

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500270

研究課題名(和文) 集団間の競争とゲームの構造がリーダーシップの進化に与える影響の分析

研究課題名(英文) Effect of game structure and of group competition on the evolution of leadership

研究代表者

秋山 英三 (AKIYAMA, Eizo)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：40317300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、集団内の構成員間で調整ゲームが繰り返される状況でのリーダーシップの進化を分析した。分析の結果、線形順位制に基づくリーダー・フォロワーの役割分業の連鎖が、広いパラメータ領域において、エラーがある状況でも頑健性を持つことが示された。また、限定合理的プレイヤーを前提に役割分業を考察するため、経験から世界観を獲得する過程を帰納的ゲーム論の枠組みでシミュレーション分析した。分析の結果、有限時間に蓄積される記憶の限界により、同じ環境・能力のプレイヤーでも異質な選好構造を取得してしまうことが示された。このことは、同質なプレイヤー間に経験の異質性による社会的役割分業が起こりうることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：We investigate the evolution of leadership among individuals who play a kind of repeated coordination game. Analyses show that a chain of leader-follower role-differentiation is stably formed and maintained for wide range of game payoff-parameters even when implementation error of choosing action exists. In order to investigate the role differentiation among bounded rational players, we analyze, based on the inductive game theory, the process of acquiring personal view of game structure through experiences using computer simulation. We have found that even if players are homogeneous in cognitive ability, the restriction of memory capacity can cause them to have different preference structures. This result implies that differentiation of roles among homogeneous individuals can emerge when heterogeneous personal views are acquired through experience.

研究分野：進化ゲーム論

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：進化ゲーム 遺伝アルゴリズム リーダーシップ 社会構造

1. 研究開始当初の背景

社会生物学・社会心理学・政治学・経営学など多くの分野において社会集団におけるリーダーシップの普遍性・重要性が議論されている。「どのようなリーダーシップが調整問題に有効か」については、心理学で、膨大な調査研究・被験者実験研究があり、そこではリーダーの個人的特性やリーダーの行動様式などが研究されている。一方、人類学では「リーダーには資源獲得・婚姻機会の面で進化上(適応度上)の利益がある」ということが指摘されている。以上はいずれもリーダーに着目した研究である。しかし、そもそもリーダーの利益はフォロワーなしでは発生しえない。しかし、フォロワーシップがなぜ進化するのが問われることはあまりなかった (Van Vugt et al. American Psychologist 2008)。フォロワーの進化を促進する機構として、ここでは、集団内の「ゲーム的相互作用(ゲーム構造)」と「集団間の競争」に着目する。

リーダーとフォロワーの適応度は、互いの存在・戦略に依存する。例えば、集団にリーダーを目指す者が多い場合はリーダーを目指して争って傷つくよりもフォロワーになった方が適応度の面でかえって有利になる可能性がある。

申請者は元々、ゲーム論モデルを用いて互恵的協力行動の研究を行ってきたが (Akiyama & Kaneko Physica D 2000, 2002 など) その過程で、リーダー・フォロワー関係も社会的相互作用の重要な一形態として重要だと認識するようになった。そして、リーダー・フォロワー間のゲーム的構造に着目しリーダーシップ進化の研究を開始した。

もう一つの着目点としては、集団間の競争が存在する場合はフォロワーにも進化上の利点が生じ得る。つまり、フォロワーとしてリーダーを補助すると、所属集団の競争力が高くなり、結果的に他集団の個体より進化的に有利になる可能性がある。集団間の淘汰を考慮した理論としては「多レベル淘汰」の理論 (Sober & Wilson Behav Brain Sci. 1994) がある。この理論は、通常、互恵的協力行動の進化を分析する際に用いられるが、申請者は、リーダーシップの進化でも多レベル淘汰の機構が本質となると考えた。

2. 研究の目的

本申請では、戦略の進化という観点からリーダーシップの進化のメカニズムを解明することを目指す。具体的には「競合する複数の集団があり、各集団内では構成員間でゲームが繰り返される状況」を基本的な社会的環境とし、集団内相互作用の「ゲーム構造」がリーダーシップの進化に与える影響の解明、「集団間の競争」の形態がリーダーシップの進化に与える影響の解明を目指した。この目的に関して、現実のプレイヤーが必ずしも完

全合理的ではなく記憶・情報能力にも限界がある点を考慮し、プレイヤーの記憶・情報取得能力が行動様式や集団レベルの振る舞いに与える影響を分析することを考慮した。

当初は、以上の目的のみを主眼に置いていたが、研究を進める過程で、プレイヤーの記憶・情報取得能力と行動様式の進化・学習の過程について、(ナイーブな意味での) 遺伝的アルゴリズムや伝統的な進化ゲーム論的アプローチをベースとする限り、社会構造の構成への影響を分析する上で(特に、人間社会を考察する上で)不十分であることが分かった。つまり、人間は、社会集団において、過去の経験とその記憶の蓄積から世界観・社会観を獲得し自らの行動を決める。本申請テーマは、社会的役割の理解やそれによる相互分業の確立が本質である。この問題をゲーム理論の立場で正面から取り扱っている研究として、金子等の帰納的ゲーム理論がある。そこで、上記目的に加えて(むしろ前提として)、帰納的ゲーム理論のプレイヤーのシミュレーション分析を研究の一つの大きな主眼とすることとした。

3. 研究の方法

リーダー・フォロワーの力関係と両者の相補性を表現した利得行列でプレイヤー間の相互作用を記述する。この利得行列でS,Tの値が大きくなると相補性が高くなる傾向がある。集団内のプレイヤーはこの利得行列で繰り返しゲームを行う。様々なS,Tに関して分析を行うことでゲーム構造の影響を検証する。

	C	D
C	1,1	S,T
D	T,S	0,0

プレイヤーは、繰り返しゲームにおける「戦略」により、過去の経験から状況を想定し、次の行動を決定する。

戦略の実装としては、当初は、有限状態オートマトン (Moore マシン) を中心に考えていたが、過去の経験の記憶から社会状況を認識して行動を行う戦略の実装は本研究のテーマにおいて本質であるため、有限状態オートマトン以外に、金子等の帰納的ゲーム論の枠組みを検討した。具体的には、主体の記憶を記憶関数として実装して、繰り返されるゲームの過程で外部から得られる情報を記憶として蓄積し、その蓄積を元に自分が属する世界についての社会観を獲得し、それに基づいて意思決定を行う。記憶の蓄積の過程に関しては、心理学の知見を考慮し、繰り返される経験が記憶として残る状況を想定するとともに、人間の忘却過程をシンプルにモデル化した。

進化のモデル化としては、集団の中で、平均的利得の大きいプレイヤーは、同種戦略の仲間(あるいは子孫)を増やす。このようなプレイヤーの戦略の進化や、行動様式の獲得

の過程と、結果として表れる社会階層の関係について分析する。研究目的の後半に関しては、グループレベルの淘汰機構を導入する。具体的には、集団レベルのパフォーマンスが所属するプレイヤーの利得に影響を与える状況を検討することとした。

#### 4. 研究成果

進化ゲーム論的分析 / 進化シミュレーションの結果、有限状態オートマトンを意思決定機構として仮定した場合、上位プレイヤーから下位プレイヤーまでのリーダーシップの連鎖が起こる線形順位制が、相互作用の広いパラメータ領域に対して成立することが分かった。特に、本研究では、プレイヤーがミスをする場合に関しても、リーダーシップの連鎖が安定維持される（頑健性がある）ことが示された。

帰納的ゲーム理論（金子等）のプレイヤーの行動様式のシミュレーションへの実装の研究（金子、石川、Kline との共同研究）については、まず、単独プレイヤーのゲームを想定してプレイヤーが過去の経験から世界観を獲得する過程を分析した。プレイヤーは、学習自体は主目的とはせず、regular behavior を中心に行動をするものの、一定確率で regular behavior と異なる行動を行う。過去の経験は、まず、有限の寿命を持つ短期記憶として保持される。短期記憶に残るものと同様の経験を一定回数得ると、それは長期記憶となる。この状況で、どの程度の外部の状況が個人的経験として有限の時間で記憶され、世界観形成に寄与するかを計算機シミュレーションで分析した。

分析の結果、通常の学習理論では学習時間を無限大としたうえで行動様式の収束状態を議論することが多いのに対し、有限時間内で取得される世界観には相当な限界があること、従って、無限時間の学習の想定は、人間の世界観獲得の考察において本質を見落とす可能性があることが分かった。さらに、ゲームの利得を元にした各行動への選好の学習（ゲーム構造の獲得）過程についての分析では、同じ環境のプレイヤーでも過去の記憶の蓄積の大小によりまったく異なるゲーム観（選好構造）を取得してしまう可能性が指摘された。これらの結果からは、同程度の認識能力を持ち同様の経験を持つプレイヤー観でも獲得される社会観に相違が表れる可能性があること、それによる役割分業が起こりうることを示唆された。

集団間の相互作用の影響については、現在も分析が進行中だが、多レベル淘汰が機能する機構として、定期的に、一定数以上の構成員の所属集団が変更し、毎世代新しい集団が作られるとする Williams (1957) が提案したタイプの集団組み換えと、ある種の集団構造が複数世代続くとした Maynard-Smith (1964) の Haystack モデルの応用が有効であることを確認した。

#### 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 9 件)

Yonenoh, H. and Akiyama, E., "Selection of opponents in the Prisoner's dilemma in dynamic networks: An experimental approach" *Journal of Theoretical Biology*, 2014. (査読有)

Akiyama, E., "Evolutionary Leader Game and Social Hierarchy" *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 6(2), 102-107, 2013. (査読有)

岩田 学, 顔 澤シン, 米納 弘渡, 秋山 英三, "リンクの重みの不均一性が、協力の進化に与える影響" 日本ソフトウェア科学会ネットワークが創発する知能研究会(JWEIN13)講演論文集, 8-8, August 2013.

USBメモリによる配布 (査読有)

Kaneko, M., Kline, J.J., Akiyama, E. and Ishikawa, R., "A Simulation Study of Learning a Structure Mike's Bike Commuting" In *Proceedings of 2nd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies (SIMULTECH 2012)*, 208-217, 2012. (査読有)

秋山英三, "社会構造・コーディネーション形態の進化の分析 進化ゲーム論の視点とマルチ・エージェント・シミュレーション" *日本シミュレーション &ゲーミング学会誌*, 27-30, 2011. (査読有)

Suzuki, S., Niki, K., Fujisaki, S. & Akiyama, E., "Neural basis of conditional cooperation" *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 228 - 347, 2011. (査読有)

岩田学, 秋山英三, "相手の協力度を考慮する戦略の進化にネットワーク構造が与える影響" *コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌)*, 103-115, 2011. (査読有)

Eizo Akiyama, "Evolution of Social Hierarchy in 2x2 Games" *Proceedings of SICE, IEEE Xplore*, 1192 - 1195, 2011. (査読有)

米納弘渡, 秋山英三, "ネットワーク型囚人のジレンマにおける対戦相手の選択—被験者実験によるアプローチ" 日本ソフトウェア科学会ネットワークが創発する知能研究会(JWEIN11)講演論文集, 91-95, 2011. (査読有)

〔学会発表〕(計 8 件)

Eizo Akiyama, "Emergence of Social Hierarchy in Evolving Population of Interacting Agents" 11th RISS International Conference - Understanding Complex Society from Agent-Based Simulation, The Research Institute for Socionetwork Strategies, Kansai University, Osaka, Japan, February 27, 2014.

Eizo Akiyama, "Effect of individual irrationality and lack of common knowledge of rationality" Heterogeneity and Networks in Financial Markets, Centre de la Vieille Charite, Marseille, France, March 21, 2013.

秋山英三, "On Experimental Asset Market" 関東学院大学セミナー, 2012年03月16日, 関東学院大学.

(With 石川竜一郎, 花木伸行)

秋山英三, "被験者実験による資産市場の分析" 日本オペレーションズ・リサーチ学会 第17回サービスサイエンス研究部会, Japan

Advanced Institute of Science and Technology Tokyo Satellite, Japan, October 19, 2012.

Akiyama, E. (with M. Kaneko, J. Kline, R. Ishikawa), "A Simulation Study of Learning: Mike's Bike Commuting" International Workshop on Game Theory, Epistemic Logic & Related Topics, University of Tsukuba, Japan, August 27, 2012.

Eizo Akiyama, "Individual irrationality and lack of common knowledge of rationality in experimental asset markets" Summer Workshop on Economic Theory (SWET 2012), Kushiro Public University of Economics, Japan, August 11, 2012.

Akiyama, E. (with M. Kaneko, J. Kline, R. Ishikawa), "A Simulation Study of Learning: Mike's Bike Commuting" Simultech 2012, Rome, Italy, July 28, 2012.

Eizo Akiyama, "Evolution of Social Hierarchy in 2x2 Games" SICE Annual Conference 2011, September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan. (Presented on September 15)

〔図書〕(計 5 件)

秋山英三, 沼澤政信, 「シミュレーション学からの接近」, 『グローバルな

危機の構造と日本の戦略』(吉田和男, 藤本茂 編), 第II部

第4章, 230-251, 晃洋書房, (2013), 2013年11月.

秋山英三, 「少数派ゲーム --- 参加者の能力の分布が社会全体の効率に与える影響」, 『ゲーム理論アプリケーションブック』(中山幹夫, 武藤滋夫, 船木由喜彦 編), 第10章, 209-233, 東洋経済新報社, (2013), 2013年11月.

秋山英三, 「進化ゲーム理論」, 『50のキーワードで読み解く経済学教室 - 社会経済物理学とは何か? - 』(青木正直, 有賀裕二, 吉川洋, 青山秀明監修), 68-83, 東京図書, (2013), 2013年5月.

Akiyama, E., R. Ishikawa, M. Kaneko, and J. J. Kline (2013)

``Inductive game theory: A simulation study of learning a social situation," in Hardy Hanappi (ed.), Game Theory Relaunch, Chapter 3, pp. 55-76, InTech,

DOI: 10.5772/54181, March, 2013

Yuji Aruka and Eizo Akiyama, "Complexities of Production and Interacting Human Behaviour," Springer-Verlag, Chapter 12, pp. 233-261,

DOI:bbm: 978-3-7908-2618-0/1, March, 2011.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

秋山 英三 (AKIYAMA, Eizo)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号 : 40317300