

Unveiling Epidemic Management: Understanding Individual Responses to Interventions through Integrated Modeling and Optimal Control Theory

エム ディー ママン アー ラシード カーン

<https://hdl.handle.net/2324/7329518>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (学術), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名	Md. Mamun-Ur-Rashid Khan			
論 文 名	Unveiling Epidemic Management: Understanding Individual Responses to Interventions through Integrated Modeling and Optimal Control Theory (流行管理の解明: 統合モデリングと最適制御理論を通じて介入に対する個人の反応を理解する)			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	谷本 潤
	副査	九州大学	教授	池谷 直樹
	副査	九州大学	准教授	森野 佳生

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

COVID-19 の世界的大流行は、21 世紀にあってもワクチン、anti-viral 薬剤の存在しない未知の感染症に対しては 14 世紀にボッカチオが『デカメロン』で描いたように人との接触を断つ以外に有効な防御策が存在しないとのアイロニーを知らしめることになった。今次のパンデミックでは感染症感染予測に、所謂、SEIR, SEIRS などのコンパートメントモデルが適用され、活用された。このコンパートメントモデルは、感染症拡散がパーコレーションの物理と同相であるダイナミクスと云う点では有効であるが、ワクチン接種する／しない、マスク装着に協力する／しない等々の人々（エージェント）の感染防御策へのコミット面に関する意思決定ダイナミクスの視点が欠落している点を踏まえ、本研究では、所謂、Behavior モデルを連成させた Vaccination Game (VG), Intervention Game (IG) の概念を提示し、それに準拠した個別モデルを構築している。

第 1 章では、本論考のフレームワーク、構成とともに研究の社会的背景を述べている。

第 2 章では、感染症の物理、就中、コンパートメントモデルの基礎をレビューするとともに、複雑系科学の基盤を付与する進化ゲーム理論について概説を与えている。

第 3 章では、時間遅れを伴って生じるウィルスの突然株による複数回の感染動態を模擬するコンパートメントモデルを提示するとともに、ワクチン接種を対策とする Vaccination Game を理論構成、詳細な解析を行うことで、突然変異株の動態とワクチン接種行動に惹起されて生じる社会ジレンマの構造を明らかにしている。

第 4 章では、ワクチン接種行動に対して積極的なグループと否定的グループの社会ダイナミクスを取り込んだ Vaccination Game を構成し、社会ジレンマの特性を詳細に解析している。

第 5 章では、免疫消失を考慮した SIRS モデルを基盤とする Vaccination Game を構築し、免疫消失効果の高低がエージェントのワクチン接種行動を通じて社会ジレンマにどのような影響を付与するのかを詳細に解析している。

第 6 章では、Pontryagin 最大化原理に基づく最適制御問題を Vaccination Game に適用するに際して、既往にない極めて斬新な目的関数の定義手法を提示し、具体例とともにその有効性を示している。従来とは異なり、目的関数内の被積分関数には、コストを物理次元とする場の変数を考慮することが数学的、物理的には正しいことを証している。

第 7 章では、以上の総括結論および将来の課題について論述している。

以上要するに、本研究は、数理疫学、非線形力学系理論、進化ゲーム理論を基盤に、新興感染症のダイナミクスとワクチン接種等感染対策に対する人々の意思決定ダイナミクスとを融合させた Vaccination Game の理論構成を明らかにするとともに、動的最適制御問題に応用する上で基盤とな

る理論的枠組みを新たに提示したものである。これらは、数理疫学および進化ゲーム理論の発展に大きく資する論考であると評価され、社会物理学、人間-環境-社会システム学に大きく寄与する価値ある業績であると認める。よって、博士（学術）の学位に値すると認める。