

B- 1 1 地球温暖化による生物圏脆弱性の評価に関する研究

(3) 森林生態系の脆弱性評価に関する研究

②亜熱帯・暖温帯・冷温帯林の脆弱性の評価

独立行政法人 森林総合研究所

植物生態研究領域	田中信行
森林植生研究領域	八木橋勉
気象環境研究領域	島田和則
関西支所	小南裕志
木曾試験地	森澤猛
科学技術振興事業団	松井哲哉・小川みふゆ
東京大学大学院新領域創成科学研究科	大沢雅彦

平成 11～13 年度合計予算額 23, 447 千円

(うち、平成 13 年度予算額 8, 102 千円)

[要旨]

日本付近では森林限界は積算温量が、それ以外の植生境界は主に低温が決めている。その結果、全年温度が上昇すれば植生帯は平行移動するが、冬だけ、あるいは夏だけの上昇が起こると植生帯の乱れが起こる。とくに冬気温が上昇すると動かない森林限界と上昇する常緑樹林にはさまれた落葉樹林、針葉樹林が狭まることが予測された。ブナ林の分布を規定する気候要因を明らかにし、気候変化シナリオに基づいて変化させた場合の分布可能範囲を 1km メッシュの空間分解能で予測した。気候変化シナリオ CCSR の 2050 年と 2090 年の場合では、九州、四国、中国地方、紀伊半島のブナ林の分布可能域はほとんど消失すると予測され、もともと脆弱なブナ林と考えられる。北海道では、現在の北限よりも東部や北部に分布可能域が広がるが、温度上昇時には石狩低地帯付近に広がるブナ林に適さない地域があるため、石狩低地帯よりも東や北へ分布を拡大することは困難であると考えられる。温暖化による積雪変化を予測するために、アメダスの気象データと積雪量推定モデルを改良し、1km メッシュ毎の分布の推定を行った。温暖化時には、秋田以南の日本海側平野部で著しい積雪量の減少が起こることが予測された。また、林木の着雪氷害の危険地域は、温暖化により高標高や北方へ移動することが予測された。

[キーワード] 温暖化、常緑広葉樹林、積雪、ブナ林、1km メッシュ

1. はじめに

IPCC 第 2 次評価報告書では、第一世代の GCM の気候シナリオでは、空間分解能が数百 km と広域の予測だけを行っていて、大陸や地球全体の予測には有効だが、地形が複雑で面積の小さい日本国内の影響予測には不十分である。気候変化の与える日本の森林への影響を評価するためには、森林の空間スケールに合せた空間分解能をもつ気候予測が必要になる。そこで、

本研究では、3次(1km)メッシュを単位に植生情報、気象・気候情報を収集し、解析を行った。

日本の亜熱帯・暖温帯常緑広葉樹林は熱帯森林が季節的低温に遭遇して、適応して成立したもので、熱帯型常緑広葉樹林とくに熱帯山地林の北方限界における一型である。このタイプの森林の種組成やさまざまな特性を研究することにより、森林群落や構成種の北限環境に対する適応様式や反応様式を明らかにすることができる。この森林は、また、人為活動の結果、孤立化・分断化が著しく進んでおり、温暖化した場合の植物の移動が困難な状況にある。温暖化により、既存の常緑広葉樹林がどのように変化し、構成種が北上して他の植生に対してどのような影響を与えていくのかを予測することが必要である。

日本の冷温帯林は、西日本の山岳域に孤立して分布するほか、中部・関東・東北の山岳域や北海道に広く分布する。この森林帯は冷涼で、日本海側を中心に多雪地が多い。冷温帯林の分布や種組成は、温度要因のほかに積雪が大きな影響を与えていることが知られている。しかし、気候要因と森林分布との関係の統計的解析は、これまであまり行われていない。また、温暖化による予測や影響の地図化も行われたことがない。

日本の積雪地域、特に本州の日本海側にある豪雪地帯と呼ばれる地域の多くは世界的に見ても降雪量が多く、冬季の降雪推量が1000mmを越える地域も存在している。これに対して冬季の気温は比較的高く、融雪期だけでなく厳冬期であっても、顕熱による融雪が見られることは珍しくない。このような地域においては積雪の形成が雨・雪のしきい値に近い温度範囲でおきており、積雪量の変動は、その多くを気温の変動量によって決定されていることが考えられる。積雪の大小が冬期の降水量の多寡よりも、降水が雨によってもたらされるか雪によってもたらされるかで積雪量が決定される要素が大きい。温暖化時の気温上昇は、積雪量へ大きな影響を与えると考えられる。

2. 研究目的

地球規模で温暖化影響を解明する上で、バイオマスと種多様性を担う森林構造の変化を予測することは重要である。本研究では、日本の亜熱帯、暖温帯、冷温帯の森林にもっとも影響を与えている気候要因として、積算温度、最低気温、夏期降水量、積雪量を重視し、これらの要因と森林の構造や種多様性との関係を解析し、日本における亜熱帯から冷温帯までの森林への温暖化の影響を予測し、脆弱性を評価することを目的とする。冷温帯域では、積雪の影響が大きくなるが、これまでの気候シナリオでは山岳域で標高に伴い変化する積雪量を推定できないので、積雪推定モデルを改良して空間解像度の高い積雪量推定を行う。また、林木の着雪氷害の危険地帯の変化予測も行う。

亜熱帯・暖温帯では、常緑広葉樹林の分布や種組成を規定する気候要因を特定し、温暖化した場合のそれ自体への影響と、他の森林帯への影響を推定することを目標とする。

冷温帯では、もっとも森林面積の広い天然林であるブナ林の分布を規定する気候要因を明らかにし、気候変化シナリオに基づいて気候を変化させた場合に推測される分布可能域を特定し、その結果を現在の分布域と比較することにより、植生帯として脆弱な地域を地図化することを目標とする。

積雪の予測では、アメダスの降水量、気温データを用いて雨雪しきい気温、融雪係数による日積雪水量の3次(1km)メッシュ毎の分布の推定を行い、積雪の温度変化に対する地域特

性の解析を行うことを目標とする。また、着雪氷害の危険地域も温暖化により変化するので、温暖化による危険地域の変化を予測し、地図化することを目標とする。

3. 研究方法

(1) 亜熱帯・暖温帯林の脆弱性の評価

暖かさの指数と植生分布の関係は日本国内では確立されているので、生物気温の境界値の設定は暖かさの指数(WI)の値を使った。これを現在、+3、+5℃の3つのシナリオで日本における植生帯の境界条件を設定し分布変化を予測した。ただし、温帯域での植生帯の分布北限は、森林限界を除けば暖かさの指数でなく冬の低温が支配しているので、温度上昇の季節性を重視して予測した。

日本の常緑広葉樹林域は古くから人間が居住、開発した地域なので原生的な森林は局在している。そこで調査地としては、必ずしも原生的森林ではないがある程度まとまって自然林、半自然林が残存している地域を調査対象に選んだ。沖縄(27 NL)、屋久島(30 NL)、千葉県清澄山(35 NL)、宮城県斗蔵山(37 NL、最北限)などの地点を選び、それぞれの地点における組成、構成樹木の諸特性(リーフサイズ、芽、分枝型)などを調べた。南から連続する森林帯なので、国内だけでは全貌がつかめないで、さらに南の熱帯山岳や大陸の森林帯との比較も加え、その特性を明確にすることを目指した。植生帯レベルではその領域を決定している温度気候要因について地理的なスケールで調べた。温暖化影響のように広域的な現象では、局所的な解析では誤った結論を導く危険があるためである。地形的レベルのインパクトは、特定の人為活動によって特定の立地が選択的に失われることの影響が問題である。とくに山地では、地形要因に応じた植生分布の特性と保全について調べた。

(2) 冷温帯林の脆弱性の評価

冷温帯の代表的な森林であるブナ林とミズナラ林の気候的分布可能域を評価するために、3次(1km)メッシュ気候値(気象庁監修メッシュ統計値)と環境庁自然環境保全基礎調査データ(3次メッシュ)を用いて、ブナ林分布域とミズナラ林分布域の気候条件に違いがみられるかを判別分析により解析した。気候値には、暖かさの指数(WI)、夏期降水量(PS)、冬期降水量(PW)を計算して用いた。

温暖化によるブナの分布可能域の変化を予測するために、気候条件を気候変化シナリオに基づいて変化させた場合に推測される分布可能範囲を推定した。将来の気候シナリオとして、年間を通して気温が2℃上昇し降水量が変化しない気候値と、大気循環モデルから予測されたシナリオの一つCCSRの2050年と2090年の気候値を、ブナ林とミズナラ林の判別式に当てはめ、ブナ林の分布可能域を予測した。また、急激な気候変化とブナ林の分断化のために、ブナが移動できないことが想定されるので、現在の分布地以外に新たな分布地がないと仮定した場合のブナ林の分布可能域も予測した。これらの解析をもとに、温暖化時に分布可能域からはずれる脆弱なブナ林の分布図を作成した。

(3) 積雪の変化予測

① 3次メッシュ格子点での気温、降水量の推定

アメダス (AMeDAS) データの中から、降水量と気温、融雪係数の最適化のための自動積雪深のデータを用いた。これらのデータを用いて、3次メッシュの1kmの各格子点における時間気温、降水量を格子点からもっとも近い3点のアメダスポイントのデータを用いて、距離による加重平均をかけて計算した。気温の推定値に関してはアメダスポイントの気温データに対して気温低減率を0.6℃/100mであると仮定して標高0m換算の気温を推定し、格子点の標高0m気温値を推定した後、数値地図による標高を用いて格子点の気温を推定した。

② モデル

積雪量は、水量に換算して表現する積雪水量 (Hw) を用いた。積雪水量の日変化の推定は供給降水量の雨-雪降水形態分離とディグリーデイ法による融雪推定によって行った。推定式は以下の通り。

$$Hw = Hw + Pr \quad Ta < 0.5 \quad (1)$$

$$Hw = Hw + Pr - K \times Ta \quad 0.5 < Ta < 4.5 \quad (2)$$

$$Hw = Hw - K \times Ta \quad Ta \geq 4.5 \quad (3)$$

ただし、Prは降水形態を雪(固体)と雨(液体)に分け、気温が0.5℃以下ではすべて降雪、4.5℃以上ではすべて降雨とし、その中間の気温の場合には気温-降水形態割合を一次関数で近似して分離を行った。融雪係数(K)はアメダス地点において積雪深の自動観測が行われている地点については、積雪深が0になった日を消雪日と考え、推定積雪水量がこの消雪日と同じになるように融雪係数を決定してその地点の融雪係数とした。

気候変化シナリオによる予測

GCMによる気候変化シナリオを、積雪量推定モデルに当てはめ、温暖化時の積雪水量や積雪期間を予測した。ここでは、4つのGCMによる2次メッシュの月別降水量と気温の変化を用いた。与えられたデータが2次メッシュの月別平均値であることから、各3メッシュに対して該当2次メッシュの気温はアメダス推定値+温度の平年値からの上昇値を、降水量は降水量の変化割合を年ごとに計算し、積雪水量・期間の予測を行った。

(4) 着雪氷害の危険度予測

温暖化時の林木の着雪氷害の危険度を予測するために、国土数値情報とメッシュ気候値を用いてアメダス観測網による気象データを3次メッシュに展開し、展開した気象データにより、着雪氷害発生危険が高い気象条件発生日を各メッシュ毎に集計した。着雪氷害発生気象条件として、①1日当たりの降水量が20mm以上、②降水時の気温が-3~+3℃の間であること(日最高・最低気温で判断)を用いた⁴⁾。日最高・最低気温を2℃上昇させた気候変化シナリオに基づいて同様の集計を行い、温暖化による着雪氷害発生危険度の変化を予測した。

4. 結果・考察

(1) 亜熱帯・暖温帯林の脆弱性の評価

① 温度気候変化の植生帯への影響

われわれは日変化気候の熱帯から季節変化気候の温帯に向かって、植生帯の境界を決める要

因が熱帯では積算温度（エネルギー量）なのに対して温帯では冬の低温となっていることをメカニスティックな関係として明らかにした（図1）²⁾。今回、群落現存量の指標となる群落高と積算温度の相関を調べてみると熱帯山地では明らかに正の相関があるのに、温帯では森林限界付近でしかみられない、ということからも確認できた。また、温帯山岳でも森林限界付近だけは、積算温度と相関が現われることからこのテンプレートの基本構造が成り立っていることが証明された。以上のことから、温暖化による植生帯の移動などを考えるときには、単に年平均気温が何度上昇するというのでは意味がなく、季節変化がどう変化するかが重要であることが明確になった。

以下の2つのシナリオでは東アジアの植生テンプレートで植生帯の配列を支配している2つの温度要因、冬の温度と夏の温度を変化させたときの違いを解析した。日本付近では緯度1度が約110.94kmで、冬の気温は水平距離1kmで0.01℃の減率なので、緯度1度はほぼ気温1℃に対応する³⁾。夏の水平気温減率は冬とはかなり違うが、ここでは同じとみなした。気候変化シナリオとして、(7)は全年の気温上昇を仮定しており、テンプレートの最寒月、暖かさの指数両方が北にほぼ緯度5度移動（気温5℃上昇）させた場合、(イ)は暖かさの指数は変化させず、最寒月平均気温だけ緯度5度移動（冬気温5℃上昇）させた場合である。

(7) 気温5℃上昇

年間を通して平均気温が5℃上昇した場合は、常緑広葉樹林の分布上・北限を支配しているのが冬の平均気温なので常緑広葉樹林が上昇する（図2）。また、落葉広葉樹林の上・北限は冬の極低温が決めるとされているが、温暖化によって極低温がどう変化するかは予測できないので、同様に上昇すると仮定する。一方、森林限界は夏の気温、もしくはそれによって決まる積算温度によって決まるので、これも温暖化にともなって上昇し、全体として植生帯を平行移動したようになる。その結果、危険予測をしてみると、たとえば関東地方以南では1800m以下の山地では冷温帯森林が押し出されてしまい失われる可能性がある。また、その上部にある高山帯は同様に失われることはいうまでもない。

(イ) 冬気温5℃上昇

気温上昇が冬だけで夏は変化しない場合は、常緑広葉樹林と冷温帯森林は上昇するが、夏の気温または積算温度に依存する森林限界は移動しないので、その間にはさまれる亜高山帯森林の領域が狭まり、危険になる。この場合、高山帯は影響が少ない可能性がある。

② 脆弱な森林の保全

熱帯上部山地帯は積算温度（WI）85度・月以下で、冬の月平均気温が-1℃以上という環境である²⁾。現在の環境ではこの温度圏は日本など温帯域には存在しない。その違いは（1）熱帯では季節変化がないので積算温度の85度・月は標高2500m付近にあるのに対して、-1℃は森林限界よりはるか上の4600m付近にある。そのため、積算温度85度以下、森林限界までの間に上部山地帯の常緑樹林が成立する。しかし、温帯域で冬の気温だけが上昇するとこの温度圏が日本付近にも現われ、そこにはハイノキ・ヤブコウジ群（苞芽、小形葉）が優占する熱帯上部山地帯と類似の森林が成立する可能性が高い。そうすると落葉樹林は更新困難になり、特殊立地に限定されてしまう。

亜熱帯・暖温帯林に関していうと、冬の気温上昇は、南西諸島など島嶼域や、島状に孤立

した林分で一部の構成種が移動困難なために絶滅し群集崩壊を起こすという脆弱性問題がある。これに対して、個々の林分面積を大きく保全すること（絶滅率を下げる）と林分間を連結するコリダーを設置する（移動侵入率を高める）という適応策が求められる。しかし、日本本土ではむしろ常緑広葉樹林の北上、上昇によってその上部にある落葉樹林、さらに亜高山針葉樹林が圧迫を受ける可能性が高く、隣接する群系との関係、あるいは房総のヒメコマツ林、フサザクラ林などでみられるような氷期の遺存群落の局所的絶滅を引き起こすといった問題が深刻である。とくに植生帯レベルでは、冬の気温上昇は、夏の積算温度で決まる森林限界の位置は変わらないのに下位の常緑樹林が上昇するので間に挟まった上記2つの森林帯（山地帯落葉樹林、亜高山針葉樹林）が圧迫を受けるためである。

最近では松本盆地にシラカシの分布が広がりつつあるなど温暖化影響が直接的に問題になりつつある。長野で開催された国際植生学会でもスイスの落葉樹林に常緑樹が侵入して景観を改変しつつある現象を *laurophyllization* と呼んで景観上、また生態系としても問題があるという発表があった。これは、例えば京都などでマツ林が風景地として価値があるとされていたものが、常緑樹の拡大、マツ枯れなどによって景観が変化したり、鳥取砂丘に樹木が侵入して砂丘景観を失いつつある現象などとよく似た植生の一般的な変化現象であり、その具体的な影響予測や、保護区などでは保全策をどうするかなど現実対応が必要な問題になっていることを示す。こうした現実を踏まえると、もはやモデルによる現象予測というよりは、むしろ個別、具体的に生態系の管理や適切な保全策などが検討する段階になりつつことを示している。そのためには生態系分布、それを構成する特定の動植物種などについてその分布を決定付けている要因の特定と保全対策の策定などが極めて重要であり、移入種問題も関係してくる。そのためにも野外で広域的、かつ的確に変化を把握できるような測定をすすめ、解析と同時に対策を講じて行くことが必要である。

(2) 冷温帯林の脆弱性の評価

判別分析の結果、判別率は 80.3%で、ブナ林とミズナラ林の分布域は気候に違いが見られた(表1)。標準化された正準判別関数係数は WI (暖かさの指数) : 0.974、PW (冬期降水量) : 0.778、PS (夏期降水量) : 0.132 となっており、特に WI と PW が重要であった。判別式から判断すると、WI が小さく PW が多い場所でブナ林が多く、逆に WI が大きく PW が少ない場所でミズナラ林が多い傾向が明らかになった。これは、冷涼で冬期降水量の多い多雪地域にはミズナラ林が少なくブナ林が多いこと、温暖で夏期降水量の少なく乾燥する地域にはブナ林が少なくミズナラ林が多いことを意味する。

この結果に基づいて、地図化を行った。図3に、現在のブナ林の分布、気候要因 (WI、PW、PS) から推定されるブナ林の分布可能域、低温でブナ林が分布しないと考えられる地域を示す。推定されたブナ林の分布可能域には北海道がほとんど入っている。ブナはミズナラより耐寒性が低い⁵⁾ので、冬の寒さがブナ林の分布を制限している可能性がある。ブナ林は、 -12°C 以上の地域にのみ分布している。3気候要因に加えて冬の寒さを示す要因を加えてブナ林の分布域を推定すると、北海道のブナ林の分布域もほぼ再現できる。

図4に、ブナ林の分布、温暖化後の分布可能域を示す。気候変化シナリオでは、気温と降水量がともに変化する。シナリオの一つ CCSR では、2090年に気温が3~4 $^{\circ}\text{C}$ 上昇する。ブ

ナ林の分布可能域は、現在のブナ林の分布面積に比べ 2050 年には 22%に、2090 年には 7%に減少すると予想される。2050 年には、九州、四国、中国地方、紀伊半島など西日本の山岳に残存するすべてのブナ林が分布可能域からはずれてしまう。これらは、もともと脆弱なブナ林といえる。2090 年には、分布可能域はさらに縮小し、世界遺産の白神山ブナ林も分布可能域からはずれる。分布可能域からはずれたブナ林で親木が急に枯死することはないが、温暖な気候に適する植物の侵入や増加、ブナの天然更新確率の低下により、ブナ林の再生が進まず、温暖化後 100~200 年のうちにブナ林は著しく減少すると予想される。

今回の判別分析から判断すると、北海道では温暖化に伴い現在の北限よりも東部や北部に分布可能域が広がる。現在の分布を制限していると考えられる低温の影響は、温暖化により緩和される。北海道の分布可能域が図 4 のように広がったとしても、温度上昇時には石狩低地帯付近に広がるブナ林に適さない地域があり、またブナ林の分断化もあるため、少なくとも石狩低地帯よりも東や北へブナが移動することは困難であると予想される。最終氷期以降のブナ林の北上速度は、早い場所でも 233m/yr⁷⁾であり、北海道では 20m/yr¹⁾、または 11m/yr⁶⁾とされており、100 年程度で温度が 2 から 4 度も上昇すると分布可能域への移動がまにあわないと考えられる。

多くのブナ林は山岳に分布し、人工林、農地、都市などで分断されており、温暖化した場合のブナの移動は大変に困難である。そこで、温暖化後に新たな分布地を仮定しない場合のブナ林の分布可能域を図 5 に示す。この条件では、ブナの北方や高標高への移動を考えないので、分布可能域は非常に狭くなる。また、この条件で、2050 年と 2090 年に分布可能域からはずれるブナ林を脆弱なブナ林と定義して、図 6 に示す。2090 年では、北アルプス、白山、月山、北限の黒松内のブナ林は分布可能域に留まるだけで、それ以外の地域のブナ林はすべてが脆弱と判定された。

表-1 判別分析結果

		植生	予測グループ		合計
			ミズナラ林	ブナ林	
元のデータ	度数	ミズナラ林 ブナ林	9515 2772	2380 11449	11895 14221
	%	ミズナラ林 ブナ林	80.0 19.5	20.0 80.5	100 100

Wilks'Lambda=0.606 $\chi^2=13065.19$ P<0.001

判別式 $D=0.091W1 - 0.0027PW - 0.0004PS - 4.005$ D>0:ミズナラ林 D<0:ブナ林

標準化された正準判別関数係数

(3) 積雪の変化予測

1980 年から 1996 年までの 17 年間アメダスによる気温、降水量、積雪深のデータを用いて用いた全国域 3 次(1km)メッシュでの積雪水量、積雪期間を推定した。推定された非アメダス

ポイント上のデータを実測値と比較することにより、本モデルによる推定値の妥当性の検討を行った。温暖化時の気候シナリオに基づいて、3次メッシュごとに積雪状態の変化を予測し、地図化した。

① 推定値の評価

前記の方法による積雪水量の推定結果を検証するために新潟県十日町市内の森林総合研究所十日町試験地で実測された積雪水量との比較を行った。図7は1995～1996年冬季のアメダスデータを用いて推定した十日町試験地観測露場の積雪水量と、積雪重量計を用いて測定した積雪水量の時系列変化である。得られた推定結果は実測値と良い対応を示しており、適当な雨雪しきい気温と融雪係数を与えれば積雪水量の変化の推定が可能であることがわかる。また、図8に1980～1996年の10mm以上の積雪水量が推定された期間と実測による根雪期間の関係を示す。両者を比較したデータは良好な関係を示しており、年次毎の融雪係数を一定にしても、当モデルにおいて積雪量の年次変化の推定が可能であることが示唆された。

② 積雪量の分布の推定

図9に、1980～1996年の各年のアメダスデータを用いて推定した最大積雪水量の平均値の分布(図9A)と気温のパラメーターを2℃上昇させた場合の分布(図9B)を示す。図は5kmメッシュに平均化したものである。最大積雪水量の減少は本州日本海側の平野部が顕著で、東北中央部においても同様の減少傾向が見られる。このような気温の上昇に伴う積雪量の減少は、島根県海岸部から北海道最南部まで現れている。また図10に1980年から1996年の各年のアメダスデータを用いて推定した積雪期間の平均値の分布(図10A)と気温のパラメーターを2℃上昇させた場合の分布(図10B)を示す。積雪期間は推定積雪水量10mm以上存在する日数を積雪期間と定義した。気温の上昇に伴う積雪期間の減少についても本州日本海側の平野部が顕著であり、特に秋田以南の日本海側平野部においては冬季の3ヶ月程度が雪で覆われていた多くの地域が、2.0℃の気温の上昇に伴って積雪期間が10日程度まで減少するという結果が得られた。これらの平野部は、冬季降水量が山間部と比較すると少ないために、気温の上昇に伴って積雪量が減少しても全国規模での水資源に対する寄与が小さいと考えられるが、積雪期間の減少やそれに伴う消雪日の早期化がこれらの地域の動植物の生育環境に与える影響は非常に大きいと考えられる。

③ 温度変化に伴う積雪量変化の標高依存性の地域特性

温度変化に伴う最大積雪水量と標高の関係を地域間で比較することにより、温暖化影響の地域間の差異が明らかとなる。積雪地域南部として本州日本海側(北緯36～37度)と積雪地域北部の北海道中部の日本海側(北緯42～43度)において、気温を2℃上昇させたことに伴う最大積雪水量の変化と標高の関係の比較を行った(図11)。南部積雪地域においては、気温の変化に伴う最大積雪水量の減少は標高500m以下の平野部において顕著であり、海岸付近の標高100m以下の地域においては、最大積雪水量の減少は60%以上になることが予想された。これは、日本の南部積雪地域の積雪量が、気温の変化に対して非常に敏感であることを示している。一方、北部積雪地域においては冬季の気温が十分に低いために、気温の上昇に伴う

最大積雪水量の減少は 20%程度にとどまる。南部積雪地域での最大積雪水量の減少は、地球温暖化に伴う降水量の予測変化幅である±10%よりも著しく大きい。

④ 気候変化シナリオに基づく予測

ここまでの温暖化影響の予測では、気温が年間を通して 2℃上昇、降水量が不変というシナリオを用いてきた。今度は、4つの GCM による気候変化シナリオを積雪量推定モデルに当てはめて予測を行った。結果の例として、最大積雪水量の分布の中で 2050 年の ECHAM4 と CCSR によるものを図 12 に示す。この 2つのモデルは、それぞれ、全国の冬季平均気温の上昇が 3.55℃、1.62℃と大きく異なっているため、同じ 2050 年予測でも最大積雪水量の分布には大きな差異が見られる。なお、CSIRO のように北海道付近の降水量の変化が大きく算出されるモデルでは降水量の項も大きな意味を持ち、どのモデルを用いるかによって、雨雪しきい気温付近の地域における積雪環境変化の予測結果が大きく変わるので注意が必要である。

高標高の山岳地においては実測の困難さのために、降水量、融雪のパターン、風の影響、融雪係数等の情報量が非常に乏しく、積雪量の実態が明らかでない。そのため、山岳地域ではモデルの検証自体が困難である。したがって、今後リモートセンシングのデータ等を用いて、このような高標高地の積雪量の変化予測の精度向上を図ることが重要である。

(4) 着雪氷害の危険度予測

沖縄県を除く全ての 3 次メッシュについて降水量と降水時の気温条件より、着雪氷害の危険気象発生日を 1980～1989 年の期間で推定した。図 13A に、着雪氷害危険気象発生日が 6 日以上地域を示した。図 13B に、気温が 2℃上昇した場合の着雪氷害危険気象発生日数が 50%以上増加する地域を示した。危険度が上昇する地域が、水平方向では北方または内陸へ、垂直方向ではより高標高へと移ることが示された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 常緑広葉樹林の分布や構造を支配する要因を明らかにし、温暖化の際の温度変化の季節的差異が重要であることが示した。気温上昇に伴う植生帯の変化を、年間通して気温上昇する場合と、冬気温だけが上昇する場合で比較した。冬気温だけが上昇する場合は、森林限界と上昇する常緑樹林には含まれた落葉樹林、針葉樹林が狭まることが予測された。

(2) 3 次メッシュ植生データ(環境庁自然環境保全基礎調査)に基づき、ブナ林とミズナラ林の分布するメッシュの気候要因(WI、冬期降水量、夏期降水量)の判別分析を行った結果、これらの気候要因によって 8 割のブナ林の分布地が推定できることが明らかになった。気候変化シナリオ(CCSR の 2050 年と 2090 年の気候値)に基づいて温暖化後のブナ林の分布可能域を予測した。さらに、現在のブナ林の分布地と比較し、脆弱なブナ林の分布を地図で示した。

(3) 気象庁、建設省などで収集されている気温と降水量のデータを収集して、積雪量推定モデルを改良し 3 次(1km)メッシュの空間解像能で全国の積雪量推定を行った。また、気候変化シナリオに基づいて温暖化時の積雪の変化を予測し、全国の地図として表した。

(4) 温暖化に伴う林木の着雪氷害の危険度の変化を予測し、全国の地図として表した。

6. 引用文献

- 1) 五十嵐八枝子 (1994) 北上するブナ. 北海道の林木育種, 37, 1-7.
 - 2) Ohsawa, M. (1990) An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in south and east Asian mountains. *Journal of Ecology* 78: 326-339.
 - 3) Ohsawa, M. & Nitta, I. (1997) Northern distributional limit of evergreen trees and its conservation implications in a changing mountain environment in East Asia. In *Proceedings of the 2nd Conference on National Parks and Protected Areas of East Asia*. 273-285. National Parks Association of Japan.
 - 4) 佐伯 正夫・杉山 利治 (1965) 林木の冠雪害危険地域, 林業試験場研究報告 172:117-137.
 - 5) 酒井昭 (1975) 日本における常緑および落葉広葉樹の耐凍性とそれらの分布との関係. *日生態誌* 25:101-111.
 - 6) 滝谷美香・萩原法子 (1997) 西南北海道横津岳における最終氷期以降の植生変遷. 第四紀研究, 36, 217-234.
 - 7) Tsukada, M. (1982) Late-Quaternary development of the *Fagus* forest in the Japanese archipelago. *Jap. J. Ecol.*, 32, 113-118.
- 酒井昭(1975)

[国際共同研究等の状況]

本研究は IGBP GCTE の TEMA プロジェクトと連携して実行した。

[研究成果の発表状況]

誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① Kominami, Y., Endo, Y. & Niwano, S. : *Hydrological Processes*, 13 : 1773-1780. (1999) “Estimating the amount of snowmelt based on viscous compression model of snow”
- ② Tang, C.Q. & Ohsawa, M. : *Plant Ecology* 145:221-233 (1999) ” Altitudinal distribution of evergreen broad-leaved trees and their leaf-size pattern on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China”
- ③ 森澤 猛 : 中部森林研究, 47:127~130. (1999) 「1998年1月15日に上松営林所管内で起きた雪氷害の発生機構について」
- ④ 田中信行 : 森林の環境 100 不思議、日本林業技術協会、 p.12-13. (1999) 「さまよう森林」
- ⑤ 九島宏道・田中信行 : 第 51 回日本林学会関東支部大会講演論文集 : 103-106 (2000) 「関東周辺のブナ林における植物レッドリスト種の出現状況」
- ⑥ Nitta, I. & Ohsawa, M. : *Proceedings of Int. Symposium on the Qinghai-Tibetan Plateau*, 357-364. Chinese Academy of Sciences (2000) “Phenological and bud morphological traits of evergreen broad-leaved trees under the strong seasonal climate at northern limit in East Asia”
- ⑦ Nitta, I. & Ohsawa, M. : *Annals of Botany* 87:35-45. (2001) “Geographical transition of sylleptic/proleptic branching in three *Cinnamomum* species with different bud types”

- ⑧ 大沢雅彦：ペドロジスト 44 巻 2 号：124-127. (2000) 「土壌と植生：土壌—植生系の進化地理」
- ⑨ Bhujju, D.R. & Ohsawa, M.: *Biological Conservation* 98:117-125 (2001) “Patch implications in the maintenance of species richness in an isolated forest site”
Kikvidze, Z. & Ohsawa, M.: *BMC Ecology* 1:6 (2001) “Richness of Colchic vegetation: comparison between refugia of south-western and East Asia”
- ⑩ 大沢雅彦 (監/著)：生態学からみた身近な植物群落の保護. 講談社. (2001)
- ⑪ 田中信行：地球温暖化の日本への影響 2001, 環境省地球温暖化問題検討委員会 温暖化影響評価ワーキンググループ, p.68-71. (2001) 「過去の気候変動と森林 (2.3.1)」
- ⑫ 八木橋勉：地球温暖化の日本への影響 (環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ編) 75-78. (2001) 「冷温帯林への影響」
- ⑬ 森澤 猛：中部森林研究, 50: 45-48. (2002) 「地球温暖化による冠雪害危険地域の変動予測 (I) -長野県の場合-」
- ⑭ Kikvidze, Z. & Ohsawa, M.: *Ecological Research* 17(4) (2002) “Measuring the number of co-dominants in ecological communities”
- ⑮ Kitazawa, T. & Ohsawa, M.: *Biological Conservation* 104:239-249. (2002) “Patterns of species diversity in rural herbaceous communities under different management regimes, Chiba, central Japan”
- ⑯ Ohsawa, M.: *Proceedings of the United Nations University IYM2002 Int. Symp. on Conservation of Mountain Ecosystem* (in press) “Global change impacts on vegetation in humid Asian mountains”
- ⑰ Ohsawa, M. & Nitta, I.: *Global Environmental Research* 6 (1) (in press) “Diversification of tree traits and forest structure along latitudinal and altitudinal environmental gradients in humid Asian mountains”
- ⑱ Tanaka, N.: *Global Environmental Research* 6(1). (in press) “Distribution and ecophysiological traits of dwarf-bamboo species and impact of climate changes in Japan”

口頭発表

- ① Kominami, Y., Endo Y., & Niwano S.: *International Symposium on the Verification of Cruospheric Models* (1999) “Estimation of density profile of snow cover using viscous compresion model”
- ② 斎藤史之・野本康太・大沢雅彦：第 9 回日本熱帯生態学会 (1999) 「沖縄山原の亜熱帯再生林における組成と階層構造の分化」
- ③ 野本康太・斎藤史之・大沢雅彦：第 9 回日本熱帯生態学会 (1999) 「やんばる地域における伐採後の植生遷移と林床無脊椎動物相の変化」
- ④ 八木橋勉・田中信行・九島宏道・埜田宏・山下直子：第 46 回日本生態学会大会 (1999) 「10km メッシュデータを用いたブナ林分布域の気候条件の解析」
- ⑤ Tanaka, N., H. Kushima & T. Yagihashi: 43rd Symposium of the International

Association for Vegetation Science (2000) “Effects of climate change on beech (*Fagus crenata*) forests”

⑥ Tanaka, N., H. Taoda & K. Omasa: XXI IUFRO World Congress 2000 (2000) “Effects of global warming on the mountain vegetation in Japan”

⑦ 八木橋勉・田中信行・九島宏道・埤田宏・山下直子: 第47回日本生態学会大会 (2000) 「1kmメッシュデータを用いたブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件の比較」

⑧ Yagihashi, T., Tanaka, N., Kushima, H., Taoda, H., & Yamashita, N.: Symposium of the IAVS (2000) “Climatic factors affecting the distribution of *Fagus crenata* forests and *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* forests”

⑨ 八木橋勉・田中信行・九島宏道・埤田宏・山下直子: 第48回日本生態学会大会 (2001) 「地球温暖化時におけるブナ林の分布可能域」

⑩ Matsui T., T. Yagihashi, N. Tanaka & H. Taoda: 第49回日本生態学会大会 (2002) “Improving the accuracy of predicted distribution on *Fagus crenata* forests using regression tree analysis (RTA)”

⑪ 八木橋勉・田中信行: 第49回日本生態学会大会 (2002) 「太平洋側と日本海側のブナの発芽時期の違い」

(3) 出願特許 なし

(4) 受賞等 なし

(5) 一般への公表・報道等

① 朝日新聞 (2000年10月30日、関西版、ブナの森に異変あり、温暖化のブナ林への影響について)

② 茨城新聞 (2001年1月4日、1月9日、筑波山ブナ林の温暖化影響による衰退を警告)

③ 茨城県自然博物館ポスター展示 (茨城県のブナ林の価値と保全について、第22回企画展: 人と自然のコミュニティスペース「里山」、2001年7月7日～9月24日において)

④ NHK ニュース10 (2002年4月29日、温暖化のブナ林、スギ人工林などへの影響を6分ほど紹介)

⑤ 読売新聞 (2002年6月11日、全国版、「地球再生への道」という論説にて、温暖化によるブナ林の衰退予測を紹介)

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・公園について

専門家校閲者として IPCC2001 報告書の作成に貢献した。

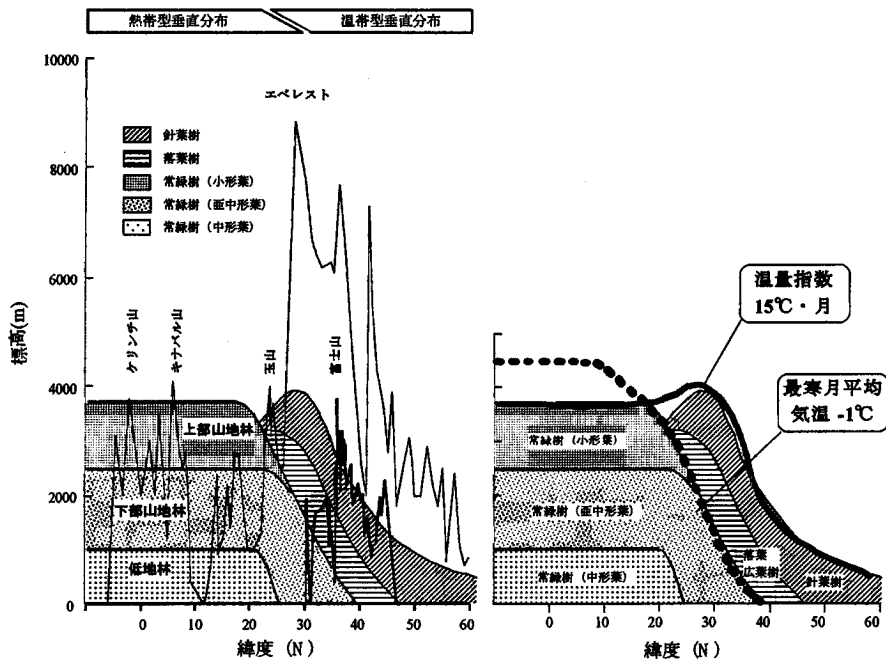


図1. 東アジアの植生帯テンプレートと分布限界気候値

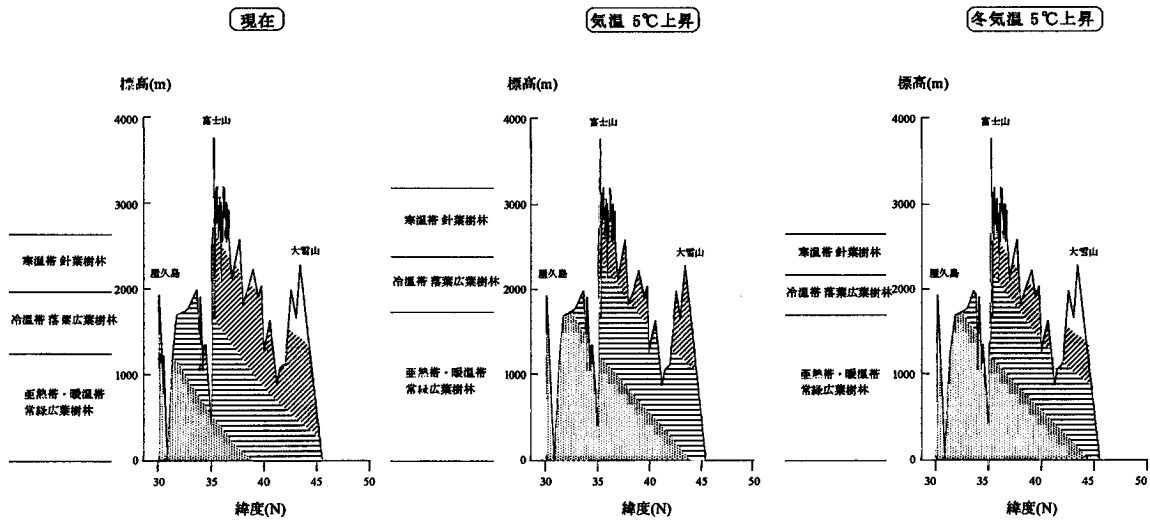


図2. 東アジア植生帯の変化予測

現在のブナ林の分布

気候要因から推定されるブナ林の分布可能域

低温でブナ林が分布しないと 考えられる地域

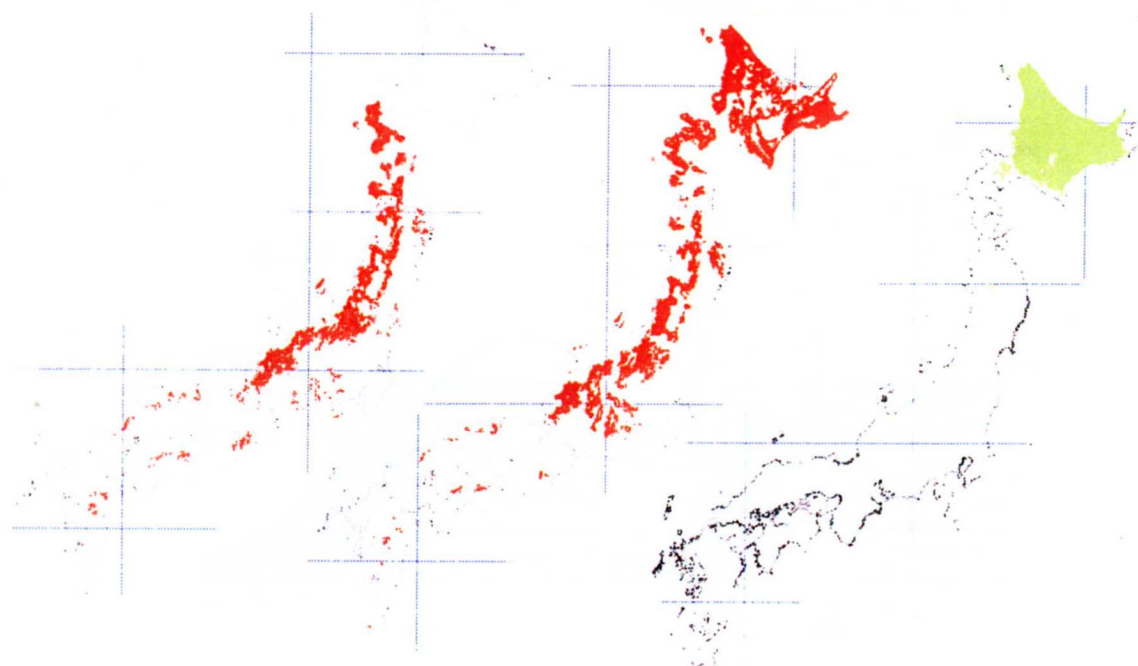


図3. 現在のブナ林の分布、推定分布可能域、低温地域

現在のブナ林の分布

CCSR2050

CCSR2090

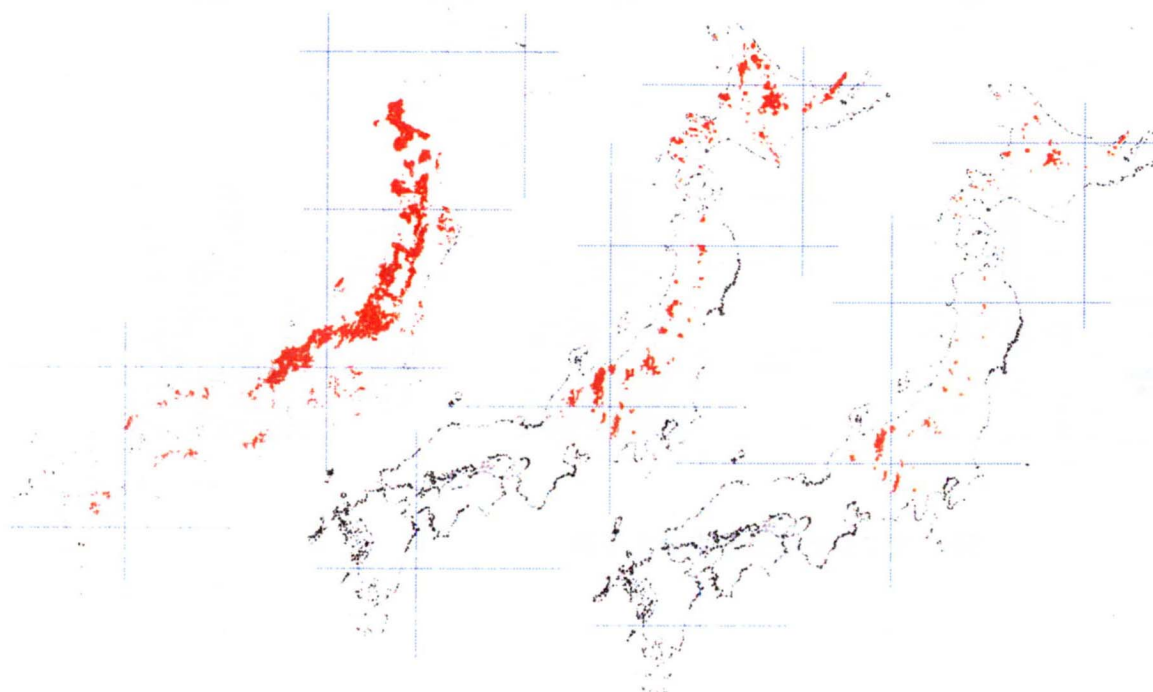


図4. ブナ林の分布、温暖化後の分布可能域
気候変化シナリオ CCSR に基づく 2050 年と 2090 年予測

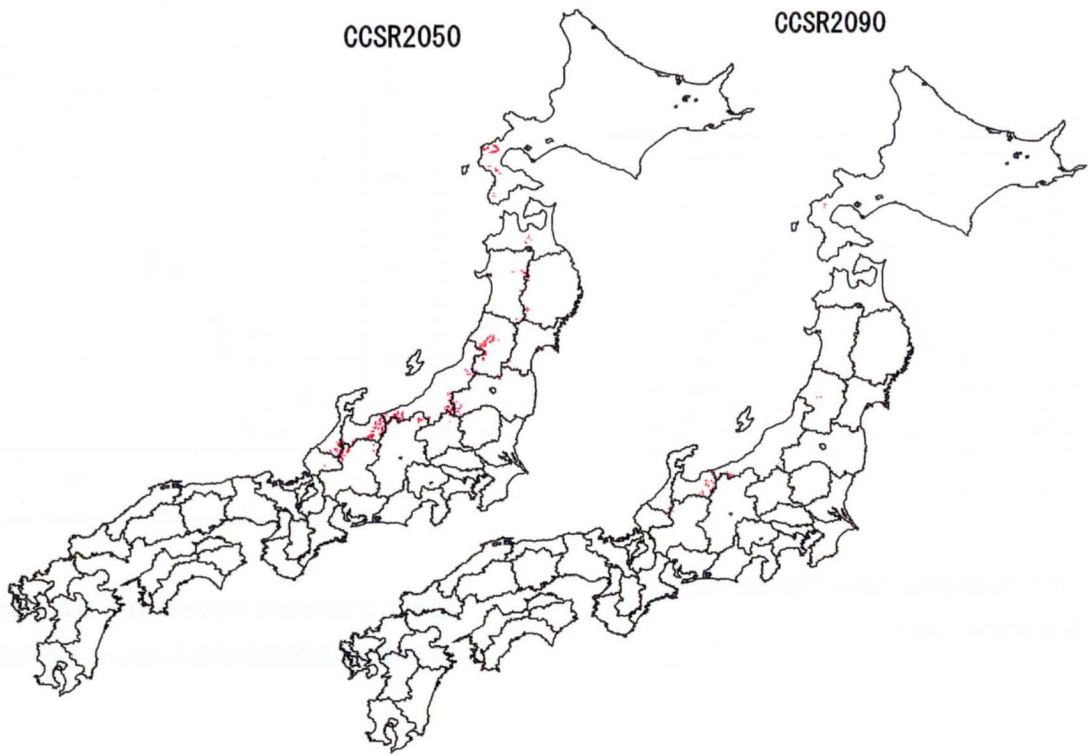


図5. 温暖化後に新たな分布地を仮定しない場合のブナ林の分布可能域

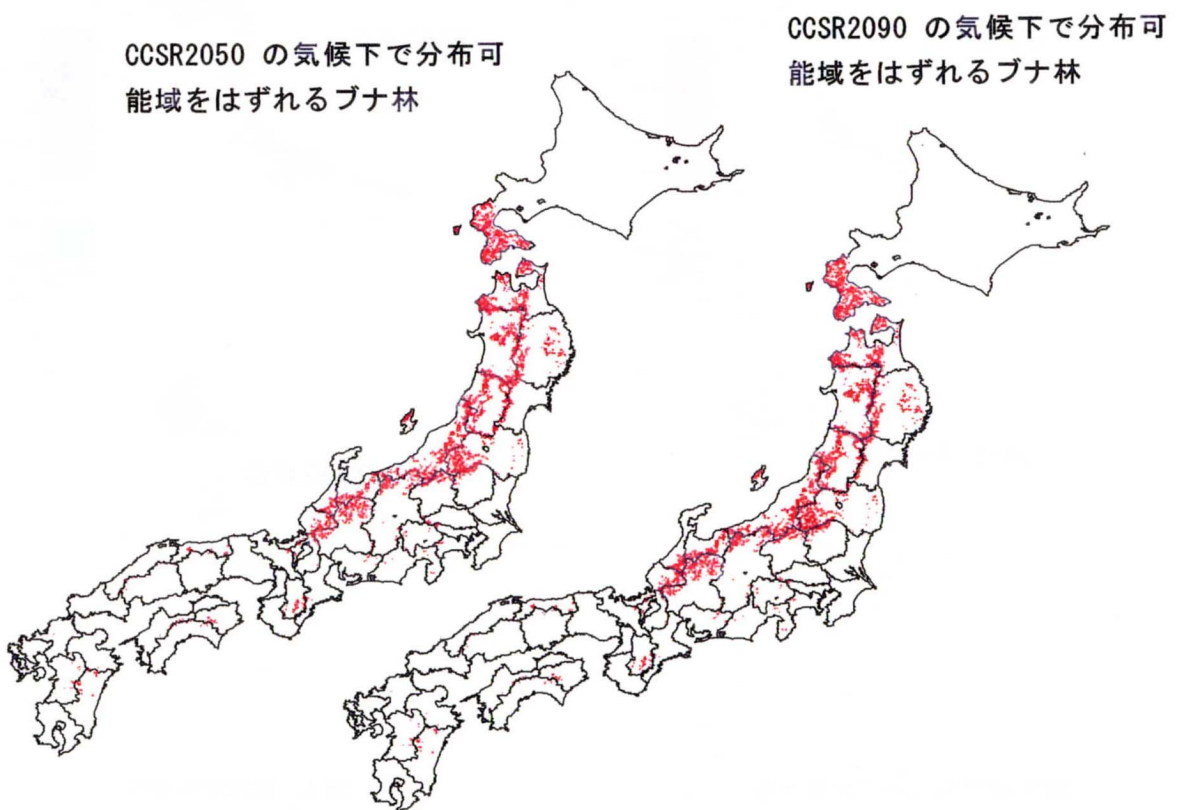


図6. 脆弱なブナ林

Observed and Estimated Snow water equivalent in Tohkamachi 1995-1996

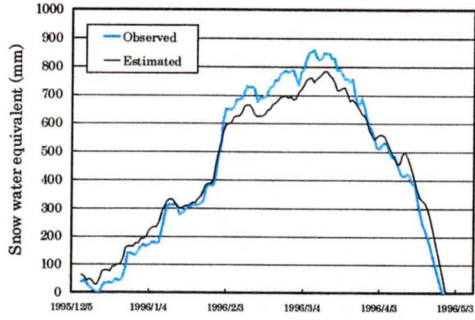


図7. 十日町試験地において推定された積雪水量と実測値の変化

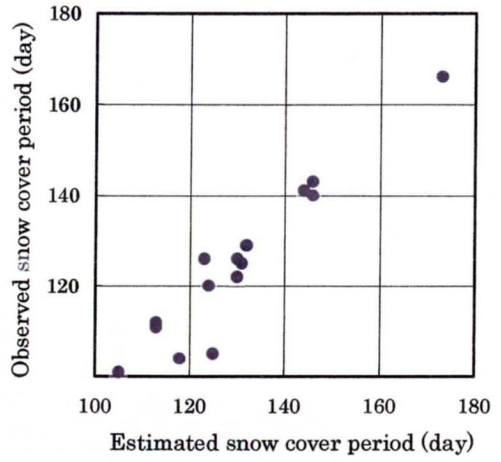


図8. 1980年から1996年の十日町試験地における積雪期間(推定積雪水量 $\geq 10\text{mm}$)と実測値の関係

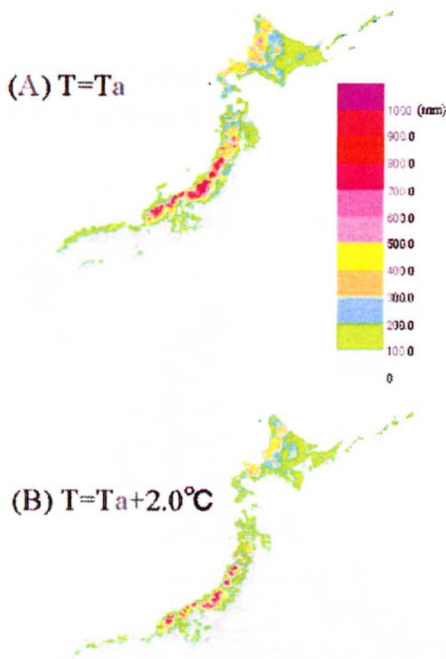


図9. 推定最大積雪水量分布

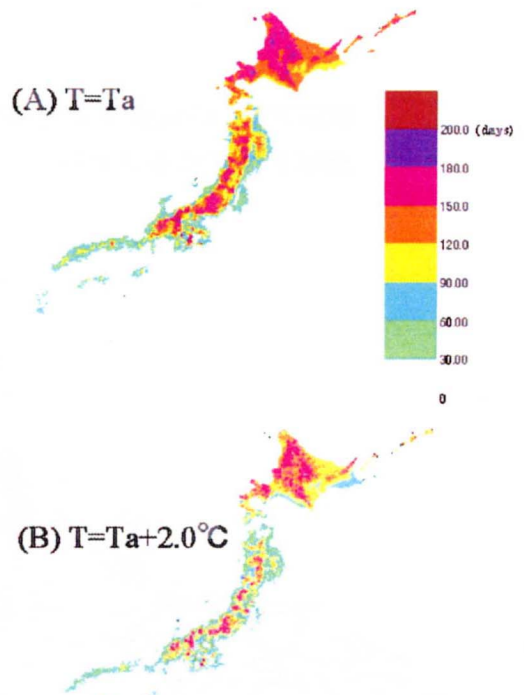


図10. 推定積雪期間

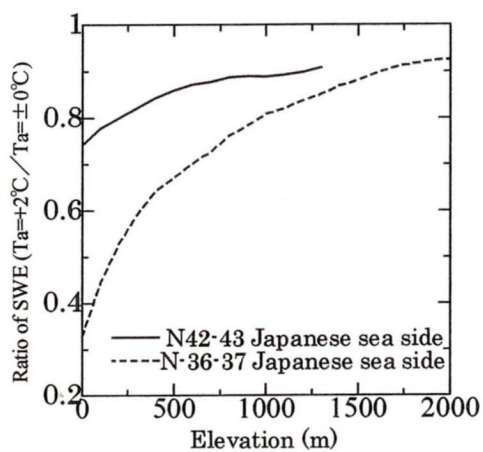


図 11. 気温上昇(2°C)に伴う最大積雪水量変化の標高分布の地域特性

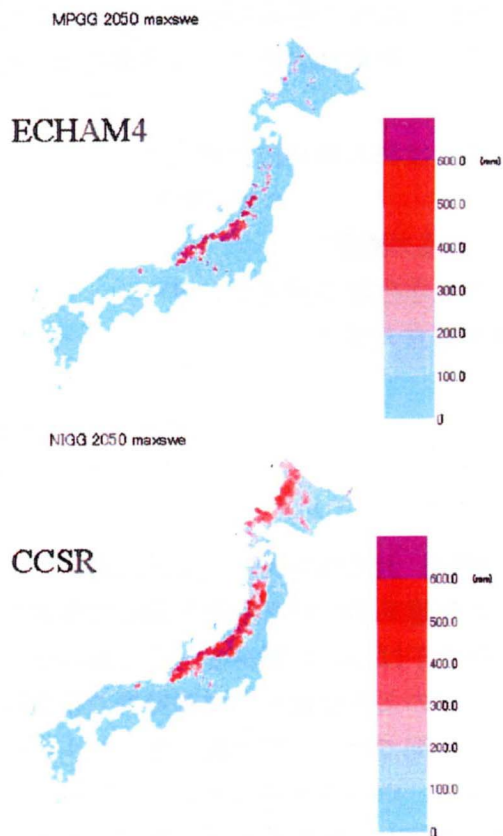


図 12. GCM シナリオを用いた最大積雪水量の推定値

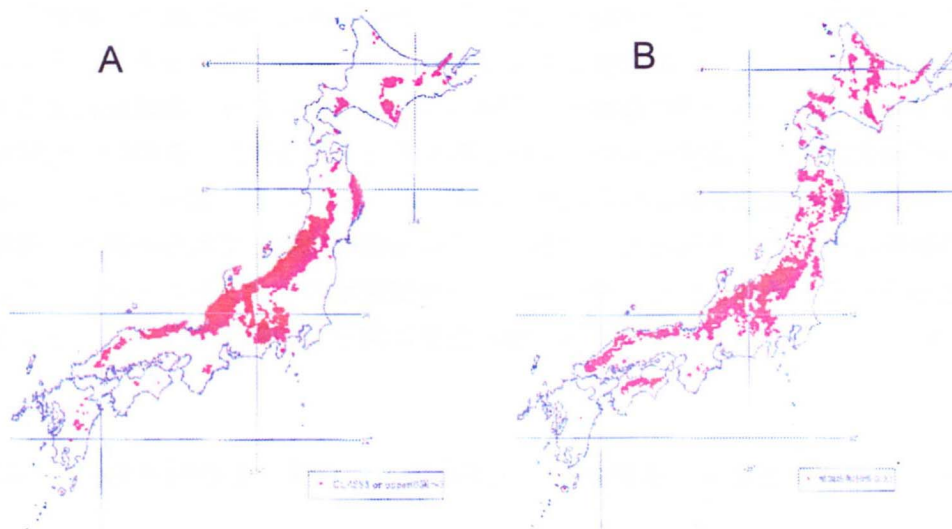


図 13. (A)1980~1989 年における着雪氷害の危険気象発生日6日以上地域、(B)気温が2°C上昇した場合の着雪氷害危険気象発生日数が50%以上増加する地域