

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18569

研究課題名（和文）確率論理学習に基づく統一的意思決定モデルの構築と経済実験データへの応用

研究課題名（英文）Development of a Unified Decision-Making Model Based on probabilistic Logic Learning and Its Application to Experimental Economic Data

研究代表者

石川 竜一郎（Ishikawa, Ryuichiro）

早稲田大学・国際大学院・准教授

研究者番号：80345454

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：意思決定理論の帰納的アプローチの理論構築と実証・実験データに基づく検証を行った。理論構築では、動的ゲーム論理の枠組みにUnawareness構造を導入し、獲得した情報と既に保持していたが関連性を認識していなかった情報を区別する体系を構築し、取引データを説明する行動モデルの基礎を与えた。実証・実験データ分析では、資産市場取引実験及び経験財の取引行動のデータを分析した。資産市場取引においては、取引主体の予測の自信度が資産取引を活性化させることが観察された。経験財消費データでは、消費がもたらす満足予測の自信度をデータとして得られなかったが、価格感応度が高い消費行動を観察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

標準的ゲーム理論において想定される直面する状況を完全に把握し、その元で演繹的な推論を行う完全合理的主体の想定を緩め、限定合理的で経験を通じた帰納的推論を行う主体を想定した意思決定理論を構築した。経済理論がこれまで演繹的なアプローチに終始していた中、帰納的推論の観点から説明可能なこれまでとは異なる方法論に基づいた理論を構築している。このことは、人間の持つ帰納的能力の意思決定における役割を分析するための有用な枠組みになると考えている。また、帰納的推論は実験・実証データとの相性が良く、理論の科学的検証をより精緻に行うことにもつながる。このため、近年のデータサイエンスの発展の一助となる。

研究成果の概要（英文）：I constructed a decision theory on inductive approach and examine empirical and experimental data of trades and consumptions. In the construction of a theory, I introduce unawareness structure into dynamic game logic and distinguish two different information: new information and information which an agent already holds but is not aware of the relevance. The theory gives a foundation of a behavioral model to explain their trades.

In the experimental and empirical analyses, I examined the trade data in experimental asset markets and the consumption data of experience goods. In asset market trading, I observed that the confidence level of the traders' forecasts activates asset trading. Although the empirical goods consumption data did not provide data on confidence in the satisfaction predictions that consumption brings about, we observed consumption behavior with high price sensitivity.

研究分野：ゲーム理論・理論経済学

キーワード：帰納的ゲーム理論 ゲーム論理 動的認識論理 経験 資産取引実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) **限定合理的主体の帰納的推論に基づく意思決定**：標準的ゲーム理論では、十分な認識・推論能力を備えた合理的主体が、演繹的推論を通じて均衡行動を決定する。このアプローチでは、経験を通じて学習した行動パターンや知識を用いた意思決定や、主体が行う帰納的推論を分析できない。同じ理由で、各コミュニティに存在する偏見や先入観も説明することができない。こうした偏見や先入観の欠如は、個々人の異質性を排除し、合理的意思決定からの乖離を、単なる非合理的な結果としか捉えられない。

近年、Kaneko and Kline (2008)は帰納的推論が分析可能なゲーム理論として「帰納的ゲーム理論」を提示した。この理論では、個々の主体が経験を通じて社会状況を帰納的に推論し、その推論から導かれた主観的で多様な社会観を保持する状況を分析対象にする。この多様な社会観を持ち合わせた主体による相互依存の状況下の意思決定を分析し、社会に定着する行動様式や偏見を考察する。

帰納的ゲーム理論は、主体の演繹的推論と帰納的推論の違いや主体の認知能力の限定性の定式化に成功している。一方で、社会に定着する行動様式がどのように構成されるか等の動的過程は分析されていない。近年の研究で、主体の合理性を数理論理学の手法で再構築し分析する「ゲーム論理」が進展し(van Benthem, 2014)、動的過程の分析が可能になりつつある一方、その手法を用いた分析はほぼみられない。

さらに近年、主体の経験に理論的基礎を置いた Gilboa and Schmeidler (2001) による「事例ベース意思決定理論」もあるが、主体の経験を通じた認識の動的変化は「帰納的ゲーム理論」同様、十分に分析されていない。

(2) **実験経済学による意思決定の検証**：近年のゲーム理論や経済理論において、限定合理性の理論的分析と並行する研究手法が、経済実験による行動データの分析である。仮想的な経済環境を実験室内に構築し、被験者にインセンティブを与え、理論予測と行動データの相違を検証する。

本代表者がこれまで行ってきた経済実験では、仮想的な資産取引市場を実験室内に構築する。実験室内は資産価格バブルが理論的には生じない状況を構築する。しかし、実験経済学でよく知られている結果として、そのような環境下でも資産価格バブルを観察することができる。その原因として、理論的想定とは異なる被験者の限定合理的認知能力が挙げられるが、どのような能力の限定性によるものなのかの共通見解はない。

2. 研究の目的

本研究では上記の現状を踏まえて、相互依存的(ゲーム論的)社会環境に直面する主体による「環境」学習の動的過程を描写する意思決定理論を提示する。特に本研究テーマでは、確率論理学習とよばれる統計的手法と動的ゲーム理論を融合したアプローチを用いる。その上で、理論予測を被験者実験によって検証し、被験者の行動データを説明する。より具体的には以下の三つの研究課題を掲げる。

(1) **動的ゲーム論理における戦略の確率的選択**：研究代表者はこれまで、動的認識論理を帰納的ゲーム理論に応用する「帰納的ゲーム論理」の研究を行ってきた。本研究ではこれまでの蓄積を拡張し、統計的意思決定理論と組み合わせることで、行動データと親和性の高い意思決定理論を構築する。経済実験を通じた多様な行動データおよび、民間企業で近年蓄積されている消費者行動データを利用し、構築した理論をデータに基づく予見性の観点から検証する。

(2) **上記理論に関わる選択行動データの収集及び実験による検証**：研究代表者がこれまで蓄積してきた資産取引実験を引き続き行い、行動データを収集する。特に資産取引実験における被験者の過去の取引履歴に基づく将来予測と事後的行動との関係を考察し、帰納的ゲーム理論を応用することで、経験に基づく認識形成、認識と行動の関係を分析する。

3. 研究の方法

本研究では、経済実験や実証データに基づく行動データの分析を最初に行い、それらを説明するための理論構築を行った。以下ではその順に則り、研究方法を説明する。

(1) **資産市場取引実験における意思決定**：経済実験室内で準備されたコンピュータを用いて、仮想的資産市場で被験者に資産取引を行わせる。原研な結果として知られている資産価格バブルの発生を、被験者の将来予測に関する確信度やインセンティブの違いから検証する。これにより、認知強度と行動の関係を検証する。

(2) **サービスの選択行動と経験の関係**：サービス財の個別消費データを用い、経験と意思決定の関係を検証する。サービス財は経験財としての特性をもち、消費者が事前に消費からの効用・便益を評価できない。そのため、個々人は消費経験を通じて事後的にサービス財消費を評価し、その評価の蓄積を通じて、選好を形成すると考える。この過程において、どのような選好が形成されるか、また経験を通じてどのように選好が変遷するかを考察する。通常の消費者理論と異なり、選好の変遷過程に注目し意思決定と結びつけることが主要な目的となる。

(3) **動的認識論理による意思決定分析**：限定合理的主体の能力を定式化するために、経験を通じて認識構造が変化することを捉えることができる動学的認識論理を用いたゲーム理論(動

的ゲーム論理)を定式化する。特に本研究課題では、混合戦略に類する確率的行動指針と論理学の結合、及びこの定式化のもとで帰納的推論に基づく行動決定までの過程を考察する。

4. 研究成果

研究方法の手順に則り、実験研究・実証研究・理論研究の順にその成果を説明する。

資産取引実験では、被験者による資産価格の予測とその確信度を測定した。その結果、確信度が高い被験者ほど積極的な資産購入を行う一方で、短期的には損失を生んでいることが観察された。一方で、その短期的損失は長期的取引を通じて利益に転じていることも観察されている。この結果は、確信度の強さが短期的には負に働きつつ、長期的には正の効果をもたらすことが示された。

さらに、被験者の資産価格の予測が、他者の過去の価格予測を開示することでどのように変化するかも分析した。特に予測情報の開示において、短期的予測情報と長期間の予測情報の異なる実験を行い、情報提供が与える影響を分析した。このような情報開示は、他者の戦略的不確実性を減じることで、被験者の予測精度の向上をもたらせるかの検証を可能にする。結果は、戦略的不確実性を減じて、必ずしも資産価格の予測に対する確信度が向上するとは限らないことや、他者の予想価格に関する平均値や中央値が与えられたとしても、それ自体が各被験者の価格予測に影響を与えないことが示された。これらを踏まえると、被験者は他者の思考や行動の情報よりも、社会制度(本実験では市場制度)などの**制度設計がもたらす帰結に強く依存した意思決定**を行なっていることがわかる。

この知見から、意思決定主体が予測と結果の差異や過去の(取引)経験をどのように用いて意思決定を行うかを考察する「事例ベース意思決定理論」や「帰納的ゲーム理論」の検証やその理論に基づく行動モデルの構築への橋渡しが可能になる。その中間的研究として、消費者の**サービス選択行動データを用いた実証分析**とそれを基礎付ける理論の構築を行なった。

サービス財の消費においては、事前にその消費から得られる効用を主体がわからないため、過去の「類似の経験」を通じた選択をするという仮説を用いた。こうした行動仮説は「事例ベース意思決定理論」の主要な仮説である一方で、実証分析による検証はほとんど行われていない。本研究では、サービス財として美容室・美容師選択の行動データを用い、事例ベース意思決定理論がどの程度の説明力を持つかを検証した。結果、一定の説明力があることを示すことができたが、主体の「類似の経験」の学習過程がどのように行われるかを明らかにできなかった。ここでは、事前に評価できない財の消費においては、消費者の価格感応度が強く、選好形成前では価格情報に強く依存した意思決定を行っているためであることがわかった。

これらの学習過程を分析するために、**動的認識論理を用いた学習と意思決定の理論を構築**した。この理論構築にあたり、主体が学習・獲得した情報から帰納的推論を行う側面と学習結果を用いて演繹的意思決定を行う側面を分離して定式化した。事例ベース意思決定理論で不明だった学習プロセスを基礎付けることが可能になった。一方で、帰納的推論を通じて主体の選好がどのように形成されるかの定式化が不十分であり今後の課題となった。この克服のためには、確率的意思決定が選好形成にどのように関わるかの検証が不十分であったことが明らかになっており、この点を考慮した実験を将来的に行う。

しかし一方で、構築した理論では、主体の経験に基づいた認識構造を伴う動的認識論理に Unawareness 構造を加えた認識体系を構築した。この体系では、主体が知識として携えていなかった新しい情報と、知識として携えている一方で直面している問題との関連性を認識していなかった情報とを区別することが可能になった。その結果、主体の帰納的推論と演繹的推論を区別した定式化が可能になった。この体系を用いることで、標準的ゲーム理論が想定するゲーム構造の共通認識の仮定を緩めたが、期待効用最大化による行動仮説とは異なる合理性が必要となることも明らかになった。本研究では、局所逐次合理性という新たな合理性を要求し、主体の過去に得た情報だけに依存した最大化行動として定式化した。その結果、実験データと融合可能な行動モデルの基礎を与えることが可能になった。

<引用文献>

- Kaneko, M., & J.J. Kline, "Inductive game theory: A basic scenario", *J. Math. Econ.*, 2008.
van Benthem, J, *Logic in Games*, MIT press, 2014.
Gilboa, I & D. Schmeidler, *Theory of Case-Based Decision*, Cambridge Univ. Press, 2001.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 石川竜一郎	4. 巻 32
2. 論文標題 コミュニケーションの場の動的ゲーム論理	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 429-438
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5687/iscie.32.429	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 Hiroki Takahashi, Nariaki Nishino, Ryuichiro Ishikawa	4. 巻 2567
2. 論文標題 Service Switching in Case-based Decisions following Bad Experiences: Online reviews data of Japanese hairdressing salons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ICCBR 2019 Workshop Proceedings (CEUR WS Proceedings)	6. 最初と最後の頁 74-84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Nobuyuki Hanaki, Eizo Akiyama, & Ryuichiro Ishikawa	4. 巻 88
2. 論文標題 Behavioral uncertainty and the dynamics of traders' confidence in their price forecasts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Economic Dynamics & Controls	6. 最初と最後の頁 121-136
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.01.020	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Nobuyuki Hanaki, Eizo Akiyama, & Ryuichiro Ishikawa	4. 巻 88
2. 論文標題 Effects of different ways of incentivizing price forecasts on market dynamics and individual decisions in asset market experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Economic Dynamics & Controls	6. 最初と最後の頁 51-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.01.018	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Eizo Akiyama, Nobuyuki Hanaki & Ryuichiro Ishikawa	4. 巻 127 (605)
2. 論文標題 It is not just confusion! Strategic uncertainty in an experimental asset market	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Economic Journal	6. 最初と最後の頁 F563-F580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/econj.12338	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 石川竜一郎	4. 巻 14
2. 論文標題 論理実証主義からみる帰納的ゲーム理論	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Waseda Global Forum	6. 最初と最後の頁 41-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Nobuyuki Hanaki, Eizo Akiyama, Yukihiro Funaki, and Ryuichiro Ishikawa	4. 巻 2017-08
2. 論文標題 Diversity in Cognitive Ability Enlarges Mispricing in Experimental Asset Markets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 GREDEG Working Papers Series	6. 最初と最後の頁 1-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 該当する

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Ryuichiro Ishikawa
2. 発表標題 Service Switching in Case-based Decisions following Bad Experiences: Online reviews data of Japanese hairdressing salons
3. 学会等名 27th International conference on Case-based reasoning (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川竜一郎
2. 発表標題 コミュニケーションゲームにおける合理性
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口忠大
2. 発表標題 コミュニケーション場のメカニズムデザインにおける設計変数の抽出と検討
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuichiro Ishikawa
2. 発表標題 Dynamic belief change in subjective games
3. 学会等名 Society for the Advancement of Economic Theory (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuichiro Ishikawa
2. 発表標題 Can Bubbles in Asset Markets be Explained by Heterogeneity of Beliefs?
3. 学会等名 BEAM-ABEE Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川竜一郎
2. 発表標題 事例ベース意思決定理論に基づく推薦システム設計
3. 学会等名 日本経営工学会2018年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Ryuichiro Ishikawa's HP http://www.f.waseda.jp/r.ishikawa/
--

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