

機関番号：12102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700248

研究課題名（和文） リーダーシップの進化に関する研究：シミュレーション・実験によるアプローチ

研究課題名（英文） Evolution of Leadership: Simulation/Experiment Approach.

## 研究代表者

秋山 英三 (AKIYAMA EIZO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：40317300

## 研究成果の概要（和文）：

人間社会や社会的動物の集団の多くではリーダーシップに基づく階層的社会が見られる。本研究では、進化ゲームの手法と遺伝的アルゴリズムを用いた分析を行い、社会構造・個体間の相互関係の進化にゲームの利得構造が与える影響を分析した。その結果、相補的利得を持つ指導者ゲームに近いゲームにおいて、個体間の役割を固定化するようなコーディネーション形態の進化と、それをベースとした階層的な社会ネットワークの進化が見られ、リーダーを頂点とした線形順位制に基づく階層的な社会が構築されることを示した。

## 研究成果の概要（英文）：

Hierarchical social structures based on agents' leadership are often observed in human societies or in groups of social animals who usually live in groups. We investigate the effect of game structures on the evolution of the social structure, especially the hierarchical structure, in a group of interacting individuals, using evolutionary game approach and genetic algorithms. The simulation results show that the evolutionary process for a class of 2x2 games similar to the game of leader brings about linear dominance hierarchies among strategy (automaton) classes based on agents' leader-follower relationships.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトウェア工学

キーワード：遺伝アルゴリズム・進化ゲーム

## 1. 研究開始当初の背景

既知の人間社会には（狩猟・採集の時代から近年に至るまで）何らかのリーダーシップが必ず存在したということが人類学の研究により知られている（[Bhoem 1999]など）。また、社会心理学の研究[Bass 1954]では、

リーダーのいない状態で集められた被験者グループの中に「リーダー・フォロワー関係」が自発的に現れることが知られている。その他、経営学、政治学など、多くの分野において、リーダーシップは人間社会に共通して見られる普遍的な性質だと考えられている。

心理学では、リーダーシップに関する実証・実験研究が古くから多数あるが（[Bass 1990]に詳しい）、それらには大きく分けて二つの種類がある。まずその一つは、(i)リーダーとなる人の「個人的特性(trait)」に着目した研究で、例えば、リーダーの経験が豊富な人は、外向性、野心、知性といった個人的特性を持つ傾向があることが知られている。もう一つは、(ii)リーダーシップが形成される「状態・状況(state)」に着目する研究で、例えば、普段フォロワーとしてグループに参加している人でも、相手や環境(状況)によっては突然リーダーシップを発揮することがある、ということが知られている。このようにリーダーシップに関わる個人的特性、状況についての実証・実験研究は数多くある。しかし、これらの起源を説明しようとする数理的な試みはまだ少ない。

## 2. 研究の目的

本研究の目標は、リーダーシップの進化のメカニズムを解明することである。具体的には、以下3つの目的の解明を目指す。

[目的 A] どのような戦略がリーダー・フォロワー関係を効率的に構築できるのか

[目的 B] どのような戦略がリーダーの立場を安定的に維持できるのか

[目的 C] これらの戦略はどのような条件の下で進化するのか

特に、社会構造・個体間のコーディネーション形態の進化に、ゲームの利得構造が与える影響を明らかにする。

上記の[目的 A, B, C]に書いた内容は、ゲーム環境とプレイヤーに関するいくつかの条件の下で検証し、それぞれの条件がリーダーシップの進化に与える影響を分析する。プレイヤーに関する条件については、現実のプレイヤーが必ずしも完璧ではなく記憶・情報能力にも限界がある点を考慮し、次の二つがリーダーシップの進化に与える影響を分析する：

(x) プレイヤーがミスをする可能性の有無がある場合（自分の戦略の意図と違う行動を選択してしまう場合）、そのミスの有無の影響。

(y) プレイヤーの記憶能力・情報取得能力に限界がある場合、その能力の大小の影響。

## 3. 研究の方法

本申請の研究目的を達成するため、ゲームの状況におけるリーダーシップの進化を分析する。

個体間のゲーム的相互作用として、「2x2

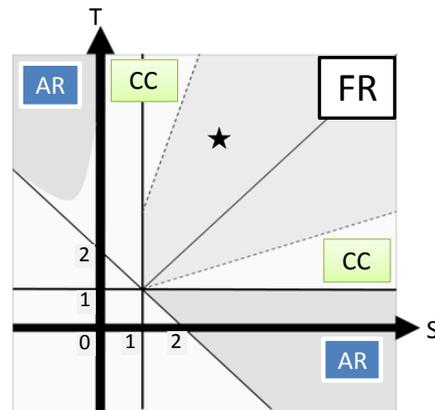
対称ゲーム」が繰り返される状況を想定する。ここで2x2(対称)ゲームとは、各プレイヤーの選択肢が2つの(対称)2人ゲームのことである。

プレイヤーに関する条件を段階的に変化させて進化シミュレーションを行い、戦略の進化を分析する。具体的には、次の2種類の条件(x)(y)を様々に変えてシミュレーションを実行する：(x)プレイヤーがミスをする(自分の戦略と違う行動をしてしまう)可能性の有無、(y)プレイヤーの記憶能力(過去の情報をどの程度覚えているか)と情報取得能力(ゲーム状況の情報をどの程度間違えずに把握できるか)の大小。

また、シミュレーション結果それぞれについて、「研究目的-②」に記載の[目的 A, B, C]を検証する。さらに、条件(x)(y)の組み合わせの結果を比較することにより、リーダーシップの進化に対する(x)プレイヤーのミスの影響の有無、(y)プレイヤーの能力の限界の影響の有無を分析する。

また、個体間関係の発生メカニズムとして進化ゲーム的アプローチに戦略(行動様式)の突然変異を導入したものを採用し、どのような戦略が安定・固定化したリーダー・フォロワー関係を生成するのかを進化シミュレーションにより分析する。

## 4. 研究成果



	C	D	二つの軸は左の利得行列のS, Tの値を表す。該当するゲームで進化するコーディネーション形態の関係。「FR」と記された領域でリーダーシップの進化が起こる。
C	1, 1	S, T	
D	T, S	0, 0	

これまでの研究の結果、以下のことが分かった。

まず、調整ゲームの一種(上の利得行列でS=3, T=5; 図の★印)でリーダー・フォロワー(LF)関係が進化し安定化することが分かった。LF関係の進化を促進する戦略には3つの共通する性質があることが分かった。

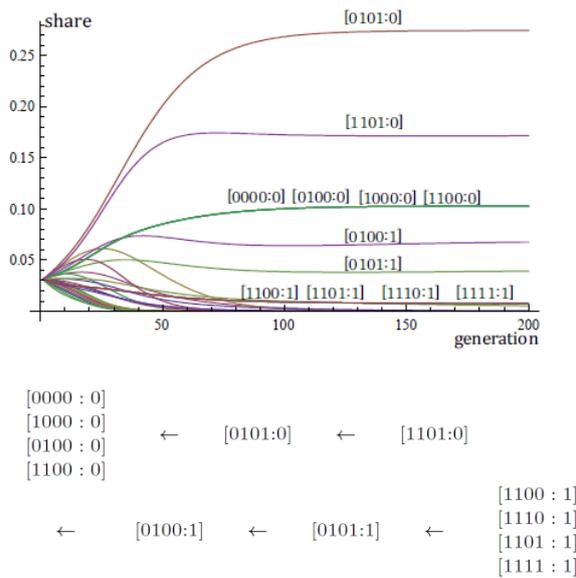
① 上手く行動をコーディネートできない

い相手に自分からは譲らない

- ② いったん指導者の経験をすると積極的に振る舞う
- ③ 自分が指導者になった記憶がない場合は相手が常に積極的に指導者の経験もあるなら相手に追従する

また、ゲームの利得構造によって、①個体間の「役割を固定化する」ようなコーディネーション形態の進化と、「(リーダーを頂点とした)階層的な社会ネットワーク」の進化がおこることが分かった。また、②役割を時間軸に沿って交互に交替し続ける「役割交替コーディネーション」の進化と、それをベースとした「平等な社会ネットワーク」の進化が起り、リーダーシップを中心とした社会構造と逆の構造が支配的になることが示された。

さらに、[FR]領域のゲームでは、淘汰の結果として、「線形順位制」と呼ばれる集団内構造がリーダーを頂点として形成されることが分かった(下図)。



ゲームで進化する戦略集合の順位制: 上図は、T=5, S=3 のゲームでの戦略頻度の遷移の様子。下図は、淘汰の結果残った戦略の間のリーダー-フォロワー関係を示している。矢印の先端(左側)は上位の戦略、矢印の根本側(右側)は下位の戦略を表す。

## 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 14 件)

1. Suzuki, S., Niki, K., Fujisaki, S. & Akiyama, E., "Neural basis of conditional cooperation," *Social Cognitive and Affective Neurosci*, 6(3), (2011), 査読有
2. 岩田学, 秋山英三, "相手の「協力度」を考慮する戦略とネットワーク上での協力の進化," *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)*, 28(1), 103-115, (2011), 査読有
3. Akiyama, E., "An Evolutionary Route to the Formation of Coordination in the Iterated Leader's Game with Errors," *Evolutionary and Institutional Economics Review* 6(2), 227-244 (2010). 査読有
4. 山田尚樹, 秋山英三, "あいまいな図形の知覚と脳活動," *日本知能情報フレンジ学会誌(知能と情報)* 22(4), p414-418 (2010), 査読無・総説
5. 秋山英三 "繰り返しゲームにおけるコーディネーション形態と、社会構造の進化," *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(JWEIN10)講演論文集*, 8 pages (2010), USBメモリ配布. 査読有
6. 秋山英三, "指導者ゲームにおける線形順位制の進化," *The Proceedings of the Joint Agent Workshop (JAWS 2010)*, 8 pages (2010), forthcoming, 査読無.
7. 河又裕士, 秋山英三, "少数派ゲームにおける社会的効率に混雑情報の伝搬確率が及ぼす影響," *The Proceedings of the Joint Agent Workshop (JAWS 2010)*, 7 pages (2010), USBメモリ配布, 査読無.
8. 岩田学, 秋山英三, "異なる戦略が混在する集団における、相手の協力度を考慮する戦略の進化," *人工知能学会知識ベースシステム研究会(SIG-KBS)論文集*, A904, 7-15 (2010), 査読無.
9. 米納弘渡, 秋山英三, "マルチレベル選択モデルにおける集団の分裂条件の変化による影響," *人工知能学会知識ベースシステム研究会(SIG-KBS)論文集*, A904, 17-23 (2010), 査読無.
10. 藤倉崇晃, 秋山英三, "トレーダーの持つ情報と取引仲介者の存在可能性," *人工知能学会知識ベースシステム研究会(SIG-KBS)論文集*, A904, 33-38, (2010), 査読無.
11. Aruka, Y. & Akiyama, E., "Non-self

averaging of a two-person game only with positive spillover---A new formulation of Avatamsaka dilemma process,” *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 4, 135-161 (2009). 査読有

12. 木村 博道 & 秋山英三, “市場流動性を説明できるローインテリジェンスモデル,” *日本オペレーションズ・リサーチ学会 和文論文誌* 52, 56-81, (2009). 査読有
13. Hanaki, N. Ishikawa, R. & Akiyama, E., “Learning games,” *Journal of Economic Dynamics & Control* 33(10), 1739-1756 (2009). 査読有
14. Saito, M., Yamaki, H., Akiyama, E., Sejima, M., & Yohida, K., “GPGSiM: A New Simulation Environment for International Politics and Economics,” *The 2009 Summer Computer Simulation Conference (SCSC' 09)*, 283-290 (2009). 査読有

[学会発表] (計 5 件)

1. 秋山英三 (with 花木伸行, 石川竜一郎) “Learning Games”, ゲーム理論ワークショップ 2011, 名古屋大学, 2011 年 3 月 5 日-7 日 (発表は 6 日).
2. 秋山英三 “コーディネーション形態・社会構造の進化にゲームの利得構造が与える影響”, ゲーム理論ワークショップ 2011, 名古屋大学, 2011 年 3 月 5 日-7 日 (発表は 5 日).
3. 秋山英三, “繰り返しゲームにおけるコーディネーション形態と, 社会構造の進化”, 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 JWEIN10, キャンパス・イノベーションセンター東京, 2010 年 8 月 20-22 日 (発表は 21 日).
4. Eizo Akiyama, “Evolution of Finite Automata in the Game of Leader: Simulation Approach”, *Logic, Game Theory, & Social Choice* 6, Univeristy of Tsukuba, Japan, Aug. 26-29, 2009 (presented on Aug. 29.).
5. 秋山英三, 「繰り返し指導者ゲームにおける進化的現象 -リーダーシップの進化メカニズム-」ゲーム理論と市場設計第 6 回研究会, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2009 年 7 月 10 日.

[図書] (計 2 件)

1. 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: 応用ガイドブック」(中山幹夫、武藤滋夫、船木由喜彦 編), 東洋経済新報社, forthcoming

2. 秋山英三, “エラー付き指導者ゲームにおける戦略の進化,” 「地球秩序のシミュレーション分析」(吉田和男・井堀利宏・瀬島誠 編), 日本評論社, 111-129 (2009).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

秋山 英三 (AKIYAMA EIZO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号 : 40317300