

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

課題番号: Q19444

利用者氏名:

岡田崇 数理創造プログラム

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、つまり、集団の遺伝的情報のダイナミクスは、空間構造を取り入れて解析することである。

ある集団が新しい空間に侵入するとき、個体密度のダイナミクスは、Fisher-Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov(FKPP)方程式という伝搬波のモデルでモデル化でき、FKPP波は、伝搬速度の性質によって、いくつかのクラスに分類されている。近年、FKPP波のクラスによって、遺伝的情報のダイナミクスが全く異なることがわかってきたが、その理解は十分ではない。FKPP波は実験的にも酵母や大腸菌を使って観測できているので、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。遺伝的情報を解析するために、集団内の個体にラベルをつけて、ある時間が経過したときに、集団の先祖がどの個体なのかをトラッキングした。また、環境変化が進化ダイナミクスにどう影響を及ぼすのかを扱うために、環境に対応するパラメータが時間的・空間的に変化する状況についても解析を行った。

3. 結果

伝搬波の種類によって、将来の遺伝的多様性が空間のどの位置から由来するのかを定量的に明らかにした。具体的には、伝搬波が pulled wave と呼ばれる、波の先端に存在する個体群の増殖速度が非常に高い状況では、伝搬波の先端の遺伝的情報が将来の集団における遺伝的多様性を決定するのに対して、pushed wave と呼ばれる、波の内部の個体群も比較的高い増殖速度をもつ状況では、伝搬波の先端だけでなく内部も将来の集団における遺伝的多様性

に大きな寄与をすることを、定量的に明らかにした。

さらに、この解析結果をもとに、1個体が将来に寄与する子孫の数の分布を計算した。子孫数の分布は、進化ダイナミクスを理論的に解析・理解する上で、非常に重要な量であり、伝搬波のモデルにおける子孫数分布を具体的に計算したのは本研究が初めてである。

また、環境変動が進化ダイナミクスにどう影響を及ぼすについて、子孫数の分布を使って解析した。たとえば、環境が良い条件になり各個体の増殖速度が増加すると、子孫数の分布は広がる、つまり、一部の個体だけがより多くの子孫を残しやすい傾向が強化されることがわかった。

4. まとめ

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に取り組んだ。進化の数理モデルの多くは空間構造を無視するが、空間構造は進化ダイナミクスに質的に大きく変える可能性がある。本研究では、進化ダイナミクスを特徴づける量のひとつである、子孫数の分布を、具体的に数値計算することに成功した。また、環境変動と子孫数の分布に関しても明らかにすることに成功した。

5. 今後の計画・展望

本研究では物理的な空間を伝搬するモデルを考えたが、fitness(増殖速度)空間を伝搬する波も、近年の進化ダイナミクスの理論では盛んに研究されている。

本研究で用いた手法は、自然と fitness 空間を伝搬する状況へも応用できるので、今後はそれに取り組みたい。

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、他の種との生態学的な相互作用が進化ダイナミクスにどのような影響を及ぼすかを明らかにすることも重要な課題であり、それに取り組みたい。

2019年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

2019年8月24日 日本数理生物学会. 東工大. 口頭発表. 「子孫数の分布と進化ダイナミクス」

2019年9月17日 CIJK2019(中印日韓国合同数理生物学会). 北京科技大学. 口頭発表. 「Fictitious natural selection and broad offspring number distributions」