

温暖化による日本のブナ林への影響予測

松井 哲哉・田中 信行（環境影響担当チーム長）・
 埴田 宏（前研究管理官）・八木橋 勉（国際農林水産業研究センター）

はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告書によると、地球温暖化が進行した結果¹⁾、20世紀の100年間に地球の平均気温は0.6℃上昇しました。そして、21世紀の100年間に1.4～5.8℃上昇することが予測されています。温暖化に伴い、降水量も合わせて変化します。気候変化が生態系に与える影響の評価は、IPCCの重要な課題と位置づけられています¹⁾。

気候変化が植物の分布へ与える影響を予測する研究が近年進められています。現在の気候下における植物が分布可能な地域（潜在分布域）や分布に適する地域（分布適域）を環境条件から予測するモデルを開発することにより、将来の気候条件における潜在分布域を予測することができます。このような研究により、気候変化による潜在分布域・分布適域の面積変化、気候変化後も引き続き生育が可能な地域（分布存続域）、気候変化により潜在分布域から外れる地域（新規分布不適域）などが評価できます。このような結果は、気候変化の時代における植物群落や野生植物の保全管理計画のための基礎資料となります。

われわれは、環境要因（主に気温と降水量）からブナ林の潜在分布域を予測し、温暖化影響を評価する研究を進めてきました²⁻¹¹⁾。ブナ林は、日本を代表する天然林の1タイプで、世界遺産の白神山地ブナ林が有名です。ブナは北海道南部の黒松内から鹿児島県高隈山まで分布し、その面積は日本の天然林総面積の17%にあたる23,000 km²です。北海道南部、東北、本州日本海側に分布が広く、本州太平洋側、四国、九州では山地帯上部に分布が限られています。本論では、ブナ林の分

布確率を環境要因から予測するモデルを構築し、ブナ林の分布適域を特定し、気候変化が与える分布適域への影響を予測した研究を紹介します。

気候データと気候変化シナリオ

現在の気候は、3次メッシュ気候値¹²⁾を利用しました。3次メッシュとは、緯線方向に30秒、経線方向に45秒の大きさの(約1km²)網の目に全国を区切り、各区画（セル）に固有番号を与えたものです。植物の生育にとって重要な気候的変数として、生育期の熱量の指標として暖かさの指数(WI)¹³⁾、冬季の低温の極値の指標として最寒月の日最低気温の月平均(最寒月最低気温、TMC)、生育期の水分供給の指標として5～9月の降水量(夏期降水量、PRS)、冬季の乾燥や積雪の指標として12～3月の降水量(冬期降水量、PRW)を計算し、分布予測の説明変数としました。

二酸化炭素など温暖化ガスの増加により気候がどのように変化するかについて予測が行われ、気候変化シナリオがいくつも作られています。地形の急峻な日本の植物や森林の分布への気候変化の影響を予測するには、1～10kmメッシュの空間解像度で解析を行うことが適当と考え、気候シナリオを空間内挿して1kmメッシュの気候データを作りました。利用した気候シナリオは、温室効果ガス排出シナリオIS92aに基づく気候変化シナリオCCSR/NIES¹⁴⁾と、温室効果ガス排出シナリオSRES-A2に基づく気候変化シナリオRCM20¹⁵⁾です。100年後の平均気温は、CCSR/NIESが4.9℃、RCM20が2.9℃上昇します。暖かさの指数は、CCSR/NIESが42℃・月、RCM20が23℃・月上昇します。最寒月最低気温

は、CCSR/NIES が 5.1°C、RCM20 が 4.1°C 上昇します。降水量では、冬期降水量はどちらのシナリオも現在と比べそれほど変化しませんが、夏期降水量は増加します。

気候以外の環境データ

植物の分布・生存や優占性には、気候だけでなく、地質・地形・土壌などの土地的要因も影響すると考えられます。ブナ林の分布予測の研究では、表層地質、地形、土壌、斜面方位、斜面傾斜度も説明変数として使用しました⁵⁾。これらの変数は、1/50,000 の土地分類図に基づいて作られた国土数値情報から情報を収集しました。表層地質、地形、土壌データは、もともと都道府県ごとに作成されたため、類型が県間で異なる場合があるので、類型を統一したものを利用しました¹⁶⁾。斜面方位と傾斜は、50m 標高データから計算しました。その結果、表層地質が 21、地形が 15、土壌が 18 の類型に区分されました⁶⁾。

植生分布データ

特定の植生タイプを目的変数、環境条件を説明変数として統計モデルに組み込むことにより、植生タイプの分布予測が可能となります。植生タイプの分布情報としては、環境庁の第3回自然環境保全基礎調査による全国の 1/50,000 植生図を 3 次メッシュセルごとに切り分けた 3 次メッシュ植生データ(MVDB)を用いました。

分布予測モデル構築にあたっては、MVDB の日本辺縁の島嶼を除く 345,167 セルから、人工的土地利用（農耕地、人工林、都市など）188,363 セルを除いたあとの天然林 156,804 セルを使用しました。天然林セルの中から群落名にブナを含む 23,432 セルをブナ林として抽出しました。潜在分布域の予測には、全国 345,167 セルを使って分布図を描きました。

ブナ林分布を規定する要因と閾値

ブナ林の潜在分布域を 3 つの分類樹モデルを作って予測しました。ブナ林の有無を目的変数とし、説明変数として気候的 4 変数だけを用いたモデル(CLIMATE)、気候的 4 変数に位置情報として緯度・経度を説明変数に加えたモデル(SPATIAL)、気候的 4 変数に土地的 5 変数を説明変数に加えたモデル(ENVI)です⁵⁻⁶⁾。CLIMATE モデルと SPATIAL モデルを比べると、予測精度に大きな違いはありませんでした。分布を規定する要因の影響の大きさを示す分離貢献度⁵⁾は緯度・経度変数とも低く、この 2 つの位置変数は地域的な要因としてモデルに現れる程度でした。このような結果は、気候的 4 変数でブナ林の分布がほとんど説明できるということを示し、また、

ブナ林は気候的に分布可能なほとんどの範囲に広がっていることを示唆します。

ENVI モデルにおける分離貢献度は、冬期降水量、暖かさの指数、最寒月最低気温の順に高く、夏期降水量の貢献度は 4 気候変数の中では最低でした⁶⁾。土地的要因の貢献度はどれも低いことが判明しました。この結果は、空間解像度 1km によるブナ林の分布全域の予測という条件では、3 気候的変数がブナ林の分布に強く影響することを意味します。

4 気候変数だけを使って作った分類樹モデル(CLIMATE)を図 1 に示します⁵⁾。本州北部の日本海側と北海道南部には、分布確率が 0.67 のブナ林に適した立地が分布し、その気候条件は多い冬期と夏期の降水量 ($564 < PRW$ 、 $731 < PRS$)、中庸な温度 ($48.9 < WI < 77.2$ 、 $-12.3 < TMC$) が特徴でした。そのなかでも分布確率が 0.86 と最も高い地域、すなわちブナ林に最も適した立地(分布最適域)は、富山県以北に分布し、その気候条件は $564 < PW < 1059$ 、 $916 < PS < 1151$ 、 $52.6 < WI < 65.2$ 、 $-12.3 < TMC$ でした(最終ノード No.51: 図 1)。九州、四国、紀伊半島など日本の南西部におけるブナ林の分布地は、最終ノード No.25 と No.46 が対応し、分布確率はともに 0.45 でした。気候条件は、No.25 が $331 < PRW < 494$ 、 $1789 < PRS$ 、 $WI < 74.0$ 、 $-10.0 < TMC$ で、No.46 が $494 < PRW < 564$ 、 $1941 < PRS$ 、 $48.9 < WI < 77.2$ 、 $-12.3 < TMC$ でした。

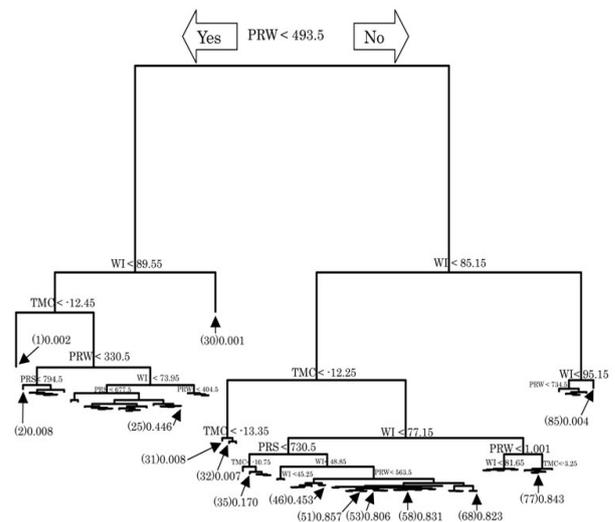


図 1. ブナ林分布の分類樹モデル (CLIMATE)

樹形の頂点からスタートし、各分岐で提示された条件を満たせば左へ、そうでなければ右へ進みながら 85 個の最終ノードへ到達する。括弧内の数値はノード番号で、それに続いてブナ林存在予測値(分布確率)が示されている。モデルの説明変数は気候的 4 変数 (WI、TMC、PRW、PRS) である。(Matsui et al. 2004a に一部改変)

ブナ林分布への影響予測

ブナ林の実際の分布域、分類樹モデルで予測した潜在分布域を図2に示します。分類樹モデルによるブナ林の分布確率予測では、分布確率0.3～0.5以上を潜在分布域とすると分布予測精度を判定するKappa統計量が0.6以上となり、良好な予測精度と判定されました。そこで、ブナ林の分布適域を分布確率0.5以上の地域とすると、その面積は現在の気候下では26,220km²になります。分布適域の面積は、現気候条件に比べCCSR/NIESシナリオでは9%に⁹⁾、RCM20シナリオでは37%に減少します。両シナリオとも九州、四国、本州太平洋側の分布適域はほとんど消滅し、分布適域の広い東北でもその面積が大きく減少します。世界遺産に指定されている白神山地も例外ではありません。本州以南では、温暖化により分布適域はより高標高に移動し、標高の低い山では適域は消失します。高山では、亜高山針葉樹林帯域に適域が侵入します。

温暖化に伴い低標高域はブナ林の成立にあまり適さなくなり、ブナは低標高域に分布する他の樹種に置き換えられる可能性があります。本州日本海側の低標高域ではコナラが、九州・四国・本州太平洋側ではカシ類、モミ、イヌブナが、ブナに置き換わる種になるでしょう。ブナ林が人工林に囲まれて孤立する場合は、ブナに置き換わる樹種を含む天然林が辺縁にないので、ブナ上層木衰退後に高木樹種が欠如する植生（低木林やササ原）に遷移するかもしれません。森林の優占樹種が置き換わるには、上層木が枯死してできた林冠穴（ギャップ）に後継樹が育つ過程を経なければならぬので、100年程度の時間がかかるでしょう。ブナに不適な高温・乾燥条件の限界環境にある低山の山頂にブナ林が孤立している場合、低山であるため高標高への逃げ場がないので、温暖化影響によるブナ林の消失がもっとも現れやすいと考えられます。温暖化に伴い、このような限界環境のブナ林は、親木枯死後のブナの再生が一層難しくなると予想されます。

分布北限の動向

現在のブナ林の北限は北海道の渡島半島黒松内低地付近にあります。どちらの気候変化シナリオでも、分布適域は黒松内低地を越えて北東に広がります。したがって、温暖化に伴いブナが北限より北東域に侵入する機会が増えるでしょう。花粉分析からわかった最終氷期以降のブナの北進速度は早い場所で233m/年¹⁷⁾、北海道では20m/年¹⁸⁾または11m/年¹⁹⁾と推定されています。CCSR/NIESとRCM20の100年間の北海道におけるTMCの北進距離は地域により異なりますが、10～50kmになります。ブナの移動速度を過去最

大値233mとすると100年では23.3kmになります。このシナリオのような温暖化が進行すれば、ブナの移動が気温の上昇に追いつけないことが十分予想されます。

ブナがスムーズに移動するには天然林が連続している必要があります。しかし、現在の土地利用は人工林、農耕地、都市などが天然林を分断しているため、ブナの移動は容易ではないでしょう。とくに、温暖化後も高温・乾燥により分布不適域に入る石狩低地が分布適域を分断するので、ブナの移動が阻害されると予想されます。

おわりに

温暖化により森林の構成種に消失、移動、加入といった変化が起こります。これに対し、変化をそのまま受け入れるのか、適応策により現存する種を保全するののかについて判断が求められます。いずれにしても、地域の実情に合わせた保全管理計画が必要でしょう。ブナ林を保全する場合の適応策としては、西日本における常緑樹林と下限を接しているブナ林の場合の常緑種の侵入のコントロール、本州中部から北部の山脈が連なっている地域における生態的回廊によるブナの移動経路の確保、また、北海道のブナ林北限以北におけるブナがミズナラ林や針広混交林に侵入した場合のコントロールなどが具体例として考えられます。

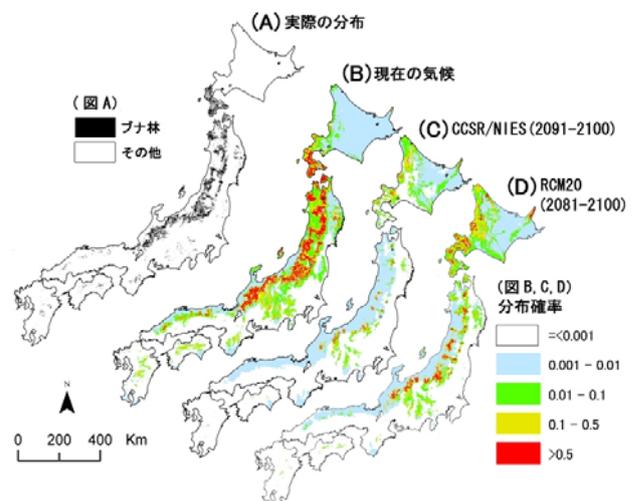


図2. ブナ林の分布

(A)実際の分布、(B)現在の気候における分布確率、(C)気候変化シナリオ CCSR/NIES(2091-2100年)における分布確率、(D)気候変化シナリオ RCM20(2081-2100年)における分布確率。図(B)、(C)、(D)で赤色に示される分布確率0.5以上の地域が、ブナ林の成立に適する地域(分布適域)である(Matsui *et al.* 2004b 一部追加・改変)

引用文献

- 1) IPCC. (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 881pp.
- 2) 島田和則・田中信行・津山幾太郎・埤田宏 (2003) 植生調査資料を用いたブナ・ミズナラの分布と気候の関係解析における得失. 第 55 回日本林学会関東支部大会講演要旨集 p.34.
- 3) 田中信行・八木橋勉・杉田久志・藤田和幸・林哲・埤田宏 (2003) 森林生態系への影響と森林管理. 遺伝(別冊), 17: 109-118
- 4) 八木橋勉・松井哲哉・中谷友樹・埤田宏・田中信行 (2003) ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類. 日本生態学会誌 53: 85-94.
- 5) Matsui, T., Yagihashi, T., Nakaya, T., Taoda, H., & Tanaka, N. (2004a) Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan. Journal of Vegetation Science 15: 57-66.
- 6) Matsui, T., Yagihashi T., Nakaya T., Taoda H., Yoshinaga S., Daimaru H., Tanaka N. (2004b) Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan. Journal of Vegetation Science 15: 605-614.
- 7) Matsui, T., Nakaya T., Yagihashi T., Taoda H., & Tanaka N. (2004c) Comparing the accuracy of predictive distribution models for *Fagus crenata* forests in Japan. Japanese Journal of Forest Environment 46: 93-102
- 8) Matsui, T., Shimada, K., Yagihashi, T., Nakaya, T., Taoda, H., & Tanaka, N. (2005) Assessing potential distribution of beech (*Fagus crenata*) in central Japan. Journal of Agricultural Meteorology 60: 439-444.
- 9) 松井哲哉・田中信行 (2005) 地球温暖化と植生への影響. 植生管理学, 福嶋司編, 朝倉書店, p.177-182.
- 10) Yagihashi, T., Matsui, T., Nakaya, T., Taoda, H. & Tanaka, N. (2005) Climatic controls differentiating the distributions of *Fagus crenata* forests and *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* forests in Japan. Proceedings of Oak 2003, Japan: Integration of Silviculture and Genetics in Creating and Sustaining of Oak Forests, p.45-57.
- 11) 田中信行・松井哲哉・八木橋勉・埤田宏 (2006) 天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測: とくにブナ林について. 地球環境 11: 11-20.
- 12) 気象庁 (1996) 気象庁観測平年値 (CD-ROM). (財) 気象業務支援センター.
- 13) 吉良龍夫 (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて—日本の高冷地の合理的利用のために—. 寒地農学 2: 143-173.
- 14) Yokozawa, M., Goto, S., Hayashi, Y. and Seino, H., 2003: Mesh climate data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing CO2. Journal of Agricultural Meteorology 59: 117-130.
- 15) 気象庁 (2004) 気象庁統一シナリオ第 2 版.
- 16) 吉永秀一郎・鈴木裕一・松倉公憲・小林守・荒井正 (1994) 国土数値情報を用いた酸性雨に対する感受性分布図の作成. 日本土壌肥料学雑誌 65: 565-568.
- 17) Tsukada, M. (1982) Late-Quaternary development of the *Fagus* forest in the Japanese archipelago. Japanese Journal of Ecology 32: 113-118.
- 18) 五十嵐八枝子. (1994) 北上するブナ. 北海道の林木育種 37: 1-7.
- 19) 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.

研究レポート NO. 89

発行 平成18(2006)年10月31日
編集 独立行政法人
森林総合研究所北海道支所
〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7
電話 (011) 851-4131
FAX (011) 851-4167
URL <http://www.ffpri-hkd.affrc.go.jp/>