

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2013

課題番号：21770016

研究課題名(和文)生態系の持続可能性と制度や規範について：所有形態や制裁の効果を焦点に

研究課題名(英文)The effect of institutions and norms on sustainability of ecosystem

研究代表者

中丸 麻由子(Nakamaru, Mayuko)

東京工業大学・社会理工学研究科・准教授

研究者番号：70324332

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：生態系を持続的に利用するためには「資源としての生物をとりすぎない」というような協力的な行動が重要となる。ただ、コモンズの悲劇でも指摘されているよう、協力は達成しにくいという。そこで相手の協力度合いに応じて罰の量を変化させるときに、どの様に罰をすると協力が促進されるのかをコンピュータシミュレーションや数理モデルで検討した。コモンズに関するモデルとして、公共財ゲームが用いられることが多い。しかし、コモンズの管理や運営は公共財ゲームで表現されている構造以外のものを行っていることも多い。他の構造におけるコモンズの持続可能な利用に関する研究も行った。

研究成果の概要(英文)：Cooperation is a key to maintain ecosystem as commons. However, people do not always cooperate because of the cost of cooperation. Punishment to non-cooperators is said to promote cooperation, but punishment is also costly. Here we investigated how people punish others according to others' cooperation level by evolutionary simulations. I also investigated the evolutionary condition that cooperation is sustainable when people invest their efforts to commons simultaneously and one of them can receive a benefit from commons by rotation by evolutionary simulations. Terrace rice fields in Japan should be sustainable as Japan's cultural heritages and I decided to make a mathematical and simulation model to investigate what kinds rules and customs maintain terrace rice fields. It is still an ongoing work and I will show you what makes terrace rice field sustainable in a future topic.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：持続可能性 数理モデル シミュレーション 制度 人間活動

01. 研究開始当初の背景

人間が存在している以上、生態系と人間活動は深く関わっている。そして、人間活動は制度や慣習、社会規範、価値観や文化からの影響を受ける。各地域では、地域固有の生態系に合った、独自の制度や慣習などを発達させることによって、生態系を維持していた。たとえば、生態系が地域住民なら利用可能な「コモンズ」である場合には、地域独自の制度や慣習によって、「共有地の悲劇」を回避してきた。しかし近年、社会経済状況がめまぐるしく変化したこともあり、制度や慣習、規範も急激に変化し、生態系に悪影響を及ぼす可能性も高くなっている。

2. 研究の目的

本研究では、制度や慣習の中でも、生態系維持や崩壊に強く影響を及ぼす所有形態に着目する。実証例として、マレーシアに生息するアナツバメの巣(中華の高級食材)の所有権とアナツバメの個体群管理、を取り上げる。そして、(1)地域固有の生態モデルを構築し、(2)所有形態やそれに伴うルールや人間活動をその生態モデルへのせ、(3)所有形態と生態系維持や崩壊の関係について、数理モデルやコンピュータシミュレーションによって検証する。それぞれの生態系にとって、どのような制度、規範などが生態系維持には重要であるか、モデルによって検討する。

また、制度や規範の遵守を強制するためには、制裁が伴っている場合が多い。規範の遵守と制裁について抽象化したモデルを考えると、進化生態学で現在進行中の研究テーマの一つである、協力と罰行動の進化に関する理論的研究として捉える事が可能である。申請者による協力と罰の進化ゲームに関する一連の理論モデル研究を基にして、制度や規範を遵守させるためにはどのような条件が必要なのかを検討する。

そして、実証と理論の間のフィードバックを行い、持続可能な所有形態を成立させるための制度、規範、ルールと生態系との関係性について、一般化も見据えながら、検証していく。

3. 研究の方法

数理モデル研究とシミュレーション研究を主に行った。また、実際の現象を見ながらモデルを作成した方が良いため、佐渡島に調査に行った。そのお陰で研究を新たな方向へ発展することも出来た。

アナツバメの視察にマレーシアに出かける予定であったが、妊娠が発覚したために出張をキャンセルせざるを得なかったのは残念であるが、アナツバメの管理について研究をされている研究協力者の大沼教授やLim教

授からは研究の打ち合わせをしたので、モデルそのものは実際に即した物になっている。

4. 研究成果

制度や規範の遵守を強制するための制裁に関する理論的研究については研究が進み、成果は「雑誌論文(1), (2), (4), (9)」として国際雑誌に掲載済みである。この研究では、生態系を持続的に利用するためには「資源としての生物を捕りすぎない」というような協力的な行動が重要となる。ただ、コモンズの悲劇でも指摘されているよう、協力は達成しにくいという。そこで、協力をしない人に対して罰を与えることによって協力は促進されると考えられるが、罰行動をするにあたって時間的、金銭的、(手を挙げるなら)肉体的コストがかかるために、罰をしない可能性も高い。そこで、この研究では協力者が罰をする場合において、罰行動が協力を促進するという観点で数理モデルやコンピュータシミュレーションによって解析を行った。「雑誌論文(2)(9)」では、協力度合いに応じて罰の量を変化させるときに、どの様に罰をすると協力が促進されるのかを検討した。隣接個体に協力をしたり罰を与える状況においては、ある基準値を境界として、罰を全く与えないか強く罰を与えるという罰(ステップタイプの罰関数)が協力を促すことを示した。また、条件によっては、段階的な罰(つまり協力度が低い人には、より強い罰を与える)によって協力が促進される事を示した。

コモンズに関するモデルとして、公共財ゲームが用いられる。公共財ゲームでは全員が同時にコモンズに投資をし、全員が均等にコモンズからの便益を得る構造になっている。しかし、コモンズの管理や運営はそればかりではなく、全員が一斉に投資をするが、便益は1人しか受けないこともある。そして輪番で便益を受けることもある。そのような状況について「雑誌論文(3)」ではシミュレーションによって解析した。つまり、研究開始当初では考えてもいなかった研究へと発展した。これは次の研究プロジェクトでも発展していく予定である。

今回の研究プロジェクト関連で佐渡島に調査に行く機会があり、コモンズとしての棚田の維持に関する研究をする事を思い至った。これは現在進行形であり、次の研究プロジェクトに繋げていく。

アナツバメの持続可能な利用に関する数理的解析については解析が間に合わずにいる。重要なテーマであるので引き続き次の研究プロジェクトで行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11件)

- (1) Nakamaru, M., Takada, T., Ohtsuki, A., Suzuki, S. U., Miura, K. and Tsuji, K. (2014) Ecological conditions favoring budding in colonial organisms under environmental disturbance. *PLoS ONE* 9 (3), e91210. 【査読有】
- (2) Sekiguchi, T. and Nakamaru, M. (2014) How intergenerational interaction affects attitude-behavior inconsistency. *Journal of theoretical biology* 346, 54-66. 【査読有】
- (3) Shimao, H. and Nakamaru, M. (2013) Strict or graduated punishment? Effect of punishment strictness on the evolution of cooperation in continuous public goods games. *PLoS ONE* 2013, 8, e59894. 【査読有】
- (4) Sekiguchi, T. and Nakamaru, M. (2011) How inconsistency between attitude and behavior persists through cultural transmission. *Journal of theoretical biology* 271, 124-135. 【査読有】
- (5) 中丸麻由子, 2011, 「進化シミュレーションで絆と徳を探る -頼母子講を例に-」, 『こころの未来』, 7号, 16-19. 【査読無】
- (6) 中丸麻由子・関口卓也・島尾堯, 2011, 「意思決定に関する進化シミュレーション」『日本シミュレーション&ゲーミング学会誌』, 21号(1), 39-51. 【査読有】
- (7) 西條辰義・中丸麻由子, 2010, 「群盲象評:社会科学モデル構築への自己批判」『横幹』, Vol. 4, pp.63-67. 【査読無】
- (8) Rand, D. G., Armao IV, J. J., Nakamaru M. and Ohtsuki, H. (2010) Anti-social punishment can prevent the co-evolution of punishment and cooperation. *Journal of theoretical biology* 265, 624-632. 【査読有】
- (9) Koike, S., Nakamaru, M. and Tsujimoto, M. (2010) Evolution of cooperation in rotating indivisible goods game. *Journal of theoretical biology* 264, 143-153. 【査読有】
- (10) Nakamaru, M. and Dieckmann, U. (2009) Runaway selection for cooperation and strict-and-severe punishment, *Journal of theoretical biology* 257, 1-8. 【査読有】
- (11) Sekiguchi, T. and Nakamaru, M. (2009) Effect of the presence of empty sites on the evolution of cooperation by costly punishment in spatial games. *Journal of*

theoretical biology 256, 297-304. 【査読有】

〔学会発表〕(計 44 件)

(以下、招待講演を中心に抜粋)

(1) 中丸麻由子「公共財ゲームにおける協力量と段階的罰の進化について」日本リスク研究学会第 26 回年次大会、講演論文集 (Vol.26, Nov.15-17, 2013)、中央大学後楽園キャンパス、2013 年 11 月 15-17 日(日本リスク研究学会大会企画 教育セッション「リスクとベネフィットとコストのバランス」での招待講演、11 月 16 日開催)

(2) 中丸麻由子、「経済活動と地域再生を社会シミュレーションで捉える」日本学術会議公開シンポジウム「社会とシミュレーション - 理論と応用」、芝浦工業大学豊洲キャンパス・402 教室、2013 年 9 月 10 日(招待講演)

(3) 中丸麻由子、「公共財ゲームにおける協力量と段階的罰の進化について」、公開シンポジウム「数理モデルでつなぐ進化・認知・行動」(主催: 東京大学進化認知科学研究センター)、東京大学駒場キャンパス、2013 年 3 月 19 日(火)(招待講演)

(4) 中丸麻由子「環境攪乱下において短距離拡散が有利になる条件について: コロニー成長におけるコロニーの分割比と分散距離のトレードオフを焦点に」第 60 回日本生態学会大会、要旨集 p. 43、グランシップ(静岡県コンベンションアーツセンター) 2013 年 3 月 5 日-9 日(「シンポジウム: 生物のクローン性: クローン増殖による分散と局所環境変化への応答からその有効性を考える」で講演)

(5) 中丸麻由子、島尾堯「公共財ゲームにおける協力量と段階的罰の進化について」、第 28 回個体群生態学会大会、東邦大学習志野キャンパス、2012 年 10 月 20-21 日

(6) Nakamaru, M. "The effect of direct conflict between colonies on the competition between long and short dispersal strategies in a lattice model. (session named Spatial models in biosystems II on 23 May)", Abstracts, 90 p, In 2012 1st China-Korea-Japan International Conference on Mathematical Biology, Pusan National University, May 22-25, 2012. (招待講演)

(7) 中丸麻由子、「社会の本質を捉えるための社会シミュレーション」、オーガナイズドセッション: 社会シミュレーション「多様な

学問領域における社会シミュレーション研究の現在」第 18 回社会情報システム学シンポジウム、電気通信大学、2012 年 1 月 26 日（招待講演）

(8) Nakamaru, M., “Evolution of Cooperation in Rotating Indivisible Goods Game”, Sixth Pan-Pacific Conference on Game Theory, Feb 28 – March 2, 2011, Tokyo Institute of Technology.

(9) 中丸麻由子、「進化と社会性の数理モデル・シミュレーションアプローチ」第 3 回社会感情神経科学研究会（J-SANS2010）東京国際フォーラム・ホール D1、2010 年 9 月 25 日（特別招待講演）

(10) Nakamaru, M., Koike, S., Tsujimoto, M., Solving social dilemma in the rotating savings and credit association (Rosca) and the evolution of institution, Abstracts, 39 p. In the 13th International Conference of Social Dilemmas, August 20-24, 2009 in Kyoto, Japan. (accepted, oral presentation)

(11) 中丸麻由子、高田壮則、大槻亜紀子、辻和希「環境攪乱下での、アリのコロニー分割比と拡散距離のトレードオフについて」、第 56 回日本生態学会大会、岩手県立大学、2009 年 3 月 17-21 日

〔図書〕(計 8 件)

(1) 中丸麻由子、2013、「持久戦」, 「パブロフ戦略」, 「利得行列」, 『行動生物学辞典』, 上田恵介・岡ノ谷一夫・菊水建史・坂上貴之・辻和希・友永雅己・中島定彦・長谷川寿一・松島俊也・編、東京化学同人

(2) 中丸麻由子、2012、「21.2 協力行動の進化」, 日本進化学会 編『進化学事典』, 共立出版、692-694pp.

(3) 中丸麻由子、2011、『シリーズ社会システム学 第 4 巻 進化するシステム』, ミネルヴァ書房、総 342 ページ

(4) 今田高俊・石黒晋・中井豊・中丸麻由子・木嶋恭一・永田えり子・木村洋二・鈴木正仁、2011、「第 2 章 社会システム学に期待する」, 今田高俊・鈴木正仁・石黒晋 編『社会システム学をめざして』, ミネルヴァ書房、55-186pp.

(5) 中丸麻由子、2010、「ゲーム理論」395p.,

「消耗(持久)戦ゲーム」628p., 「進化的安定戦略」651p., 石川統、黒岩常祥、塩見正、松本忠夫、守隆夫、八杉貞雄、山本正幸 編『生物学辞典』, 東京化学同人

(6) 中丸麻由子、若野友一郎、2010、「第 8 章人間社会と協力・学習の進化」, 日本数理生物学会・編集、瀬野裕美・責任編集『第三巻 「行動・進化」の数理生物学』共立出版、155-182pp.

(7) 中丸麻由子、2009、「行動学と社会生物学」, 広中平祐・編集代表、甘利俊一、伊理正夫、巖佐庸、楠岡成雄、一松信、室田一雄、和達三樹・企画委員、『第 2 版 現代数理科学事典』丸善、254-262pp.

(8) 中丸麻由子、2009、「コラム A 社会の本質の理解のためのエージェントベースモデル」, 出口弘・木嶋恭一(編著)『エージェントベースの社会システム科学宣言—地球社会のリベラルアーツをめざして—』, 勁草書房、63-68 pp.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中丸 麻由子 (Nakamaru, Mayuko)

東京工業大学・社会理工学研究科・准教授
研究者番号：70324332

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし