

氏名	イシュファク アーマッド Ishfaq Ahmad
学位の種類	博士 (情報科学)
学位記番号	情博 第 780 号
学位授与年月日	令和4年 9月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) 情報基礎科学専攻
学位論文題目	Population Dynamics Model for the Effect of Isolation on Final Epidemic Size
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 瀬野 裕美 東北大学教授 須川 敏幸 東北大学准教授 藤原 直哉

論文内容の要旨

第1章

Human daily activities contribute to the spreading of infectious diseases in the community, as people interaction comes there is a risk of propagation of infection. To reduce the risk about the propagation of infectious diseases in community the “quarantine/isolation” strategy is important policy. As isolation requires a certain specific place with highly organized conditions to isolate the infective from other community members, there is always a certain capacity for isolation. If the capacity for isolation is small enough then the isolation strategy may be broken down on the way of the epidemic process.

We considered a simple SIR model with a four-dimensional system of ordinary differential equations to investigate the influence of limited isolation capacity on the final epidemic size, defined as the total number of infected individuals at the end of the season. For the model, we assumed that any isolated individual is not discharged in the season. The results of the mathematical analysis show that there exists a necessary and sufficient condition under that the isolation reaches its capacity at a finite time during the epidemic process. Further, the final epidemic size is monotonically decreasing in terms of isolation capacity. The model provides theoretical frameworks for understanding the best-estimated scenario for the isolation enough to avoid reaching the capacity at any finite time during the epidemic process and the dependence of critical isolation capacity on the characteristics of the epidemic dynamics.

論文審査結果の要旨

人間集団における感染症の伝染ダイナミクスについての理論研究は古典的には、1927年のWilliam O. KermackとAnderson G. McKendrickによる論文において提案、考察された数理モデルが現代の数理モデル研究の祖ともいえ、その後、1980年代のHIV感染によるAIDSへの世界的注目の中、今日、数理疫学とも呼ばれることもある数理モデルによる理論研究の分野が発展してきた。人間集団における感染症の伝染ダイナミクスは、人間集団における社会や文化の背景に強く依存するため、社会学、心理学などの関連する社会・人文科学との関わりも深く、多様な研究が行われている。2019年末からのCOVID-19の世界的流行により、感染症伝染ダイナミクスにおける社会構造・文化特性への関連性は、ますます顕著に認識されるようになってきているといえる。本論文は、そのような感染症伝染ダイナミクスに関する問題についての基礎的な数理モデル研究として、特に、感染症流行における感染者の隔離対策に限界がある場合のいわゆるKermack-McKendrick SIRモデルの拡張による数理モデルの数学的性質を丁寧に調べ、その考察の成果をとりまとめたもので、英文全編3章と付録から成る。

第1章は序であり、本研究の背景としての人間集団における感染症についての現代的概念の要点をまとめ、特に、数理疫学における数理モデルにおいて現れる感染症伝染ダイナミクスに関する主要な因子と、それらに基づく、数理モデル構築における論理的な枠組みの概略を示している。さらに、本論文において記される研究の主題となる数理モデルの元となるKermack-McKendrick SIRモデル、および、その数理的性質についての概要と、防疫施策による効果を導入した数理モデルの例について触れている。

第2章が本論文の主幹となる内容を記しており、Kermack-McKendrick SIRモデルに、容量限界のある隔離施策の効果を導入する数理モデルを構築する合理的過程を示した上で、構築された数理モデルの特性についての数理的解析結果を体系的にまとめている。Kermack-McKendrick SIRモデルに隔離の効果を導入した数理モデルの研究は少なからず行われてきたが、本研究はその隔離容量の有限性に着目した点で独自性が高く、数理モデル解析も厳密な結果を与えるものになっている。感染症伝染ダイナミクスのもつ特性に応じて、隔離施策が感染症流行を制御できるための隔離容量に対する閾値の存在が示され、さらに、感染症流行が隔離容量を超える感染者を生じさせる場合に、感染規模、すなわち、集団における累計罹患者数の規模が不連続な増大を示す場合があること、そして、そのような結果が引き起こされる条件を明確に導出している。それらの結果を導出する数学的解析の内容が付録にまとめられている。得られた結果は、多くの感染症伝染ダイナミクスについての数理モデル研究に対比しても新しいものであり、基礎モデルについての数理的結果として、関連する数理モデル研究にとっても有益な知見として活用されるべき意義のある成果であるといえる。

第3章は結言である。

以上要するに本論文は、学際領域研究として、人間集団における感染症伝染ダイナミクスに関する基礎的ながら新奇性のある数理モデルの数理的な特性を丁寧に解析した結果得られた成果を記したものであり、情報基礎科学ならびに応用数理、数理生物学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。