

平成 30 年 5 月 24 日

報道機関 各位

東北大学大学院生命科学研究科

## 複雑な生態系を維持するシンプルな仕組み 「一人勝ち」させないことが自然のバランスを保つ

### 【発表のポイント】

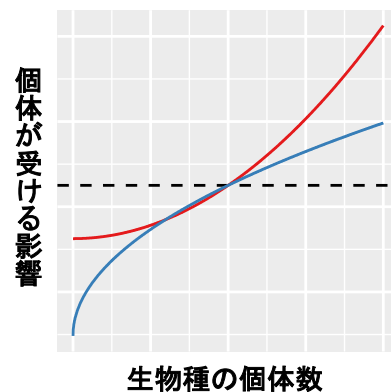
- 複雑な生態系のバランスがいかんにして保たれているかは生態学における未解決問題
- 生物種の「一人勝ち」を防ぐ仕組みが、生態系のバランスを保つ鍵であることを理論的に示した
- 生態系の成立が理解できるだけでなく、効率的な多様性保全法の開発など応用にも期待

■ **概要**：東北大学生命科学研究科の川津一隆助教、近藤倫生教授のグループは、自然のバランス<sup>注1)</sup>が保たれる仕組みを世界に先駆けて解明しました。1972年、理論生態学の権威ロバート・メイ博士が「複雑な生態系は不安定である」という、従来の予想を裏切る理論解析結果を報告し研究者たちを驚かせました。<sup>注2)</sup>しかしながら、この理論予測は複雑な自然生態系が実際には存続している事実と矛盾しており、自然のバランスが保たれる仕組みの解明が待たれていました。本研究グループは、生態系における生物種の「成功（どれほど繁栄するか）」の程度によって、生物が他の種から受ける影響が変化することを組み込んだ数理モデル<sup>注3)</sup>を構築・解析しました。その結果、「成功するほど邪魔される」あるいは「失敗するほど助けられる」といった、「一人勝ち」を防ぐ仕組みが少しでもあれば、生態系が複雑でも、そのバランスは容易に保たれうることを発見しました。本研究の結果は、生物種間の関係性のあり方が自然生態系の維持を説明するだけでなく、多様性保全の鍵となることを示唆しており、基礎・応用両面から重要なものといえます。本研究の成果は、日本時間の2018年5月23日午前8:00に英国科学誌「*Proceedings of the Royal Society B*」にオンライン出版される予定です。なお、本研究は科学技術振興機構CREST及び日本学術振興会科研費の助成を受けて行われました。

■ **研究の背景**：自然生態系では無数の生物種が互いに関わり合いながら共存しています。また、このような生態系では特定の生物種が大発生を起こしたり絶滅したりする、といった個体数の大きな変化はあまり生じていません。一方で、理論研究からは生物の種類の数（種数）が多くなるほど生態系が維持されにくくなることが予測されています。この理論と実証のギャップは、生態系には生物個体数の大変動を抑える、まだ知られていない何らかの仕組みが働いていることを示唆しています。そのため、この「自然のバランス」を保つメカニズムを明らかにする試みがこれまで多くの研究者によって行われてきました。しかしながら、その多くは繊細な条件を必要としたり、仕組み自体が複雑であったりする場合がほとんどで、どれも決定打に欠けているのが現状でした。

■ **研究の内容**：本研究では、自身の個体数によって他の生物種から受ける影響が変わる「密度依存的」な種間関係の存在に着目しました。一言で種間関係といってもそのあり方は多様です。例えば、ある生物種が相手種から受ける効果は不変ではなく、増えれば増えるほど雪だるま式に大きくなる場合や、頭打ちになる場合など個体の数に応じて変化するものが知られています（図 1）。このような効果は種間関係の密度依存性と呼ばれ、自然界でも多様なことが分かっていました。それにもかかわらず、これまでの研究ではどの種間関係も同じ密度依存性を持つことを前提としています。そこで、密度依存のパターンが自然のバランスに及ぼす影響を評価するために、数式を用いた自然生態系のモデル（数理モデル）を作成しました。

図 1. 種間関係の密度依存性

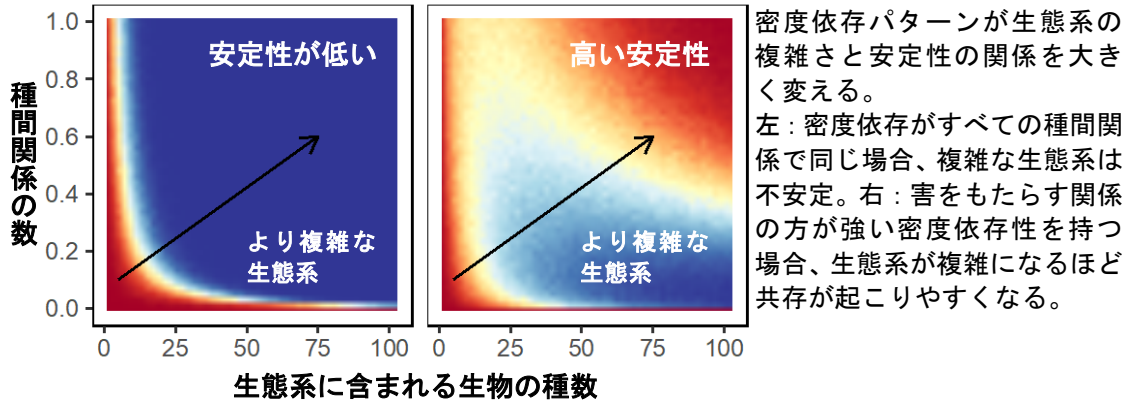


種間関係の効果が個体数によって変わる様子（破線：密度依存性なし、赤線：個体数の増加に対して雪だるま式に効果が大きくなる場合、青線：個体数の増加に対して効果が頭打ちになる場合）。

この数理モデルは、生物の個体数が種間関係の影響を受けて変化する様子を再現した一般的なモデルに、個々の種間関係の効果が個体数にどう依存するか、つまり密度依存性が様々なパターンを取るという仮定を追加しただけの極めて単純な構造をしています。このモデルを解析したところ、密度依存のパターンが自然のバランスに与える影響について 2 つの重要な事実が明らかになりました。まず、自身の個体数が増えた（＝繁栄した）場合に利益をもたらす種間関係よりも、害をもたらす種間関係の効果の方が強くなりやすい生態系では自然のバランスが保たれやすいことがわかりました。言い換えると、「一人勝ち」を防ぐ仕組みが、自然のバランスを保っているということができるとのことです。さらに、このような種間関係における密度依存性の違い（有害な種間関係の方が有益なものよりも大きい）が少しでも存在する場合には、理論的には自然のバランスを崩す

とされてきた生態系の複雑性（種間関係を結んだ種の数が多い）が、全く逆の効果を生み出し、生態系の安定性が高くなることが明らかになりました（図2）。

図2. 生態系の複雑さと安定性の関係



■ **研究のインパクトと今後の展望**：本研究では、利益や害をもたらす種間関係の間で密度依存に差があることが自然のバランスを保つメカニズムであることを明らかにしました。この結論は、密度依存が個々の種間関係で変化する、という単純な仮定と、その差が少しでも良い、という一般的な条件の下で成立するものです。そのため、「種間関係の密度依存」という自然のバランスを保つメカニズムを考慮することで、生態系がなぜ攪乱地のような単純なものから熱帯多雨林やサンゴ礁における複雑なものまで様々な多様性を持つのかを説明できると期待されます。また、自然生態系の密度依存性を定量化すると保全すべき種間関係がわかるなど、効率的な多様性維持の方策の指標となることが期待されます。

## ■ 用語解説

注1) 自然のバランス

自然のなかには非常に多くの種類の生物種が共存していて、その数は地球全体で数百万ともいわれています。これらの生物種はさまざまな関係を通じて互いの個体数に影響を及ぼし合っています。最も競争に強い種だけを残してほかの生物種がいなくなってしまうのはなぜでしょうか。餌となる生物が足りなくなったり、ほかの生物に食べ尽されたりして、生物が絶滅するということがあまり生じていないのはなぜでしょうか。互いに関係する多くの生物種が個体数を極端に増やしたり、減らしたりすることなく、長い間共存できることをここでは「自然のバランス」と呼んでいます。「自然のバランス」が保たれる仕組みの解明は生態学における最も重要な課題の1つです。

注2) ロバート・メイの理論（あるいはメイの理論）

Robert May（ロバート・メイ）は1972年に生態系の複雑性と安定性の関係についてそれまでの考え方を覆す重要な理論研究の成果を発表しました。種間関係

によって生物の個体数が増減する様子をとらえた数理モデルを利用して、種の数が多い生態系ほど、そして関係を結んでいる種ペアの数が多い生態系ほど、個体数の時間変化が不安定になることを理論的に予測したのです。それまで、自然生態系の複雑性こそが自然のバランスを保つのだと期待されてきましたが、それとは全く逆の予測をもたらしたのです。この理論予測は、自然は複雑だからこそバランスがとれているのだと信じていた当時の生態学者に驚きを持って迎えられました。この理論予測が登場することで、複雑な生態系（種数が多く、種間の関係の多い生態系）がどのような仕組みで維持されているかを解明しようとする研究が盛んに行われるようになりました。

### 注3) 数理モデル

直接的な実験や観察が困難なときには、しばしば模型が利用されます。例えば、車の安全性能を調べる衝突実験には、本当の人間ではなくて、人間の特徴を備えた「衝突実験用模型」を利用するのが普通です。自然科学の研究においても、研究対象とする現象や系の注目する特徴を抽出し、そのような特徴を備えた数学的な模型を使って研究を進めることが可能です。このような数学を利用した模型のことを数理モデルと呼びます。本研究では、たくさんの生物種が互いに助け合ったり、食べたり、食べられたりすることで個体数を変動させる様子をとらえた数理モデルを利用しています。

#### 【論文題目】

題目: Density-dependent interspecific interactions and the complexity-stability relationship

著者: Kazutaka Kawatsu and Michio Kondoh

雑誌: Proceedings of the Royal Society B

DOI: 10.1098/rspb.2018.0698

#### 【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科

川津 一隆 (かわつ かずたか)

電話番号: 022 795 6696 Eメール: kazutaka.kawatsu.d5@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科広報室

高橋 さやか (たかはし さやか)

電話番号: 022 217 6193 Eメール: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp