

B-11 地球温暖化の生物圏への影響、適応、脆弱性評価に関する研究

(2) 高山生態系の脆弱性評価と適応策に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

生物圏環境研究領域 生態系機構研究室

名取俊樹

静岡大学理学部

増沢武弘

石川県白山自然保護センター

東野外志男

<研究協力者>

福井大学 教育地域科学部

伊藤文雄

糸魚川市青梅少年の家

野柴木 洋

石川県白山自然保護センター

林 哲

野崎英吉（現 石川県自然保護課）

小川弘司

野上達也

平成14～16年度合計予算額 26,971千円
(うち、平成16年度予算額 8,025千円)

[要旨] 本プロジェクトの目的は、共通シナリオを用いて我が国高山帯生態系に及ぼす地球温暖化の影響を具体的に図化し、その結果に基づいて適応策を検討することである。共通シナリオによる解析の結果、国立公園の高山帯植生や希少種・固有種であるキタダケソウ、多年性雪渓である白山の千蛇ヶ池雪渓が温暖化に対して脆弱性が高いことを示した。また、すでに現実問題となっている低地性植物の高地への侵入についてオオバコを例にした解析から、今後より高地への侵入リスクが高まることを示した。そして、それらの結果を基に、温暖化に対する適応策を検討した。その際、我が国の高山帯生態系が、気温などの気象要因ばかりでなく、人間の直接的な影響も受けている事例を示し、我が国の高山帯の利用目的により、温暖化に対する適応策を考える必要性を提案した。

また、共通シナリオを用いた解析までには到らなかったものの、長年にわたる現地観察から亜高山帯への進入が観察されている硫黄岳（長野県八ヶ岳）付近のハクサンシャクナゲの分布上限での現象解析や温暖化影響が危惧されているオコジョについて現状の把握を行った。

さらに、現時点では温暖化影響との関連が明確でない低地性植物の高地での生育確認について、オオバコの生育が確認された最高標高での7月の月平均気温が、事例数は少ないものの、ほぼ同じであることから、地球温暖化による気候変化との関係が示唆された。

[キーワード] 温暖化影響 高山生態系 高山帯 適応策 国立公園

1. はじめに 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が示した第3次評価報告書（2001）では、気候変化に対する自然・人間システムの感受性や脆弱性、適応力についてまとめられている。それらの中から、本サブテーマに関連すると思われる幾つかの記述を取り上げると、①自然システムは適応力が制限されているため、気候変化に対して特に脆弱であり、自然シ

ステムの一部は重大かつ不可避な被害を受ける可能性がある。また、リスクが大きい自然システムの一つとして山岳生態系が上げられている。②多くの種や固体群は既に高いリスクに曝されており、現在の生息地の一部が多くの種に適さないものとなり、さらに、土地利用変化による生息地の断片化と種の移動に対する障害の増加が相乗して、より大きなリスクに曝される。③適切な管理がなされないと、これらの圧力により、21世紀においては、現在「深刻な絶滅の危機に曝されている」と分類されている一部の種は絶滅し、「絶滅の危機に曝されている、また、脆弱である」と分類されているものの大多数は非常に希少種となって、絶滅に近づく。これらの種のリスクを低減させることができる方法は、①種の移動を可能にする通路を持つ避難場所、保護指定地の設定、②繁殖管理や移植 が提示されている。また、生物多様性に及ぼす地球温暖化の影響について、IPCC Technical Paper V「Climate Change and Biodiversity」(2002)が別にまとめられている。さらに別に、持続可能な開発を通じ、地球環境の保全の実現に向けた我が国の重要な行動計画をまとめたアジェンダ21の13章には山地生態系が割り当てられ、そこには、生態系の保全に配慮しつつ、適正な利用が述べられている。これらのことから、我が国高山生態系の地球温暖化に対する脆弱性評価と適応策に関する研究は、緊急かつ重要な研究となっている。

そこで、本プロジェクトでは、共通シナリオを用いて我が国高山帯生態系に及ぼす地球温暖化の影響を図化し、その結果に基づいて適応策を考える。しかし、国土が狭い我が国の高山帯では、人間の直接的影響などが生態系に大きな影響を及ぼしている。さらに、我が国の高山帯には、様々な法律などにより各種自然公園や保全地域・特別保護区などが設置されており、これらの場所では自然保護が図られるとともに、自然とのふれあいの場として利用されている。従って、我が国高山帯での温暖化に対する適応策を考える際には、温暖化影響ばかりではなく、人間の直接的影響などや利用の目的なども考慮する必要がある。

また、現時点では地球温暖化との関係は明確ではないものの、温暖化影響の一つとして指摘されていた低地性植物の高地への侵入がすでに現実問題となっており、尾瀬や上高地、立山、早池峰などでは低地性のオオバコの高地での生育が確認され、除去作業が行われた。白山では低地性のスズメノカタビラの生育が標高2,450mで確認され、除去作業が行われた。これらについても、地球温暖化との関連性や適応策について検討する必要がある。

2.研究目的 本プロジェクトの目的は、共通シナリオに基づいて我が国高山帯生態系に及ぼす地球温暖化の影響を図化し、その結果に基づいて適応策を考えることである。その手順を大まかに述べると、①我が国高山帯の生態系あるいは植生などの現状を把握し ②温暖化の影響を受けやすい自然現象と気象要因との関係、特に気温、との関係を明らかにする。③得られた関係と共通シナリオにより地球温暖化の影響を図化する。④その結果を基に適応策を考える。しかし、我が国の高山帯生態系は、気温などの気象要因ばかりで、人間の直接的な影響も大きく受けている。また、我が国の高山帯は、自然の保全と自然とのふれあいの場としての利用目的が設定されている。従って、温暖化に対する適応策を考える際には、温暖化影響に加え、これらも考慮する必要がある。

そこで、まず、1) 我が国高山帯での温度環境の現状を把握するため、高山帯での気温変化の地域差を把握した。次いで、2) まず、共通シナリオにより与えられる気候要素のうち、通

常の標高補正により高山帯での値が再現できる気候要素を確かめ、その結果を基に、国立公園での高山帯植生の温暖化に対する脆弱性を調べた。また、自然保護の観点から、希少植物、固有種であるキタダケソウを選び、3) キタダケソウの脆弱性を図化し、適応策を検討した。次に、自然とのふれあいの場および低地性植物の高山帯への侵入、人間活動の直接的影響の観点から、4) 白山におけるオオバコの高地への侵入リスクを図化し、適応策を検討した。また、希少動物保護の観点から、5) 白山のオコジョの脆弱性を調べた。また、長年にわたる現地観察から亜高山帯への進入が観察されている、6) 硫黄岳（長野県八ヶ岳）付近のハクサンシャクナゲの現状や、温暖化の影響を受けやすく高山生態系に大きな影響を与える雪渓として、7) 白山の千蛇ヶ池雪渓の現状についても調べた。

3.研究方法

(1) 我が国高山帯での気温変化の地域差を把握するため、気象庁が観測・公表しているデータ^{1)~7)} から求めた富士山頂（静岡県、山梨県、3,775m）、輪島（石川県）上空3,000m、館野（茨城県）上空3,000m、根室（北海道）上空1,500mでのそれぞれの年平均気温の経年変化を求めた。その際、輪島上空、館野上空、根室上空での値は、高層気象データに示されている21時の850hPaと700hPaの高度と月平均気温の値から、高度の上昇と気温の減少との間に直線関係を仮定して推定した。そして、それらを1年間平均し年平均気温を求め、さらに、5スパンの移動平均値を計算した。そして、それらの移動平均値と富士山頂での記録から求めた移動平均した年平均値との関係を調べた。

(2) 共通シナリオを用いて、我が国高山帯に設置されている国立公園の温暖化に対する脆弱性を調べる際には、共通シナリオの2次メッシュで与えられ気候値を、対照とする国立公園の標高に合わせ補正して用いる必要がある。そのため、まず、2次メッシュで与えられる月平均気温、月最高気温、月標最低気温について、通常の高標補正により高山帯での値が再現できるか検討するため、現在値として示された富士山頂を含む2次メッシュの月平均気温、月最高気温、月最低気温（1981～2000年の平均）から気温低減率を5、5.5、6℃/1000mの3段階に変えて富士山頂での各気温を推定した。そして、その値と富士山頂での実測値から求めたそれぞれの気温値とを比較した。

次に、国立環境研究所環境情報センターに整備されているGreen（自然環境保全総合データベース）から、本州では1,500m以上、北海道では750m以上で、かつ国立公園に分類されている3次メッシュを抽出し、国立公園毎、2次メッシュ毎にまとめた。そして、まとめた2次メッシュの中に一つでも寒帯・高山帯自然植生（以後、高山帯植生）と記載されている3次メッシュがある場合には、高山帯植生の2次メッシュとした。また、2次メッシュ毎にまとめた3次メッシュの最高標高の中から最も高い標高を、そのまとめた2次メッシュの最高標高とした。そして、解析には、CCSR/NIESを統計的にダウンスケールリングし2次メッシュデータとした共通シナリオ（以後、CCSR）と気象庁/気象研気象統一シナリオVer2をもとに2次メッシュデータとした共通シナリオ（以後、JP2）を用いた。そして、共通シナリオで現在値として与えられている2次メッシュの月平均値を、まとめた2次メッシュの最高標高で標高補正し、月平均値を計算した後、温量指数を推定した。そして、高山帯植生とそれ以外の植生を区別する

温量指数の閾値を求めた。さらに、共通シナリオにより、2050年での温量指数を同様に計算し、求めた閾値により、2次メッシュの植生が高山帯植生かそれ以外の植生かを判定し、温暖化に対する国立公園の脆弱性を調べた。

3) キタダケソウ生育地保護区の現状を把握するため、キタダケソウに関する既存資料を収集し、さらに、生育保護区内でキタダケソウが分布している場所の土壌pHを調べると共に現地に設置した温度計の温度変化から消雪時期を推定した。

次に、共通シナリオ、CCSR、JP2、CCCMを統計的にダウンスケールリングし、2次メッシュデータとしたシナリオ（以後、CCCM）によりキタダケソウの脆弱性を推定し、その結果を図化した。その際、まず、既存の富士山頂でのデータから1981～2000年の間について平均した各月毎の月平均気温を計算し現在値とした。そして、生育地保護区が設定されている範囲の標高での温量指数を求めた。また、富士山頂の既存データから求めた現在値に共通シナリオでの現在値と2050年値との差を加えて2050年の月平均気温とし、その後、同様に、生育地保護区の範囲の標高で温量指数を推定した。そして、その結果をもとに適応策を検討した。

4) すでに低地性の植物であるオオバコやスズメノカタビラの高山帯への進入が問題となっている白山において、オオバコの分布範囲の現状を把握するため、オオバコの特性を考慮し、登山者数が異なる13の登山道別にオオバコの垂直分布を調べた。また、垂直分布の経年変化を把握するため、登山者数が多い砂防新道で得られた結果と1975年に石川県白山自然保護センターが実施した同様な調査結果^{8) 9)}とを比較した。また、既存資料¹⁰⁾より、白山及び白山以外の山岳でのオオバコが認められた場所の最高地点での7月の気温を推定した。さらに、オオバコの発芽特性に着目し、温度試験範囲10～35℃までの間に7つ温度区を設定し、オオバコの発芽率を調べた。次に、共通シナリオ、CCCM、CCSR、JP2、CSIRを統計的にダウンスケールリングし、2次メッシュデータとしたシナリオ（以後、CSIR）、MPKIを統計的にダウンスケールリングし、2次メッシュデータとしたシナリオ（以後、MPKI）により、2050年、2100年での、7月の月平均気温を推定し、その値から、白山でのオオバコが生育可能な最高標高を計算した。そして、適応策を検討した。

5) 温暖化により影響を受け易い動物の例として、氷河期からの遺存動物であるオコジョを選んだ。まず、オコジョの現状を把握しするため、各18都県（青森県、秋田県、山形県、岩手県、宮城県、福島県、新潟県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、東京都、神奈川県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、愛知県）から発行されている都道府県版レッドデータブックや都道府県立博物館などの所蔵標本目録を基に、1990年以降に生息が確認された場所と確認できなかった場所を標高別に整理した。また、高山帯を生息地とするオコジョ、オコジョの食物をめぐる競争種でありかつ捕食者でもあるキツネ、テンの白山での分布範囲を登山者数が異なる登山道別に糞調査を行い、それぞれの動物の分布を把握した。次に、温暖化によりオコジョの生存リスクが高まる要因の一つとして、換毛時期の変化に注目した。すなわち、オコジョは、冬季間換毛により白くなることで、大型捕食者から逃れることが有利になると共にノウサギなどの哺乳類やライチョウなどの鳥類を捕獲することにも有利になると考えら

れている。また、オコジョの冬換毛（白化）は、雪あるいは気温と連動していると考えられており、最低気温が0℃に達した時期には、完了していることが報告されている。そこで、野外調査や既存資料¹¹⁾により、志賀高原（長野県）、妙高高原（新潟県）、白山（石川県）の事例について換毛時期の変化を調べた。なお、これらの調査などは、野柴木洋氏（糸魚川市青梅少年の家）の協力のもとに行われた。

6) 長年にわたる現地観察から、高山性のキバナシャクナゲの生育場所に亜高山性のハクサンシャクナゲが進入していることが認められる硫黄岳（長野県八ヶ岳）付近において、キバナシャクナゲとハクサンシャクナゲの現状を把握するため、まず、調査地近くの諏訪測候所で観測している気象資料を収集した。また、調査地付近の植生の変化を把握するため、1971年と2000年の空中写真を比較した。さらに、キバナシャクナゲとハクサンシャクナゲの分布調査および群落調査、年輪解析を行った。次に、温暖化と係わるハクサンシャクナゲの特性を探索する目的で、採取時期が異なる葉を4～-80℃の間の9段階で低温処理して耐凍性を比較すると共に春先に認められる葉の褐変率を現地調査した。

7) 白山の千蛇ヶ池雪渓は全国的に数が少ない多年生雪渓の一つであり、白山の山稜西側、標高2,570m付近に位置する。まず、現状を把握するため、雪渓規模が最小となるその年の降雪前の10月上旬に、雪渓面積を測定し雪渓規模とした。また、伊藤文雄氏（福井大学）の協力を得て1981年以降の越年面積の経年変化をまとめた。次に、白山山麓の白峰（標高480mで、千蛇ヶ池雪渓の西13km）での気象データを収集し、雪渓規模の変化と気象要因との関係を求めた。さらに、共通シナリオ、CCCM、CCSR、CSIR、MPKI、JP2と求めた関係から50年後の雪渓規模を計算した。

4. 結果・考察

(1) 我が国高山帯での気温変化の地域差を調べるため、富士山頂での年平均気温に対して、輪島上空3,000m、館野上空3,000m、根室上空1,500mでのそれぞれ年平均気温を図示した結果（図1）、富士山頂と最も強い相関が認められたのは輪島（石川県）であり、館野（茨城県）、根室（北海道）の順に小さくなった。しかし、相関係数の値が最も小さい根室においても、約0.7もの値が得られ、図示した何れの地点でも年平均気温の変動が、概ね似ていることが分かった。さらに、この結果は、これらの地点が、北は北海道から南は静岡県、さらに、石川県、茨城県と我が国の高山帯をほぼカバーする範囲からのデータであることから、我が国高山帯での年平均気温の変動が概ね似ており、大きな地域差が無いことを示している

(2) 共通シナリオで現在値として示された2次メッシュ気候値の中から富士山頂を含む2次メッシュの月平均気温、月最高気温、月最低気温について、富士山頂での値となるように標高補正した値と、富士山頂での実測値から求めた値とを比較した。その結果、1月～12月の各月について、富士山頂での実測値と概ね一致したのは、気温の低減率を6℃/1000mとして計算した月平均値であった。月最低気温と月最高気温については、低減率を6℃/1000mとして計算した場合に、両者とも夏期には概ね一致した値が得られたが、特に冬期には、富士山頂で

の実測値から求めた値に比べて、月最高気温は低めに、月最低気温は高めになった。そこで、国立公園の脆弱性を検討する際には、月平均気温から計算される温量指数を用いることとした。

そこで、共通シナリオの現在値の月平均値について、まとめた2次メッシュのそれぞれの最高標高に合わせて標高補正を行い月平均値を推定した後、温量指数を求めた。そして、高山帯植生とそれ以外の植生を区別する温量指数の閾値を求めたところ、21℃が計算された。そこで、21℃を閾値として、共通シナリオにより、50年後の高山帯に設置されている国立公園の最高標高での植生を同様に推定した(図2)。その結果、データベース上の高山帯植生と共通シナリオの現在値から判別した高山帯植生を比較すると、地域差を考慮せずに、植生を分ける温量指数を21℃としているため、特に磐梯朝日国立公園では、データベース上では高山帯植生が記録されているものの、共通シナリオの現在値から推定した場合には高山帯植生と判別される植生が無くない例があった。しかし、全体的に見ると、国立公園での高山帯植生をある程度再現できた。その高山帯植生が、2050年には高山帯植生とみなされるメッシュ数が減少し、国立公園の高山帯植生は極めて温暖化の影響リスクが高いことが分かった。これらの結果から、直ちに、国立公園の高山帯植生がほとんど消滅するとは言えないものの、そのリスクが現在以上に大きくなると結論付けられる。

このような状況を踏まえ、国立公園設置の主目的である景観保護について、温暖化に対する適応策を考えると、その対象範囲が極めて広大となるため、温暖化影響を考慮した新たな対応策を考える必要がある。また、景観変化をいち早く把握するシステムを整備することも適応策の一つと考えられる。

(3) キタダケソウの現状を把握するため、まず、既存資料の収集や野外調査により、生育地保護区内でのキタダケソウの分布状況やキタダケソウが分布している場所の土壌pHや消雪時期を調べた。その結果、キタダケソウ生育地保護区は、北岳南東斜面の標高2,750m~3,170mに設定されており、キタダケソウは、その保護区内でも、比較的消雪時期が早い風衝草原で、さらに土壌pHが比較的高い場所にのみ生育していることが分かった。次に、共通シナリオにより、現在及び50年後の生育地保護区が設定されている範囲の標高での温量指数を求めた(図3)。その結果、現在、標高2,750mに設定されている生育地保護区下限の温量指数は17℃となった。共通シナリオにより50年後の温量指数を計算すると、シナリオにより異なるものの、気温の上昇を最も低く見積もったJP2でも、温量指数17℃は、3,100m付近の生育地保護区のほぼ上限にまで上昇することが分かった。キタダケソウが生育している風衝草原の成立要因としては、気温ばかりでなく、冬季の風や消雪時期などの雪環境が考えられているため、得られた結果から直ちキタダケソウが絶滅するとは結論付けられないものの、現在以上に絶滅リスクが高まると結論される。

このような結果を踏まえ、温暖化に対する適応策を考えると、たとえ現在の生育地保護区が、温度的には現在の範囲から外れ、キタダケソウの絶滅リスクが高まろうとも、冬季の風や雪の影響により残るであろう現地生育場所での保護をまず第1に考えられる。その際、キタダケソウの生育を脅かすハイマツや高茎草原構成種、あるいは亜高山帯植生の構成種の分布拡大を、人為的に排除するかあるいは放置するかの適応策が考えられるが、この選択には、

キタダケソウの絶滅リスクの進行程度や、地域・地元の理解、あるいは温暖化影響に対する考え方など、様々な観点からの検討が必要であろう。また、第2案として、生育地外での生育保護も考えられ、すでに、植物園などでキタダケソウの栽培が行われているようである。

(4) 白山でのオオバコの現状を把握するため、オオバコの垂直分布を登山者数が異なる13の登山道別に整理した。オオバコは、その種子特性から分布拡大には人間が大きく関わるということが知られているが、登山者数が最も多い砂防新道や比較的少ない他の登山道でも（白山禅定道や岩間道の例外はあるものの）、オオバコの分布上限高度は2,000～2,100mであり、ほぼ同じであった（最高標高は南竜道の2,110m、また、白山禅定道や岩間道は2,000mまで達していない）。既存資料から、その2,100mでの推定した7月の月平均気温は13.6℃であった。また、白山以外の山岳について、既存資料からオオバコが確認された最高標高を調べると、蔵王刈田岳（宮城県）では1,759m、立山（富山県）では2,000m、乗鞍岳（長野県、岐阜県）では2,600mであった。オオバコが確認されたそれぞれの最高標高での推定した7月の月平均気温は12.4～14.4℃であり、ほぼ白山と同じであった。そこで、オオバコ種子の発芽温度に注目し、試験温度を変えて発芽率を調べ、その結果を図4に示した。その結果、オオバコが発芽し、生育し始めると推定されている7月の月平均気温の13～14℃では、発芽率が極めて低いことが確認された。次に、オオバコが分布する最高標高を7月の月平均気温が13.5℃となる標高として、共通シナリオにより2050年と2100年での、7月の月平均気温が13.5℃となる標高を図5に示した。シナリオに異なるものの、気温の上昇を最も低く見積もっているJP2でも、2050年頃までには、7月の月平均気温13.5℃の地点が現在より約400m上昇すると計算され、白山高山帯へのオオバコの進入リスクが高まると予想された。

このような結果を踏まえ、高山帯での温暖化に対する適応策を考えると、オオバコの分布拡大には人間が大きく関わるということが知られていることから、高山帯へのオオバコの分布拡大を防ぐ第1の方法は、人間の立ち入り及び荷物の持ち込みを禁止することであろう。しかし、高山帯には自然とのふれあいの場としての目的が設定されているため、そのような場所では、今後ともオオバコの分布拡大リスクは増大していくと思われる。その場合、次の適応策としては、高山帯へ侵入した低地性の植物を除去する方法と放置する方法が考えられる。このどちらかを選ぶに際しては、地域・地元の理解、あるいは温暖化影響に対する考え方など、様々な観点からの検討が必要であろう。

(5) オコジョの我が国での現状を把握するため、収集した18都県の資料から1990年以降の生息確認の有無を標高別に整理したところ、高標高地に比べて2,000m以下の低標高地で確認されない場所が多かった。また、高山帯を生息地とするオコジョ、オコジョの食物をめぐる競争種でありかつ捕食者でもあるキツネ、テンの白山での分布範囲を登山者数が異なる登山道別に整理したところ、登山者数が多い砂防新道では、テンの糞のみ僅かに認められたに過ぎなかったが、登山者が少ない別山市ノ瀬道では、オコジョ、キツネ、テンの糞が多数認められた。また、概して、オコジョの捕食者であるキツネ、テンの糞が多い場所では、オコジョの糞が少なかった。これらの結果から、遺存動物であり、高山帯を生息地とするオコジョの分布は、競争種・捕食者であるキツネ、テンの分布や登山者数の影響、つまり人間の利用頻

度の影響を強く受けることが分かった。また、キツネの糞分析の結果、例えば糞の中に登山者あるいは山小屋などから出されたと思われる残飯などに由来するものが見つかったことから、キツネの分布も人間の様々な活動が影響することが分かる。

次に、野外調査や既存資料により、志賀高原（長野県）、妙高高原（新潟県）、白山（石川県）の事例について換毛時期の変化を調べた。その結果を表1にまとめた。

表 1 志賀高原、妙高高原、白山でのオコジョの換毛時期の変化

		春（夏）換毛	秋（冬）換毛
志賀高原	1980年代	4/20頃～5/20頃	11/10頃～11/20頃
	1990年と2000年代	3/15頃～3/20頃	11/30頃～12/20頃
妙高高原	1980年代	4/22頃～5/25頃	不明
	1990年と2000年代	3/14頃～4/15頃	10/30頃～11/30頃
白山	2000年以前	不明	10/10頃には完了
	2000年以後	3月上旬から4月中旬	11/3には完了

これらの事例から、春の換毛については、1980代には4月中旬から5月中旬であったが、近年は3月中旬から4月中旬に早まり、秋の換毛については、10月上・中旬から11月中・下旬であったが、11月上・中旬から12月中旬頃に遅くなっている傾向が認められる。また、春の換毛期の3月・4月及び秋の換毛期の10月・11月の月平均気温や最低気温（場所により、気温の測定年数や測定項目は異なるが）が、1980年頃に比べて上昇しており、また、志賀高原では、10月の最低気温が0℃以下になった日数は31日から12日に減少している。これらから、換毛期の気温が上昇してきていることが示唆された。

以上の結果を踏まえて、近年、高標高地に比べて2,000m以下の低標高地で生息確認されない場所が多かったというオコジョの現状に、温暖化がどの程度寄与しているか見積もることが今後に残された課題の一つであろう。その上で、オコジョ生息地への人間の立ち入りやキツネなどの競争種の分布に係わるの登山者あるいは山小屋などからの残飯処理の問題も考慮しながら、温暖化に対する適応策を考えていく必要がある。

(6) キバナシャクナゲとハクサンシャクナゲの現状を把握するため、まず、調査地近くの諏訪測候所で観測している気象資料を収集し、硫黄岳付近の気温を推定したところ、1982年以降、気温の上昇が顕著であった。また、調査地付近の植生の変化を把握するため、1971年と2000年の空中写真を比較したところ、植物種までは識別できないが、調査地付近で植生の上昇が認められた。分布調査については、硫黄岳頂上付近でのキバナシャクナゲ・ハクサンシャクナゲとも、生育している標高は生育斜面の向きなどにより異なっていたが、概して、キバナシャクナゲに比べてハクサンシャクナゲの方がハイマツ群落の中や群落周辺部でもより群落に近い場所で生育していた。ハイマツ群落の中や群落に近い周辺部分は、例えば風速などが弱まっている場所と推定できることから、ハクサンシャクナゲが生育高度を上昇する場合には、厳しい高山環境が比較的緩和されている場所に生育していると考えた。また、年輪解析の結果から、サンプル数が少ないものの、両種が混在あるいは近接している場所では、キ

バナシヤクナゲに比べてハクサンシヤクナゲの方が旺盛な生長をしていることが示唆された。次ぎに、温暖化と係わる両シヤクナゲの特性を探索する目的で、まず、耐凍性を比較した結果、キバナシヤクナゲの方がハクサンシヤクナゲに比べて、9月に採取した葉で耐凍性が高いと認められたものの、10月に採取した葉では両種とも-80℃の低温でも細胞が破壊されなかった。春先に認められる葉の褐変率を調べたところ、キバナシヤクナゲに比べてハクサンシヤクナゲの褐変率が高く、また、褐変率は、冬季雪に覆われている期間が短いと推定される場所で高かった。

以上の結果を踏まえると、ハクサンシヤクナゲの分布上限で起きている植物側の現象はある程度把握できたと考えている。しかし、共通シナリオから、硫黄岳（八ヶ岳）付近の斜面での消雪時期の差などを計算する手法が見い出せなかった。そこで、今後、何らかの手法を見出し、ハクサンシヤクナゲの分布上限を推定する必要がある。

(7) 白山の多年生雪渓である「千蛇ヶ池雪渓」の現状を把握するため、1981年以降の越年面積の経年変化を図5に示した。調査期間のなかで、越年面積の最大は1981年の4,200m²であり、最小は1998年の500m²であった。また、変化の傾向としては、80年代から92年までは減少傾向であり、それ以後は年により大きく変動しているが、総じて減少傾向にあると言える。次に、白山山麓の白峰での気象データから、雪渓規模と気象要因との関係式を求めたところ、

$$Y = -8.21X1 - 1.83X2 + 90.76 \quad (R^2 = 0.71)$$

Y：千蛇ヶ池の雪渓規模 (m²) X1：白峰での11月～4月の平均気温 (9時)

X2：白峰での6月～9月の平均気温 (9時)

を得た。得られた関係式と共通シナリオにより、2050年での雪渓規模を計算したところ、全てのシナリオで雪渓面積がマイナスとなり、越年する雪渓が無くなる結果が得られた。そこで、10年単位で気候値が示されているCCCM、CCSR、CSIR、MPKIを用いて、同様に、10年毎に計算したところ、CSIRとMPKIでは、2009年までに、CCCMとCCSRでは2029年までに、越年する雪渓が無くなるという驚くべき結果が得られた。これらの結果から、多年性雪渓は温暖化に対して極めて脆弱であることが分かった。また、最も早く、越年する雪渓が無くなると計算された時期まで、あと数年であるため、共通シナリオによる脆弱性評価の検証が可能であろう。

5. 本研究により得られた成果

本プロジェクトの目的は、共通シナリオに基づいて我が国高山帯生態系に及ぼす地球温暖化の影響を具体的に図化し、その結果に基づいて、適応策を検討することである。共通シナリオによる解析の結果、国立公園の高山帯植生や希少種・固有種であるキタダケソウ、多年性雪渓である白山の千蛇ヶ池雪渓が温暖化に対して脆弱であることが分かった。また、すでに現実問題となっている低地性植物の高地への侵入についてオオバコを例にした解析から、高地への侵入リスクが高いことが分かった。これらの結果から、我が国高山生態系が地球温暖化に対して脆弱性が高いことが示された。

登山者数が多い登山道ではテンの糞のみ僅かに認められたに過ぎなかったが、登山者が少ない登山道ではオコジョ、キツネ、テンの糞が多数認められたことやオコジョの捕食者であるキツネ、テンの糞が多い場所ではオコジョの糞が少なかったこと、さらに、キツネの糞の中に登山者あるいは山小屋などから出されたと思われる残飯などに由来するものが見つかったこと、さらに、現在問題となっているオオバコの分布拡大には人間が大きく関わっていることが知られていることから、我が国の高山帯生態系が、気温などの気象要因ばかりで人間の直接的な影響も受けている例を示した。温暖化の適応策を考える際に、人間の影響を排除する端的な方法は、人間の立ち入りや荷物の搬入を禁止することであるが、このような措置を高山帯の全てで行うことは現実的ではない。そのため、我が国の高山帯の利用目的により、人間の影響を極力排除できる場所とできない場所とに分け、温暖化に対する適応策を考える必要性を提案した。

また、共通シナリオにより将来の温暖化影響を凶化し、脆弱性を検討するまでには到らなかったものの、温暖化影響が危惧されるハクサンシャクナゲやオコジョについて、温暖化との関連性の観点からの解析を行うことができ、ある程度の成果を得ることができた。

さらに、現時点では地球温暖化との関係は明確ではないものの、現実問題となってきている低地性植物の高地への侵入問題について、低地性植物であるオオバコの生育確認された最高標高での温量指数が、事例数は少ないものの、ほぼ同じであることから、地球温暖化による気候変化との関係が指摘できた。

6. 引用文献

- 1) 気象庁（1967）富士山頂の気象第8号
- 2) 気象庁（1979）富士山頂の気象第9号
- 3) 気象庁（1980年1月～2000年12月）気象要覧の中の高層観測統計表
- 4) 静岡地方気象台（1981～2000）静岡気象月報1981年1月～1999年12月
- 5) 気象庁（1983）AEROLOGICAL DATA OF JAPAN 30-YEAR PERIOD AVERAGES
PART 1 日本上高層資料30年報 その1
- 6) 気象庁（1984）富士山頂の気象第10号
- 7) 気象庁（2000～2003）2000年3月～2003年12月 47639富士山 気象庁閲覧室でのデータベース
- 8) 野上達也（2001）白山高山帯、亜高山帯における低地性植物の分布について 石川県白山自然保護センター研究報告 28、1-6
- 9) 野上達也（2002）白山高山帯、亜高山帯における低地性植物の分布について（2）石川県白山自然保護センター研究報告 29、1-6
- 10) 信濃豊子、菅原亀悦、飯泉茂（1972）蔵王刈田岳山頂におけるオオバコの生態的観察 蔵王山蒲生干潟の環境破棄による生物群集の動態に関する研究1 12-18
- 11) 野紫木洋、西澤輝紀（1988）志賀高原におけるオンドオコジョの換毛について 信州大学教育学部附属自然教育研究施設研究業績 25：23-34

7. 国際共同研究等の状況

特になし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

- ①清水庸・池亀康央・名取俊樹・大政謙次：日本生態学会、52：25-34(2002)
「高山帯・亜高山帯植生と気候条件の統計的関連性」
- ②増沢武弘：日本生態学会誌55：1-61(2005)
「北海道アポイ岳の高山植物の現状と将来」
- ③増沢武弘・光田隼・田中正人・名取俊樹・渡辺定元：日本生態学会誌55：85-89(2005)
「北海道アポイ岳の高山植物群落－カンラン岩土壌における植物群落の遷移－」
- ④光田隼・増沢武弘：日本生態学会誌55：91-97(2005)
「北海道アポイ岳における植物の分布と土壌環境」

<学術誌(査読なし)>

- ①伊藤文雄、小川弘司：雪氷北信越23、43(2003)
「白山千蛇ヶ池雪溪の1981年以降の変動」
- ②増沢武弘：中公新書,160p(2002)
「極限に生きる植物(増沢武弘)」
- ③松本忠夫編：集団と環境の生物学 放送大学教育振興会(2003)
「集団と環境の生物学(分担111～138p)(増沢武弘)」
- ④野崎英吉：石川県白山自然保護センター普及誌「はくさん」第30巻4号2-5(2003)
「地球温暖化と白山」
- ⑤小川弘司：石川県白山自然保護センター普及誌「はくさん」第30巻4号6-9(2003)
「地球温暖化と白山の周氷河地形」
- ⑥野上達也：石川県白山自然保護センター普及誌「はくさん」第30巻4号10-14(2003)
「地球温暖化により白山の雪田植生はどうなるか？」
- ⑦野上達也：石川県白山自然保護センター研究報告 30、7-13(2003)
「白山高山帯・亜高山帯における低地性植物の分布について(3)」

(2) 口頭発表

- ①小川弘司：第5回自然系調査研究機関連絡会議調査研究活動事例発表会(2002)
「気候シナリオを用いた白山周氷河地形の変化予測」
- ②小川弘司、山本憲志郎：2003年度日本地理学会春季学術大会(2003)
「白山における階状土、ロープの形成と積雪との関係」
- ③小川弘司：石川地理学会第347回例会(2003)
「白山における階状土、ロープの分布特性と形成」
- ④伊藤文雄、小川弘司：2003年度日本雪氷学会北信越支部研究発表会・製品発表検討会(2003)
「白山千蛇ヶ池雪溪の1981年以後の変動」
- ⑤名取俊樹・矢部徹：日本生態学会第50回大会(2003)

「キタダケソウ生育地保護区の構成要素とその環境要因についてーその1ー」

⑥伊藤文雄、小川弘司：2003年度日本雪氷学会全国大会（2003）

「白山千蛇ヶ池雪溪の1981年以降の変動」

⑦増沢武弘、光田隼、名取俊樹：「北海道アポイ岳の植物群落」シンポジウム第51回日本生態学会（2004）「カンラン岩土壌における植物群落の遷移」

⑧名取俊樹：第51回日本生態学会（2004）

「消雪時期が異なるキタダケソウの生育場所について」

⑨野上達也：植物地理・分類学会2004年度大会（2004）

「白山におけるオオバコの分布変化」

(3) 出願特許
特になし

(4) 受賞等
特になし

(5) 一般への公表・報道等

①北国新聞（平成15年3月28日朝刊で、石川県自然保護センターが行った白山での温暖化影響予測結果について紹介）

②読売新聞（平成15年8月6日、地方版「手取の恵み 川と生きる1 大蛇封じた雪力なく」）

③NPO日本高山植物保護協会 総会（平成16年5月5日 依頼講演「北岳の植物の垂直分布とキタダケソウの研究」）

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

第4次IPCC報告書において、特に、アジアの章への貢献が期待できる

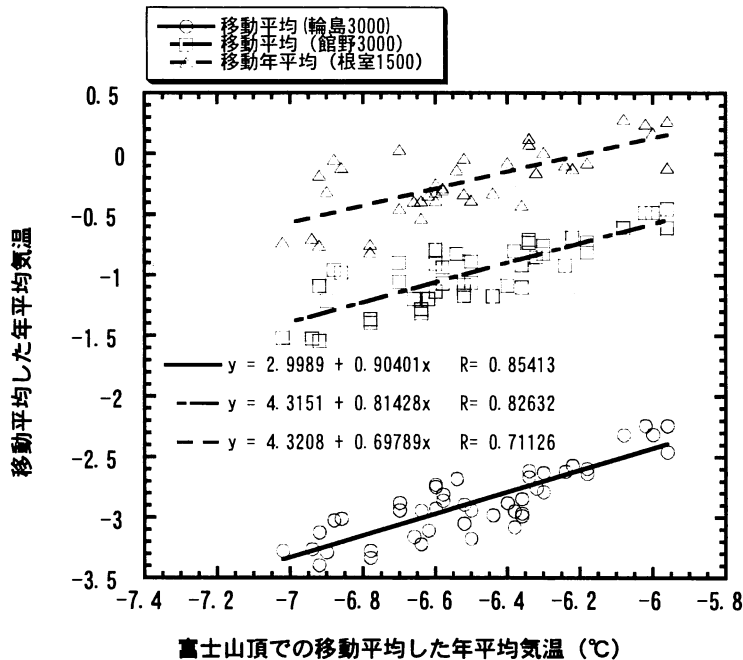


図1 我が国高山帯での移動平均した年平均気温の比較

横軸は、富士山頂（静岡県）での移動平均した年平均気温である。白丸印は、高層気象資料から推定した輪島（石川県）上空3,000mでの移動平均した年平均値を示し、白四角印は館野（茨城県）上空3,000m、白三角印は根室（北海道）上空1,500mでの値をそれぞれ示す。

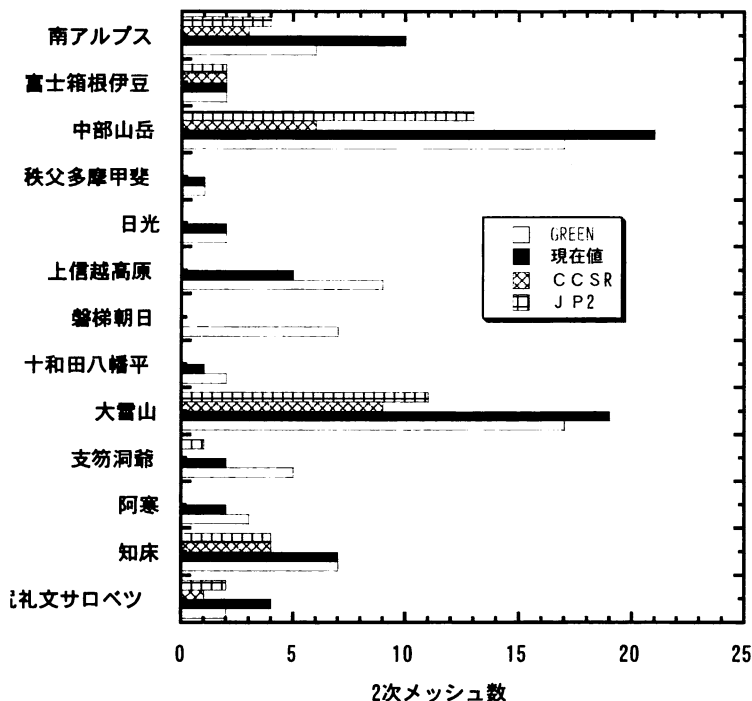


図2 温暖化に伴う国立公園の高山帯植生の脆弱性

縦軸は、Green（自然環境保全総合データベース）に収録されていた寒帯・高山帯植生と分類されている3次メッシュが一つでもある2次メッシュ数である。図中の白カラムは、Greenに収録されていた3次メッシュデータから求めた、国立公園毎の高山帯植生と分類された2次メッシュ数を示し、黒カラムは、共通シナリオの現在気候値として示された月平均気温を標高補正し、その後計算した温量指数から、高山帯植生と判別された2次メッシュ数を示し、CCSR及びJP2のカラムは、それぞれ共通シナリオCCSR、JP2の2050年での気候値から求めた高山帯植生の2次メッシュ数を示す。

（この部分は上記のCaptionに重複する内容を含んでおり、ここでは省略します）

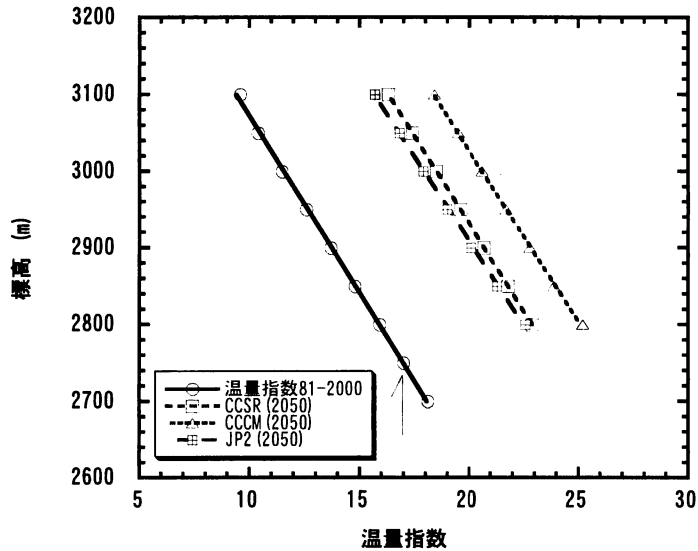


図3 キタダケソウ生育地保護区の温量指数

白丸印は、気象庁が観測・公表している富士山頂での月平均気温の1981～2000年の間の平均値（富士山頂での現在値とした）から推定した生育地の各高度での月平均気温から求めた生育地での温量指数を示し、白四角印はCCSR、白三角印はCCCM、十字四角印はJP2の、各シナリオでの現在値と2050年値の差を、それぞれ富士山頂での現在値に加えて推定した生育地での温量指数を示す。図中の矢印は、現時点での生育地保護区下限の温量指数を示す。

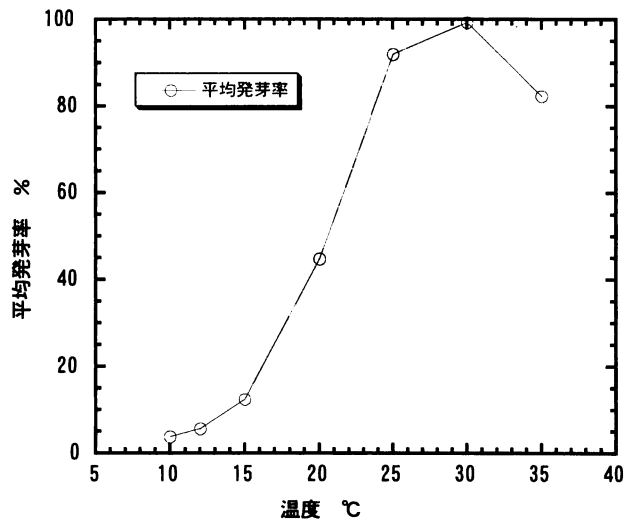


図4 オオバコの発芽率に及ぼす温度の影響

縦軸はオオバコ種子の発芽率を示し、横軸は試験した温度を示す。

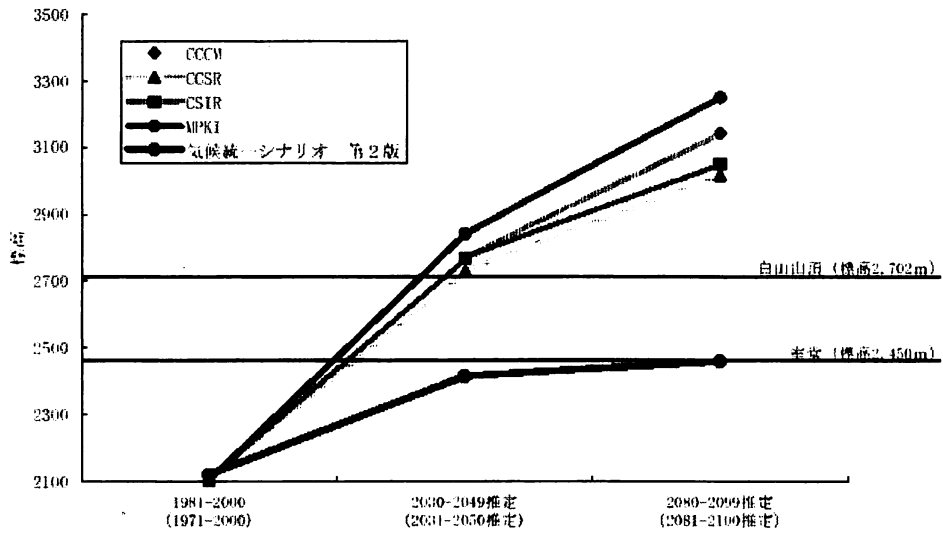


図5 5つの共通シナリオにより推定した、白山における7月の月平均気温が13.5℃となる標高

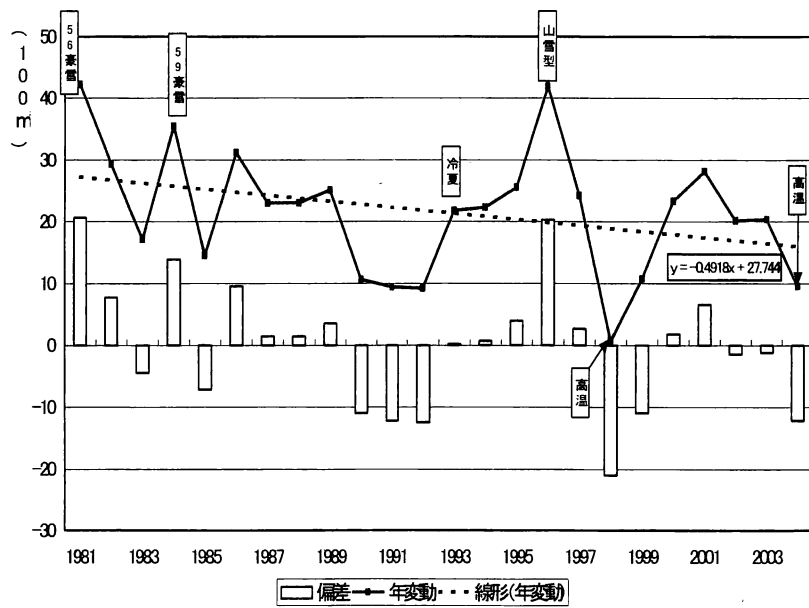


図6 白山千蛇ヶ池雪渓規模の経年変化

図中の折れ線グラフは、10月上旬に測った千蛇ヶ池雪渓の面積を示し、図中のカラムは、雪渓面積と点線で示した回帰直線との差を示す。