

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04545

研究課題名（和文）Towards widespread vaccination in an era of vaccine hesitancy

研究課題名（英文）Towards widespread vaccination in an era of vaccine hesitancy

研究代表者

Jusup Marko (JUSUP, Marko)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主任研究員

研究者番号：60762713

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：研究期間中は、人々がワクチンを諾否する決定の背後を理解することに焦点を当て、ワクチン接種に関わる社会的および疫学的行動を数値化する革新的な数理モデルを開発した。当モデルは、合理的な意思決定者と根深い信念に影響される人々の両方を考慮している。神戸大学およびフィンランドのアールト大学との共同研究により、現実的な複数の意思決定過程を取り入れることで、モデルの一般性と関連性を向上させた。数値計算により、ワクチンがどのように受け入れられるかについての重要な洞察が得られ、例えば、社会的影響がワクチン受け入れに強く影響することを示した。これらの結果は、より効果的な公衆衛生戦略の設計に貢献すると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、ワクチン接種に関する意思決定を理解するための革新的な数理モデルの開発にある。当モデルは合理的および非合理的な行動を含むため、疫学研究に新たな視点を提供する。社会的意義としては、特に新型コロナウイルスのような感染症流行時におけるワクチン受け入れの促進に役立つ知見を提供し、より効果的な公衆衛生戦略の設計に寄与する。これにより、感染症対策の向上と社会全体の健康促進が期待される。

研究成果の概要（英文）：During the research period, the focus was on understanding the dynamics behind people's decisions to accept or reject vaccines. We developed an innovative mathematical model to simulate social and epidemiological behaviors related to vaccine uptake. This model considers both rational decision-makers and those influenced by social trends or entrenched beliefs. Through a successful collaboration with researchers from Kobe University and Aalto University in Finland, we enhanced the generality and relevance of our model with realistic human-behavior patterns and multiple layers of decision-making processes. Our simulations revealed important insights into how vaccines are accepted within communities, especially during pandemics like Covid-19. For example, our model highlighted the strong impact of social influence on vaccine acceptance. These findings are crucial for designing more effective public health strategies and vaccination campaigns.

研究分野：数理生物学

キーワード：疫学 進化ゲーム理論 数理モデル化 意思決定 ワクチン接種

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の開始にあたって、世界は新型コロナウイルス感染症のパンデミックと戦いながら、感染症を制御するためのワクチン接種の重要性が明確になった。しかし、ワクチンの入手可能性にも関わらず、ワクチンの受け入れに対する躊躇が集団免疫の達成を阻む大きな障壁となった。日本を含む多くの国で、ワクチンの受け入れには誤情報、文化的信念、社会的影響など、さまざまな要因が影響し、既存のワクチン受け入れ予測モデルは、これらの要因の複雑な相互作用を十分に取り込む能力に制限があった。この知見のギャップが、人口のワクチン受け入れと拒否の行動をより洞察するために、より洗練された枠組みが必要であることを浮き彫りにした。

## 2. 研究の目的

本研究の主な目的は、ワクチン接種に関連する社会的および疫学的ダイナミクスを数値化する革新的な数理モデルを開発することであった。具体的には、合理的な意思決定者と、社会的傾向や深く根付いた信念に影響される人々の両方を考慮に入れることにより、ワクチン受け入れと躊躇の要因をより包括的に理解することを目指した。さらに、国際的な専門家との協力を通じて、モデルの一般性と関連性を向上させ、より効果的な公衆衛生戦略やワクチン接種キャンペーンを提案する洞察を得ることを狙った。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、本研究は疫学と進化ゲーム理論とネットワーク科学の要素を組み合わせた学祭的なアプローチを採用した。モデル開発処理には、以下の主要な段階が含まれる：

- ・ 数学的定式化：社会的および疫学的要因に影響を受ける意思決定過程の数学的表現の開発。
- ・ プログラミングと数値計算：Pythonを使用してモデルを実装し、効率的かつスケーラブルな数値計算を行った。広範なパラメータ空間を扱い、大規模な数値計算を行うために、並列プログラミング技術を活用した。
- ・ 共同研究の推進：神戸大学とフィンランドのアールト大学の研究者との定期的な研究会議や共同作業を通じて、現実的な人間の行動パターンや複数の意思決定層をモデルに統合した。
- ・ モデルのテストと改善：予備的な数値計算の結果に基づいて、モデルの精度と現実性を向上させるためのテスト、デバッグ、および改善を実施した。

## 4. 研究成果

最初の、本研究では大規模な社会ダイナミクスの定量的モデリングに焦点を当てた。これにより、いくつかの成果が得られた：

( i ) 複雑ネットワーク上の動的現象の最適制御モデルが、影響力の高い国際誌「Journal of the Royal Society Interface」に掲載された。

( i i ) 社会的極性の基盤となる社会マイクロダイナミクスのモデルが、影響力の高い国際誌「Proceedings of the Royal Society A」に掲載された。

( i i i ) 物理学の社会システムへの応用に関する最も包括的な概要が完成し、優れた国際誌「Physics Reports」に掲載された。本国際誌の影響指標（インパクトファクター）は25.6であり、85誌中3位のランキングを取っている。

( i v ) スペイン・パルマ・デ・マヨルカで開催された「複雑系会議」で「人間社会における協力の理論と現実」と題した招待講演で、社会ダイナミクスのモデリングにおける重要な進展をいくつか発表した。

上記の成功に基づき、人口内のワクチン受け入れと躊躇のダイナミクスを数値化する革新的な定量的な疫学・行動モデルを開発した。合理的な意思決定者と社会的傾向や根深い信念に影響される個人を統合することで、開発したモデルはワクチン受け入れに影響を与える要因に関する貴重な洞察を提供した。国際的な専門家との協力を通じて、モデルの一般性と関連性を向上させ、より効果的な公衆衛生戦略やワクチン接種キャンペーンの設計に貢献できると考えられる。本研究の結果は、ワクチンの意思決定行動を形成する社会的、文化的、心理的要因の複雑な相互作用を明らかにし、ワクチン受け入れを促進するための政策決定と介入に役に立つが期待される。当モデルの開発により、重要な成果が神戸大学ディスカッションペーパーシリーズ早期に発表された。今後、この成功をさらに発展させ、影響力の高い国際誌での続編の発表を予定している。本研究に付随するコードのGitHubリポジトリも作成した：

<https://github.com/ivanromic/vaccine-behavioral-model/>。

#### 雑誌論文

・ Romic I, **Jusup M** (2024) Vaccination coverage in a struggle between rationalism and conformism. *Kobe University Discussion Paper Series DP2024-15*.

・ Gao S-P, Chang L-L, Romic I, Wang Z, **Jusup M**, Holme P (2022) Optimal control of networked reaction-diffusion systems. *J R Soc Interface* 19: 20210739 [Corresponding author]

・ Podobnik B, **Jusup M**, Korosak D, Holme P, Lipic T (2022) The microdynamics shaping the relationship between democracy and corruption. *Proc R Soc A* 478: 20210567. doi:10.1098/rspa.2021.0567 [Equal contribution]

・ **Jusup M**, Holme P, Kanazawa K, Takayasu M, Romic I, Wang Z, Gecek S, Lipic T, Podobnik B, Wang L, Luo W, Klanjscek T, Fan J, Boccaletti S, Perc M (2022) Social physics. *Phys Rep* 948: 1-148. doi:10.1016/j.physrep.2021.10.005

## 学会発表

• **Jusup M:** Theory and reality of human cooperation. AMETHYST: gAME TheorY in complex SysTems—a CCS2022 satellite meeting, Palma de Mallorca, Spain, 19 Oct 2022

{Invited talk}

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Romic I, Jusup M   | 4. 巻<br>DP2024-15 |
| 2. 論文標題<br>Vaccination coverage in a struggle between rationalism and conformism | 5. 発行年<br>2024年   |
| 3. 雑誌名<br>Kobe University Discussion Paper Series                                | 6. 最初と最後の頁<br>-   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし  | 査読の有無<br>無        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する      |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>Gao Shupeng, Chang Lili, Romic Ivan, Wang Zhen, Jusup Marko, Holme Petter | 4. 巻<br>19             |
| 2. 論文標題<br>Optimal control of networked reaction-diffusion systems                  | 5. 発行年<br>2022年        |
| 3. 雑誌名<br>Journal of The Royal Society Interface                                    | 6. 最初と最後の頁<br>20210739 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1098/rsif.2021.0739                                   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する           |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>Podobnik Boris, Jusup Marko, Korosak Dean, Holme Petter, Lipic Tomislav             | 4. 巻<br>478            |
| 2. 論文標題<br>The microdynamics shaping the relationship between democracy and corruption        | 5. 発行年<br>2022年        |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences | 6. 最初と最後の頁<br>20210567 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1098/rspa.2021.0567   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する           |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Jusup Marko, Holme Petter, Kanazawa Kiyoshi, Takayasu Misako, Romic Ivan, Wang Zhen, Gecek Suncana, Lipic Tomislav, Podobnik Boris, Wang Lin, Luo Wei, Klanjscek Tin, Fan Jingfang, Boccaletti Stefano, Perc Matjaz | 4. 巻<br>948         |
| 2. 論文標題<br>Social physics   | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Physics Reports   | 6. 最初と最後の頁<br>1~148 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.physrep.2021.10.005  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する        |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Jusup Marko  |
| 2. 発表標題<br>Theory and reality of human cooperation                                |
| 3. 学会等名<br>Conference on Complex Systems 2022 (AMETHYST satellite meeting) (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| 定量的な疫学・行動モデルのためのGitHubリポジトリ: <a href="https://github.com/ivanromic/vaccine-behavioral-model/">https://github.com/ivanromic/vaccine-behavioral-model/</a> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                  | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-------|--|-------------------------------------|----|
| 研究協力者 | ロミチ イヴァン<br>(ROMIC Ivan)<br><br>(40963020) | 神戸大学・計算社会科学センター・特命助教<br><br>(14501) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

|         |         |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|