

令和3年1月22日

報道機関 各位

東北大学大学院生命科学研究科

植物と動物の存在比は何によって決まるか？ 4つの要因説を野外で同時に検証

【発表のポイント】

- 植物と動物の存在比を決める要因は「生産性説」「捕食者説」「防衛説」「化学量説」に大別されるが、どれが重要なのか明らかでなかった。
- これら4つの要因説を定量的に評価する理論的枠組みを構築し、池の生物群集に適用した。
- いずれの要因説も重要だが、特に「捕食者」と「化学量」の影響が大きいことが分かった。
- 植物と動物の存在比を決める諸要因説の重要性を定量的に比較した初めての研究。

【概要】

植物と動物の存在比がどのように決まるかは、生態学における大きな課題の1つです。これまで様々な説が唱えられましたが、「生産性説」「捕食者説」「防衛説」「化学量説」に大別されます。しかし、これら4つの要因説の相対的な重要性はよく分かっていませんでした。東北大学大学院生命科学研究科の占部城太郎教授らの研究グループは、コーネル大学・東京大学・奈良女子大学・兵庫県立大学・大連海洋大学と共同で、この問題を解くための理論的枠組みを構築するとともに、その枠組みを池の生物群集に適用することで4つの要因の影響を調べました。本研究は、植物と動物の存在比を決めるうえで、上記の4つの要因説はいずれも重要であること、その中でも特に「捕食者」と植物の「化学量」の影響が大きいことを野外で実証した初めての研究です。

本研究結果は、2021年1月8日付けで *Communications Biology* 誌電子版に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

植物と動物の存在比がどのように決まるかは、生態学における大きな課題の一つです。これまで、植物と動物の存在比を決める要因として様々な説が挙げられてきました。古くは、植物が成長すると、成長した分だけそれを食べる動物が増えるので、植物の生産速度（一次生産速度*¹）が高い場所では植物に比べて動物が多くなるという「生産性説」が唱えられました。その後、「なぜ地球上には植物が繁茂し緑色をしているのか」という問いかけに、捕食者、すなわち肉食者が植食者を低い密度に抑えているためだという「捕食者説」が唱えられました。これに対し、地球が緑なのは、植物が植食性の動物に食べられないようにトゲや有害な毒を持つことで防衛しているからだという「防衛説」が提唱されました。さらに近年では、植物の栄養価、例えば植物が持つリンや窒素などの化学量が植物と動物の存在比を決めるという「化学量説」も提唱されています。しかしこれらの要因説の重要性を定量的に比較するための理論的枠組みが存在しなかったため、どの説が妥当なのか、しばしば議論になるものの、良く分かっていませんでした。そこで、東北大学・コーネル大学・東京大学・奈良女子大学・兵庫県立大学・大連海洋大学の研究チームは、この問題を解くための理論的枠組みを構築するとともに、その枠組みを池の生物群集に適用することで4つの説の妥当性や相対的重要性を定量的に検証しました。

成果の概要

研究では、まず理論的枠組みとして、食う一食われる関係にある生物群集の挙動を記述する古典的モデルのロトカ・ボルテラ方程式に注目し、その連立方程式を拡張すると、「生産性説」「捕食者説」「防衛説」「化学量説」の各要素を植物と動物の存在比に対する変数として加算的に組み込むことができることを示しました。さらに平衡状態*²における植物と動物の存在比を対数変換することで各要因説の影響度を評価できることを発見しました（Box 1）。

次いで研究チームは、コーネル大学の実験施設で、魚の多さや植物の成長を制限する光量が異なる30m四方の実験池を複数用いて、動植物プランクトン*³の種組成や生物量を3ヶ月間に渡って追跡しました（図1）。その観測値を理論式に適用し、植物と動物の存在比に対する各要因説の相対的な重要性を評価しました。その結果、一次生産速度（生産性説）、動物プランクトンを食べる魚の多さ（捕食者説）、植物プランクトンの食べられやすさ（防衛説）、植物プランクトンのリン含量（化学量説）のいずれもが植物と動物の存在比に影響を与えていることが分かりました。さらに、それらの中で特に魚類の多さが、ついで植物に含まれるリン量が、植物と動物の存在比に強く影響を及ぼしていることが明らかとなりました（図2）。

本研究は、生態学の長年の課題について、これまで唱えられてきた4つの要因説を同時に検証した初めての研究であり、植物と動物の存在比を決めるうえで、植食者を食べる捕食者の存在と、植物の化学量、すなわち餌としての栄養価が特に重要であることを

明らかにしました。

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（15H02642, 20H03315）の支援を受けて実施されました。

今後の展望

本研究で提示した植物と動物の存在比を決める理論的枠組は、湖沼だけでなく、森林や草原、海洋の生物群集にも適用することが出来ます。このため、本研究を契機に、様々な生態系で植物と動物の存在比に関する研究が加速すると考えられます。それら研究を通じて、地球全体の植物と動物の存在量を決める諸要因が明らかにされていくと期待されます。

【用語説明】

- * 1 一次生産速度：植物が光合成により有機物を生産する速度。植物の単位時間あたり成長量に等しい。
- * 2 平衡状態： 食う一食われるの関係において、植物と動物の現存量が時間的に安定した状態。植物と動物の平衡状態の現存量は、それらの長期変動量の平均値で近似される。
- * 3 プランクトン：水中を漂って生活している生物。クロレラのように葉緑体を持ち光合成を行う生物は植物プランクトン、ミジンコのように植物プランクトンを食べて生活している生物は動物プランクトンである。

Box1

本研究で構築理論的枠組は、次の対数1次式で表現することが出来ます。

$$\log(H^*/P^*) = \log(k) + \log(\beta) + \log(g) - \log(m)$$

ここで、 H^* と P^* は群集が平衡状態にあるときの植物と動物の現存量、 g は一次生産速度（生産性説）、 m は捕食者の多さ（捕食者説）、 β は植物の食べられやすさ（防衛説）、 k は植物の栄養含量（化学量説）を示しています。

【図】

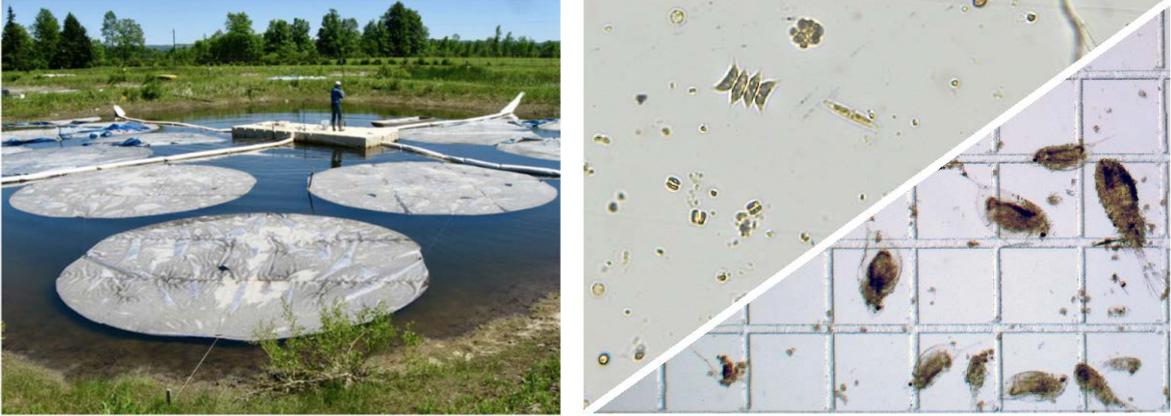


図1 研究を行ったコーネル大学の実験池（左）と、植物プランクトン（右上）及びそれを食べる植食者の動物プランクトン（右下）。

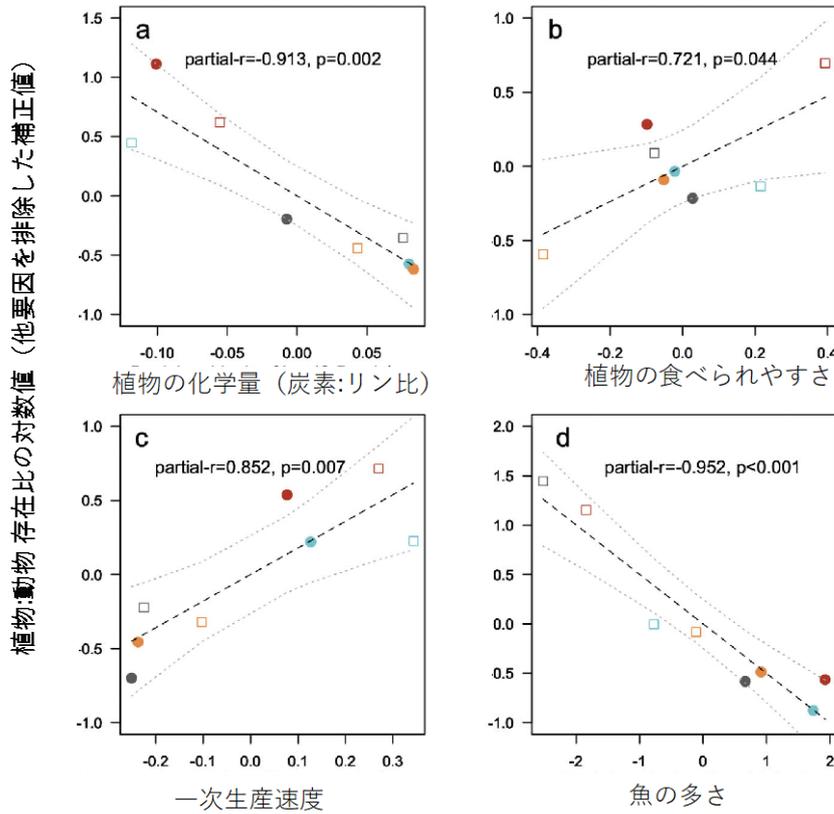


図2 野外の実験池で植物プランクトンと動物プランクトンの変動を3ヶ月にわたって調べたところ、植物に対する動物の現存量は (a) 植物に含まれるリン含量多いほど、(b) 食べやすい植物の割合が高いほど、(c) 一次生産速度が大きいほど、(d) 魚が少ないほど多くなることが分かった。異なる色のシンボルは異なる池の値を、統計的に有意な関係を回帰で示すとともに、影響の大きさ (partial-r) と有意性 (p) を各図に記した。

【論文題目】

題目 : A unified framework for herbivore-to-producer biomass ratio reveals the relative influence of four ecological factors

著者 : Takehiro Kazama, Jotaro Urabe, Masato Yamamichi, Kotaro Tokita, Xuwang Yin, Izumi Katano, Hideyuki Doi, Takehito Yoshida & Nelson G. Hairston Jr

雑誌 : Communications Biology, 4, 49 (2021).

DOI : 10.1038/s42003-020-01587-9

著者情報 : 風間健宏¹・占部城太郎^{1,*}・山道正人²・時田紘太郎¹・殷旭旺³・片野泉⁴・土居秀幸⁵・吉田丈人^{2,6}・ネルソン ヘアストン Jr⁷

1 東北大学, 2 東京大学, 3 大連海洋大学, 4 奈良女子大学, 5 兵庫県立大学 6 総合地球環境学研究所, 7 コーネル大学; * 責任著者

【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

担当 占部 城太郎(うらべ じょうたろう)

Eメール: urabe@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

担当 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