気温と相関が高いことがすでに報告されていることから^{3,5)}、ここでは、1997年から2009年のハイマツ年枝伸長量と前年の6月から9月の月平均気温の関係について、相関係数を用いて検討した。

3. 結果および考察

3.1 ハイマツ年枝伸長量とその年次変動

ハイマツの年枝伸長量は、30年間の平均で $4.20 \pm \text{SD}1.55\text{cm}$ ($n=551$)であった。30年間を1980年代、1990年代、2000年代に分割すると、1980年代が $3.70 \pm \text{SD}1.40\text{cm}$ ($n=151$)、1990年代は $4.18 \pm \text{SD}1.46\text{cm}$ ($n=200$)、2000年代は $4.60 \pm \text{SD}1.64\text{cm}$ ($n=200$)で、2000年代が最も伸長量が大きかった。

年枝伸長量の年次変動の傾向について一次回帰分

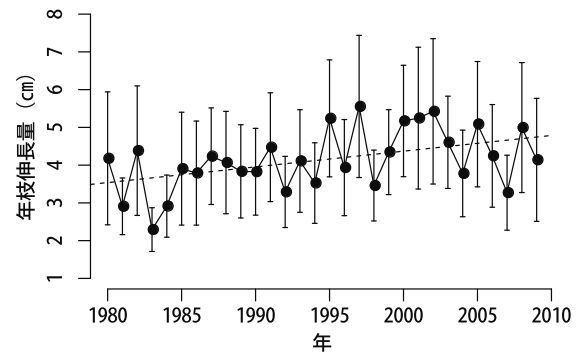


図1 千畳敷におけるハイマツの年枝伸長量の年次変動(1980年から2009年までの30年間)。

主幹20本の平均値 \pm SEを示している。破線は回帰直線 ($Y=-78.90+0.04*X$, $r^2=0.18$, $P=0.011$)。

析を用いて検討すると、今回計測した1980年から2009年までの30年間では、年枝伸長量は有意な増加傾向を示した ($r^2=0.18$, $P<0.05$, $n=30$) (図1)。

Wada, et al. (2005)⁶⁾は、本州中部山岳のうち北アルプスの3山域(浄土山, 爺ヶ岳, 乗鞍岳)においてハイマツ年枝伸長量が1980年から2003年にかけて増加傾向にある一方、北日本のハイマツではそうした傾向が見出されないことを報告している。今回の計測結果から、中央アルプスの千畳敷カールにおいても、近年のハイマツ年枝伸長量の年次変動について、北アルプスと同様の傾向を示すことが明らかとなった。

3.2 ハイマツ年枝伸長量と気温の関係

1997年から2009年のハイマツ年枝伸長量と前年の6月から9月の木曾駒ヶ岳南斜面での月平均気温の関係について、相関係数を用いて検討すると、前年の6月と7月の月平均気温とは有意な正の相関が認められたが ($P<0.05$)、8月と9月については有意な関係は認められなかった(図2)。8月については、弱いがある程度の正の相関関係が認められた ($P<0.10$)。また、ハイマツの成長期間全体(6~8月)の平均気温と年枝伸長量については、有意な正の相関が認められた ($P<0.05$)。

中央アルプス北部の主稜線部でのハイマツの年枝の伸長様式については、年枝は6月から7月にかけて、針葉は6月から8月中旬にかけて伸長すること、また冬芽長は9~10月まで徐々に増加することが報告されている²⁾。

これらのことから、千畳敷カールで得られたハイマツの年枝伸長量には、前年の夏季、とくにハイマ

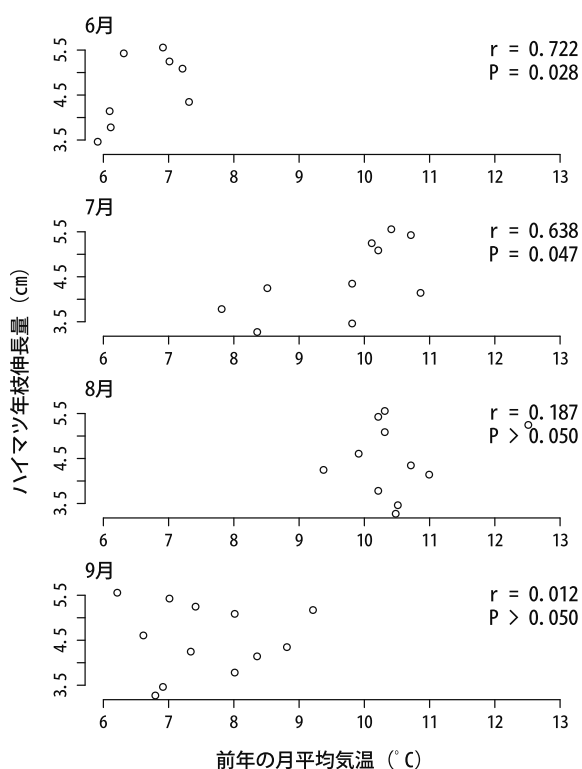


図2 千畳敷におけるハイマツの年枝伸長量（主幹20本の平均値）と、木曾駒ヶ岳南斜面の風衝地（標高約2,850m）における前年の6月、7月、8月、9月の月平均気温（1996年～2009年）の関係。

ツの成長期間のうち、当年枝や葉の伸長がすすむ6～7月の気温がより強く関与している可能性が考えられる。また、こうした年枝の季節的な伸長との関係だけでなく、千畳敷カール内では、6月から7月にかけて融雪がすすむことから、6～7月の気温により融雪状況が変化し、ハイマツの同化開始の時期や同化期間を変動させ、翌年の年枝伸長量が変動している可能性も考えられる。

一方、上記のハイマツ年枝伸長量が過去30年間で増加傾向にあること、およびこのハイマツ年枝伸長量と前年6・7月の木曾駒ヶ岳付近の気温に正の相関関係が認められたことから、木曾駒ヶ岳周辺の高山帯では、夏季の気温が過去30年間で増加傾向にあった可能性が示唆される。

日本の山岳地では、富士山や伊吹山などにおいて気温の上昇傾向が報告されているが⁹⁾、山岳地の観測地点は少なく、山岳地での気候変動の監視にむけた山岳気象観測地点網の今後の整備が期待される現状にある¹⁰⁾。今回の年枝伸長量をはじめとするハイマツの成長量と既存気象観測資料との関係の解析は、気象観測資料の乏しい山岳地での気候変動に関する学術的資料として期待される。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、南信森林管理署、長野県教育委員会事務局文化財・生涯学習課にはハイマツの幹枝の採取について多大なる便宜をはかっていただいた。また、年枝伸長量の計測には、宮澤雅光氏の協力をいただいた。石川県白山自然保護センターの野上達也氏には、ハイマツ年枝伸長量について有益な助言をいただいた。ここに記して深謝致します。なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費(S-8)の支援により実施された。

文 献

- 1) IPCC (2007) Climate change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press.
- 2) Kajimoto, T. (1993) Shoot dynamics of *Pinus pumila* in relation to a altitudinal and wind exposure gradients on the Kiso mountain range, central Japan. *Tree Physiology* 13: 41-53.
- 3) Sano, Y., Matano, T., and Ujihara, T. (1977) Growth of *Pinus pumila* and climate fluctuation in Japan. *Nature* 266: 159-161.
- 4) 尾関雅章・井田秀行 (2001) 亜高山帯・高山帯を通過する車道周辺の植物相および植物生態に関する研究. 長野県自然保護研究所紀要4(別冊2): 27-39.
- 5) Takahashi, K. (2003) Effects of climatic conditions on shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 35: 1-7.
- 6) Wada, N., Watanuki, K., Narita, K., Suzuki, S., Kudo, G., and Kume, A. (2005) Climate change and shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila* Regel): Comparisons between six Japanese mountains. *Phyton (Austria)* 45: 253-260.
- 7) 亀山章 (1979) 木曾駒千畳敷周辺の植生—植物群落と生育環境について—. 信州大学農学部演習林報告 16: 57-85.
- 8) 沖津進 (1988) ハイマツ年枝生長の地理変異.

- 日本生態学会誌 38: 177-183.
- 9) Yoshino, M. (2006) Global warming and mountain environment. *Global Environmental Research* 10: 3-12.
- 10) 長野県環境保全研究所 (2008) 長野県環境保全研究所研究プロジェクト成果報告書 6 長野県における地球温暖化現象の実態に関する調査研究報告書 . 長野県環境保全研究所.

Shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) in Senjojiki cirque, central Japan

Masaaki OZEKI¹, Takashi HAMADA² and Yoshihiro IJIMA³

1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan

2 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan

3 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology Research Institute for Global Change,
2-15 Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-0061, Japan

長野県環境保全研究所飯綱庁舎における 積雪深連続観測地点近傍の積雪深分布

田中博春¹・浜田 崇¹

長野県環境保全研究所飯綱庁舎の敷地広場にて、2013年1月21日から15日間、超音波積雪深計と定点撮影カメラを併用して、積雪深の空間分布を連続観測した。その結果、積雪深は観測地中央部が最も大きく、既設積雪深計が設置されている観測地縁辺部に近づくほど、積雪深が大きく減少してゆく傾向が認められた。一方、積雪深の評価期間に限られるが、観測地中央部と縁辺部の積雪深の間には非常に高い相関が認められた。この関係を利用することで、既設積雪深計の測定値から、観測地中央部の積雪深を推定可能であることがわかった。

キーワード：積雪深空間分布、定点撮影カメラ、飯縄山

1. はじめに

長野県環境保全研究所では、飯綱庁舎敷地内（標高約1030m）で、2003年から継続的に積雪深を連続観測している。

一方、2010年度から開始した、長野県における地球温暖化の影響評価及び適応策立案手法の開発に関する調査研究（信州クールアース推進調査研究事業：平成22～26年度）¹⁾では、長野県における気候変動の実態把握が主要な課題のひとつとなっている。このため、長期間の連続観測データの重要性が増している。

しかしながら、積雪期間中に観測地を目視すると、既設積雪深計の積雪深測定位置近傍に、明瞭な積雪深の勾配が認められることがある。

そこで本報では、定点撮影による独自の手法で既設積雪計近傍の積雪深の空間分布を測定し、より詳細な積雪深の空間分布とその時間的な変化傾向を把握することを研究の目的とした。

2. 観測地の概要

環境保全研究所飯綱庁舎は長野県長野市の飯綱高原にあり、緯度 $36^{\circ} 43'$ 、経度 $138^{\circ} 09'$ 、標高1030mの地点に位置する²⁾（図1、a地点）。ここは

飯縄山（1917m）南東斜面にあたり、周囲には高原状の小起伏火山麓斜面が発達する。周囲の平均的な斜度は $8\sim 15^{\circ}$ ³⁾で、周囲の植生は主にカラマツ林から構成されている⁴⁾。

飯綱庁舎では、積雪深の観測を庁舎の南西約150mに位置する庁舎敷地内第2駐車場にて実施している²⁾（図1、b地点；以下、観測地と略）。観測地は、周囲を樹高20m程度の樹林に囲まれた平坦地にある。積雪期には閉鎖され、人為的な除雪や、除雪による雪の堆積がほとんどない。既設積雪深計は、観測地平坦面の北東端に位置し、平坦面とその北東側の樹林の境界にある。

観測地での既設積雪深の測定方法は、目盛りのある観測ポールを目視読み取り（2003年1月中旬

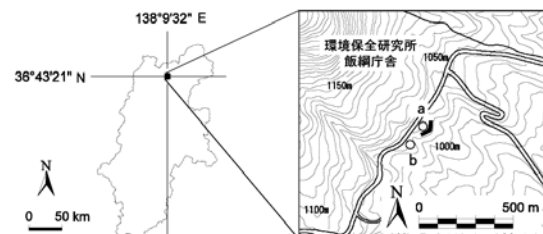


図1 観測地域および観測地点

a:環境保全研究所, b:第2駐車場(積雪深観測地)
この背景地図等データは、国土地理院の電子国土Webシステムから配信されたものである。

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

～2004年11月、毎日9時測定)と、超音波式積雪深計(2004年12月以降、10分ごとの瞬間値をデータロガーにて記録、Campbell Scientific, Inc.:SR50.以下、既設積雪深計と略)である²⁾。

3. 観測方法

積雪深の連続測定は、現在では超音波式や光学式の積雪深計が用いられることが多い。一方、近年はデジタルカメラの進歩が著しく、高性能・安価な市販品が次々と発売されている。それらの機器を利用することで高精度かつ安価な野外モニタリングが可能となった。筆者らは、市販のデジタルカメラを利用し、雪面に立てた観測ポールを定点インターバル撮影することで積雪深を求める研究をこれまで実施してきた^{5)~9)}。この手法は、カメラの撮影視野範囲

内であれば、積雪深の測定を多点で安価に実施できることに特徴がある。今回はデジタルカメラとしてキヤノン製 EOS kiss X4 (画素数 5184×3456 ピクセル) を利用し、冬季の積雪深測定に応用した。

デジタルカメラを利用した積雪深の推定方法は以下の通りである。まず観測地の北東端にある既設積雪深計の近傍から観測地中央にかけて北東-南西方向に測線を設定し、測線上に直立する観測ポールを6本設置した(図2)。観測地の北東側縁辺部のポールの名称を No.1、観測値中心部に近いポールを No.6 とした。既設積雪深計に最も近いポールは No.2 であり、その距離は約 1.9m であった。ポールは、観測地の縁辺部に近づくほど間隔を狭く配置した。

また、それらが視野内に収まる位置にデジタルカメラを固定し、30分間隔で雪面を撮影した。撮影に際しては、夜間での視認性を上げることを目的とし

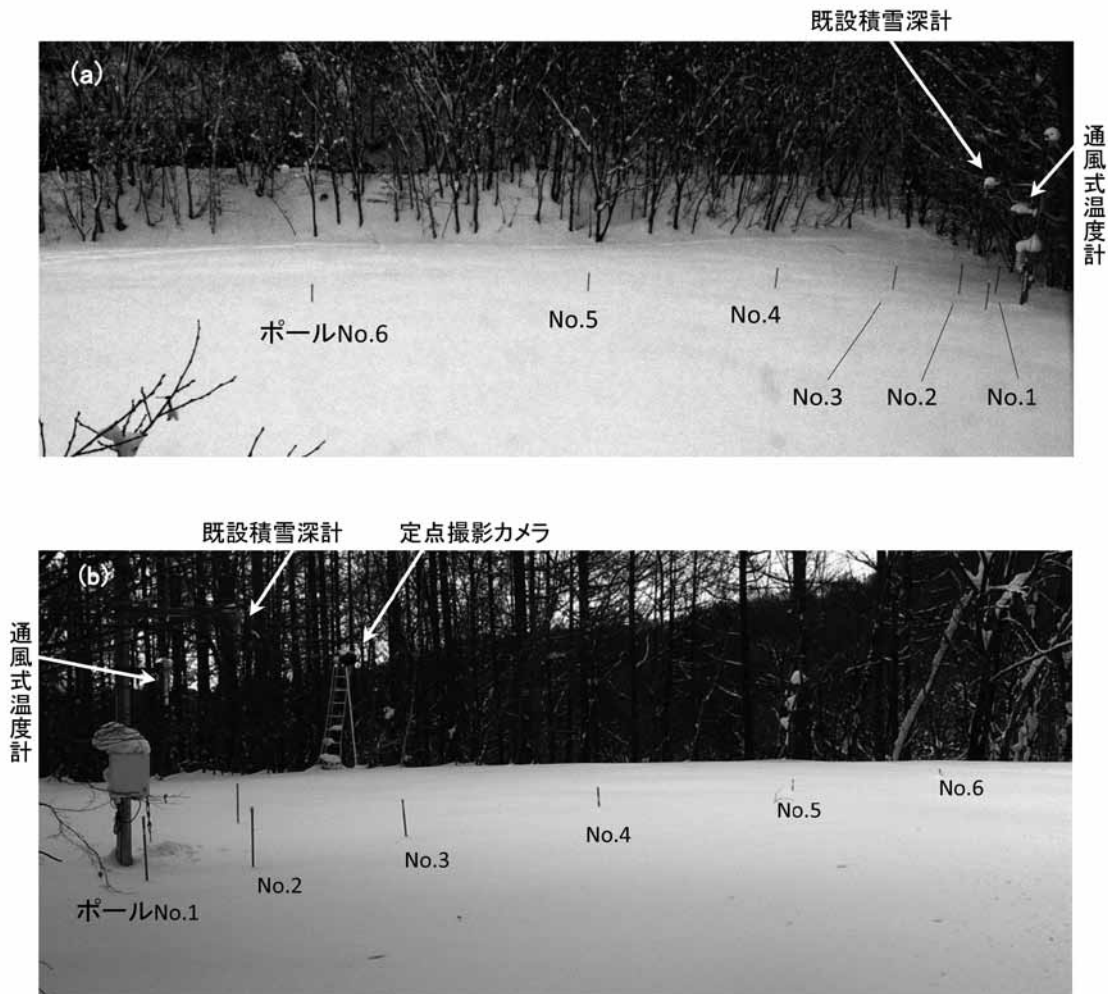


図2 観測地における観測機器の配置

(a)観測地南側から北側を望む(2013年1月27日撮影)、(b)観測地北側から南側を望む(2013年2月26日撮影; 評価期間外)。

て、ポールには橙色の高輝度反射シートを貼り付け、カメラ直上から LED ライトを照射した。

積雪深の測定は、画像上にて以下の長さ(画素数)を測定することで行った(図3)。

- X: 雪面下に隠れたポールの長さ(積雪深に相当)
 - A: ポールの先端から根元までの長さ
 - B: ポール先端から雪面上に見えるポール根元までの長さ
- $X = A - B$: 積雪期の積雪深 (式1)

無積雪期にポールの長さを実測し、無積雪期の画像上でのポールの長さを測定した。前者を後者で除することにより、1画素あたりのポールの長さを求めた。画像上での1画素は、約3.3~4.6mmに相当した。式1で求めた雪面下のポールの長さ(X)にこの値を乗ずることで、各ポール位置における積雪深を推定した。

本手法の測定精度は、定点撮影カメラと既設積雪深計の距離が9.5mの場合、概ね1cmであることを確認している⁹⁾。本観測で最遠となるポールNo.1と定点撮影カメラとの距離は22.3mであるため、測定精度は2cm程度となる。

積雪深観測の評価を行った期間は、2013年1月21日~2月5日の15日間とした(以下、評価期間と略)。評価期間では融雪によるポールの周囲の雪孔は昼間を含めて目視されなかった。このため、雪孔の補正は実施しなかった。

画像からの積雪深の読み取りは、評価期間の午前0時の画像で行った。後述の気象庁による積雪深の観測値も午前0時の測定値のみを利用した。

4. 結果および考察

図4に、既設積雪深計と、気象庁の長野地方気象台、アメダス信濃町における、2012~2013年冬季の積雪深の時系列変化、およびその中で評価期間

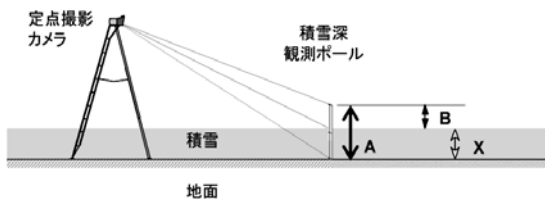


図3 定点撮影カメラによる積雪深計測概念図

の範囲を示した。評価期間は15日間と短い、評価期間はこの冬季の中では平均的な積雪深であったことがわかる。評価期間内の既設積雪深計による積雪深は、最大が1月27および28日の81.1cm、最小が2月5日の52.0cmであった。

図5に、評価期間内の測線上の積雪深分布の事例を示した。図示した事例は、評価期間の初日(1月21日)、最終日かつ評価期間内の最小積雪深日(2月5日)、および評価期間内の最大積雪深日(1月28日)である。観測期間内は、観測地の中心部(ポールNo.6)から北東側縁辺部(ポールNo.1)に向かうにつれ積雪深が減少してゆく傾向が、事例日を含むすべての日において認められた。積雪深の減少量は、縁辺部に近づくほど大きくなった。ただし、最も端にあるポールNo.1は、1.0m観測地中央部側に位置するポールNo.2と積雪深の値が大きく変わらないことがあった。

図6は、既設積雪深計に最も近いポールNo.2、中央部のポールNo.6と、既設積雪深計の積雪深の時系列変化である。3地点の積雪深の変動が同期していることがわかる。

評価期間内の既設積雪深計とポールNo.6の積雪深差の平均と最大は、それぞれ34.6cmおよび40.9cm

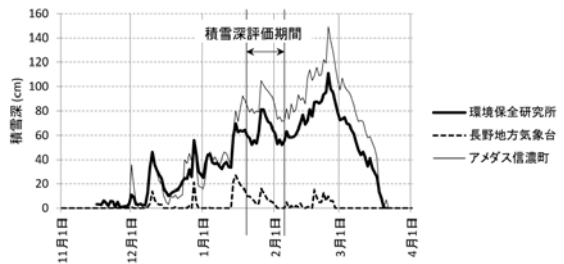


図4 2012~2013年冬季の積雪深時系列変化と評価期間の範囲

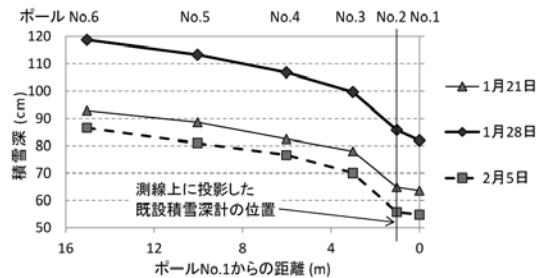


図5 観測地北東側縁辺部から中心にかけての積雪深分布

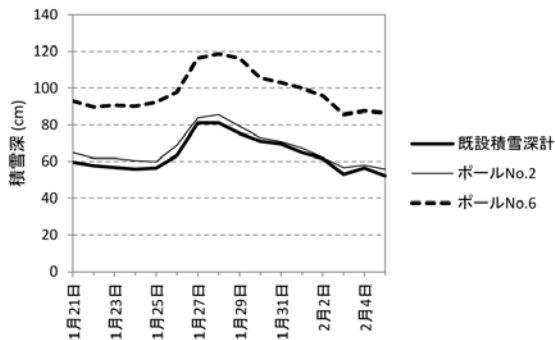


図6 観測地の縁辺部(ポール No.2)と中心部(ポール No.6)の積雪深時間経過図

であった。評価期間内は、観測地の中心部と縁辺部の間に平均して 35cm に近い積雪深差があったことになる。同じく、既設積雪深計とポール No.2 の積雪深差の平均と最大は、それぞれ 3.4cm および 5.8cm であった(積雪深は常にポール No.2 の方が大きい)。さらに、観測ポール間の積雪深を 1cm 刻みで直線近似し、空間補間を行うことで求めた測線上の平均積雪深と、既存積雪深計の積雪深の差を取ると、平均で 21.5cm、最大で 27.9cm となった。既存積雪深計の積雪深と測線上の平均積雪深の比は最小 0.69、最大 0.77 であり、平均すると既存積雪深計の積雪深は、測線上の積雪深より 27% 小さかった。

また、観測地縁辺部にあるポール No.2 と No.3 の間の距離は 2.0m であるにもかかわらず、評価期間の平均で 12.8cm、最小でも 7.8cm の積雪深差があった。

以上から、既設積雪深計の測定値は、測線上の平均的な積雪深と比較して小さな値となっていること、および既設積雪深計近傍には、大きな積雪深の勾配が認められることが判明した。

観測地中心部から縁辺部に近づくにつれ、積雪深が大きく減少する定性的な理由としては、以下が想定される。(1)森林の開空率：樹林に近づくほど樹林による降雪遮断量が大きくなり積雪深が減少する。(2)冬季の卓越風向と林縁分布の関係：既存積雪計は観測地北東縁に位置し、観測地での冬季卓越風向である北東風時には、樹林が降雪を遮断する位置関係になる。(3)局所的な風向風速の差異、(4)微地形の影響：観測地北西縁は高さ 3m 程度の盛り土が連なり、その上に高さ 15m 程度の樹木が植えられている。(5)観測地内の日射環境の差異：既存積雪深計は観測地北東縁に位置し、観測地内では日射があたる時間

が長く融雪が促進されやすい。

一方、既設積雪深計の積雪深を x (cm)、No.6 の積雪深を y (cm) とすると、両者に以下の有意な関係が認められた ($r = 0.99$, $P < 0.01$)。

$$y = 1.14x + 25.5 \quad (\text{式 2})$$

このことから、評価期間に限れば、式 2 を用いることで、既設積雪深計の積雪深測定値から、観測地中央の積雪深を推定することができる。

評価期間内における既設積雪深計の最大積雪深は 81.1cm であり、また既設積雪深計測定での 2012～2013 年冬季の最大積雪深は 111.1cm (2013 年 2 月 25 日 0 時) であった。式 2 の関係性を評価期間外に適用し外挿すると、観測地中央部の積雪深は、それぞれ 118.1cm, 152.4cm となると推定された。

ただし、式 2 の関係性は評価期間の観測値から得られたものであり、評価期間中の積雪深の変動幅も限られている。このため、式 2 の評価期間外での成立性については、今後検証が必要である。

本研究の結果、空間代表性を考慮すると既設積雪深計は望ましい位置に設置されていないと考えられた。2003 年の観測開始以降、約 10 年間に経過する間に近傍の樹木が生長し、その結果、既設積雪深計近傍の積雪分布への樹木の影響がより大きくなってきた可能性がある。今後は可能であれば、既存積雪深計の設置位置を、より適切な場所へ移動することを検討したい。

謝 辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費 (S-8) の支援により実施された。

文 献

- 1) 長野県環境保全研究所 (2012) 長野県における適応策立案手法開発のための検討報告書：http://www.pref.nagano.lg.jp/kanken/chosa/kenkyu/coolearth/documents/adaptation_report_nagano120328.pdf (2013 年 11 月確認)
- 2) 浜田 崇・北野 聡・富樫 均 (2005) 2002 年～2004 年の飯綱高原における気象観測結果。長野県環境保全研究所研究報告 1 : 57-61.
- 3) 長野市飯綱高原自然復元基本調査委員会 (1993)

- 長野市飯綱高原の豊かな自然復元基本調査報告書 (本編), 421pp.
- 4) 尾関雅章, 大塚孝一, 浜田崇 (2003) 長野市飯綱高原のカラマツ人工林の森林構造. 長野県自然保護研究所紀要 6 : 45-48.
 - 5) 田中博春・小熊宏之・山形与志樹・藤沼康実・平田竜一 (2004) 定点連続撮影カメラを利用した積雪深推定方法の検討. 日本気象学会 2010 年春季大会講演予講集 85 : 333.
 - 6) 田中博春 (2009) 定点連続撮影カメラを用いた林床積雪深の推定方法. 平成 21 年度日本気象学会東北支部気象研究会予稿集 : 5-6.
 - 7) 田中博春・森山真久・菅野洋光 (2010) フィールドモニタリングカメラシステムを利用した積雪深の観測. 日本気象学会 2010 年春季大会講演予講集 97 : 331.
 - 8) 田中博春・森山真久・菅野洋光 (2010) デジタルカメラとインターネットを利用した積雪深モニタリングシステムの開発. 雪氷研究大会 (2010・仙台) 講演要旨集 : 49.
 - 9) 田中博春・浜田崇 (2011) デジタルカメラを利用した積雪深測定方法の自動化に関する検討. 雪氷研究大会. 雪氷研究大会 (2011・長岡) 講演要旨集 : 247.

Snow depth distribution around continuous meteorological observation point at Nagano Environmental Conservation Research Institute, Iizuna branch

Hiroharu TANAKA¹ and Takashi HAMADA¹

*1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*

IPCC 第 5 次評価報告書の気候シナリオに基づいた 長野県における年平均気温の変化予測

田中博春¹・陸 齊¹

長野県における気候変動予測の基礎情報として、IPCC 第 5 次評価報告書の気候シナリオに基づき、長野県の年平均気温の変化量を予測した。温室効果ガス排出抑制の程度が異なる 3 つのシナリオを用い、20 世紀末、21 世紀中頃および 21 世紀末の 3 つの計算対象期間について、県全域の気温上昇量の計算を 1km メッシュで行った。気温上昇量が中程度の気候モデルで計算した場合、20 世紀末を基準とした長野県の気温上昇量は、21 世紀中頃には 1.7~2.1℃、21 世紀末には 2.0~4.7℃と予測され、より厳しい温室効果ガス排出抑制策が実施されるほど、長野県においても気温上昇が抑えられる結果が得られた。気温上昇量予測値のシナリオ間の差は、21 世紀中頃には 0.4℃の幅に収まったが、21 世紀末には 2.8℃に広がり、抑制策の程度で 21 世紀末の気温上昇量に大きな開きが出る予測結果が得られた。

キーワード：IPCC 第 5 次評価報告書、気候シナリオ、S-8 共通シナリオ、気温分布、1km メッシュ、長野県

1. はじめに

気候変動の予測は、近年の研究進展により精緻化が進み、国スケールから都道府県スケールの予測が可能となってきた。また気候変動が、水資源、生態系、農業、防災、健康などの様々な分野に及ぼす影響の予測についても同様に、都道府県スケールの予測が可能となってきている¹⁾。

環境省は都道府県スケールの詳細な気候変動影響予測の実施と、それに基づく地方自治体での気候変動影響への対策に関する研究を行うプロジェクト、環境省環境研究総合推進費 S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究²⁾」(以下、S-8 と略)を 2010 年度から開始した。

当研究所は S-8 に参画し、S-8 に対応した県環境部の主要事業「信州クールアース推進調査研究事業³⁾」を同じく 2010 年度から開始した。S-8 で長野県はモデル自治体に選定され、長野県を対象とした様々な分野の気候変動影響予測が実施されることとなった。本事業では、それらの成果に基づき、地方自治体における気候変動の影響への対策、すなわち気候変動適応策の立案手法を開発することが、主要な研究課

題となっている。

S-8 では、気候変動の影響を受けると想定される様々な分野の気候変動影響評価を共通の基準で実施するために、「S-8 共通シナリオ³⁾」が作成された。ここでのシナリオとは、気候変動影響の予測を実施するために用意された将来想定データのことであり、S-8 共通シナリオでは、気候、人口、土地利用のシナリオが作成された。

その第 2 版の気候シナリオ⁴⁾(以下、本気候シナリオと略)は、2013 年 9 月に公表された IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第 5 次評価報告書の第 1 作業部会報告書⁵⁾(以下、AR5 と略)で採用された複数の気候モデルからなる気候シナリオを、日本における気候変動影響評価向けに 1km メッシュでダウンスケーリングし整備したものである(正確には 3 次メッシュ(第 3 次地域区画);緯度間隔 30 秒,経度間隔 45 秒)³⁾。

当研究所では、今後本気候シナリオを利用し、気候変動が長野県に及ぼす影響予測を実施することになる。本報では、その基礎情報となる長野県の年平均気温分布の予測結果を記すこととする。

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

2. データと方法

本気候シナリオには、RCP（代表的濃度経路）シナリオ⁶⁾、計算対象期間、気候モデル別に、1kmメッシュにダウンスケーリングされた日本域の気象要素の月別値が収録されている。それらの詳細、集計方法、および図化方法について、以下に示す。

2.1 RCPシナリオ

本気候シナリオでは、将来の温室効果ガス濃度変化の想定として、AR5で採用されたRCP(Representative Concentration Pathway；代表的濃度経路)シナリオ⁶⁾が用いられている。これは、今後の温室効果ガス排出抑制策の程度に応じて、温室効果ガスがどの程度の濃度で安定化するか想定したシナリオである。想定には、温室効果ガス濃度の代表的な時間変化経路も含まれている。RCPシナリオには2100年時点の放射強制力に応じて名前が付けられており、RCPに続く値が大きいほど将来の気温上昇量が大きいシナリオとなる。放射強制力とは、産業革命(1750年)以降の対流圏の上端におけるエネルギー収支の変化量(単位； W/m^2)のことであり、値が正の場合は地表の温度が上昇することを意味する⁶⁾。

具体的に記すと、RCP2.6シナリオは、最大限の温室効果ガス排出抑制策により、産業革命以降の気温上昇量を $2^{\circ}C$ 以下に抑える「 $2^{\circ}C$ 目標」を達成するためのシナリオ⁶⁾であり、RCPシナリオの中では今後の温室効果ガス排出量が最も少ない。一方、RCP8.5シナリオは、IPCC第4次評価報告書で用いられた化石燃料の消費に将来も依存するシナリオ(SRES A1FI)に近く⁷⁾、RCPシナリオの中では今後の温室効果ガス排出量が最も多い。RCP4.5シナリオは両者の中間であり、現実的な温室効果ガス排出抑制策を講じた場合を想定している。RCPシナリオで想定された2100年時点の大気中の CO_2 濃度(世界平均)⁸⁾は、RCP2.6シナリオが421ppm、RCP4.5シナリオが538ppm、RCP8.5シナリオが936ppmである。参考までに、温室効果ガス世界資料センターが解析した2012年の世界平均の CO_2 濃度⁸⁾は、393.1ppmであり、前年からの年平均増加量は2.2ppmである。

RCPシナリオの実現可能性について記すと、RCP2.6シナリオ実現のためには、人為的な CO_2 排出量を、2100年までにゼロかマイナス(CO_2 を吸収する)にする必要があり⁵⁾、現状ではその実現はか

なり厳しい。RCP4.5の場合でも、21世紀後半における CO_2 排出量は現在の35%程度としなければならず⁷⁾、その実現には厳しい排出抑制が必要と想定される。

なお、AR5のRCPシナリオには、RCP6.0シナリオが含まれるが、本気候シナリオにはRCP6.0シナリオが含まれていないため、本稿では扱わない。

2.2 気候モデル

本稿では、本気候シナリオの中から、気候モデルに国立環境研究所などが開発したMIROC5⁹⁾を選定し、その予測結果を示した。MIROC5は、AR5の気候モデルの中では中程度の気温上昇量を示す⁴⁾。

2.3 計算対象期間

本気候シナリオの計算対象期間は、20世紀末(1981~2000年の平均値)、21世紀中頃(2031~2050年の平均値)、21世紀末(2081~2100年の平均値)の3期間である。気温上昇量の予測結果は1981~2000年の平均気温を基準とし、それからの気温の上昇量を示した。

2.4 気象要素と時間解像度

本気候シナリオには、平均気温、最高気温、最低気温、降水量の月別値が収録されている。本稿では、上記計算対象期間の月平均気温を基に、計算対象期間別の年平均気温を求めた。

2.5 長野県全域を平均した年平均気温の算出方法

長野県全域の年平均気温は、長野県内外を1kmメッシュで区切り、メッシュの半分以上の面積が長野県で占められるメッシュを選定した上で、該当するメッシュの年平均気温を平均して求めた。

2.6 長野県の年平均気温の分布図

長野県の年平均気温分布の予測結果を、計算対象期間別、RCPシナリオ別に1kmメッシュの分布図で示した。図は濃色であるほど気温が高いことを意味する。図化に際しては、オープンソースのGISソフトウェアであるQGIS 2.0¹⁰⁾を利用した。

3. 結果

図1は、上記内容に基づいた長野県全域の年平均気温の計算結果を、計算対象期間別、RCPシナリオ

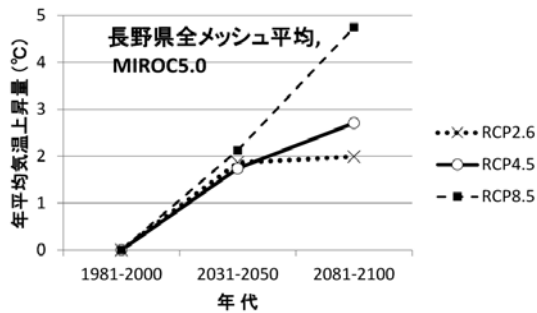


図1 長野県全域を平均した気温上昇量の予測結果 (計算対象期間別・RCPシナリオ別) 気候モデルはMIROC5を利用. 凡例のRCPとそれに続く数値は、RCP (代表的濃度経路) シナリオの名称を意味し、RCPに続く値が大きいほど気温上昇量が大きいシナリオであることを示す.

別に示した図である (単位: °C). 2031~2050年を平均した長野県全域の気温上昇量は、RCP2.6の場合は+1.9°C, RCP4.5の場合は+1.7°C, RCP8.5の場合は+2.1°Cと予測された. 同じく2081~2100年を平均した長野県全域の気温上昇量は、RCP2.6の場合は+2.0°C, RCP4.5の場合は+2.7°C, RCP8.5の場合は+4.7°Cと予測された.

RCPシナリオ間の気温上昇量の差に着目すると、長野県全域の2081~2100年の気温上昇量は、RCP2.6シナリオとRCP8.5シナリオの間で2.8°C異なる予測となった. しかし、同じシナリオ間の2031~2050年の気温上昇量の差は0.4°Cであり、21世紀中頃は、RCPシナリオ間で気温上昇量の予測値に大きな差が生じなかった. その理由としては、21世紀中頃までの気温上昇はこれまでに排出された温室効果ガスの寄与が大きく、今後の排出抑制策の程度は大きく影響しないことが挙げられる. 気温上昇量の予測が狭い温度幅に収まることは、現実的な気候変動影響の想定を立てやすくなるとも考えられる.

これに対し今世紀末の気温上昇量は、RCPシナリオにより大きく異なる. 今後の世界的な温室効果ガス排出対策次第で、長野県の気温の予測結果も大きく変わることになる.

図2は、図1と同じ条件を基に、長野県の年平均気温の予測結果を1kmメッシュで表現した分布図である. 長野県内の相対的な気温分布は、主に標高に依存しており、標高の高いところほど低温、標高の低いところほど高温になっている.

予測結果を詳細に見ると、県内で最も気温が低い

と予測されたメッシュと、最も気温が高いと予測されたメッシュは、RCPシナリオや計算対象期間によらず、常に前者が白馬村の白馬岳付近、後者が天龍村役場付近であった. これら2つのメッシュの気温上昇量と、県全域を平均した気温上昇量を比較すると、こちらも常に、最も気温が低いメッシュ、県全域平均、最も気温が高いメッシュの順に気温上昇量が高い予測となった. 長野県においても、20世紀末の気温が低い地点ほど21世紀末までの気温上昇量が高くなる傾向があることが推察された.

また、最も気温上昇量が大きくなる21世紀末におけるRCP8.5シナリオの予測では、長野、松本、飯田周辺の低平地には、年平均気温が16°Cを超える領域が生じる結果が得られた. この条件におけるそれぞれの都市の気温上昇量は、+4.8°C, +4.6°C, +4.9°Cと予測された. 3都市の中心部にある気象庁アメダス観測所の年平均気温の1981~2000年平均値にこの値を加えると、それぞれ16.8°C, 16.4°C, 17.7°Cとなった. この期間の年平均気温の平均値が上記の値に該当する他県のアメダス観測所を調べた結果、以下の事項が推定された.

最も気温上昇量大きいRCP8.5シナリオで年平均気温の変化を予測すると、21世紀末の長野は20世紀末の日向 (宮崎県) に、松本は大分 (大分県) に、飯田は宮崎 (宮崎県) に相当する年平均気温となることが推定された.

4. まとめ

AR5の気候シナリオを、日本向けに1kmメッシュで整備したS-8共通シナリオ第2版を利用し、気候モデルにMIROC5を用いた場合の長野県の年平均気温予測結果を、計算対象期間別、RCPシナリオ別に示した. 予測結果は、長野県全域についてはグラフで (図1)、個々の地点については1kmメッシュの分布図で示した (図2). 長野県を対象とした予測であるが、予測で得られた年平均気温の変化は世界規模の予測と同様の傾向を示し、RCPの値が大きいシナリオほど長野県内も高温となる予測結果となった.

本報告は、AR5に基づき今後長野県で実施してゆく気候変動予測の端緒となる成果である. 本成果と同様の手法で様々な気象要素の予測が可能である. それら気象要素の予測を基に、長野県を対象とした様々な分野の気候変動影響予測を実施していきたい.

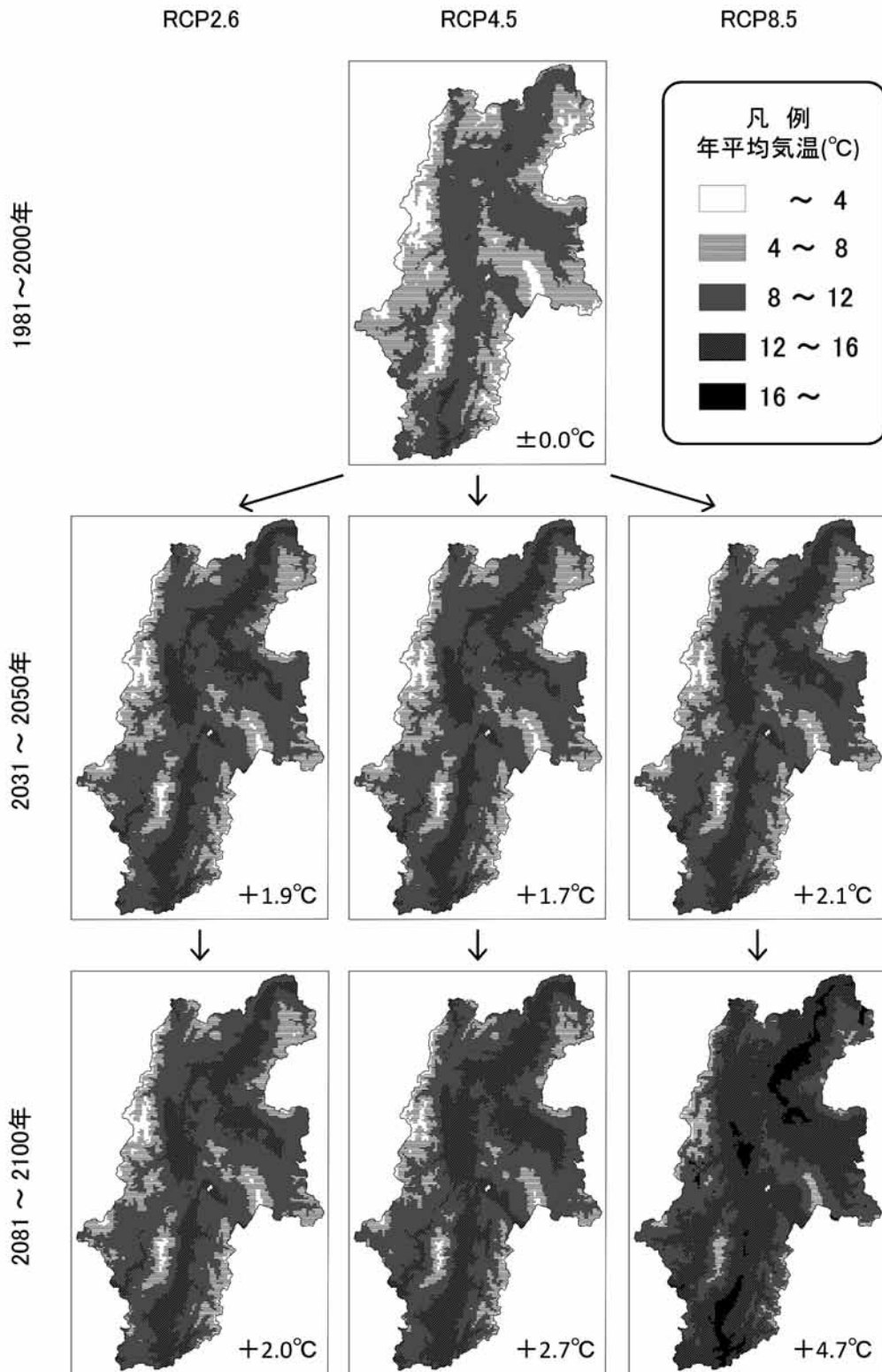


図2 長野県の年平均気温分布の予測結果（計算対象期間別・RCPシナリオ別）
 気候モデルはMIROC5、空間解像度は1km。図中に付記した数字は、1981～2000年の長野県全域の平均気温を基準とした長野県全域の気温上昇量の予測値（単位：℃）である。環境省環境研究総合推進費S-8の成果を基に、埼玉県環境科学国際センター・長野県環境保全研究所が作図。

謝 辞

本資料作成にあたっては、埼玉県環境科学国際センターの増富祐司氏、国立環境研究所の肱岡靖明氏、花崎直太氏には多大なるご協力を頂いた。本研究は環境省環境研究総合推進費 S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」の支援により実施されている。

文 献

- 1) 長野県環境保全研究所 (2012) 長野県における適応策立案手法開発のための検討報告書：
http://www.pref.nagano.lg.jp/kanken/chosa/kenkyu/coolearth/documents/adaptation_report_nagano120328.pdf (2013年12月確認)
- 2) 環境省：環境研究総合推進費 S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」：
http://www.nies.go.jp/s8_project/ (2013年12月確認)
- 3) 花崎直太・高橋潔・肱岡靖明 (2012) 日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・社会経済シナリオ。環境科学会誌, 25, 223-236.
- 4) 花崎直太・高橋潔・肱岡靖明・日下博幸・飯泉仁之直・有賀敏典・松橋啓介・三村信男。日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・人口・土地利用シナリオ (第2版)。環境科学会誌, 査読中.
- 5) IPCC(2013)Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC : <http://www.climatechange2013.org/report/> (2013年12月確認)
- 6) van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J., Rose S.K. (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31.
- 7) 河宮未知生・石井正好・鬼頭昭雄・木本昌秀 (2013)「21世紀気候変動予測革新プログラム」における, CMIP5 実験仕様に基づいた温暖化予測実験。天気, 60, 223-246.
- 8) 温室効果ガス世界資料センター (2013) WMO 温室効果ガス年報 (気象庁訳), 9, 1-4.
http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/jp/products/bulletin_j.html (2013年12月確認)
- 9) Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe and M. Kimoto (2010) Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity, *J. Climate* 23, 6312-6335.
- 10) QIGS 公式サイト (日本語) :
<http://www.qgis.org/ja/site/index.html> (2013年12月確認)

**A prediction of annual mean temperature change of Nagano Prefecture
based on climate scenarios of working group I contribution to the fifth
assessment report of the IPCC**

Hiroharu TANAKA¹ and Hitoshi KUGA¹

*1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*

地球温暖化が山岳域と極域の生態系に与える影響

— 人工温暖化実験によって何がわかってきたか? —

田中健太* 平尾章* 鈴木亮*
飯島慈裕** 浜田崇*** 尾関雅章***
廣田充****

Impact of Global Warming on Mountain and Polar Ecosystems: What Have Artificial Warming Experiments Told?

Kenta TANAKA *, Akira HIRAO *, Ryo SUZUKI *,
Yoshihiro IJIMA **, Takashi HAMADA *** , Masaaki OZEKI ***
and Mitsuru HIROTA ****

[Received 5 March, 2013, Accepted 27 May, 2013]

Abstract

Artificial warming experiments on alpine, subalpine, boreal, and subboreal ecosystems are reviewed to understand the impacts of global warming on the ecosystems of these regions. Among various warming methods, passive warming methods, especially open top chambers (OTC), have mainly been used in these outland regions due to limited electricity supplies and need for regular maintenance. Many researchers have studied the effects of experimental warming on variable ecological variables. The authors classify those variables into: (1) phenology, (2) plant growth, (3) plant reproduction, (4) plant community and diversity, (5) net primary production, and (6) biogeochemical cycle. After reviewing the effects on these variables observed with warming experiments, the following are discussed: i) differences in response speed between ecological variables, ii) local environment-dependence of warming effects, and iii) possible solutions to undesirable side-effects of OTC, such as snow deposition change, followed by future challenges for warming experiments in the ecosystems of these regions.

Key words : alpine, boreal, biodiversity, plant community, plant physiology, biogeochemical cycle, passive warming treatment, OTC (open top chamber)

キーワード : 高山, 寒帯域, 生物多様性, 植物群集, 植物生理, 物質循環, 受動的温暖処理, 生物地球化学的循環

* 筑波大学菅平高原実験センター

** 独立行政法人海洋研究開発機構地球環境変動領域

*** 長野県環境保全研究所

**** 筑波大学生命環境系

* Sugadaira Montane Research Center, University of Tsukuba, Ueda, 386-2204, Japan

** Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, 237-0061, Japan

*** Nagano Environmental Conservation Research Institute, Nagano, 381-0075, Japan

**** Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

I. はじめに：人工温暖化実験の有用性

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次報告書（2007）では、2005年までの過去100年間の地球平均気温が0.74℃上昇しており、地球温暖化が進行していることはもはや疑いがないと指摘された。気候変動の影響は、水環境・水資源、生態系、食料などさまざまな所に現れることが予測されている。陸域は海洋に比べてより速く温暖化しており、とくに脆弱な生態系として山岳生態系が北極・南極と並んで警鐘を鳴らされている。日本は世界でも有数の山国であり、人口の多くが水源として山岳域に依存しているほか、二酸化炭素吸収・生物多様性保持などの重大な機能を山岳域が有している。したがって、健康で持続的な国民生活を守るためにも、貴重な生物多様性を保全するためにも、地球温暖化が山岳生態系に与える影響を解明・予測し、その対策を講じることが危急の課題である。

それでは、これまでの地球温暖化によって生態系にどんな変化が現れているのだろうか？北米米国マサチューセッツ州の草原では、1852～1858年と1878～1902年に植物学者によって多数の植物の開花時期が調査されていた。Miller-Rushing and Primack（2008）が2004～2006年に同様の調査を行ってみると、多くの植物の開花日が早まっていた。この地域では、この古い調査と新しい調査の間に、おそらく地球温暖化と都市化の両方の影響によって年平均気温が約2.4℃上昇しており、1℃の上昇につき植物の開花が3.07日早まっていると見積もられた。過去の航空写真を用いて植生の変化を追跡することもできる。Sanz-elorza *et al.*（2003）は、スペイン中央の高山帯の植生が1957年から1991年の間に、イネ科が優占する草原から、低木が優占する植生に変わったことを突きとめた。この地域の気温は1940年代から上昇しており、これが植生変化の原因だと考えられた。Alward（1999）は米国コロラド北東部の草原地帯（ステップ）の長期観測データから、すでに植生の変化が起きていることを示した。とくに春の最低気温上昇は、この地域

の優占種で最大光合成能力の高いC4植物の純生産量を低下させ、外来および在来のC3植物を増加させた。寒い季節が得意なC3植物が最低気温上昇によって春や秋に成長が加速した一方、C4植物は夜の呼吸増加による炭素消失を招いたと考えられ、温暖化によって優占種が減少して外来種の侵入が進む可能性があると考えられている。

温暖化による自然生態系の変化を追跡することは大切だが、それだけでは限界もある。第一に、地球温暖化は長期にわたって漸次進行する現象なので、その影響を検出するには長期観測が必要となる場合が多い。しかし、過去のデータは限られているために、過去から現在の変化を検出できる観測項目は少ないし、現在から未来の変化が検出されるのを待っているだけでは、対策が手遅れになってしまう。第二に、時間の経過によって温度以外の環境要因も変化するので、その間の生態系の変化の原因が地球温暖化だと決定することは難しい。例えばSanz-elorza *et al.*（2003）の研究では、過去から現在にかけて温度だけでなく放牧されている家畜の種類も変化していて、どちらも植生に影響を与えている。そこで、人工的に温暖化を起こす操作実験が有用となる。操作実験は、自然生態系の追跡と相補的な関係にある。本稿では、温暖化実験の方法を整理した後、山岳域や極域で行われている温暖化実験で得られた成果を概観し、今後の課題を考える。

II. 人工温暖化実験の方法

温暖化実験の方法には、熱源を用いる能動的な方法と、自然界で発生する熱を利用する受動的な方法がある（Aronson and McNulty, 2009）。能動的方法には、地中等に設置する電熱線、地上に設置する赤外線ヒーター、熱源を含む温室があり、受動的な方法には、地表付近に設置して夜間温度を上昇させる近赤外線反射板と、熱源を含まない透明な温室類がある（Aronson and McNulty, 2009）。このうち、自然に起きている地球温暖化の影響を最も正確に予測できる方法は赤外線ヒーターだと考えられており、これを用いた研究が

近年増えている (Aronson and McNulty 2009)。例えば Luo *et al.* (2001) は北米のプレーリーに赤外線ヒーターを設置したところ、土壌呼吸速度にあまり影響を与えなかったと報告している。一方で Reth *et al.* (2009) は、ヨーロッパの草原で赤外線ヒーターをより長期 (10 年) にわたって設置したところ、土壌呼吸速度が増加し、その効果が持続することを見いだしている。しかし、能動的方法は受動的方法に比べて予算がかかるだけでなく、電源供給や熱源の恒常的管理が必要なため遠隔地での利用が非常に難しい。

そのため、山岳域や極域では受動的方法が選択される場合が多い。受動的方法の温室類には、閉鎖型、部分換気型、天井開放型 (Open Top Chamber, 以下 OTC) が用いられている (Bokhorst *et al.*, 2011)。Bokhorst *et al.* (2011) は、南極でこれらの方法を用いた研究をレビューしたところ、夏季の土壌表面温度を高める効果は閉鎖型温室 (3.4°C)、部分換気型 (1.8°C)、OTC (1.4°C) の順に高かった。しかし、秋と冬は OTC のみ温度上昇 (0.4 ~ 1.4°C) がみられ、閉鎖型温室では逆に外気温よりも低くなり、部分換気型温室では場所によって効果が異なっていた。また、温室の種類と夜間温度の関係は場所ごとに異なっていた。Danby and Hik (2007) はカナダの山岳森林限界域に底面直径 45 cm、上面直径 38 cm、斜辺 45 cm の OTC を設置したところ、植物の生育期間の平均で気温が $1.77 \pm 0.06^\circ\text{C}$ 上昇した。Sierra-Almeida and Cavieres (2010) による、アンデス山脈の高山矮性低木帯に、直径 120 cm、高さ 50 cm で六角形の OTC を設置した実験では、2 年間の観測期間を平均して約 3°C の気温上昇がみられたが、高標高の設置場所では最低気温の低下と凍結回数の増加がみられた。Walker *et al.* (1999) は OTC の夏の気温上昇への効果は、日の長い高緯度地域のほうがより低緯度の場所よりも大きいことを示した。Marion *et al.* (1997) は北極と南極で、円錐、三角錐、六角形、四角形でいずれも天井部が開いているさまざまなタイプの OTC の効果を比較した。いずれのタイプも日中は気温を高めたが、夜間気温は外

気温よりも下がることがあった。OTC が温暖化や積雪に与える影響は設置場所の影響を強く受けることがわかり、OTC タイプの効果ははっきりしなかった。一般的に、受動的な温暖化手法は気温の上昇だけでなく、風の遮蔽、光の減衰、水蒸気・花粉・種子・その他生物の出入りの妨げなど、気候変動を再現する上で望ましくない効果を生じてしまう。その問題は、閉鎖型よりも OTC の方が、また OTC のなかでも天井開放部が大きい方が、小さいと考えられる。

OTC の遮風効果を検討するため、木曾駒ヶ岳の実験サイトでは、OTC 実験に並行して、卓越風向側のみに風除けを設置した風遮蔽区が設けられた (Fukuyo *et al.*, 1998)。風遮蔽区では温度上昇効果は認められなかった一方で、イワウメ (*Diapensia lapponica* subsp. *obovata*) を除く 4 種の常緑・落葉低木種では生育期間の有意な延長がみられ、ガンコウラン (*Empetrum nigrum*) とミネズオウ (*Loiseleuria procumbens*) では年枝成長量の顕著な増加が明らかになった。このことは、高山帯などの強風にさらされやすい環境下での OTC 実験は、風遮蔽の効果が無視できないことを示している。風が植物の成長や形態に及ぼす影響は、実験的に検証されている。Whitehead (1962) は、さまざまな強度の風を植物にあてた実験を行い、強風下ほど植物のサイズが小さく、地下部比が大きく、葉面積が小さく、節間長が短くなる形態変化を見いだした。一方、急な強風にさらされた場合の植物体からの水分ロスは、それ以前に長期間強風にさらされていた個体ほど少なかった。つまり、植物は風の強度に応じた補償反応をもっているといえる。こうした接触刺激に対する反応は、接触形態形成と呼ばれ適応的形質と考えられている (Lawton, 1982)。ただし、風に対する接触形態形成反応は、低温下ほど弱まるといった風と温度の交互作用も報告されており (Hunt and Jaffe, 1980)、OTC の風遮蔽効果と温暖化効果にも交互作用が予想される。交互作用を含めた OTC の風遮蔽効果を検証した研究例はなく、今後の課題である。

III. 山岳域・極域の温暖化実験

山岳域や極域で行われている温暖化実験では、OTCを用いたものが圧倒的に多い。国際プロジェクトのITEX (International Tundra Experiment) では、地球上の多数の極域・高山域のツンドラ植生を対象に、同一規格のOTCを設置して観測項目も揃えることで、地球温暖化に対するツンドラ植物の反応を調べている。日本でも、大雪山 (Suzuki and Kudo, 1997, 2000; Kudo and Suzuki, 2003; Kudo *et al.*, 2010), 立山 (Wada, 2000; Taguchi and Wada 2000; Wada *et al.*, 2002), 木曾駒ヶ岳 (Nakashinden *et al.*, 1997; Fukuyo *et al.*, 1998; 財城ほか 2003), 乗鞍岳 (Iguchi *et al.*, 1998; Ohmori *et al.*, 2004), 富士山にITEX規格のOTCが設置されている。ITEXの第1回ワークショップが1990年に開催されて以降多くの成果が発表されてきた。Arft *et al.* (1999) は、世界のツンドラ地域13ヶ所のITEX参加サイトの成果を比較し、温暖化が植物のフェノロジー・成長・繁殖量に与えた影響をまとめている。Elmendorf *et al.* (2012) は世界の61ヶ所のツンドラ地域の成果から、植物の高さや植物群集の多様性や群集組成に温暖化が与える影響をまとめている。ITEXではこれらのレビュー論文で扱われている観測項目が中心だが、それ以外のグループによって、植物群集の呼吸・光合成・一次生産、植物や土壌の化学組成、生態系の物質循環に着目した研究もよく行われている。山岳域・極域で行われている温暖化実験の多くは、ツンドラや矮性低木帯など、低木以下の植生を対象にしており (例えば, Arft *et al.*, 1999; Taguchi and Wada, 2000; Kudo and Suzuki, 2003; Sierra-Almeida and Cavieres, 2010; Elmendorf *et al.*, 2012), 森林限界付近など高木が存在する植生帯での研究 (例えば, Danby and Hik, 2007; Hoffmann *et al.*, 2010; Wipf and Rixen, 2010) は限られている。以下ではこれらの温暖化実験によってどのような影響がみつかったのか、生態系の項目ごとみにみていく。

IV. 温暖化による影響

1) フェノロジーへの影響

Suzuki and Kudo (1997) は大雪山の高山帯風衝地 (風を受けやすい地形) で低木5種 (ウラシマツツジ *Arctous alpinus*, クロマメノキ *Vaccinium uliginosum*, コケモモ *Vaccinium vitis-idaea*, ヒメイソツツジ *Ledum palustre*, ガンコウラン) を対象としてOTCを設置した。設置1年目に開花・展葉時期が早まり, そのうち落葉樹2種では葉の寿命が延びていたが, 常緑樹3種では変化がなかった。Hoffmann *et al.* (2010) は, オーストラリアの亜高山帯2ヶ所 (標高1750 m) にOTCを13基ずつ設置して, 同数の対照区と比較した。設置後4年目および5年目で, 温暖化によって開花が早まる一方で結実期間が長くなり, 結実期は対照区と変わらなかった。OTC内でも対照区でも融雪後の積算温度が早く大きくなる年には開花が早い傾向があり, 開花時期の処理間の差よりも年々変動による差の方が大きかった。木曾駒ヶ岳の高山植物でのOTC実験は, 1995年に開始された。高山対応用の小型OTC (Kudo and Suzuki, 2003) が5つ設置され, 高山植物のフェノロジー, 成長量, 被度変化の調査と微気象観測が行われている。現在まで実験が継続されている日本の貴重なサイトである。Nakashinden *et al.* (1997) によると, OTCによる温暖化効果は5~10月の群落高気温で+0.9°C, 3 cm深地温で+0.5°Cになり, 実験開始初年度から, ウラシマツツジ (*Arctous alpinus* var. *japonicus*) とイワウメなどの種で1ヶ月の紅葉の遅れ (生育期間の延長) のフェノロジー変化が観察された。北アルプス・乗鞍岳においても同規格のOTC実験が1997~1999年に実施されている (Iguchi *et al.*, 1998; Ohmori *et al.*, 2004)。標高2780 mに設置された5つのOTC調査区では, 5~10月の群落高気温で+0.65°C, 3 cm深地温で+0.3°Cとなり, 植生高の増加とフェノロジーの変化 (生育期間の延長) が観察された。温度だけでなく雪の効果に注目した研究も多い。Wipf and Rixen (2010) は, 22の高山・

亜高山域と19の北極・亜北極域で積雪を操作した研究をレビューした。積雪の操作方法には、フェンスやOTCによる雪の吹きだまりを利用して積雪を増やして消雪を遅らせるものと、除雪や融雪カバーによって消雪を早めるものがある。それらの実験処理に対して植物はすぐに反応し、消雪時期の前後に呼応して開花時期が前後した。Walker *et al.* (1999) は、米国のアラスカ州高緯度地域とコロラド州高山地域のツンドラで、積雪を増やすための高さ2.8 m、長さ60 mのスノーフェンスと夏季気温を高める底面積1 m²のOTCを組み合わせ、積雪と温暖化の影響を評価した。積雪によって冬季の温度は安定し、平均的に高まった。積雪が増えると植物の生育期は短くなり、温暖化すると反対に秋の生育期が延びた。これらの研究はいずれも、温暖化や積雪減少に対して植物が比較的素早く反応してフェノロジーを変化させることを示している。

2) 植物の成長への影響

OTCを設置して植物の成長への影響を調べた研究は数多い。カナダの森林限界の研究(Danby and Hik, 2007)では、OTCを通年設置する実験区と夏季だけ設置する実験区のいずれでも、対照区に比べてカナダトウヒ(*Picea glauca*) 稚樹の垂直方向の成長が大きくなった。大雪山ではOTC設置5年目に低木5種のうち常緑3種のシュート成長が対照区に比べて増加した(Kudo and Suzuki, 2003)。また大雪山の風衝地と雪田(雪が溜まりやすい地形)における実験では、風衝地では温暖化によって植物の成長量増加が認められたが、雪田ではそのような効果が検出されなかった(Kudo *et al.*, 2010)。立山では、チングルマ(*Sieversia pentapetala*)の葉重量がOTCによって増加し、常緑矮性低木2種(ミネズオウとガンコウラン)のシュート伸長が促進された(Wada, 2000)。カナダ・エルズミア島のツンドラ地域では、落葉低木と広葉草本の高さと葉サイズがOTC内で対照区よりも大きくなり、とくに常緑低木であるイワヒゲ属の一種で顕著だった(Hudson *et al.*, 2011)。Bert *et al.* (2012)は高緯度地域のヒースランドの優占種であるガンコウ

ランや他のツツジ科低木を対象にして、分布域の南限でも北限でもOTC設置によって成長が増加することを示した。以上の研究で示されているように、地域や植物によって反応の速さに違いはあるものの、OTCによって植物の成長が増加する傾向は一般的に検出されている。しかしこのような効果には、OTCによる温度上昇だけではなく、風の遮蔽がかかっている可能性も否めない。

3) 植物の繁殖への影響

大雪山風衝地の研究(Suzuki and Kudo, 2000; Kudo and Suzuki, 2003)では、OTC設置3年および5年後に落葉低木2種の花生産量が対照区に比べて増加し、常緑低木3種では変化がなかった。立山の研究(Wada, 2000)でも、OTC内の矮性低木チングルマの雌性繁殖器官への投資が対照区に比べて増えた。緯度が異なる極域ツンドラ13ヶ所の研究を比較したレビュー(Arft *et al.*, 1999)によると、OTC設置してから数年経過すると繁殖量に目立った効果が現れることが多いようだ。高緯度北極域ではより温暖な低緯度北極域と比べて、温暖化は成長量よりも繁殖量により大きな影響を与えていた。これらの研究は、温暖化によって余剰生産が生まれた場合、それを栄養成長に回すのか繁殖に回すのかは、種や環境によって異なることを示している。

4) 植物の群集組成・多様性への影響

これまでみてきたように、温暖化が成長速度や繁殖に与える効果は種ごとに異なる。また、種ごとの反応は環境によっても異なる。例えば木曾駒ヶ岳では、1997年と2000年のOTC内の植生分布を比較したところ、ガンコウランの優占するOTCではガンコウランの被度が顕著に増加し、ガンコウランの分布しないOTCではミネズオウとクロマメノキの被度が増加した(財城ほか, 2003)。一方で乗鞍岳では、OTC内でミネズオウの被度が増加したが、ガンコウランなど他の種の被度は変化しなかった(Iguchi *et al.*, 1998; Ohmori *et al.*, 2004)。上述のツンドラ地域13ヶ所のレビュー(Arft *et al.*, 1999)によると、草本植物の方が、木本植物よりも、栄養成長の反応が著しい。温暖化に対するこうした種間の反応の違

いから必然的に、群集組成や多様性の変化が予測される。27 のツンドラ地域で行われた 1981 ~ 2010 年の 1 ~ 20 年間の研究のレビュー (Elmendorf *et al.*, 2012) によれば、OTC 設置によって群落高が高くなった一方で、コケ類と地衣類が減少した。コケ類・地衣類の減少は、個体サイズの大きい植物の繁茂と被陰によるものと考えられ、温暖化によって背の高い植物群集への変化が進むと解釈できるかもしれない。Klein *et al.* (2004) はチベット高山草原に OTC を設置し、植物種数が 25 ~ 35% 程度減少したことを報告している。チベットの高標高帯で特異的に維持されてきた種多様性が温暖化によって損なわれるのだとすれば興味深い。OTC によって家畜の被食が抑えられて競争に強い種の優占度があがったことが多様性低下の原因である可能性を排除できず、正味の温暖化の効果がどれくらいなのか判断できない点が残念である。OTC にはこのような問題がつきまとう。Sternberg *et al.* (1999) は、英国オックスフォードシャー州の石灰質の草原で冬の温暖化処理と夏の降水量操作を組み合わせ、植物群集の変化を調べた。冬の温暖化は、春の乾燥を招くため多年草の成長が制限される。その結果、ギャップ (空き地) ができ一年草が有利になって定着が促進され、遷移の進行が遅らされた。一方、通常乾燥気味にあるこの草原では、湿潤化することで多年草の繁茂を引き起こし、遷移後期種の定着を妨げることで遷移を遅らせる可能性がある」と論じられている。Engel *et al.* (2009) は米国テネシー州の自然草原で、直径 4 m の OTC による温暖化、土壌への加水、土壌への窒素添加、二酸化炭素濃度上昇処理 (換気チャンバーへの二酸化炭素付加) を組み合わせた実験を行った。種多様性への効果は土壌湿度、温暖化、二酸化炭素の順に大きく、これは優占種が土壌湿度に最も大きく反応したためだと考えられた。温暖化の効果は種によって正負が大きく異なった。この種特異性には、外気温が高く土壌湿度が低い時により顕著になるという、複雑な相互作用がみられた。

温暖化が進んだ場合の最も単純な予測は、群集がより温暖な地域のもの (北極域であればより低

緯度の群集、山岳域であればより低標高の群集) に近づいていくというものであるが、これまでの研究はこの単純予測があてはまる場合とそうでない場合があることを示している。群集を構成する各種は温暖化への生理的反応や移動・分散の速さが違うので、これは驚くことではないが、今後そのメカニズムを明らかにしていくことは重要である。

5) 植物群集の光合成・呼吸・純生産への影響

温暖化に対する種レベルの反応だけでなく、群集レベルの光合成・呼吸・純生産がどのように応答するかを調べることは、温暖化が物質循環や食物網に与える影響を理解する基礎として重要である。Oberbauer *et al.* (2007) は高緯度地域に広がるツンドラ 4ヶ所で、乾燥している区域と湿潤な区域のそれぞれに OTC を設置した。その結果、温暖化が光合成・呼吸速度および二酸化炭素フラックスに与える影響は、乾燥区域ほど大きかったが、その効果の向き (温暖化が正負のどちらに働くか) は場所によって異なっていた。湿潤区域では、温暖化の効果よりも水分のばらつきによる効果の方が大きかった。上述の Engel *et al.* (2009) では、温暖化、土壌への加水、窒素添加の処理は、いずれも植物群集の純生産量を高めた。一方で二酸化炭素付加は単独では純生産量を高めたが、他の処理と組み合わせると純生産量を高める場合と低める場合があり、複雑な相互作用を示した。

6) 植物・土壌の化学組成や物質循環への影響

温暖化は植物や土壌の化学組成にも影響する。Taguchi and Wada (2000) が立山に設置した OTC 内では、高山植物チングルマの窒素含量が対照区よりも減少していた。同時に、生息標高が低いチングルマほど窒素含量が低いことも確認され、温暖化による変化は標高低下による変化と対応していた。上述したカナダのツンドラ地域研究 (Hudson *et al.*, 2011) では、常緑低木・落葉低木・広葉草本ともに OTC 内で個体サイズが増加した一方で葉の炭素濃度は下がり、葉の leaf dry matter content (葉の湿潤重量に対する乾物重量の割合) や、葉の窒素濃度、窒素同位体比などの

長期的変化は小さかった。ノルウェーの高山帯の研究 (Nybakken *et al.*, 2011) では、OTC 内では対照区に比べて維管束植物の全炭素量には差がないが全窒素量が減少していたのに対し、地衣類の全炭素量が減少する傾向がみられた。植物のフェノール化合物濃度には、実験区によってほとんど差が認められなかった。これらの研究では、植物の炭素濃度あるいは窒素濃度のいずれかの減少が認められている。

上でみてきたように、植物の成長やサイズが増える一方で、化学物質の濃度が下がれば、分解しやすいリターが豊富に土壌に供給され、土壌呼吸に影響を与える可能性がある。Luo *et al.* (2001) は北米プレーリーで赤外線ヒーターを上部から照射して地面の温暖化処理を行ったところ、土壌呼吸は変化しないか、わずかに増加してもその効果はすぐに鈍くなった。一方で、Reth *et al.* (2009) はヨーロッパの草原で同様に赤外線ヒーターによる温暖化実験を 10 年間という長期にわたって行ったところ、温暖化によって土壌呼吸速度が増加し、かつその効果が長期間持続した。Jassey *et al.* (2011) は、高緯度地域の湿原の研究で OTC による温暖化処理によって土壌中のフェノール化合物が減少したため、温暖化は土壌有機物の分解活性にも影響を及ぼす可能性があると考えられている。温暖化による炭素循環への影響は、Shaver *et al.* (2000) のレビューにも詳しい。また、単純な温度の変化だけでなく冬季の積雪増加処理によっても、リター分解速度や積雪下の植物被覆からの二酸化炭素フラックスが増加した例がある (Walker *et al.*, 1999)。

V. 総合考察

1) 温暖化処理に対する生態系項目の応答速度の違い

温暖化の影響がさまざまな項目へ及ぶことをみてきたが、項目によって温暖化への応答速度が異なる点には注意が必要である。低木 5 種を対象とした大雪山の温暖化実験では、OTC 設置後 1 年目ですでに開花・開葉フェノロジーが促進され (Suzuki and Kudo, 1997)、3 年目に葉寿命の増

加と一部の樹木の成長と花生産量の増加が認められ (Suzuki and Kudo, 2000)、5 年目に植物高・シュート生存率の増加と一部の樹木のシュート成長の増加が認められている (Kudo and Suzuki, 2003)。世界 13 ヶ所のツンドラ地域のメタ解析 (Arft *et al.*, 1999) では、OTC 設置後 1~2 年で栄養成長が増え、その後に繁殖努力や繁殖成功が増える場合が多いとしている。温暖化実験による成長と化学組成への影響を調べた Hudson *et al.* (2011) の研究では、個体サイズなどの成長に関する特徴は、葉の化学的な特徴に比べて敏感に現れ、しかも 16 年経ってもその効果が継続していた。上述したオーストラリア亜高山帯の温暖化実験 (Hoffmann *et al.*, 2010) では、フェノロジー効果は OTC 設置から 4~5 年目で現れる種が多く、年々変動の方が処理区間の差よりも大きかった。場所や種によって差はあるものの、フェノロジーの応答は相対的に早く、成長や繁殖がそれに続き、化学物質組成や物質循環の応答はそれよりも遅いという傾向がありそうだ。

温暖化の長期影響を考える上で興味深いのは、アンデスの山脈の矮性低木帯でクロロフィル蛍光測定によって夏の葉の耐凍性を調べた研究 (Sierra-Almeida and Cavieres, 2010) である。温暖化によって、50%の植物個体が凍結してしまう温度 (LT50) が、3.3°C も上昇し耐凍性が低下した。温暖化しても夏季の凍結イベントがなくならない場合には、短期間では植物の生存・成長・繁殖に対して温暖化が正に働いたとしても、長期間では低頻度の凍結イベント時の被害によって温暖化が負に働く可能性もある。

2) 温暖化効果の環境依存性

温暖化の効果は、環境によって変化することにも注意が必要である。Arft *et al.* (1999) のツンドラ地域のレビューでは、OTC 設置後 1~2 年で植物の成長量が増加するが、その程度はより温暖な低緯度北極域の方が、高緯度北極域よりも大きかった。上述の立山の研究 (Wada *et al.*, 2002) では、同じ常緑矮性低木 2 種 (ミネズオウとガンコウラン) が矮性低木優占群集に存在している時の方が、矮性低木・草本混在群集に存在

している時よりも、温暖化によるシュート成長の増加が顕著だった。大雪山の研究 (Kudo *et al.*, 2010) では、温暖化による植物の成長増加が風衝地でみられたのに対して雪田ではみられなかった。さらに同じ風衝地どうしを比べると、高標高ではイネ科が増加したのに対して、低標高では低木が増加し、低標高の方が温暖化への応答が顕著だった。これらの研究は、環境やもとの群集組成の違いによって温暖化で有利になる植物種も違うため、温暖化による植物群集組成の変化の仕方にも変わることを示しているといえそうだ。

世界のツンドラ研究のレビュー (Elmendorf *et al.*, 2012) では、温暖化処理によって長期的に低木が増加する効果は、乾燥環境よりも湿潤環境の方が大きかった。このような要因間の相互作用は、実験的にも検証できる。しかし、夏の雨量を増加させて湿潤化させる処理と温暖化処理を組み合わせた実験 (Sternberg *et al.*, 1999; Engel *et al.*, 2009) では、温暖化と湿潤化はどちらも群集組成を変化させはしたものの、いずれの要因も単独で効いていて、処理間の相互作用はみられなかった。また、温度と積雪の両方を操作した Walker *et al.* (1999) の実験では、積雪の効果が環境によって異なっており、高山では積雪の増加によってリター分解が促進されたのに対し、極域ではそのような反応はみられなかった。

3) OTC による副作用への対策

すでに述べたように、OTC を設置することで温度以外のさまざまな環境・生物条件を変化させてしまう。Wolkovich *et al.* (2012) は、自然生態系の長期観測研究と人工温暖化実験の結果を多数比較し、自然生態系で観察されている温度上昇にともなう植物フェノロジー促進効果は、人工温暖化実験で得られた効果よりもずっと大きいことを明らかにした。これは、温暖化処理による温度以外の作用が影響したのかもしれない。温暖化実験は、温暖化による自然の変化を過小評価していることになる。温暖化実験で何か効果がみられた場合には、実際の温暖化が進行した際にはその効果がより顕著に現れると考えられる。自然の温暖化をより正確に再現できる温暖化実験を行うため

の解決策のひとつは、温度以外の条件への影響が少ない赤外線ヒーターを用いる方式である。しかし、これは電源等の設備投資や機器の保守に大きな費用がかかる極域・高山域などの遠隔地では非常に難しい。

もうひとつの解決策は、OTC による温度以外の条件への影響自体も人工的に操作することにより、温度上昇による効果とそれ以外の作用による効果を分離することである。OTC がもたらす積雪量の変化については、このような検討がいくつかなされている。カナダの森林限界における実験 (Danby and Hik, 2007) では、OTC を通年設置することで温度上昇と積雪減少の両方をもたらす実験区と、OTC を夏の生育期にのみ設置することで温度上昇のみをもたらす実験区が用意され、温度と積雪の効果の分離が試みられた。その結果、針葉樹稚樹の成長は、温暖・消雪区、温暖区、対照区の順に高く、温度上昇と積雪減少がどちらも針葉樹の成長を促進することが確かめられた。山岳域・極域で積雪量を操作した研究のレビュー (Wipf and Rixen, 2010) によれば、そのうちの 14 の実験では、夏の温度上昇と冬の積雪量変化を分離して比較できるデザインになっており、それぞれの効果が検討されているようだ。

VI. まとめ：今後の課題

今後の山岳域・極域の温暖化実験では、赤外線ヒーター等の能動的装置の利用によって OTC で調べられてきた温暖化効果の再検証を行っていくこと、OTC による温度上昇の効果を、風や積雪を含むさまざまな環境要因・生物要因を変化させてしまう効果からできるだけ分離させていくことが、課題としてあげられる。そのためには風遮蔽処理や積雪量増減処理のように、OTC 設置による温暖化以外の効果を検討できるような実験処理を組み合わせることが有効になるだろう。また、多くの実験によって植物の群集組成や純生産量の変化が明らかになってきた一方で、植物以外の生物に与える影響の検討は遅れている。温暖化は、生産者である植物を変化させることで、消費者である動物群集や、分解者あるいは消費者としても

ふるまう菌・微生物群集にどのような影響を与えるのだろうか。そのことによって温暖化が生物多様性や物質循環の全体の様相にどのような影響を与えるのかを明らかにすることも、重要な課題としてあげられる。

謝 辞

本稿は、2010～2014年度文部科学省特別教育研究経費「地球環境再生プログラム—中部山岳地域の環境変動の解明から環境資源再生をめざす大学間連携事業—」および、環境省環境研究総合推進費 S-8 (温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究) の支援によって執筆された。

文 献

- Alward, R.D. (1999): Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, **283**, 229-231.
- Arft, A., Walker, M., Gurevitch, J., Alatalo, J., Bret-Harte, M., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G. and Jones, M. (1999): Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs*, **69**, 491-511.
- Aronson, E.L. and McNulty, S.G. (2009): Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agricultural and Forest Meteorology*, **149**, 1791-1799.
- Bert, B., Stef, W., Peter, M.v.B., Inger Greve, A., Pernille Bronken, E., Johan van, B., Maarten de, K., Jaap van, R. and Jelte, R. (2012): Range shifts and global warming: ecological responses of *Empetrum nigrum* L. to experimental warming at its northern (high Arctic) and southern (Atlantic) geographical range margin. *Environmental Research Letters*, **7**, 025501.
- Bokhorst, S., Huiskes, A., Convey, P., Sinclair, B.J., Lebouvier, M., Vijver, B. and Wall, D.H. (2011): Microclimate impacts of passive warming methods in Antarctica: Implications for climate change studies. *Polar Biology*, **34**, 1421-1435.
- Danby, R.K. and Hik, D.S. (2007): Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology*, **13**, 437-451.
- Elmendorf, S.C., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Björk, R.G., Björkman, A.D., Callaghan, T.V., Collier, L.S., Cooper, E.J., Cornelissen, J.H.C., Day, T.a., Fosaa, A.M., Gould, W.a., Grétarsdóttir, J., Harte, J., Hermanutz, L., Hik, D.S., Hofgaard, A., Jarrad, F., Jónsdóttir, I.S., Keuper, F., Klanderud, K., Klein, J.a., Koh, S., Kudo, G., Lang, S.I., Loewen, V., May, J.L., Mercado, J., Michelsen, A., Molau, U., Myers-Smith, I.H., Oberbauer, S.F., Pieper, S., Post, E., Rixen, C., Robinson, C.H., Schmidt, N.M., Shaver, G.R., Stenström, A., Tolvanen, A., Totland, O., Troxler, T., Wahren, C.-H., Webber, P.J., Welker, J.M. and Wookey, P.a. (2012): Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: Heterogeneity over space and time. *Ecology Letters*, **15**, 164-175.
- Engel, E.C., Weltzin, J.F., Norby, R.J. and Classen, a.T. (2009): Responses of an old-field plant community to interacting factors of elevated [CO₂], warming, and soil moisture. *Journal of Plant Ecology*, **2**, 1-11.
- Fukuyo, S., Kurihara, M., Nakashinden, I., Kimura, K., Iijima, Y., Kobayashi, Y., Masuzawa, T., Yamamoto, S., Morimoto, M. and Kouyama, T. (1998): Short-term effects of wind shield on phenology and growth of alpine plants in Mount Kiso-Komagatake, central Japan. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, **11**, 147-158.
- Hoffmann, A.a., Camac, J.S., Williams, R.J., Papst, W., Jarrad, F.C. and Wahren, C.-H. (2010): Phenological changes in six Australian subalpine plants in response to experimental warming and year-to-year variation. *Journal of Ecology*, **98**, 927-937.
- Hudson, J.M.G., Henry, G.H.R. and Cornwell, W.K. (2011): Taller and larger: Shifts in Arctic tundra leaf traits after 16 years of experimental warming. *Global Change Biology*, **17**, 1013-1021.
- Hunt, E. and Jaffe, M. (1980): Thigmomorphogenesis: The interaction of wind and temperature in the field on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. *Annals of Botany*, **45**, 665-672.
- Iguchi, J., Ohmori, H., Ohmura, A., Suzuki, K., Furuta, K., Yagi, H., Nakashinden, I., Kimura, K. and Sugai, T. (1998): Experimental studies on vegetation changes due to climate warming at the side of Mt. Norikura, central Japan. A preliminary report. *Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo*, **30**, 17-26.
- Jassey, V.E.J., Chiapusio, G., Gilbert, D., Buttler, A., Toussaint, M.-L. and Binet, P. (2011): Experimental climate effect on seasonal variability of polyphenol/phenoloxidase interplay along a narrow fen-bog ecological gradient in *Sphagnum fallax*. *Global Change Biology*, **17**, 2945-2957.
- Klein, J.A., Harte, J. and Zhao, X.-Q. (2004): Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau. *Ecology Letters*, **7**, 1170-1179.
- Kudo, G. and Suzuki, S. (2003): Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: A five-year experiment in northern Japan. *Oecologia*, **135**, 280-287.
- Kudo, G., Kimura, M., Kasagi, T., Kawai, Y. and Hirao, A.S. (2010): Habitat-specific responses of alpine plants to climatic amelioration: Comparison of fell-field to snowbed communities. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, **42**, 438-448.

- Lawton, R.O. (1982): Wind stress and elfin stature in a montane rain forest tree: An adaptive explanation. *American Journal of Botany*, **69**, 1224-1230.
- Luo, Y., Wan, S., Hui, D. and Wallace, L.L. (2001): Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, **413**, 622-625.
- Marion, G.M., Henry, G.H.R., Freckman, D.W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M.H., Levesque, E., Molau, U., Molgaard, P., Parsons, A.N., Svoboda, J. and Virginia, R.A. (1997): Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology*, **3**, 20-32.
- Miller-Rushing, A.J. and Primack, R.B. (2008): Global warming and flowering times in Thoreau's concord: A community perspective. *Ecology*, **89**, 332-341.
- Nakashinden, I., Masuzawa, T., Fukuyo, S., Yamamoto, S., Iijima, Y., Mizuno, K., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Machida, H. and Takaoka, S. (1997): A preliminary report on phenological monitoring using experimental chambers in Mt. Kisokomagatake, central Japan. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, **10**, 196-204.
- Nybakken, L., Sandvik, S.M. and Klanderud, K. (2011): Experimental warming had little effect on carbon-based secondary compounds, carbon and nitrogen in selected alpine plants and lichens. *Environmental and Experimental Botany*, **72**, 368-376.
- Oberbauer, S.F., Tweedie, C.E., Welker, J.M., Fahnestock, J.T., Henry, G.H.R., Webber, P.J., Hollister, R.D., Walker, M.D., Kuchy, A., Elmore, E. and Starr, G. (2007): Tundra CO₂ fluxes in response to experimental warming across latitudinal and moisture gradients. *Ecological Monographs*, **77**, 221-238.
- Ohmori, H., Iguchi, J.H., Ohta, T., Terazono, A. and Hikita, K. (2004): Experimental research on vegetation response to artificial warming on a mid-latitude high mountain, central Japan. *Geographical Review of Japan*, **77**, 301-320.
- Reth, S., Graf, W., Reichstein, M. and Munch, J.C. (2009): Sustained stimulation of soil respiration after 10 years of experimental warming. *Environmental Research Letters*, **4**, 024005.
- Sanz-elorza, M., Dana, E.D., Gonzalez, A. and Sobrino, E. (2003): Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian peninsula as a probable sign of global warming. *Annals of Botany*, **92**, 273-280.
- Shaver, G.R., Canadell, J., Chapin, F.S., Gurevitch, J., Harte, J., Henry, G., Ineson, P., Jonasson, S., Melillo, J., Pitelka, L. and Rustad, L. (2000): Global Warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis. *BioScience*, **50**, 871-882.
- Sierra-Almeida, A. and Cavieres, L.a. (2010): Summer freezing resistance decreased in high-elevation plants exposed to experimental warming in the central Chilean Andes. *Oecologia*, **163**, 267-276.
- Sternberg, M., Brown, V., Masters, G. and Clarke, I. (1999): Plant community dynamics in a calcareous grassland under climate change manipulations. *Plant Ecology*, **143**, 29-37.
- Suzuki, S. and Kudo, G. (1997): Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine plants on a temperate mountain, northern Japan. *Global Change Biology*, **3**, 108-115.
- Suzuki, S. and Kudo, G. (2000): Responses of alpine shrubs to simulated environmental change during three years in the mid-latitude mountain, northern Japan. *Ecography*, **23**, 553-564.
- Taguchi, Y. and Wada, N. (2000): Variations of leaf traits of an alpine shrub *Sieversia pentapetala* along an altitudinal gradient and under a simulated environmental change. *Polar Bioscience*, **14**, 79-87.
- Wada, N. (2000): Responses of floral traits and increase in female reproductive effort to a simulated environmental amelioration in a hermaphrodite alpine dwarf shrub, *Sieversia pentapetala* (Rosaceae). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, **32**, 208-211.
- Wada, N., Shimono, M., Miyamoto, M. and Kojima, S. (2002): Warming effects on shoot developmental growth and biomass production in sympatric evergreen alpine dwarf shrubs *Empetrum nigrum* and *Loiseleuria procumbens*. *Ecological Research*, **17**, 125-132.
- Walker, M.D., Walker, D.A., Welker, J.M., Arft, A.M., Bardsley, T., Brooks, P.D., Fahnestock, J.T., Jones, M.H., Losleben, M., Parsons, A.N., Seastedt, T.R. and Turner, P.L. (1999): Long-term experimental manipulation of winter snow regime and summer temperature in arctic and alpine tundra. *Hydrological Process*, **13**, 2315-2330.
- Whitehead, F. (1962): Experimental studies of the effect of wind on plant growth and anatomy. *New Phytologist*, **61**, 59-62.
- Wipf, S. and Rixen, C. (2010): A review of snow manipulation experiments in Arctic and alpine tundra ecosystems. *Polar Research*, **29**, 95-109.
- Wolkovich, E.M., Cook, B.I., Allen, J.M., Crimmins, T.M., Betancourt, J.L., Travers, S.E., Pau, S., Regetz, J., Davies, T.J., Kraft, N.J.B., Ault, T.R., Bolmgren, K., Mazer, S.J., McCabe, G.J., McGill, B.J., Parmesan, C., Salamin, N., Schwartz, M.D. and Cleland, E.E. (2012): Warming experiments under-predict plant phenological responses to climate change. *Nature*, **485**, 494-497.
- 財城真寿美・塚田友二・福興 聡・GENET (2003): 温暖化実験で生じた高山植物分布の変化: 中央アルプス木曾駒ヶ岳を例として. GIS: 理論と応用, **11**, 145-153. [Zaiki, M., Tsukada, Y., Fukuyo, S. and GENET (2003): Change in alpine plant distribution during artificial warming experiment at Mt. Kisokomagatake, central Japan. *Theory and Applications of GIS*, **11**, 145-153. (in Japanese with English abstract)]

高山帯風衝斜面における オープントップチャンバー内の風速の観測

浜田 崇¹・尾関雅章²・飯島慈裕³・水野一晴⁴

木曾山脈木曾駒ヶ岳南東側の風衝斜面において、オープントップチャンバー（OTC）を用いた高山植物に対する野外温暖化実験を行っている。OTC 設置による OTC 内の風速への影響を把握するため、OTC とその対照区（CTRL）において、地上 10cm から 50cm までの高度別の風速の同時観測を行った。その結果、OTC 内（10cm～30cm）の風速は CTRL に比べて小さく、それらの約 20% しかなかった。日本の高山帯では、OTC 内の環境は自然状態とくらべて温度が上昇するだけでなく風速の低減効果も大きく、これが OTC 内の植物に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

キーワード：オープントップチャンバー，風速，高山帯，風衝斜面

1. はじめに

高山生態系は地球温暖化などの気候変動に対して脆弱な生態系と言われている。すでにヨーロッパアルプスなどでは、高山植物（植生）に対する温暖化影響が顕在化し始めている事例もみられる^{1)~3)}。しかし、地球温暖化のような長期的な気温上昇による影響評価を行うためには、過去から長期間にわたる高山生態系に関する一様なデータが必要であり、こうしたデータには限りがある。そこで、野外で人工的に温暖化を起こす操作実験を行うことによって、高山生態系がどのように応答するのかを調べることも影響評価の有用な方法の一つとなる。

野外での温暖化実験には、赤外線ヒーターなどの熱源を用いる能動的な方法と、温室のように熱源を利用せずに暖める受動的な方法がある^{4),5)}。このうち高山帯などの山岳域や極域では、電源供給や熱源の恒常的な管理が難しいため受動的な温暖化実験が用いられることが多く⁶⁾、中でもオープントップチャンバー（以後、OTC とする）を用いた実験の報告は多い⁷⁾。OTC には様々なタイプのものであり、その形状や大きさ、使用する材質などによって違いがあるものの、基本的な構造は日射が透過する透明な材質で作られた囲いで、その天井部分は雨をさそ

らないよう開いたチャンバーである⁸⁾。また主な OTC の形状は六角形や円錐形などである。

OTC を設置することにより、チャンバー内では気温が上昇し、それによって植物のフェノロジーや成長などへ影響が及ぶ^{9),10)}。また、チャンバー内では温度以外の環境も変化することが考えられる。特に日本の高山帯のように風の強い環境下においては、OTC の設置効果は気温の上昇だけでなく、風を遮ることで OTC 内の風速を弱める効果も指摘されている^{6),11)}。しかし、OTC の設置による風速への影響については定量的にほとんど明らかになっていない。そこで本研究では OTC 内の風速を観測し、対照区の風速と比較を行ったので、その結果について報告する。

2. 観測

2.1 調査地域の概要

観測は木曾山脈木曾駒ヶ岳南東斜面の風衝地において行った（35° 47′ 22″，137° 48′ 30″，標高 2850m）（図 1）。ここでは 1995 年から、OTC を用いた高山植物への温暖化実験が実施されている¹²⁾。使用した OTC の構造は無色透明のアクリル板で作られた五角形のタイプで、底面の直径が約 75cm、

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

2 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120
（現：長野県環境部自然保護課 〒380-8570 長野市南長野幅下 692-2）

3 海洋研究開発機構 地球環境変動領域 〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15

4 京都大学大学院 アジア・アフリカ地域研究研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田下阿達町 4

開放面の直径が 45cm, 高さ 30cm である。

OTC 設置箇所周辺は, 植被階状土が発達しており, 高山風衝草原植生とハイマツ *Pinus pumila* 低木林が分布している. OTC 内の植生は, 主に常緑矮性低木のガンコウラン *Empetrum nigrum var. japonicum*, 落葉矮性低木のクロマメノキ *Vaccinium uliginosum var. japonicum*, ウラシマツツジ *Arctous alpinus var. japonicus*, 多年生草本のヌイオスゲ *Carex vanheurckii* からなっている. OTC の設置によって, OTC 内の地表面温度や地温は対照区とくら

べ高くなり¹²⁾, その結果, OTC 内では矮生低木のガンコウラン, ヒメクロマメノキ *Vaccinium uliginosum var. alpinum*, ウラシマツツジといった被度が増加している¹³⁾ほか, これら矮生低木の垂直方向の伸長により群落高が対照区の 2 倍程度に増加する植生変化が生じている¹⁴⁾.

既に設置されている OTC 内には上述のとおり高山植物が繁茂し群落高も増加しているため, OTC 設置による風速の影響のみを測定することが難しい. そこで, 今回は風速観測用に同じ大きさ, 形状, 材質からなる OTC1 基を既設の OTC のそばに臨時に設置した. またこの OTC との比較を行うための対照区 (以下, CTRL) の観測場所を, 臨時 OTC の北側約 3m 離れた箇所に設けた. 両地点とも地表面の傾斜はほぼ平坦であり, 観測場所を含む周囲の表面の凹凸ができるだけ小さい場所を選定した. なお, 臨時 OTC 内には植生はなく, CTRL にはガンコウランなどの植物が地表面を覆っている.

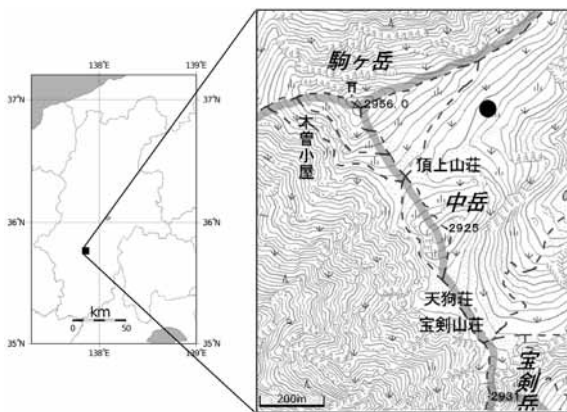


図 1 調査地域

黒丸が観測地点. この背景地図等データは, 国土地理院の電子国土 Web システムから提供されたものである.

2.2 観測方法

風速観測は OTC 内と CTRL において同高度で同時に行った. 観測の様子を図 2 に示す. 観測には無指向性の熱線風速計 (株式会社アイ電子技研: V-01-AND2H) を用い, 地上から 10cm, 20cm, 30cm,



図 2 風速観測の様子 左が OTC, 右が CTRL.

40cm, 50cm の高度において 30 分間ずつ観測を行った (10cm と 20cm のみ 2 回実施). OTC における風速の測定場所はチャンバーのほぼ中央とした. サンプルングおよび記録間隔は 1 秒とし, 出力された電圧をデータロガー (T&D 社: VR-71) に記録し, それに係数を乗じて風速に変換した. 観測実施日は 2012 年 9 月 12 日である.

また, 本調査地近くの地上約 1m には風向風速計 (Vaisala 社: WXT520) が設置されており, このデータも調査地における環境場の状況を把握するために利用した. このデータは 10 分間の平均値が 30 分毎に記録されている.

なお, 観測に用いた OTC の高さは約 30cm である. したがって, 風速計の高度が 10cm から 30cm は OTC 内での観測値, 40cm および 50cm は OTC 直上の値を示す.

3. 結果および考察

観測日における天気は前日に通過した前線と気圧の谷の影響でくもりだった. 調査地における風向風速の概況を調査地近くに設置されている風向風速計のデータよりみると (図 3), 風速は 10:30 頃まで

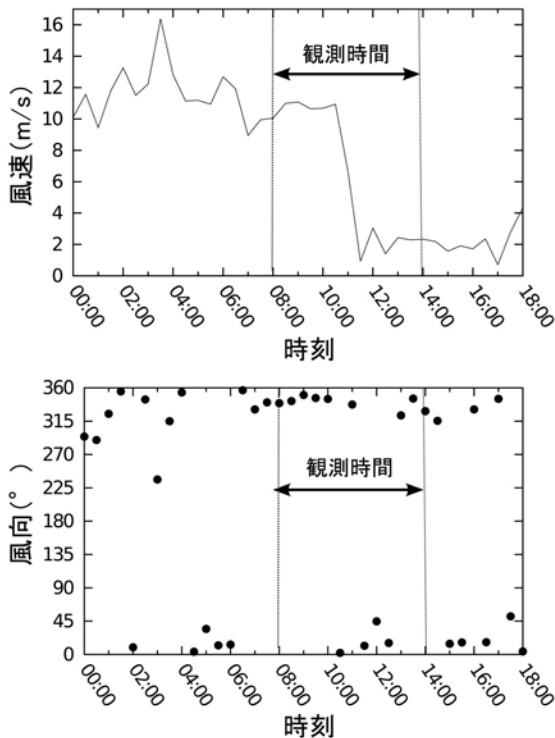


図 3 観測時間中の風向風速の時間変化
上が風速, 下が風向.

10m/s 程度, それ以降は 3m/s 程度に減少していた. 風向はおおむね北よりの風で, 風速が大きく変化した 10:30 を境に北北西から北北東への変化がみられた.

次に OTC と CTRL における観測時間中の風速の変動を地上高度別に図 4 に示した (10cm および 20cm の 2 回目の観測結果は省略). また, それぞれの平均風速および分散を表 1 に示した. 観測時間中の各高度の風速は以下の通りだった. 地上 10cm では, CTRL の風速が 9:15~9:45 の間に約 1~3m/s, 12:30~13:00 の間には 0.5~2.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内ではそれぞれ 0.3~0.6m/s 程度と 0.1~0.3m/s 程度であった. また, 地上 20cm では CTRL の風速が 8:00~8:30 の間に 1~4m/s 程度, 13:30~14:00 の間に 0.5~2.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内ではそれぞれ 0.2~0.4m/s 程度と 0.1~0.3m/s 程度であった. 地上 30cm では CTRL が 1~3.5m/s 程度であったのに対し, OTC 内では 0.2~0.8m/s 程度であった. 地上 40cm では CTRL が 0.5~3m/s 程度であったのに対し, OTC 直上では 0.5~2m/s 程度であった. 地上 50cm では CTRL が 1~3m/s 程度であったのに対し, OTC 直上では 0.5~1.5m/s 程度であった.

また, 表 1 には各高度の観測時間内における平均風速と CTRL に対する OTC の風速比も示した. OTC 内 (10cm~30cm) の風速は CTRL とくらべると小さく, OTC を設置しなかった場合の 13~20% 程度であることが明らかとなった. OTC 直上においても, OTC を設置しなかった場合の 60% 程度であったが, この値には観測タイミング等の偶発的要因の関与も考えられ, 今後さらに検討が必要である.

一方, Cunningham らは, Large-Eddy シミュレーションを用いた OTC 内外の風速計算を行った¹⁵⁾. 計算に用いられた OTC は円柱形で直径が 12m もあり, 本観測で使用した OTC とは大きさも形状も異なる. しかし, シミュレーションでは OTC の直径に対する壁の高さの比が, 本研究で用いた OTC の比 (高さ/直径が約 1/2) に近くなるほど OTC 内に風速の小さな領域が形成されること, また OTC の中央部直上でも風速がやや弱まること示されており, 本研究で得られた OTC 内での風速観測値の傾向と似ている.

では, OTC 内の風が弱まることで, 植物にどのような影響が及ぶだろうか. 植物は強風にさらされることでそのサイズを大きくすることができないと言われている¹⁶⁾. また, Fukuyo らは, 本調査地域に

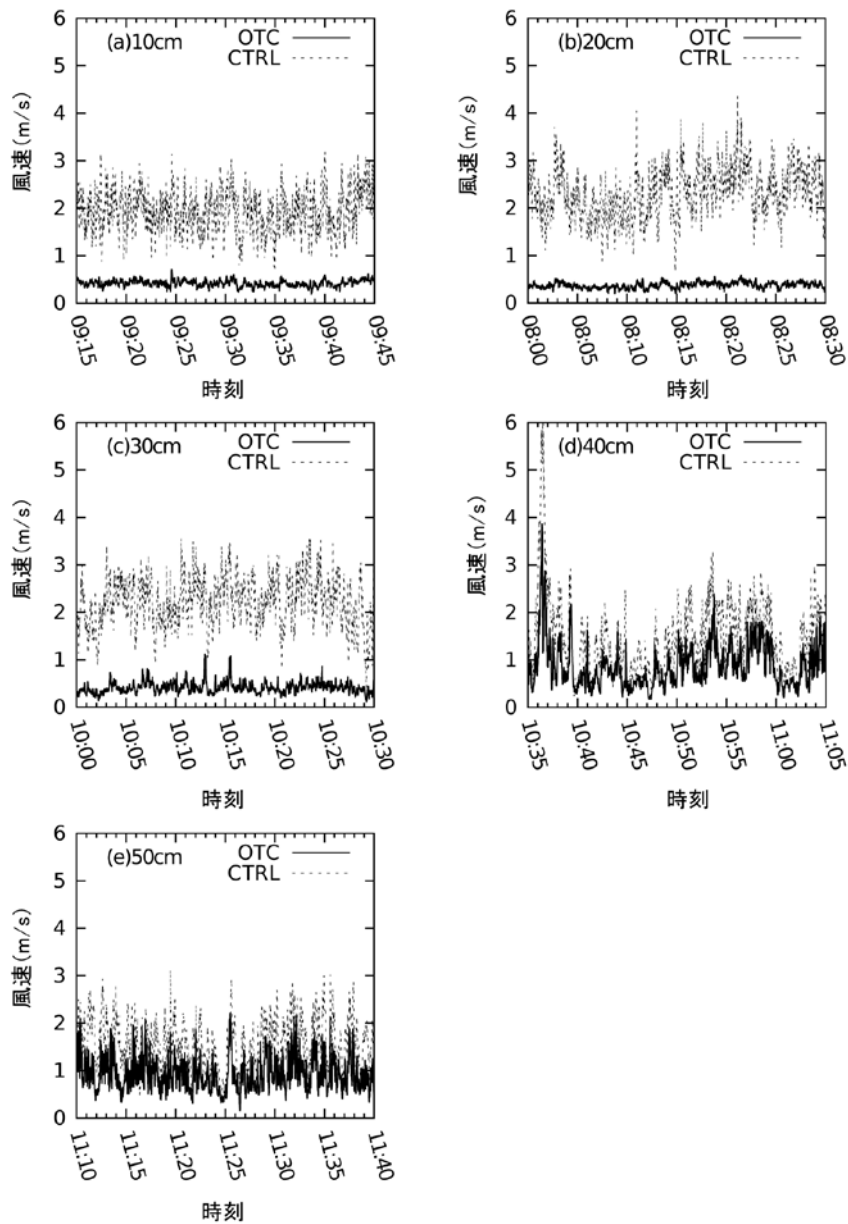


図4 各高度における OTC と CTRL の風速の変化

表1 OTC と CTRL の高度毎の平均風速，分散および風速比 (OTC/CTRL)

観測高度		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
観測時間		9:15-9:45	8:00-8:30	10:00-10:30	10:35-11:05	11:10-11:40
(2回目)		(12:30-13:00)	(13:30-14:00)			
OTC	平均風速 (m/s)	0.42	0.37	0.41	0.88	0.93
		(0.25)	(0.19)			
分散		0.00	0.00	0.01	0.21	0.12
		(0.00)	(0.00)			
CTRL	平均風速 (m/s)	1.94	2.33	2.22	1.52	1.60
		(1.46)	(1.42)			
分散		0.19	0.28	0.27	0.63	0.25
		(0.21)	(0.27)			
風速比	(OTC/CTRL) (%)	21.60	16.00	18.60	57.90	58.10
		(17.00)	(13.40)			

において卓越風向側にのみ風を遮るための透明なアクリル板を設置したところ、風を遮蔽したことによる温度への影響はほとんどなかったにもかかわらず、ミネズオウやクロマメノキなどのフェノロジーが変化することを明らかにした¹¹⁾。したがって、本調査地のような風の強い環境においては、OTC内でガンコウランなどの群落高が増加している¹⁴⁾ことは、OTC内で風が弱いことと関係している可能性も考えられる。

また、OTC内での風速の低下は、OTC内で熱や水蒸気の拡散が抑制されるなどOTC内部でのエネルギー収支の変化をもたらすため¹⁷⁾、こうした複合的な効果によりOTC内の温度が上昇し植物フェノロジーや成長の変化をもたらす可能性もある。

以上のように、風の直接的あるいは間接的な効果が、OTC内の植物の成長やフェノロジーに影響しているものと推測される。したがって、OTCを用いた温暖化影響の評価を行うためには、OTC内における環境の物理的な変化のメカニズムを解明するとともに、その変化に対する植物の応答について生理的なアプローチにより明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費 S-8 (温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究) の支援により実施された。

文 献

- 1) Pauli, H., Gottfried, M. and Grabherr, G. (2003) Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of Mountain Ecology* 7:9-12.
- 2) Theurillat, J. P. and Guisan, A. (2001) Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50: 77-109.
- 3) Studer, S., Appenzeller, C. and Defila, C. (2005) Inter-annual variability and decadal trends in alpine spring phenology: a multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395-414.
- 4) 中村誠宏・奥田篤志・日浦 勉 (2008) 地球温暖化研究における野外操作実験の現状と課題. *保全生態学研究* 13 : 111-120.
- 5) Aronson, E. L. and McNulty, S. G. (2009) Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1791- 1799.
- 6) 田中健太・平尾 章・鈴木 亮・飯島慈裕・浜田 崇・尾関雅章・廣田 充 (2013) 地球温暖化が山学域と極域の生態系に与える影響-人工温暖化実験によって何がわかってきたか?-. *地学雑誌* 122 : 628-637.
- 7) Bokhorst, S., Huiskes, A., Convey, P., Sinclair, B. J., Lebouvier, M., Vijver, B. and Wall, D.H. (2011) Microclimate impacts of passive warming methods in Antarctica: implications for climate change studies. *Polar Biology* 10: 1421-1435.
- 8) Marion, G. M., Henry, G. H. R., Freckman, D. W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M. H., L'vesque, E., Molau, U., Mo lgaard, P., Parsons, A. N., Svoboda, J. and Virginia, R. A. (1997) Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) : 20-32.
- 9) Henry, G. H. R. and Molau, U. (1997) Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX). *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) : 1-9.
- 10) Suzuki, S. and Kudo, G. (1997) Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine plants on a temperate mountain, northern Japan. *Global Change Biology* 3 (Suppl.1) :108-115.
- 11) Fukuyo, S., Kurihara, M., Nakashinden, I., Kimura, K., Iijima, Y., Kobayashi, Y., Masuzawa, T., Yamamoto, S., Morimoto, M., Kouyama, T., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Mizuno, K. and Machida, H. (1998) Short-term effects of wind shield on phenology and growth of alpine plants in mount Kiso-Komagatake, Central Japan. *Proc. NIPR Symp. Polar Biology* 11:147-158.
- 12) Nakashinden, I., Masuzawa, T., Fukuyo, S., Kimura, K., Yamamoto, S., Iijima, Y., Mizuno, K., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Machida, H.

- and Takaoka, S. (1997) A preliminary report on phenological monitoring using experimental chambers in Mt. Kisokomagatake. Proc. NIPR Symp. Polar Biology 10: 196-204.
- 13) 財城真寿美・塚田友二・福興 聡・GENET(2003) 温暖化実験で生じた高山植物分布の変化-中央アルプス木曾駒ヶ岳を例として-. GIS-理論と応用 11 : 23-31.
- 14) 尾関雅章・浜田 崇・飯島滋裕・水野一晴・宮原育子 (2011) 木曾駒ヶ岳高山風衝地におけるオープントップチャンバー内の植生変化. 第 58 回日本生態学会大会要旨集 : P2-032.
- 15) Cunningham, P., Linn, R. R., Koo, E. and Wilson, C. J. (2013) Large-eddy simulations of air flow and turbulence within and around low-aspect-ratio cylindrical open-top chambers. Journal of Applied Meteorology and Climatology 52: 1716-1737.
- 16) Whitehead, F. H. (1962) Experimental studies of the effect of wind on plant growth and anatomy II. HELIANTHUS ANNUUS. New Phytologist 61: 59-62.
- 17) De Boeck, H. J., De Groote, T. and Nijs, I.(2012) Leaf temperatures in glasshouses and open-top chambers. New Phytologist 194: 1155-1164.

Measurements of wind speed in open-top chamber at wind-swept slope on alpine mountain

Takashi HAMADA¹, Masaaki OZEKI², Yoshihiro IJIMA³ and Kazuharu MIZUNO⁴

- 1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan
- 2 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan
(Present: Nagano Prefecture, Environment Department, Nature Conservation Division, 692-2 Habashita, Minami-Nagano, Nagano 380-8570, Japan)
- 3 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Research Institute for Global Change, 2-15 Natsushimacho, Yokosuka 237-0061, Japan
- 4 Graduate School of Asian and African Area Studies, Kyoto University, 46 Shimoadachicho, Yoshida Sakyō-ku, Kyoto 606-8501, Japan

南アルプス南部（赤石山脈）におけるライチョウ *Lagopus mutus japonicus* の標識調査

朝倉俊治*・増田章二・近藤多美子・堀田昌伸

2007年6月～12月の19日間、2008年6月～7月の10日間、南アルプス南部のイザルガ岳周辺から聖岳にかけての稜線部（約10 km）で、ライチョウ *Lagopus mutus japonicus* の環境省鳥類標識調査及び標識個体の再確認調査をおこなった。なわばりを所有する雄成鳥5個体、雌成鳥3個体、そして、幼鳥1個体の計9個体を捕獲し、8個体に標識を行った。放鳥後、野外で再確認された本調査による標識個体は5個体であり、そのうち3個体はほぼ1年経過した後に確認された。我々の調査地域と同じ地域で、2005年に信州大学の中村浩志氏等によって標識された雄成鳥7個体と雌成鳥3個体のうち、今回の調査で雄2個体と雌1個体が確認された。いずれも放鳥場所あるいはその周辺と思われる場所での確認であった。

キーワード：*Lagopus mutus japonicus*, 世界の分布南限, ライチョウ, 絶滅危惧種.

はじめに

ライチョウ *Lagopus mutus* は、北半球の周北極地域に広く分布し (del Hoyo *et al.* 1994), 日本やヨーロッパの高山帯でも孤立して分布・生息するが、これらは氷河の終結とともに取り残された氷河期の遺物とされる (Burton 1995). 日本のライチョウは、亜種ライチョウ *L. m. japonicus* であり、世界における分布域の南限に生息する (中村 2007). ライチョウは、日本で唯一、一年中高山にとどまる一夫一妻の鳥類である (中村 1997). その一年の生活は、なわばり形成期 (4月上旬から下旬), なわばり期 (5月上旬から7月上旬), 非なわばり期 (7月中旬から3月) の三つに区分される (大町山岳博物館1964, 中村 2007). ライチョウは、1955年2月15日に文化財保護法により国の特別天然記念物に指定され、1993年4月1日に「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」により国内希少野生動植物種に指定されている。「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—2 鳥類」では絶滅危惧Ⅱ類に選定され (環境省 2002), 2006年12月のレッドリストの改訂においてもカテゴリーの変更はない (環境省「鳥類, 爬虫類, 両生類及びその他無脊椎動物のレッドリストの見直しについて」<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7849>参照). 1961年から1984年にかけて実施された全生息山岳を対象とした繁殖期のなわばり分布調査により、本種の国内での生息数は約3,000個体、南アルプス (赤石山脈) には723個体が生息すると推定されている (中村 2007). 近年、南アルプスの白根三山一帯のように、ライチョウの生息数が急激に減少している山岳もある (中村 2007).

これまでに北アルプスでは、爺ガ岳 (大町山岳博物館 1964), 立山連峰 (富山県教育委員会 1972, 富山ライチョウ研究会 1993), 乗鞍岳 (中村 2006) などで定期的な標識調査がおこなわれているが、南アルプスでは、白根三山を除いて断片的な標識調査があるにすぎない (中村 未発表). 著者らは1997年よりライチョウの分布の世界の南限にあたる南アルプス南部のイザルガ岳周辺でその生息状況の調査を実施しており、今回その調査の一環で本種を標識する機会を得たのでその概要を報告する.

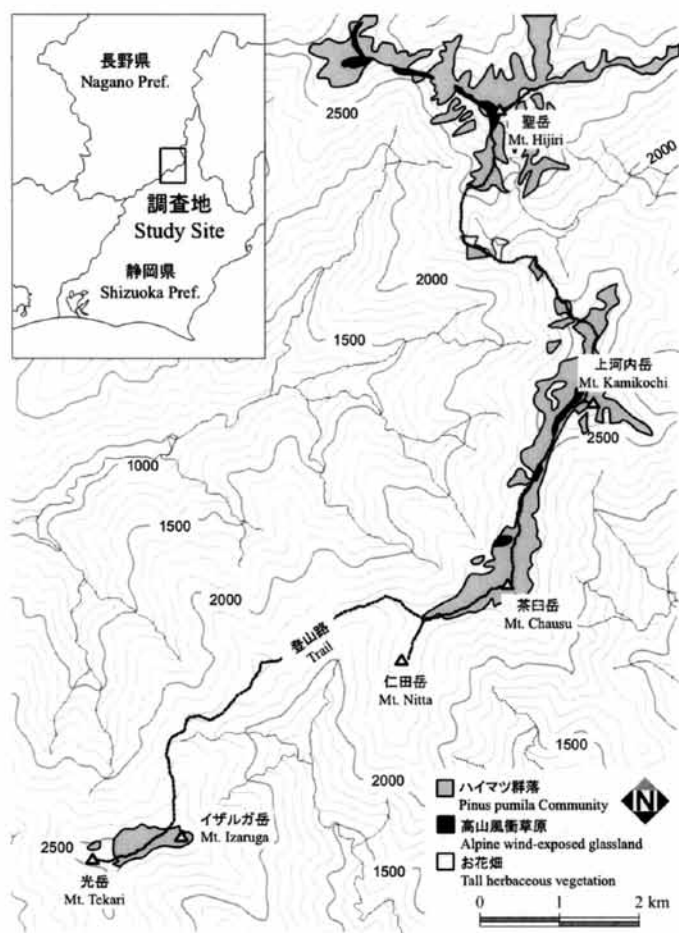


図1. 調査地：南アルプス南部のイザルガ岳から聖岳。
 Fig. 1. Study Sites: along alpine ridges in the southern part of the Akaishi Mountains (from Mt. Izaruga to Mt. Hijiri).
 (注：図の中の glasslands = grasslands).

調査地と調査方法

ライチョウの標識調査及び標識個体の確認調査は、長野県と静岡県に位置する南アルプス（赤石山脈）のイザルガ岳（35°20'N, 138°05'E, 標高 2,540 m）周辺から聖岳（35°25'N, 138°08'E, 標高 3,013 m）にかけての、およそ 10 km の稜線部（登山道から目視できるハイマツ帯を中心とした踏査可能な範囲）でおこなった（図1）。

調査は、2007年6月1～3日（なわばり期）、6月16～19日（なわばり期）、6月30～7月2日（なわばり期）、8月25～28日（非なわばり期）、10月6～8日（非なわばり期）、12月1～2日（非なわばり期）、2008年6月13～18日（なわばり期）、7月11～14日（非なわばり期）の8回実施し、捕獲許可期間外であった2007年12月を除く7回で本種の捕獲を試みた。本種の捕獲は、文化財保護法、絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律の許可のほか、長野県希少野生動植物保護条例

による届出を行った。また、調査地は自然公園法に基づく南アルプス国立公園特別保護地域に指定され、長野県側が国有林となっている。このため南信森林管理署による入林許可を得て調査を行った。

捕獲はすべてタモ網を使用した。タモ網は、竿の長さ4 mの伸縮竿で、その先に直径50 cm、奥行き80 cmの黒色のアミ（防鳥用ネット：1辺の目の幅2 cm）を取り付けてある。タモ網による捕獲は複数人で対象個体を取り囲み、対象個体の上部からタモ網をかぶせることで行った。捕獲後は速やかにタモ網から捕獲個体を外し、布製の鳥袋（40×30 cm）に入れた。その後、色足環（A. C. HUGHES Ltd. 社製、UK；Split plastic ring（flatbands），single colours，size：3fb）を左足に2個、右足に1個、計3個装着するとともに、環境省の鳥類標識調査用の金属製の足環（以下、金属足環）を右足に装着して個体識別を行った。足に装着した色足環と金属足環の組み合わせは、例えばWR/WMと示し、これは左足に上から白（W）と赤（R）、右足に上から白（W）と金属足環（M）を装着したことを意味した（詳細は表1参照）。また、捕獲時に体重、翼長、尾長の外部計測を実施し、体重にはバネばかりを、自然翼長にはノギスを、尾長には鋼尺を使用した。雌雄、成鳥・幼鳥の識別は羽色により行い、なわばりの有無については見張り行動、抱卵糞（抱卵する雌がする、通常の糞より約10倍大きな糞）などによった（大町山岳博物館編1992、中村2007）。

ライチョウの捕獲・標識調査と並行して、標識個体の目視観察をおこなった。標識個体の再確認は、調査員が調査地を踏査し標識された個体を目視した場合、8～10倍の双眼鏡で足環の状況（色の組み合わせなど）を確認し記録した。放鳥地点と確認地点の距離は調査後に地図上で直線距離を測定した。なお、本調査の結果では、信州大学の中村浩志氏を中心としたグループによる調査によって2005年6月25～27日に、聖岳からイザルガ岳の山域で標識記録された雄成鳥7個体と雌成鳥3個体の記録を参考とした（中村浩志氏 私信）ほか、静岡ライチョウ研究会会員と静岡県自然保護室から提供された登山者の目視観察である2件も付け加えた。

結果及び考察

1) 個体の標識

2007年6月から2008年7月にかけて、9個体のライチョウを捕獲し、うち右目が失明していた個体を除く8個体に標識した（表1）。9個体のうち、6個体が茶臼岳付近、2個体が上河内岳周辺、そして1個体が仁田岳で捕獲された。捕獲した5個体の雄は、すべてなわばりを所有していた。

2) 外部形態

標識を行った8個体のうち、幼鳥1個体を除く成鳥7個体で外部形態の計測を行った（表1）。雄成鳥5個体はいずれも6月に捕獲されており、これら5個体の各外部形態の平均値及び標準偏差は、体重 453.7 ± 33.6 g、自然翼長 181.4 ± 4.6 mm、尾長 112.7 ± 4.9 mmであった。なお、雌の計測は2個体であったため（表1）、平均値と標準偏差は示していない。

ライチョウの成鳥の体重変化は、繁殖活動の季節的な変化と密接に関係していることが知られており、4月の雄の体重は、465～560 gであるが、その後繁殖活動が活発になるにつれて減少する（中村2007）。なお、今回、6月に捕獲した雄の体重は、中村（2007）が示した同月の雄のそれと同程度であった。なお、1987年10月に、富山県の立山地域で捕獲した7個体（雄6、雌1）の体重は、470～

表 1. 標識個体の年齢, 性および計測値.

Table 1. Age, sex and measurements of banded Ptarmigans.

足環の組合せ Ring combinations* ¹	金属足環番号 Metal Ring No.	標識年月日 Date	標識場所 Place	年齢 Age	性 Sex	体重 (g) Body Weight	自然翼長 (mm) Natural Wing Length	尾長 (mm) Tail Length
WR/WM	100-26588	17 Jun. 2007	上河内岳 Mt. Kamikouchi	成鳥 Adult	雄 Male	430	182.0	114.0
WR/RM	100-26587	17 Jun. 2007	茶臼岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	450	179.0	115.0
WR/GM	100-26589	18 Jun. 2007	茶臼岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	475	191.0	117.0
WR/MY	100-26590	18 Jun. 2007	茶臼岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	465	182.0	114.0
GR/LbM	10B-21321	7 Oct. 2007	茶臼岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雌 Female	506	177.0	103.0
LbR/RM* ²	100-26592	7 Oct. 2007	茶臼岳 Mt. Chausu	幼鳥 Juvenile	不明 Unknown	-	-	-
* ³	-	7 Oct. 2007	仁田岳 Mt. Nitta	成鳥 Adult	雌 Female	-	-	-
LbR/MLb	100-26591	14 Jun. 2008	上河内岳 Mt. Kamikouchi	成鳥 Adult	雄 Male	450	180.5	113.0
LbR/YgM	100-26593	13 Jul. 2008	茶臼岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雌 Female	400	178.4	80.5* ⁴

*¹ 足に装着した色足環と金属足環の組み合わせを示す。左から順に、左足の上, 下, 右足の上, 下となっている。記号は色を表し, G: 緑色, R: 赤色, Lb: 水色, W: 白色, Y: 黄色, Yg: 黄緑色。なお, M は金属足環を指す。

*¹ Combinations of color rings and a metal ring are indicated. Position of placement is from left; upper left leg, lower left leg, upper right leg, lower right leg. Letters indicate color of rings: G-Green, R-Red, Lb-Light blue, W-White, Y-Yellow, Yg-Yellow green. M indicates a metal ring.

*² 幼鳥のため, 測定せずに放鳥。

*² The bird was released without measuring, because it was juvenile.

*³ 右目が失明していたため, 標識せずに放鳥。

*³ The bird was released without banding, because it was blind in the right eye.

*⁴ 尾羽の先端が摩耗していたため, 参考値。

*⁴ The measured value was underestimated because of abrasion of tip of tail feathers.

540 gであった (富山雷鳥研究会 1993)。また, 立山地域で捕獲した59個体の翼長と尾長は, それぞれ175~210 mm, 95~145 mmであり, 5月に捕獲した個体では, 翼長が190~210 mm (雄12個体), 尾長が115~130 mm (雄6個体)であった (富山雷鳥研究会 1993)。本調査の計測値は, 尾羽の先が摩耗していた雌の尾長 (80.5 mm) を除いて, 立山地域のそれらの範囲におさまるものであった。

3) 標識個体の再確認

再確認調査から, 本調査で標識された5個体, 中村らによって標識された1個体が確認され, 著者ら以外の情報での2標識個体を合わせると合計8標識個体が確認された (表2)。なお, 足環がLbR/Mの個体は右足の色足環が確認できなかったが中村らによる記録に同様の色の組み合わせはなく, 本調査によって前日に標識した雌個体と判断した。また, WR/GやWR/Yでは金属足環が確認できなかった。これらはライチョウの足環装着部分が羽毛に覆われており, 足環を再確認しにくかったためと思われる。

確認された8個体のうち, 2007年に標識した個体の再確認は4個体であり, そのうち3個体はほぼ

表 2. 標識個体の再確認日と再確認場所.

Table 2. Dates and locations for confirmations of banded birds.

足環の組合せ *1 Ring combinations of the resighted bird	確認年月日 Date the bird was resighted (B)	確認場所 *2 Place the bird was resighted	年齢 Age	性 Sex	放鳥年月日 Date the bird was banded (A)	経過日数 (days) B-A	距離 (m) Distance between the banding and recovered site
WR/RM	18 Jun. 2007	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	17 Jun. 2007	1	29
WR/RM	12 Jul. 2008	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	17 Jun. 2007	390	266
WR/*3	7 Oct. 2007	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	17 or 18 Jun. 2007	81 or 82	-
WR/G	15 Jun. 2008	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	18 Jun. 2007	363	319
WR/Y	17 Jun. 2008	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雄 Male	18 Jun. 2007	365	46
LbR/M	14 Jul. 2008	茶白岳 Mt. Chausu	成鳥 Adult	雌 Female	13 Jul. 2008	1	45
R/BluBla*4	22 Sep. 2005	イザルガ岳 Mt. Izaruga	成鳥 Adult	雄 Male	27 Jun. 2005	87	500
MR/YR*4	5 Jun. 2007	聖岳 Mt. Hijiri	成鳥 Adult	雌 Female	26 Jun. 2005	709	-
M(3237)/RR	1 Jul. 2007	聖岳 Mt. Hijiri	成鳥 Adult	雄 Male	26 Jun. 2005	736	-

*1 足に装着した色足環と金属足環の組み合わせを示す。左から順に、左足の上、下、右足の上、下となっている。記号は色を表し、Bla: 黒、Blu: 青、G: 緑色、R: 赤色、Lb: 水色、W: 白色、Y: 黄色。なお、M は金属足環を指し、() 内の数字は読み取れた番号を表す。

*1 Combinations of color rings and a metal ring are indicated. Position of placement is from left; upper left leg, lower left leg, upper right leg, lower right leg. Letters indicate color of rings: G-Green, R-Red, Lb-Light blue, W-White, Y-Yellow, Yg-Yellow green. M indicates a metal ring. The number in parenthesis is a part of the metal ring number read by the observer.

*2 確認場所がイザルガ岳と聖岳の3個体は、2005年にそれぞれの山岳で中村(私信)が標識した個体。聖岳の2個体は正確な標識場所が不明であった。

*2 Three birds confirmed near Mt. Izaruga were banded by Nakamura (Unpublished data) in 2005. The release location of the two birds confirmed on Mt. Hijiri was not known.

*3 色足環の組み合わせから、表1のWR/WM, WR/RM, WR/GM, WR/MYの可能性はある。このため、放鳥場所を特定できなかった。

*3 Only part of the ring combination was confirmed. This could be one of four possible birds (WR/WM, WR/RM, WR/GM, WR/MY) in Table 1. The banding site could thus not be specified.

*4 静岡ライチョウ研究会会員と一般登山者が目撃した個体。

*4 The bird was confirmed by members of the Ptarmigan Research Group of Shizuoka and a hiker.

1年経過した後に確認された。確認場所と放鳥場所との距離は、319 m, 46 m, 266 mであった。そして、WR/Gの個体は明らかになわばりを所有し、WR/Yの個体もその可能性が高かった。右足の足環は観察できなかったWR/の個体は左足の色足環の組み合わせから、前述した中村らの10個体とは異なり、同年(2007年)6月に標識した4個体のうちのいずれかの個体である可能性が高い。

また、同地域で行われている中村らの調査によって標識された個体のうち、成鳥雄2個体と成鳥雌

1 個体が今回の調査で確認された。イザルガ岳で確認された成鳥雄の個体の確認場所と放鳥場所の距離は約 500 m であった。また、確認場所と放鳥場所との距離は明確ではなかったが、聖岳で確認された 2 個体も、標識後 2 年経過したのちに放鳥場所もしくはその周辺と思われる場所での確認であった。

立山地域では、一度なわばりを獲得した成鳥雄は基本的にその個体が観察されなくなるまで同じなわばりを維持するとされている（富山雷鳥研究会 1993, 富山雷鳥研究会編 2002）。また、中村（2006）では、乗鞍岳における調査結果から、1 歳以上の成鳥はほぼ毎年同じ地域で生活しているとしている。羽田ほか（1976）は、1975 年 6 月 26 日に乗鞍岳・摩利支天岳南斜面のなわばり雄を終日観察し、そのなわばり面積が 72,802 m² であること、なわばりは多角形で最も距離が長いところで約 700 m であることを示した。これらのことを考えると、本調査対象地域である南アルプス南部においても、標識後再確認された成鳥雄 5 個体が放鳥された場所と同じ場所になわばりをかまえ、再確認された成鳥雌 1 個体は放鳥された場所と同じ場所になわばりを所有していた雄とつながっていた可能性が高いことが示唆された。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、信州大学教育学部の中村浩志教授に大変お世話になりました。ライチョウの捕獲方法など調査方法については、肴倉孝明氏や松田勉氏をはじめとする富山雷鳥研究会の方々、信州タカ渡り調査研究グループの中村照男氏にご教授いただきました。これらの方々に深謝いたします。なお、本研究の一部は環境省環境研究総合推進費（S8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究）の支援により実施しました。

引 用 文 献

- Burton, J. F. 1995. *Birds and Climate Change*. Christopher Helm, London.
- del Hoyo, J., Elliott, A. & Sargatal, J. (eds.) 1994. *Handbook of the Birds of the World. Vol. 2. New World Vultures to Guinea-fowl*. Lynx Edicions, Barcelona.
- 羽田健三・高橋秀男・岸元良輔・真殿博行 1976. 乗鞍岳におけるライチョウの生活と保護について。「乗鞍の自然と文化—総合学術報告書」（乗鞍岳一帯における総合学術調査団 編），pp. 193-220, 長野県。
- 環境省自然環境局野生生物課（編）2002. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—2 鳥類。財団法人自然環境研究センター，東京。
- 中村浩志 1997. ライチョウ。日本動物大百科第 4 巻 鳥類 II（日高敏隆 監），pp. 10-11, 平凡社，東京。
- 中村浩志 2006. 雷鳥が語りかけるもの。山と溪谷社，東京。
- 中村浩志 2007. ライチョウ *Lagopus mutus japonicus*。日本鳥学会誌 56: 93-114.
- 大町山岳博物館 1964. 雷鳥の生活。第一法規出版，東京。
- 大町山岳博物館（編）1992. ライチョウ 生活と飼育への挑戦。信濃毎日新聞社，長野。
- 富山県教育委員会 1972. 立山の雷鳥。富山県教科書供給所，富山。
- 富山雷鳥研究会 1993. ライチョウ調査報告書。富山県立山町，富山。
- 富山雷鳥研究会（編）2002. 北アルプスにおけるニホンライチョウの生態調査—生活史特性，生息環境と保護・保全をめぐる問題—。富山県立山町，富山。

朝倉俊治 * asakura.tknng@nifty.com

〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍1-1-27 静岡ライチョウ研究会

Toshiharu Asakura*

Ptarmigan Research Group of Shizuoka

1-1-27 Minamiabe, Aoi-ku, Shizuoka-shi, Shizuoka 420-0054, Japan

増田章二 stmasu@po.across.or.jp

〒426-0023 静岡県藤枝市茶町1-11-9 静岡ライチョウ研究会

Shoji Masuda

Ptarmigan Research Group of Shizuoka

1-11-9 Cha-machi, Fujieda-shi, Shizuoka 426-0023, Japan

近藤多美子 kon-tami@kib.biglobe.ne.jp

〒420-0881 静岡県静岡市葵区北安東2-21-37-9 静岡ライチョウ研究会

Tamiko Kondo

Ptarmigan Research Group of Shizuoka

2-21-37-9 Kitaando, Aoi-ku, Shizuoka-shi, Shizuoka 420-0881, Japan

堀田昌伸 hotta-masanobu@pref.nagano.lg.jp

〒381-0075 長野市北郷2054-120 長野県環境保全研究所・静岡ライチョウ研究会

Masanobu Hotta

Nagano Environmental Conservation Research Institute, Ptarmigan Research Group of Shizuoka

2054-120 Kitago, Nagano-shi, Nagano 381-0075, Japan

ABSTRACT

**Banding and Observation of Ptarmigan *Lagopus mutus japonicus*
in the Southern Part of the Akaishi Mountains**

Toshiharu ASAKURA*, Shoji MASUDA, Tamiko KONDO and Masanobu HOTTA

Bird banding and tracking research was conducted in the southern part of the Akaishi Mountains (on an approximately 10 km area of ridge between from Mt. Izaruga to Mt. Hijiri), during a 19 day period from June to December, 2007 and a 10 day period from June to July, 2008. Five territorial adult males, three adult females and one juvenile female of Ptarmigan *Lagopus mutus japonicus* were captured. All of the captured birds, except for one adult female that was blind in the right eye, were banded and released. Five of the banded birds were confirmed in the follow up research, including three that were observed about a year after release. A team from Shinshu University also conducted similar research in the same area in 2005, and banded and released seven adult males and three adult females. This research confirmed two of these banded males and one female. All of the observations were in the general vicinity of where the birds had been released.

Key words: endangered species, Ptarmigan *Lagopus mutus japonicus*, southern limit of distribution of the World.

受付日：2010年2月25日，受理日：2011年11月2日