

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 7 日現在

機関番号：32607

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610109

研究課題名(和文) 実験経済物理学による社会的学習と集団知の創発過程の解明

研究課題名(英文) Experimental econophysics of social learning and collective intelligence

研究代表者

守 真太郎 (Mori, Shintaro)

北里大学・理学部・講師

研究者番号：70296424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの相互作用として社会的学習と呼ばれる他者の行動・選択を真似るものが社会・経済現象の理解・記述において重要とされてきた。我々は情報カスケードという多数派の選択肢を選ぶ傾向が強いという相互作用が働く実験系でヒトの持つ情報の不確かさをコントロールすることにより、非線形ポリア壺での収束する状態の個数が1個と2個の間の相転移が起きることを検証した。理論的には、連続的な相転移と不連続な相転移が起きる条件を明らかにし、連続相転移の普遍クラスを解明した。また、相転移による集合知の精度を低下を防ぐ手法として、参照人数、参照する相手のネットワーク構造のコントロールを提案した。

研究成果の概要(英文)：It has been considered that the social learning where agents get information from the behaviors and choices of other agents is the most important factor in the description and the understanding of social and economical phenomena. We have controlled the uncertainty of the information of human collectives in an information cascade experiment and showed that there occurs a phase transition of non-linear Polya urn. Theoretically, we clarify when the phase transition becomes continuous or discontinuous and the universality class of the former continuous one. Furthermore, we study several ideas how to increase the accuracy of collective intelligence in information cascade.

研究分野：統計物理学

キーワード：相転移 情報カスケード 普遍クラス 集団実験 集合知 多腕バンディット

1. 研究開始当初の背景

経済物理学、社会物理学はヒトの集団挙動の統計物理学の文脈での理解・予測を目指す学際的な分野である。ヒトを含む社会的動物では、社会的学習という他個体の選択・行動を真似る情報収集過程が意思決定において重要な役割を果たし、その結果バブルなどの集団挙動を引き起こすため、ヒトの相互作用として最も本質的と考えられている。一方、集合知とは、多数の個体の持つ情報をうまく集約することにより、有用な情報を生成する過程とその結果得られた情報のことである。古くは合議、多数決から市場と価格、口コミサイト、WEB上の商品のレビュー、レーティングなど幅広く活用されている。

2. 研究の目的

社会的学習と集合知は二律背反は側面を持つ。それは、社会的学習により個体の生成する情報が他個体の情報と強い相関をもつため、集合知で有用な情報を生成できなくなるからである。しかし、集合知において個体が情報を提供するのはいくつの場合他個体の提供した情報を参考にしたいからであり、社会的学習を禁止することは集合知での情報集約が困難になることを意味する。では、ヒトそして一般に社会的動物はどのように社会的学習と集合知の折り合いをつけていけばよいのか、またはいるのか。本研究では情報カスケードという社会的学習の仕組みを用いてヒト集団の相転移と集合知を機能させる仕組みの解明を目指した。ここで情報カスケードとは、選択において、自己の持つ情報と異なる選択肢が多数派の場合、自己の情報を捨てて多数派の選択肢を選ぶ傾向のことである。情報カスケードにより個体の選択の精度は一般に高まるが、個体の持つ情報の精度が低い場合、多数派の選択肢が誤る確率も高くなる。このミクローマクロを統計物理学と集団実験により解明し、集合知を改善する手法を提案することを目的とする。また、同時に実験経済物理学の手法を検証することも目的の一つである。

3. 研究の方法

(1) 確率モデルの数理的研究。

ポリア壺過程、相関のあるランダムウォークという単純な確率過程を統計物理の観点から、つまり相転移、普遍類、スケーリングに焦点を絞った研究を行う。

(2) 集団実験

一般知識の二択のクイズを用いた情報カスケード実験と、2種類の壺を用いた情報カスケード実験を行う。被験者に与える情報をコントロールし、応答関数 $f(z)$ を詳細に調べる。

(3) インタラクティブゲームを用いた実験

非定常多腕バンディットでの集合知効果を検証する。集団実験ではなく、AI(人工知能)エージェントとの対戦形式のインタラクティブゲームを開発し実験を行う。

4. 研究成果

(1) 理論解析の成果

情報カスケードによるマクロな変化は非線形ポリア壺と呼ばれる確率過程で記述される。ここで非線形ポリア壺とは、区間 $[0, 1]$ から $[0, 1]$ の関数 $f(z)$ に対し、赤球の比率が z のとき、次も赤球の確率が $f(z)$ 、青玉の確率が $1-f(z)$ となる確率過程である。情報カスケード実験では、選択肢を選ぶ被験者の比率が z のとき確率 $f(z)$ で次の被験者がその選択肢を選ぶ応答関数のことである。また、被験者が過去の決まった人数の被験者の回答を参照して回答する場合、その参照人数の記憶を持つ相関のあるランダムウォークで記述される。

相転移の分類

非線形ポリア壺および相関のあるランダムウォークの漸近的振る舞いをスケーリング解析する手法を開発し分類した。特に、非線形ポリア壺は、 $f(z)$ が階段関数型の場合、および Z_2 対称性 ($f(1-z)=1-f(z)$) を持つ場合、連続相転移することを示し、秩序変数などの臨界指数を決め、普遍類を分類した。この研究成果は、非平衡相転移において厳密に解けるモデルで新しい普遍類の報告であるとともに、非線形ポリア壺というよく知られた確率過程の新たな研究の方向を示唆するものである。

アニーリング手法

情報カスケードによって多数派が間違った選択肢に収束することを防ぐアルゴリズムとして、参照人数を時間とともに対数関数的に増加させるアニーリングの手法を考案した。この研究成果は、集合知において情報カスケードによる悪影響を押さえる新しい方法であるとともに、動物行動学において明らかにされた社会的動物の集団選択則であるクオルム反応の数理にも関係すると考えられる。

ネットワーク効果

個体間の情報伝達がネットワーク構造を持つとき、その構造と情報カスケードによる相転移の関係を調べた。ネットワークがスケールフリー、スモールワールドの場合、 $f(z)$ が安定固定点の個数の変化に影響はない。一方、安定固定点への収束の振る舞いはネットワーク構造により大きく影響され、スケールフリーの場合、収束が極端に遅くなることが分かった。格子と異なりネットワークの場合は参照人数が有限でも相転移が起きることは、集合知の活用において重要な意味を持つと考えている。つまり、集合知の精度を上げるには、参照人数のコントロールだけでは不十分であり、

参照する相手のネットワーク構造も考慮する必要がある。

(2) 集団実験の成果
オッズによる応答関数の変化
情報カスケードにより、不確実な状況ではヒトは多数派を選択する傾向が強く、そのため多数派が間違った選択肢に収束する確率が正となる。これを防ぐには被験者の応答を弱くし、被験者の応答関数 $f(z)$ の安定固定点が1個しかないようにする必要があるのである。そのひとつの方法として市場メカニズムを用い、選択肢に選択者数に逆比例するポイントで正解を選んだ時に与えたとした。ゲーム理論での Max-Min 戦略は、選択者数に比例する確率で選択するというものであり、結果 $f(z)$ は1個しか安定状態を持たないようになる。この事実を検証する実験を行い被験者数が拮抗している状況では選択者数に比例する確率で選択するという部分的にポジティブな結果を得た。選択者数が拮抗していない場合は多数派を選ぶ傾向が強く、安定状態は2個あると考えられる。この結果の意味は市場メカニズムが必ずしも機能しないことを見出した点にある。

2 拓の壺を用いたカスケード実験
これまで過去に我々が行った情報カスケード実験(上記の実験を含む)では一般知識の二択のクイズを用いたが、被験者が正解を知っているかどうかを判定する方法がなかったため、 $f(z)$ のモデル化や推定が難しいという問題があった。そこで、実験経済学で用いられる2種類の壺の選択のクイズを用いた情報カスケード実験を行い、 $f(z)$ の推定と情報カスケードによる相転移が起きるのかがどうかを検証した。3年の全期間に渡る実験により $f(z)$ を十分な精度で推定でき、相転移が起きることを示した。この成果により、一般に、情報カスケード実験において、被験者の持つ情報の精度(クイズの難しさ)を変化させることにより $f(z)$ の安定固定点が1個と2個の相の間の相転移が起きることが検証できたことになる。我々が提唱する実験経済物理学の手法の有効性を示す重要な結果である。

非定常多腕バンディット実験
社会的学習の研究において、二択の代わりに多数の選択肢のある多腕バンディットを用いた実験を行った。クイズとは異なり、正解はランダムに変化するので、非定常多腕バンディットと呼ぶ。まず、他個体のレバー情報の取得(社会的学習)により

個体のパフォーマンスが上昇するかどうかをヒトで検証するため、AIプログラムと対戦するインタラクティブゲームを開発し実験を行いポジティブな結果を得た。特に、社会的学習によるパフォーマンスの改善の条件を理論的に明らかにし、実験でも検証できたことは、実験経済物理学の有効性を示すことにもつながるものである。

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10件)

S.Yoshida, M.Hisakado and S.Mori, Interactive restless multi-armed bandit game and swarm intelligence effect, *New Generation Computing*, vol. 34, No.3(2016) in press. 日本語訳「非定常多腕バンディットと集合知効果」, 人工知能学会論文誌, (早期公開日 2016.1.28) (査読有)

DOI: 10.1527/tjsai.30-6_JWEIN-B
守, 久門, 高橋, 壺の二択クイズを用いた情報カスケード実験: 実験の手順とデータアーカイブ, 統計数理研究所共同リポート 360 「経済物理とその周辺 12」, 87-92, 2016.3. 査読なし.

H.Hino, Y.Irie, M.Hisakado, T.Takahashi and S.Mori, Detection of phase transition in generalized Polya urn in Information cascade experiment, *J.Phys.Soc.Jpn.*, vol.85, No.3, 2016, 034002-034013. (査読有)

DOI: 10.7566/JPSJ.85.034002
M.Hisakado and S.Mori, Information cascade on networks, *Physica A*, vol.450, 2016, 570-584. (査読有)

DOI: 10.1016/j.physa.2015.12.090
S.Mori and M.Hisakado, Correlation function for generalized Polya urns: Finite-size scaling analysis, *Phys.Rev.E*, vol.92, 2015, 052112-052121 (査読有)

DOI: 10.1103/PhysRevE.92.052112
S.Mori and M.Hisakado, Finite-size scaling analysis of binary stochastic processes and universality classes of information cascade phase transition, *J.Phys.Soc.Jpn.*, vol.84, No.5, 2015, 054001-054013. (査読有)

DOI: 10.7566/JPSJ.84.054001
M.Hisakado and S.Mori, Information cascade, Kirman's ant colony model, and kinetic Ising model, *Physica A*, vol.417, 2015, 63-75. (査読有)

DOI: 10.1016/j.physa.2014.09.008

守、久門、高橋,一般知識の二択クイズを用いた情報カスケード実験:データ解析,統計数理研究所共同研究レポート 332 「経済物理とその周辺 11」,54-65,2015.3,査読なし.

守、久門、高橋,一般知識の二択クイズを用いた情報カスケード実験:実験の手順とデータアーカイブ,統計数理研究所共同研究レポート 311 「経済物理とその周辺 10」,1-12,2014.3,査読なし.

S.Mori, M.Hisakado and T.Takahashi, Collective adoption of Max-Min strategy in an information cascade voting experiment, J.Phys.Soc.Jpn.,vol.82,No.8,2013,084 004-084013. (査読有)
DOI: 10.7566/JPSJ.82.084004.

[学会発表](計 12 件)

守, Slow and rapid recruitment and oscillation period in information cascade

experiment, JAFEE20, 2016.3.27, 東京大学(東京都).

守, 情報カスケード実験におけるドミノ効果の測定, 日本物理学会, 2016.3.20, 東北学院大学(宮城県仙台市)

守, Non-linear Polya urn and Information cascade experiments, 2015.9.15, Econophysics Colloquium2015, プラハ(チェコ)

守, 非線形ポリア過程と不連続転移, 日本物理学会, 2015.3.23, 早稲田大学(東京都)

守, 情報カスケードにおけるドミノ効果の計測, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会 2014, 2014.11.23, 岡山大学(岡山県岡山市)

吉田, 非定常多腕バンディットゲームと集合知効果, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会 2014, 2014.11.23, 岡山大学(岡山県岡山市)

守, How others' choices affect one's choice in information cascade experiments, TDC in ECCS'14, 2014.9.24, ルッカ(イタリア)

守, Detection of non self-correcting nature in information cascade experiments, ECCS'14, 2014.9.24, ルッカ(イタリア)

守, 情報カスケード実験における非自己修正性の検証, 日本物理学会, 2014.9.8., 中部大学(愛知県春日井市).

守, 二値確率過程のスケールリング解析と情報カスケード相転移の普遍類, 日本物理学会, 2014.9.8, 中部大学(愛知県春日井市)

守, 競馬単勝オッズの時系列データ解析とハードの法則, 日本物理学会, 2013.9.27, 徳島大学(徳島県徳島市)

守, Risk of Herd and Phase Transition

in a Sequential Voting Experiment, FNET2013, 2013.7.19, 京都大学(京都府京都市)

[図書](計 1 件)

S.Mori, M.Hino, M.Hisakado and T.Takahasi, Detection of non-self-correcting nature in information cascade, Chapter 1 in Proceedings of ECCS2014, 1-10, 2016, Springer Int.(査読有)

DOI: 10.1007/978-3-319-29228-1

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/expeconophysics/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

守 真太郎 (MORI SHINTARO)

北里大学・理学部・講師

研究者番号: 70296424

(2) 研究分担者

高橋 泰城 (TAKAHASHI TAIKI)

北海道大学・文学研究科・准教授

研究者番号: 60374170

(3) 連携研究者

久門 正人 (HISAKADO MASATO)

金融庁・検査局・主任専門検査官

研究者番号: 60623923

(4) 研究協力者

日野 雅文 (HINO MASAFUMI)

株式会社 NEC