

課題名 S-8-1(5) 地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価に関する研究

課題代表者名 田中 信行（独立行政法人森林総合研究所北海道支所地域研究監）

研究実施期間 平成22～26年度

累計予算額 151,000千円（うち26年度27,000千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 分布予測モデル、気候シナリオ、森林植物、脆弱性、適応策、CMIP、自然保護区、不確実性、潜在生育域、最終氷期

研究体制

(1) 地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価に関する研究
(独立行政法人森林総合研究所)

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

地球温暖化に伴い、野生動植物の生息域は、極方向や高標高方向に移動している。温暖化の生物への影響を評価する手法の一つに、統計モデル(分布予測モデル)を用いたアプローチがある。解析対象種の分布を気候条件(暖かさの指数や冬期降水量など)から予測する統計モデルを構築することにより、現在の気候下における生育に適した地域(適域)や、生育が可能な地域(潜在生育域)を予測できる。モデルに将来の気候条件を組み込むことにより、将来の気候下における適域・潜在生育域を予測することができるだけでなく、温暖化に対して脆弱な種や地域および気候変化後も引き続き生育が可能な地域(逃避地)も特定できる。このような予測は、温暖化が進行する21世紀における森林生態系の保全管理計画の策定に必要である。

分布予測モデルを用いて、温暖化の植物分布への影響を予測する研究が、1990年以降欧米を中心に数多く行われてきた。日本では1990年代に、自然植生帯およびシイ林やミズナラ林など5つの森林タイプについて、気候要因に基づく潜在生育域の予測と温暖化影響評価が行われた。2000年代に入って、研究代表者らが4～5個の気候変数に基づいた潜在生育域の予測と温暖化影響評価をブナ林やハイマツ、針葉樹10種、ササ類4種、シダ類1種について行った。成果の1つであるブナ林に関する研究が、温暖化がアジアの自然生態系に及ぼす影響の事例として、IPCC第4次評価報告書に引用された。一方、日本以外のアジアでは、この分野の研究例は少ない。森林生態系において温暖化に対する適応策が各国で適切に実施されるためには、分布予測モデルによる温暖化影響評価が、日本だけでなく、他のアジア諸国でも行われる必要がある。また、植物分布は複数の国にまたがる場合が多いので、温暖化影響予測を国際的に行うことにより、予測精度を向上させることができる。この分野の研究を発展させるためには、海外の研究者・研究機関との交流を通して、研究ネットワークを構築することが必要である。

2. 研究開発目的

温暖化影響予測には不確実性が伴うため、近年、不確実性を合わせて評価することが重視されている。本サブ課題では、温暖化が自然植生へ与える影響を不確実性も含めて定量的に評価することが目的である。対象とする地域は、日本国内全域および東アジア地域である。そのために、主要な植生の優占種について、分布予測モデルを用いて高い精度で生育域を予測する技術を開発し、温暖化によって大きく衰退する脆弱な種と地域、および温暖化後の逃避地を特定する。複数の気候変化シナリオを用いて将来の影響予測を行い、温暖化の影響を不確実性ととも提示する。結果を地図化することにより、行政担当者が日本全国や各地域において自然生態系の保全計画(保護区の見直し、移動経路の設定など)を策定する際に活用できる。

日本国内では、主要な植生の優占種について、分布予測モデルの精度を高め、温暖化影響の信頼性の高い定量的評価をすることが目標である。予測の精度を高めるため、①応答変数と検証に使用する分布データ、②モデルに組み込む説明変数の種類、③統計モデルの種類、の3点について検討し改善を行う。植生の優占種は各生態系への影響が大きいことから、優占種を優先的に解析する。

東アジア地域では、日本で先行しているこの分野の研究を、東アジアの研究機関と共同で進めることにより、東アジアにおける温暖化影響を定量的に評価し、各地の森林生態系の保全に貢献することが目標である。このよ

うな国際共同研究の第一歩として、国立台湾大学(台湾)、雲南大学生態地植物研究所(中国)、生物資源研究館(韓国)、ロシア科学アカデミー極東支部(ロシア)などと共同研究を進める。これらの地域は日本と共通する植物の属や種が多い。共通種の分布データを統合して分布予測モデルを作ることにより、種の分布限界の条件を明らかにし、温暖化影響の予測精度を高めることが可能となる。

3. 研究開発の方法

(1) CMIP3気候シナリオの比較

CMIP3で公開されている20個のGCMの気候データを利用して、将来(2081~2100)の気候データを整備し、SRES A1B排出シナリオにおける将来の気候値のばらつきの評価を行った。

(2) 温暖化影響予測における不確実性の評価とモニタリング法の開発

日本人に馴染み深い林産食用資源植物19種を用いて、温暖化の影響予測の不確実性に及ぼす将来気候データ(気候シナリオ)および推定手法の影響を検討した。

(3) 亜高山帯樹種への不確実性を考慮した影響予測

コメツガとシラビソは、日本の亜高山帯(寒温帯)の自然林の優占樹種であり、生態系に最も影響の大きいキーストーン種である。この2種を対象に、(1)で作成した20個の気候データを用いて、GCMの不確実性を考慮した温暖化の影響評価を行った。

(4) 適応策を考慮したブナへの影響予測

温暖化に伴い植物種の生育域が移動するため、生育域から外れた場所に分布する植物個体群は衰退し、長期的には絶滅すると考えられる。森林生態系の適応策は、森林の再生能力を活用することが基本でなければならず、保護区の見直しや移動経路の確保が最も重要である。しかし、適応策を考慮した自然植生の影響予測はほとんど行われていない。本研究では、日本の冷温帯の優占樹種であるブナを対象に、適応策を考慮した影響予測を行った。分布予測モデルには、これまでブナ林の予測に使われてきた分類樹モデル(Classification and regression tree, CART)を用い、現在と将来の気候データを組み込み潜在生育域を予測した。将来100年間のブナの移動は小さいので、現実的なブナの分布域の予測をするために、日本樹木誌(日本樹木誌編集委員会2009)のブナの分布図と重ね合わせ、実際の分布域外の潜在生育域は解析から除外した。さらに、土地利用が都市・田畑・人工林になっている潜在生育域も解析から除外した。現在および将来のブナの潜在生育域と自然保護区(国立公園、国定公園、都道府県指定)を重ね合わせ、自然保護区に含まれるブナ潜在生育域の面積を算出した。

(5) RCPシナリオ温暖化影響予測に基づく優占種への影響予測と適応策

日本の生態系は、約54,076km²が自然保護区として保護されている。自然保護区では、生態系保全のために開発や利用が制限されている。しかし、温暖化によって植物種の潜在生育域は変化するため、自然保護区における植物種の持続的な保護を検討する上で、温暖化後の生育域を自然保護区がどの程度網羅できるのか、また網羅できなくなる地域はどこにあるのかという点の解明が重要となる。さらに、潜在生育域が著しく縮小する生物種や新たな保護区候補地の限られる種に対しては、保護区見直しによる適応策が有効でない場合がある。このため、保全計画の意思決定に向けては、温暖化による脆弱性を予測し、保護区の見直しがどの程度効果があるかを評価する必要がある。本研究では、各気候帯の優占種を対象に温暖化に対する脆弱性を評価し、保護区見直しによる適応策の有効性を明らかにすることを目的とした。対象種は、暖温帯のアカガシ、冷温帯のブナ、亜寒帯のシラビソ、高山帯のハイマツ、いずれの種も各気候帯の優占種かつ遷移後期樹種である。これらの種は伐採により他の樹種に置き換わるので、保護区による人為改変の規制が保護策として有効である。

(6) 亜高山帯樹種の過去の分布変化予測

過去の気候変動の生物分布への影響が解明されれば、将来の生物分布への影響を予測する上で大変参考になる。現在の生物分布は、必ずしも気候と平衡に達していないため、気候環境要因だけでは説明できない生物分布パターンが存在する。現在の気候条件における潜在生育域と実際の分布との乖離は、生物の移動速度、地理的障壁(海洋や山岳など)、人為影響などの要因によって生じると推定される。田中ほか(2009)によって北海道に亜高山帯の優占樹種コメツガの不在生育域(Empty habitat)が存在することが指摘されている。本研究は、コメツガの分布予測モデルを構築し最終氷期最盛期(LGM期)の気候シナリオを組み込むことによって、コメツガの分布を規定する気候条件、および現在と過去の潜在生育域を予測して、不在生育域の成因を明らかにすることを目的とした。

(7) 韓半島における常緑広葉樹の分布予測

韓半島では、常緑広葉樹の分布は南端の沿岸域に限られている。常緑広葉樹の分布は、冬期の気温に最も影響を受けることが知られており、温暖化は常緑広葉樹の分布を変化させる。本研究では、韓半島の常緑広葉樹4種の高精度の分布予測モデルを構築することを目的とした。

(8) 日本-台湾における優占樹種10種への温暖化影響予測

台湾から日本にかけての亜熱帯から暖温帯の地域には、常緑広葉樹林が広く分布している。主要構成種は、常緑性のイチジク属、ブナ属、クスノキ科等である。常緑広葉樹林は、本地域のみに生育する希少植物、ほ乳類、昆虫など多くの生物種の生息基盤である。本研究では、この地域に広く優占する常緑広葉性木本10種への温暖化の影響について分布予測モデルを用いて潜在生育域を予測し、温暖化に伴う潜在生育域面積の変化や地域間の差異について、予測の不確実性を考慮して検討した。

4. 結果及び考察

(1) CMIP3気候シナリオの比較

主成分分析を行った結果、SRES A1B排出シナリオにおける2081～2100年の気候データは20個のGCM間で大きく異なり、5つの気候変化タイプに分類した。

(2) 温暖化影響予測における不確実性の評価とモニタリング法の開発

対象種19種中7種(トチノキ、コシアブラ、ツノハシバミ、チシマザサ、ヤマブドウ、クサソテツ、ヤマノイモ)について精度の高い分布予測モデルが得られた。現在の潜在生育域の縮小幅のばらつきを、20個の将来気候データおよび推定手法間で比較した結果、各種の予測結果の不確実性は、推定手法間(3.2～21.6%)よりも、将来気候データ間(5.0～42.2%)の方が大きかった。

(3) 亜高山帯樹種への不確実性を考慮した影響予測

コメツガ、シラビソ共に、温暖化に伴い潜在生育域の面積は大幅に縮小し、温暖化に対して脆弱であることが明らかになった。不確実性の高い地域は狭く、脆弱な地域の面積は広く予測された。地域別に見ると、両樹種の潜在生育域は、関東・中部地域では残るが、紀伊・近畿と四国では消失すると予測された。

(4) 適応策を考慮したブナへの影響予測

実際のブナの分布域における潜在生育域は、現在の気候下で62,567km²、20個のGCMに基づく将来気候下で25,517km²と予測された。将来気候下の潜在生育域は、西日本地域や関東太平洋側ではほとんど消滅すると予測された。日本の生態系は、約54,076 km²が自然保護区として保護されている。自然保護区に含まれるブナの潜在生育域の現在と将来における面積は22,122 km²と12,309km²、含まれない面積は40,445km²と13,208km²であった。ブナは伐採によって衰退するので、潜在生育域内では保護区に指定して伐採を回避することがブナの保護になる。温暖化後に自然保護区外に位置する潜在生育域13,208km²を新たに保護区にすることで、約25,000km²のブナを保護することが可能になる。一方、西日本や関東地方太平洋側に分布するブナ個体群は、温暖化後は非生育域に入るので、いずれ絶滅の危機に瀕すると推定される。遺伝的多様性から見ても、この地域のブナ個体群を保護する意義がある。この地域の適応策は、保護区の見直しだけでは不十分であり、優先的な保護林を選定してブナの植栽や競合種の伐採などを含む積極的な対策が必要である。

(5) RCPシナリオ温暖化影響予測に基づく優占種への影響予測と適応策

気候変化に伴う潜在生育域面積の減少率を脆弱度(Vulnerability)、現行保護区内にある潜在生育域面積をベースラインとし、将来の潜在生育域かつ保護区外面積との差を適応許容量(Capacity)とする。アカガシでは、いずれのRCPでもVulnerabilityが小さいため適応策の必要性が低い。ブナでは、RCP2.6と4.5で適応策により保護できる余地が大きいが、RCP8.5では適応策で対応できる水準を超える。シラビソとハイマツでは、Vulnerabilityが高いことに加えCapacityも低いことから、この適応策では対応できない。この結果は、緩和策によりRCP4.5以下に留める事が安定化目標として重要であることを意味する。

(6) 亜高山帯樹種の過去の分布変化予測

モデルで現在のコメツガの潜在生育域を予測した結果、本州では実際の分布と良く合致したものの、北海道南部に不在生育域が予測された。コメツガは、第四紀のいずれかの氷期に、夏期の乾燥が原因で、北海道から絶滅したと考えられる。後氷期に入り、約8,000年前には十分な夏期降水量がある気候環境が北海道に成立し

たが、北海道と本州の間に広がる津軽海峡が地理的障壁となり、再侵入ができないまま現在の分布状況になったと推定される。

(7) 韓半島における常緑広葉樹の分布予測モデル

韓半島における常緑広葉樹4種について高い精度の分布予測モデルが構築できた。現在気候条件で予測された潜在生育域を土地利用地図と重ねた結果、土地利用の制限(農地や都市など)により実際に樹木が生育できる地域の面積は潜在生育域の21~35%に減少した。

(8) 日本-台湾における優占樹種10種への温暖化影響予測

日本-台湾列島における常緑広葉樹10種について温暖化影響予測を行った結果、すべての種で潜在生育域が1.3~2.8倍に増加したが、琉球列島などで潜在生育域が減少する樹木が4種あることが明らかとなった。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

分布予測モデルの種類適切な選択や、説明変数に非気候的要因を入れることにより、予測のもつ不確実性を低くできることを示した。高い精度のモデル構築技術を生かして、将来気候データ(将来気候シナリオ)に由来する不確実性を考慮して、森林生態系で最も重要な役割をもつ優占種について、日本における将来の気候変化の影響予測と適応策の定量的評価、および日本だけでなく海外を含む影響予測を行った点に科学的意義がある。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

(1) 地方自治体の温暖化適応施策への貢献

本サブ課題の研究成果を自治体や地域住民へ還元することにより、地方の森林管理政策に貢献してきた。すでに、長野県や東京都などには温暖化影響予測結果(マツ枯れ、ブナ林、シラビソなど)を提供した。一方、温暖化影響予測の地方への情報提供が容易になるように、現在、温暖化影響の簡易推計ツールをS-8-1(1)総括班と協力して作成した。温暖化影響の予測結果である重要種14種の簡易推計ツールへの実装が完了し、各地域の影響予測結果が閲覧可能になっている。これまでに長崎県、長野県、三重県で簡易推計ツールが活用された。

(2) 白神山地世界遺産地域における適応策への貢献

白神山地世界遺産地域はブナ自然林の価値により世界遺産に登録されているが、この地域のブナ林には温暖化の悪影響が予測されている。世界遺産地域を適切に保全していくために、環境省・林野庁により白神山地世界遺産地域科学委員会が2010年6月に設立され、ブナ林保全についてのアドバイスをを行っている。この科学委員会の活動に、S-8プロジェクトの研究成果であるブナの潜在生育域の将来予測結果が貢献している。

(3) 筑波山(国定公園)における適応策への貢献

筑波山のブナ林は1980年代から衰退が指摘されてきたが、2008年から3年間、茨城県生活環境部環境政策課主催「筑波山ブナ林保護対策検討委員会」において今後の保全策が検討されてきた。その成果として、2012年3月に「筑波山ブナ林保全指針」が策定され公表された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

IPCC第5次評価報告書WG2(2014)において、「東アジアのモミ属の将来予測(Tanaka et al. 2012)」の成果が引用された。本サブ課題は東アジアの地域(韓国、中国・台湾、極東ロシア)の研究機関と連携して温暖化の影響予測研究を推進した。韓国国立樹木園が中心となって設立した東アジア生物多様性保全ネットワーク(EABCN)の設立に協力し、温暖化影響研究の連携も進めた。東アジアの研究成果が東アジア各地域における温暖化適応策を組み込んだ自然環境保全策に貢献することが期待される。国内では、「平成26年度生物多様性分野における気候変動の適応に関する検討会」に、松井哲哉が委員として参加した。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

1) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, E. NAKAZONO and T. MATSUI: Procedia Environmental

Sciences, 13, 455–466 (2012)

“Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (*Abies*) species in Japan and on the East Asian continent”

- 2) M. HIGA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, E. NAKAZONO, M. YASUDA, T. MATSUI and N. TANAKA: Ecological Indicators, 29, 307–315 (2013)

“Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty”

- 3) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, T. MATSUI, M. HORIKAWA and N. TANAKA: Journal for Nature Conservation, 21, 406–413 (2013)

“Spatial conservation planning under climate change: Using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan”

- 4) I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, T. MATSUI, K. SHICHI and N. TANAKA: Journal of Forest Research, 19, 154–165 (2014) (Journal of Forest Research論文賞受賞)

“What controls the distribution of the Japanese endemic hemlock, *Tsuga diversifolia*? Footprint of climate in the glacial period on current habitat occupancy”

- 5) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, C.-T. LIN, S.-T. SUN, J.-R. LIN, C.-R. CHIOU, T.-Y. CHEN, T. MATSUI and N. TANAKA: Plant Ecology, 215, 639–650 (2014)

“Changes in the potential habitats of 10 dominant evergreen broad-leaved tree species in the Taiwan–Japan archipelago”

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) T. MATSUI, I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI, T. YAGIHASHI and N. TANAKA: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea (2012)

“Impact assessment of climate change on potential habitats of Japanese forest species”

- 2) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. YASUDA and T. MATSUI: International Symposium of the 10th Anniversary of Korea National Herbarium, Role of the Arboretum and Botanical Garden against Climate Change of the East Asia, 05–08 Nov. 2013, Korean National Arboretum, p. 29 (2013)

“Prediction and detection of climate change impact on plant species distributions in Japan”

7. 研究者略歴

課題代表者: 田中 信行

東京大学農学研究科修士課程修了、農学博士、現在、森林総合研究所北海道支所地域研究監

研究分担者

- 1) 大丸 裕武

北海道大学大学院環境科学研究科修士課程修了、博士(農学)、現在、森林総合研究所山地災害研究室長

- 2) 松井 哲哉

オタゴ大学理学部植物学科生態学修士課程修了、博士(農学)、現在、森林総合研究所植物生態研究領域チーム長

- 3) 小南 裕二

京都大学農学系研究科修士課程修了、修士(農学)、現在、森林総合研究所関西支所森林環境グループ長

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(5) 地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

北海道支所	田中信行
植物生態研究領域	松井哲哉
水土保持研究領域	大丸裕武
関西支所	小南裕志
北海道支所	津山幾太郎<研究協力者>
植物生態研究領域	中尾勝洋<研究協力者>・大橋春香<研究協力者>・ 安田正次<研究協力者>・中園悦子<研究協力者>・ 小出大<研究協力者>
国立大学法人高知大学	比嘉基紀<研究協力者>

平成22(開始年度)～26年度累計予算額：151,539千円
 (うち、平成26年度予算額：27,080千円)
 予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価を行い、次のような研究成果をあげた。①CMIP3 気候シナリオを予測に使えるように整備し、20種類のGCMに基づく気候シナリオから計算した気候変数の差異を評価し、5つのタイプに区分した。②林産食用資源植物19種を対象に温暖化の潜在生育域への影響予測における不確実性の原因を検討し、気候シナリオの影響が大きいことを明らかにした。③亜高山帯優占樹木2種について、不確実性を含む温暖化影響予測を行った結果、両種とも潜在生育域が縮小することから温暖化に対して脆弱であり、不確実性の高い地域は狭いことが明らかになった。④冷温帯優占種ブナを対象に適応策を考慮した温暖化影響予測を行った結果、温暖化後に自然公園外に位置する潜在生育域13,208km²を新たに保護区にすることで、現在と同じ約25,000km²のブナを保護することが可能になることを予測した。⑤各森林帯の優占樹木4種の潜在生育域への温暖化影響の予測結果を自然保護区と重ね合わせた結果、脆弱な3種のうち2種は適応許容量(Capacity)が小さいことを明らかにした。⑥亜高山帯優占種コメツガの潜在生育域の現在と最終氷期最盛期(LGM期、2.1万年前)の予測を行った結果、第四紀の氷期に夏期の乾燥が原因で北海道から絶滅したことを推定した。⑦韓半島における常緑広葉樹4種について現在気候条件で予測された潜在生育域を土地利用図と重ねた結果、土地利用の制限により実際に生育可能な地域の面積は潜在生育域21～35%に減少した。⑧日本—台湾列島における常緑広葉樹10種について温暖化影響予測を行った結果、すべての種で潜在生育域が1.3～2.8倍に増加したが、琉球列島などで潜在生育域が減少する樹木が4種あることが明らかとなった。このように、自然林にもっとも大きな影響を与えている優占樹種について温暖化影響とその原因を明らかにし、温暖化への適応策を提言した。

[キーワード]

分布予測モデル、気候シナリオ、森林植物、脆弱性、適応策

1. はじめに

地球温暖化に伴い、野生動植物の生息域は、極方向や高標高方向に移動している。温暖化の生物への影響を評価する手法の一つに、統計モデル（分布予測モデル）を用いたアプローチがある。解析対象種の分布を気候条件（暖かさの指数や冬期降水量など）から予測する統計モデルを構築することにより、現在の気候下における生育に適した地域（適域）や、生育が可能な地域（潜在生育域）を予測できる。モデルに将来の気候条件を組み込むことにより、将来の気候下における適域・潜在生育域を予測することができるだけでなく、温暖化に対して脆弱な種や地域および気候変化後も引き続き生育が可能な地域（逃避地）も特定できる。このような予測は、温暖化が進行する21世紀における森林生態系の保全管理計画の策定に必要である。

分布予測モデルを用いて、温暖化の植物分布への影響を予測する研究が、1990年以降欧米を中心に数多く行われてきた。日本では1990年代に、自然植生帯およびシイ林やミズナラ林など5つの森林タイプについて、気候要因に基づく潜在生育域の予測と温暖化影響評価が行われた。2000年代に入って、研究代表者らが4～5個の気候変数に基づいた潜在生育域の予測と温暖化影響評価をブナ林やハイマツ、針葉樹10種、ササ類4種、シダ類1種について行った。成果の一つであるブナ林に関する研究が、温暖化がアジアの自然生態系に及ぼす影響の事例として、IPCC第4次評価報告書に引用された。一方、日本以外のアジアでは、この分野の研究例は少ない。森林生態系において温暖化に対する適応策が各国で適切に実施されるためには、分布予測モデルによる温暖化影響評価が、日本だけでなく、他のアジア諸国でも行われる必要がある。また、植物分布は複数の国にまたがる場合が多いので、温暖化影響予測を国際的に行うことにより、予測精度を向上させることができる。この分野の研究を発展させるためには、海外の研究者・研究機関との交流を通して、研究ネットワークを構築することが必要である。

2. 研究開発目的

温暖化影響予測には不確実性が伴うため、近年、不確実性を合わせて評価することが重視されている。本サブ課題では、温暖化が自然植生へ与える影響を不確実性も含めて定量的に評価することが目的である。対象とする地域は、日本国内全域および東アジア地域である。そのために、主要な植生の優占種について、分布予測モデルを用いて高い精度で生育域を予測する技術を開発し、温暖化によって大きく衰退する脆弱な種と地域、および温暖化後の逃避地を特定することを目的とする。複数の気候変化シナリオを用いて将来の影響予測を行い、温暖化の影響を不確実性ととともに提示する。結果を地図化することにより、行政担当者が日本全国や各地域において自然生態系の保全計画（保護区の見直し、移動経路の設定など）を策定する際に活用できる。

日本国内では、主要な植生の優占種について、分布予測モデルの精度を高め、温暖化影響の信頼性の高い定量的評価をすることが目標である。予測の精度を高めるため、①応答変数と検証に使用する分布データ、②モデルに組み込む説明変数の種類、③統計モデルの種類、の3点について検討し改善を行う。植生の優占種は各生態系への影響が大きいことから、優占種を優先的に解析する。

東アジア地域では、日本で先行しているこの分野の研究を、東アジアの研究機関と共同で進めることにより、東アジアにおける温暖化影響を定量的に評価し、各地の森林生態系の保全に貢献することが目標である。このような国際共同研究の第一歩として、国立台湾大学（台湾）、雲南大学生態地植物研究所（中国）、生物資源研究館（韓国）、ロシア科学アカデミー極東支部（ロシア）などと共同研究を進める。これらの地域は日本と共通する植物の属や種が多い。共通種の分布データを統合して分布予測モデルを作ることにより、種の分布限界の条件を明らかにし、温暖化影響の予測精度を高めることが可能となる。

3. 研究開発方法

(1) CMIP3 気候シナリオの比較

分布予測モデル（SDM、species distribution model）から予測される潜在生育域は、温暖化による生物への影響指標として有用である。将来気候の推定値は、全球気候モデル（GCM）によって異なるため、分布予測モデルを用いた温暖化影響評価には将来気候データ（気候シナリオ）に起因する不確実性が存在する。しかし、将来の気候データに起因する不確実性が生物分布予測結果に及ぼす影響については、国内外ともにほとんど検討されていない。そこで、世界気候研究計画（World Climate Research Program）の第3次結合モデル比較実験（The 3rd phase of Coupled Model Intercomparison Project、CMIP3）で公開されている20個のGCMの気候データを利用して、将来気候データを整備し、SRES A1B 排出シナリオにおける気候値のばらつきの評価を行った。

SRES A1B 排出シナリオの気候変化予測実験および20世紀気候再現実験における20個のGCMの結果を利用して、将来気候データを以下の手順で作成した。まず、日平均気温と、日最低気温、日降水量より現在（1961～1981年）と将来（2081～2100年）の平年値（月平均気温、月平均最低気温、月降水量）を求めた。気温については将来と現在の差を、降水量はその比を求めた。その後、差比データを1km² 解像度まで空間補間（単純線形内挿）し、現在の3次メッシュ気候値⁸⁾にオーバーレイした。3次メッシュとは、日本全国を約1km四方の格子のことである。以上の作業をすべてのGCMについて行い、20個の将来気候データを作成した。各気候データから、4つの気候指数（暖かさの指数WI、最寒月最低気温TMC、夏期降水量PRS、冬期降水量PRW）の中央値を算出し、現在気候値との比較を行った。

(2) 温暖化影響予測における不確実性の評価とモニタリング法の開発

日本人に馴染み深い林産食用資源植物19種（木本植物11種、草本植物5種、シダ植物3種）を用いて、(1)温暖化の影響予測の不確実性に及ぼす将来気候データ（気候シナリオ）および推定手法の影響評価、(2)対象種の温暖化に対する指標性、(3)モニタリングサイトの候補地域の検討を行った。対象19種について、まず予測精度の高いといわれている3つの分布予測モデル、Multivariate adaptive regression splines (MARS)、一般化加法モデル (Generalized additive models、GAM)、Generalized boosted models (GBM)を用いて、現在の分布特性の解明と分布予測モデル間の予測結果の不確実性を検討した。次に、(1)で作成した20個の将来気候データを用いて、温暖化影響予測の指標性、GCMに由来する不確実性を検討した。目的変数には各種の在・不在データ（16,675地点）を、説明変数には9つの気候-非気候指数データを用いた。在・不在データはPRDB（植物社会学ルルベデータベース¹⁷⁾）から抽出した。気候指数データとして、4つの気

候変数（WI、TMC、PRS、PRW）を次の気候値から計算した。現在の気候値には3次メッシュ気候値⁸⁾を、将来気候データ（2081～2100）には20個の将来気候データを用いた。非気候指数データとしては、斜面方位、斜面傾斜、中地形単位、表層地質、表層地質年代の5変数を使用した。

（3）亜高山帯樹種への不確実性を考慮した影響予測

コメツガとシラビソは、日本の亜高山帯（寒温帯）の自然林の優占樹種であり、生態系に最も影響の大きいキーストーン種である。この2種を対象に、（1）で作成した20個の気候データを用いて、GCMの不確実性を考慮した温暖化の影響評価を行った。これらから、温暖化に対して脆弱あるいは持続的な生育域を明らかにした。

コメツガとシラビソの分布予測モデルの構築用データにはPRDBから抽出した各種の在・不在データ（地点数：コメツガ在317、不在12,119、シラビソ在211、不在12,225）を、精度検証には文献²⁾³⁾⁴⁾に記載された地名と標高帯からデジタル化した3次メッシュマップ（以下、林マップ）を使用した。現在の気候値には3次メッシュ気候値⁸⁾を、将来気候データ（2081～2100）には20個の将来気候データを用いた。

分布予測モデルには、予測精度の高いGAMを用いた。応答変数にはコメツガとシラビソの在・不在データを、説明変数には現在気候値から算出した4つの気候変数（WI、TMC、PRS、PRW）の交互作用項を用いた。各変数の重要度は、Akaike weight に基づくIOV（変数の相対重要度）を算出して評価した。モデルの精度は、1)モデル構築用データからブートストラップ抽出したデータによるAUC値の100回の計算と、2)林マップとの比較から算出した精度評価指数（Sensitivity値とSpecificity値）に基づいて検証した。なお、ブートストラップ抽出とは繰り返し有りのランダムサンプリングで、AUCとは分布予測精度の指数で、0.5～1.0の値をとり大きいほど精度が高いことを示す。

温暖化後の各3次メッシュ区画における2種の出現確率は、20個の将来気候データから算出した確率の中央値とした。また、GCMによる影響予測の不確実性と実際の分布域の脆弱性を示すため、現在の潜在生育域において、3次メッシュ区画ごとに各GCMで「非生育域」になる場合をカウントして脆弱性指数とし、林マップによって実際の分布域だけを抽出して地図化した。

（4）適応策を考慮したブナへの影響予測

温暖化に伴い植物種の生育域が移動するため、生育域から外れた場所に分布するその植物は衰退し、長期的には絶滅すると考えられる。森林生態系の適応策は、森林の再生能力を活用することが基本でなければならず、保護区の見直しや移動経路の確保が最も重要である。しかし、適応策を考慮した自然植生の影響予測はほとんど行われていない。本研究では、日本の冷温帯の優占樹種であるブナを対象に、適応策を考慮した影響予測を行った。

分布予測モデルには、これまでブナ林の予測に使われてきた分類樹モデル（Classification and regression tree、CART）を用いた。PRDBより抽出したブナの在・不在データ（地点数：在1,763、不在10,674）を応答変数、4気候指数（WI、TMC、PRS、PRW）を説明変数とする分布予測モデルを構築した。モデルの精度は、モデル構築用データからブートストラップ抽出したデータによってAUC値を1000回計算して検証した。潜在生育域は、在データの95%を含む出現確率以上の地域と定義した。将来100年のブナの移動は小さいので、現実的なブナの分布域の予測をするために、既報のブ

ナの分布図¹⁴⁾と重ね合わせ、実際の分布域外の潜在生育域は解析から除外した。さらに、土地利用が自然林の成立しない場所（都市・田畑・人工林など）に当たっている潜在生育域も解析から除外した。

将来気候データ(2081~2100)には、(1)で作成した20個の気候データを用いた。将来の潜在生育域は、全3次メッシュ区画における各GCM下でのブナの出現確率の中央値に基づいて決定した。また、各3次メッシュ区画における潜在生育域となるGCMの数を、気候データに由来する不確実性の指標とした。

ブナの潜在生育域が自然保護区とどの程度重複しているかを確認するために、現在および将来(温暖化後)の潜在生育域と自然公園区域を重ね合わせ、自然公園に含まれるブナ潜在生育域の面積を算出した。自然公園(国立公園、国定公園、都道府県指定)は、国土数値情報のデータを利用した。

(5) RCPシナリオ温暖化影響予測に基づく優占種への影響予測と適応策

日本の生態系は、約54,076km²が自然保護区(国立公園、国定公園、都道府県指定)として保護されている。自然保護区では、生態系保全のために開発や利用が制限されている。しかし、温暖化によって植物種の潜在生育域は変化するため、自然保護区における植物種の持続的な保護を検討する上で、温暖化後の生育域を自然保護区がどの程度網羅できるのか、また網羅できなくなる地域はどこにあるのかという点の解明が重要となる。さらに、潜在生育域が著しく縮小する生物種や新たな保護区候補地の限られる種に対しては、保護区見直しによる適応策が有効でない場合がある。このため、保全計画の意思決定に向けては、温暖化による脆弱性を予測し、保護区の見直しがどの程度効果があるかを評価する必要がある。本研究では、各気候帯の優占種を対象に温暖化に対する脆弱性を評価し、保護区見直しによる適応策の有効性を明らかにすることを目的とした。

対象種は、暖温帯のアカガシ、冷温帯のブナ、亜寒帯のシラビソ、高山帯のハイマツ、いずれの種も各気候帯の優占種かつ遷移後期樹種である。これらの種は伐採により他の樹種に置き換わるので、保護区による人為改変の規制が保護策として有効である。

解析は3次メッシュを単位として行った。分布予測モデルは、対象種において既に構築されたモデルを活用した。各対象種のモデルは、アカガシがrandomForest¹³⁾、ブナがCART¹²⁾、シラビソがGAM²²⁾、ハイマツがCART⁵⁾である。各モデルの予測精度は十分に高い。本研究では、各既存モデルを用いて、現在および将来気候下における気候的な潜在生育域を予測した。なお、予測のリアリティーを高めるため、モデルから予測される潜在生育域は、実際の分布情報を用いて、分布のない潜在生育域(不在生育域)を除外した。さらに、土地改変割合の高いメッシュ区画も対象から除外した。便宜的に1つの3次メッシュ区画を1km²として面積を集計した。

将来気候データとして、3つのRepresentative Concentration Pathways (RCPs、濃度シナリオ)ごとに4つの気候モデル(以下、GCM)を使用した。RCPは2.6、4.5、8.5の3シナリオ、GCMはMIROC5、MRI-CGCM3.0、GFDL-CM3、HadGEM2-ESの4気候モデルである。RCP¹¹⁾はIPCC第5次評価報告書⁷⁾において検討されているシナリオである。第4次評価報告書の際のSRES排出シナリオとは異なり、大気中の温室効果ガス濃度が気候変化に与える影響の大きさで特徴付けられている。最も高濃度となるRCP8.5は、SRES A1FIに相当し、今世紀末の濃度が1465ppmである。これに対し、最も低いRCP2.6

は、SRESのいずれのシナリオよりも変化割合が小さく、濃度が450から500ppmである。中程度のRCP4.5は、SRES B1に相当し、濃度が600ppmである。

各対象樹種について、全ての将来気候データの組み合わせで出現確率を算出し、RCPごとに、その平均値を出現確率として用いた。なお、100年程度では対象樹種はほとんど移動しないという予想のもとに、樹木の潜在生育域は温暖化した場合にも移動しないと仮定した。現在および温暖化後の潜在生育域と国土数値情報より入手した自然保護区データとを重ね合わせ、自然保護区と対象種との重なりを求めた。

(6) 亜高山帯樹種の過去の分布変化予測

過去の気候変動の生物分布への影響が解明されれば、将来の生物分布への影響を予測する上で大変参考になる。現在の生物分布は、必ずしも気候と平衡に達していないため、気候環境要因だけでは説明できない生物分布パターンが存在する。現在の気候条件における潜在生育域と実際の分布との乖離は、生物の移動速度、地理的障壁（海洋や山岳など）、人為影響などの要因によって生じると推定される。本研究は、北海道に不在生育域（Empty habitat）が存在することが指摘されている¹⁸⁾亜高山帯樹種コメツガ（*Tsuga diversifolia*）について、分布予測モデルと、最終氷期最盛期（LGM期）の気候シナリオを用いることにより、1)コメツガの分布を規定する気候条件を明らかにし、2)現在と過去の潜在生育域を予測して不在生育域の成因を明らかにすることを目的とした。

解析の対象地域は、日本全域（幾つかの島嶼を除く）とした。コメツガの分布データは、モデル構築用データにはPRDB（2011年5月版）から抽出した在・不在データを、構築したモデルの予測精度の検証にはコメツガの分布図⁶⁾を20km解像度でデジタル化したデータ（堀川マップ）を使用した。また、LGM期におけるコメツガの大型植物遺体（球果や種子など）の分布データ¹⁵⁾を作成し、モデルで予測した過去のコメツガ潜在生育域の妥当性を検証した。現在の気候値には、WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) が提供する30秒解像度（約1km）のデータを用い、LGM期の気候データには、PMIP2（Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase II）が作成しWorldClimが2.5分解像度（約5km）にダウンスケールした2つのGCM（MIROC, CCSM）を用いた。LGM期における各気候変数の変化の影響を明らかにするため、MIROCを基に、降水量と気温を増減させた気候データセットを作成し、コメツガの潜在生育域を予測した。

分布予測モデルには、分類樹モデル（CART）と一般化加法モデル（GAM）を用いた。応答変数には、コメツガの在・不在データを用い、説明変数には、WorldClimから算出した4つの気候値（最暖3ヶ月の平均気温：MTWQ、最寒月の最低気温：MTCQ、最暖3ヶ月の積算降水量：PRWQ、最寒3ヶ月の積算降水量：PRCQ）を用いた。モデルの精度検証は、1)モデル構築用データからブートストラップ抽出した100個のデータでAUCを算出し、2)堀川マップに対するSensitivity（感度）とSpecificity（特異度）を算出して評価した。LGM期の潜在生育域の妥当性は、予測されたLGM期の潜在生育域と大型遺体の分布（在・不在）データとの距離を算出し、その差を検定することで検証した。

(7) 朝鮮半島における常緑広葉樹の分布予測

韓半島では、常緑広葉樹の分布は南端の沿岸域に限られている。常緑広葉樹の分布は、冬の

気温に最も影響を受けることが知られており、温暖化は常緑広葉樹の分布を変化させる。常緑広葉樹の分布変化を予測するためには、現在の気候条件から分布を正確に予測するモデルの構築が不可欠である。本研究では、韓半島の常緑広葉樹の分布予測モデルを構築することを目的とした。

対象とした樹種は、南部に分布するアカガシ、スダジイ、タブノキ、シロダモの4種である。分布データとして、韓国と日本の植生データベースから抽出した各樹種の在不在データ（22,097地点）を用いた。気候データは、WorldClim (<http://www.worldclim.org/>)からダウンロードした現在の気候値を用いた。モデルの説明変数は、4気候値（暖かさの指数、最寒月最低気温、夏期降水量、冬期降水量）を使用した。分布予測モデルは、一般化加法モデル（GAM）を用いた。分布予測モデルによって地図化される潜在生育域は、土地利用の影響を考慮することでより現実的な予測になる。そこで、Global Land Cover provided by DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org>)からダウンロードした土地利用地図を用いて、農地と都市部を除いた地域だけを対象に潜在生育域の予測を行った。

（8）日本-台湾における優占樹種10種への温暖化影響予測

台湾から日本にかけての亜熱帯から暖温帯の地域には、常緑広葉樹林が広く分布している。主要構成種は、常緑性のイチジク属、ブナ属、クスノキ科等である。常緑広葉樹林は、本地域のみに生育する希少植物、ほ乳類、昆虫など多くの生物種の生息基盤である。本研究では、この地域に広く優占する常緑広葉性木本10種への温暖化の影響について分布予測モデルを用いて予測し、1) 対象種の分布規定要因はなにか？ 2) 温暖化により気候的な潜在生育域は、どのように変化するか？ 3) 温暖化に伴う潜在生育域面積の変化は、地域によって異なるか？の3点について将来気候シナリオの不確実性を考慮して検討した。

対象種は、スダジイ、アラカシ、イチイガシ、ホルトノキ、コバンモチ、ヤブツバキ、イスノキ、ガジュマル、オオバイヌビワ、タブノキの10種である。対象種の分布データは、日本がPRDB¹⁷⁾、台湾がNVDIMP¹⁾より抽出・統合し解析に用いた。説明変数として、4気候要因（暖かさの指数、最寒月最低気温、夏期降水量、冬期降水量）および非気候要因を間接的に説明するための緯度・経度の交互作用項を用いた。統計モデルには、GAMを用いた。構築した分布予測モデルの検証は、分布データからブートストラップ法により抽出した検証データでAUCを計算する一連の過程を1000回繰り返すことで行った。潜在生育域は、在データの95%を含む最大の出現確率以上の地域とした。

解析は緯度経度30秒メッシュ（約1km格子）を単位として行った。将来(2081-2100)の気候データはCMIP3のデータを利用した。本研究では、IPCCのSRES排出シナリオA1B (720 ppm stabilization experiment)による2081から2100年の気候変化予測実験および20世紀気候再現実験 (climate of the 20th century experiment)について、データが入手できた20のGCMを用いた。各メッシュ区画で全てのGCMにおける種の出現確率を算出し、その中央値を出現確率とするとともに、潜在生育域となるGCM数を不確実性の指標とした。

4. 結果及び考察

(1) CMIP3気候シナリオの比較

主成分分析を行った結果、SRES A1B排出シナリオにおける2081～2100年の気候データは20個のGCM間で大きく異なることが明らかとなった(表1(5)-1)。気温変数(WI、TMC)に比べて、降水変数(PRS、PRW)の方がGCM間のばらつきが大きかった。このことから、気温変数への依存性が高い種に比べて、降水変数への依存性が高い種は予測結果のばらつきが大きくなると推察される。各GCMの特性を以下にまとめる。

表1(5)-1 現在気候値⁸⁾に対する将来気候データ(SRESA1B、2081～2100年)の5気候値の変化量。変数の単位はそれぞれ、WIは℃・月、TMCは℃、PRSとMSWとWRはmm。

	GCM	WI	TMC	PRS	PRW
(1) 温度上昇量大・降水変化小	1. BCCR_BCM2_0	24.7	2.4	144.0	38.8
	2. CCCMA_CGCM3_1	25.9	3.2	206.0	42.4
	3. CCCMA_CGCM3_1_T63	25.0	2.7	122.0	4.4
	4. CNRM_CM3	28.9	3.6	77.0	18.6
	5. CSIRO_MK3_0	17.9	1.9	16.8	2.8
(2) 温度上昇量中・降水増加量大	6. CSIRO_MK3_5	26.9	3.5	9.0	-76.1
	7. GFDL_CM2_0	31.1	4.4	216.0	38.0
	8. GFDL_CM2_1	30.4	5.0	83.0	-6.5
	9. GISS_AOM	19.9	2.1	-41.6	3.8
	10. GISS_MODEL_E_R	22.3	2.5	-724.3	-292.5
(3) 温度上昇量小・降水増加量大	11. IAP_FGOALS1_0_G	18.3	2.3	108.0	-4.8
	12. INGV_ECHAM4	23.0	3.0	6.9	-12.1
	13. INMCM3_0	24.8	3.0	51.2	-34.0
	14. IPSL_CM4	35.8	3.9	7.7	35.1
	15. MIROC3_2_HIRES	42.2	4.8	199.0	16.3
(4) 温度上昇量小・降水増加量小	16. MIROC3_2_MEDRES	35.3	4.2	169.0	66.1
	17. MIUB_ECHO_G	37.2	4.3	122.0	8.2
	18. MPI_ECHAM5	29.9	3.9	207.0	29.3
	19. MRI_CGCM2_3_2A	23.1	2.6	122.0	36.8
(5) 温度上昇量中・降水減少量大	20. NCAR_CCSM3_0	22.8	2.5	146.0	12.7
	平均	27.3	3.3	62.3	-3.6
	SD	6.6	0.9	200.4	74.6

(2) 温暖化影響予測における不確実性の評価とモニタリング法の開発

対象種19種中7種(トチノキ、コシアブラ、ツノハシバミ、チシマザサ、ヤマブドウ、クサソテツ、ヤマノイモ)について精度の高い分布予測モデルが得られた。現在の潜在生育域の縮小幅のばらつきを、20個の将来気候データおよび推定手法間で比較した結果、各種の予測結果の不確実性は、推定手法間(3.2～21.6%)よりも、将来気候データ間(5.0～42.2%)の方が大きかった(図1(5)-1)。7種の分布予測において、非気候変数よりも気候変数の貢献度の方が大きかった。ヤマノイモを除く6種は、温暖化に伴い分布が広範な地域で大きく変化する可能性が高い。

本研究の結果、温暖化が植物の分布に及ぼす影響を評価する際には、異なる将来気候データ間の不確実性を優先的に検討すべきであることが示唆された。また、林産食用資源植物6種は、温暖化に対する指標性が高いことから、温暖化の影響検出モニタリング調査の対象種に適していると判断した。これら6種は、今後の温度上昇に伴って、東日本の低標高域や西日本全域で収穫量が低下すると推定される。

(3) 亜高山帯樹種への不確実性を考慮した影響予測

コメツガ、シラビソ共に、高精度の分布予測モデルが構築できた。コメツガでは、 $AUC=0.97 \pm 0.002$ 、 $Sensitivity=0.908$ 、

$Specificity=0.952$ 、シラビソでは、 $AUC=0.99 \pm 0.006$ 、 $Sensitivity=0.863$ 、 $Specificity=0.983$ であった。最高精度のモデルで選択された変数は、コメツガでは交互作用項(WI、TMC)、(PRS、PRW)、(WI、PRW)、(WI、PRS)が、シラビソでは(WI、TMC)、(PRS、PRW)、(WI、PRW)、(TMC、PRW)であった。このうち、コメツガでは(WI、TMC)と(PRS、PRW)が、シラビソは、(WI、TMC)、(PRS、PRW)、(WI、PRW)の交互作用項が特に重要であった。

コメツガ、シラビソ共に、温暖化に伴い潜在生育域の面積は大幅に縮小し、温暖化に対して脆弱であることが明らかになった。実際の分布域を示す「林マップ」に含まれる潜在生育域のうち、温暖化後も潜在生育域として維持される面積は、コメツガでは7.0% (889区画)、シラビソでは1.3% (65区画)であった(図1(5)-2ab)。脆弱性指数が高い(20に近い)地域は温暖化に伴い衰退が予測される地域で、低い(0に近い)地域は生育可能な環境が維持される可能性が高い地域(持続的生育域、逃避地)で、中間(10付近)の地域は不確実性が高い地域である(図1(5)-2c)。不確実性の高い地域は狭く、脆弱な地域の面積は広く予測された。地域別に見ると、両樹種の潜在生育域は、関東・中部地域では残るが、紀伊・近畿と四国では消失すると予測された(表(5)-2)。関東・中部の持続的生育域の面積は、コメツガが574~1,237区画、シラビソが57~116区画の範囲にあった。

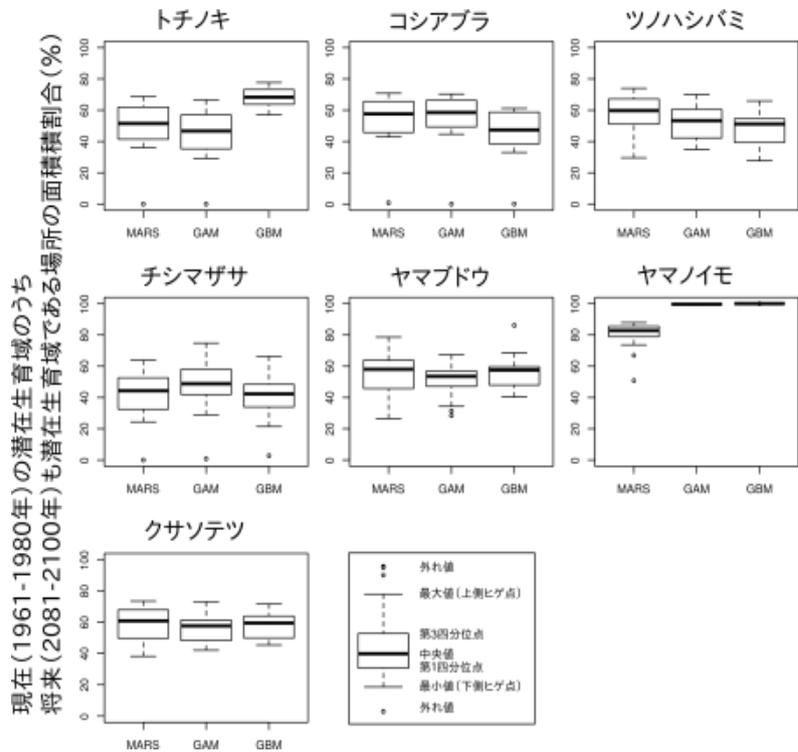


図1(5)-1 現在の潜在生育域に対する現在から将来を通して潜在生育域である地域の面積割合
(気候変化に伴う潜在生育域の減少割合)

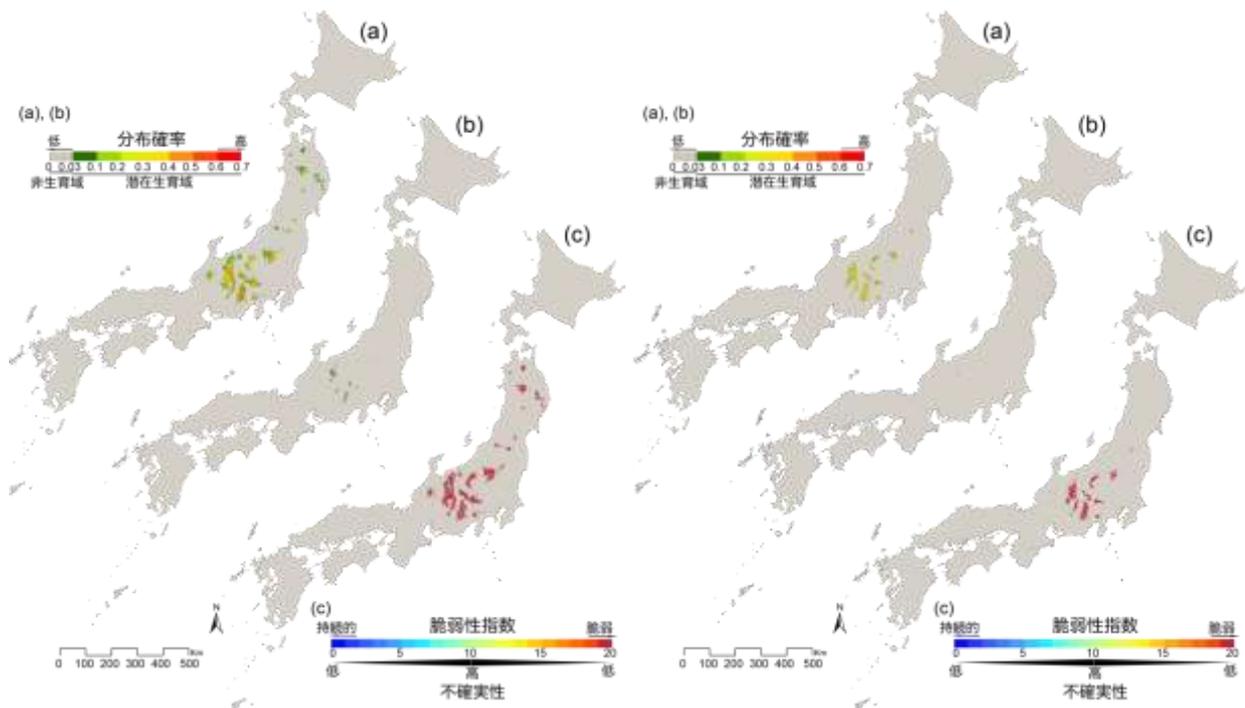


図 1(5)-2 コメツガ (左)、シラビソ (右) における (a) 現在気候による出現確率、(b) 20 個の GCM による 2080～2100 年の気候データに基づく出現確率の中央値、(c) 脆弱性指数 (現在の潜在生育域内で将来の潜在非生育域になる GCM の数。値が小さいほど持続性の高い生育域を、値が大きいくほど脆弱な生育域を示す。10 付近で不確実性が高く、増減すると不確実性が低下する。)

表 1(5)-2 現在と将来(2081～2100)におけるコメツガとシラビソの潜在生育域の面積(3 次メッシュ区画数)。将来予測の不確実性は、20 GCM の気候シナリオに基づく潜在生育域の IQR*で示す。

	現在				2081-2100(20シナリオの中央値)				将来予測の不確実性(IQR*)			
	東北	中部・関東	紀伊・近畿	四国	東北	中部・関東	紀伊・近畿	四国	東北	中部・関東	紀伊・近畿	四国
コメツガ	2,279	10,294	24	26	13	876	0	0	2-41	574-1,237	0	0
シラビソ	105	4,834	16	21	0	65	0	0	0	57-116	0	0

* IQR: Inter quantile range. 下四分位値(25%値)と上四分位値(75%値)間の幅。

(4) 適応策を考慮したブナへの影響予測

ブナの分布予測モデルに20個のGCMに基づく将来気候データを組み込んで、GCMごとに潜在生育域を地図化した結果、GCM間で潜在生育域の面積や地域が異なった。将来の潜在生育域の重なりを3次メッシュで集計したところ、潜在生育域全面積の4.1%が6～10GCMで、38.6%が11～15GCMで、57.3%が16～20GCMで潜在生育域が重なった。これは、将来の潜在生育域において不確実性の高い地域と低い地域があること示す。

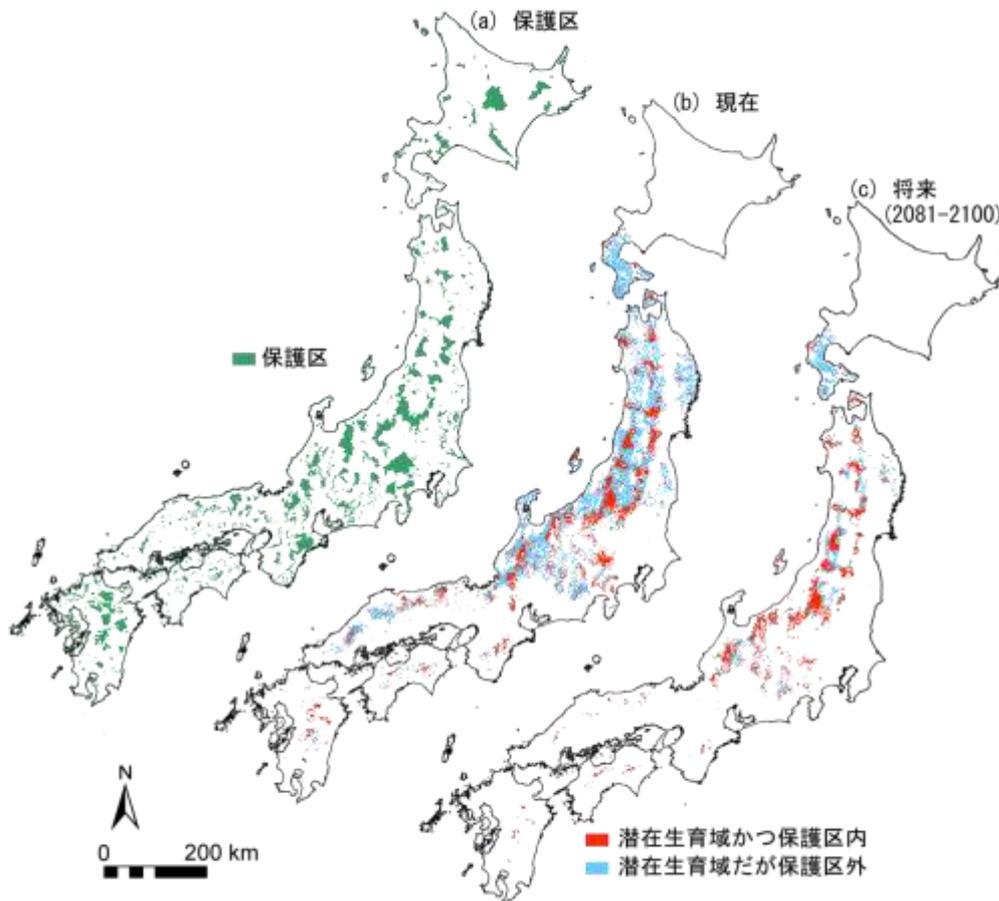


図1(5)-3 ブナ潜在生育域と自然保護区の関係。(a)自然保護区、(b) 現在気候下におけるブナ潜在生育域と自然公園域の重ね合わせ、(c) 将来気候下におけるブナ潜在生育域と自然公園域の重ね合わせ。

実際のブナの分布域における潜在生育域は、現在の気候下で62,567km²、20個のGCMに基づく将来気候下で25,517km²と予測された。将来気候下の潜在生育域は、西日本地域や関東太平洋側ではほとんど消滅すると予測された。現在気候下で潜在生育域であるが将来気候下では非生育域に移行する脆弱な地域は、全国で37,050km²にのぼる。脆弱な地域に分布するブナ個体群は、ブナ親木枯死後に更新が進まず、他の植物に置き換えられながら徐々に衰退すると推定される。

日本の生態系は、54,076 km²が自然保護区として保護されている(図1(5)-3a)。自然保護区に含まれるブナの潜在生育域の現在と将来における面積は22,122 km²と12,309km²、含まれない面積は40,445km²と13,208km²であった(図1(5)-3b、c)。ブナは伐採によって衰退するので、潜在生育域内では保護区に指定して伐採を回避することがブナの保護になる。温暖化後に保護区外に位置する潜在生育域13,208km²を新たに保護区にすることで、約25,000km²のブナ林を保護することが可能になる。

一方、西日本や関東地方太平洋側に分布するブナ個体群は、温暖化後は非生育域に入るので、

いずれ絶滅の危機に瀕すると推定される。この地域のブナ個体群の消滅は、遺伝的多様性の損失につながりかねない。ブナは8つのミトコンドリアDNAハプロタイプを持つ¹⁹⁾。このうち、本研究において生育域がほとんど消滅すると予測された地域には、4つのタイプが分布している。遺伝的多様性から見ても、この地域のブナ個体群を保護する意義がある。この地域の適応策は、保護区の見直しだけでは不十分であり、優先的な保護林を選定してブナの植栽や競合種の伐採などを含む積極的な対策が必要である。

ブナのように伐採が衰退を加速させる樹種では、持続的生育域を保護区に指定して伐採を回避することと、脆弱な地域では積極的保護策が適応策となる。保護区によって保護できる種は、各森林帯の極相樹種や遷移後期樹種であると推定されるが、それらの種について持続的生育域と保護区との関係や脆弱な地域での適応策については、今後、種別に検討が必要である。一方、適度な伐採や下刈りによって生存が促進される植物種がある。里山の植物などがその代表である。これらの種への温暖化影響予測と適応策の具体化も今後の重要な課題である。

(5) RCPシナリオ温暖化影響予測に基づく優占種への影響予測と適応策

対象とした4種の潜在生育域は、温暖化により減少した（図1(5)-4、図1(5)-5）。これは、潜在生育域が移動しないと仮定したことと、実際に面積が減少したことのどちらか、あるいは両方が原因している。現在気候下における潜在生育域および保護区内の潜在生育域面積は、アカガシで90,304km²と

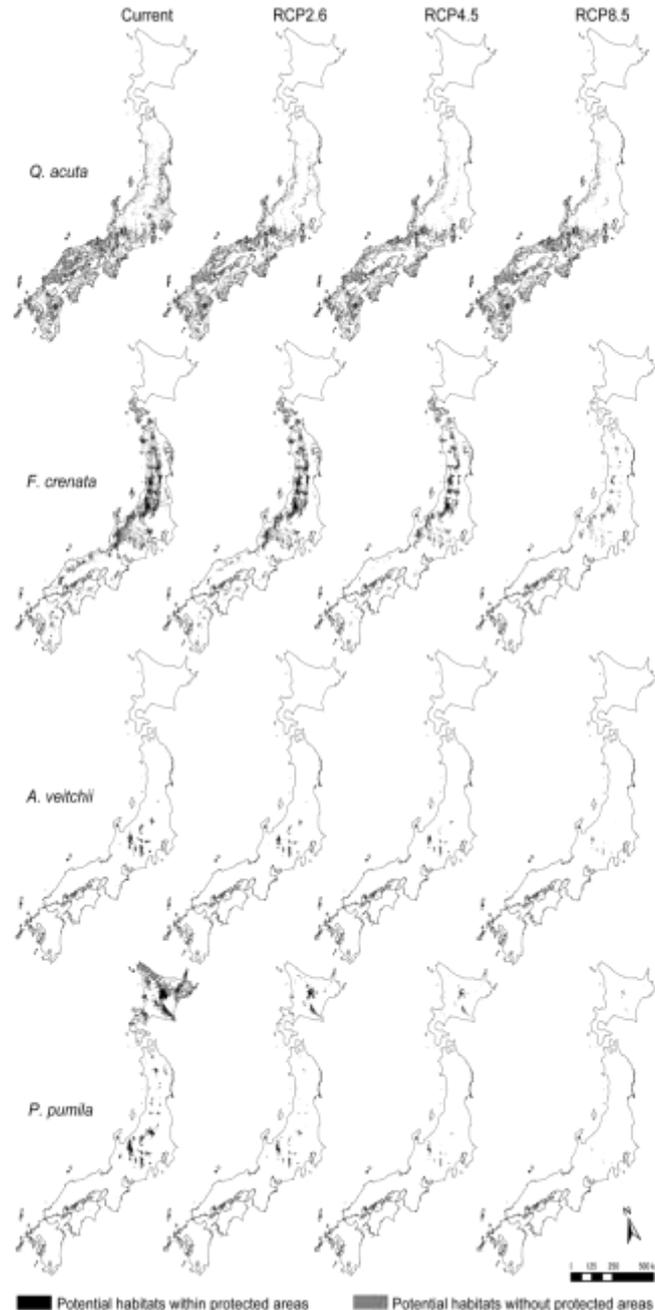


図1(5)-4 現在および2080年代の3つのRCPにおける対象種の潜在生育域。黒は保護区内の潜在生育域、グレーが保護区外の潜在生育域。

18,433km²、ブナで62,567km²と22,122km²、シラビソで4,953km²と3,643km²、ハイマツで48,015km²と15,205km²だった。温暖化条件下における潜在生育域および保護区内の潜在生育域の面積は、アカガシを除く3種において、RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5の順で大きく減少した。最も高濃度のRCP8.5の場合における現在も温暖化後も潜在生育域であり続ける地域（持続的生育域）、および現在の保護区内の持続的生育域は、ブナで4,404km²と6,490km²、シラビソで571km²と599km²、ハイマツで425km²と481km²だった。

気候変化に伴う潜在生育域面積の減少率を脆弱度（Vulnerability）とする（図1(5)-5、横軸）。アカガシは、いずれのRCPでもVulnerabilityは0.14から0.2と低い。ブナでは、RCP2.6と4.5ではVulnerabilityは0.5未満だが、RCP8.5で0.8を超える。シラビソでは、RCP2.6でVulnerabilityは0.5未満だが、RCP4.5で0.5を上回り、RCP8.5では0.8を超える。これに対し、ハイマツではいずれのRCPでもVulnerabilityが0.8以上と高い。

現行保護区内にある潜在生育域面積をベースラインとし、将来の潜在生育域かつ保護区外面積との差を適応許容量（Capacity）とする（図1(5)-5、縦軸）。適応策を実施するためのCapacityを示す温暖化後の保護区候補地面積は、対象種およびRCPにより異なった。アカガシは、全RCPでCapacityがプラス（55,249～58,670km²）だった。ブナのCapacityはRCP4.5までプラス（10,318～16,698 km²）だが、RCP8.5でマイナス（-10,657km²）に転じる。シラビソ（-590～-3044km²）とハイマツ（-5,745～-13,830km²）は、全てのRCPにおいてCapacityはマイナスだった。

このような結果から、アカガシでは、いずれのRCPでもVulnerabilityが小さいため適応策の必要性が低い。ブナでは、RCP2.6と4.5で適応策により保護できる余地が大きい、RCP8.5では適応策で対応できる水準を超えている。シラビソとハイマツでは、Vulnerabilityが高いことに加えCapacityも低いことから、この適応策では対応できない。この結果は、緩和策によりRCP4.5以下に留める事が安定化目標として重要であることを意味する。

（6）亜高山帯樹種の過去の分布変化予測

CART、GAMともに、高精度のモデルが構築された（AUC:0.94±0.004、0.98±0.002）。CARTの結果から、コメツガの潜在生育域の気候条件は、1)MTWQ<18.2℃かつPRWQ≥624.5mmか、2)MTWQ≥18.2℃かつMTCQ<-6.7℃であった。また、適域の気候条件は、MTWQ<18.2℃、PRWQ≥624.5mm、かつPRCQ<280.5mmであった。GAMで現在のコメツガの潜在生育域を予測した結果、本州では実際の

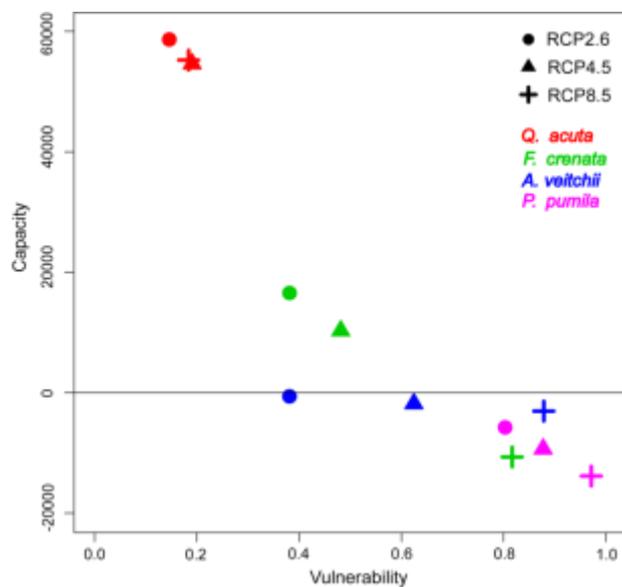


図1(5)-5 4対象種におけるVulnerabilityとCapacity。Vulnerabilityは潜在生育域面積の減少率を、Capacityは将来における保護区外の潜在生育域面積(km²)と現在における保護区内の潜在生育域面積との差を示す。

分布と良く合致したものの、北海道南部に不在生育域が予測された（図(5)-6）。これに対し、最終氷期最盛期（LGM期）の気候データ下では、MIROCとCCSM両シナリオともに、北海道にはコマツガの潜在生育域は分布しないと予測された（図1(5)-7）。MIROCを基に、夏期降水量を現在と同程度まで増加させると、気温がLGM期と同じかそれ以下であっても、北海道に潜在生育域が予測された。

本研究の結果、コマツガは、冷涼かつ夏期降水量が多い場所に生育することがわかった。こうした傾向は、北アメリカや東アジアに分布する他のツガ属と同様である¹⁰⁾。夏期（生育期）降水量の要求性が高い理由としては、浅根性であることや、葉の膨圧を維持できる水ポテンシャルが

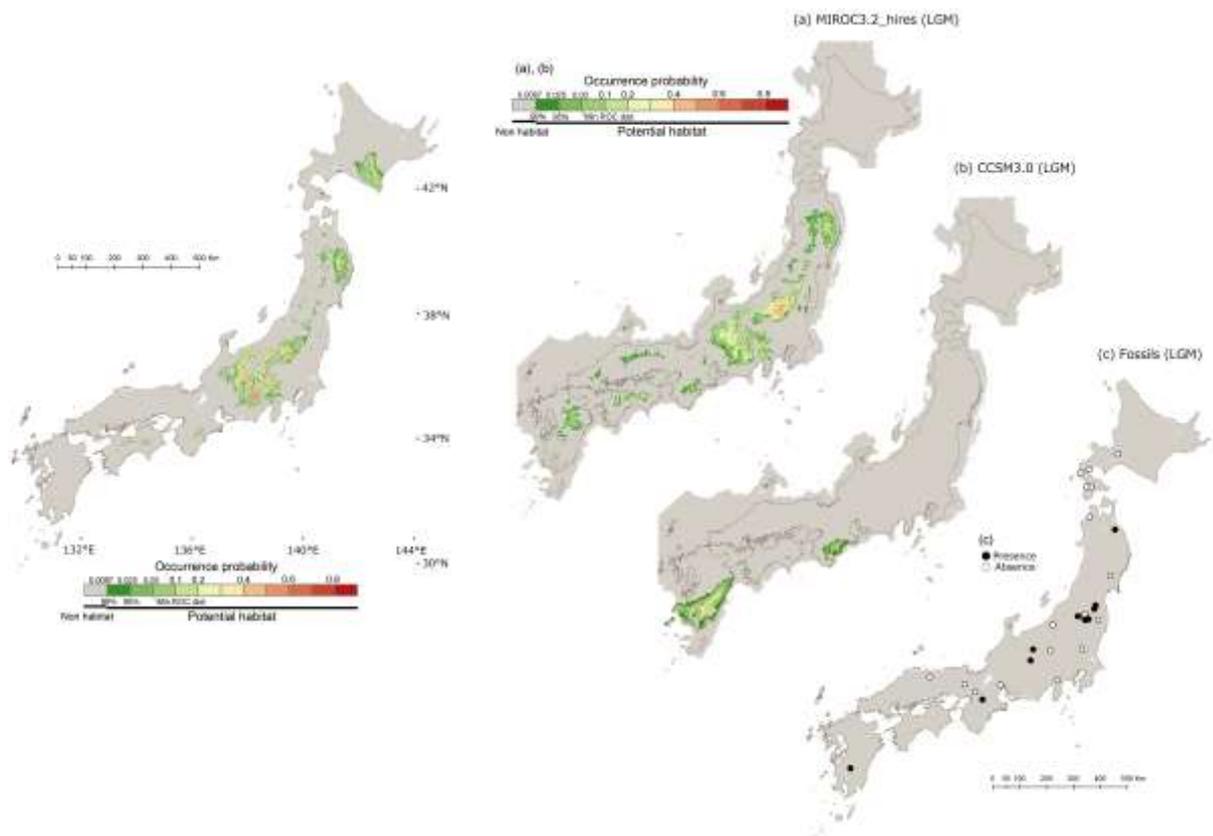


図1(5)-6 現在のコマツガの潜在生育域の分布。緑から赤色までで示された場所が、潜在生育域を示す。

図1(5)-7 LGM期（a: MIROC, b: CCSM）のコマツガの潜在生育域と、c: 大型遺体の分布

他の針葉樹に比べて高い⁹⁾ことが考えられる。コマツガのLGM期における潜在生育域を予測した結果、現在は不在生育域になっている北海道には分布しなかった。しかし、夏期降水量が現在と同レベルであれば、気温はLGM期と同等かそれ以下であっても、北海道に潜在生育域が分布すると予測された。花粉・大型遺体化石の研究から、新第三紀の中新世後期（530万年前）には、コマツガに類似した種（*Tsuga aburaensis*）が北海道に広く分布しており¹⁶⁾、LGM期（2.1万年前）には分布しなかった²¹⁾ことが示唆されている。したがって、コマツガは、第四紀のいずれかの氷期に、夏期の乾燥が原因で、北海道から絶滅したと考えられる。後氷期に入り、約8,000年前には十分な夏期降水量がある気候環境が北海道に成立したが²⁰⁾、北海道と本州の間に広がる津軽海峡が地理的障壁となり、再侵入ができないまま現在の分布状況になったと推定される。

(7) 韓半島における常緑広葉樹の分布予測

分布予測モデルの精度を示す AUC 値は 0.87~0.92 で、この値は高い精度を意味する。分布予測モデルに基づいて描いた潜在生育域 (PHs) は、実際の分布とほぼ一致することが確認された(図 1(5)-8)。しかし、アカガシでは、実際には分布しない東沿岸部に潜在生育域が予測された。この地域は、気候的には適しているが分布がない地域(不在生育域)で、気候以外の要因が分布を制限していることが理由と考えられる。土地利用地図によって分布可能な地域を限定した潜在生育域 (PHLUs) は、PHs の 21~35%に面積が減少した。タブなど低標高に PH が広い樹種ほど土地利用による制限を受けると考えられる。

現在気候において、2 つの潜在生育域 (PHs と PHLUs) を高精度に予測できたことから、このモデルに将来気候データを導入することにより、将来の潜在生育域の予測が可能と考えられる。

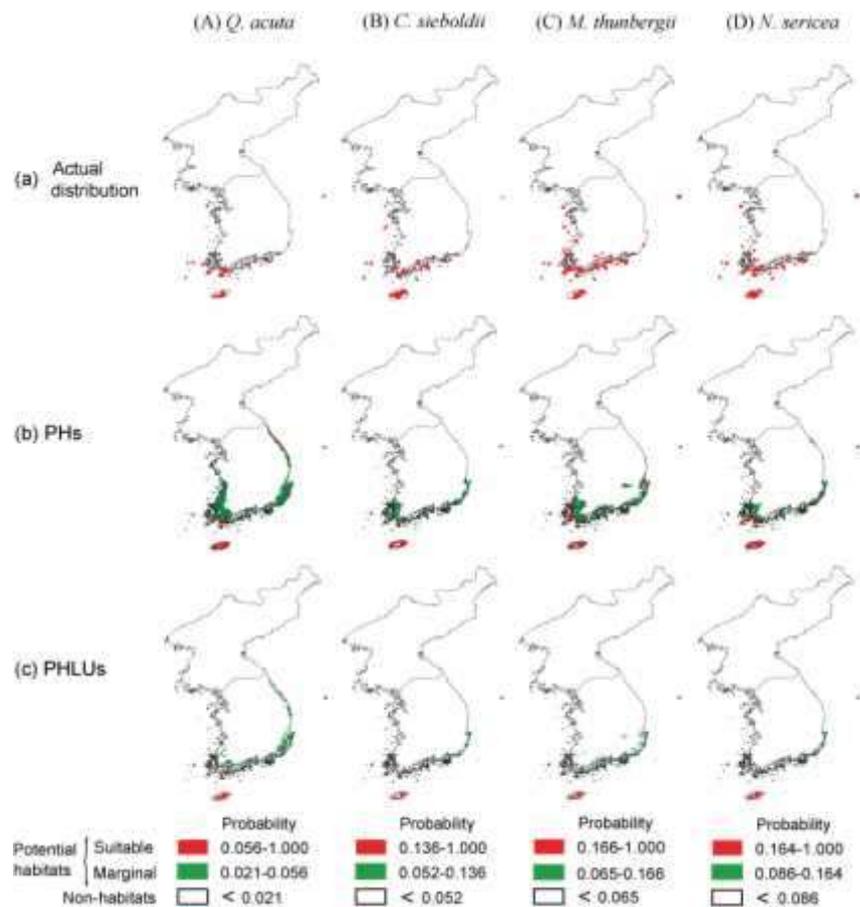


図 1(5)-8 韓半島における常緑広葉樹 4 種の (a) 実際の分布、(b) 潜在生育域 (PHs)、(c) 土地利用を考慮した潜在生育域 (PHLUs)。(A) アカガシ、(B) スダジイ、(C) タブ、(D) シロダモ。潜在生育域 (potential habitats) は、適域 (suitable) と辺縁域 (marginal) を合わせた地域。

(8) 日本-台湾における優占樹種 10 種への温暖化影響予測

全ての対象種で高い精度 (AUC > 0.81) のモデルが構築できた。分布規定要因として、気候変数および緯度・経度の交互作用項がともに重要な要因だった。このうち緯度・経度の交互作用項は、7 種 (スダジイ、イスノキ、ホルトノキ、コバンモチ、タブノキ、イチイガシ、アラカシ) の分布北限域の一部で、2 種 (ヤブツバキ、イスノキ) で分布南限である台湾で負に作用していた。分布北限では地史の影響、分布南限では種間相互作用の影響が示唆される。一方、アラカシでは、琉球列島において正に作用していた。これは、琉球列島においてアラカシのニッチが変種であるアマミアラカシに置き換わっているためと考えられる。

温暖化により全ての対象種の潜在生育域面積は、1.3～2.8倍に増加した。潜在生育域は、台湾や西日本で垂直的に上昇し、東日本で水平的に北上した(図1(5)-9)。また、GCMによる不確実性の幅は(0.01～0.23)、増加割合に比べて小さく、予測の不確実性は低いと考えられる。ただし、九州地方南部では将来予測の不確実性が高まった。これは、GCMの降水量予測における不確実性由来すると考えられる。

全ての対象種で対象地域全域における潜在生育域面積は増加したが、地域的には4種(スダジイ、ヤブツバキ、イスノキ、コバンモチ)で潜在生育域が減少した(図1(5)-9)。具体的には、現在の潜在生育域面積と比較して琉球列島においてスダジイが23.6%、ネズミモチが38.1%に、台湾においてヤブツバキが32.4%、イスノキが42.4%に減少した。これは、この4種の地域個体群が温暖化に対して脆弱性が高いことを示唆する。

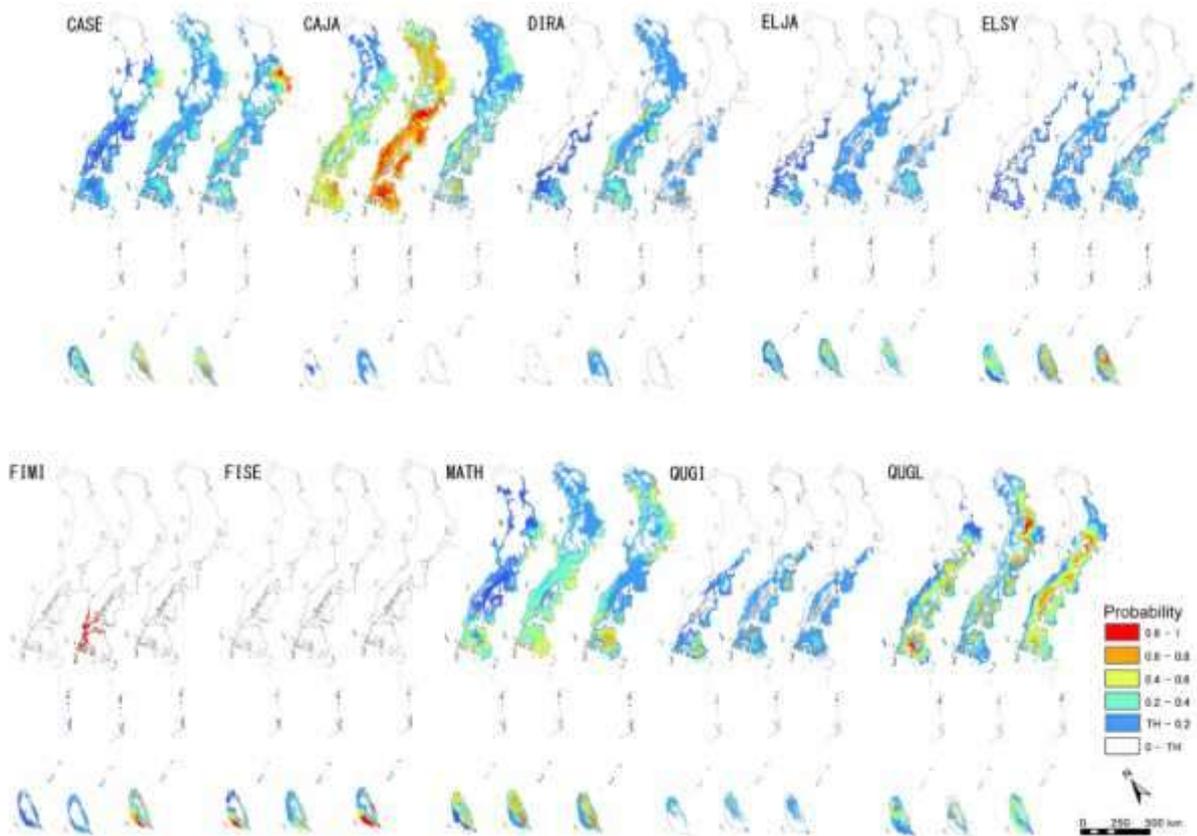


図1(5)-9 現在および将来の気候条件における対象種の潜在生育域

CASE;スダジイ、CAJA;ヤブツバキ、DIRA;イスノキ、ELJA;コバンモチ、ELSY;ホルトノキ、FIMI;ガジュマル、FISE;オオバイヌビワ、MATH;タブノキ、QUGI;イチイガシ、QUGL;アラカシ。各種の左から現在気候下における潜在生育域、中央が気候値のみで予測した将来の潜在生育域、右が気候値に加え緯度経度の交互作用項を考慮した将来の潜在生育域を示す。将来の潜在生育域予測は、20GCM(2081～2100年)の中央値から求めた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

温暖化影響予測にはさまざまな要因に起因する不確実性がある。不確実性を含めた自然植生の分布予測をすることが賢い適応策につながる。同時に、予測の意義を高めるためには、できるだけ不確実性を低くする努力が必要である。自然植生への影響予測では、多様な気候変化シナリオに基づく不確実性は避けられないが、分布予測モデルの改善により予測精度向上と不確実性の最小化が可能である。これまでに、説明変数に非気候的要因を入れることにより分布予測モデルの持つ不確実性を低くできることを示した。また、モデルの種類と将来気候データ（将来気候シナリオ）の種類に基づく不確実性の評価を行った。このように、精度の高いモデル構築技術を生かして、日本で将来の気候変化の影響予測と適応策の定量的評価、および日本だけでなく海外を含む影響予測を不確実性も含めて行った点に、科学的意義がある。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

1) 地方自治体の温暖化適応施策への貢献

森林生態系の管理策において、自治体で温暖化の適応策を組み込む動きが始まっている。本研究成果を自治体や地域住民へ還元することにより、地方の森林管理策に貢献してきた。すでに、長野県や東京都などには温暖化影響予測結果（マツ枯れ、ブナ林、シラビソなど）を提供した。東京都では、予測された潜在生育域を植生図上の断片化した自然林と重ね合わせ高解像度の影響予測を行い、温暖化に伴い優先的に保護すべき地点を明らかにした。

一方、温暖化影響予測の地方への情報提供が容易になるように、現在、温暖化影響の簡易推計ツールをS-8-1(1)総括班と協力して作成した。温暖化影響の予測結果である重要種14種の簡易推計ツールへの実装が完了し、各地域の影響予測結果が閲覧可能になっている。これまでに長崎県、長野県、三重県で簡易推計ツールが活用された。

2) 白神山地世界遺産地域における適応策への貢献

白神山地世界遺産地域はブナ自然林の価値により世界遺産に登録しているが、この地域のブナ林には温暖化の悪影響が予測されている。世界遺産地域を適切に保護していくために、環境省・林野庁により白神山地世界遺産地域科学委員会が平成22年6月に設立され、保護についてのアドバイスを行っている。この科学委員会の活動に、S-8プロジェクトの研究結果であるブナの潜在生育域の将来予測結果が貢献している。温暖化の適応策の基盤データとなる多面的なモニタリングが実施されており、田中信行も委員として参加し技術的アドバイスを行っている。

3) 筑波山（国定公園）における適応策への貢献

筑波山のブナ林は1980年代から衰退が指摘されてきたが、2008年から3年間、茨城県生活環境部環境政策課主催「筑波山ブナ林保護対策検討委員会」において今後の保護策が検討されてきた。温暖化に対して脆弱なブナ林が山頂付近に分布する筑波山（国定公園）におけるブナ林の保護策について、茨城県環境政策課への委員会活動やモニタリングなどに田中信行が委員（副委員長）として協力を行ってきた。その成果として、2012年3月に「筑波山ブナ林保全指針」が策定され、

公表された。

(<http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/kansei/shizen/tsukubasan-buna.html>)

また、2013年から茨城県の生物多様性戦略の作成が進んでおり、松井哲哉が委員会に参加し協力を行っている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

1) 国際・国内の環境政策への貢献

IPCC第5次評価報告書WG2(2014)において、「山地湿原モニタリング(安田ら2007)」と「東アジアのモミ属の将来予測(Tanaka et al. 2012)」の成果が引用された。IPCC40回総会(10月26日～11月1日; コペンハーゲン、デンマーク)には松井哲哉が参加した。国内では、「平成26年度生物多様性分野における気候変動の適応に関する検討会」に、松井哲哉が委員として参加した。

2) 東アジア各国の温暖化適応策への貢献

本サブ課題は東アジアの地域(韓国、中国・台湾、極東ロシア)の研究機関と連携して温暖化の影響予測研究を推進した。これまでに韓国・台湾・日本を対象とした影響予測に関する論文2編で公表した。韓国国立樹木園が中心となって設立した東アジア生物多様性保全ネットワーク(EABCN)の設立に協力し、温暖化影響の共同研究を開始した。本ネットワークでは、東アジアにおいて気候変化に対して重要な植物種を解説した書籍1冊を2014年に刊行した。このような活動を通して東アジアの温暖化影響研究ネットワークの構築を前進させた。東アジアの温暖化影響研究の成果を発信することにより、東アジア各地域における温暖化適応策を組み込んだ自然環境保全策に貢献することが期待される。

6. 国際共同研究等の状況

森林生態系への温暖化影響予測研究は、日本を除く東アジアでは欧米に比べ少ない。日本と同様に東アジア地域でも温暖化影響研究を推進するために、研究者のネットワークを作ってきた。共同研究を推進するための連携したのは、温暖化影響研究に意欲があり研究能力の高い次の機関である。国立台湾大学(台湾、Dr. Chyi-Rong Chiou)、雲南大学(中国、Dr. Cindy Tang)、生物資源研究所(韓国、Dr. Chan-ho Park)とロシア科学アカデミー極東支部植物研究所(Dr. Pavel Krestov)とは森林総合研究所の間でMOUを締結した。北京大学生態学部(Dr. Zhiheng Wang)とも共同研究に合意して準備を進めている。また、韓国国立樹木園(Dr. Seung-Hwan Oh)が中心となって5か国7研究機関で設立した東アジア生物多様性保全ネットワーク(EABCN)に加盟し、温暖化の東アジアへの影響についての研究を始めた。このような研究機関と毎年、出張や招へいを通して研究打合せ会議、ワークショップを開催してきた。また、2012年7月に韓国で開催された国際植生学会第55回シンポジウムにおいて温暖化影響に関する特別セッションを主催し、連携機関の成果発表を行い、今後の展望を議論した。海外の連携研究機関の研究レベルは多様であり、論文成果までに時間のかかる研究機関もあるが、これまでに韓国生物資源研究所と国立台湾大学との共同研究では、成果論文を公表した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) K. NAKAO, T. HORIKAWA, M. TSUYAMA, T. MATSUI and N. TANAKA: *Plant Ecology*, 212, 229-243 (2011)
 “Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan”
- 2) I. TSUYAMA, I. NAKAO, T. MATSUI, M. HIGA, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI and N. TANAKA: *Annals of Forest Science*, 68, 689-699 (2011)
 “Climatic controls of a keystone understory species, *Sasamorpha borealis*, and an impact assessment of climate change in Japan”
- 3) Y. ASAOKA and Y. KOMINAMI: *Hydrological Research Letters*, 6, 1-6 (2012)
 “Spatial snowfall distribution in mountainous areas estimated with a snow model and satellite remote sensing”
- 4) I. TSUYAMA, M. HORIKAWA, K. NAKAO, T. MATSUI, Y. KOMINAMI and N. TANAKA: *Journal of Forest Research*, 17, 137-148 (2012)
 “Factors determining the distribution of a keystone understory taxon, dwarf bamboo of the section *Crassinodi*, on a national scale: application to impact assessment of climate change in Japan”
- 5) 松井哲哉、並川寛司、本間祐希、斉藤均、板谷明美：北方森林研究, 60, 103-106 (2012)
 「ブナ北限域・下チョボシナイ川流域におけるブナの樹齢と成長」
- 6) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, E. NAKAZONO and T. MATSUI: *Procedia Environmental Sciences*, 13, 455-466 (2012)
 “Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (*Abies*) species in Japan and on the East Asian continent”
- 7) 田中信行、松井哲哉、津山幾太郎、小南祐志：天気, 59, 681-686 (2012)
 「植物分布を規定する気候要因の特定および気候変化に伴う生育地の移動予測」
- 8) T. MATSUI, K. KITAMURA, H. SAITO, K. NAMIKAWA, K. TERAZAWA, M. HARUKI, A. ITAYA, Y. HONMA, Y. MIYOSHI, K. UCHIDA, T. SUZUKI and N. KITO: *J. Phytogeogr. Taxon*, 59, 113-123 (2012)
 “Habitat and vegetation of an isolated *Fagus crenata* Blume population at Rebunge Pass, Toyoura Town, Hokkaido”
- 9) M. YASUDA and S. OKITSU: *HortResearch*, 66, 49-54 (2012)
 “Relationship between shoot elongation and tree-ring growth varies with the positional environment in *Pinus pumila*”
- 10) M. SHIMAZAKI, I. TSUYAMA, E. NAKAZONO, K. NAKAO, M. KONOSHIMA, N. TANAKA and T. NAKAZHIZUKA: *Plant Ecol*, 213, 603-612 (2012)
 “Fine-resolution assessment of potential refugia for a dominant fir species (*Abies mariesii*) of subalpine coniferous forests after climate change”
- 11) M. HIGA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, E. NAKAZONO, M. YASUDA, T. MATSUI and N. TANAKA: *Ecological*

- Indicators, 29, 307-315 (2013)
 “Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty”
- 12) M. HIGA, I. TSUYAMA, K. NAKAO, E. NAKAZONO, T. MATSUI and N. TANAKA: *Landsc. Ecol. Eng*, 9, 111-120 (2013)
 “Influence of nonclimatic factors on the habitat prediction of tree species and an assessment of the impact of climate change”
- 13) Y. ASAOKA and Y. KOMINAMI: *Ann. Glaciol*, 54, 205-213 (2013)
 “Incorporation of satellite-derived snow-cover area in spatial snowmelt modeling for a large area: determination of a gridded degree-day factor”
- 14) M. KOBAYASHI, K. KITAMURA, T. MATSUI and S. KAWANO: *Silvae Genetica*, 62, 1-7. (2013)
 “Genetic characteristics reflecting the population size and disturbance regime of Siebold’s beech (*Fagus crenata* Blume) populations at the northernmost distribution”
- 15) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, T. MATSUI, M. HORIKAWA and N. TANAKA: *Journal for Nature Conservation*, 21, 406-413 (2013)
 “Spatial conservation planning under climate change: Using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan”
- 16) 高橋潔、高藪出、石崎紀子、塩竈秀夫、松井哲哉、田中信行、江守正多: 土木学会論文集 G(環境), 69, 161-170 (2013)
 「3種の力学的ダウンスケーリングシナリオを用いた我が国のブナ林適域の変化予測」
- 17) I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, T. MATSUI, K. SHICHI and N. TANAKA: *Journal of Forest Research*, 19, 154-165 (2014) (Journal of Forest Research論文賞受賞)
 “What controls the distribution of the Japanese endemic hemlock, *Tsuga diversifolia*? Footprint of climate in the glacial period on current habitat occupancy”
- 18) J.-H. YUN, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, T. MATSUI, C.-H. PARK, B.-Y. LEE and N. TANAKA: *Journal of Forest Research*, 19: 174-183 (2014)
 “Does future climate change facilitate expansion of evergreen broad-leaved tree species in human-disturbed landscape of the Korean Peninsula? Implication for monitoring design of the impact assessment”
- 19) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, CHENG-TAO LIN, SHIH-TO SUN, JIAN-RONG LIN, CHYI-RONG CHIOU, TZU-YING CHEN, T. MATSUI and N. TANAKA: *Plant Ecology*, 215, 639-650 (2014)
 “Changes in the potential habitats of 10 dominant evergreen broad-leaved tree species in the Taiwan-Japan archipelago”
- 20) H. OHASHI, M. YOSHIKAWA, K. OONO, N. TANAKA, Y. HATASE and Y. MURAKAMI: *Environmental Management*, 54(3), 631-640 (2014)
 “The Impact of sika deer on vegetation in Japan: setting management priorities on a national scale”
- 21) I. TSUYAMA, M. HIGA, K. NAKAO, T. MATSUI, M. HORIKAWA and N. TANAKA: *Regional Environmental Change*, 15, 393-404 (2015)

“How will subalpine conifer distributions be affected by climate change? Impact assessment for spatial conservation planning”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) T. HUKUSIMA, T. MATSUI, T. NISHIO, S. PIGNATTI., Y. LIANG, S.-Y. LU, M.-H. KIM, M. YOSHIKAWA, H. HONMA and Y. WANG: Springer, Heidelberg New York Dordrecht London, 257pp. (2013). “Phytosociology of the Beech (*Fagus*) Forests in East Asia”
- 2) East Asia Biodiversity Conservation Network (EABCN): Korea National Arboretum, Pocheon, pp.223. (2014)
“Important plants of East Asia: plants tell stories”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 安田正次：森林科学，59，39（2010）
「湿原の面積をはかる-湿原と森林の境界線の移動の計測-（シリーズ森をはかる，その43）」
- 2) 後藤忠男、梶本卓也、大井徹、松井哲哉、田中信行：海外の林業と森林，82，28-32（2011）
「ブータンにおける森林・林業分野の研究課題（1）-ユシパン再生可能自然資源研究開発センターとの林業・森林生態セミナーを終えて-」
- 3) 松井哲哉：北方森林学会（編）北海道の森林．北海道新聞社，24-28（2011）
「地球温暖化と北の森」
- 4) 松井哲哉、倉本恵生、並川寛司、後藤亮太、小林誠：平成23年度研究成果選集，森林総合研究所，68-69（2011）
「自然攪乱が北限のブナの分布を広げた」
- 5) 松井哲哉、北村系子、志知幸治：正木隆、相場慎一郎（編）現代生態学講座8巻・森林生態学，共立出版，21-37（2011）
「森林の分布と気候変動」
- 6) 田中信行：吉永英明、大澤雅彦、朱宮丈晴（編）ブータンヒマラヤの自然と登山-千葉大学のヒマラヤ-，千葉大学学士山岳会，59-65（2011）
「ヒマラヤと東アジアの植生分布-変動する地球環境の中で-」
- 7) 比嘉基紀：エコリスク通信第9号，横浜国立大学環境情報研究院GCOE事務局，5-7（2011）
「温暖化が植物の広域スケールの分布へ及ぼす影響の評価研究」
- 8) 田中信行、中園悦子、津山幾太郎、堀川真弘、松井哲哉、八木橋勉：第2期中期計画成果集，森林総合研究所，16-17（2011）
「気候温暖化の日本の自然林への影響予測-白神山地世界遺産地域のブナ林と針葉樹11種について-」
- 9) 津山幾太郎、田中信行、小川みふゆ、松井哲哉、小南裕志：第2期中期計画成果集，森林総合研究所，22-23（2011）
「ササ類の生育域を気候条件から予測する」
- 10) 田中信行、高橋潔：地球環境研究センターニュース22(7)，8-12（2011）
「インタビュー：田中信行さん、現場を知ることから始まる自然の研究、温暖化研究のフロン

トライン」

- 11) 後藤忠男、梶本卓也、大井徹、松井哲哉、田中信行：海外の林業と森林，83，9-14（2012）
「ブータンにおける森林・林業分野の研究課題（2）－ユシパン再生可能自然資源研究センターとの林業・森林生態セミナーを終えて－」
- 12) 松井哲哉、北村系子：IUFRO-J NEWS（No.109），3-5.（2013）.
「IUFROブナ会議報告」
- 13) 田中信行、中尾勝洋、津山幾太郎、松井哲哉：田中充、白井信雄編，気候変動に適応する社会，技報堂出版，114-119.（2013）
「自然生態系の適応策.」
- 14) 田中信行：グリーンテクノ情報，9(3)，15-19.（2013）
「気候温暖化の自然林への影響と適応策」
- 15) 田中信行、松井哲哉、小南裕志、大丸裕武、津山幾太郎、中尾勝洋、比嘉基紀、中園悦子、安田正次、小出大：茨城大学 地球変動適応科学研究機関（ICAS），独立行政法人 国立環境研究所（編）地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策－，p.7-8（2014）
「地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価」
- 16) 田中信行：松下和夫、福山研二編、「森林環境2015」特集：進行する気候変動と森林～私たちはどう適応するか，森林文化協会，p.39-47.（2015）
「自然林と人工林における気候温暖化の影響と適応策」
- 17) 田中信行：季刊森林総研，28，p.4-5（2015）
「温暖化への自然林の適応策」
- 18) 松井哲哉、中尾勝洋、津山幾太郎、比嘉基紀、田中信行：地球温暖化と森をめぐる8つの質問，第3期中期計画成果22，森林総合研究所 国際連携推進拠点・温暖化対応推進拠点，p.3-4（2015）
「Q2 地球温暖化は森林にどのような影響をもたらすのですか？」
- 19) 松井哲哉、田中信行：森林学への招待[増補改訂版]，筑波大学出版会（2015）
「地球温暖化と森林生態系」
- 20) 松井哲哉、志知幸治：森林科学，73，p.30-33（2015）
「気候変動と森林の変化」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 板谷明美、松井哲哉：第121回日本森林学会大会講演要旨集，121，564（2010）
「航空写真を利用した北限ブナ林の長期動態」
- 2) M. HIGA, N. TANAKA：95th Annual Meeting of Ecological Society of America, Pennsylvania, USA, 2010
“Influence of non-climatic factors on habitat prediction of tree species and assessment of climate change impact”
- 3) Y. KOMINAMI, Y. ASAOKA, I. TSUYAMA, N. TANAKA：American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, San Francisco, USA（2010）

- “Impact of climate change on snow distribution in Japan estimated using data from the remote weather stations (AMeDAS) and Spot VGT”
- 4) 中尾勝洋、津田吉晃、松井哲哉、津山幾太郎、津村義彦、井出雄二、田中信行：121 回日本森林学会大会（2010）
「植物の系統地理情報と分布予測モデルを組み合わせた温暖化の影響評価-ウダイカンバにおける事例」
- 5) T. MATSUI, S. IIDA, T. KAWAHARA, K. NAMIKAWA, H. HIRAKAWA: International Scientific Symposium FAGUS 2010 “Is there future for beech - Changes, Impacts and Answers”, Varaždin, Croatia (2010)
“Estimation of home range for varied tits in late autumn near the northern range boundary of Siebold’s beech in the scope of estimating dispersal distance of beech seeds”
- 6) 松井哲哉、北村系子、斎藤均、並川寛司、寺澤和彦、本間祐希、三好祐司、内田健一、鈴木隆、春木雅寛、紀藤典夫：植生学会第 15 回大会講演要旨集，58（2010）
「北海道豊浦町礼文華峠におけるブナ個体群の立地と植生」
- 7) 松井哲哉、飯田滋生、河原孝行、並川寛司、平川浩文：第 121 回日本森林学会大会講演要旨集，121，734（2010）
「ブナ (*Fagus crenata*) 自生北限域における晩秋期のヤマガラ (*Parus varius*) の行動圏推定」
- 8) 田中信行、中園悦子、津山幾太郎、松井 哲哉：第 121 回日本森林学会大会講演要旨集，121，254.（2010）
「温暖化が日本産針葉樹の生育域に及ぼす影響の予測」
- 9) 津山幾太郎、松井哲哉、堀川真弘、小川みふゆ、小南裕志、中尾勝洋、田中信行：第 121 回日本森林学会大会講演要旨集，121，255（2010）
「ササ類の生育域に及ぼす温暖化の影響予測 -特に多雪適応型の 2 節 (チシマザサ, チマキザサ) について-
- 10) 安田正次：「日本における亜高山・高山域の植生・環境変遷史」研究グループ公開シンポジウム（2010）
「現在における亜高山・高山の湿原の変容」
- 11) T. IWASAKI, S. SAKAGUCHI, I. TSUYAMA, M. HIGA, K. NAKAO, N. TANAKA: East Asian Botany: International Symposium, Tsukuba, Japan (2011)
“Evaluation of the Sea of Japan side refugia for Japanese deciduous broad-leaved trees comparing phylogeographic and ecological niche model predictions”
- 12) 比嘉基紀、中尾勝洋、津山幾太郎、田中信行、松井哲哉：日本生態学会第 58 回大会（2011）
「食用野生植物の分布予測と温暖化影響評価」
- 13) 松井哲哉、並川寛司、斎藤均、本間祐希、板谷明美：北方森林学会第 60 回大会:PB-14. (2011)
「ブナ北限域下チヨポシナイ川流域におけるブナの樹齢と成長」
- 14) K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, T. MATSUI, N. TANAKA: 12th European Ecological Federation Congress, Avila, Spain (2011)
“Non-equilibrium with climate and vertical/horizontal distributions of evergreen broad-leaved tree species in Japan”

- 15) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, N. NAKAZONO, T. MATSUI: The 18th Biennial International Society for Ecological Modelling Conference, Peking, China (2011)
 “Predicting impact of climate change on potential habitats of *Abies* species in Japan and East Asia”
- 16) I. TSUYAMA, K. NAKAO, T. MATSUI, M. HIGA, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI, N. TANAKA: 52st Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science, Lyon, France (2011)
 “Climatic controls of a keystone understory species, *Sasamorpha borealis*, and an impact assessment of climate change in Japan”
- 17) 津山幾太郎、中尾勝洋、堀川真弘、松井哲哉、小南裕志、上條隆志、田中信行：日本生態学会第 58 回大会（2011）
 「チシマザサ節とチマキザサ節の棲み分けを規定する気候要因の解明と温暖化の影響予測」
- 18) 津山幾太郎、中尾勝洋、小幡和男、比嘉基紀、中園悦子、松井哲哉、田中信行：シナリオ・影響評価国内ワークショップ（2011）
 「社会経済シナリオを組み込んだ温暖化の自然植生への影響評価」
- 19) 安田正次：日本地理学会 2011 年春期大会（2011）
 「黒部川源流における植生変化と積雪環境の変化」
- 20) M. HIGA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, T. MATSUI, N. TANAKA: The 5th EAFES International Congress, Ootsu, Japan (2012)
 “Variation in future climate data of CMIP3 and uncertainty in their influence on plant distributions”
- 21) K. KITAMURA, T. MATSUI, M. KOBAYASHI, H. SAITOU, K. NAMIKAWA, Y. TSUDA: 日本生態学会第 59 回大会, 大津, 日本 (2012)
 “Strong genetic drift and the diversity decline at the northward expanding marginal populations of *Fagus crenata*”
- 22) T. MATSUI, I. TSUYAMA, I. NAKAO, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI, N. TANAKA: The 5th EAFES International Congress, Ootsu, Japan (2012)
 “Predicting impact of climate change on potential habitats of some forest dominant species in Japan”
- 23) 松井哲哉、北村系子、小林誠、並川寛司、本間祐希、三好祐司、斉藤均、板谷明美、紀藤典夫：日本森林学会大会講演要旨集 123, Pa194 (2012)
 「分布北限域ブナ孤立林の樹齢構造」
- 24) K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, T. MATSUI, N. TANAKA: The 5th EAFES International Congress, Ootsu, Japan (2012)
 “Non-equilibrium of altitudinal/latitudinal distributions and climate for evergreen broad-leaved tree species”
- 25) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, E. NAKAZONO, T. MATSUI: The 5th EAFES International Congress, Ootsu, Japan (2012)
 “The climate change impact on potential habitats of *Abies nephrolepis* on the East Asian

continent in comparison with that on *Abies* species in Japan”

- 26) I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, T. MATSUI, N. TANAKA : The 5th EAFES International Congress, Ootsu, Japan (2012)
 “What controls the global distribution of Japanese endemic hemlock, *Tsuga diversifolia*? Influence of historical habitat dynamics on the current distribution patterns”
- 27) 並川寛司、安東まゆ美、松井哲哉 : 日本生態学会第 59 回大会 (2012)
 「北海道黒松内低地帯とその周辺域に分布するブナ林の種組成と林分構造－ミズナラ林との比較－」
- 28) 安田正次 : 日本地理学会 2012 年春期大会 (2012)
 「ハイマツの年枝生長量と年輪生長量の比較」
- 29) 田中信行、津山幾太郎、中尾勝洋、比嘉基紀、中園悦子、安田正次、松井哲哉 : 第 123 回日本森林学会大会 (2012)
 「気候温暖化の自然林への影響予測から適応策へ」
- 30) K. NAKAO: Research Workshop on Climate Change -Introduction of Japanese research activities to Asia, Tsukuba, Japan (2012)
 “Impact assessment of climate change on natural vegetation in Japan: positive or negative.”
- 31) T. MATSUI, I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI, T. YAGIHASHI, N. TANAKA: The 1st K-BON Workshop, Seoul, Korea (2012)
 “Prediction of the impact of climate change on potential habitats of beech (*Fagus crenata*) forest in Japan.”
- 32) C.-R. CHIOU, S.-T. SUN, N. TANAKA, T. MATSUI, K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, C.-T. LIN: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea (2012)
 “Effects of climate change on distributions of dominant coniferous species in Taiwan: application to find proper monitoring sites.”
- 33) C.-T. LIN, S.-T. SUN, K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, T.-Y. CHEN, C.-F. HSIEH, T. MATSUI, N. TANAKA, C.-R. CHIOU: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea (2012)
 “Predicting potential habitats of *Fagus hayatae* in East Asia at last glacial maximum, present and 2080s.”
- 34) T. MATSUI, I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. HORIKAWA, Y. KOMINAMI, T. YAGIHASHI, N. TANAKA: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea (2012)
 “Impact assessment of climate change on potential habitats of Japanese forest species.”
- 35) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, C.T. LIN, J.R. LIN, C.R. CHIOU, T.Y. CHEN, T. MATSUI, N. TANAKA: The 55th annual conference of the International association for vegetation Science, Mokpo, Korea (2012)
 “Present and future potential habitats of the evergreen broad-leaved tree species in

- Taiwan Japan Archipelago: the relative roles of climatic and spatial factors.”
- 36) I. TSUYAMA, M. HIGA, K. NAKAO, T. MATSUI, N. TANAKA: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Korea (2012)
 “How subalpine conifer distributions will be affected by climate change in Japan? Impact assessment incorporating the uncertainty in climate change scenarios.”
- 37) K. TAKAHASHI, I. TAKAYABU, N. ISHIZAKI, H. SHIOGAMA, T. MATSUI, N. TANAKA, S. EMORI: International Conference on Climate Adaptation, Tucson, Arizona, USA (2012)
 “Projection of potential habitats for beech (*Fagus crenata*) forests in Japan considering three different dynamic downscaling scenarios.”
- 38) N. TANAKA, K. NAKAO, J. H. YUN, I. TSUYAMA, M. HIGA: The East Asian Flora and its role in the formation of the world's vegetation, Vladivostok, Russia (2012)
 “Projecting potential habitats of *Pinus koraiensis* in East Asia and assessing the impact of climate change.”
- 39) 松井哲哉: 第 28 回寒地技術シンポジウム (2012)
 「北日本のブナ林にみる気候変動・温暖化の影響」
- 40) 安田正次、大丸裕武: 日本地理学会 2013 年春季学術大会 (2013)
 「黒部川源流部における植生変化と温度環境の変化」
- 41) 津山幾太郎、堀川真弘、中尾勝洋、松井哲哉、小南祐志、田中信行: 日本生態学会第 60 回全国大会, 静岡. (2013)
 「マクロスケールにおけるミヤコザサ節の分布規定要因～ミヤコザサ節の分布は積雪深だけで説明できるのか?～」
- 42) 安田正次、大丸裕武: 日本地理学会: 2013 年春季学術大会, 埼玉県熊谷市. (2013)
 「黒部川源流部における植生変化とその気候的要因」
- 43) N. TANAKA, K. OBATA, I. TSUYAMA: Kersti Püssa, Rein Kalamees and Kristel Hallop (eds.), Abstract, 56th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Vegetation Patterns, their Underlying Processes. p.242. (2013)
 “Estimating changes of two *Fagus* species populations from the past to the future, based on the inventory of a 404-ha monitoring plot under a marginal climatic condition for *F. crenata*”
- 44) T. MATSUI, K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, Y. KOMINAMI, T. YAGIHASHI, N. TANAKA: Primeval Beech Forests: Reference Systems for the Management and Conservation of Biodiversity, Forest Resources and Ecosystem Services Lviv, Ukraine (2013)
 “Predicting changes in canopy species compositions after the decline of beech forest under climate change scenarios in Japan”
- 45) Y. KOMINAMI, K. NAKAO, I. TSUYAMA, T. MATSUI, M. ATAKA, N. TANAKA: International Carbon Dioxide Conference 9, Beijing, China (2013)
 “Potential CO₂ efflux of CWD decomposition caused by tree species change under the climate change in Japan”
- 46) T. MATSUI, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, Y. KOMINAMI, E. NAKAZONO, Y. HIJIOKA, K.

- TAKAHASHI, H. HARASAWA, N. TANAKA: INTECOL 2013, London (2013).
 “Climate change impact assessment of habitat shifts for important forest trees and plants, and development of integrated model AIM/Adaptation[Policy] for conservation managers”
- 47) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, T. MATSUI, M. HORIKAWA, N. TANAKA: 98th ESA Annual Meeting, Minneapolis, USA (2013).
 “Spatial conservation planning under climate change: using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan”
- 48) J. -H. YUN, K. NAKAO, I. TSUYAMA, T. MATSUI, C. -H. PARK, B. -Y. LEE, N. TANAKA: 68th Annual Meeting of the Korean Association of Biological Sciences Sogang University, Seoul, Korea, p. 147 (2013).
 “Assessing the impacts of climate change on potential habitats of two *Abies* species (*Abies koreana*, *Abies nephrolepis*) in Korea”
- 49) K. NAKAO: K-BON Workshop, Incheon, Korea. (2013)
 “Spatial conservation planning under climate change: using species distribution modeling to assess priority for adaptive management”
- 50) I. TSUYAMA, M. HOTTA, K. NAKAO, M. OZEKI, M. HIGA, Y. KOMINAMI, T. MATSUI, M. YASUDA, N. TANAKA: K-BON Workshop, Incheon, Korea (2013)
 “How climate change will affect on the distribution of cold-adapted bird, ptarmigan?”
- 51) 堀田昌伸、津山幾太郎、中尾勝洋、尾関雅章、比嘉基紀、小南祐志、松井哲哉、田中信行: 日本鳥学会 2013 年度大会, 名古屋 (2013)
 「北アルプス中南部におけるライチョウ生息域への温暖化影響の予測と評価」
- 52) 津山幾太郎、堀田昌伸、中尾勝洋、尾関雅章、比嘉基紀、小南祐志、松井哲哉、安田正次、田中信行: RECCA-S8-創生 D 研究交流会, 東京. (2013)
 「温暖化によるライチョウ生息域への影響予測」
- 53) 佐々木祥世、並川寛司、北村系子、松井哲哉: 植生学会第 18 回仙台大会, 仙台, p. P08. (2013).
 「島嶼におけるブナの北限, 北海道奥尻島のブナ林の種組成と林分構造」
- 54) N. TANAKA, K. NAKAO, I. TSUYAMA, M. HIGA, E. NAKAZONO, M. YASUDA, T. MATSUI: International Symposium of the 10th Anniversary of Korea National Herbarium, Role of the Arboretum and Botanical Garden against Climate Change of the East Asia, 05-08 Nov. 2013, Korean National Arboretum, p. 29 (2013)
 “Prediction and detection of climate change impact on plant species distributions in Japan”
- 55) C. -H. PARK, J. -H. YUN, K. NAKAO, N. TANAKA, J. -S. KIM, S. -Y. KIM, S. -M. PARK, B. -Y. LEE: International Symposium of the 10th Anniversary of Korea National Herbarium, Role of the Arboretum and Botanical Garden against Climate Change of the East Asia, 05-08 Nov. 2013, Korean National Arboretum, p. 131 (2013)
 “Prediction of Potential Habitats to Climate Change of Evergreen Fern Species *Dicranopteris linearis* in Korea”

- 56) 堀田昌伸、津山幾太郎、中尾勝洋、尾関雅章、比嘉基紀、小南祐志、松井哲哉、田中信行：
第 14 回ライチョウ会議山梨大会，南アルプス市（2013）
「温暖化によるライチョウ生息域への影響—その予測と評価．」
- 57) 堀田昌伸、津山幾太郎、中尾勝洋、尾関雅章、比嘉基紀、小南祐志、松井哲哉、田中信行：
第 16 回自然系調査研究機関連絡会議，能登（2013）
「北アルプス中南部に生息するライチョウへの温暖化影響，その予測と評価」
- 58) N. TANAKA: The 2014 EABCN Symposium “Conservation and Sustainable Development of Biodiversity in East Asia”, 9-15 October 2014, p.11-13 (2014)
“Climate change impact assessments by EABCN”
- 59) M. YASUDA, H. DAIMARU: 11th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Japan (2014)
“Detection of changes in the distribution of alpine-subalpine zone by aerial photograph”
- 60) 田中信行、井関智裕、松井哲哉：日本生態学会第 61 回全国大会（2014 年 3 月、広島），C2-1
(2014)
「北海道の雷電山（蘭越町・岩内町）で発見したブナの分布北限」
- 61) 松井哲哉：第 12 回環境研究シンポジウム，12，18-19，東京（2014）
「気候変動による森林植生への影響評価と森林適応策」
- 62) M. HOTTA, I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. OZEKI, M. HIGA, Y. KOMINAMI, T. MATSUI, N. TANAKA:
The 26th International Ornithological Congress, Tokyo (2014)
“Impacts of climate change on the alpine habitat of the rock ptarmigan in the Hida Mountains, central Japan”
- 63) 松井哲哉、中尾勝洋、安田正次、中園悦子、津山幾太郎、大橋春香、大丸裕武、小南裕志、
田中信行：第 126 回日本森林学会大会，P2B151（2015）
「気候変動による森林植生への影響評価・検出および適応策の事例」
- 64) 松井哲哉、中尾勝洋、津山幾太郎、大橋春香、小出大、中園悦子、安田正次、小南裕志、大
丸裕武、田中信行：生研フォーラム論文集，23，69-70（2015）
「地球温暖化が日本の天然林植生分布に及ぼす影響の評価」
- 65) 津山幾太郎、堀田昌伸、中尾勝洋、尾関雅章：日本生態学会第 62 回全国大会，鹿児島（2015）
「温暖化に伴う高山植生の分布変化がライチョウの分布に及ぼす影響を推定する」
- 66) 内山憲太郎、藤井沙耶花、津山幾太郎、鈴木節子、森口喜成、木村 恵、津村義彦：第 126 回
日本森林学会大会，札幌（2015）
「モミ属 3 種における浸透交雑の検証」
- 67) 大橋春香、小南裕志、比嘉基紀、小出大ほか 4 名：企画集会「地球温暖化が生態系へ与える
影響：その検出、予測、そして適応策へ向けて」日本生態学会第 62 回全国大会，鹿児島（2015）
「気候変動と土地利用変化がニホンジカの分布拡大に及ぼす影響」
- 68) 安田正次、中園悦子、田中信行、大丸裕武：日本地理学会 2015 年春季学術大会，東京（2015）
「空中写真を用いた筑波山の植生変化とその気候的要因」
- 69) 北村系子、田中信行、津山幾太郎、松井哲哉、並川寛司、齋藤均、寺澤和彦、金指あや子、
石塚航：第 126 回日本森林学会大会，札幌（2015）
「新たに発見された岩内町ブナ北限集団の遺伝的多様性」

- 70) 中尾勝洋、松井哲哉、津山幾太郎、大橋春香、小出大、中園悦子、安田正次、小南裕志、大丸裕武、田中信行：生研フォーラム論文集，23，71-72（2015）
「地球温暖化が東アジアの自然植生に及ぼす影響の評価」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 「白神山地世界遺産地域研究シンポジウムー普遍的な価値、白神山地の文化的利用について考えるー」（主催：東北森林管理局、2010年9月2日）において「気候温暖化の白神山地ブナ林への影響」について講演（田中信行）
- 2) 「第16回里山学会・十日町市発ブナ発見の旅」（2010年11月6日）において「雪国のブナ林への温暖化の影響」というタイトルで講演（松井哲哉）
- 3) 「気候変動に関する対話シンポジウムー将来の安全・安心社会をめざしてー」（主催：文部科学省・環境省、日本科学未来館にて、一般市民対象、2011年10月12日）においてパネラーとして研究成果発表（田中信行）
- 4) 白神山地世界自然遺産登録20周年記念「白神山地を学びなおす」シンポジウム第1分科会（主催：弘前大学神自然環境研究所、2013年）において講演（松井哲哉）
- 5) 環境省環境研究総合推進費による気候変動適応シンポジウム「気候変動適応社会へ、地域からの変革」（2012年11月15日、法政大学において）においてパネラーとして「白神山地と筑波山のブナ林の適応策」について講演（田中信行）
- 6) 平成23年度森林総合研究所北海道地域研究成果発表会（2012年2月、一般市民70名）にて「北限のブナの栄枯盛衰：どこから来てどこへ行くのか？ー最近の植生学や遺伝学の研究成果からー」について講演（松井哲哉）
- 7) 第15回自然系調査研究機関連絡会議（NORNAC）（主催：環境省自然環境局生物多様性センター、2012年11月19日）にて「筑波山におけるブナとイヌブナの全個体調査に基づく個体群構造とその成因」についてポスター発表（小幡和男（ミュージアムパーク茨城県自然博物館）・津山幾太郎、田中信行）
- 8) 研究成果発表会「農林水産業は気候変動にどう対応するか？ー気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」（主催：農業環境技術研究所プロジェクト運営事務局、2012年12月10日、東京）にて「地球温暖化は森林にどう影響するか？」と題して講演（田中信行、栗屋善雄）
- 9) 平成26年度森林総合研究所北海道支所研究成果発表会（2014年10月17日、札幌市男女共同参画センター、観客約100名）にて「長期気候変動と森林」について講演（津山幾太郎）
- 10) 環境研究機関連絡会第12回環境研究シンポジウム「気候変動と科学技術ー考えよう地球の未来！」（主催：環境研究機関連絡会、2014年11月18日、一橋大学一橋講堂、観客約200名）にて「気候変動による森林植生への影響評価と森林適応策」について講演（松井哲哉）
- 11) 筑波大学自然保護寄附講座（主催：筑波大学、2014年11月15日、聴講者約30名）において「温暖化による日本の森林への影響：とくにブナ林分布への影響について」と題する講演（松

井哲哉)

- 12) 神奈川県自然環境保全センター平成 26 年度研究人材活性化対策事業（研究推進支援研修）」
（主催：神奈川県自然環境保全センター、2014 年 6 月 26 日、神奈川県厚木市プロミティー厚木 8F 大会議室、聴講者約 50 名）にて「温暖化による日本の森林への影響—とくにブナ林の分布への影響について」講演（松井哲哉）
- 13) 千葉県自然観察指導員協議会 2015 年総会の特別講演会（主催：千葉県自然観察指導員協議会、2015 年 2 月 11 日、千葉市生涯学習センター大研修室、視聴者約 70 名）にて「気候変動による日本の森林への影響—特にブナ林分布への影響について—」講演（松井哲哉）
- 14) 日本生態学会第 62 年全国大会（2015 年 3 月、鹿児島）企画集会 T14「地球温暖化が生態系へ与える影響：その検出、予測、そして適応策へ向けて」を主催（中尾勝洋，高野(竹中)宏平）

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK ネットワークニュース北海道（2010 年 6 月 10 日、ブナ北限の研究活動について 5 分紹介）
- 2) NHK おはよう北海道（2010 年 6 月 12 日、ブナ北限の研究活動について 10 分紹介）
- 3) NHK おはよう日本（2010 年 7 月 5 日、ブナ北限の研究活動について 5 分紹介）
- 4) 自然情報誌 Faura（ファウラ）（2010 年 9 月号、ナチュラリー社）
- 5) NHK ニュース（水戸放送局）、NHK 首都圏ネットワーク（2010 年 9 月 16 日放送、温暖化のブナ林へ影響に関する調査研究について 5 分紹介）
- 6) 読売新聞（2010 年 9 月 3 日、秋田版、27 頁）
- 7) 秋田魁新報（2010 年 9 月 3 日、3 頁）
- 8) NHK ネットワークニュース北海道（2010 年 6 月 10 日、ブナ北限の研究活動について 5 分紹介）
- 9) NHK おはよう北海道（2010 年 6 月 12 日、ブナ北限の研究活動について 10 分紹介）
- 10) NHK おはよう日本（2010 年 7 月 5 日、ブナ北限の研究活動について 5 分紹介）
- 11) 自然情報誌 Faura（ファウラ）（2010 年 9 月号、ナチュラリー社）
- 12) NHK ニュース（水戸放送局）、NHK 首都圏ネットワーク（2010 年 9 月 16 日放送、温暖化のブナ林へ影響に関する調査研究について 5 分紹介）
- 13) 読売新聞（2010 年 9 月 3 日、秋田版、27 頁、白神山地世界遺産地域科学委員会について）
- 14) 秋田魁新報（2010 年 9 月 3 日、3 頁、白神山地世界遺産地域科学委員会について）
- 15) 気候変動の観測予測および影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」（2013）にアカガシの温暖化影響予測が引用
- 16) 環境新聞（2014 年 4 月 2 日版）にて原稿掲載「「適応」社会への挑戦、気候変動リスクに備える(11)、人工林と自然林」（田中信行著）
- 17) 朝日新聞にて田中信行が発見したブナの新北限に関する記事 2 編が掲載（2014 年 6 月 4 日、12 月 29 日）

（6）その他

- 1) 過去の影響予測を行った Tsuyama et. al. (2014) の論文は、Journal of Forest Research 誌において論文賞を受賞、2015 年
- 2) 森林総合研究所平成 23 年度理事長表彰「世界自然遺産小笠原諸島の保全に対する科学的・社

- 会的貢献」で田中信行が受賞、2011年
- 3) 東京都へ自然林優占種（シラビソ、ブナ、シラカシ、スダジイ）の影響予測マップ、長野県へブナ林、マツ枯れ、チシマザサ、ハイマツの影響予測マップの提供、2011年
 - 4) 温暖化予測結果を 国立環境研究所作成の簡易推計ツールに提供
 - 5) 京都議定書第二約束期間のためのIPCCガイダンス本の分担執筆(林野庁)、2013年
 - 6) 「森林吸収源インベントリ情報整備事業」検討委員会委員(事務局、国際緑化推進センター)、2013年
 - 7) 「茨城県生物多様性委員会」委員(主催、茨城県環境政策課)、2013～2014年
 - 8) 「北海道環境審議会地球温暖化対策部会」専門委員(事務局：北海道環境生活部環境局)2013～2014年
 - 9) 「白神山地世界遺産地域科学委員会」の委員(主催：環境省東北地方環境事務所・林野庁東北森林管理局、2010年～
 - 10) 「世界自然遺産地域の森林生態系における気候変動の影響への適応策検討等事業調査における委員会」の委員(林野庁委託事業)2009年～2014年
 - 11) 「小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会」の委員(主催：環境省関東地方環境事務所)
 - 12) 環境省「生物多様性分野適応計画検討会」の委員、2015年～
 - 13) 「小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会」の委員(主催：環境省関東地方環境事務所)
 - 14) 「日韓農林技術協力委員会」に参加・発表(2014年7月8日～9日)
 - 15) EABCN(東アジア生物多様性保全ネットワーク)の委員(事務局：韓国国立樹木園)、2014年～
 - 16) IPCC総会(デンマーク10月26～11月1日)に自然生態系専門家として参加

8. 引用文献

- 1) C.-R. CHIOU, C.-F. HSIEH, J.-C. WANG, M.-Y. CHEN, H.-Y. LIU, C.-L. YEH, S.-Z. YANG, T.-Y. CHEN, Y.-J. HSIA and G.-Z. M. SONG: Taiwan Journal of Forest Science, 24, 295-302 (2009)
“The first national vegetation inventory in Taiwan”
- 2) 林弥栄：林業試験場研究報告，48，1-240 (1951)
「日本産重要樹種の天然分布 針葉樹第1報」
- 3) 林弥栄：林業試験場研究報告，55，1-251 (1952)
「日本産重要樹種の天然分布 針葉樹第2報」
- 4) 林弥栄：林業試験場研究報告，75，1-173 (1954)
「日本産重要樹種の天然分布 針葉樹第3報」
- 5) M. HORIKAWA, I. TSUYAMA, T. MATSUI, Y. KOMINAMI and N. TANAKA: Landscape Ecology, 24, 115-128 (2009)
“Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*)”
- 6) HORIKAWA, Y.: Gakken, Tokyo, Japan (1972)
“Atlas of the Japanese Flora: an introduction to plant sociology of East Asia”
- 7) IPCC: Cambridge University Press (2014)
“Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and

- Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”
- 8) 気象庁：(財)気象業務支援センター，東京（1996）
「気象庁観測平年値（CD-ROM）」
 - 9) J. LASSOIE, T. HINCKLEY and C. GRIER: In: Chabot B, M.H. (eds.) Physiological ecology of North American plant communities, Chapman & Hall, New York, p.127-161 (1985)
“Coniferous forests of the Pacific Northwest”
 - 10) B. LEPAGE: Botanical Journal of the Linnean Society, 141, 257-296 (2003)
“A new species of *Tsuga* (Pinaceae) from the middle Eocene of Axel Heiberg Island, Canada, and an assessment of the evolution and biogeographical history of the genus”
 - 11) R. MOSS, J. EDMONDS, K. HIBBARD, M. MANNING, S. ROSE, D. VAN VUUREN, T. CARTER, S. EMORI, M. KAINUMA, T. KRAM, G. MEEHL, J. MITCHELL, N. NAKICENOVIC, K. RIAHI, S. SMITH, R. STOUFFER, A. THOMSON, J. WEYANT and T. WILBANKS: Nature, 463, (7282), 747-756 (2010)
“The next generation of scenarios for climate change research and assessment”
 - 12) K. NAKAO, M. HIGA, I. TSUYAMA, T. MATSUI, M. HORIKAWA and N. TANAKA: Journal for Nature Conservation, 21, 406-413 (2013)
“Spatial conservation planning under climate change: Using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan”
 - 13) K. NAKAO, T. MATSUI, M. HORIKAWA, I. TSUYAMA and N. TANAKA: Plant Ecology, 212, 229-243 (2011)
“Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan”
 - 14) 日本樹木誌編集委員会（編）日本樹木誌，日本林業調査会。（2009）
 - 15) 相馬寛吉、辻誠一郎：日本第四紀学会（編）日本第四紀地図解説，東京大学出版会，p.80-86. (1987)
「植生」
 - 16) T. TANAI: J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 4 Geol. Mineral, 11, 119-398 (1961)
“Neogene floral change in Japan”
 - 17) N. TANAKA: In: Dengler, J. et al., Vegetation databases for the 21st century. Biodiversity and Ecology, 4, 308 (2012)
“Phytosociological Relevé Database of Japan (PRDB)”
 - 18) 田中信行、中園悦子、津山幾太郎、松井哲哉：地球環境，14, 153-164 (2009)
「温暖化の日本産針葉樹10種の潜在生育域への影響予測」
 - 19) N. TOMARU, M. TAKAHASHI, Y. TSUMURA, M. TAKAHASHI and K. OHBA: American Journal of Botany, 85, 629-636 (1998)
“Intraspecific variation and phylogeographic patterns of *Fagus crenata* (Fagaceae) mitochondrial DNA”
 - 20) M. TSUKADA: Botanical Magazine Tokyo, 95, 203-217 (1982)
“Late-Quaternary shift of *Fagus* distribution”

- 21) M. TSUKADA: Quaternary Research, 19, 212-235 (1983)
“Vegetation and climate during the last glacial maximum in Japan”
- 22) I. TSUYAMA, K. NAKAO, M. HIGA, T. MATSUI, K. SHICHI and N. TANAKA: Journal of Forest Research, 19, 154-165 (2014)
“What controls the distribution of the Japanese endemic hemlock, *Tsuga diversifolia*?
Footprint of climate in the glacial period on current habitat occupancy”

Research on Quantitative Assessment of Climate Change Impact on Natural Vegetation in East Asia including Japan

Principal Investigator: Nobuyuki TANAKA

Institution: Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

[Abstract]

Keywords: Species distribution model, Climate scenario, Forest plant, Vulnerability, Adaptation measure, CMIP, Nature reserve, Uncertainty, Potential habitats, Glacial period

The ultimate goal of this study is to quantitatively assess the impact of climate change with uncertainty assessment on vegetation in Japan and East Asia. Main achievements are summarized in the following eight topics. First, future climate data (average between 2081 and 2100) of 20 GCMs from CMIP3 were used to calculate climatic variables for comparison, which indicated that the GCMs were classified into five types. Second, analysis of influence of species distribution models (SDMs) and GCMs on the variability in predicting potential habitats for 19 edible wild plants suggested that the variability of climate data of 20 GCMs was more influential for prediction uncertainty than the difference in SDMs. Third, prediction of potential habitats of two dominant coniferous species in the subalpine zone under future climate showed that there would be many vulnerable areas where potential habitats of the species would turn to non-habitats, with limited areas of high prediction uncertainty. Forth, overlaying future potential habitats of *Fagus crenata*, a dominant tree species of the cool-temperate zone, with a nature reserve map showed that designating potential habitats (13,208km²) outside of the current nature reserves as the new nature reserve would conserve *F. crenata* forests in the area of as much as 25,000 km². Fifth, overlaying potential habitats under future climates based on CMIP5 for four tree species dominating each climatic zone with a nature reserve map showed that two species among three ones vulnerable to climate warming would have little capacity for adaptation. Sixth, prediction of potential habitats of *Tsuga diversifolia*, a dominant species in the subalpine zone, under climates of the current and the Last Glacial Maximum suggested that dry summer in Quaternary glacial periods made the species extinct in Hokkaido. Seventh, overlaying current potential habitats of four evergreen broad-leaved tree species with a land-use map showed that the area of the habitats where the species can grow would be reduced to 21 to 35% of the full area of potential habitats. Eighth, prediction of future potential habitats of ten evergreen broad-leaved tree species in Japan-Taiwan archipelago showed that potential habitats of four species in Ryukyu Islands would shrink although the area of potential habitats for all species would increase 1.3 to 2.8 times in the whole study area. These results, which

clarified the impact of climate warming on natural vegetation, are contributing to make nature conservation plans including climate warming adaptation measures in each region.