

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24710163

研究課題名(和文) マルチエージェント実験アプローチによる経済主体の行動と学習モデル基盤確立の研究

研究課題名(英文) On framework of behavioral and learning models of economic agents by multi-agent approach

研究代表者

山田 隆志 (YAMADA, Takashi)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・助教

研究者番号：90401570

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)：本研究課題は社会・経済システムにおける主体の行動と学習モデルの基盤を計算機実験と被験者実験によって確立することにあつた。そのために、そのために、特に三人以上のプレイヤーがゲームをプレイするゲーム Lowest Unique Integer Game (N 人のプレイヤーが M 以下の正の整数を提出し、他の誰も考えていない最も小さな整数を考えたプレイヤーが勝つゲーム)を取り上げて、そこでのエージェントやプレイヤーの行動と学習を分析し、従来の学習モデルとの比較を行うとともに被験者実験で得られた行動データを説明するための行動・学習モデルを提案した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research project is to establish the framework of behavioral and learning models of economic agents by theoretical, computational and experimental approach. For this purpose, the researcher takes up a game called Lowest Unique Integer Game where N players submit a positive integer up to M and the one whose choice is the lowest but unique is the winner. Then the researcher collects and analyzes the behavioral data from computer simulation and laboratory experiment, makes comparison between conventional learning models, and proposes a couple of learning models to better explain the actual individual behavior.

研究分野：コンピュータ経済学

キーワード：マルチエージェント実験経済学 社会システム 学習

1. 研究開始当初の背景

マルチエージェント経済学 (Agent-based Computational Economics; ACE) とは、限定合理的かつ異質な複数の主体 (エージェント) 間の相互作用に注目してボトムアップに社会・経済現象をモデル化し、分析する分野である。けれども、エージェントの機能を同定し、適切な ACE モデルを設計するためには、複雑な社会・経済現象における個人や組織の行動・学習過程を明らかにする必要があるにもかかわらず、現在のところ、各分野における概念規定や結果解釈、抽象度の粒度等においてパラダイムの相違によってモデリングの基盤作りは難しい状況となっている。

研究代表者はこれまで ACE モデル基盤作りの研究として (i) 金融市場における投資家の行動と価格時系列の関係をコンピュータ実験と被験者実験によって分析し、実時系列を再現するための条件を示してきた。また、(ii) ゲーム (“Do-it-yourself lottery”: N 人のプレイヤーが M 以下の正の整数を提出し、他の誰も考えていない最も小さな整数を考えたプレイヤーが勝つゲーム) での均衡分析と予備的な戦略実験によって、プレイヤーの行動とそれに伴うゲーム全体の挙動は均衡に収束しない一方で、経験を重ねるにつれて適応的に戦略を変化させていることが得られた。しかし、これらの研究は系の性質や規模がどのように主体の学習に影響を与えるのかまでは考慮しておらず、体系的な基盤作りには至っていない。一方で、(ii) の均衡分析によって、“Do-it-yourself lottery” の均衡が系の設定 (プレイヤー数と戦略数) に依存することが明らかになり、このゲームをコンピュータ実験・被験者実験を行うとエージェントの学習モデルを確立できる可能性を秘めていることがわかった。

2. 研究の目的

したがって、研究課題の目的は、限定合理的かつ異質な複数の経済主体が存在し、相互競争・競合・協調するような社会・経済系を扱うマルチエージェント経済学において、エージェントの行動と学習モデルの基盤をコンピュータシミュレーションと被験者実験によって確立することにある。そのために、特に三人以上のプレイヤーがゲームをプレイするゲーム “Do-it-yourself lottery” を取り上げて、そこでのエージェントやプレイヤーの行動と学習を分析し、従来の学習モデルとの比較によって、マルチエージェント経済学に適切な学習モデルを構築・提唱する。

より具体的には、具体的には、三人ないし四人という比較的小さな系での

- (学習モデル間の比較としての) コンピュータ実験
- (行動、学習プロセスを知るための) 被験者実験

を行い、そこでの結果からエージェントの行動・学習モデルを構築・提唱し、これまでアドホックに扱われてきた二人・多人数の系での学習モデルとの類似点・相違点を明らかにする

(注: 申請段階では対象とするゲームを “Do-it-yourself lottery” としていたが、後により一般的な名称 Lowest Unique Integer Game に変更している。そのため、以下では略称 LUIG と表記する。)

3. 研究の方法

LUIG を用いて以下の流れで研究を行った:

- (1) (学習モデルを比較するための) コンピュータ実験と(実際のプレイヤーがどのように振舞うかの)被験者実験を行う。

エージェント vs. エージェントの計算機実験では、行動ゲーム理論ならびに人工知能分野で提唱されている学習モデルが LUIG でどのようにプレイされるかのデータを得た。また、被験者 vs. 被験者の実験室実験では、被験者のみで構成される LUIG がどのようにプレイされるかのデータを得た。

- (2) 得られた実験データを用いて個人・ゲーム全体がどのような挙動を示すかを分析し、モデル間・実験間・従来の学習モデルとの比較をする。

上の実験で得られた行動・学習データを分析した。コンピュータ実験についてはモデル間の相違だけでなく、プレイヤーとゲーム全体の挙動が均衡に向かうのかを調べた。被験者実験については、被験者の行動パターンが従来の学習モデルで記述できるかを検証した。

- (3) 三人ないし四人の系にふさわしい学習モデルの構築をする。

4. 研究成果

理論・計算機実験の成果は以下の通りである:

- (1) プレイヤーが他者の出した数字を知ることが出来ない状況下で、強化学習を用いてゲームをプレイするときの個人並びに系全体の挙動は以下の通りである: (a) 理論面では均衡点が混合戦略均衡に収束するかは学習モデルによって異なるだけでなく、純戦略を選択するパラメータの値が大きくなると特定の戦略のみが選ばれるようになる、(b) 計算機実験では出された数字の分布と勝った数字の分布が理論面のそれとは異なる、(c) 純戦略を選択するパラメータの値が大きくなると経路依存性のために勝者と敗者がすくなく固定される。

(2) プレイヤが他者の出した数字を知ることが出来る状況下で、信念学習を用いてゲームをプレイするときの個人並びに系全体の挙動は以下の通りである: (a) 計算機実験で出された数字の分布と勝った数字の分布が混合戦略均衡に収束しない。これは理論面が予想している信念学習の収束不可能性の確認である、(b) ゲームのパターン(どんな数字がよく選ばれ、どんな数字が勝ち数字となるか)は信念学習が持つ二種類のパラメータに依存する。

(3) プレイヤがゲームの結果から相手の行動を不完全に推測するような学習・行動モデル(Quasi Fictitious Play: QFP)を考え、相手の行動を推測しない学習・行動モデル(Adaptive Learning: AL)との比較を行った。その結果、(a) 理論上では QFP は AL よりも一番小さい数字を選ぶ確率が高い、(b) 戦略を選択するパラメータの値が低いあるいは QFP を用いるプレイヤがグループ何に一人しかいない場合はそのプレイヤが勝つ回数が増える、(c) 戦略を選択するパラメータの値が高いあるいは QFP を用いるプレイヤがグループ内に複数いる場合はある AL プレイヤが勝つ回数が増えることが確認された。

一方、被験者実験の成果は以下の通りである:

(1) プレイヤ数が 3 ないし 4、戦略数が 3 ないし 4 の被験者実験では以下の結果が得られた: (a) どのゲーム設定でも混合戦略均衡をプレイできたのは全体の半分以下であり、ランダム戦略との差異が大きいとその割合は増大する、(b) 戦略を変更する回数は混合戦略均衡の期待値よりも低い、(c) 戦略を変更した回数と勝った回数とでは負の相関がある、(d) ゲームの結果の分布は混合戦略均衡から求められる期待値とあまり変わらない、(e) ゲームの効率性(勝者がいる頻度)も同様であり、しかも実験が進んでも上昇しない、であった。

(2) 上の実験結果を用いて、プレイヤの行動を学習モデルから推定したところ、以下のことが得られた: (a) 混合戦略をプレイしない被験者は AL によって推測される、(b) 混合戦略均衡に近い行動をするプレイヤはゲームの結果を直接的に意思決定に反映させる Naive Imitation (NI) を用いる、(c) QFP の説明力は低だけでなく、プレイヤ数や戦略数が多いとより他者を意識するという直観に反する推定結果を得た。

(3) 社会システムとして LUIG を少数派ゲーム(Minority Game: MG)と比較すると、特にマクロ面では三人 MG に似た結果を得た。

これは三人 MG と LUIG は勝者はいたとしても一人であるため、協力的な行動が発生しないことに寄る。

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 4 件)

[1] Yamada, T., Terano, T., "A computational study of rule learning in 'Do-It-Yourself Lottery' with aggregate information," in Chen, S.-H., Terano, T., Yamamoto, R., and Tai, C.-C. (eds.), *Advances in Social Simulation: The Fourth World Congress*, Springer, pp. 247-264, 2014.

DOI: 10.1007/978-4-431-54847-8

[2] Yamada, T., Terano, T., "A computational study of 'Do-It-Yourself Lottery' with incomplete information," *Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineering* Vol. 27, No. 7, pp. 299-308, 2014.

DOI: <http://doi.org/10.5687/iscie.27.299>

[3] Yamada, T., Terano, T., "Adaptive learning and quasi fictitious play in 'Do-It-Yourself Lottery' with incomplete information," in Kaminski, B. and Koloch, G. (eds.), *Advances in Intelligence Systems and Computing*, Springer, pp. 225-236, 2013.

DOI: 10.1007/978-3-642-39829-2

[4] Yamada, T., Terano, T., "Learning in 'Do-It-Yourself Lottery' with full information: a computational study," in Murata, T., et al. (eds.), *Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII (Postproceedings of the 7th International Conference on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems)*, Springer-Verlag, Tokyo, pp. 243-258, 2013.

DOI: 10.1007/978-4-431-54279-7_17

[学会発表](計 6 件)

[1] Yamada, T., Hanaki, N., "Playing Lowest Unique Integer Games," The 20th Annual Workshop on the Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA 2015), May 21-23, Sophia Antipolis, France.

[2] Yamada, T., Hanaki, N., "Experiments on Lowest Unique Integer Games," The 2104 Annual Meeting of the Association of Southern European Economic Theorists (ASSET 2014), November 6-8, 2014, Aix-en-Provence, France.

[3] Hanaki, N., Yamada, T., "Experiments on Lowest Unique Integer Games," the 14th SAET Conference on Current Trends in Economics, August 19-21, 2014, Waseda University, Tokyo.

[4] Yamada, T., Hanaki, N., "Heterogeneity in Lowest Unique Integer Games," the 38th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2014), July 21-25, 2015, Västerås, Sweden.

[5] Yamada, T., Terano, T., "Rule learning with adaptive learning and quasi fictitious play in 'Do-It-Yourself Lottery' with incomplete information," The 8th International Conference on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS 2013), September 11-13, 2013, Shibaura Institute of Technology, Tokyo.

[6] Yamada, T., Terano, T., "A computational study of rule learning in 'Do-It-Yourself Lottery' with aggregate information," 4th World Congress on Social Simulation (WCSS 2012), September 4-7, 2012, Taipei, Taiwan.

〔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：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 隆志 (YAMADA, Takashi)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・
助教
研究者番号：90401570

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：