様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　３０　年　　６　月　１２　日現在

機関番号：　１２１０２
研究種目：　若手研究(B)
研究期間：　2015～2017
課題番号：　１５Ｋ１７０２３

研究課題名（和文）マルチタスク環境および協力ゲームにおける進化ゲーム理論の研究

研究課題名（英文）An evolutionary approach on multitasking environments and cooperative games

研究代表者

澤　亮治（Sawa, Ryoji）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：７０６４４５６６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　1,700,000円

研究成果の概要（和文）：マルチタスク環境での最適反応動学の分析と、社会選択問題の動学分析の研究を行った。前者の分析では、複数ゲームをプレイするプレイヤーを考慮し、戦略変更するプレイヤーは一つのゲームの戦略しか変更できないという制約を置いた。制約の下でもPotential game, Stable gameのナッシュ均衡が安定的であることを明らかにした。後者の分析では、現行政策と対案に対する投票が繰り返し行われるモデルを構築し、動学分析を行った。確率進化ゲーム理論を用いて、コンドルセ勝者の安定性を明らかにした。また、ボルダ勝者は人々の選択がロジット選択に従う場合には全員一致のルールの下で安定的となることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We consider the best response dynamic in a multitasking environment, and a dynamic process of collective choice under majority rules. For the first setting, agents engage in multiple games and can switch their action only in one of the games upon receipt of a revision opportunity. The choice of the game in which to revise an action is made according to their task choice rules. We verify global stability of the Nash equilibrium set in potential and stable games. For the latter setting, we consider a dynamic process of collective choice where a status quo policy is challenged by an opposing policy drawn randomly in each period. Applying stochastic evolutionary game theory, we characterize a long run equilibrium policy. A Condorcet winner is a long run equilibrium for all majority rules, and it is uniquely so if a majority quota is greater than the min-max quota. The Borda winner can be a long run equilibrium under unanimity rule if voters' behavior is governed by a logit choice rule.

研究分野：　Evolutionary game theory

キーワード：　Evolutionary game theory　Stochastic stability　Multitasking　Cooperative games

１．研究開始当初の背景

ゲーム理論では、ゲーム的状況の中で起こりえる結果の予測に均衡の概念が用いられる。この結果の予測における問題の一つに、多くのゲームにおいて複数の均衡が存在することがある。複数の均衡が存在する場合には、どの均衡が起こりやすいかを分析するのは一般的に容易ではない。この問題の解決法の一つに、進化ゲーム理論による均衡選択の方法がある。進化ゲーム理論では、プレイヤーの戦略変更の動学を考慮し、非均衡状態からの遷移を考えることで、より起こりやすい均衡の選別を行う。例えば、Kandori Mailath and Rob (1993, Econometrica)はプレイヤーの選択に確率的な揺らぎ（最適戦略の誤選択）があると仮定し、揺らぎに対して最大の頑健性を持つ均衡が動学上で最もプレイヤーから選ばれやすいことを示した。進化ゲーム理論による均衡選択は生物学や交通工学など多くの分野で応用研究が行われている。マルチタスク環境下での応用研究にはMengel（2012, Games and Economic Behavior）などが、協力ゲームに対する応用研究にはAgastya(1999,Journal of Economic Theory)などがあるが、この２つの分野には応用研究の余地が多く残されている。マルチタスク環境での応用研究では、人々のタスク選択が均衡への収束や均衡選択へ与える応用研究は行われていない。協力ゲームへの応用では交渉問題やマッチング問題への応用研究が行われているが協力ゲーム全体から考えると応用されている範囲はまだ限定的である。

２．研究の目的

研究の目的は、マルチタスク環境の下での均衡選択の理論構築および、協力ゲームでの安定的な状態の解明を行うことである。行動経済学では、心理学および生物学的な見地から人々の非合理的な行動の傾向やそのメカニズムの解明が行われている。本研究では、行動経済学と進化ゲーム理論を組み合わせ、経済主体の行動のより現実的なモデルを構築する。非合理的な行動が起こりやすいとされるマルチタスク環境での人々の行動のモデル化を行い、どのような均衡が発生しやすいかを分析する。ゲーム理論ではプレイヤーが一つのゲームをプレイするシングルタスクの環境を対象とすることが一般的であるが、現実世界では一人の人間が複数種類の業務に従事することも多い。しかし、マルチタスクの環境はシングルタスクの環境と同一には扱えないという報告がなされている。例えば、Buser and Peter (2012, Experimental Economics)の実験結果は、マルチタスクの環境は人々の生産性に影響を与えることを示唆している。このような状況で、どのような均衡が起こりやすいかを理論的に分析する。また、協力ゲームの分析は投票ゲームを対象とした。投票ゲームでは、McKelvey(1976, Journal of Economic Theory)などの研究により起こりえる結果（社会に定着する政策）は常に安定せず、Agenda control の影響を受けやすい状況が存在することが解明されている。研究では、確率安定性分析を用いて安定的な政策の特徴および安定的な政策を生み出す制度（投票ルール）の解明を行う。

３．研究の方法

プレイヤーが同時に複数のゲームをプレイするマルチタスク環境のモデル構築を行う。このモデルを基に進化ゲーム理論による動学分析を行い、従来のシングルタスク環境と比較して、均衡選択の結果に差異があるかを明らかにする。プレイヤーは複数のゲームを同時にプレイしているが、戦略変更をする際に一つのゲームの戦略しか変更できないという制限を置いた。どのゲームの戦略を変更するかは、各ゲームで戦略を変更した時にどれぐらい利得が改善されるかの幅に依存すると仮定し、各ゲームの利得改善幅を戦略変更するゲームの選択確率へマップするタスク選択ルールを構築した。この制限の下で動学の収束や均衡の選択への影響を分析した。特に、既存研究との比較のために、Potentail game、Stable game という代表的なゲームの動学分析を行った。

協力ゲームの研究では、社会選択問題の特に投票ゲームを対象とし、確率安定性分析を行った。McKelvey(1976, Journal of Economic Theory)などが用いた投票の動学モデルを利用して、確率安定性分析により社会に定着する政策の解明を行った。このモデルは、各離散時間で現行政策と対案に対する投票が行われる動学モデルである。この動学モデル上で、投票行動を誤る（好きでない方の候補に投票してしまう）ような確率的揺らぎを持つプレイヤーを仮定し、政策の安定性分析を行った。

４．研究成果

マルチタスク環境の研究では、Potential game および Stable game において、マルチタスク環境下であったとしても、ナッシュ均衡へと人々の行動は収束するという結果が得られた。この結果は、マルチタスク環境下であったとしても、（シングルタスクの下での均衡概念である）ナッシュ均衡が結果の予測の概念として適用可能であることを示唆するもので意義が大きいと考えている。ただ、マルチタスク環境が全く影響を与えないわけではなく、選択されるナッシュ均衡は環境に依存するという結果を例で示している（図１、図２）。２つの図では黒の実線がシングルタスク環境での動学を、赤の実線がマルチタスク環境での動学を示している。図１および図２での開始地点は同じに見えるが、実際は異なった開始地点（マルチタスク環境における戦略分布）を選んでいる。図１では、黒と赤の実線の行き先は同じであり、同じナッ

シュ均衡に収束している。しかし、図２では黒と赤の実線で収束先が異なっており、異なるナッシュ均衡に収束していることが分かる。このようにマルチタスク環境では、微小の開始地点の差であったとしても、到達する均衡が異なる可能性があることを示唆している。また、新しく損失回避的な選好を持つプレイヤーを仮定し、損失回避傾向が長期的な均衡に与える影響の度合いを分析する研究を開始した。一定の成果が得られたため、日本経済学会 2016 秋季大会で発表(発表⑥)を行った。

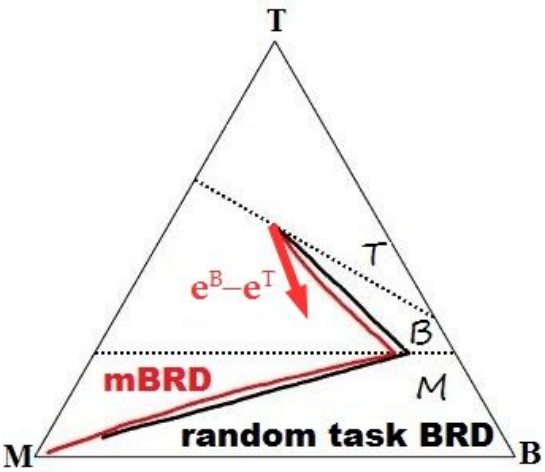


図１　シングルタスク環境とマルチタスク環境での状態遷移（遷移先が一致の場合）

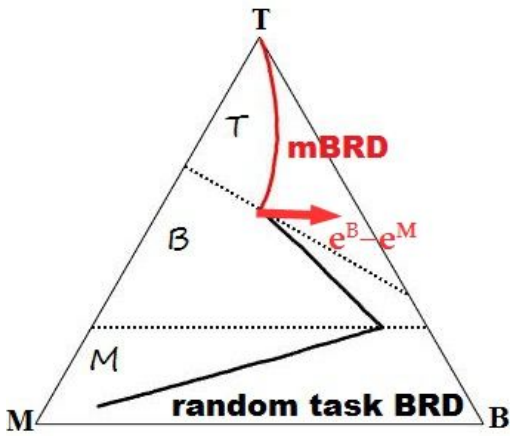


図２　シングルタスク環境とマルチタスク環境での状態遷移（遷移先が不一致の場合）

協力ゲームの研究では、社会選択問題への進化ゲーム理論の適用を行った。特に、投票ゲームに対して確率安定性分析を行い、長期的に社会に定着する政策の分析と社会選択論の解概念との関連を明らかとした。社会選択論での重要な解の概念にコンドルセ勝者とボルダ勝者がある。どのような状況でこれらの解が安定的となるかを進化ゲーム理論の観点から示す結果が得られた。特に、どの解概念が安定となるかは人々の意思決定ルールに依存することを明らかにした。進化ゲーム理論で最もよく用いられている best response with mutations の意思決定ルールの下ではコンドルセ勝者が安定的となる。一方、離散的意思決定モデルとして用いられることが多いロジット選択ルールの下では、全員一致の投票制度の下でボルダ勝者が安定的となる。また、政策空間としてユークリッド空間を仮定した場合には、重要な解の概念の一つである min-max 政策が確率安定となることを示した。成果の公開と幅広く他の研究者からの意見を得られるように、積極的に口頭発表の機会を設け、また Discussion Paper として Web サイトでの公開を行った。

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０件）

〔学会発表〕（計６件）
① Ryoji Sawa, “An evolutionary approach to social choice problems with q-quota rules” (joint with Akira Okada), East Asian Game Theory Conference 2015, Waseda University, Aug/24–26, 2015.
② 澤　亮治, “An evolutionary approach to social choice problems with q-quota rules” (joint with Akira Okada), 日本経済学会秋季大会, 上智大学, Oct/10–11, 2015.
③ 澤　亮治, “An evolutionary approach to social choice problems with q-quota rules”(joint with Akira Okada), ゲーム理論ワークショップ 2016, 東京大学, Mar/6–8, 2016.
④ Ryoji Sawa, “An evolutionary approach to social choice problems with q-majority rules” (joint with Akira Okada), The 5th World Congress of the Game Theory Society, Maastricht University, Netherlands, Jul/24–28, 2016.
⑤ Ryoji Sawa, “An evolutionary approach to social choice problems with q-majority rules” (joint with Akira Okada), Asian Meeting of the Econometric Society 2016, Doshisha University, Aug/11–13, 2016.
⑥ 澤　亮治, ”Prospect Dynamics and Loss Dominance” (joint with Jiabin Wu), 日本経済学会秋季大会, 早稲田大学, Sep/10–11, 2016.

〔図書〕（計０件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計０件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計０件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
http://www.kier.kyoto-u.ac.jp/DP/DP936.pdf

６．研究組織
(1)研究代表者
澤　亮治（Sawa, Ryoji）
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号：70644566

(2)研究分担者
（　　）

研究者番号：

(3)連携研究者
（　　）

研究者番号：

(4)研究協力者
（　　）