

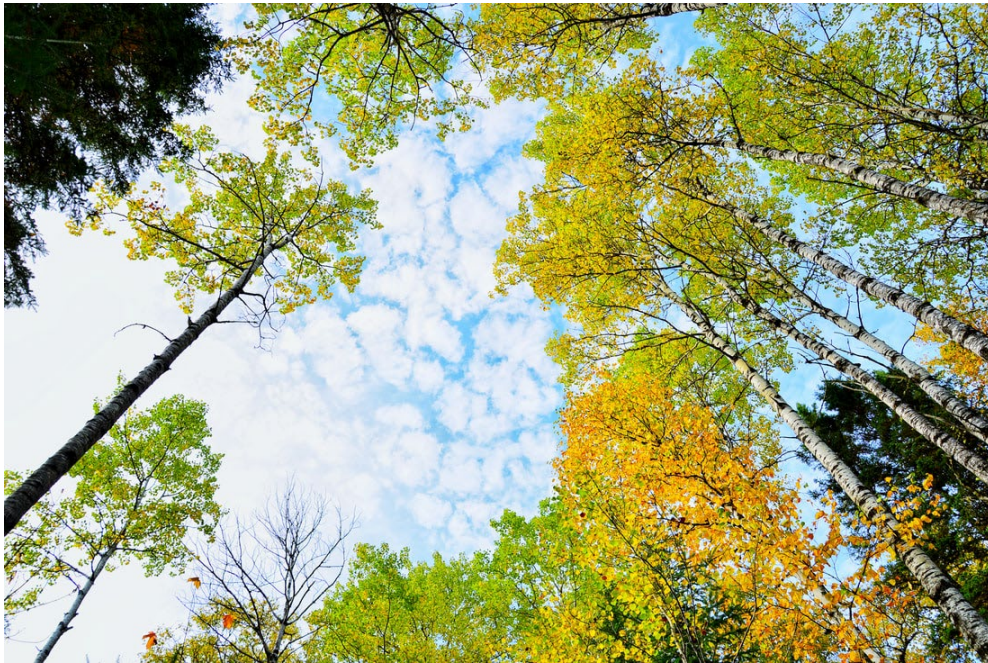
乾燥地の樹木多様性が気候変動影響を緩和

— 樹木形質の多様性と形質特性の関係を紐解く —

概要

久野真純 情報学研究科・助教（研究当時、現：広島大学・助教）、Jaboury Ghazoul スイス連邦工科大学チューリッヒ校・教授、Xinli Chen 浙江農林大学・教授、Han Y.H. Chen レイクヘッド大学・教授（研究当時）の研究グループは、カナダの長期森林観測データを解析し、気候変動が生態系機能に負の影響を与える一方で、樹木の多様性がこれを緩和するメカニズムの一端を解明しました。

本研究では、カナダ西部の乾燥気候帯の森林において 1958 年から 2015 年の期間に渡りモニタリングされたデータを用いることで、樹木形質の多様な森林ほど長期気候変動に対する抵抗性が高い、ということを明らかにしました。さらに、資源獲得特性を持つ森林は温暖化による利益を受けている、ということもわかりました。本研究は、乾燥林における生物多様性、生態系機能、および気候変動との複雑な関連性を明らかにしました。これらのダイナミクスを理解することで、政策立案者や森林管理者が生態系の耐久性と持続可能性を高める自然に根ざした解決策を実施することへの貢献が期待されます。本研究成果は、2024 年 4 月 25 日に米国の国際学術誌「Science Advances」にオンライン掲載されました。



イメージ図：カナダの針広混交林（針葉樹と広葉樹から成る森林）の例。異なる形質（繁殖・成長戦略、環境ストレス耐性など）を持つ針葉樹と広葉樹が共存する混交林は、群集全体で多様な形質を持つため、環境変動に対する安定性・抵抗力・回復力が高いと考えられています。異なる形質を持つ樹種が資源を効率よく利用し合ったり助け合ったりすることで、成長パフォーマンスを維持できるだけでなく、環境変化への応答も多様化します。つまり、ある環境要因に脆弱な樹種がいる一方で、うまく耐え忍んだり適応できたりする樹種も存在すると考えられます。（撮影：久野真純）

1. 背景

地球の陸地面積の40%以上を占める乾燥気候地域は、陸上生態系において重要な生物群系¹です。乾燥気候地域に分布する植生は地球の炭素循環に重要な役割を果たしていますが、気候変動、砂漠化、および土地劣化などのさまざまな脅威に直面しています。乾燥気候地域に生育する森林（乾燥林）は、その生物群系における重要な構成要素ですが、特に地球温暖化や水不足などの気候変動による影響を受けています。そうした生態系の長期的な持続可能性を確保するためには、気候変動の脅威に対する脆弱性を緩和する効果的な森林管理政策が必要となります。

近年、気候政策における自然に根ざした解決策への関心が高まっています。これらの解決策は、生態系の機能とレジスタンス（環境変化に対する抵抗力）を考慮して生態系の脆弱性を軽減させることを目的としています。とくに、生物多様性を高めることで生態系機能を維持・向上させるといわれるため、その関係性の理解を深めることで、効果的な自然に根ざした気候解決策を立案・実施できると考えられます。近年の研究から、植物の多様性の高い生態系は、温暖化や干ばつなどの瞬間的な気候ストレスに対する抵抗力があるということがわかってきました。しかし、数十年に渡る長期気候変動を対象とした報告はほとんどなく、その具体的なメカニズムに関する知見が限られています。そこで本研究では、乾燥気候帯としては世界的にも数少なく残るカナダの天然林を研究対象としました。そして、樹種の豊富さを扱った先行研究のアプローチ（Hisano et al. 2018², 2019³）を樹木の機能形質⁴の観点から拡張させ、以下の仮説を検証しました。

- (i) 樹木形質の多様な森林⁵ほど気候変動に対する抵抗力が高い（資源分割の促進や環境変化に対する多様な応答により；イメージ図）
- (ii) 資源獲得型の形質特性⁶を持つ森林では、温暖化により成長量が増加する（資源利用・炭素固定速度の促進）
- (iii) 乾燥耐性の高い形質特性を持つ森林ほど乾燥化に対する抵抗力が高い

2. 研究手法・成果

1958年から2015年の期間に渡りカナダ西部においてモニタリングされた長期生態観測データを用いました。気候変動が森林の成長量に与える影響を調べるため、2,491の森林調査区データ（57年間で約30万個体の樹木・約6,000観測数）を解析しました。解析では、森林火災（自然撓乱）からの植生回復を含む共変動する内的要因、および空間的な気候のバリエーション、土壌排水性、サイト固有の特性などの環境要因を同時に考慮した統計モデルを構築しました。

二酸化炭素濃度上昇が森林成長にもたらし得る潜在的な有益性にもかかわらず、乾燥林の成長量は水分ストレスの増加により57年間の観測期間中減少し続けていました。しかし、樹木の形質が多様な森林では、単一種から成る森林と比較して、気候変動下において生産性が13%高いレベルで維持されました（参考図1A）。さらに、資源獲得型の特性を持つ森林（広葉樹林）は気候の温暖化とともに成長量が高まりました（参考図1B）。本研究により、樹木形質の多様性を高めることで乾燥林の気候変動に対する長期的な抵抗力を高められる可能性が示唆されました。さらに、樹種の機能的特性を理解し考慮することで、気候変動に耐えたり、利益を得たりする樹種を優先的に選択することの重要性も示されました。そのため本研究は、気候変動に直面した森林生態系の長期的な持続可能性の発展に貢献し得るといえます。

3. 波及効果、今後の予定

本研究による結果は、今後の森林管理政策や気候変動適応戦略に関する重要な知見をもたらします。樹木形

質の多様性と形質特性を考慮することで、生態系の抵抗力と生産性・利益を促進するための情報を提供します。本研究は乾燥林における生物多様性、生態系機能、および気候変動との複雑な関連性を紐解き、これらのダイナミクスを理解することで、政策立案者や森林管理者が生態系の耐久性と持続可能性を高める自然に根ざした解決策の実施に取り組みに資すると期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、以下の機関による支援を受けて実施されました。

1. 日本学術振興会（特別研究員奨励費 20J00178；久野真純）
2. カナダ自然科学・工学会議 NSERC（STPGP 506284；Han Y.H. Chen）
3. スイス連邦工科大学チューリッヒ校・日本学術振興会（若手研究者交流事業スイス枠 P-EG_06_042021；久野真純）
4. NSFC Excellent Young Scientists Fund（overseas；Xinli Chen）
5. The Scientific Research Startup Fund Project of Zhejiang A&F University（2024LFR019；Xinli Chen）

<用語解説>

1. 生物群系（バイオーム）：地球上で特定の似通った気候環境条件や生態系が見られる生物地理学上の区域
2. Hisano et al. 2018：Hisano M, Searle EB, Chen HYH 2018 Biodiversity as a solution to mitigate climate change impacts on the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 93: 439-456.
3. Hisano et al. 2019：Hisano M, Chen HYH, Searle EB, Reich PB 2019 Species-rich boreal forests grew more and suffered less mortality than species-poor forests under the environmental change of the past half-century. *Ecology Letters* 22: 999-1008.
4. 機能形質：植物種の生育環境や繁殖・生存戦略などに関わり、生態系機能に影響を与え得る種に特異的な形質（ここでは、葉や根、樹冠の形態や構造、環境耐性、種子サイズ、木材密度、光合成能力など 33 の形質を扱った）
5. 樹木形質の多様な（機能的多様性の高い）森林：群集内における各樹種が持つ機能形質の異なり具合を表す指標
6. 形質特性（形質の群集平均値）：群集内における機能形質の優占度を表す指標

<研究者のコメント>

本研究では、半世紀にわたる大規模なデータを用いることで、自然生態系の複雑性を堅牢な統計手法により解析しました。北米大陸の亜寒帯・乾燥気候帯における生物多様性と生態系機能への影響を評価した本研究結果は、地球上の類似した森林生態系への汎用性を備えています。今後も森林の長期的なダイナミクスの未解明な側面をさらに探求していきます。共同研究や研究室 (<https://mhisanojp.weebly.com> 広島大学・先進理工) に参加いただける方も募集しています。

<論文タイトルと著者>

タイトル： Functional diversity enhances dryland forest productivity under long-term climate change

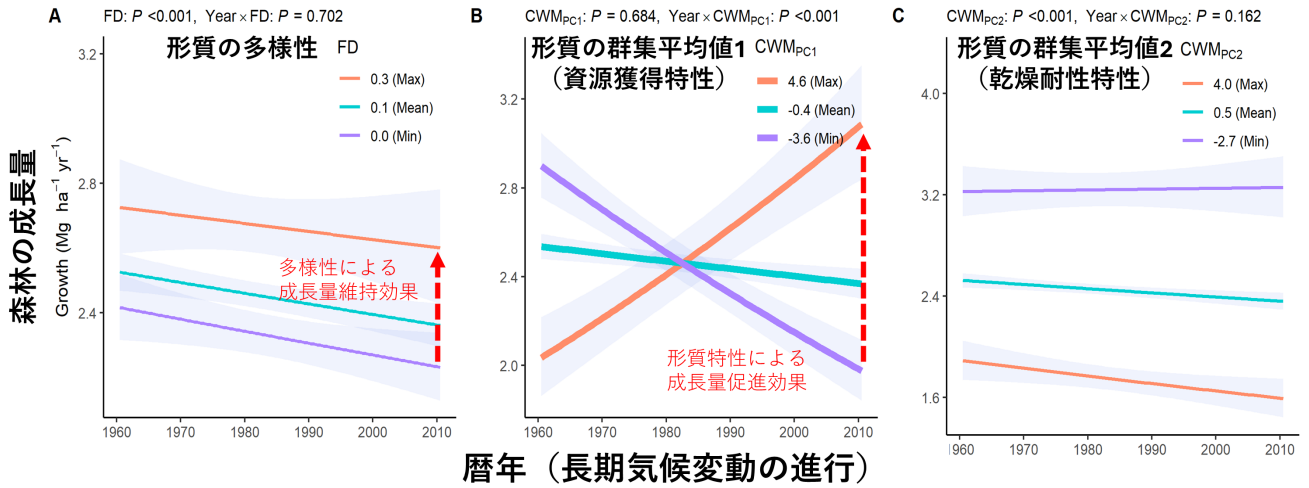
長期気候変動下における乾燥気候帯の森林成長量は、機能的多様性によって向上される

著者：久野真純（Masumi Hisano, 研究当時：京都大学 大学院情報学研究科、現：広島大学 大学院先進

理工系科学研究科), Jaboury Ghazoul (スイス連邦工科大学チューリッヒ校 陸域生態系研究科), Xinli Chen (浙江農林大学 亜熱帯造林学国家重点研究所), Han Y.H. Chen (レイクヘッド大学 自然資源管理学部)

掲載誌: Science Advances DOI: 10.1126/sciadv.adn4152

< 参考図表 >



参考図. 形質の多様性と形質の群集平均値で異なる、森林の成長量と暦年 (長期気候変動) に対する応答。(A) 形質の多様性との関連性、(B、C) 形質の群集平均値との関連性。赤い点線矢印は、気候変動のもと形質の多様性や群集平均値によって高められた成長量の度合いを示す。