

プロジェクト名(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. 本プロジェクトの研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

本研究の目的は、集団の進化ダイナミクスが空間構造・環境変動によってどのように影響を受けるかを理論的に明らかにすることである。ある集団が新しい空間に侵入する際、個体の密度の時間発展は Fisher-Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov 方程式による伝搬波のモデルで表現でき、FKPP 波は伝搬速度の特性によっていくつかのクラスに分類される。近年、FKPP 波のクラスによって集団の遺伝的特性が大きく異なることが明らかになってきた。また、酵母や大腸菌を用いた実験でも、そのような現象が観測され始めている。本研究によって遺伝的情報とFKPP波のクラス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盤を提供することができる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

空間を離散化し、格子上またはネットワーク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。遺伝的情報を解析するために、集団内の個体にラベルを付け、一定時間が経過した後に遺伝的な様相がどのように変化するかを解析した。また、一種の逆問題として、与えられた遺伝的な時系列データから、空間的なダイナミクスに関するパラメータを推定する統計手法を考案した。より具体的には、カルマンフィルターを改良することで、観測ノイズおよび遺伝的浮動を考慮した形式で、migration matrix を推定する手法を開発した。

3. 結果

1次元格子上の伝播波のシミュレーションを行い、将来の集団の遺伝的多様性が伝播波のどの位置に由来するのかを調べたところ、伝搬波の先端に存在する少数の個体が指数関数的に高い固定確率を持つことが確認できた。また、上記の統計手法の有用性を検証するため、標準的な Wright-Fisher モデルに基づくシミュレーションを行い、生成したアレル頻度の時系列データに対して、この統計手法を適用し、空間ダイナミクスを正しく推定できることを確認できた。

4. まとめ

集団の進化ダイナミクスが空間構造・環境変動などの様々な因子にどのように依存するかは、集団遺伝学において非常に重要な問いである。本研究では、FKPP モデルと呼ばれる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明らかにすること、およびその逆問題として、時系列データから伝播波を記述するダイナミクスのパラメータを推定する統計手法を確立することに取り組んだ。この統計手法は、測定誤差を含む遺伝の時系列データを扱う際に非常に有用である。類似の目的を持つ統計手法は coalescent theory という枠組みでも開発されているが、coalescent theory は有益変異が関わるダイナミクスを扱いにくいという欠点がある。一方、我々の手法は有益変異を容易に考慮できる利点がある。

5. 今後の計画・展望

集団の進化ダイナミクスと空間構造・環境変動との関係を理論的に明らかにするためには、引き続き数値シミュレーションを行い、理論的予測を検証していく必要がある。特に、伝播波のクラスを正確に分類するためには、より十分大きな集団サイズを用いてシミュレーションを行う必要がある。また、今回確立した統計手法に関しては、今後、ヒトの集団やウイルス集団などの実データに応用することで、空間構造が進化ダイナミクスに及ぼす影響をデータ駆動的なアプローチで解明することを目指す。