

北の森だより

No.33 令和8年2月

— 目次 —

研究紹介 森林の過去・現在・未来を探る

- 花粉を用いた近過去の森林景観の復元 志知 幸治・・・2
- 航空レーザデータによる新たな地域森林管理手法の検討 小幡 進午・・・4
- 北海道の森の未来を見据えて 鄭 峻介・・・6
— SEIB-DGVM を用いた森林変化の予測研究 —



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所北海道支所
Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

花粉を用いた近過去の森林景観の復元

チーム長(古森林研究担当) 志知幸治

近過去の森林を調べる意義

立派な森林を目にした時、50年前あるいは100年前の森林はどんな様子だったのだろうか、と思い巡らすことはないでしょうか？近過去(ここでは100年程度の過去を示す用語として用います)の森林景観を調べることで、私たちは多くのことを知ることができます。その1つは、その場所がどんな森林の分布に適しているのか明らかにできます。それにより、そこにどんな樹種を植えたらよいか決めることができます。例えば、何らかの理由で森林が失われた地域においてその再生を目指す場合に、その場所本来の植生に近い樹種は何かという問いに対して根拠を与えることができます。もう1つは、復元された近過去の森林の樹種構成から、その当時の気候を推定することもできます。近過去の森林変遷と気候変動の関係を将来に当てはめ、将来予想される気候変動に対して森林がどのように変化していくか推定するための重要な知見を提供することもできます。

近過去の森林景観を復元する方法

森林景観の復元方法として、継続的にモニタリングが行われている森林では、数十年以上の長期にわたって詳細な森林の変化を確認することができます。また、広域を対象とする場合は写真の利用も効果的であり、特に1960年代以降では、全国各地で撮影された空中写真を利用して、森林景観をある程度推定することができます。また、写真が撮影されていない場合でも、景観に関する絵図や文献が残されている場合には、その当時の景観を確認することができます。

しかし、写真や文献の記録を利用できない場合も考えられます。その場合、植物の花粉を調べる方法があります。湿原や湖には泥(堆積物)が堆積していますが、堆積物の中には多くの花粉が含まれています(写真1)。花粉は頑丈な外膜に覆われていることから化学的に強く、湿原や湖のような酸素が少ない(還元的な)環境下では、長期間分解されずに保存されます。こうした場所の堆積物を採取し、その中に含まれる花粉の種類と量を光学顕微鏡を用いて調べることで、過去の森林の様子を連続的に明らかにすることができます。この方法を花粉分析法と呼びます。堆積物から花粉を抽出する方法はいくつかありますが、重金属を水に溶かした重液と呼ばれる比重の大きい液体を作用させることにより、



写真1 堆積物から抽出した花粉(左:スギ花粉、右:ブナ花粉)。黒のスケールは20 μ mを示す。

比重の小さい花粉を浮かび上がらせる方法が広く用いられています。

近過去の年代を決定する方法

花粉を用いて近過去の森林復元を行う場合に最も重要なことは、復元した森林がどの年代のものであるか正確に明らかにすることです。これまでは、堆積物に含まれる植物片などの有機物を抽出し、その放射性炭素(^{14}C :質量数14の炭素)の量を測定することで明らかにしていました。この方法は、 ^{14}C の半減期が約5,730年であることを利用する方法で、過去5万年間の年代測定には最も精度が高いとされてきました。しかし、過去数十~百年では誤差が大きくなり、精度の高い年代測定はできません。そのため、最近では ^{14}C と同じ放射性物質で、半減期が22年である放射性鉛 ^{210}Pb を用いて年代測定を行うことが多くなりました。堆積物をゲルマニウム半導体検出器に導入して測定を行います。

秋田における過去100年間のスギ林拡大

ここでは、秋田において近過去の森林景観の復元を行った事例を紹介します。調査対象としたのは秋田県北秋田市のつぶ沼(約1.2ha、図1)です。試料の採取は、沼の中央までゴムボートで移動し、コアサンプラーと呼ばれる装置を人力で湖底に刺して行いました、それにより、長さ45cmの堆積物を採取することができました(写真2)。その堆積物を1cmずつに切り分けた試料を用いて、放射性鉛の測定を行いました。また、堆積物にはブナの殻斗や植物片が含まれていたため、その放射性炭素の測定も行いました。一方で、同じの試料を用いて花粉分析も行いました。

放射性鉛および放射性炭素の測定結果から、表層より11cmの深さの堆積物で1920年、25cmで

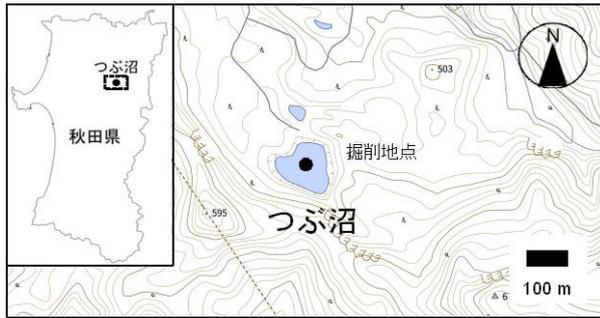


図1 調査対象としたつぶ沼の位置。地理院タイルを加工して作成。



写真2 左：つぶ沼と周辺の森林景観、右：コアサンブラーで採取した堆積物。

1600年、最下層の45cmで1000年であると決定されました。また、花粉分析結果から、平安時代中期から明治時代に対比される堆積物ではブナの花粉が木本植物花粉全体の40～60%産出したことから、つぶ沼周辺ではブナに広く覆われていたことがわかりました。ついでスギ花粉が5～20%、落葉性のコナラ属(コナラ亜属)花粉が5～15%産出し、スギやナラのグループも周辺に多く分布していたことがわかりました。

次に、1900年以降を詳細にみると、1920年頃に対比される堆積物ではブナの花粉産出が30%と最も多く、次いでコナラ亜属花粉が20%、スギ花粉が15%の産出でした(図2)。その後、1966年頃に対比される堆積物ではスギ花粉は55%まで増加した一方、ブナは17%、コナラ亜属は7%まで減少しました。最表層の2017年頃に対比される堆積物ではスギ花粉は63%まで増加し、ブナとコナラ亜属はさらに減少しました。この結果から、つぶ沼周辺でスギは1920年代以降から急増し、1960年代にはおおそ現在の水準まで増加し、その後も少しずつ増加したことがわかりました。

現在、つぶ沼は北秋田市に位置しますが、1937年までは荒瀬村に属していました。1920年以降のスギ花粉の産出割合の変化を、旧荒瀬村における国有林の針葉樹人工林面積と比較したところ、両者は非常に良い対応関係にあることがわかりました。

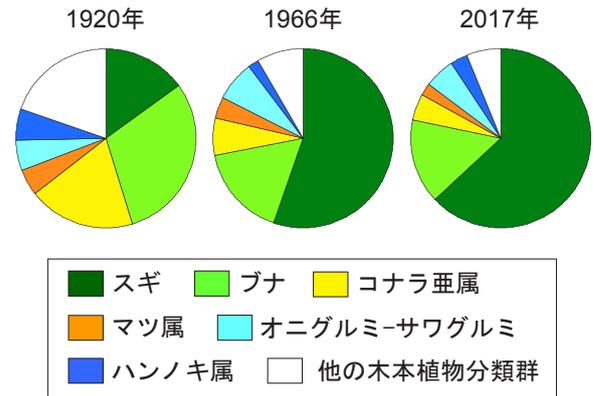


図2 つぶ沼堆積物の花粉分析による1920年、1966年および2017年頃に対比される堆積物における木本植物の花粉組成の変化。

なお、旧荒瀬村国有林はほぼスギで構成されています。これらから、大正時代以降に対比される堆積物のスギ花粉の増加はスギの造林が主な要因であることがわかりました。このことは、堆積物中の花粉分類群の増減が森林面積の増減を示す良い指標になることを表しており、花粉分析が森林景観を復元するための良いツールであることを示しているといえます。

今後の研究方向

秋田での研究事例は、質的な森林景観の復元に留まっており、個々の樹種の植被量を示すような量的な評価にはなっていません。近年ではモデルによる量的な植生復元の研究も進んでいます⁽¹⁾。このようなモデルを適用するためには複数の地点で花粉分析データを得る必要がありますが、量的な復元を進めようと分析に取り組んでいるところです。

また、近過去の森林景観研究は洪水などの災害履歴の復元にも役立つと考えています。かく乱されることなく堆積した堆積物の花粉組成は、これまで説明してきましたように、森林景観の変化を表します。しかし、洪水などにより短期間で堆積した堆積物では、花粉組成が大きく変化することが知られており、流路(河川)沿いに分布する植物の花粉が多くなります。放射性鉛²¹⁰Pbの測定を行って花粉組成が大きく変化した年代を正確に明らかにすることにより、過去の災害履歴を復元することが可能になります。こうした研究も今後進める予定です。

引用文献

(1) Sugita H (2007) Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE. Holocene 17: 243-257.

航空レーザデータによる新たな地域森林管理手法の検討

北方林管理研究グループ 小幡 進午

はじめに

北海道を含むわが国の森林管理では、長期の伐採計画や資源量の把握に森林簿の情報が広く使われています。しかし、森林簿の小班は1～10ヘクタール程度と纏まりが大きく、小班の内部で樹種や樹高、蓄積がばらついていても一つの数字で代表されます。また、作成から時間がたったまま更新されていない区域も多く、現在の森林の姿を正確に反映していない可能性があります。その結果として、森林簿の蓄積が実際よりも少なく見積もられているのではないかと、という指摘もあります。こうした不確実さは、伐採可能量の判断や、長期的にどの程度の資源を残すかといった計画に直接影響します。

一方で、近年は航空レーザ計測（ALS：Airborne Laser Scanning）という技術が普及し、航空機からレーザ光を照射して、地表や樹冠までの距離を三次元的に測ることができるようになりました。観測された信号は「点群データ」として記録され、この点群から樹冠高モデル（CHM）、赤色立体地図、レーザー林相図といった派生データを作成することで、森の高さ構造や地形の凹凸、樹種や林相の違いを詳しく表現できるようになっています（竹島，2015；竹島，2017）。ALSを用いると、森林の一つ一つの地点について「どのくらいの高さの木が、どのくらいの密度で生えているか」を面的に推定できます（竹島，2015；竹島，2017）。国土地理院による高密度のALSデータ整備も進んでおり、地形図の作成だけでなく、森林管理への利用も現実的になってきています。

このような背景から、本研究では、従来の森林簿だけに頼るのではなく、ALSから得られる情報を組み合わせることで、森林管理の長期的な計画づくりをより実態に近づけられるかどうかを検討すること

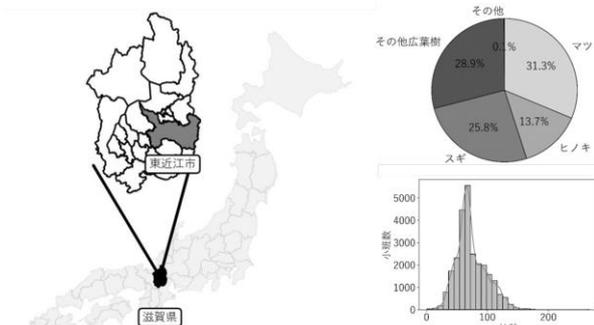


図1 本研究の対象地域。(左)滋賀県東近江市の位置。(右上)樹種割合、(右下)人工林年齢構成。

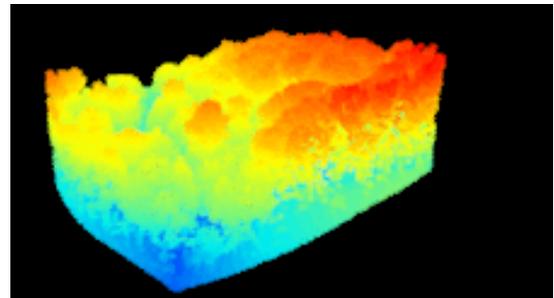


図2 ALS データから作成した点群データ。

を目的としました。具体的には、滋賀県東近江市の人工林を対象として、森林簿とALS由来のデータから森林資源量を比較するとともに、「どの林分をいつ伐採するか」を計算機で自動的に決めるしくみ（最適化モデルと呼ばれます）に、これらのデータが使えるかどうかを確かめました。本稿では、そのうち森林簿を用いた解析と、ALSデータを活用するための考え方について紹介し、今後の北海道での展開の可能性についても触れます。

森林簿とALSデータの比較と森林計画への利用

解析の対象としたのは、滋賀県東近江市に存在するスギ・ヒノキの人工林です。この地域では、県が整備した森林簿とあわせて、ALSをもとに作成された森林資源解析データ・森林地形解析データが利用可能となっており、両者を比較するのに適した条件がそろっています。

森林簿からは、小班ごとに樹種、林齢、面積、材積といった基本的な情報を取り出しました。これに対してALS由来のデータからは、レーザ計測で得られた点群を整理し、一定の大きさごとに平均樹高、1ヘクタールあたりの木の本数、1ヘクタールあたりの蓄積を推定しました。まずは、森林簿の蓄積とALSの蓄積を小班単位で比較し、どの程度数字がずれているかを確認しました。

次に、森林簿の情報を入力として、長期の伐採計画を立てるための計算プログラムを作成しました。このプログラムは、例えば5年ごとに区切った40年間を対象として、「どの小班をどの時期に伐採するか」を自動で選びます。その際には、①毎年の伐採量が極端に増えたり減ったりしないこと、②同じ場所を何度も伐らないこと、③将来に向けて森の蓄積が大きく減らないこと、といった条件を同時に満たすように計算します。こうした条件を数式として整理し、数学的な最適化手法を用いて、条件の範囲内

で伐採材積ができるだけ大きくなる組み合わせを探しました。こうした条件をまとめてコンピュータで計算できるようにし、森林簿のデータを使って40年間でどの小班をいつ伐採すればよいかを求めるプログラムを作りました(Yoshimoto, 2016)。ALSデータについては、本稿では森林簿との蓄積の違いを確認するところまでを対象としました。

結果

本研究では、森林簿とALSから推定した蓄積を比較し、両者の違いを確認しました。その結果、同じ林分を対象としても森林簿の蓄積はALSより全体的に小さく、とくにスギ・ヒノキ人工林では顕著な差が見られました。森林簿による総蓄積は約120万 m^3 でしたが、ALSでは約260万 m^3 と推定され、森林簿の値はALSの半分程度にとどまっていることが分かりました。これは、小班全体を一つの数字で表す森林簿の性質や、古い成長式に基づく蓄積推定の影響により、現在の林分構造が十分に反映されていないためと考えられます。

次に、森林簿から得た材積と林齢の情報をもとに、東近江市内のスギ・ヒノキ人工林について40年間の伐採計画を数理最適化の手法で計算しました。ここでは、年間の伐採材積に上限を設けること、一つの林分は計画期間中に一度だけ主伐すること、隣り合う林分を同時に伐りすぎないこと、計画の最終期には初期の9割以上の材積を残すことなど、現実的な施業条件を数式として与えています。こうした条件を組み込んだモデルに森林簿データを入力して解かせたところ、すべての条件を満たしつつ、40年間にわたる伐採スケジュールを自動的に求められることを確認しました。この結果から、従来の森林簿情報だけでも、一定の前提のもとで長期的な伐採計画を作成できることが示される一方、その出

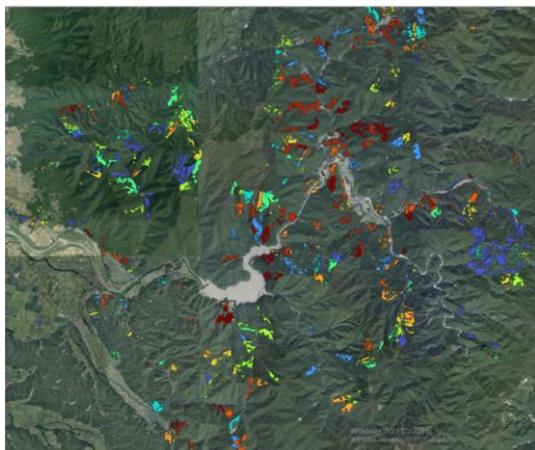


図3 滋賀県東近江市における40年間の伐採計画で決定された伐採林分。異なる色は異なる伐採時期を示す。

発点となる森林簿の資源量自体に偏りがあることもALSとの比較から明らかになっており、今後はALSで推定したより実態に近い資源量を同じ枠組みに組み込んでいくことが重要だと考えています。

おわりに

本研究では、滋賀県東近江市の人工林を対象に、森林簿とALS由来データから森林資源量を比較するとともに、森林簿の情報を使って長期の伐採計画を自動的に作成する枠組みを試作しました。その結果、森林簿に基づく蓄積はALSによる推定値より系統的に小さいことが分かり、このままでは実際より少ない資源量を前提に伐採可能量を判断してしまうおそれがあることが示されました。一方で、森林簿を入力とした長期伐採計画のプログラムは、伐採量の大きな変動を避けつつ将来の蓄積維持も考慮した計画を自動的に求めることができ、計画づくりの枠組み自体は森林簿データで十分に動作することを確認しました。

ALSデータについては、森林簿の小班より小さい0.1~1ヘクタール程度のまとまりごとに樹高や蓄積を求め、それらを将来は長期伐採計画の枠組みにそのまま組み込む、というところまで構想を進めている段階です。ALSを使えば、実際の施業に近い細かい管理単位ごとに同様の長期計画を立てられる可能性があります、具体的な効果の検証は今後の課題として残されています。本研究は滋賀県での試行ではありますが、高密度ALSデータの整備は北海道でも進んでおり、大面積の森林管理が求められる北海道においてこそ、同様の手法の有効性は大きいと考えています。今後は、今回の枠組みを北海道の国有林にも適用し、ALSを前提とした森林管理計画のあり方を検討していきたいと思えます。

引用文献

- (1)竹島喜芳, 2015. 航空レーザーによるヒノキ・スギの森林蓄積推定—林分特性の違いを考慮した蓄積推定モデルの開発—. 写真測量とリモートセンシング, 54(4): 178-188.
- (2)竹島喜芳, 2017. 空間体積・幹材積モデルを用いた航空レーザーに基づく森林蓄積推定法の汎用化に関する研究—岐阜県におけるスギ・ヒノキを例として—. 写真測量とリモートセンシング, 56(3): 70-79.
- (3)Yoshimoto, A., 2016. Stand-level forest management planning approaches. Current Forestry Reports, 2(3): 143-157.

北海道の森の未来を見据えて

— SEIB-DGVM を用いた森林変化の予測研究 —

北方林管理研究グループ 鄭峻介

はじめに

北海道の森林は、日本全体の森林面積の約2割を占め、そのうちおよそ7割が天然林です。これらの森は長い年月のあいだ、自然の力で更新されてきました。しかし近年では、ササの繁茂によって若い木が育たず、更新が進みにくい場所が増えています。このままでは、森林資源の持続的利用が難しくなり、木材生産力の低下も懸念されます。森林は地域の経済や木材産業を支えるだけでなく、地域社会の暮らしや文化とも深く関わっています。その健全な更新を保つことは、林業の将来を左右する課題です。

背景と課題

ササ(チシマザサやクマイザサなど)は、もともと北海道の天然林に広く分布してきた植物です。以前から存在していましたが、伐採跡地や風倒被害地などで林床が明るくなると繁茂しやすくなります。近年は、更新補助作業が行われないなどにより、ササが優占して稚樹が育たない状況が顕著となってきました。こうした状況では、次の世代の樹木が育たず、木材生産力の維持が難しくなります。北海道の豊かな森林資源を次世代へ継承するためには、天然更新のプロセスを科学的に解明し、更新を促す作業手法を検討する必要があります。

こうした課題への対応として、北海道の国有林では「樹群択伐天然更新作業」という新しい森林づくりの方法が試行的に導入されています。この方法では、20メートル四方ほどの小さな「樹群」を単位に伐採を行い、伐採後にササを取り除く「かき起こし(地がき)」や、伐根をひっくり返してマウンドを作る「根返し」を行います。これにより、稚樹が定着しやすい環境をつくることができます。この作業は、自然のギャップ更新を模倣するもので、木材生産と森林更新を両立させる持続的な作業手法として期待されています。

研究の概要

私たちは、こうした作業の効果を科学的に検証するため、コンピュータ上に仮想の森林を再現し、森林資源量や木材生産力の将来変化を予測する研究を進めています。その中心となるのが、日本で開発された動的植生モデル SEIB-DGVMです。

SEIB-DGVMは、森林を構成する一本一本の木を個体として扱い、気象条件のもとで木が成長し、競い合い、枯れていく過程を再現します⁽¹⁾。特に大

きな特色は、作業条件や立地環境の違いが森林構造や生産力に与える影響を、長期的かつ個体レベルでシミュレーションできる点にあります。林分レベルでの平均的挙動ではなく、立木間の競争や間伐効果を空間的に再現できるため、林業経営に直結する生産量予測や収穫設計にも応用可能です。

これまでに私たちは、このモデルに植栽や間伐などの森林作業スキームを導入し、茨城県高萩市のスギ人工林の長期観測データを用いて再現性を検証してきました⁽²⁾。さらに近年では、北海道の天然林管理への応用を見据え、樹群択伐スキームを新たに導入しました。動作確認は完了しており、今後は現場の観測データを用いた検証段階に入ります。

また、「かき起こし」や「根返し」などの更新補助作業を表現するスキームも今後組み込み、北海道で実施されている樹群択伐天然更新作業の効果をモデル上で検証できるようにしていく予定です。そして、現場で得られた観測データをモデルに反映し、モデルから得られた結果を現場へ還元する「研究と現場をつなぐフィードバックの仕組み」を構築することを目指しています。これにより、研究成果が作業計画や収穫予測に活かされ、現場の知見がモデル改良に反映される—そうした双方向の連携体制を築くことで、北海道の森林の持続的な経営と木材生産力の維持に貢献したいと考えています。

このようなモデル研究は、単に将来を「予測」するだけでなく、現場で得られた情報をもとに作業シナリオを比較・検討できる「意思決定支援ツール」としての役割も担います。現場担当者が抱く「この間伐強度で良いのか」「伐採後にどれだけ更新が進むか」といった問いに対し、数値的な裏付けを提供する研究を進めています。

これまでの取り組み

図1は、コンピュータ上の仮想森林内で樹群択伐を実行した前後の様子を示しています。仮想林分内で、植物機能型(いくつかの樹種を耐陰性や乾燥耐性、成長様式といった生理・成長特性の違いに基づいてまとめた分類)ごとに設定した目標胸高直径に達した個体を抽出し、その個体を含む0.04ha(20m×20m)程度の樹群を伐採する処理を行っています。こうした個体レベルの挙動を通じて、森林構造の変化や更新過程を定量的に再現することが可能です。

図2は、樹群択伐スキームを導入する前段階として行った、導入前のSEIB-DGVMによる北海道全

域の樹木バイオマス分布の解析結果(初期解析結果)です。現在気候下(1990~2000年)と将来気候下(2090~2100年)を比較したところ、全体的には道北部でバイオマスが増加する傾向が見られました。寒冷な地域では成長期間が長くなり、立木密度や蓄積量の増加が確認されました。一方で、道南部や内陸部の一部では、乾燥傾向などにより成長が抑制される地域も見られました。これらはあくまで初期解析の段階であり、今後、現場データとの照合やモデル改良を通じて予測精度の向上を図ります。

このように、SEIB-DGVMを用いることで、森林施業や立地条件の違いが長期的な木材生産力に与える影響を評価することが可能であることが分かってきました。

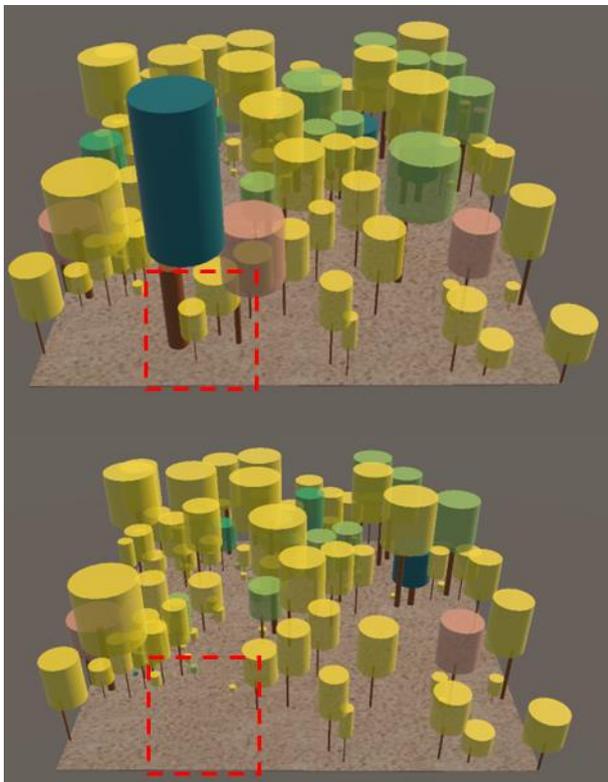


図1 コンピュータ上の仮想森林における樹群択伐の再現。植物機能型ごとに設定した目標胸高直径に達した個体を抽出し、その個体を含む0.04ha(20m×20m)程度の樹群を伐採する処理をモデル内で実行している。上図が処理前、下図が処理後を示す。

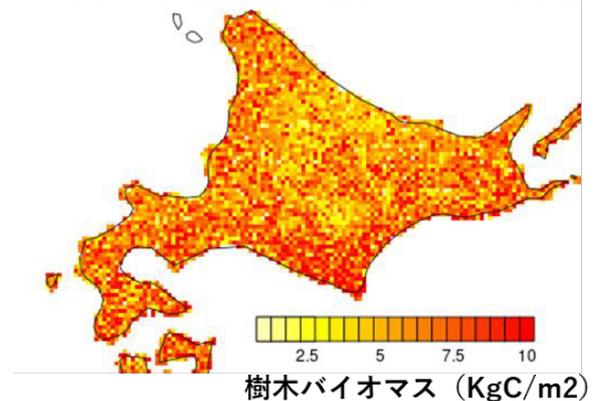
おわりに

私たちの目標は、北海道の森林を次の世代に引き継ぐための科学的な基盤づくりです。現場で得られる長期観測データと、モデルによる成長予測を組み合わせることで、森林の「過去・現在・未来」をより深く理解し、持続的な森林経営に役立てたいと考えています。

木材生産を基盤とする林業の安定化には、更新

と収穫のバランスを長期的に見通す視点が欠かせません。私たちは、科学的モデリングを通じて施業設計や資源量予測を支援し、「研究と現場が補完し合う林業経営の新しいかたち」を目指しています。北海道の豊かな森林資源を将来にわたって活かすため、現場との協働を重ねながら研究を続けていきます。

現在気候下 (1990-2000)



将来気候下 (2090-2100)

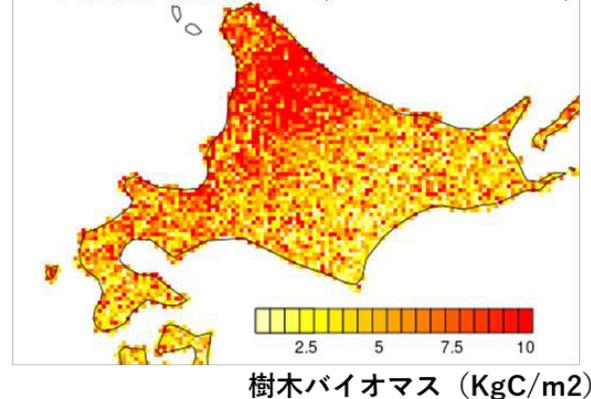


図2 現在気候下(上図;1990~2000年)と将来気候下(下図;2090~2100年)における樹木バイオマス(KgC/m²)の解析結果。シミュレーションは各グリッドごとに裸地からスタートさせ、90~100年後の平均値を図示している。

引用文献

- (1)Sato, H., Itoh, A., Kohyama, T. (2007) SEIB-DGVM: A New Dynamic Global Vegetation Model using a Spatially Explicit Individual-Based Approach. Ecol. Model. 200(3-4), 279-307.
- (2)鄭峻介・佐藤永・西園朋広・齋藤英樹・高橋正義・北原文章・山田祐亮・細田和男 (2025) 国内スギ人工林動態シミュレーションに向けた植生動的モデル SEIB-DGVMの拡張. 森林計画学会誌59巻2号.

ヒグマ出没に伴う支所構内への立入制限について



前回(No.32)でもお知らせしたとおり、昨年(2025年)は、当支所の構内とその周辺において、例年になく頻度でヒグマの出没が確認されました。降雪後も、雪上に足跡が見つかるなど、出没が確認されています。当支所では引き続き、安全確保のため、必要に応じて標本館の臨時休館、樹木園の見学禁止、実験林への入林禁止などの措置を講じてまいります。支所構内への立ち入りや施設利用の制限に関する情報は、支所正門に設置した看板のほか、支所ホームページ(URLは下記をご参照ください)でもご案内しておりますので、ご来場前によくご確認ください。ご来場になる際も、札幌市ホームページなどを参考に、ヒグマに出遭わないための対策を施した上で、十分に注意してご利用ください。

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所北海道支所 研究情報誌 『北の森だより』 No.33

編集・発行 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所北海道支所(担当:地域連携推進室)
〒062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘7番地
TEL(011)851-4131 FAX(011)851-4167
URL <https://www.ffpri.go.jp/hkd/>

印刷 ひまわり印刷株式会社
〒065-0030 北海道札幌市東区北30条東6丁目2-1
TEL(011)748-4500 FAX(011)748-4100

令和8年(2026年)2月27日発行

表紙写真 春を告げるフクジュソウ (*Adonis ramosa*) 撮影:津山幾太郎

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所北海道支所の許可を受けて下さい。

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



エコマーク商品
古紙パルプ配合率60%
19 107 003
王子製紙株式会社

