

# 研究集会「生態系の数学的研究に向けて」

## Mathematical Approaches for Ecosystem Research

後援 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 C 課題番号 23570040 (代表者 田中嘉成)

2012 (平成 24) 年 2 月 3 日 (金) ~ 4 日 (土) 実施

於 広島大学理学部 B707 号室

### プログラム

2月3日 (金)

13:00 開会挨拶

13:10-14:00 難波利幸 (大阪府立大学理学系研究科)

#### Lotka-Volterra モデルで生物群集の本質にどこまで迫れるか？

Lotka-Volterra モデルは、生物群集の動態を記述する最も古く最も簡単なモデルだと言ってよいだろう。Lotka (1925) と Volterra (1926) 以来、多くの研究者によって研究されてきたが、わずか 3 種や 4 種の個体群からなる群集についても、その性質が完全に明らかになっているとは言い難い。多くの種の個体群が相互作用する群集では、第 3 の種を介する間接効果が 2 種間に働くために、Lotka-Volterra モデルのような単純なモデルでも複雑な挙動が現れる。本講演では、間接効果を含み、生物群集を構成するモジュールとして注目されている、3 種間競争、消費型競争、見かけの競争、ギルド内捕食、栄養カスケードなどを Lotka-Volterra モデルから理解する試みを概説し、生態学的に興味深い現象との関係を探る。

14:20-15:10 時田恵一郎 (大阪大学サイバーメディアセンター 大規模計算科学研究部門)

#### ランダム群集モデルの統計力学

スピングラス (不純物磁性合金) などの統計物理学的研究を通じて、比較的少数種の素子が複雑な相互作用を介して示す新奇な巨視的現象の数理的理解が進んできた。一方、生態系、代謝系、遺伝子ネットワーク、免疫系、言語進化などの、生物「群集」においては、進化がもたらす素子自体の圧倒的な多様性と、それが生み出すより複雑な相互作用が、非生物系とは本質的に異なる非線形非平衡物理学上の問題を提示している。このような複雑性と多様性に関する研究の歴史的背景から始めて、ランダムな相互作用を仮定する群集のモデルに対する統計力学的解析と、最近実証研究が進んでいる種個体数分布などの、群集が示す巨視的パターンに関する理論予測について、最近の研究結果を報告する。

15:30-16:20 近藤倫生 (龍谷大学理工学部・JST さきがけ)

#### 生物群集のスケールとパターンをどう捉えるか

生物群集ではさまざまな生物種が相互作用している。この種間相互作用が個体数変動にどのような影響を及ぼすかという視点に基づいて、生物群集における種組成・分布のパターンやその時間変動、環境への応答についての研究が進められてきた。だが、生物群集に関する理論的研究と実証研究の間には、しばしば両者の対話を阻害するギャップが存在し、両者の協同を困難にしているように見える。この話題提供では、生物群集や生態系に関する研究にあらわれるそのようなギャップについて、時間・空間・生物学的スケールの 3 つの視点から紹介・説明する。さらに、そのようなスケール依存性が生態系の重要な特徴でもある点を論じた上で、その解決の可能性について議論したい。

16:20-16:50 総合討論

18:30- 懇親会

2月4日 (土)

09:30-10:20 瀧本 岳 (東邦大学理学部)

### 食物連鎖の長さを決める環境要因：フィールドワーク・メタ解析・数理モデルによるアプローチ

C.S. エルトンによって、食うものと食われるものの関係が「食物連鎖」として記載され、いろいろな長さの食物連鎖が存在することが指摘されたのが80年以上前である。それ以来、食物連鎖長の決定機構の解明は群集生態学の大きな課題の1つとなってきた。古典的に主流だったのは、一次生産性や攪乱が食物連鎖長の主要な決定要因だとする仮説である。しかし近年、食物連鎖が成立している生態系の物理的サイズ(生態系サイズ)が食物連鎖の長さを強く制限しているという証拠が、湖や河川の食物連鎖において見つかりはじめた。そこで、陸上生態系の食物連鎖でも生態系サイズの効果が見つかるのかを調べるため、私は、バハマ諸島の様々な面積の島の食物連鎖の長さを比較した。また、比較的静かな内海と荒れやすい外海にある島を比較することで、攪乱が食物連鎖の長さを与える影響も評価した。それぞれの島の上位捕食者を調べ、その栄養段階を安定同位体比分析により推定し、食物連鎖長の島間比較を行った。その結果、攪乱が強くなっても、上位捕食者がトカゲから網グモに交替するものの両者の栄養段階は変わらないため、食物連鎖長に違いは生じなかった。その一方で、生態系サイズが106倍になると、上位捕食者の栄養段階が1段階増えて食物連鎖が長くなっていった。また、この結果を湖や河川からの例に加えたものを総合し、一次生産性、攪乱、生態系サイズの食物連鎖長への影響のメタ解析を行った。その結果、生態系サイズおよび一次生産性の平均効果サイズが有意に正となったが、攪乱の平均効果サイズは負となったものの有意ではなかった。また、生態系サイズの平均効果サイズの方が、一次生産性の平均効果サイズよりも大きくなった。さらに、メタ群集の数理モデルを用いて、一次生産性や攪乱、生態系サイズがどのように相互作用して食物連鎖長を決定しているのかを調べた。このモデルから、1) 生態系サイズが大きくなると、食うものと食われるものの共存が促進され食物連鎖が長くなること、2) 一次生産性と生態系サイズの影響には相補的な関係がある一方で、一次生産性が高すぎると食うものと食われるものの共存が阻まれ食物連鎖は短くなること、3) 強い攪乱のもとでは高次捕食者が維持されないために食物連鎖は短くなるが、中程度の攪乱では食うものと食われるものの共存が促進され食物連鎖は長くなること、などが分かった。

10:40-11:30 田中嘉成 (国立環境研究所)

### 生物群集における種形質の動態と環境変動に対する生態系応答

環境変化に対する生物群集の反応を、機能形質の分布(形質の平均値など)の変化として解析する新たな群集生態学的手法を「形質ベースアプローチ(the trait-based approach)」という。ここではその理論的枠組みを研究した。群集内形質分布変化を多層系ロトカ・ボルテラモデルに基づいた数理モデルとシミュレーションで解析し、以下の結果が得られた。群集内(単一栄養段階の多層共存系)における種間競争が資源分割モデル(多次元類似限界モデル)に従うとき、群集内平均形質値の変化は、種選択係数(種の内生的自然増加率の形質値に対する回帰係数)と形質分散の積に比例する。種数が多い場合、群集内形質分布変化は種数と種間相互作用強度によってほとんど影響されず、群集内の形質分散と種選択係数によってほぼ決まる。ただし、このことは、群集が動的平衡状態にあること、種間競争が対称的である資源分割型であることが条件である。また、多形質の場合は、群集内形質変化が形質野間の相関に大きく依存するため、形質間相関の情報は必須である。

このような解析手法の事例として、霞ヶ浦における動物プランクトン群集の長期変動と、水温および水質との関係を解析した。その結果、動物プランクトン群集は、水温の年次変動に応じて敏感に反応していること、しかし、種の水温適合性を決める機能形質と生態系機能を左右する形質(生態効率)との線形関係がなく、水温変動に対する生態系機能の反応は明確でなかった。動物プランクトン群集の摂食ニッチ(餌のサイズ)と生態効率は長期的に強く共変動しており、植物プランクトン群集の変動が、動物プランクトン種構成変化を介する生態系機能の低下の主要因であることが推測された。このような、形質ベースの群集解析は、生物多様性情報や環境因子に関する時系列もしくは空間データの解析による、生態系リスク要因の抽出への応用性が期待される。

11:30-12:00 総合討論

12:00 閉会挨拶