

植林に広く利用されるユーカリが低温で受ける傷害の予測手法を確立

ほ場における試験栽培と気象データに基づく統計学的モデリング手法により、植林用の樹木（林木）として世界で広く利用されるユーカリが、冬季の低温によって受ける傷害の程度を予測する手法を確立しました。

成長が早く、バイオマス生産性や二酸化炭素固定能が高いユーカリ属の樹木は、産業植林用林木として世界中で広く利用されています。その一方、ユーカリ属林木は冬季の低温に弱く、植林が可能な地域が制限されます。日本では筑波大学がキャンパスを置く茨城県を含む北関東地域が、商業植林可能な北限域とされています。しかし、ユーカリ属林木が実際にどの程度までの低温に耐えられるのかなど、植林が可能となる詳細な条件はこれまで分かっていませんでした。

本研究では、ユーカリ属林木の代表的な種であるユーカリ・グロブルス(*Eucalyptus globulus*)を茨城県つくば市の小規模なほ場で6年間にわたり試験栽培し、冬季に、植物個体の健全性を示す指標として葉の光合成能力を定期的に記録しました。そして、観測された指標と当時の気温観測値の間の関係を最もよく説明することができる回帰モデルを決定しました。

このモデルはユーカリの葉の健全度について、測定日前の過去46日間（46日前から前日まで）の日最高気温が9.5℃以下であった日数に基づき、その8割以上説明することができました。さらに、この回帰モデルに世界各地の気温データを当てはめて得られたユーカリ植林可能域のシミュレーション結果は、以前に報告された世界のユーカリ植林分布と概ね一致し、本手法がユーカリの潜在的な植林可能域の予測に利用できることが分かりました。

研究代表者

筑波大学生命環境系／つくば機能植物イノベーション研究センター

小口 太一 助教

研究の背景

地球規模の気候変動対策として、温室効果ガスの放出を実質的にゼロにするカーボンニュートラルの達成を目標とした取り組みが世界的に行われています。その中で林木は、大気中の二酸化炭素を固定する役割に加えて化石資源の代替となるバイオマス資源としての役割を果たすことも期待されています。中でもユーカリ属林木は、生育が早く、かつ植林管理が比較的容易なことから世界各地の熱帯・亜熱帯地域で広く商業的に植林されています。一方で、ユーカリの生育最適温度は摂氏 25 度とされ、冬季の低温によって植林が可能な地域が制限されることが知られています。しかし、冬季の低温について、ユーカリ属林木が実際にどの程度の温度まで耐えられるかといった詳細な条件はこれまで分かっていませんでした。

研究内容と成果

本研究では、ユーカリの商業植林の北限域とされる茨城県つくば市にある、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センター・遺伝子研究部門の模擬的環境試験ほ場Ⅱ（隔離ほ場）で、ユーカリ属林木の代表的な種であるユーカリ・グロブルス^{注1} (*E. globulus*) を 6 年にわたり試験栽培（面積約 240 m²）し、植物の健全度の指標となる葉の光合成量子収量^{注2}（QY 値）を冬季に定期的・定量的に記録しました。そして、これを最もよく説明する回帰モデルを探索しました（図 1）。

植物と低温の関係を調べる際には、ある期間に定められた温度（閾値）を下回る回数（または、定められた温度を下回った温度の積算値）であるチルユニット値が指標としてよく用いられます。本研究では、試験栽培を実施した隔離ほ場から約 500m の地点にある筑波大学アイソトープ環境動態研究センター（現、放射能・アイソトープ地球システム研究センター）の観測ポストで観測された気温観測値を利用し、期間、閾値温度、積算方法等の組み合わせを変えた 2 万 5620 通りのチルユニット値の中から、QY 値を最もよく説明することができる組み合わせを選抜しました。

その結果、冬季のほ場におけるユーカリ葉の QY 値は、測定日前の過去 46 日間（46 日前から前日まで）に日最高気温が 9.5°C を下回った日数によって計算されるチルユニット値を説明係数とした回帰モデルによって、8 割以上説明されることが分かりました。この結果は、ユーカリの低温傷害が最低気温ではなく最高気温と関係することを示唆します。

本研究ではさらに、決定した回帰モデルを用いた 2 種類のシミュレーション解析を試みました。

一つ目のシミュレーション解析は、ユーカリ植林が可能な潜在的地域の予測に関する地理的シミュレーションです。公開されている世界各地の気温データと機械学習手法を組み合わせ、世界の陸地におけるチルユニット値の分布を描画し、ユーカリの実際の植林地分布と比較しました。その結果、ユーカリの植林可能とされる地域は、過去 46 日間に日最高気温が 9.5 度を下回る日数が 35 日未満となる地域として予測することができました。

二つ目のシミュレーション解析は、温暖化によるユーカリの潜在的植林可能域の変化に関するシミュレーションです。気象庁が公開する日本全国 101 カ所の気象観測点の過去 72 年分（1950～2021 年）の観測値を基に、過去 70 年間と 70 年後（2090 年）の各地点での最低 QY 値を推定し、ユーカリ植林可能域の変遷を予測しました。その結果、日本におけるユーカリの植林可能地域は過去 70 年で約 2.4 倍に拡大していました。また、今後もこれまでと同じペースで温暖化が進行すると仮定した場合、70 年間でさらに 1.5 倍拡大することが予測されました（図 2）。

今後の展開

本研究では、小規模なほ場試験で収集した実験観察データに基づいて、低温によるユーカリに生じるストレス傷害の一部を説明する新しいモデルを提案しました。このモデルを用いてシミュレーションを行

った結果、実験観察を実際に行った場所とは異なる場所や時期での低温傷害もある程度予測できることが示唆されました。このモデルによる予測の信頼区間は広く、予測精度の面では改善の余地がありますが、このようなシミュレーション解析を利用することで、林木育種にかかる時間とコストの大幅な削減につながることを期待されます。

参考図

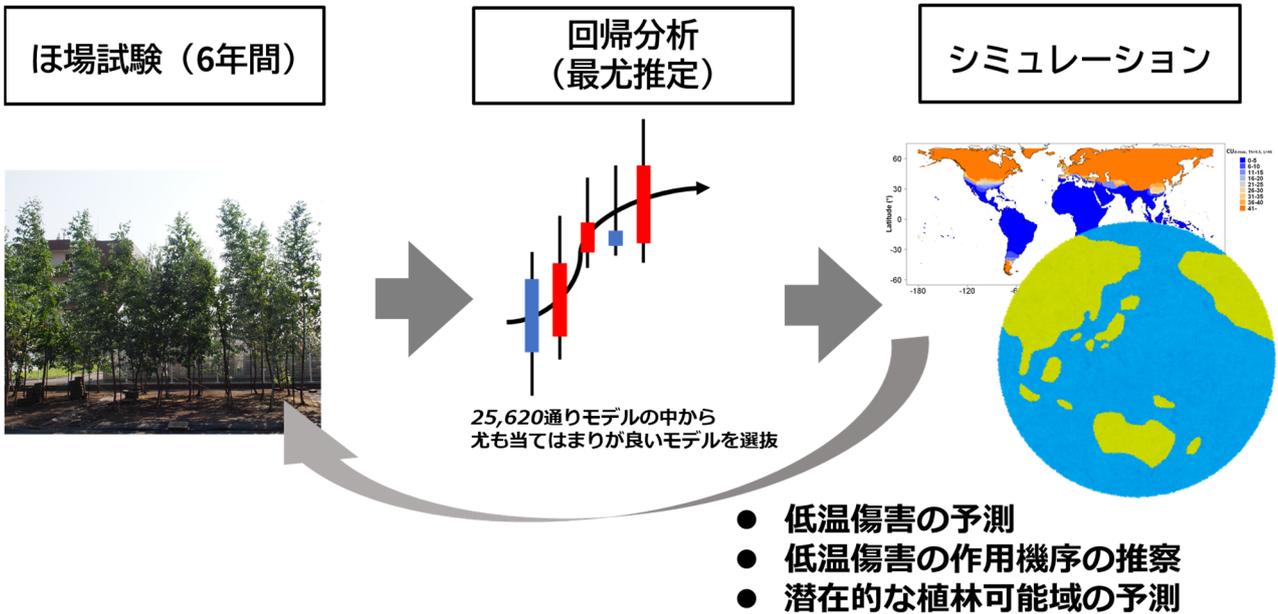


図1 本研究で行なった実験の概要図

ユーカリ属林木の植林可能域の北限域である茨城県つくば市で実際にユーカリを6年間試験栽培し、うち4カ年の冬季の葉の健全度 (QY 値) を観測した。その後、観測した QY 値と気象データの説明するために約 2 万 5000 通りのモデルを試行し、その中から最もよく説明できるモデルを決定した。さらに決定されたモデルに一般に入手可能な各種気象データを当てはめることで、ユーカリの潜在的な植林可能域や温暖化の影響を予測するシミュレーション解析を実施した。

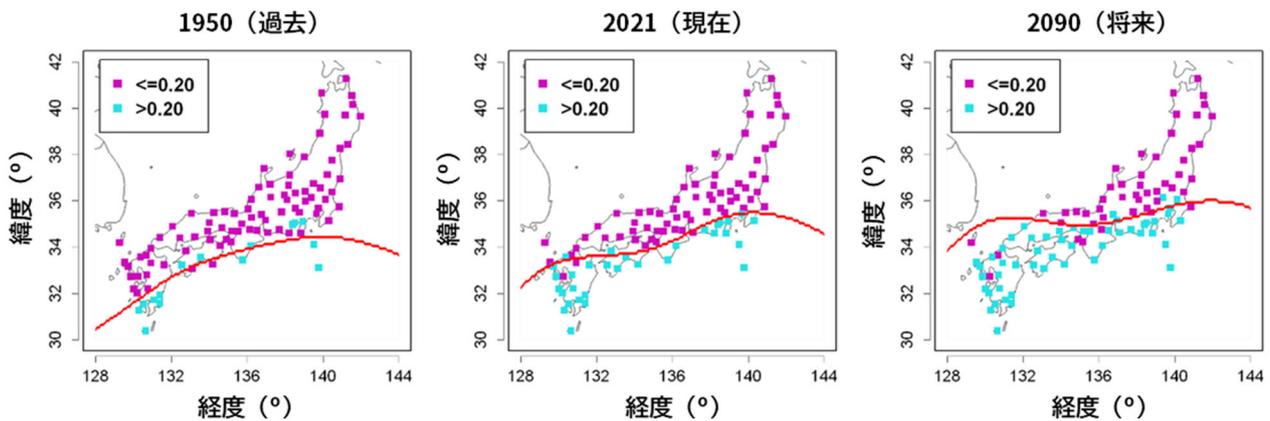


図2 温暖化がユーカリの潜在的植林可能域に与える影響のシミュレーション

気象庁の 101 カ所の気象観測所で過去約 70 年間 (1950~2021 年) の観測値を収集し、各地点の年ごとの最低 QY 値を計算した。さらにその回帰分析から今後もこれまでと同じペースで温暖化が進行すると仮定し、約 70 年後 (2090 年) の各地点での最低 QY 値をシミュレーションした。地図中の青色及び桃色のプロットは、それぞれの地点での予測 QY 値が 20%未満及び 20%以上であることを示す。赤い曲線は予測される植林可否の境界線を示す。

用語解説

注1) ユーカリ・グロブルス(*Eucalyptus globulus*)

代表的なユーカリ属林木種で、ブルーガム (blue gum) とも呼ばれる。ユーカリ属林木の中でも特に成長が早く、最も広く植林されている。紙パルプの原料としても好適で、製紙原料としても多く利用されている。

注2) 光合成量子収量 (QY 値)

葉緑素が光合成で取り込んだ光エネルギーのうちどれだけを光合成で利用することができたかを表す指標。。ストレスを受けた葉では光合成能力にも傷害が生じて QY 値が低下するため、植物の葉の健全度の指標としてよく用いられる。

研究資金

本研究は、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センター形質転換植物デザイン拠点の共同利用・共同研究課題 (1121、1223、1324、1422、1521、1629、1724) の一環として実施されました。また、本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) および文部科学省「植物における二酸化炭素資源研究拠点ネットワーク (NC-CARP)」プロジェクトによる助成も受けています。

掲載論文

【題名】 A statistical modeling approach based on the small-scale field trial and meteorological data for preliminary prediction of the impact of low temperature on *Eucalyptus globulus* trees. (ユーカリ・グロブルスの低温による影響を予測のための小規模ほ場試験と気象データに基づく統計的モデリングアプローチ)

【著者名】 Chubachi, T., Oguchi, T., Morita, K., Hayashi, N., Kikuchi, A., Watanabe, K.N.

【掲載誌】 *Scientific Reports*

【掲載日】 2023年6月22日

【DOI】 doi.org/10.1038/s41598-023-37038-8

問い合わせ先

【研究に関すること】

小口 太一 (おぐち たいち)

筑波大学生命環境系／つくば機能植物イノベーション研究センター 助教

URL: <https://www.gene.tsukuba.ac.jp/Plant/GeneticDiversity/oguchi/index.html>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp