

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20766

研究課題名（和文）帰納的学習に基づく集合知メカニズムの分析：理論・実験・シミュレーション

研究課題名（英文）Mechanism design of collective wisdom on inductive learning: Theory, experiments and simulations

研究代表者

石川 竜一郎（ISHIKAWA, Ryuichiro）

早稲田大学・国際大学院・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）：本研究は、限定合理的主体の帰納的学習と集合知メカニズムの関係を明らかにすることを目的とし、コミュニケーションによる学習プロセスと情報提供システムの分析を行った。研究では、戦略的議論モデルを用いたコミュニケーション分析や、資産市場取引実験を通じた情報提供と環境変化が市場参加者の行動に与える影響の検証が行われた。結果、短期的信念情報の提供は資産価格の変動を促進し、長期的信念情報の提供は価格の安定化を助けることが示された。また、情報共有システムや発言権取引の制度設計を通じて、情報共有メカニズムの効果を比較・検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、限定合理的主体の帰納的学習と集合知メカニズムの関係を明らかにすることを目的として、コミュニケーションと情報提供システムを分析した点で学術的意義が高い。特に、帰納的ゲーム理論の発展により、限定合理的主体の学習と認識形成過程を詳細に解明し、戦略的議論モデルを用いたコミュニケーション分析によって、意思決定プロセスへの影響を検証した。社会的意義としては、情報提供の方法が市場の安定性や価格形成に及ぼす影響を実証したことで、効果的な情報共有システムや発言権取引の設計に寄与し、実際の経済システムや政策設計に応用可能な知見を提供する。

研究成果の概要（英文）：This study aims to elucidate the relationship between inductive learning of boundedly rational agents and collective intelligence mechanisms by analyzing the learning processes through communication and information provision systems. The research involved communication analysis using a strategic argumentation model and examining the impact of information provision and environmental changes on market participants' behavior through asset market trading experiments. The results showed that the provision of short-term belief information promotes asset price fluctuations, while the provision of long-term belief information helps stabilize prices. Additionally, the effects of information sharing mechanisms were compared and examined through the design of information sharing systems and speech right trading systems.

研究分野：理論経済学

キーワード：帰納的学習 コミュニケーション 価格メカニズム 高次予測 経験財 情報共有

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では、ゲーム理論や意思決定理論における合理的主体の想定から離れ、認知能力に限定合理的制約を抱えている主体が集まる社会において、知識や情報を集約し個々の意思決定を支援する「集合知」を対象にする。この背景として、近年の GDP の 7 割を占めるサービス産業の多くが「経験財」を供給していることが挙げられる。ここで経験財とは、消費から得られる効用を消費経験なしには評価できない財を指す。また、過去に消費を行っていても、消費のタイミングや消費者の経験の蓄積で評価が変化する財も含まれる。たとえば大学教育を考えると、学生は講義から得られる効用を事前に評価できない。また、同じ学生が同じ講義を受講しても、入学直後と卒業直前では知識の蓄積の違いから、その評価も異なる。それにも関わらず、標準的な経済学では財から得られる効用は消費前に完全に評価でき、その評価は変化しないと想定する。

このように意思決定主体は、環境の変化や時間を通じて評価を変化させる可能性もある上に、現在直面している環境ですら、正確に認識し理解することが難しい。このため、似たような状況の経験を積み重ねることで一定の認識が蓄積され記憶が強化される。こうした主体の特性を捉えるために近年、帰納的ゲーム理論の研究が進められ、本研究代表者もその研究に参加（船木・石川共編著「制度と認識の経済学」NTT 出版）してきた。この理論を発展させることで、限定合理的主体がどのように学習し認識を形成していくかの分析が進む。

一方で近年、レビューシステムや評価システムが社会に普及していることから、「推薦システム」そのものの研究（例えば廣瀬「推薦システム」共立出版等）が情報科学や統計学を中心に進められている。推薦システムの多くは消費者の経験情報をもとに構築させるシステムなため、情報の偏りは良質な推薦情報の構築を阻むことになる。このように、意思決定主体の帰納的学習と推薦システムに代表される集合知メカニズムをどのように結びつけるかを考察する必要性が生じている。

### 2. 研究の目的

このような現状を踏まえて本研究では、限定合理的主体の帰納的学習と、そのような主体から構築される情報提供システムを集合知メカニズムの分析を目的とする。特に、「主体の学習」と集合知を形成する「知識提供」の分析を行うため、(言語)コミュニケーションによる学習を考え、そのために研究代表者が進める「帰納的ゲーム理論」を発展させる。帰納的ゲーム理論では、その定式化に様相論理学で扱う「命題」を用いる。これにより、個々の主体の社会認識やその認識に基づく推論、及び新しい情報を獲得した際の認識の改訂等が命題の変化として表現される。こうした命題変化は公理化された推論規則に基づくため、主体の認識変化の意思決定への影響が明らかになる。

また意思決定に対して、主体の現状認識の違いがどのような影響を与えるかを分析するために実験経済学的手法を用いる。被験者に異なる情報を与えた時に、同じ状況の意思決定を行ってもらい、その行動の違いを見ることで、「異なる情報 = 現状認識の違い」が意思決定に与える影響の分析を進める。さらにその分析を集合知メカニズムと接合するために、市場メカニズムを採用し、価格を集合知の一つと捉えた分析を進める。これと並行して、一般の(言語)コミュニケーション空間そのものを集合知形成の場として捉え、その場に適切なルールを設計することで、効率的な集合知が形成されるかの検証を行う。

こうした研究を統合することで、限定合理的主体の帰納的学習理論、限定合理的主体の現状認

識と意思決定、限定合理的主体の情報提供による集合知形成のメカニズムの分析が可能になる。

### 3. 研究の方法

(1) 帰納的学習理論：この理論を発展させるために、戦略的議論における聴衆へのコミュニケーション分析をおこなった。特に話者が、コミュニケーションの趣旨と異なる内容の情報を提供することをどのように利用するかについて分析した。研究方法としては、まず抽象議論理論とゲーム理論を組み合わせた戦略的議論モデルを構築した。このモデルでは、複数の聴衆と多様な価値観を持つ議論ゲームを定式化し、聴衆の信念基盤と目標の対立を考慮した戦略を検討する。具体的には、ベイズナッシュ均衡を用いて、議論者が選択する最適な議論や議論ツリーを導出する。特に、聴衆間で意見が対立する状況において、無関係な情報提供の議論が最適戦略となる条件を示した。

(2) 環境認識と意思決定の違い：資産市場取引実験を通じて、情報提供や環境変化が市場参加者の行動に与える影響を分析した。そのための経済実験を行い、被験者の意思決定に関するデータを収集した。具体的には、被験者に仮想的な資産市場で取引を行わせ、その取引データを分析することで検証した。これにより、理論モデルでは説明しきれない実際の行動パターンを明らかにした。この環境設定においては、情報の有無や内容による行動変化を通じて検証した。分析の一つとして、被験者から収集した価格予想に関する情報をもとに、市場参加者の短期的な信念情報や長期的な信念情報を提供し、その影響を比較した。

#### (3) コミュニケーションを通じた集合知形成メカニズム

コミュニケーション空間に適切なルール設計を行うことで、参加者間の情報共有や発言が活性化する制度設計について考察した。特に既存の情報共有メカニズムにあるルールを見直すことで、メカニズムが情報共有や発現活性化に与える影響を比較できるように研究を進めた。

### 4. 研究成果

(1) 帰納的学習理論：聴衆の信念基盤が対立する場合、議論者が無関係な議論を選択することがベイズナッシュ均衡で最適な戦略となることを示した。特に、議論者が聴衆の信念基盤や態度、聴衆間の違いを考慮することで、無関係な議論が最適戦略として選ばれる条件が明確になった。さらに、議論ツリーを用いた場合でも同様の結果が得られ、対立する聴衆に対して無関係な議論ツリーを選択することが最適であることが示された。

本研究結果は、政治家が無関係な議論を用いる理由を合理的な視点から説明する。政治的な討論やメディアでの議論において、聴衆の多様な価値観を考慮した戦略的な議論がどのように形成されるかを解明し、無関係な議論が選ばれる理由を理論的に裏付けた。

(2) 環境認識と意思決定の違い：実験経済学による市場取引実験において、短期的な信念情報が提供された場合、トレーダーは近視眼的な価格予測に依存して行動してしまうため、資産価格の変化が大きくなり、実際の価値よりも高い評価が頻出する。一方で、長期的な信念情報が提供された場合には、将来の価格動向を考慮した行動をとることになるため価格変化はそれほど生じず、実際の価値に基づいた価格形成が行われた。実際、長期的な信念情報が提供されることで、価格バブルの発生が抑制され、価格がファンダメンタルズに近づくことが観察された。

また限定合理的主体の学習についても、将来価格の信念改訂という観点から分析されており、市場参加者は他の参加者の信念情報をもとに、自身の信念を積極的に修正する傾向が見られた。特に、長期的な信念情報が提供された場合、参加者の信念は中央値に向かって収束することが確認された。

(3) コミュニケーションと集合知形成：情報共有として考案された「ピブリオバトル」や市場メ

カニズムを取り入れた「発言権取引」における制度設計をおこなった。前者では、最終的な合意形成を多数決で行っていた点をボルダールールに変更した。実験的検証に耐えられるほどのデータを集めるまでには至らなかったが、予備調査では参加者の価値が多様であるほど、多数決とボルダールールの結果の差が異なる傾向にあった。

後者においては、発言権の価値を正確に捉えるようにするために、オークションメカニズムを導入した。これによりこれまで一個人の希望で取引されていた発言権が、複数の主体の価値評価を集計する評価が可能になった。これを実装するためのシステム構築が間に合わず、実験データの収集は今後の課題となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Teng, J and R. Ishikawa   | 4. 巻<br>印刷中                   |
| 2. 論文標題<br>Price competition with different bargaining abilities                          | 5. 発行年<br>2024年               |
| 3. 雑誌名<br>Procedia CIRP   | 6. 最初と最後の頁<br>印刷中             |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>椎葉淳・石川竜一郎   | 4. 巻<br>73                    |
| 2. 論文標題<br>会計学と微分積分(3)  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>企業会計  | 6. 最初と最後の頁<br>62-63           |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>椎葉淳・石川竜一郎   | 4. 巻<br>73                    |
| 2. 論文標題<br>会計学と情報理論(2)  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>企業会計  | 6. 最初と最後の頁<br>78-79           |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Penalver Adrian、Hanaki Nobuyuki、Akiyama Eizo、Funaki Yukihiro、Ishikawa Ryuichiro | 4. 巻<br>119                   |
| 2. 論文標題<br>A quantitative easing experiment   | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Economic Dynamics and Control  | 6. 最初と最後の頁<br>103978 ~ 103978 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.jedc.2020.103978                                     | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎                 |
| 2. 発表標題<br>経験評価としての集合知メカニズムのデザイン |
| 3. 学会等名<br>日本経営工学会研究セミナー         |
| 4. 発表年<br>2024年                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎、オウセイニヨ、船木由喜彦、小倉義明  |
| 2. 発表標題<br>Experimental analysis of IPO pricing mechanism: The case of Book-building            |
| 3. 学会等名<br>13th Conference of the French Experimental Economics Association (ASFEE 2023) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Teng, J and R. Ishikawa   |
| 2. 発表標題<br>Price competition with different bargaining abilities                               |
| 3. 学会等名<br>17th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Kaneko and R. Ishikawa              |
| 2. 発表標題<br>A Resolution of the Centipede Paradox  |
| 3. 学会等名<br>The 22nd annual SAET Conference (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年                                   |

|                               |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎              |
| 2. 発表標題<br>サービスと集合知のメカニズムデザイン |
| 3. 学会等名<br>横幹連合               |
| 4. 発表年<br>2023年               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Ryuichiro Ishikawa   |
| 2. 発表標題<br>Centipede Games, Cognitive Bounds, and Hypothesis-Inertia: Epistemic Logic with Shallow Depths |
| 3. 学会等名<br>21st Annual SAET Conference (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎                     |
| 2. 発表標題<br>私たちは何をAIに求めるのか？           |
| 3. 学会等名<br>2022年度第二回キーノートディベート(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryuichiro Ishikawa  |
| 2. 発表標題<br>Bubbles in Asset Markets and the Heterogeneity of Beliefs |
| 3. 学会等名<br>CREST/LESSAC Workshop in Experimental Economics (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryuichiro Ishikawa  |
| 2. 発表標題<br>A Resolution of the Centipede Paradox: Cognitive Bounds, Inertial Behavior, and Degree of Counterfactuality |
| 3. 学会等名<br>Workshop on Foundations of Game Theory: Logic, bounded rationality, and Decisions (国際学会)                    |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|                            |
|----------------------------|
| 1. 発表者名<br>藤健勇             |
| 2. 発表標題<br>多様な交渉能力を伴う値切り競争 |
| 3. 学会等名<br>第13回横幹連合コンファレンス |
| 4. 発表年<br>2022年            |

|                           |
|---------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎          |
| 2. 発表標題<br>推奨意向の信頼性       |
| 3. 学会等名<br>日本経営工学会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石川竜一郎   |
| 2. 発表標題<br>Irrelevance in Strategic Argumentation for Multiple Audiences |
| 3. 学会等名<br>数理経済学会  |
| 4. 発表年<br>2021年  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryuichiro Ishikawa  |
| 2. 発表標題<br>Can Bubbles in Asset Markets be Explained by Heterogeneity of Beliefs?  |
| 3. 学会等名<br>Western Economics Association International Conference 2021 (WEAI Virtual International Conference 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

〔図書〕 計1件

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>谷口 忠大、石川 竜一郎        | 4. 発行年<br>2021年 |
| 2. 出版社<br>慶應義塾大学出版会           | 5. 総ページ数<br>288 |
| 3. 書名<br>コミュニケーション場のメカニズムデザイン |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|                           |                       |    |

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1件

|   |                    |
|---|--------------------|
| 国際研究集会<br>Workshop on Foundations of Game Theory: Logic, Bounded Rationality, and Decisions | 開催年<br>2022年～2022年 |
|---|--------------------|

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 |
|---------|---------|
|         |         |