

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22570017

研究課題名（和文） 複雑な生態ネットワーク上において種の重要性を定量的に特定するための手法の開発

研究課題名（英文） The development of the methods to quantitatively identify the importance of the species on the complex ecological network

研究代表者

佐藤 一憲（SATO KAZUNORI）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：30261382

研究成果の概要（和文）：

もっとも単純な食物網において、静的アプローチと動的アプローチが全く同じ2次の絶滅の結果を与えるようなパラメータ範囲を明確にすることを試みた。また、一方のモデルで現れる2次の絶滅が、他方では決して現れない条件を特定することも重要である。しかし、単純な食物網でさえ、これらの問題に対する結果をわかりやすく整理して示すことは予想以上に困難な作業であった。

研究成果の概要（英文）：

I tried to restrict the parameter regions in which both static and dynamic approaches give the same results for the second extinction. In addition, it is important to show the condition on which the second extinction occurs in the former approach but not in the latter approach. Unfortunately, however, I could not obtain the clear results for these problems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：群集

1. 研究開始当初の背景

複雑な生態ネットワークにおいて、重要な位置を占めている種を定量的に特定することを考える。たとえば、食物網のキーストーン種を定量的に示すことは、生態系の保全に対して重要である。

これまでに、動的なアプローチとして、Lotka-Volterraモデルを用いた、“種の除去に対する安定性”と呼ばれる概念が提唱されたり（Pimm 1979, 1980）、静的なアプローチ

として、食物網の幾何学的な構造だけからキーストーン種を特定するための指数などが定義されてきた（Jordán et al. 1999）。前者は種間相互作用を具体的に組み込むことができるし、後者は解析が容易であるために複雑な食物網が扱いやすいという利点を持っている。逆の見方をすれば、現実に見られる食物網の数理的解析をおこなうためには、どちらのアプローチにも不足している部分がある。したがっ

て、現実的な複雑ネットワークとしての食物網を解析するためには、両者のアプローチを融合させることが必要である。

特に、Jordán et al. (1999)は、キーストーン種をはじめ定量的に特定するための方法を考案したが、食物網を構成するすべての種を、ボトムアップ効果とトップダウン効果を2次の絶滅種数に換算することによって、生態的地位の重要度を数値的に与えたものである。しかし、重要度の順番はPimm (1979, 1980)の結果とは大きく異なることがわかった。

2. 研究の目的

本研究では、動的アプローチと静的アプローチを融合させることによって、複雑なネットワーク構造をもつ、現実に即した大規模な食物網にも適用することができるような、キーストーン種を定量的に特定するための新しい指数を提案する。また、ネットワーク上の相互作用の強さの違いを導入することによって、生態系の頑健性や脆弱性に与える影響を調べる。次に、寄主-寄生者関係・相利関係・競争関係のような、2種間での相互作用の意味が異なる場合についても検討を加える。理論的な枠組みが整った段階で、実際のデータを用いることによって、キーストーン種として特定することの妥当性を検証する。

ネットワーク構造とその上のダイナミクスは、もともと、群集の複雑な生物間相互作用を表現するためのひとつの手段である。その群集の複雑さと安定性をめぐる問題は、今日まで多くの研究者が取り組み様々な成果が挙げられてきているが、依然として未解決のままである。“種の除去に対する安定性”について、単純なルールによってモデリングし、得られた結果を定量的に示すことは、このような問題の解決に向けて大きく前進するためのヒントを与えるかもしれない。また、ネットワーク構造から重要な種を定量的に特定することが可能になれば、生態系の保全への新たな提言ができるだろう。前世紀末から始まった複雑ネットワーク科学の研究は、現在も精力的に進められている。このような生態ネットワークに対する新たな視点が、抽象化された複雑ネットワークの科学に対する新たな研究材料を提供し、そこで大きく発展する可能性もある。

3. 研究の方法

単純な食物網について、除去されると多くの2次的絶滅を引き起こすような重要な種を定量的に特定する方法を開発する。単純で定量的なモデリングとして、動的なアプローチと静的なアプローチを融合させることによって、大規模で複雑なネットワーク構造にも適用可能な方法を提案する。

まず、Pimm (1979, 1980)の提唱した“種の除去に対する安定性”の概念を応用も有効なものに拡張して考える。たとえば、ある種の除去によって食物網に与える影響を測るためには、1種以上であれば同じ基準とするのではなく、影響を受ける種数に応じてその影響の強さを評価すべきである。さらに、Eklöf & Ebenman (2006)のように、平衡点の局所的安定性の代わりにパーマネンスを判定基準とすることも検討する。

次に、Jordán et al. (1999)のキーストーン指数の検討をおこなう。この指数の特徴は、すべての種に対する間接効果まで考慮したものと考えることができる。ここで、キーストーン指数はトップダウン効果とボトムアップ効果の単純な和として定義される。ただし、トップダウン効果の計算は、食物網の上下を入れ替えたものに対して、ボトム効果の計算を適用するのである。しかし、栄養段階による違いがキーストーン指数に全く反映されていないのは、生物学的な根拠が乏しい。そこで、栄養段階の違いを考慮に入れたり、間接効果の大きさの程度や計算方法を変えることによって、ボトムアップ効果とトップダウン効果を生物学的に許容できるものに変更する。

また、Allesina and Pascual (2009)によって示された修正PageRankによる順位付けとの比較検討をおこなう。PageRankはもともとGoogleのホームページ検索に採用されているアルゴリズムであるが、ホームページのリンクの有無をもとに構成された推移確率行列の固有ベクトルから導かれる。また、Bonacichのパワー中心性も含めて、これらは広い意味での固有ベクトル中心性と考えられ、ネットワーク分析において広く用いられてきた。一方、Jordán et al. (1999)のキーストーン指数は、PageRankとの類似点はあるものの、その定義の仕方はかなり異なっている。両者の定義の違いを生態学的に明瞭にすることによって、食物網におけるキーストーン種の定量的な特定が可能になることが期待される。

さらに、動的なアプローチが適当な食物網と、静的なアプローチが適当な食物網に分類するとともに、それぞれのアプローチによって抽出されるキーストーン種の特徴を明らかにする。食物網は、そこに含まれている種数や個体数とともに、それが存在している場所の環境条件等、固有の性質を持っている。したがって、その成立要因や維持機構と、キーストーン種を特定するために適当なアプローチの仕方との間には、密接な関係が存在する可能性がある。

4. 研究成果

生物間相互作用が比較的近接していて間接効果が大きいと考えられるグループごとに分類し、それらを統合するというネットワークの

階層構造を考えた。このような視点は、実際の野外調査で見られる研究手法とも類似しているため、理論と実証の比較がおこないやすいと思われるからである。一方、ボトムアップ効果とトップダウン効果に非対称性を入れることによって、静的アプローチと動的アプローチの類似点や相違点を明らかにできるだろう。そこで、まず、もっとも単純な食物網において、両者が全く同じ結果を与えるようなパラメータ範囲を明確にしてから、徐々に複雑な食物網を構成することによって、この問題を解決しようと試みた。このとき、食物網構造の複雑さを表す定量的な指標が必要であり、その指標と両者のアプローチの同一性の程度の間に相関関係を示すことができればわかりやすい。逆に、前者（あるいは後者）のモデルで現れる2次的絶滅が、後者（あるいは前者）では決して現れない条件を特定することも重要である。しかし、単純な食物網でさえ、これらの問題に対する結果をわかりやすく整理して示すことは予想以上に困難な作業であった。そのため、今後もこの方針に沿った研究を継続していく予定である。

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5件)

- ① 佐藤一憲, 確率微分方程式とその近似方程式における平均絶滅待ち時間について, 数理解析研究所講究録, 査読無し, 1796巻, 2012, 70-71.
 - ② 佐藤一憲, 山崎淳史, ケモスタットにおける捕食者・被食者ダイナミクス, 数理解析研究所講究録, 査読無し, 1751巻, 2011, 154-158.
 - ③ 佐藤一憲, 山田慎也, 離散時間モデルにおける最大持続生産量について, 数理解析研究所講究録, 査読無し, 1757巻, 2011, 44-50.
 - ④ 佐藤一憲, 藤曲哲郎, 数理生物学の確率的手法, 数理解析研究所講究録, 査読無し, 1706巻, 2010, 16.
 - ⑤ 佐藤一憲, 個体群動態とアリー効果, 数理解析研究所講究録, 査読無し, 1704巻, 2010, 84.
- [学会発表] (計17件)
- ① 佐藤一憲, 離散空間上の個体ベース個体群動態, 日本生態学会, 2013年3月6日, 静岡県コンベンションアーツセンター.
 - ② 佐藤一憲, 格子空間上の集団に対する侵入速度の評価について, 生命数理研究会, 2013年1月16日, ホテル甘露の森, 北海道虻田郡ニセコ町.
 - ③ 佐藤一憲, 発達期の数理モデリング再考, RIMS 共同研究, 2012年12月18日, 京都大学.
 - ④ 佐藤一憲, 確率モデルにおけるアリー効果の現れ方, シンポジウム「九州大学数理生物学研究室の20年とこれからの数理生物学」, 2012年11月23日, 九州大学.
 - ⑤ Kazunori Sato, Maximum sustainable yield for discrete-time population model, GCOE Tutorial Workshop “Biomathematics of Structured Populations” with a Mini-Symposium in Honor of Professor Yasuhiro Takeuchi, 2012年11月2日, 東京大学.
 - ⑥ Kazunori Sato, Spatial models in biosystems: introduction, CJKICMB2012, 2012年5月23日, 韓国・釜山・釜山国立大学.
 - ⑦ 佐藤一憲, 確率モデルから推定される絶滅までの平均待ち時間について, 日本生態学会, 2012年3月21日, 龍谷大学.
 - ⑧ 佐藤一憲, 確率微分方程式とその近似方程式における平均絶滅待ち時間について, RIMS 研究集会, 2011年11月17日, 京都大学.
 - ⑨ 佐藤一憲, 山田慎也, 時間的に変動する個体群の最大持続生産量について, 個体群生態学会, 2011年10月15日, 岡山大学.
 - ⑩ 佐藤一憲, 山田慎也, 離散時間モデルにおける最大持続生産量について, 日本数理生物学会, 2011年9月14日, 明治大学.
 - ⑪ Kazunori Sato, On the evaluation of the invasion speed for lattice population, ICAM2011, 2011年8月9日, 中国・信陽・豫花園大酒店.
 - ⑫ Kazunori Sato, Shinya Yamada, Maximum sustainable yield for discrete-time population dynamics, ICMB2011, 2011年6月4日, 中国・南京・南京理工大学.
 - ⑬ 佐藤一憲, 生態ネットワーク上のキーストーン種を特徴づける様々な指標の比較, 日本生態学会, 2011年3月10日, 札幌コンベンションセンター.
 - ⑭ 佐藤一憲, 山崎淳史, ケモスタットモデルにおける捕食者-被食者ダイナミクス, RIMS 研究集会, 2010年11月18日, 京都大学.
 - ⑮ Kazunori Sato, Can spatial interaction with Allee effects promote dynamical complexity?, The 3rd China-Japan Colloquium of Mathematical Biology, 2010年10月19日, 中国・北京・海北緑園.
 - ⑯ Kazunori Sato, Allee threshold and

extinction threshold in metapopulation: An implication for preventing the establishment of invasive species, 个体群生態学会, 2010年9月23日, 横浜国立大学.

- ⑰ 佐藤一憲, 格子空間上の集団に対する侵入速度の評価(II), 日本数理生物学会, 2010年9月15日, 北海道大学.

[図書] (計2件)

- ① 関村利朗, 山村則男, 梯正之, 佐藤一憲, 高橋広夫, 竹内康博, 海游舎, 理論生物学の基礎, 2012, 45-92.
② 竹内康博, 佐藤一憲, 守田智, 宮崎倫子, 大西勇, 梶原毅, 下川哲也, 南和彦, 中岡慎治, 佐々木徹, 共立出版, 生物数学入門, 2011, 115-182.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 一憲 (SATO KAZUNORI)
静岡大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: **30261382**

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし