

令和 4 年 6 月 26 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2018～2021
課題番号：18H01655
研究課題名(和文) Social effects on epidemics: A temporal network approach

研究課題名(英文) Social effects on epidemics: A temporal network approach

研究代表者
Holme Petter (Holme, Petter)

東京工業大学・科学技術創成研究院・特任教授

研究者番号：50802352
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円

研究成果の概要(和文)：このプロジェクトは、ネットワークを用いた伝染病のシミュレーション手法に多くの進歩をもたらしました。時分割データを効率的に扱える新しいアルゴリズムを設計した。また、経験的な接触データから代理ネットワークを生成するモデルを作成した。さらに、ゲーム理論によってネットワーク上のワクチン接種を分析するなど、応用面でも理論面でもいくつかの進歩を遂げました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Many of the ideas of this project have already diffused in the academic community. For society, Covid-19 has proved the need for accurate epidemic simulations. The distance from academic results to societal benefits is very short, and possibly our output has already benefitted decision-makers.

研究成果の概要(英文)：This project has resulted in many advances in network-based simulation methods of epidemics. We have designed new algorithms that can handle time-resolved data efficiently. We have created models to generate surrogate networks based on empirical contact data. Furthermore, we have analyzed vaccination on networks by game theory, and made several other applied and theoretical advances.

研究分野：Network science

キーワード：Network science Theoretical epidemiology Social simulation

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

The theme of this project—the feedback from an epidemic outbreak to human behavior and back—became very topical with the emergence of Covid-19. At the beginning of the project (long before Covid-19), it was nevertheless clear that understanding infectious disease dynamics with the ultimate goal of creating effective interventions for mitigating infectious outbreaks would be precious for society. It also seemed like a question where theoretical science could continuously contribute to medical science.

Before the project started, few research groups were interested in the entire feedback loop between epidemics on a network and behavioral contagion. There was no middle ground between highly abstract mathematical epidemiology working only with simple models and the statistical epidemiology that supports public health decision-makers. With this project, we hoped to fill this gap.

2 . 研究の目的

The proposal for this program used the common assumption that social behavior could spread as a social contagion like the infectious disease itself. This would form a feedback loop between epidemic and behavioral spreading. In response to perceived risks and social influence, people may take preventative measures such as getting vaccinated. These behavioral responses will, in turn, modify the infection spreading and cannot be ignored in a comprehensive theory of epidemic spreading. The key question in this proposal was thus: *How does social spreading of behavior influence epidemic spreading?*

On the way to answering the key question, we needed to develop several computational and theoretical techniques. In the long run, such supporting research can be just as important as the primary goal, as it contributes to methods researchers can use for diverse applications (not only the feedback between epidemics and behavior).

3 . 研究の方法

Our research used computer simulations, analytical calculations, and statistical computer analysis. We have, among others, collaborated with experts on mathematical disease modeling (Prof. Naoki Masuda) and game theory (Prof. Marko Jusup).

4 . 研究成果

In total, this project resulted in around 25 publications in three years, around 15 of these were directly related to the topics of the project. This project ended one year early to make way for my continuation project (Kiban A) on a similar theme (JP21H04595). I will give three examples of our concrete research outcomes:

In *Phys. Rev. E* **103**, 052304 (2021), we observed that in many data sets, crucial elements co-exist with non-essential ones and noise. For data represented as networks, in particular, several methods have been proposed to extract a "network backbone," i.e., the set of most essential links—however, the question of how we can effectively use the resulting compressed views of the data. Here we address this issue by putting forward and exploring several systematic procedures to build surrogate data from various kinds of temporal network backbones. In particular, we explore how much information about the original data needs to be retained alongside the backbone to use the surrogate data in data-driven numerical simulations of spreading processes. We illustrate our results using empirical temporal networks with various structures and properties.

In another article—*PLOS One* **16**, e0246961 (2021)—we discussed the detailed assumptions behind temporal network simulation of SIR epidemics—how to make them comparable with analytically tractable formulations of the SIR model and, simultaneously, as realistic as possible. We also present a highly optimized, open-source code for this purpose and discuss all steps needed to make the program as fast as possible.

In *J. Comp. Soc. Sci* **4**, 709-720 (2021), we studied a vaccination dilemma very similar to the ones we all experienced with Covid-19. It involves contributing to a social good—herd immunity—and to one's well-being. It is informed by social influence, personal experience, education, and mass media. In our work, we investigate a situation in which individuals choose based on how social neighborhoods responded to previous epidemics. We do this by proposing a minimalistic model using components from game theory, network theory, and the modeling of epidemic spreading and opinion dynamics. Individuals can use the information about the neighborhood in two ways—following the majority or the best-performing neighbor. Furthermore, we let individuals learn which of these two decision-making strategies to follow from their experience. Our results show that the flexibility of individuals to choose how to integrate information from the neighborhood increases the vaccine uptake and decreases the epidemic severity if the following conditions are fulfilled. First, the initial fraction of individuals who imitate the neighborhood majority should be limited, and second, the memory of previous outbreaks should be sufficiently long. These results have implications for the acceptance of novel vaccines and raising awareness about vaccination while pointing to promising future research directions.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 24件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Presigny Charley, Holme Petter, Barrat Alain	4. 巻 103
2. 論文標題 Building surrogate temporal network data from observed backbones	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 52304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.052304	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Cai Chao-Ran, Wu Zhi-Xi, Holme Petter	4. 巻 103
2. 論文標題 Multistage onset of epidemics in heterogeneous networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.032313	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Miyoshi Soya, Jusup Marko, Holme Petter	4. 巻 4
2. 論文標題 Flexible imitation suppresses epidemics through better vaccination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Computational Social Science	6. 最初と最後の頁 709 ~ 720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42001-021-00105-z	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Fast and principled simulations of the SIR model on temporal networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS One	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0246961	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 C-R Cai, Z-X Wu and Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Multistage onset of epidemics in heterogeneous networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. E	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.032313	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 C Shen, M Jusup, L Shi, Z Wang, M Perc and Petter Holme	4. 巻 18
2. 論文標題 Exit rights open complex pathways to cooperation.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Roy. Soc. Interface	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsif.2020.0777	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 X-X Zhan, Z Li, N Masuda, Petter Holme and H Wang	4. 巻 30
2. 論文標題 Susceptible- infected-spreading-based network embedding in static and temporal networks.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Data Sci.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjds/s13688-020-00248-5	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 L Shi, I Romic, Y Ma, Z Wang, B Podobnik, HE Stanley, Petter Holme and M Jusup	4. 巻 -
2. 論文標題 Freedom of choice adds value to public goods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. USA	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1921806117	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 D Bucur and Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Beyond ranking nodes: Predicting epidemic outbreak sizes by network centralities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS Comp. Biol.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pcbi.1008052	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 B Podobnik, D Korosak, M Skelin Klemen, A Stozer, J Dolensek, M Slak Rupnik, PCh Ivanov, Petter Holme and M Jusup	4. 巻 -
2. 論文標題 -cells operate collectively to help maintain glucose homeostasis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophys. J.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2020.04.005	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Z Du and Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Coupling the circadian rhythms of population movement and the immune system in infectious disease modeling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS One	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0234619	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 B Zhou, X Lu and Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Universal evolution patterns of degree assortativity in social networks.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soc. Netw.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.socnet.2020.04.004	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 N Masuda and Petter Holme	4. 巻 -
2. 論文標題 Small inter-event times govern epidemic spreading on temporal networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.023163	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Naoki Masuda, Petter Holme	4. 巻 23163
2. 論文標題 Small inter-event times govern epidemic spreading on networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Research 2	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.023163	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Colman Ewan, Holme Petter, Sayama Hiroki, Gershenson Carlos	4. 巻 15
2. 論文標題 Efficient sentinel surveillance strategies for preventing epidemics on networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS Computational Biology	6. 最初と最後の頁 e1007517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pcbi.1007517	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Holme Petter	4. 巻 10
2. 論文標題 Rare and everywhere: Perspectives on scale-free networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-09038-8	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Holme Petter, Gandica Yrali	4. 巻 101
2. 論文標題 Free and freer XY models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.101.032311	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Holme Petter, Rocha Luis E. C.	4. 巻 7
2. 論文標題 Impact of misinformation in temporal network epidemiology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Network Science	6. 最初と最後の頁 52 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/nws.2018.28	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Lee Eun, Lee Sungmin, Eom Young-Ho, Holme Petter, Jo Hang-Hyun	4. 巻 99
2. 論文標題 Impact of perception models on friendship paradox and opinion formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.052302	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Lee Sang Hoon, Holme Petter	4. 巻 513
2. 論文標題 Navigating temporal networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 288 ~ 296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2018.09.036	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Masuda Naoki, Holme Petter	4. 巻 9
2. 論文標題 Detecting sequences of system states in temporal networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-37534-2	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Rong Zhihai, Wu Zhi-Xi, Li Xiang, Holme Petter, Chen Guanrong	4. 巻 29
2. 論文標題 Heterogeneous cooperative leadership structure emerging from random regular graphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 103103 ~ 103103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5120349	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Masuda Naoki, Holme Petter	4. 巻 9
2. 論文標題 Detecting sequences of system states in temporal networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-37534-2	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Lee Eun, Lee Sungmin, Eom Young-Ho, Holme Petter, Jo Hang-Hyun	4. 巻 99
2. 論文標題 Impact of perception models on friendship paradox and opinion formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.052302	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Holme Petter, Rocha Luis E. C.	4. 巻 7
2. 論文標題 Impact of misinformation in temporal network epidemiology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Network Science	6. 最初と最後の頁 52 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/nws.2018.28	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Holme Petter, Tupikina Liubov	4. 巻 20
2. 論文標題 Epidemic extinction in networks: insights from the 12 110 smallest graphs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 113042 ~ 113042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/aaf016	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Freedom of choice adds value to public goods
3. 学会等名 Workshop on Socioeconomic Networks (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Temporal networks & the humanities
3. 学会等名 Historical Network Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 The big science of small networks
3. 学会等名 NetSci-X (Tokyo, Japan) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Temporal networks of human interaction
3. 学会等名 International conference on complexity management science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Spin systems on networks, revisited
3. 学会等名 CCS Satellite on Criticality in Networks and Socio-Economic Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Temporal networks of human interaction
3. 学会等名 Workshop on the Frontiers of Network Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Temporal networks of human interactions
3. 学会等名 YEP XV Information diffusion on random networks (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 temporal networks
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Social simulation and human mobility
3. 学会等名 Center for Computational Social Science Kick-off (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Network epidemiology without random numbers
3. 学会等名 Complex Networks Workshop (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Social networks of social dilemmas: Experiments and simulations
3. 学会等名 IAS Research Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Petter Holme
2. 発表標題 Objective measures in sentinel surveillance in network epidemiology
3. 学会等名 NetSci Satellite Workshop "Contagion & Networks"
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Petter Holme, Jari Saramaki	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 375
3. 書名 Temporal network theory	

〔産業財産権〕

〔その他〕

情報・人工知能研究 Petter Holme 特任教授 - WRHI - 東京工業大学
<https://www.wrhi.iir.titech.ac.jp/people/holme-petter/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	村田 剛志 (Murata Tsuyoshi) (90242289)	東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608)	

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1件

国際研究集会 Mini workshop on network science	開催年 2020年～2020年
--	--------------------

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
---------	---------