

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32403

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23198

研究課題名(和文) 共同資源利用ゲームにおけるプレイヤーの費用負担感の選好進化モデル分析

研究課題名(英文) On the evolution of the subjective cost for players in a common pool resource game

研究代表者

宮下 春樹 (Miyashita, Haruki)

城西大学・経済学部・助教

研究者番号：90848459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、選好進化モデルに基づいて共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する費用負担感を分析することである。プレイヤーの対戦人数の大きさがこの費用負担感の下での均衡総労働量に与える影響を検証した。プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は大きくなり、客観的な限界費用の水準に近づくことを示した。また、進化的安定性を持つ限界費用の下での均衡総労働量は、ナッシュ均衡の下での均衡総労働量を上回り、深刻な共有地(コモンズ)の悲劇が生じることを確かめた。さらに研究の途中で対戦人数が不確実な共同利用資源ゲームにおいては、共有地の悲劇が回避される可能性があることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

選好進化モデルを用いた研究は、日本国内の研究者の間では認知度が低かった。また、選好進化モデルの枠組みで共同利用資源の過剰利用を分析した先行研究もなかった。本研究は、選好進化モデルの枠組みで資源の過剰利用が生じることを示した。これは、既存の進化ゲーム理論の文脈でよく知られた結果と類似しており、ゲーム理論の研究に新しい知見を提供した。さらに本研究の示した対戦人数の不確実性が資源の過剰利用を防ぐという結果は、自然資源や地域における森林などの共同利用資源の消失を防ぐための政策に示唆を与えらると思われる。今後も対戦人数の大きさがプレイヤーの費用負担感に与える影響に焦点を当て研究を深めていきたい。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to analyze the evolution of the subjective cost for players who had participated in a common pool resource game based on the preference evolution model. We examined the effect of the number of players in the game on the total effort in the equilibrium. Results showed that the evolutionarily stable value of the subjective marginal cost amongst players increases as the number of players increases and approaches the level of the objective ones. We also confirmed the increase in the seriousness of the dissipation of common-pool resources when each player has the evolutionarily stable value of the subjective marginal cost instead of the actual fitness value. Furthermore, we found that population uncertainty in the common-pool resource game may prevent the tragedy of the commons in the middle of research.

研究分野：ゲーム理論

キーワード：共同利用資源(CPR)ゲーム 選好進化モデル 間接進化アプローチ プレイヤーの費用負担感 共有地(コモンズ)の悲劇 対戦人数の不確実性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

従来の進化ゲーム理論の研究は、プレイヤーたちの対戦を通じてプレイヤー集団内で再生産され、拡散しやすい戦略に焦点を当ててきた。しかし、近年、新しいパラダイムとして選好進化モデルが確立され、数々の研究成果を生み出している。これは、プレイヤーたちの対戦を通じて、より有利な選好が進化の淘汰圧の中で選択されるという想定に基づいてプレイヤーたちの選好がどのように社会に定着するのかを説明する理論的枠組みである。

研究代表者は、大学院在籍時より、選好進化モデルの研究を進めていた。その当時、選好進化モデルを用いた研究は、日本国内のゲーム理論の研究者の間では認知度が低かった。また当時、日本国外において経済的資源の利用をめぐるプレイヤーたちの葛藤を記述したレントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する選好を特徴づけた研究が数多く行われていた。それらの研究は、進化の淘汰圧を経て存続する賞の価値や費用負担感などの選好の下で経済的資源の過剰消失を回避できるかどうかを分析していた。

研究代表者は、現在の研究機関に着任後、共同利用資源ゲームと呼ばれるゲームに関心を寄せた。これは、自然資源の利用をめぐるプレイヤーたちの葛藤を表現したゲームである。現在深刻化する気候変動問題や地域社会における山林保全の問題は、諸国家が二酸化炭素の排出量を適切に管理しなかったり、地域社会の構成員が森林を適切に管理しなかったりした場合、過剰に消失することが知られている。この資源の過剰消失は共有地の悲劇と呼ばれている。経済学をはじめ、政策学や社会学などの諸分野では、共有地の悲劇を回避するための政策を検討するために共同利用資源ゲームが用いられてきた。

本研究の開始当初、選好進化モデルを用いて共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する選好の特徴づけを行った研究は存在しなかった。そこで、研究代表者は、共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する費用負担感を分析することでゲーム理論に新しい知見を提供することを試みた。さらに、プレイヤーたちの費用負担感の存在によって自然資源の過剰利用が回避されるかどうかは、学術的にも現実の政策運用上も意義が大きいと考え、共有地の悲劇に焦点を当てて研究を遂行することとした。

## 2. 研究の目的

上記の研究開始当初の背景で述べたように選好進化モデルをベースとした先行研究は、レントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する選好の特徴づけを行ってきた。本研究の目的の一つは、それらの研究が開発してきた手法を共同利用資源ゲームに拡張することにより、進化ゲーム理論の研究に新しい分析の視座を与えることである。また、進化生物学の中で提示されてきた数理モデルと経済学、社会学などの社会科学の諸分野が生み出してきた知見を融合し、これらの諸分野に学際的な後続研究の可能性を提供することも目的とした。

本研究では、現実社会における自然資源の維持管理問題に接近するため、プレイヤー集団の人数は有限であると想定した。また、プレイヤーたちは、自然資源を過剰利用するただ乗りプレイヤーに対して制裁を課すことはない想定した。このようにネガティブな制裁を伴わないケースにも資源を維持できるかどうかを確かめ、諸国家や地域社会の直面する自然資源の維持管理問題に対し、解決策を提示することを目的の一つとした。

共同利用資源ゲームは、レントシーキング・コンテストと数学的な類似性が強く、これらのゲームを扱った先行研究は、プレイヤー集団の自然資源の利用や経済的資源の効率化に分析の主眼を置いている。そこで、先行研究がレントシーキング・コンテストの枠組みで見出してきた研究成果と本研究の結果の類似点および相違点を整理することも目標とした。特に研究を進める中でプレイヤーの対戦人数が進化の過程で存続する選好に影響を与えることが見出されたため、対戦人数の大きさが自然資源の消失に与える影響を確かめることとした。

通例、選好進化モデルをベースとした研究では、既存の選好をもつプレイヤーの集団が突然変異体の選好の侵入を阻止する状況を想定した均衡条件を用いて分析を進めている。それらとは異なり、プレイヤーたちの学習に基づいて社会に定着する選好の特徴づけを行った研究もある。この先行研究では、プレイヤーが対戦プレイヤーや自分自身の選好タイプについて思い違いをしている状況を表現した均衡条件を導入している。これは、自己確証均衡と呼ばれている。同先行研究は、プレイヤーの対戦と学習を通じて適応度の高い選好が社会に拡散するプロセスを表現した動学を定式化し、社会的ジレンマ状況の下でも利他的な選好が存続することを示している。この動学を再構築し、我々のモデルに適用することによって対戦人数の不確実性がプレイヤーの費用負担感やその下での均衡総労働量に与える影響を分析できると予想された。そこで、対戦人数の不確実な共同利用資源ゲームにおいてプレイヤー集団に定着する選好の特徴づけを行うことを試みた。その選好の下で共有地の悲劇を回避できるかどうか検証することを本研究の最終目標とした。

### 3. 研究の方法

先行研究が導入してきた選好進化モデルと適合性の高い共同利用資源ゲームを構築し、理論的に検証した。共同利用資源ゲームの先行研究は、プレイヤーが同時に労働量や努力水準を選択し、生み出された資源を消費すると想定したモデルとプレイヤーが2期間に渡って自然資源の消費量を選択すると想定したモデルを導入してきた。本研究では、プレイヤーが費用負担感を持つという仮定と整合性の高い前者のモデルを採用することとした。その上でプレイヤーの主観的な利得を定式化した。次に集団内における各プレイヤーの費用負担感の進化的適応の程度を評価するため、適応度と呼ばれる客観的な利得を定式化した。先行研究は、既存の費用負担感をもつプレイヤーと突然変異の費用負担感をもつプレイヤーからなるプレイヤー集団に突然変異体が1人侵入する状況を想定している。本研究では、分析を進めるための便宜上、既存の費用負担感をもつ有限人数のプレイヤー集団に突然変異の費用負担感を持つ突然変異体が1人侵入する状況を想定した。進化の過程で存続する費用負担感の特徴づけを行うため、先行研究に準拠する形でこの突然変異体が既存プレイヤーの集団に拡散しないための均衡条件を採用した。この費用負担感を用いてプレイヤー集団の均衡総労働量を導出し、ナッシュ均衡の下での均衡総労働量との比較を行った。費用負担感や均衡総労働量は、プレイヤー集団の人数などのパラメーターを含む複雑な関数になることが予想された。そこで、数学のシミュレーションソフトウェアも併用しながら均衡の特徴を調べた。また、上記の研究の目的で述べた最終目標を達成するために次の方法でモデルの拡張を試みた:プレイヤーたちの選好タイプは、限界費用の大きいタイプと小さいタイプからなると想定し、分析を進める便宜上、均衡条件としては自己確証均衡よりも条件の

弱い一般的なベイジアンナッシュ均衡を採用した。先行研究を参考にして、この均衡を動学に適用したところ、費用負担感の高いプレイヤーと低いプレイヤーからなる定常点があることが示唆された。しかしながら、対戦人数の不確実性がこの定常点に与える影響は複雑であることが示唆され、今後の研究課題となった。

本研究では、研究代表者と同じ研究機関に所属する学習の理論を分析している研究者およびゲーム理論を専門とする他機関の研究者らと共に概ね毎年 2 回のペースで研究会を実施してきた。そこでは、本研究で定式化したモデルの現実経済とのインプリケーションや研究成果の学術上の意義などを議論し、研究論文の作成に反映させた。

#### 4. 研究成果

プレイヤー集団の資源の総利用を表現する生産関数を具体的な二次関数として与えることにより、進化的安定性を持つ費用負担感を導出できることが判明した。その上で、次の結果を確かめた: (1) レントシーキング・コンテストの文脈で分析を進めた先行研究と同様に進化的安定性を持つ限界費用は客観的な限界費用の水準を下回る。(2) プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は大きくなり、客観的な限界費用の水準に近づく。(3) 進化的安定性を持つ限界費用の下での均衡総労働量は、ナッシュ均衡の下での均衡総労働量を上回り、深刻な共有地の悲劇が生じる。特に 3 つめの結果は、共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する戦略の特徴づけを行った先行研究の結果と類似しており、ゲーム理論の研究に新しい知見を提供できた。

上記のようにプレイヤーの対戦人数の大きさは、プレイヤーたちの費用負担感に影響を与えることが見出されたため、研究代表者は、プレイヤーの対戦人数がゲームの均衡に与える影響に関心を寄せるようになった。レントシーキング・コンテストの文脈では、プレイヤーの対戦人数に不確実性がある場合、均衡において経済的資源の過剰利用が回避されることを示した先行研究がある。これを参考にして対戦人数の不確実な共同利用資源ゲームを定式化した。その結果、共同利用資源ゲームの均衡において資源の過剰利用が回避される可能性があることを見出した。この結果は、自然資源や地域における森林などの共同利用資源の消失を防ぐための政策に示唆を与えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 宮下春樹	4. 巻 26
2. 論文標題 共同利用資源ゲームにおけるプレイヤーの主観的費用の進化的安定性に関する考察：プレイヤーの均衡労働量と共同利用資源の消失に注目して	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 国際公共政策研究	6. 最初と最後の頁 39-46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18910/86845	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 宮下春樹	4. 巻 31
2. 論文標題 対戦人数の不確実な共同利用資源ゲームの均衡分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 リスク学研究	6. 最初と最後の頁 231-234
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11447/jjra.SRA-0379	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮下 春樹
2. 発表標題 A note on equilibrium analysis in common pool resource game with population uncertainty
3. 学会等名 限定合理性の経済学セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下 春樹
2. 発表標題 Introduction to self-confirming equilibrium and preference evolution in a centipede game
3. 学会等名 限定合理性の経済学セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮下 春樹
2. 発表標題 CPRゲームにおけるプレイヤーの進化的安定性をもつ労働負担感の存在条件
3. 学会等名 選好進化ゲームと帰納的意思決定研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮下 春樹
2. 発表標題 コンテストにおけるプレイヤーの費用負担感の選好進化 モデル分析
3. 学会等名 経済学合同セミナー
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>城西大学研究者業績データベース - 城西大学  <a href="http://researcher.josai.ac.jp/html/100000696_ja.html">http://researcher.josai.ac.jp/html/100000696_ja.html</a></p>
--

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
研究協力者	吉岡 陽祐  (Yoshioka Yosuke)	筑波大学・人文社会科学研究科国際日本研究専攻・博士後期課程  (12102)	

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