

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K17913

研究課題名（和文）グローバル生態系モデルの開発とその生物多様性保全への応用

研究課題名（英文）Developing a global ecological model and its application to biodiversity conservation

研究代表者

高科 直（Takashina, Nao）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：30855242

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）： 生息地破壊は地球規模で生じる環境問題であり、その保全を議論する上でマクロ生態学が対象とするような広大な空間スケールでの議論が欠かせない。本研究では、マクロ生態学の知見を援用し地球規模の生態系のパターンを記述し、また土地利用動態と組み合わせることで、地球規模で起こりうる生物多様性損失の定性的パターンを調べた。その結果、幅広いシナリオのもとで、単位土地変化面積当たりの絶滅リスクが土地利用の進行とともに増大していくというパターンが示された。一方、保護区の導入には絶滅リスクを効果的に減少させることができ、特に早期の導入であるほどより高い保全効果を発揮することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

年々その甚大さを増す生物多様性の損失は持続可能な社会構築のために解決すべき最重要課題の一つである。本研究では、生態学の長年の研究対象である種の絶滅リスクを、土地利用動態と組み合わせることで社会生態システムの枠組みで議論し、その性質をマクロスケールにおいて包括的に捉えようという試みである。

本研究で得られた知見は、地球規模で進行する生物多様性損失に関するより深い洞察を与え、また保護区が生き物の絶滅リスクを減少させる効果を明示的に議論したことで生物多様性の保全戦略を考える上で重要な示唆を与えると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Habitat destruction is a global environmental problem, and discussions of its conservation at the broad spatial scales that macroecology addresses are indispensable. In this study, we applied the insights of macroecology to describe global ecological patterns and combined them with land use dynamics to investigate qualitative patterns of biodiversity loss that could occur on a global scale. Our results show that under a wide range of scenarios, marginal extinction risk increases with the progression of land use change. On the other hand, the results suggest that the introduction of protected areas can effectively reduce extinction risk, and that the earlier the introduction of protected areas, the greater the conservation benefit.

研究分野：数理生態学

キーワード：生物多様性 生態系保全 数理モデル 絶滅リスク 保護区

1. 研究開始当初の背景

地球規模で生物多様性の減少が進行している。生物多様性の減少は、種や遺伝的多様性の損失のみならず、それに伴う外来種侵入や感染症リスク増大など甚大な社会経済的損失をもたらす。そのため生物多様性保全は喫緊の課題であり、効果的な保全を達成するための現状理解および将来予測が欠かすことができず、その為の枠組み構築が求められている。

「発見される生物種数は観測面積の増加と共にどの様に変化するか」という問いは、長らく生態学の中心的興味の一つであった。この問いの拡張として「生息地の破壊面積と絶滅する種の関係性はこういったものか」という議論も展開されてきた。一方、昨今の地球規模に及ぶ生物多様性保全の要請を満足するような理論的枠組み構築は十分に達成されていない。また既存の生態学的興味に基づく理論に立脚する絶滅評価手法では、世界各地で同時進行的に発生する土地開発の影響を十分に効果することができず、これが人間活動が生物多様性に及ぼす影響評価を限定的なものにしている。

2. 研究の目的

本研究では地球規模で進行する土地改変を念頭に置き、マクロ生態学が対象とする広域生態系を念頭においた議論を行う。また、既存の絶滅評価の枠組みが想定している様な単一の領域をベースとした議論や、各時点を通じ一定の生息地分断度合いを前提としている議論ではなく、土地利用面積の拡大に加え新規土地改変の発生など、同時進行的に土地改変が起こり、動的に生息地の分断度合いが変化していく土地利用の空間的動態を捉える「土地利用動態モデル」を構築した。このモデルを用いることでより現実に即した状況を想定する。これを生態系の空間パターンと併せて議論することで地球規模における生物絶滅リスクを評価するための新たな理論的枠組みを構築する。

3. 研究の方法

(1) 生態系の空間的パターン

空間上の種分布域の空間分布パターンは、研究代表者が過去の研究で構築した幾何学的アプローチによる記述手法 (Takashina et al., *Journal of Theoretical Biology*, 461:2019) を用いる。これにより野外で観測されるマクロ・群集生態学的データと一定の整合性を担保できる様な方法で空間分布を記述できる。加えて、この生態系の記述方法の拡張として種数の緯度勾配 (高緯度地域では種数が減少する) が生じるといったシナリオも併せて考察した。また種分布域サイズの頻度分布 (RSFD: species range size frequency distribution) は、多くの分類群で観測される、対数スケール上で左に歪んだ分布を持つ仮定をおいている。これらは、数理モデル上において図1に示されている生息域の空間分布や、分布域サイズの差異によって表される。

(2) 土地利用の動態

土地改変による生息域消失は、土地利用の時空間動態を表す土地利用動態モデルで記述した。これは新たな土地改変が空間のある点において一定の割合で生じ、また既に存在する土地利用のある領域の拡張を記述するモデル (図1の茶色円) であり、本研究の目的のために新たに構築したものである。数理モデルとしてはフィッシャー=KPP方程式の拡張であり偏微分方程式で記述される。土地利用領域がその拡張によって生息地に重なると、重なり部分の生息地が消滅するとし、土地利用領域の拡張速度、新たな土地改変の発生確率およびその地点などは複数のシナリオを考慮した (例: 土地利用領域の空間的自己相関の有無、南北と東西の土地利用領域の拡張速度が異なるなど)。また、生態系の保全方策として保護区の導入を考慮し、保護区が導入された地点においては土地改変が起こらないと仮定した。

(3) 絶滅リスク評価

絶滅リスクの指標として、IUCN 絶滅危惧種レッドリストの、生息地ベースの絶滅リスク評価方法を参考に定義した。特に、生息地が完全に消失した状況を即時絶滅 (immediate extinction) と定義する一方、生息地の大部分 (例: 95%消失) が消滅した場合にも時間遅れで絶滅が起こる可能性があるため (絶滅の負債として知られる)、その様な絶滅の定義も併せて考慮した。生息地の完全消失を即時絶滅と定義するのは、生態学研究に用いられる固有種面積曲線 (EAR: Endemics-area relationship) による評価と同様であるが、それとの相違点として、本研究では土地利用領域の面積を考慮している点、それらが同時進行的に起こりまた新規土地改変も生じるといった点が挙げられる。

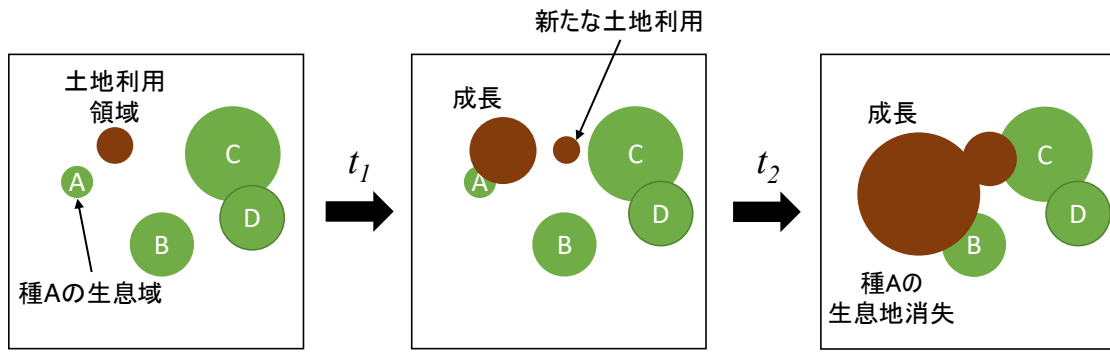


図1：構築したモデルの概要。土地利用が発生・拡張する時空間的動態を記述する。これにより、生息地が破壊され、その消失度合いにより種の絶滅が生じる。

4. 研究成果

(1) 都市化に伴う生息域消失の定性的パターン

数値計算により、様々な生態系の空間分布パターンおよび土地利用のシナリオごとに絶滅リスクを評価した。絶滅リスクを土地改変による生息地の完全な消滅という指標で評価した場合（生態学で用いられる Endemics-area relationship の一般化による評価）、同等の新規土地利用面積の増分という条件に関わらず、既に失われた生息地が大きいほど、ある一定の土地利用面積の増加に伴い予測される絶滅種数が増加するという結果が多く土地利用シナリオのもとで示された（図2）。またこの傾向は新規土地改変が起こる頻度が大きくなるほど顕著になることも示された。

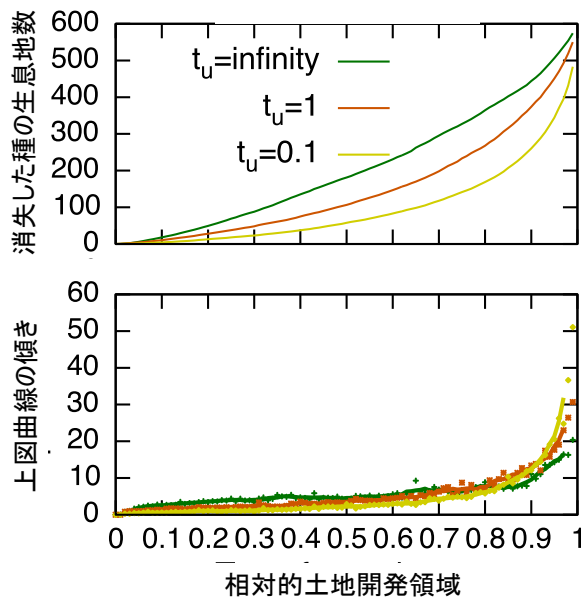


図2 考慮している領域における相対的土地利用領域と消失生息域数の関係（上図）と上図のカーブの平均的な傾き（下図）。異なる色は異なる土地利用シナリオを表し、 t_u が小さいほど新たな土地利用が起こる頻度が高くなる。

一方で上述の適用する絶滅の定義を変えると、定性的に異なる絶滅パターンが示されることも示した。しかし上述の即時絶滅以外の定義（例：生息地が9割消滅すると絶滅と定義する）を用いると、絶滅が起こるまでに時差が生じるいわゆる「絶滅の負債」が起こり、絶滅のタイミングに関する時間軸上の不確実性が発生する（時差は数百年に及ぶこともあることが知られている）。

(2) 保護区を導入した際の保全効果の評価

続いて生物多様性保全のために保護区を導入した際、上記の定性的な絶滅リスクのパターンに対する影響を調べた。保護区の導入により絶滅リスクを効果的に減少されることを示し、更に導入のタイミングが早いほど、その絶滅リスク減少に対する効果が大きくなることが示された。

一方、その効果はやはり絶滅の定義により大きく異なり、例えば即時絶滅の定義を採用した場合、ごくわずかな保護区領域だけで絶滅を防げるが、生息地の9割消滅を絶滅と定義すると、土地利用から絶滅を防ぐためには保護区の割合は少なくとも対象種の生息域の1割は必要になる。しかし、上述の議論と同様、即時絶滅以外の絶滅の定義を用いると、絶滅リスク評価に時間軸上の不確実性が生じる。

本研究の結果は絶滅リスクの加速化機構の新たな説明要因を提唱する一方、改めて絶滅の定義とそれが用いられる文脈の明確化の必要性、また環境保全政策の時間軸上の不確実性を減少させるため「絶滅の負債」のより詳細な理解の重要性を示唆する。IUCN 絶滅危惧種レッドリストの絶滅リスク評価方法においても、生息地ベースの評価手法と個体数ベースの評価手法が存在する。これらの異なる手法を統合する方法が、不確実性を減らしたより効果的な絶滅リスク評価手法構築に必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takashina Nao	4. 巻 9
2. 論文標題 Long-Term Conservation Effects of Protected Areas in Stochastic Population Dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 672608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fevo.2021.672608	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 -

1. 著者名 Kass Jamie M., Takashina Nao, Friedman Nicholas R., Kusumoto Buntarou, Blair Mary E.	4. 巻 n/a
2. 論文標題 Idea paper: Improving forecasts of community composition with lightweight biodiversity monitoring across ecological and anthropogenic disturbance gradients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12294	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 該当する

1. 著者名 Takashina Nao, Tanaka Toshinori	4. 巻 n/a
2. 論文標題 Immediate and cumulative stresses associated with the multiscale impacts of ecotourism on ecological status and resilience	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability Science	6. 最初と最後の頁 n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11625-022-01142-x	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高科直
2. 発表標題 長期的な保護区効果に関する研究
3. 学会等名 第37回個体群生態学会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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