

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04731

研究課題名(和文) エージェントモデルによる薬剤投与戦略の構築 - 薬剤耐性菌の進化と拡散の防止

研究課題名(英文) Building the antimicrobials administration strategy by multi-agent model

研究代表者

伊東 啓 (ITO, Hiromu)

長崎大学・熱帯医学研究所・助教

研究者番号：80780692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：抗生剤の使用と、その積み重ねが生み出す薬剤耐性菌の進化及び拡散を再現するマルチ・エージェント・シミュレーションを開発した。また、複雑ネットワークを導入した感染症の数理モデルを多数発表した。これに加え、研究途上では抗生剤使用の背景にある社会的ジレンマの存在に気づいたことで研究を飛躍的に発展させた。ここでは計8カ国に跨る国際Web調査を展開し、各国における抗生剤の使用に関する社会的ジレンマの認識割合と、その推定強度を世界で初めて検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究発足当初から薬剤耐性の問題は危惧されていたが、コロナ禍によってさらに注目度は集まっている。感染症問題そのものが世界全体の課題であることが広く認識された上に、薬剤耐性による死亡数がマラリアやHIV/AIDSに匹敵しているという報告も出てきた。このような時流の中で展開された本研究は、薬剤耐性の問題、特に社会的ジレンマに食い込むことで大きな成果を得た。特に一般市民が内包する抗生剤の使用に関する社会的ジレンマを明らかにする試みは、本研究以外には存在しない。社会的ジレンマと薬剤耐性の問題は今後ますます盛んに研究されていく科学的領域となるだろう。本研究はそのさきがけとしての役目を果たしたものと信ずる。

研究成果の概要(英文)：I developed a multi-agent simulation model that demonstrate the use of antimicrobials and the evolution and spread of antimicrobial resistance (AMR). I also presented some of mathematical models of infectious diseases that introduced complex networks. In addition to this, I made a breakthrough in my research by recognizing the social dilemma behind the use of antimicrobials in our society. Therefore, I developed an international web-based survey covering a total of eight countries, and I verified the awareness rate of respondents in social dilemmas regarding antimicrobials use in each country, and I estimated strength of the social dilemma in the excess use of antimicrobials incurring antimicrobial resistance.

研究分野：数理科学

キーワード：抗生剤 薬剤耐性菌 AMR 社会的ジレンマ シミュレーション 数理モデル 進化 行動

## 1. 研究開始当初の背景

抗生物質( 抗生剤 ) 発見と普及によって、それまで致命的だった細菌性感染症が治療可能になり、多くの人々の命が救われた。その一方で、抗生剤の使用はそれ自体が「薬剤耐性菌」という、抗生剤の効かない病原体を生み出すことになった。薬剤耐性菌( 耐性菌 ) とは、抗生剤の使用によって体内に劇的な進化的淘汰圧( 選択圧 ) がかかることで、薬剤耐性を獲得した抗生剤の効かない細菌である。抗生剤の過剰使用は耐性菌の出現を後押しし、それが蔓延すると、薬で治療できない病気で苦しむ人が増えるだけでなく、抗生剤の効果を前提とした外科手術や臓器移植といった既存の医療システムが機能しなくなることが懸念されている。このような状況で、WHO や各国の医療機関は、薬剤耐性菌の拡散を大きな脅威と位置づけ、抗生剤は「真に必要な時に、必要な量を、必要な期間だけ」使用するよう警鐘を鳴らしている。

しかし、現在の医療現場で実施されがちな投薬戦略を見てみると、例えば子供の中耳炎のような耳感染のうち、80%以上は抗生物質の効かないウイルス感染だが、残りの20%未満の可能性のために抗生物質を“念のため”使用している現状がある( Blaser 2014 )。このように今日の一部の医師、感染を心配する患者、製薬会社といった集合の主流は、細菌の撲滅であり、抗生物質による「Search & Destroy 戦略」と言える。

抗生剤の使用という行動が薬剤耐性の進化を促してしまう以上、現状の過剰投薬とも言える投薬戦略を続けていけば、今まで以上に強力な耐性菌を生み出してしまうだけでなく、耐性菌の拡散も制御不能になってしまうだろう。

## 2. 研究の目的

病原菌の生態学的な変動環境への適応度( Fitness ) を考慮したエージェントモデル( 個体ベースモデル ) を構築し、各エージェントの保有菌量、体内の病原菌の増殖、病状の重さから導出される排菌量といった感染症に大きく関わるパラメータを仮想社会上で再現し、投薬総量や感染者数の挙動を追うシミュレーションを実行する。これにより、各エージェントに対して行われる抗生剤の投与戦略が、病原菌に対してどう進化的淘汰圧をかけてしまうのかを分析する。さらに病原菌側の伝播力( 感染力 ) や、人の交流を再現した複雑ネットワーク構造など、様々な条件を導入することで、病原菌の特性や進化動態、集団サイズに応じた最適な投薬戦略を導出し、提案する。ここから、社会構造の中での病原菌の耐性進化リスクを分析し、抗生物質やワクチンといった強力な薬剤の正の側面だけでなく、長期的かつ大局的な観点から持続的な医療のあり方を考える。

## 3. 研究の方法

ここでは、個人に対する投薬行動と、その積み重ねが集団全体( システム全体 ) に与える影響を評価するためにマルチ・エージェント・シミュレーション( MAS ) を構築する。つまり、感染症が流行ると抗生剤が多量に使用されて耐性菌の出現リスクが上がるが、一方で抗生剤の使用を控えると非耐性の感染症が広がってしまうというトレードオフの問題を扱うことができる。これにより、「抗生剤の使用」というそれ単体で見れば大きな影響を及ぼさない行動の積み重ねが、病原菌に対する進化的淘汰圧を上昇させ、社会全体で見れば耐性菌の出現リスクを想像以上に上昇させてしまう効果を検証する。

## 4. 研究成果

要件を満たしたエージェントモデルの開発は順調に進み、それに付随する形で複雑ネットワークを考慮した感染症の拡散モデルも多数発表した。具体的にはまず、世界で初めて、性接触の複雑ネットワークを踏まえた性感染と母子感染を同時に考慮した性感染症の拡散モデルを開発した( Ito et al. 2019. Appl Math Comput )。これは根治が難しい性感染症ウイルス( HTLV-1 や HBV ) や、薬剤耐性を持つ性感染症の拡散予測に役立つ。同時に、性感染症全般で「なぜ性感染症は絶滅しないのか」という適応進化の疑問として捉えている点でユニークであり、投薬や社会ネットワークというヒト社会側の行動がどのように病原体に進化的淘汰圧をかけ得るのか議論する上で重要な成果となった。また、このモデルは現在に至るまで改良が進められ、死亡と治療を考慮した汎用モデルや( Ito et al. 2019. Sci Rep ) 同性同士の性接触者を考慮したモデル( Ito et al. Theor Biol Med Model ) へと拡張された。これにより、ほぼすべての性感染症の拡散効率を型再生産( Type-reproduction number ) によって数理的に表現することが可能となった。

さらにこれらのモデルの精度を上げるために、独自に Web 調査を展開することで性接触ネッ

トワークの解明に取り組んだ。「これまでの人生で何人の異性と性接触したか」という問いへの回答を5,000人から収集することで、アジア圏では初めて「日本における性接触する異性の人数の分布が、男女ともに冪分布に従う（ネットワークがスケールフリーである）」ことを発見した（Ito et al. 2019. PLoS ONE）。これは、「多くの人々の性接触は少人数（数人以下）との関係に留まるものの、一部には極めて巨大な性接触ネットワークを持つ人が存在する」ことを意味しており、普遍的なヒトの社会ネットワークの特性と言われているスケールフリー性が我が国の性接触のネットワークにも存在することを示している。スケールフリーのネットワーク下で感染症の伝播が生じる場合、感染率が非常に低い場合でも流行が起こりやすくなることが理論的に知られているため、スケールフリーの有無は公衆衛生において重要であり、大きな発見となった。また、我々の数理モデルの妥当性を裏付けるものであり、国内における性感染症の拡散予測の精度を向上させ得る。

一方、これらの研究途上で、「仮にシミュレーションによって理論上の最適な薬剤投与戦略が導かれたとして、人間である我々はその戦略に従うことができるか」という問題が浮かび上がってきた。つまり、社会的視点では【耐性菌の出現リスクを減らすために抗生剤を控えるべき】なのだが、現実にはこの建前に対して個人的視点から【自分や、自分にとって親しい人だけは一日でも早く治癒したい】という本音が存在するため、そこにジレンマが発生している。このように、個人の合理的意思決定が社会全体の最適な状況と乖離するために生まれる葛藤のことを社会的ジレンマと呼ぶ。社会的ジレンマを解消しないことには、そもそも最適な投薬戦略が机上の空論になってしまうため、耐性菌問題を議論するためにはまず社会的ジレンマの考慮が不可欠になる。そして、社会的ジレンマを緩和・解消することができればより協力的な社会として機能することが既に多くの研究から知られており、研究計画を変更して、この社会的ジレンマの理解及び緩和を先に研究することとした。

そして、長崎大学熱帯医学研究所倫理委員会から承認を得て（承認番号 190619217）、計8カ国（日米英典台伯豪露）でWeb調査を展開して、計41,978人の参加者から回答を得た。これにより、各国における社会的ジレンマの認識割合とその推定強度が判明した（Ito et al. として論文投稿中）。

また、これに伴い社会的ジレンマの基礎研究方面の展開でも大きな成果が挙げられた。代表者はもともと、「ヒトは社会的ジレンマを乗り越えて、真に協力的な社会を構築できるのだろうか」という視点から社会的ジレンマの緩和機構に関する研究を続けてきた。その過程で、社会的ジレンマが「相手を搾取しようとするジレンマ」と、「相手からの搾取を避けようとするジレンマ」の二つに分けられることを知り、これら二つのジレンマが互惠ルールによってどのように緩和されるのかをジレンマ位相面から可視化する手法を提案した（Ito & Tanimoto 2018. Royal Soc Open Sci）。図から視覚的にゲーム構造とジレンマ緩和機構を表現することを可能にしたこの手法は多く引用され、2020年のJournal Citation Reportsでは、Royal Society Open Science誌のImpact factor contributing items全1,695記事中の第3位にランクインしている。その他、ゲーム理論に関する研究でも多くの成果が挙げられた（Ito & Tanimoto 2020. Royal Soc Open Sci 他）。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 19件）

|                                                                                                                                                                                                    |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名<br>Ito Hiromu, Tanimoto Jun                                                                                                                                                                 | 4. 巻<br>7            |
| 2. 論文標題<br>Dynamic utility: the sixth reciprocity mechanism for the evolution of cooperation                                                                                                       | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Royal Society Open Science                                                                                                                                                               | 6. 最初と最後の頁<br>200891 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rsos.200891                                                                                                                                                    | 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>-            |
| 1. 著者名<br>Arefin Md. Rajib, Kabir K. M. Ariful, Jusup Marko, Ito Hiromu, Tanimoto Jun                                                                                                              | 4. 巻<br>10           |
| 2. 論文標題<br>Social efficiency deficit deciphers social dilemmas                                                                                                                                     | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>16092  |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-020-72971-y                                                                                                                                             | 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>-            |
| 1. 著者名<br>Sumaiya Rahila I.K., Nii Momoka, Okabe Takuya, Ito Hiromu, Pulungan Muhammad Almaududi, Morita Satoru, Kobayashi Kazuya, Setou Mitsutoshi, Iwabuchi Kikuo, Matsuura Kenji, Yoshimura Jin | 4. 巻<br>44           |
| 2. 論文標題<br>Energetic requirements of the transition from solitary to group living                                                                                                                  | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Ecological Complexity                                                                                                                                                                    | 6. 最初と最後の頁<br>100874 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.ecocom.2020.100874                                                                                                                                           | 査読の有無<br>有           |
| 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>-            |
| 1. 著者名<br>Arima Hiroaki, Nakano Masayuki, Koirala Sweta, Ito Hiromu, Pandey Basu Dev, Pandey Kishor, Wada Takayuki, Yamamoto Taro                                                                  | 4. 巻<br>49           |
| 2. 論文標題<br>Unique hemoglobin dynamics in female Tibetan highlanders                                                                                                                                | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Tropical Medicine and Health                                                                                                                                                             | 6. 最初と最後の頁<br>2      |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1186/s41182-020-00289-6                                                                                                                                             | 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>Areja Gavina Maica Krizna D., Torres Monica C., Gamilla Gimelle B., Sakaguchi Tomohiko, Ito Hiromu, Rabajante Jomar F., Tubay Jerrold M., Yoshimura Jin, Morita Satoru | 4. 巻<br>11                |
| 2. 論文標題<br>Exaggerated evolution of male armaments via male-male competition                                                                                                     | 5. 発行年<br>2021年           |
| 3. 雑誌名<br>Ecology and Evolution                                                                                                                                                  | 6. 最初と最後の頁<br>6977 ~ 6992 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/ece3.7546                                                                                                                                    | 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>Chiba Erika, Cuaresma Diane Carmeliza N., Rabajante Jomar F., Tubay Jerrold M., Areja Gavina Maica Krizna, Yamamoto Tatsuki, Yoshimura Jin, Morita Satoru, Ito Hiromu, Okabe Takuya | 4. 巻<br>8            |
| 2. 論文標題<br>Improving environment drives dynamical change in social game structure                                                                                                             | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Royal Society Open Science                                                                                                                                                          | 6. 最初と最後の頁<br>201166 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rsos.201166                                                                                                                                               | 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>Jony Sheikh Saifur Rahman, Haque Ubydul, Webb Nathaniel J., Spence Emily, Rahman Md. Siddikur, Aghamohammadi Nasrin, Lie Yongchan, Angulo-Molina Aracely, Ananth Sushmitha, Ren Xuelian, Kawachi Nobuyuki, Ito Hiromu, Ulvi Osman, Lubinda Jaiilos, Karamehic-Muratovic Ajlina, Maher Wasim, Ali Parveen, Rahman M. Sohel | 4. 巻<br>11        |
| 2. 論文標題<br>Analyzing Predictors of Control Measures and Psychosocial Problems Associated with COVID-19 Pandemic: Evidence from Eight Countries                                                                                                                                                                                      | 5. 発行年<br>2021年   |
| 3. 雑誌名<br>Behavioral Sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>106 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/bs11080106                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 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>Ito Hiromu, Yamamoto Taro, Morita Satoru                                                        | 4. 巻<br>18       |
| 2. 論文標題<br>The effect of men who have sex with men (MSM) on the spread of sexually transmitted infections | 5. 発行年<br>2021年  |
| 3. 雑誌名<br>Theoretical Biology and Medical Modelling                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>18 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1186/s12976-021-00148-9                                                    | 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>-        |

|                                                                                                                                                                                                                 |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名<br>Otsuki Takahiro, Uka Daisuke, Ito Hiromu, Ichinose Genki, Nii Momoka, Morita Satoru, Sakamoto Takuma, Nishiko Maaya, Tabunoki Hiroko, Kobayashi Kazuya, Matsuura Kenji, Iwabuchi Kikuo, Yoshimura Jin | 4. 巻<br>9          |
| 2. 論文標題<br>Mass killing by female soldier larvae is adaptive for the killed male larvae in a polyembryonic wasp                                                                                                 | 5. 発行年<br>2019年    |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                                                                                                                    | 6. 最初と最後の頁<br>7357 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-43643-3                                                                                                                                                          | 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>-          |

|                                                                                                                                                                                                                                      |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Pulungan Muhammad Almaududi, Suzuki Shota, Gavina Maica Krizna Areja, Tubay Jerrold M., Ito Hiromu, Nii Momoka, Ichinose Genki, Okabe Takuya, Ishida Atsushi, Shiyomi Masae, Togashi Tatsuya, Yoshimura Jin, Morita Satoru | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>Grazing enhances species diversity in grassland communities                                                                                                                                                               | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                                                                                                                                         | 6. 最初と最後の頁<br>11201 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-47635-1                                                                                                                                                                               | 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>Ito Hiromu, Tamura Kazuhiro, Wada Takayuki, Yamamoto Taro, Morita Satoru | 4. 巻<br>14             |
| 2. 論文標題<br>Is the network of heterosexual contact in Japan scale free?             | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>PLOS ONE                                                                 | 6. 最初と最後の頁<br>e0221520 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1371/journal.pone.0221520                           | 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>-              |

|                                                                                             |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Nii Momoka, Okabe Takuya, Ito Hiromu, Morita Satoru, Yasuda Yosuke, Yoshimura Jin | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>Bankruptcy is an inevitable fate of repeated investments with leverage           | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                | 6. 最初と最後の頁<br>13745 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-50237-6                                      | 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>-           |

|                                                                                                |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名<br>Yamamoto Tatsuki, Ito Hiromu, Nii Momoka, Okabe Takuya, Morita Satoru, Yoshimura Jin | 4. 巻<br>6            |
| 2. 論文標題<br>A single 'weight-lifting' game covers all kinds of games                            | 5. 発行年<br>2019年      |
| 3. 雑誌名<br>Royal Society Open Science                                                           | 6. 最初と最後の頁<br>191602 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rsos.191602                                                | 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>-            |

|                                                                                                                           |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Ito Hiromu, Yamamoto Taro, Morita Satoru                                                                        | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>The type-reproduction number of sexually transmitted infections through heterosexual and vertical transmission | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                              | 6. 最初と最後の頁<br>17408 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-53841-8                                                                    | 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>-           |

|                                                                                     |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Hiromu Ito, Taro Yamamoto, Satoru Morita                                  | 4. 巻<br>348           |
| 2. 論文標題<br>Demography of sexually transmitted infections with vertical transmission | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Applied Mathematics and Computation                                       | 6. 最初と最後の頁<br>363-370 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.amc.2018.12.002                               | 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>-             |

|                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名<br>Hiromu Ito                                                                             | 4. 巻<br>34         |
| 2. 論文標題<br>Risk sensitivity of a forager with limited energy reserves in stochastic environments | 5. 発行年<br>2019年    |
| 3. 雑誌名<br>Ecological Research                                                                    | 6. 最初と最後の頁<br>9-17 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/1440-1703.1058                                               | 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>-          |

|                                                                                                       |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Yuki Katsumata, Takashi Uehara, Hiromu Ito, Jin Yoshimura, Kei-ichi Tainaka, Genki Ichinose | 4. 巻<br>388         |
| 2. 論文標題<br>Density-dependent population model of effective release policy for Ayu fish                | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>Ecological Modelling                                                                        | 6. 最初と最後の頁<br>80-87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.ecolmodel.2018.09.021                                           | 査読の有無<br>有          |
| 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>-           |

|                                                                                                                                                   |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名<br>Hiromu Ito, Jun Tanimoto                                                                                                                | 4. 巻<br>5            |
| 2. 論文標題<br>Scaling the phase-planes of social dilemma strengths shows game-class changes in the five rules governing the evolution of cooperation | 5. 発行年<br>2018年      |
| 3. 雑誌名<br>Royal Society Open Science                                                                                                              | 6. 最初と最後の頁<br>181085 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rsos.181085                                                                                                   | 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>-            |

|                                                                                                                                                                                        |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. 著者名<br>Sweta Koirala, Masayuki Nakano, Hiroaki Arima, Shouhei Takeuchi, Tomo Ichikawa, Takayuki Nishimura, Hiromu Ito, Basu Dev Pandey, Kishor Pandey, Takayuki Wada, Taro Yamamoto | 4. 巻<br>27       |
| 2. 論文標題<br>Current health status and its risk factors of the Tsarang villagers living at high altitude in the Mustang district of Nepal                                                | 5. 発行年<br>2018年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physiological Anthropology                                                                                                                                        | 6. 最初と最後の頁<br>20 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1186/s40101-018-0181-y                                                                                                                                  | 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>Maica Krizna A. Gavina, Kotaro Aoki, Genki Ichinose, Jomar F. Rabajante, Hiromu Ito, Satoru Morita, Vincent A. A. Jansen, Jin Yoshimura | 4. 巻<br>33              |
| 2. 論文標題<br>Long-term persistence of agricultural pest insects by risk-spreading dispersal                                                         | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Ecological Research                                                                                                                     | 6. 最初と最後の頁<br>1031-1037 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11284-018-1615-z                                                                                             | 査読の有無<br>有              |
| 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>Maica Krizna A. Gavina, Takeru Tahara, Kei-ichi Tainaka, Hiromu Ito, Satoru Morita, Genki Ichinose, Takuya Okabe, Tatsuya Togashi, Takashi Nagatani, Jin Yoshimura | 4. 巻<br>8          |
| 2. 論文標題<br>Multi-species coexistence in Lotka-Volterra competitive systems with crowding effects                                                                             | 5. 発行年<br>2018年    |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                                                                                 | 6. 最初と最後の頁<br>1197 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-017-19044-9                                                                                                                       | 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>Yuki Katsumata, Takashi Uehara, Hiromu Ito, Jin Yoshimura, Kei-ichi Tainaka, Genki Ichinose                              | 4. 巻<br>7           |
| 2. 論文標題<br>Territory holders and non-territory holders in Ayu fish coexist only in the population growth process due to hysteresis | 5. 発行年<br>2017年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports                                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>16777 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-017-16859-4                                                                             | 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>-           |

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件)

|                                        |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東 啓                        |
| 2. 発表標題<br>HTLV-1の蔓延リスク予測と最適な拡散防止戦略の構築 |
| 3. 学会等名<br>第27回ヘルスリサーチフォーラム (招待講演)     |
| 4. 発表年<br>2020年                        |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東 啓                    |
| 2. 発表標題<br>性感染症の存続性と社会ネットワークへの適応   |
| 3. 学会等名<br>ネットワーク科学セミナー2020 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2020年                    |

|                                            |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東 啓                            |
| 2. 発表標題<br>数理モデルから考察する性感染症の存続性とヒト社会への適応    |
| 3. 学会等名<br>情報処理学会第16回ネットワーク生態学シンポジウム（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2021年                            |

|                                        |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東 啓                        |
| 2. 発表標題<br>数理モデルから考える性感染症の社会ネットワークへの適応 |
| 3. 学会等名<br>日本数理生物学会第31回大会（招待講演）        |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Koirala S, Nakano M, Arima H, Takeuchi S, Ichikawa T, Nishimura T, Ito H, Pandey BD, Pandey K, Wada T, Yamamoto T |
| 2. 発表標題<br>Cardiovascular Risk Factors among high altitude inhabitants of Nepal                                              |
| 3. 学会等名<br>Fifth National Summit of the Health and Population Scientists in Nepal                                            |
| 4. 発表年<br>2019年                                                                                                              |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>守田智, 伊東啓, 山本太郎           |
| 2. 発表標題<br>垂直感染を含む性感染伝播のネットワーク拡散モデル |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2019年秋季大会          |
| 4. 発表年<br>2019年                     |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>守田智, 伊東啓, 山本太郎          |
| 2. 発表標題<br>母子感染を考慮した性感染ネットワーク拡散モデル |
| 3. 学会等名<br>日本数理生物学会第29回大会          |
| 4. 発表年<br>2019年                    |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓, 谷本潤                   |
| 2. 発表標題<br>5つの互惠ルールが持つ社会的ジレンマ緩和機構の可視化 |
| 3. 学会等名<br>日本数理生物学会第29回大会             |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

|                                                |
|------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>谷本潤, 伊東啓                            |
| 2. 発表標題<br>社会ジレンマの存否とSocial Efficiency Deficit |
| 3. 学会等名<br>日本数理生物学会第29回大会                      |
| 4. 発表年<br>2019年                                |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓, 吉村仁             |
| 2. 発表標題<br>周期ゼミの数理モデリング         |
| 3. 学会等名<br>個体群生態学会第35回大会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年                 |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓, 山本太郎, 守田智             |
| 2. 発表標題<br>母子感染と性ネットワークを考慮した性感染症拡散モデル |
| 3. 学会等名<br>個体群生態学会第35回大会              |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>松浦健二, 伊東啓, 小林和也, 大崎遥, 吉村仁 |
| 2. 発表標題<br>ゲノムインプリンティングによる真社会性の起源    |
| 3. 学会等名<br>個体群生態学会第35回大会             |
| 4. 発表年<br>2019年                      |

|                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Hiromu Ito                                                                      |
| 2. 発表標題<br>Why had periodical cicadas acquired periodicity and prime-numbered life cycles? |
| 3. 学会等名<br>3rd International Workshop on Mathematical Biology 2020 (招待講演) (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                            |

|                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Satoru Morita, Hiromu Ito, Taro Yamamoto                                                    |
| 2. 発表標題<br>Basic Reproduction Number of Sexually Transmitted Infections with Mother-to-Child Infection |
| 3. 学会等名<br>NetSci X 2020: International School and Conference on Network Science (国際学会)                |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                                        |

|                                |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東 啓                |
| 2. 発表標題<br>数理モデルから考察する性感染症の存続性 |
| 3. 学会等名<br>日本生態学会第67回全国大会      |
| 4. 発表年<br>2020年                |

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓、谷本潤                                  |
| 2. 発表標題<br>ゲーム理論におけるジレンマ強度の可視化と協力行動の進化～5つの互惠ルールを例に～ |
| 3. 学会等名<br>日本生態学会第66回全国大会                           |
| 4. 発表年<br>2019年                                     |

|                                            |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>勝又雄基、上原隆司、伊東啓、吉村仁、泰中啓一、一ノ瀬元喜    |
| 2. 発表標題<br>縄張り競争の個体群動態モデルによるアユの効果的な放流方策の検討 |
| 3. 学会等名<br>第34回個体群生態学会                     |
| 4. 発表年<br>2018年                            |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>松浦健二、伊東啓、吉村仁              |
| 2. 発表標題<br>真社会性の作り方：ゲノムインプリンティング説の提唱 |
| 3. 学会等名<br>第34回個体群生態学会               |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>松浦健二、伊東啓、吉村仁           |
| 2. 発表標題<br>ゲノムインプリンティングによる真社会性の起源 |
| 3. 学会等名<br>日本動物行動学会第37回大会         |
| 4. 発表年<br>2018年                   |

|                                        |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓、小林志穂美、守田智               |
| 2. 発表標題<br>日本の人口移動を考慮したHTLV-1の拡散予測に向けて |
| 3. 学会等名<br>第65回日本生態学会                  |
| 4. 発表年<br>2018年                        |

|                                        |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊東啓、小林志穂美、守田智               |
| 2. 発表標題<br>日本における人口移動を考慮したHTLV-1の拡散モデル |
| 3. 学会等名<br>第14回情報処理学会ネットワーク生態学シンポジウム   |
| 4. 発表年<br>2017年                        |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 個人ホームページ<br><a href="https://sites.google.com/view/h-ito/researchmap">https://sites.google.com/view/h-ito/researchmap</a><br><a href="https://researchmap.jp/hiromu_ito/">https://researchmap.jp/hiromu_ito/</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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|

## 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                                    |  |  |  |
|---------|--------------------------------------------|--|--|--|
| スイス     | University of Basel                        |  |  |  |
| フィリピン   | University of the Philippines<br>Los Banos |  |  |  |