

2024 年度年次報告書

パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤の構築

2023 年度採択研究代表者

國谷 紀良

神戸大学 大学院システム情報学研究科
教授

マルチグループ構造化感染症モデルの数学的解析と実用化

研究成果の概要

2024 年度は、集団に属する個体の異質性(年齢, 居住地, 性別など)を考慮できるマルチグループ構造化感染症モデルのうち, ワクチンの効果に関するモデルを中心とした研究成果を発表した. 原著論文 1) では, 年齢構造を含むモデルを用いて, ワクチンの数が限られている状況での最適なワクチン配分方法を調べた. 具体的に, 2 回接種が必要なワクチンに対する 1 回目と 2 回目の最適な接種間隔の問題や, 感染による死亡率が高いと考えられる高齢者と他者への感染の頻度が高いと考えられる非高齢者の間での最適な配分比の問題に取り組んだ. 結果として, 2 回目に対する 1 回目のワクチンの相対的な効能や, 年齢に依存する感受性(感染のしやすさ)の差異が, 最適な配分方法に影響を及ぼす傾向があることが示された. また, 原著論文 4) では, 高齢者と非高齢者の間での配分問題を, 最適制御理論の枠組みで解析し, 現実的と考えられるパラメータのもとでは, 高齢者を優先する接種が最適であるという結果が得られた. 一方, 原著論文 2) では, ワクチンの効果と免疫の減衰を考慮したモデルを構築し, 基本再生産数 R_0 が 1 より小さくても流行が続く困難な状況を意味する後退分岐が起こる条件を調べた. 結果として, 先行研究よりも現実的と考えられるパラメータ領域で後退分岐が起こり得ること, また, 直感に反して, ワクチン接種率が増加するにつれて後退分岐が起こるパラメータ領域が広がる場合があることを示した. その場合, ワクチン接種率を高めると実効再生産数が小さくなるため, ワクチンの防疫効果はあると言えるが, 後退分岐により流行が長期化する恐れがあることが示された. その他, 原著論文 3) では, 非局所的な個体の移動を考慮した感染症モデルを構築し, 基本再生産数 R_0 が 1 より小さければ感染症は根絶し, 1 より大きければ定着することを数学的に証明した.

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kuniya, T., Nakata, T., Fujii, D. Optimal vaccine allocation strategy: Theory and application to the early stage of COVID-19 in Japan. *Mathematical Biosciences and Engineering*, **21**, 6359-6371 (2024).
- 2) 徳野大智, 國谷紀良, 免疫と再感染を考慮した感染症モデルにおける後退分岐. 日本応用数学会論文誌, **34**, 33-52 (2024).
- 3) Dey, S., Kar, T.K., Kuniya, T. Global dynamics and threshold behavior of an SEIR epidemic model with nonlocal diffusion. *Mathematics and Computers in Simulation*, **226**, 91-117 (2024).
- 4) Teng, H., Kuniya, T. The optimal vaccination strategy to control COVID-19. *Mathematical Methods in the Applied Sciences* (2025), published online on March 20, 2025. DOI: 10.1002/mma.10908