

報道機関 各位

【世界初】「プラスマイナスゼロ:生物同士のとんとんの関係が生態系のバランスの鍵」
島根大学生物資源科学部 舞木昭彦 准教授が解明

島根大学生物資源科学部の舞木昭彦 准教授は、「生物同士の関係の豊かさゆえに生じる互いの影響の相殺効果」が、自然のバランスを保つ鍵であることを世界で初めて突き止めました。

本研究成果は、2024年1月25日に世界的に権威のある米国科学誌「Ecology」(電子版)に掲載されました。

■本研究のポイント

- ・異なる生物種同士の影響のしかた(例:資源を奪い合う競争関係)は2種の間でさえ一通りでなく、多様に影響しあうこと(デュアル相互作用)に着目した。
- ・デュアル相互作用は、互いの生物個体数への影響を無効化する働きがあることを計算により示した。
- ・生物同士の影響(相互作用)が弱いことが、生態系のバランスにおいて重要であることが知られていたが、その新たな仕組みを提案するとともに、相互作用の弱さは必ずしも関係性の弱さに起因しないことを示した。
- ・一見同じ弱い相互作用でも、その損失が生物種の存続に大きく影響するかどうかは、生物種同士の関係の強さに依存する可能性があることを示唆した。

■研究の背景

生物たちが絶滅せずに長期的に安定した個体数を維持している仕組みに関する有力な仮説のひとつに「弱い相互作用」がある。これは、異なる生物同士の個体数への影響が弱いほど、個体数変動を緩和しやすくなり生態系の安定性が高まることを意味する。

相互作用が弱くなる仕組みはいくつか考えられるが、たいていは生物同士の関係がそもそも弱いことに起因する。

これまでの生態系の安定性に関する理論では、デュアル相互作用を想定しておらず、デュアル相互作用が生態系の安定性に与える影響については明らかになっていなかった。

■研究の成果

数理モデル(※1)によりこの問題を分析した結果、デュアル相互作用がたくさんあるほど、生態系はより安定することが明らかとなった。

デュアル相互作用とは、従来想定している単一の相互作用(競争関係など)とは異なり、複数の関係性による相互作用(競争関係と共生関係など、A種とB種における影響が複数の相互作用で成立)のことを意味する。

「デュアル相互作用」を考慮すると、かならずしも関係の弱さを必要とせず、弱い相互作用を作り出すことが可能であると考えられる。これはデュアル相互作用では、お互いの生物種に対してプラスとマイナスの両方の影響が発生するため、それらが打ち消しあい、相互作用が弱まることによる。

■今後の展望

本研究は、生物の保全の観点から重要な示唆を与えるものである。もし、ある生物 A から特定の生物への弱い相互作用が失われた場合(例:ある餌生物を利用できなくなる)、互いに強く依存した関係があるならば、いずれかもしくはその両方の生物種の存続が危うくなる可能性が考えられる。

■用語解説

(※1)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る。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式を使って研究を進めることができる。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ぶ。本研究では、たくさんの生物種が食べたり、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る。

■研究プロジェクトについて

本研究は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS)「科学研究費」(基盤 C: 20K06826,研究代表:舞木昭彦)の支援を受け実施しました。

■論文情報

論文タイトル: Dual species interaction and ecological community stability

(邦題)デュアル相互作用と生物群集の安定性

著者: 舞木 昭彦 (モウギ アキヒコ)

島根大学生物資源科学部/自然科学研究科・准教授

掲載誌: Ecology

[<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecy.4251>]

■本件の連絡先

〈研究に関すること〉

島根大学 生物資源科学部/自然科学研究科 舞木 昭彦 (モウギ アキヒコ) 准教授

Tel:0852-32-6430 Mail:amougi[at]gmail.com

〈報道に関すること〉

島根大学 企画部 企画広報課 広報グループ

Tel:0852-32-6603 Mail:gad-koho[at]office.shimane-u.ac.jp



【添付資料: ■あり(4 枚) □なし】

2024年 2月 1日

News Release

報道各位

プラスマイナスゼロ：生物同士のとんとんの関係が生態系のバランスの鍵

<発表のポイント>

- 異なる生物種同士の影響のしかた（例：資源を奪い合う競争関係）は2種の間でさえ一通りでなく、多様に影響しあうことに着目（デュアル相互作用）
- デュアル相互作用は、互いの生物個体数への影響を無効化する働きがあることを計算により示す
- 生物同士の影響（相互作用）が弱いことが生態系のバランスにおいて重要であることが知られていたが、その新たな仕組みを提案するとともに、相互作用の弱さは必ずしも関係性の弱さに起因しないことを示す
- 一見同じ弱い相互作用でも、その損失が生物種の存続に大きく影響するかどうかは、生物種同士の関係の強さに依存する可能性があることを示唆

<概要>

自然界では、多種多様な生物たちが他の生物と互いに関係しあいながら共存していますが、その共存の仕組みはいまだによくわかっていません。島根大学生物資源科学部の舞木昭彦准教授は、生物同士の関係性の豊かさに注目しました。異なる生物種同士は、これまで考えられてきた、一通りの相互作用（例：互いに邪魔しあう競争関係、互いに助け合う共生関係など、特定の関係により影響し合っている）だけでなく、同時に複数の相互作用をもつことがあります（デュアル相互作用）。このような“関係性の豊かさ”は、互いにプラスとマイナスの影響を同時に与えるため、影響を相殺し、あたかも関係がないかのようにみせる可能性があります。このような“隠された関係”は生態系内の生物たちの個体数変動を抑制し、生態系のバランスを保ち、多様な生物の共存を促進する働きがあることが計算により確かめられました。これまで生態系のバランスには、異なる生物同士の弱い相互作用が重要であると考えられてきましたが、本研究では、弱い相互作用は必ずしも弱い関係性からくるものではないことが示唆されました。本研究成果は1月25日にアメリカ生態学会の国際雑誌 *Ecology* 誌（電子版）に掲載されました。

<研究の詳細>

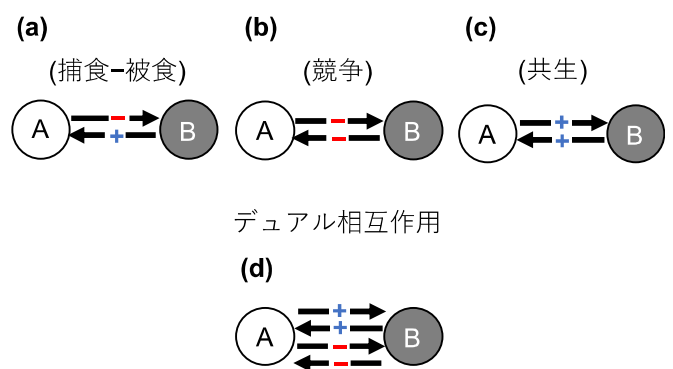
自然生態系の生物たちは他の生物を食べたり、邪魔したり、協力したりして互いに関係しながら生存し繁殖を繰り返しています。生物同士の関係は、生物の個体数の変動にも影響することから、生物たちの共存の問題にも深く関わります。しかし、生物たちが絶滅せずに長期的に安定した個体数を維持している仕組みについてはよくわかっていない点が多く、生態学*1 の大きな謎のひとつとして残されています。

生物同士が互いに影響を及ぼしあうことは「種間相互作用」とよばれ、生態系の中で重要な役割を果たします。生物種 A が生物種 B を食糧として利用すれば、A は捕食者、B は被食者であり、A と B は捕食-被食という相互作用（A→B にマイナス「-」、A←B にプラス「+」の影響）により繋がっていることとなります（図 1 a）。もし、A と B が生息場所や餌をめぐる干渉しあっているのなら、A と B は競争という相互作用（A→B、A←B たがいに「-」の影響）により繋がっており（図 1 b）、また A と B が助け合う関係であれば、A と B は共生という相互作用（A→B、A←B たがいに「+」の影響）により繋がっていることとなります（図 1 c）。このように異なる生物種同士は何らかの種間相互作用によりつながり、生態系はその構成生物種のあいだをつなぐ相互作用ネットワークと見ることができます。生態学では、このような複雑な生態系がバランス（安定化）する仕組みを考えてきました。

生態系安定化の仕組みの有力な仮説のひとつに「弱い相互作用」というものがあります。これは、異なる生物同士の個体数への影響が弱いほど、個体数変動を緩和しやすくなり生態系の安定性が高まるというものです。相互作用が弱くなる仕組みはいくつか考えられますが、たいていは、生物同士の関係がそもそも弱いことに起因します。例えば、捕食者は複数の餌生物種を利用するなら、それらへの努力投資配分を迫られるので、それぞれの餌生物への捕食率は自ずと目減りし、相互作用は弱まるはずで、はたして、このような“関係の弱さ”が生態系をバランスさせているものでしょうか？

本研究は、この問題に一つの回答をあたえます。のちに述べる「デュアル相互作用」を考慮すると、かならずしも関係の弱さを必要とせず、弱い相互作用を作り出すことが可能となります。では、デュアル相互作用とはいったいどういうものなのでしょう。それは、従来想定している一通りの関係による相互作用（A 種と B 種のあいだの互いへの影響が単一の相互作用で成立：「シングル相互作用」（図 1 a-c））とは異なり複数の関係性による相互作用

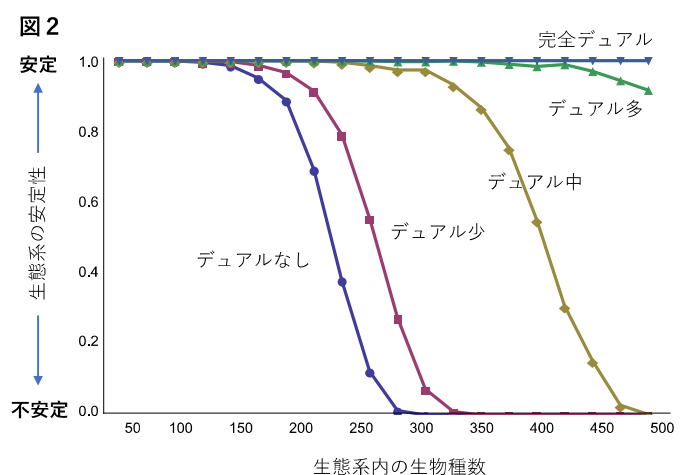
図 1 シングル相互作用（伝統的な見方）



(A種とB種のあいだの互いへの影響が複数の相互作用で成立)のことをさします(図1d)。たとえば、植物同士は光や場所や栄養などの資源を巡り競争していますが、一緒にいることで天敵である共通の植食者をよせつけにくくしたり、共通の送粉者(花粉を運んで繁殖を助けてくれる動物)を惹きつけやすくしたり、さらには、土壤環境などを改善することで他の植物の生育を可能にすることさえあります。同様に、資源を共有する鳥や魚などの動物も異なる種が集まっていることで、餌を探しやすくなったり、天敵への警戒が強められたりすることがあります。資源を与えあふ相利共生関係は、互いに資源を与えあふ協力関係でもありますが、資源の奪い合いと表裏一体の込み入った関係でもあります。また、一見シングル相互作用に思われる捕食者と被食者においてさえデュアル相互作用の場合があります。お互いに食べ合う場合がそれにあたります(たとえば、異なる魚同士でそれらの成魚がたがいの幼魚を食べあうのであれば、互いにプラスとマイナスの影響をもつことがわかります)。デュアル相互作用の例をあげれば枚挙に遑がないほどで、一般的な相互作用におもえてきます。

これまでの生態系の安定性に関する理論では、デュアル相互作用を想定してきませんでした。そのため、デュアル相互作用が生態系の安定性に与える影響については全くわかっていませんでした。本研究では、数理モデル^{*2}によりこの問題を分析しました。その結果、デュアル相互作用がたくさんあるほど、生態系はより安定することがわかりました(図2)。これはデュアル相互作用では、お互いの生物種に対してプラスとマイナスの両方の影響が発生するので、それらが打ち消しあい、相互作用が弱まることによります。

ここでようやく、「弱い相互作用は必ずしも弱い関係を必要としない」という意味がわかります。デュアル相互作用では、その関係性の強さに依存せず、相互作用が弱まる可能性があり、あたかも関係性がないかのごとく振る舞うのです。この理論は、保全の観点からも重要な示唆を与えます。従来の意味での弱い相互作用をしている生物



物考えた場合、もしある生物Aから特定の生物への弱い相互作用が失われても(例:ある餌生物を利用できなくなる)、生物Aの存続に大きな影響はないかもしれません。一方で、弱い相互作用がデュアル相互作用の結果として現れているものだとしたら、話が変わる可能性があります。互いに強く依存した関係もしくは切っても切り離せない関係かもしれないからです。そのばあい、いずれかもしくはその両方の生物種の存続が危うくなるかもしれません。

人間同士の関係をみても（同じ生物種同士の例なので注意が必要）、そもそも接点がほとんどない希薄な関係がある一方で、特に身近な人などを考えていくと弱くない関係（むしろ強い関係）とおもえるものも存在します。親しい関係では、相手がいると互いにプラスなこともあります。複数のライバル店は、客をめぐる競いますが、そのバリエーションが全体の総客数を増やすことで互いにプラスになっているかもしれません。お互いの存在がポジティブにもネガティブにもはたらくことは、互いへの影響を中和させ、歪みを生じにくくさせているのかもしれません。

<用語解説>

（注1）生態学

生物同士や、生物と物理環境のあいだの関係を理解する学問。生物の個体数や生息分布に関心があり、どのように多様な生物が共存しているのかを理解することは、生態学の大きな課題の一つである。

（注2）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。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式を使って研究を進めることができます。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。

<発表論文>

英文タイトル: Dual species interaction and ecological community stability

(邦題)デュアル相互作用と生物群集の安定性

掲載ジャーナル: *Ecology*

著者: Akihiko Mougi

URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecy.4251>

<研究資金>

本研究は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS)「科学研究費」(基盤 C: 20K06826,研究代表: 舞木昭彦)の支援を受け実施しました。

<研究に関する問い合わせ先>

舞木 昭彦 (モウギ アキヒコ)

島根大学生物資源科学部/自然科学研究科・准教授

〒690-8504 松江市西川津町 1060

Tel: 0852-32-6430 / Email: amougi[at]gmail.com