

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19155

研究課題名（和文）種子の酸素安定同位体比に影響する気象要因の特定：過去の種子散布の再現を目指して

研究課題名（英文）Identification of meteorological factors affecting stable oxygen isotope ratios in seeds

研究代表者

直江 将司（Naoe, Shoji）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：80732247

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、種子の酸素同位体比を利用した長距離散布の評価手法を発展させることで、過去の長距離散布が評価できる手法を開発することを目的とした。過去の種子散布評価の前提条件となる種子の酸素同位体比と気象要因の関係を明らかにするため、イヌシデとミズメを対象に種子の酸素同位体比分析を行なった。それらの種子の酸素同位体比と気温・降水量との関係を解析したところ、イヌシデにおいて種子形成期の平均気温との正の相関を検出した。しかしその相関は弱く、気象データをもとにした過去の種子散布評価は実施できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一連の研究から、気温は種子の酸素同位体比の影響要因になりうるということが明らかになった。本研究の結果は過去の気象データをもとに過去の種子散布評価が可能であることを示唆している。本手法によって過去の記録的なイベント（超大型台風など）によって引き起こされた長距離種子散布が実測できるようになれば、気候変動下での植物の移動分散のポテンシャルを明らかにできる。しかし、今回は種子の酸素同位体比と気象要因との相関が弱く過去の種子散布評価までには至らなかった。そのため、今後は別の気象要因の探索や分析手法の改善などを進めていく必要がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was to develop a method for evaluating past long-distance dispersal by developing a method for evaluating long-distance dispersal using the oxygen isotope ratio of seeds. In order to clarify the relationship between the oxygen isotope ratio of seeds and climatic factors, which is a prerequisite for evaluating past seed dispersal, we investigated the oxygen isotope ratio of seeds of *Carpinus tschonoskii* and *Betula grossa* whose seeds were obtained over 15 years. When we analyzed the relationship between the oxygen isotope ratio of these seeds and temperature and precipitation, we detected a positive correlation with the average temperature during the seed formation period of *Carpinus tschonoskii*. However, the correlation was weak, and it was not possible to evaluate past seed dispersal based on meteorological data.

研究分野：森林生態学

キーワード：同位体 種子散布 気象要因 過去

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

種子散布は、植物にとってほとんど唯一の移動手段である。近年では、長距離の種子散布(以下、長距離散布)に関心が集まっている。現代では人間活動で森林は分断されているが、長距離散布によって植物は森林間で遺伝子を交流できる。また、温暖化によって植物はより気温の低い場所に避難する必要があるが、高標高・高緯度への移動には長距離散布が欠かせない。しかし、長距離散布の定量評価は困難を極め、特殊な条件下でしか実測されていない。なぜなら長距離散布の検出には非常に広い範囲で散布種子の親木を特定しなければならず、長距離散布の頻度が低いこともその検出を困難にしていた。

研究代表者らは種子の酸素同位体比を用いることで、標高方向の長距離散布(垂直散布)を検出する方法を世界で初めて開発した。この手法は、標高と種子の酸素同位体比にみられる負の相関を検量線とすることで、散布種子の酸素同位体比を測定するだけで垂直散布距離を求められるため、非常に低コストで測定できる。また散布種子の発見地点から親木の推定標高に相当する最寄り地点までの距離を測ることで、水平方向にどのくらい種子が散布されたかを求められる。本手法を、いつ採取した散布種子についても適用できれば、長距離散布の理解は飛躍的に進む。しかしながら、検量線は年変動するため、過去の種子散布を調べることは困難であった。研究代表者は、雨水や植物の葉の酸素同位体比が気象要因によって変化することから、種子の酸素同位体比も気象要因によって年変動し、その結果検量線が年変動しているのではないかと考えた(図1)。そして、種子の酸素同位体比に影響する気象要因を特定できれば、過去の検量線を推定することで、記録的な台風による種子散布など、過去の記録的な種子散布も評価できるのではないかと着想した。

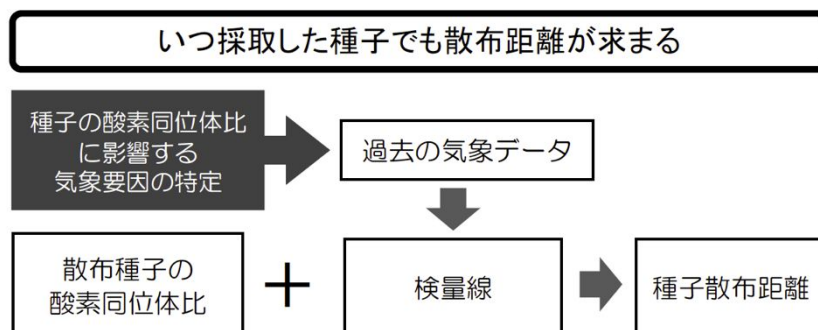


図1 研究の流れ

2. 研究の目的

種子の酸素同位体比を利用した長距離散布の評価手法を発展させることで、過去の長距離散布が評価できる手法を開発することを目的とした。具体的には種子の酸素同位体比と気象要因(気温・降水量)との関係を解明することで、過去の気象データと過去に採取された散布種子の同位体分析から過去の種子散布距離の推定を可能にしようとした。過去の種子散布距離の推定が可能となれば、この手法を用いて記録的な長距離散布の検出を試みることにした。

3. 研究の方法

研究1) 種子の酸素同位体比と気温・降水量との関係解明

気象要因と種子の酸素同位体比の関係を明らかにするために、同一の森林で過去数十年に渡ってサンプリングされた種子を用いて、気象要因と種子の酸素同位体比との関係を解析した。

調査は研究代表者・分担者の所属機関(森林総合研究所)が1987年から維持管理している老齢の落葉広葉樹林、小川試験地(茨城県北茨城市、標高約650m)で行った。日本を代表する長期大規模生態学試験地である小川試験地では、6haの方形区に出現する胸高直径5cm以上の樹木全個体の樹種・サイズ・位置が1987年から記録されている。また小川試験地では中心1.2haの方形区に種子トラップ(開口部0.5m²)が地面に等間隔で72~263個(年によって異なる)設置されており、種子トラップに落下した種子が2週間ごとに回収され、乾燥させたのちに樹種別に保存されている。

対象樹種は当初の計画では一般的な散布様式である周食散布(果肉を報酬に動物に種子が散布)、貯食散布(動物が貯えた種子を食べ忘れることで散布)、風散布を行う優占種もしくは普通種を対象としていた。最終的には種子生産量が他の散布タイプに比べて多く、凶作年でも種子が利用できることが多い風散布樹木を対象とすることとした。分析に用いる種子は過去にサンプリングされたものを主に用いたが、できるだけ解析に用いる年数を増やすため、本研究の実施期間においても継続してサンプリングを行なった。本研究ではすでに散布されている種子ではなく自然に落下した種子を用いる必要があるため、結実木の直下に落下した種子を分析対象とした。

種子の酸素同位体分析は地球総合環境研究所の分析機器(熱分解型元素分析計と質量分析計)

を用いて行なった。

解析は、応答変数を各種子の酸素同位体比、説明変数は小川試験地の対象年の気温、降水量とする一般化線形モデルで行った。気温と降水量は、近隣のアメダス地点(気温：北茨城、降水量：花園)のものを用いた。

研究2) 過去の種子散布の評価

研究1で特定した気象要因を特定できれば、過去の気象要因をもとに過去の検量線を作成し、さらに過去の種子散布の再現に挑戦することとした。対象は風散布樹木とした。記録的な台風(台風19号)が小川試験地を通過した1991年に採取された散布種子を用いて、その種子散布距離を推定しようとした。しかし、「研究成果」で後述するように気象要因と種子の酸素同位体比の相関が弱いもしくは相関が見られなかったため、研究2は実施できなかった。

4. 研究成果

研究1について、30年以上サンプリングされてきた種子の抽出整理を行い、イヌシデとミズメ(いずれも風散布樹木)を対象に種子の酸素同位体比分析を行なった。イヌシデについては15年分のデータが得られ、種子の酸素同位体比の年変動は19‰から23‰であった。同所で基本的に同一の結実木でサンプリングしたことを考えると、その変動はかなり大きいものであった。種子の酸素同位体比と気温・降水量の関係を解析したところ、種子成熟期の平均気温との弱い正の相関が検出された(決定係数0.103、図2)。ミズメについては17年分のデータが得られ、種子の酸素同位体比の年変動は18‰から21‰であり、イヌシデに比べるとその変動は小さかった。種子の酸素同位体比と気温・降水量の関係を解析したところ、気温・降水量のいずれとも相関は認められなかった(決定係数0.006以下)。

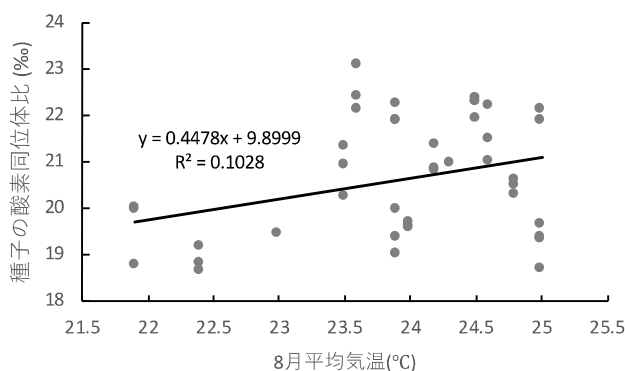


図2 イヌシデ種子の酸素同位体比と8月の平均気温の関係

研究2について、その実施には研究1で種子の酸素同位体比と相関のある気象要因を特定する必要があった。しかし、種子の酸素同位体比と相関が得られたイヌシデについても相関が弱かったため、過去の気象データをもとにした過去の種子散布評価は実施できなかった。

一連の研究から、気温は樹種によっては種子の酸素同位体比の影響要因になっていることが明らかになった。種子の酸素同位体比と気象要因の関係を詳細に検討した研究はこれまで国内外になく、貴重な事例報告といえる。さらに、本研究の結果は過去の気象データをもとにした過去の種子散布評価が可能であることを示唆している。しかし、対象樹種ではその相関は弱く過去の種子散布評価までには至らなかった。興味深いことに、イヌシデとミズメのいずれにおいても、同じ年にサンプリングされた種子は異なる年にサンプリングされた種子に比べて酸素同位体比が類似する傾向が見られた。この結果は今回検出できていない何らかの気象要因によって種子の酸素同位体比が年変動している可能性を示唆している。今回対象とした気象要因はデータが利用しやすい気温と降水量であったが、樹木年輪を対象とした研究では日本のような温帯では相対湿度の影響も大きいとされている。相対湿度を中心に他の気象要因との対応関係も調べることで、種子の酸素同位体比に強く影響する気象要因が特定できるかもしれない。過去の種子散布評価を行うには、気象要因とより強い相関を持つ樹種を探索的に明らかにすること、種子からセルロースのみを抽出して分析することで測定値のばらつきを小さくすること、複数元素の同位体を用いることで種子散布距離の推定精度を向上させることなども有効と考えられ、今後さらに検証を進めていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Bogdziewicz Michal, Naoe Shoji, Parmenter Robert, Perez Ramos Ignacio M., Piechnik Lukasz, Podgórski Tomasz, Poulsen John, Qiu Tong, Redmond Miranda D., Reid Chantal D., Rodman Kyle C., Šamonil Pavel, Holik Jan, Scher C. Lane, VanMarle Harald Schmidt, Seget Barbara, Shibata Mitsue, Clark James S et al.	4. 巻 32
2. 論文標題 Linking seed size and number to trait syndromes in trees	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Global Ecology and Biogeography	6. 最初と最後の頁 683 ~ 694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/geb.13652	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Qiu Tong, Espelta Josep Maria, Fahey Timothy J., Farfan-Rios William, Franklin Jerry F., Gehring Catherine A., Gilbert Gregory S., Gratzer Georg, Greenberg Cathryn H., Guignabert Arthur, Guo Qinfeng, Hackett-Pain Andrew, Hampe Arndt, Han Qingmin, Holik Jan, Naoe Shoji, Shibata Mitsue, Clark James S. et al.	4. 巻 9
2. 論文標題 Masting is uncommon in trees that depend on mutualist dispersers in the context of global climate and fertility gradients	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Plants	6. 最初と最後の頁 1044 ~ 1056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-023-01446-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Niiyama Kaoru, Shibata Mitsue, Saitoh Tomoyuki, Naoe Shoji	4. 巻 39
2. 論文標題 Competitive ability of dwarf bamboo (<sc><i>Sasa borealis</i></sc>) through long term clonal growth in mixed dwarf bamboo communities in the understory of a temperate deciduous forest	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Species Biology	6. 最初と最後の頁 14 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1442-1984.12437	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 設楽 拓人、直江 将司、柴田 鏡江、松井 哲哉、新山 馨、田中 浩、中静 透	4. 巻 23
2. 論文標題 小川試験地とその周辺における野生維管束植物目録	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 森林総合研究所研究報告	6. 最初と最後の頁 29 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20756/ffpri.23.1_29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 直江将司、生方正俊、綱本良啓、陀安一郎
2. 発表標題 樹木サイズが種子の酸素同位体比に与える影響：種子散布の観点から
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 島田将吾、直江将司、柴田嶺
2. 発表標題 カラス属の種子散布における果実選好性：新潟大学五十嵐キャンパス周辺での事例
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shoji Naoe
2. 発表標題 Directionality of long-distance dispersal of seeds: the role of altitudinal, latitudinal, and longitudinal seed dispersal under climate change
3. 学会等名 INTECOL2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 直江将司
2. 発表標題 動物に送粉・種子散布を依存する植物群集の開花・結実フェノロジー：景観レベルの評価
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	柴田 銃江 (Shibata Mitsue) (10343807)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主 任研究員 等 (82105)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------