

課題名(タイトル):

伝搬波モデルにおける進化ダイナミクス

利用者氏名:岡田崇

理研における所属研究室名:数理創造プログラム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

本研究の目的は、進化のダイナミクスを空間構造を取り入れて解析することである。多くの進化ダイナミクスの研究では空間構造は無視されるが、空間構造は集団の進化ダイナミクスに重要な影響をもつことがわかってきているが、その理解は十分ではない。近年、実験的に酵母や大腸菌を使って進化ダイナミクスと空間構造との関係が詳細に観測できるようになってきているので、本研究によって遺伝的情報と空間構造との関係を明確にできれば、それらの実験に対して理論的な基礎づけを与えることができる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

空間を離散化して、格子上に存在する個体群が確率的に成長・移動するモデルを考える。各個体は空間的な位置情報と遺伝的情報の2つをもつ。各個体にラベルをつけて、ある時間の間に、その個体の子孫がどのように空間中に広がるかを調べる。空間構造として、物理的な空間だけでなく、適応度 fitness の空間の構造も取り入れてシミュレーションすることで、集団としての進化ダイナミクスを調べる。

3. 結果

空間構造を考えて、集団の個体密度が空間上を伝搬する状況を考えて、進化は伝搬波の先端で最も早く進み、波の内部では進化は遅いことがわかる。このことは実空間を伝搬する波だけでなく、fitness 空間を伝搬する波でも当てはまる。

個体にラベルをつけたシミュレーションを行い、各個体の子孫数の分布を調べると、伝搬波の種類に依存して、子孫数の分布が変化することを確認できた。具体的には、個体が空間をどのように分散するかを指定する jump kernel の選び方によって、波の波形は変化し、その波形から子孫数の分布が決定されていることを確認できた。

さらに、このような空間構造をもつモデルを有効的に記述できると期待される空間構造をもたないマクロなモデルから説明できることを確認した。

4. まとめ

本研究では、伝搬波のモデルに基づき、空間構造と進化ダイナミクスとの関係を数理的に解析することに取り組んだ。空間構造をもつモデルを、空間構造をもたない有効理論から説明することで、進化ダイナミクスの普遍的な特徴を明らかにすることができた。これらの結果は、様々な進化のシナリオを包括的に理解することに有用であると期待できる。

5. 今後の計画・展望

本研究では単純な空間を伝搬するモデルを考えたが、より一般的・現実的な状況を考えると、複雑な空間を伝搬するモデルを考えることが重要である。特に、ウイルスの進化では、ホストとホストの相互作用ネットワークの形状が進化ダイナミクスに直接的な影響を及ぼすことがわかってきており、実際の人と人との相互作用ネットワークのデータは非常に不均一な構造をしているので、そのような効果を取り入れた進化ダイナミクスのシミュレーションを行うことが重要である。

また、本研究では、単一の種の中での遺伝的多様性について解析したが、たとえば腸内細菌の進化などを考えると、無数の種間の生態学的な相互作用を考慮することが重要になる。生態学的な効果と進化ダイナミクスはしばしば切り離されて理論研究されるが、近年の微生物の進化実験から、生態学的タイムスケールと進化的タイムスケールは必ずしも切り離せないことがわかってきた。そのため、今後、これら両方の効果を同時に取り入れた理論研究に取り組む必要がある。

2020年度 利用研究成果リスト

【雑誌に受理された論文】

【会議の予稿集】

【口頭発表】

2020年9月21日 日本数理生物学会. 口頭発表. 「子孫数の分布と進化ダイナミクス」

2021年3月16日 アメリカ物理学会 “Time-Dependent Effective Sampling Bias in Populations with Broad Offspring Number Distributions”, Takashi Okada, Oskar Hallatschek

【ポスター発表】

【その他(著書、プレスリリースなど)】