

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05687

研究課題名（和文）種子の散布・生存・発芽特性を考慮した日本産樹木種の更新適地の将来予測

研究課題名（英文）Recruitment suitability for Japanese tree species: a future prediction with seed dispersal, survival and germination traits

研究代表者

楠本 聞太郎（Kusumoto, Buntaro）

九州大学・農学研究院・助教

研究者番号：90748104

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：気候変動による樹木種の分布変化を予測するアプローチを検討した結果、種の出現記録に対して、生理・繁殖のデータが乏しいため、地理分布データを用いてこれらのパラメータを推定するインバース・モデルが有効であると考えられた。また、樹木種毎の動態パラメータを得るために、沖縄島北部の森林モニタリングデータから、種レベルの成長率、枯死率、新規加入率、萌芽更新率を明らかにした。さらに、マクロスケールの分布データと種子の機能特性を分析し、気候フィルターの影響を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動に対する生物多様性の変化を予測することは、将来的な保全・再生のプランニングにおいて重要である。また、多種系を扱う上で、予測手法の主流となっている相関ベースのアプローチと、生理・生態メカニズムを組み込んだ機構論的アプローチの併用は、観測データの充実化とモデルの改良の両方の側面で重要である。

研究成果の概要（英文）：In this project, I examined several approaches to predicting changes in distribution of tree species due to climate change and concluded that because physiological and reproductive data are scarce compared to species occurrence records, an inverse model that estimates these parameters using geographic distribution data was an effective way. In addition, to obtain demographic parameters for each tree species, we clarified species-level growth rates, mortality rates, new recruitment rates, and sprouting rates from forest monitoring data in the northern part of Okinawa Island. Furthermore, we analyzed macro-scale distribution data and seed functional characteristics to clarify the influence of climate filters.

研究分野：保全生態学

キーワード：生物多様性 種分布モデル 将来予測 気候 生理特性 森林動態

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

将来的な生物多様性損失を防ぎ、増加トレンドに転じるための保全・再生戦略の構築と実践が急務となっている。生物多様性は地理的空間上に不均等に分布しているため、保全・再生においては限られたリソースの最適配分を考えなければならない。これを実現するためには、それぞれの種が気候変動にどのように応答し、その結果として生物多様性の分布がどのように変化するかかの予測が必要になる。種の観測記録(いつ、どこで、どの種が見つかったか)が、生物の時空間的な分布を可視化するための主要なデータソースである。観測記録から時空間分布予測モデルを構築することにより、種の地理的分布の規定要因の解明や、様々な社会経済的制約(例:土地面積)の下で、最大限の保全効果を得るための空間プランニングが可能になる。長期的に実効性のある保全・再生アクションを考えるためには、現時点の種の分布だけでなく、気候変動による生息適地の変化も見越したプランニングが重要になる。樹木のような固着生物の場合、ある場所での生存個体の観測情報が予測モデリングに用いられることになる。しかし、その場所の環境が、種子の貯蔵・発芽から、個体の成長・生存、繁殖フェノロジーまで、統合的に適した環境なのか、将来的にも好適環境が保たれるかどうかはわからない(図1)。よって、在情報と種のライフステージに対応した生理・繁殖特性との対応関係を明らかにする必要がある。

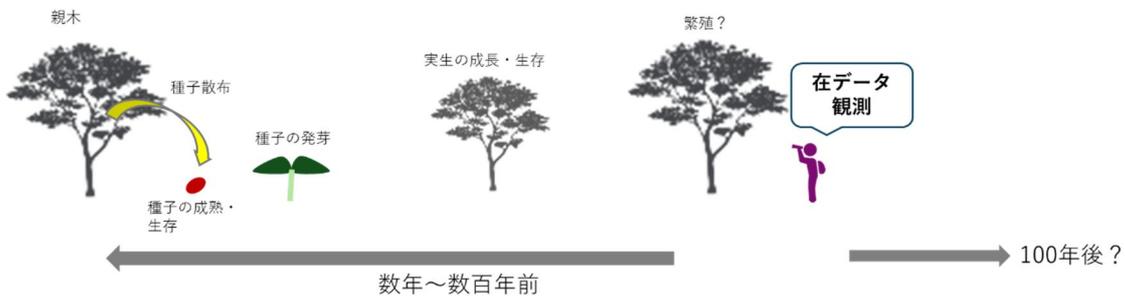


図1 在データの観測と種の生存・繁殖に適した環境条件のギャップのイメージ

生物の気候変動応答予測には、種の出現記録と気候要因との地理的な相関関係をモデル化し、それを将来の気候スペースに投影する手法が広く用いられている(相関ベース・モデリング)。一方で、現在の種の地理分布には、分散・定着・生存に対する生物的・非生物的フィルタリング及び確率論的プロセスが複合的に影響しているため、現在の気候要因との相関関係が将来的に保持されるかどうかは分からないという問題がある。

種の地理分布を規定するメカニズムの解明は、生態学・生物地理学の中心課題である。種ごとの地理分布は、歴史的な分散制限、環境による制約、および共存種間の相互作用によって形成されている。そのような決定論的プロセスの相対的重要性を理解する上で、機能特性(種の生存や成長に関わる特性)は有効なツールである。植物の場合、光合成や植物体の支持に関わる葉や幹の特性が一般的に用いられている。一方、種子の特性については、その潜在的な重要性に反して、圧倒的にデータが少ないのが現状である。種子特性には、空間的・時間的な分散、環境適応、被食回避・防御、実生の競争といった、種の存続を左右する様々な生態戦略が関係している。よって、種子特性の情報ギャップを埋め、種の地理分布との対応を検証することによって、種多様性の地理パターンの理解が大きく前進すると期待される。

### 2. 研究の目的

本研究では、気候変動によって日本産樹木種の分布範囲が将来的にどのように変化するかという問いに答えるための基礎的な知見を得ることを目的とする。特に、樹木種の生理・繁殖メカニズムを考慮した更新適地予測モデルを構築するために、1) 樹木種の分布に適用可能な機構論的モデルの検討、2) 種の生理・繁殖特性に関する基礎データの整備と分析を行った。

### 3. 研究の方法

#### 1) 樹木種の分布に適用可能な機構論的モデルの検討

種分布モデルに関する文献を幅広くレビューし、生理メカニズムを考慮したモデル及び、相関ベースモデルと組み合わせたハイブリッド分布予測モデルの適用事例について整

理し、それぞれの長所、短所を検討した。

## 2) 種の生理・繁殖特性

沖縄島北部の亜熱帯林において 1998 年から 2~5 年間隔で継続的に実施されている森林モニタリング調査のデータを用いて、種レベルのデモグラフィパラメータ(成長率、枯死率、新規加入率、萌芽更新率)を明らかにした。また、既存のデータベースの情報を収集・整理し、マクロスケールの樹木種分布データと種子の機能特性(種子散布、種子重、休眠)の地理的パターンを分析し、気候フィルターの影響を分析した。

## 4. 研究成果

### 1) 樹木種の分布に適用可能な機構論的モデルの検証

相関ベースの方法は、最も広く用いられている種分布モデリングの方法であり、多くのケースで、対象生物の現在の空間分布(在・不在)をよく判別することが報告されている。最小限の情報(種の在データと環境データ)でモデリングできることから、多数の生物種を扱う研究にも適用しやすいのが強みである。一方で、生物学的なメカニズムは考慮されていないため、疑似的な相関や、観測データの地理的な偏りによる影響を受けやすいという問題点が指摘されている。

機構論的モデル(メカニスティックモデル、プロセスベースモデル)で扱う生物学的メカニズムは大きく 6 つにまとめられる: 種間相互作用、分散、デモグラフィ、生理、環境応答、そして進化である。機構論的モデルには、個体レベルの生理活性と温度の関係といったシンプルなものから、種のライフ・サイクルの各ステージ(発生、成長、繁殖、死亡)をサブモデルとして持つ複雑なものまで様々である。また、相関ベースのモデルと組み合わせたハイブリッド型のモデルも提案されている。いずれのアプローチにおいても、地理分布を規定する全てのメカニズムを統合したモデルは、種分布の予測において強力なツールになり得るが、メカニズムに関わる全てのパラメータについてデータを得ることは非現実的である。このため、機構論的モデルはメカニズムの一部を反映したものにならざるを得ず、種の分布を過大評価する傾向にある。

生物学的メカニズムに関するデータを得るには、多くの実験・観測情報が必要で、ほとんどの分類群で、そのような情報は利用可能でない。このことが、機構論的モデルやハイブリッドモデルの多種系への適用への障壁になっている。例えば、代表的な生理学的分布レンジモデル(Phenofit)は、北米の温帯域に生息する十数種に限定されており(Morin & Lechowicz 2009)、様々な生物の生理的限界温度を登録した全球データベース(GlobTherm)には、約 2,000 種の情報しか登録されていない(Bennett et al. 2018)。このような情報不足に対する解析的な解決策の一つとして、インバース・モデリング法が提案されている(Evans et al. 2016)。インバース・モデルは、「生物学的メカニズムに関するデータ 機構論的モデル 地理的空間への投影」という流れとは逆に、「地理分布 機構論的モデルのパラメータ推定」という流れで解析を行うアプローチである。これは、少数の種についての詳細な観測・実験データと、多種系で利用可能な在データの両方の強みを活かせる点で有望である。特に、樹木に関しては、標本情報やプロット調査データの空間的・分類群的な網羅度が高い一方、個々の種の生理・繁殖パラメータは一部の種に限定されている。このような状況から、生理・繁殖特性を反映した樹木の地理分布予測には、豊富な地理的データを用いて、生理・繁殖パラメータの情報ギャップを埋めるといったインバースモデリングが有効な手段であると考えられた。

## 2) 種の生理・繁殖特性

沖縄島北部の亜熱帯林において 1998 年から 2~5 年間隔で継続的に実施されている森林モニタリング調査のデータを用いて、種レベルのデモグラフィパラメータ(成長率、枯死率、新規加入率、萌芽更新率)を明らかにした。胸高断面積合計で見た個体の平均成長率は 6% 12% であり、スタジイ(Castanopsis sieboldii)で成長率が高く、イスノキ(Distylium racemosum)で最も低かった。個体の新規加入率および死亡率の平均値は、それぞれ 4.1% と 3.7% であった。種別に見ると、スタジイでは 2006 年から 2014 年にかけて、新規加入率(3.4%)が死亡率(0.8%)を上回っていた。イスノキでも同様に、同期間内において、新規加入率(2.0%)が死亡率(0.9%)を上回っていた。これらの分析によって、沖縄島北部の亜熱帯林の主要構成樹種について、広域における種の気候(ベータ)ニッチと組み合わせ、機構論的に種の分布推定を行うためのインバースデータを得ることができた。

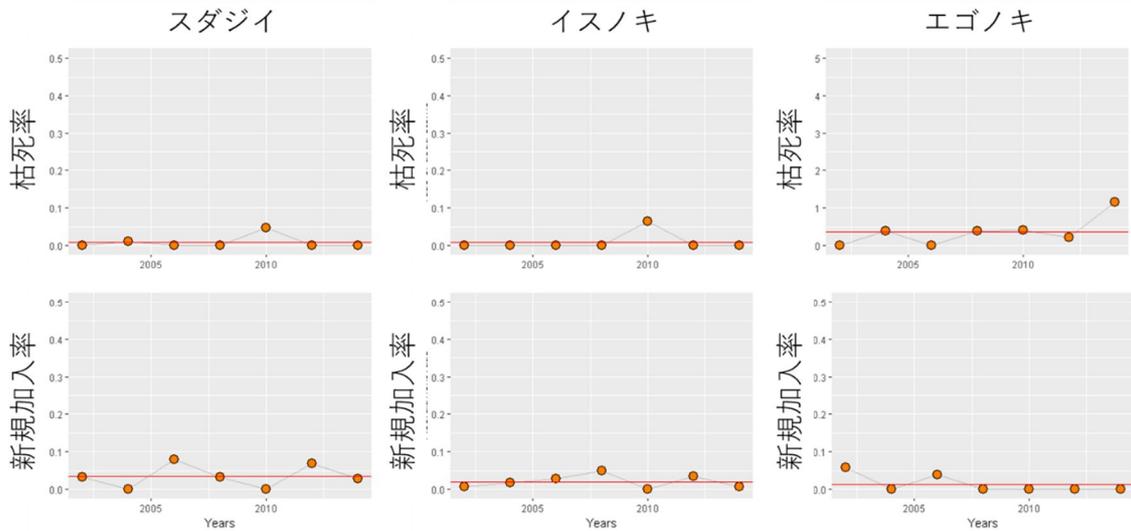


図2 種ごとの動態パラメータ（枯死率・新規加入率）の推定結果の例

このほか、種子の形態、休眠特性に関するマクロスケールの分析として、琉球大学グループと共同し、種子の機能特性（種子散布、種子重、休眠特性）を樹木種の地理分布に投影した。気候要因との相関関係から、種子の散布・生存に対する気候フィルター効果の影響が明らかになった。また、種子の散布様式（風、水流、動物、重力）休眠タイプ（生理学的休眠、物理的休眠、非休眠）及び種子重は相互に関係していることが明らかになった。このことから、種子特性を統合的に用いることで、種分布の予測精度が高められる可能性が示唆された。

#### 引用文献

- Bennett, J. M., Calosi, P., Clusella-Trullas, S., Martínez, B., Sunday, J., Algar, A. C., ... & Morales-Castilla, I. (2018). GlobTherm, a global database on thermal tolerances for aquatic and terrestrial organisms. *Scientific Data*, 5(1), 1-7.
- Evans, M. E., Merow, C., Record, S., McMahon, S. M., & Enquist, B. J. (2016). Towards process-based range modeling of many species. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(11), 860-871.
- Morin, X., & Lechowicz, M. J. (2008). Contemporary perspectives on the niche that can improve models of species range shifts under climate change. *Biology Letters*, 4(5), 573-576.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fuji Akinori, Kusumoto Buntarou, Shiono Takayuki, Kubota Yasuhiro, Ulrich Werner, Dickie John B., Chen Si Chong	4. 巻 6
2. 論文標題 Geographic patterns of seed dormancy strategies along latitudinal and climatic gradients, Japanese East Asian islands	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Statistics and Data Science	6. 最初と最後の頁 885 ~ 901
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42081-023-00215-0	査読の有無 無
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 Ulrich Werner, Kusumoto Buntarou, Shiono Takayuki, Fuji Akinori, Kubota Yasuhiro	4. 巻 38
2. 論文標題 Latitudinal gradients of reproductive traits in Japanese woody plants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 188 ~ 199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12363	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 楠本 寛太郎
2. 発表標題 生物分布の時空間予測：機構論的モデル構築に向けた課題
3. 学会等名 科研費シンポジウム 予測モデリングの理論と応用（招待講演）
4. 発表年 2021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
研究協力者	久保田 康裕 (Kubota Yasuhiro) (50295234)	琉球大学  (18001)	

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
---------	---------