

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870832

研究課題名（和文）代謝理論にもとづいた食物網構造の定量化と野外生態系への応用

研究課題名（英文）Quantification of food web structure based on metabolic rules and application to real food webs

研究代表者

角谷 拓 (Kadoya, Taku)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号：40451843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：定量的な食物網構造の把握はその動態や安定性の理解に欠かせない。植物遺体から食う・食われる関係を通じて、食物網の他の生物へどのようにエネルギーが流れるかは、食物網全体の動態に大きく影響を与えることが知られている。本研究では、食物網構造を定量化するための一連の手法を開発し、その方法を応用することで植物遺体を消費する生物の多様性が高いほど植物遺体由来のエネルギーが食物網の上位の捕食者のエネルギー獲得に占める割合が大きくなるという仮説を検証した。多数のため池における定量的な食物網構造の分析から、植物遺体食者の多様性および個体数が植物遺体由来のエネルギー割合と有意な正の関係を持っていることが示された。

研究成果の概要（英文）：Quantifying food web structure is essential to understand food web dynamics and stability. For example, energy flux from the detritus to other organisms in an ecosystem affects food web dynamics. By developing a series of methods for reconstructing food web and applying it to real ecosystem, we tested a hypothesis that the greater diversity of litter consuming detritivores promotes energy flow between the resource and top predators in agricultural ponds. We found that the diversity and abundance of detritivores had a significant positive effect on the relative contribution rate of detritus to the diets of predators, even after confounding effects were controlled for. Our study is the first to demonstrate bottom-up effects of detritivore diversity on energy flow in food webs.

研究分野：群集生態学

キーワード：群集生態学 食物網

1. 研究開始当初の背景

食物網とは、生物群集の食う—食われる関係を表したものである。食物網の構造は生態系に安定性をもたらすうえで大きな役割を果たしていることが明らかにされている。例えば、食物網の中にあつて強く相互作用する食う—食われる関係は、系全体を不安定にしやすい。しかしそこに弱く相互作用する食う—食われる関係が加わることで、「強い関係」に集まっていたエネルギーが散逸され、結果として系全体の安定性が達成される。また、強い相互作用が複数ある場合でも、それらが上位の捕食者によって繋がれることで、非同調性が生み出され系全体としては安定化する。一方で、食物網構造は同時に、外来生物の侵入による新たな食う—食われる関係の形成や、捕獲・採取などの人為的攪乱に対して生態系がどのような脆弱性も持つかも決める。

このように、生態系の機能や安定性を理解するためには、食物網構造の把握・定量化は欠くことができない。しかし、野外の多様な生物がつくりだす食物網構造はきわめて複雑であり、その詳細な記述には多大な時間と労力を要する。食物網構成種の中の食う—食われる関係の有無を0（無い場合）と1（有る場合）で記述する二値食物網（binary food web）は、食物網の最も簡便な記述方法として、これまで頻繁にもちいられてきた。実際、野外の二値食物網のカタログ（データ集）なども存在している。しかし二値食物網には、ある消費者への異なる餌種の貢献比率（ある消費者が複数の餌種をどんな割合で食べ分けているか）などといった定量的な情報が含まれていない。したがって、前述したような相互作用の強度が問題になるような状況では不十分である。

ため池などの淡水生態系では、植物遺体由来するエネルギー流入が食物網の機能や安定性に大きな効果をもつことが知られている。植物遺体食者は、難分解性の植物遺体を消費・分解することで植物遺体からのエネルギーを食物網全体へ供給する機能を果たす。さらに、植物遺体食者の種数あるいは機能群数が大きくなるほど、植物遺体分解速度が高くなるという報告もある。これらの事実を合わせると、植物遺体食者の多様性が高くなるほど、植物遺体の分解効率が上がり、植物プランクトンなどの生食系由来に対する植物遺体由来のエネルギーの貢献が食物網全体に占める割合は高くなる可能性がある。このような、植物遺体食者内での多様性—生態系機能効果の食物網全体へのボトムアップ効果はこれまで実証的に検証されたことはなかった。

2. 研究の目的

本研究では、生物の体サイズや食性情報、さらに安定同位体データなどを組み合わせることで食物網構造を定量化するための一

連の手法の開発を行い、それらを野外生態系に適用することで、野外における食物網理論の検証に活用することを目的とした。具体的には、植物遺体食者の多様性が増加すると、食物網内の上位捕食者が消費するエネルギー中に、植物遺体由来のエネルギーが占める割合が増加するという仮説の検証を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

植物遺体食者の種数などの条件がことなる12か所のため池生態系を対象に、食性などの既存情報および安定同位体比と解析プログラムである IsoWeb を活用することで、食物網構造を定量化し、ため池の捕食者に対する植物遺体由来のエネルギーと植物プランクトン由来のエネルギーとの比率を定量化し、植物遺体由来のエネルギーの貢献比率と各池の植物遺体食者の種数および機能群数との比較を行った（図1）。

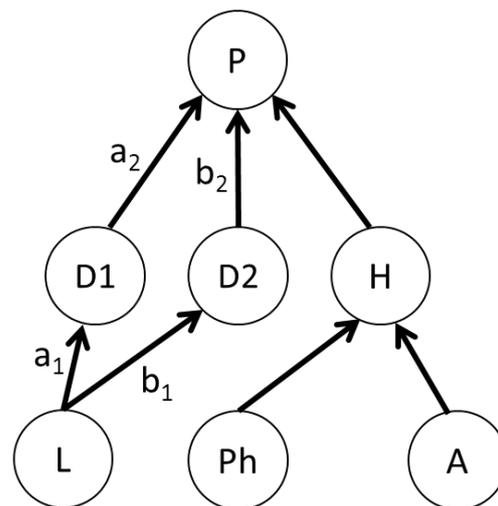


図1. 食物網内の捕食者に対するリターの貢献割合の計算方法の概念図。上位捕食者（P）はデトリタス食者（D1, D2）と植食者（H）を捕食している。Lはリター、Phは植物プランクトン、Aは付着藻類を表す。このような食物網に IsoWeb を適用すると、含まれるすべての食う—食われる関係について貢献比率が推定される（例えば a や b）。ここで、リター（L）の捕食者（P）への貢献割合を計算するには、 $[(a1 \times a2) + (b1 \times b2)]$ とすればよい。

4. 研究成果

植物遺体の種数の他に、個体数やクロロフィル a 量、リター加入量、池の面積などの共変量も考慮して行った統計解析の結果、植物遺体の種数が高くなるほど、池の捕食者に対するリターの貢献比率が高くなることが示された（図2）。

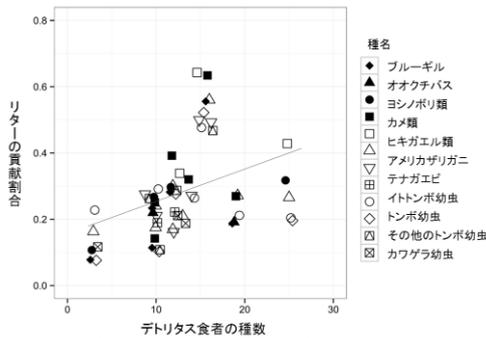


図 2. デトリタス食者の種数と捕食者に対するリターの貢献割合との関係。ベータ回帰 (リターの貢献割合 = デトリタス食者の種数 + デトリタス食者の個体数 + デトリタス食者のバイオマス + リター加入量 + クロロフィル a 量 + 池の面積 + ランダム要因: 池・種) の結果、貢献割合に対してデトリタス食者の種数は有意な正の関係をもっていた。

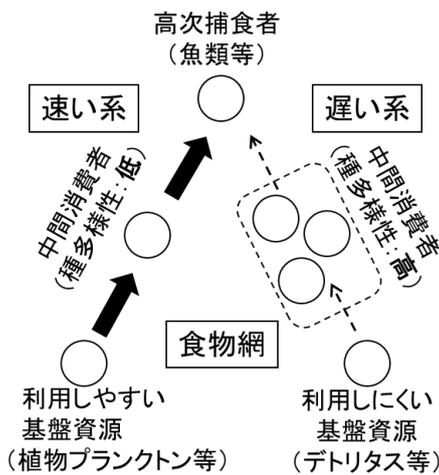


図 3. 食物網内のエネルギー転流の速い系・遅い系と中間消費者の種多様性との関係の概念図

また植物遺体の機能群数を用いた場合にも、同様の関係が見いだされた。本研究は、多様性によって高められた生態系機能の効果が、栄養段階をこえてボトムアップ的に波及することを実証的に示した好例であるといえる。さらに、食物網の安定性決定メカニズムという観点で見た場合にも重要な示唆を与えるものである。すなわち、近年、食物網の安定性を生み出すメカニズムの一つとして、一つの食物網の中にエネルギー転流速度の速い系 (以降速い系) と遅い系 (以降遅い系) の両方が存在し、それらが高次捕食者によって連結されるといいう構造が重要な役割を果たしていることが指摘されている。これは、遅い系は、高次捕食者に提供する平均

的な資源量という点では速い系よりも小さいものの、速い系とは非同期的な動態で安定的に資源を供給することで、速い系における資源量の大きな変動性を吸収する効果を持つためである。また、一般に遅い系は速い系に比べて多様な種から構成される可能性があることが指摘されている (図 3)。

本研究で対象とした、植物遺体系は、典型的な「遅い系」に対応しており、本研究の結果は上記の、安定性の維持機構に関する理論的考察の妥当性を強く支持するものであるといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Fukumori, K., Yoshizaki, E., Takamura, N., Kadoya, T. (2016) Detritivore diversity promotes a relative contribution rate of detritus to the diets of predators in ponds. *Ecosphere* 7:e01211. 査読有.
- ② 角谷拓・長田穰・瀧本岳 (2016) 安定同位体比データをもちいた捕食 - 被食ネットワークのモデル化. *統計数理* 64:77-92. 査読有.
- ③ Matsuzaki, SS. & Kadoya, T. (2015) Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: introduction of exotic piscivores as a driver. *Ecological Applications* 25:1420-1432. 査読有.
- ④ Kadoya, T., McCann, K.S. (2015) Weak interactions and instability cascades. *Scientific Reports* 5:12652. 査読有.

[学会発表] (計 4 件)

- ① Kadoya, T. Conservation prioritization in food web, 第 64 回日本生態学会大会, 2017 年 3 月 15 日, 早稲田大学(東京).
- ② Fukumori, K, Yoshizaki, E, Takamura, N, and Kadoya, T Decomposer diversity increases a proportional contribution of detritus to the diets of consumers in agricultural ponds. 99th ESA Annual Meeting. August 13, 2014, Sacramento (USA).
- ③ Matsuzaki, SS and Kadoya, T. Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: Introductions of exotic piscivores as a drive. 99th ESA Annual Meeting. August 13, 2014,

Sacramento (USA).

- ④ Yokomizo, H., Kadoya, T. Selection of conservation areas under severe uncertainty of population dynamics in future. 99th ESA Annual Meeting. August 15, 2014, Sacramento (USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角谷 拓 (KADOYA, Taku)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物・
生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号：40451843