

宣言記号合わせゲームを用いたリーダーフォロワー関係の 決定要因の同定

An Investigation of the Factors that Determine Leader-Follower Relationship by using a Mark Matching Game with Declaration

高橋 和之*¹ 寺田 和憲*¹ 山田 誠二*²
Kazuyuki Takahashi Kazunori Terada Seiji Yamada

*¹岐阜大学工学部電気電子・情報工学科

Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Gifu University

*²国立情報学研究所/総合研究大学院大学/東京工業大学
National Institute of Informatics, SOKENDAI, Tokyo Institute of Technology

The purpose of the present study is to investigate what factors determine the leader follower relations in cooperative tasks performed by a human and a computer. The possible factors are intelligence, appearance, and tendency to be a leader. In the present study, we especially focused on the intelligence and tendency to be a leader factors. We conducted a psychological experiment using a *mark matching game with declaration phase* which enables to determine who is the leader in a cooperative task. Experimental results showed that people tend to follow an agent who has low intelligence but does not follow his/her decision rather than an agent who has high intelligence but follows his/her decision, indicating that assertiveness is more important than intelligence for a leader.

1. はじめに

社会では大きな目標の達成のために組織を形成し、リーダーの意思決定に従ってフォロワーが行動することがある [Rands 03, Bullinger 11, Duguid 14]. グループでの意思決定において、リーダー-フォロワー関係はコミュニケーションのコストを少なくすることに貢献する。一旦リーダーとフォロワーの関係を決定してしまえば、リーダーはフォロワーに対して指示を出すだけでよく、フォロワーからリーダーに対する情報伝達は必要ない。ただしこれは目標（利害）が一致している場合に限られる。目標が一致していない場合（非ゼロ和ゲーム状況）は一方は必ずしももう一方に従うわけではないので、そこで反対意見の伝達が発生しコミュニケーションコストが増大する。

一般的な機械と人の関係では人がリーダーとなり機械がフォロワーとなるのが通常である。しかし、コンピュータの情報処理能力が高く、意思決定をコンピュータに委ねている場合には、人とコンピュータの間で目標の不一致が発生することがある。例えば、1994年の中華航空140便の事故では、上昇しようとするコンピュータと下降しようとするパイロットの目標が一致しなかったことが原因で飛行機が失速して墜落した [運輸 96].

どのような場合にコンピュータがリーダーになり人がフォロワーになるのかを明らかにすることは人工知能、ヒューマンエージェントインタラクション研究における重要な課題である。リーダー-フォロワー関係を決定づける要因としては、知性、リーダー志向性、アピアランスが考えられる。

アピアランスのみを操作して行った実験では、全ての実験参加者が相手エージェントのアピアランスがロボットであっても人であっても、エージェントに従った結果となった。しかしそれは、相手エージェントに従った方が得られる利益の期待値が高かった（知性が高く、リーダー志向性が強い）ため当然である [Takahashi 15].

そこで本研究では、エージェントの知性とリーダー志向性が

アンバランスな場合リーダー-フォロワー関係に影響を与えるかの検証を行った。

2. 実験方法

2.1 参加者と実験計画

実験参加者は岐阜大の学生 19 歳から 24 歳までの男性 17 人、女性 1 人であった ($M_{age} = 22.16$, $SD_{age} = 1.15$).

エージェントの知性とリーダー志向性のアンバランスは人のフォロー度に影響を与えるかどうかを確認するために 1 要因（パーソナリティ：高インテリジェンス度 × 低リーダー度、低インテリジェンス度 × 高リーダー度）参加者間要因配置で実験を行った。

なお、高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準のエージェントのパーソナリティは、参加者より賢いが、参加者の意見に合わせる従順なエージェントである。また、低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準のエージェントのパーソナリティは、参加者より賢くないが、参加者の意見に合わせない強情なエージェントである。

2.2 実験装置

宣言記号合わせゲームについて説明する。宣言記号合わせゲームは協力タスクである記号合わせゲームに宣言フェーズを導入したものである。記号合わせゲームとは、2人のプレイヤーの選択が一致した場合には両者に得点が与えられ（もしくは高得点）、一致しなかった場合には両者ともに得点が得られない（もしくは低得点が得られる）ゲームである。なお、この1回の選択をラウンドと呼ぶ。このゲームで高得点を得るためには、各ラウンドにおいてお互いに相手は何を出すかを予測しなければならないがコミュニケーションチャンネルが存在しない場合には予測することは難しい。コミュニケーションチャンネルが存在しない場合に取られる戦略の一つに Most Recently Used (MRU) アルゴリズムがある [Terada 13]. これは直近の相手の選択をそのまま選択するという方法である。選択を一致させることのみが目標である場合にはこのアルゴリズムは有効に働く。ただし、このアルゴリズムが有効に働くためには一

連絡先: 岐阜大学工学部電気電子・情報工学科 情報コース

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1

E-mail: terada@gifu-u.ac.jp

表 1: ゲームマトリックス

	A	B
A	1/1 or 10/10	0/0
B	0/0	10/10 or 1/1

方が選択を固定しなければならない。一ラウンド前の相手の選択を見てから現在のラウンドの自分の選択を決定するため、時間遅れのリーダー-フォロワー戦略とも言える。

このゲームに宣言フェーズを導入したものが宣言記号合わせゲームである。これにより 1 ラウンドは宣言フェーズと決定フェーズで構成されることになる。宣言フェーズではプレイヤーは自分がどの記号を選択したかを宣言する。両者が宣言し終わったら両者の宣言は双方に開示される。この後両者には宣言をそのまま選択する (stay) か、宣言と異なる選択に変更する (shift) かを決定できる機会が与えられる (決定フェーズ)。決定フェーズにおいて両者が stay か shift の決定を行った後に、両者の最終的な選択が開示され、得点が加算される。この宣言フェーズの導入によって時間遅れなくリーダー-フォロワー関係を明らかにすることができる。単純に選択を一致させることだけが目標であれば宣言フェーズは必要ない。なぜなら、片方が選択を固定し、他方は MRU アルゴリズムに従って一手前の相手の手を出し続ければよいからである。そこで我々は、宣言フェーズが意味を持つように単に選択を一致させるだけでなく、何を選択するかも得点に影響するようにした。表 1 は本実験で用いたゲームマトリックスである。選択が一致した場合に 1 点もしくは 10 点が与えられるが、それは選択する記号によって決まっているわけではなく、どの記号が高得点かは毎回異なる。従って、このゲームでは毎ラウンド高得点の記号を予測し、なおかつその記号を両者が一致して選択しなければならない。これを実現するためには宣言フェーズが必要である。

両者に高得点記号の予測能力がない場合には単に記号を合わせることのみが目標となり、単純なリーダー-フォロワー戦略 (どちらがリーダーになってもよい) である MRU アルゴリズムによって最適戦略が実現可能なので宣言フェーズは必ずしも必要ない。しかし、どちらかが高得点記号の予測能力が高い場合には能力の高い方がリーダーになる方が良い。

我々は高得点記号の予測能力をインテリジェンス度と定義する。

インテリジェンス度 宣言フェーズ時に高得点を当てる確率。
 なお、毎ラウンド終了時にそれぞれの記号が何点であったかが開示されるので、参加者は事後的に相手の予測が当たっていたか外れていたかを知ることができる。

また、自分の宣言に固執する傾向をリーダー度と定義する。

リーダー度 相手との宣言が不一致になった場合、相手の宣言に合わせて shift せずに stay する確率である。

またフォロワー度は次のように定義する。

$$\text{フォロワー度} = 1 - \text{リーダー度} \quad (1)$$

我々は Web ブラウザ上で動作するアプリケーションとしてこのゲームを実装した。宣言フェーズのインターフェース画面を図 1 に示す。宣言フェーズでは、実験参加者はマウスで操作を行



図 1: 宣言フェーズ画面



図 2: 決定フェーズ画面

い、A または B ボタンをクリックし、宣言をする。図 2 は決定フェーズのインターフェース画面である。実験参加者はインターフェース上の Stay ボタンもしくは Shift ボタンをクリックすることで stay するか shift するかを決定する。

例えば宣言フェーズで片方のプレイヤーが A を宣言、もう片方のプレイヤーも A を宣言した場合、決定フェーズで両者が共に stay もしくは shift を選択した場合得点が得られる。また宣言フェーズで片方のプレイヤーが A を宣言、もう片方のプレイヤーが B を宣言した場合、どちらかが shift しなければ得点が得られない。

相手エージェントの知性とリーダー志向性がアンバランスであっても、ある選択をした時の得られる得点の期待値が高い場合、実験参加者は得られる期待値が高い選択をし続けることが考えられる。そこで本研究を行う前に、宣言が不一致した場合参加者が stay を選んだ時に得られる点数の期待値 $E(stay)$ 及び shift を選んだ時に得られる点数の期待値 $E(shift)$ を求めた。ここで期待値 $E(stay)$, $E(shift)$ は次式で示す。

$$E(stay) = P_i(1 - P_l)S_i + (1 - P_i)(1 - P_l)S_h \quad (2)$$

$$E(shift) = P_i P_l S_h + (1 - P_i) P_l S_l \quad (3)$$

ここで、 P_i は相手エージェントのインテリジェンス度、 P_l は相手エージェントのリーダー度、 S_h は高得点の点数、 S_l は低得点の点数を示している。

本研究では、インテリジェンス度、リーダー度、高得点及び

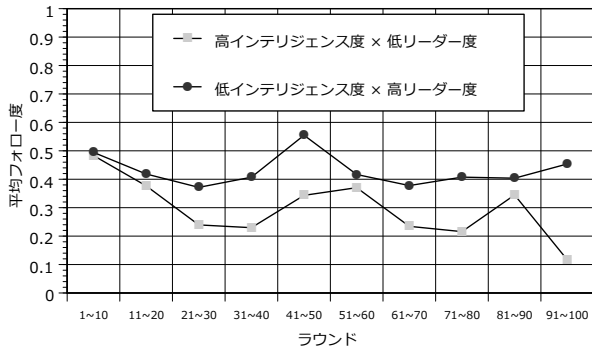


図 3: 10 ラウンドごとのフォロー度の平均

低得点を両水準の期待値 $E(stay)$, $E(shift)$ が全て 2.051 となるようにして実験を実施した。各水準の数値は下記で示す。

高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準のインテリジェンス度は 0.808, リーダー度は 0.248 とした。低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準のインテリジェンス度は 0.192, リーダー度は 0.752 とした。また、参加者が得られる高得点は 10 点, 低得点は 1 点とした。なお、相手と宣言が一致しているにもかかわらず, shift すると不合理かつ非協力的な態度と取られるため, 本実験において両者の宣言が一致している場合にはエージェントは必ず stay することとした。また, エージェントには Aldebaran Robotics 社のヒューマノイドロボット NAO を用いた。

2.3 手順と測定方法

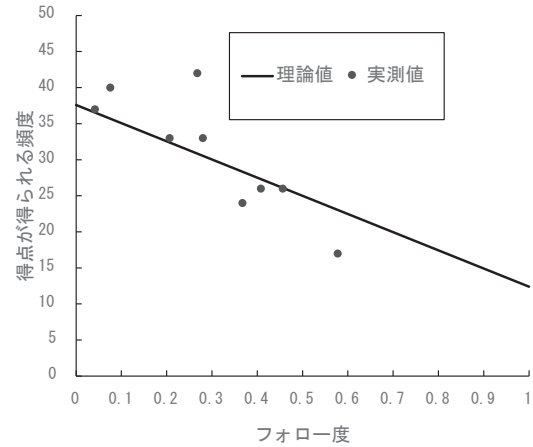
実験の手順は次の通りである。

1. 実験参加者に対してコンピュータスクリーン上で実験の説明を提示し, 実験の趣旨と宣言記号合わせゲームのルールについて理解するよう求めた。
2. 実験参加者にルールの誤解がないかを確認するために簡単にゲームについて口頭で説明した。この時に獲得した得点に応じて, 1000 円から 1500 円分の図書カードが支払われることを伝えた。その後, 実験参加者から質問を受け付けた。
3. 実験参加者に対して別室に移動すること及びパートナーとなるエージェントと実際に対面することを求めた。このときに相手エージェントは次のように挨拶を行った。「こんにちは。わたしは〇〇です。私と協力して, 金貨がたくさん入った宝箱を当てましょう。」
4. 元の部屋に戻り, 100 ラウンドの本実験を開始した。
5. ゲーム終了後, 実験参加者に対してアンケートに回答することを求めた。

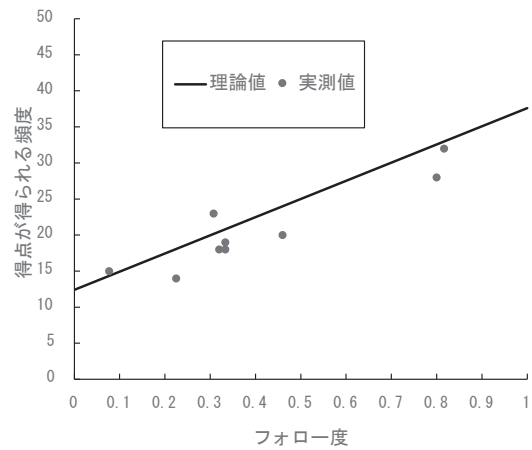
また, 測定は実験参加者とエージェントの選択が不一致であったときに実験参加者が stay したか shift したかを記録した。

3. 実験結果

図 3 に 10 ラウンドごとの実験参加者のフォロー度の平均を示す。これは 10 ラウンドのうち宣言フェーズで選択が不一致であったラウンド数を分母とし, 決定フェーズで参加者が shift したラウンド数を分子として計算した。パーソナリティとラウ



(a) 高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準



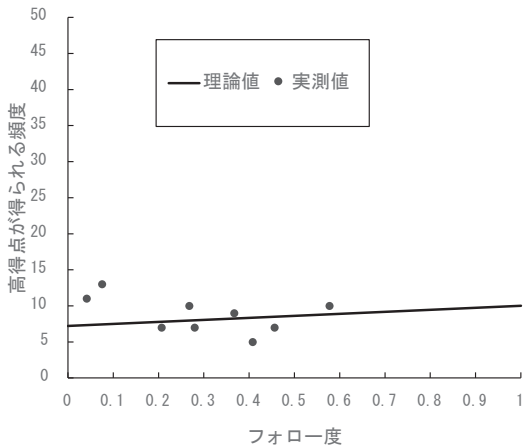
(b) 低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準

図 4: 宣言不一致時得点を獲得した頻度とフォロー度の散布図

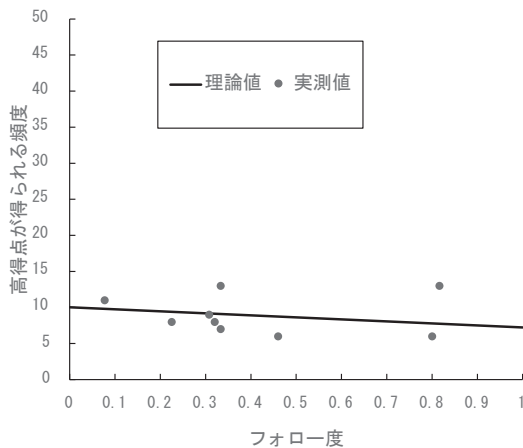
ンド区間を要因とする二元配置分散分析を行ったところ, パーソナリティ要因とラウンド区間要因の間に交互作用は見られなかった ($F(9, 160) = 0.43, p = 0.92$). ラウンド区間には主効果が見られなかった ($F(9, 160) = 0.82, p = 0.59$) がパーソナリティ要因については主効果が見られた ($F(1, 120) = 7.93, p < .01$). また, 高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準のフォロー度の平均は 0.295, 低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準のフォロー度の平均は 0.431 であった。

4. 考察

パーソナリティとラウンド区間を要因とする二元配置分散分析を行ったところ, パーソナリティ要因とラウンド区間に交互作用は見られなかった。また, パーソナリティ要因に主効果が見られた。このことから, 宣言不一致時に stay を選択しても shift を選択しても期待値に差が無い状況において, エージェントの知性とリーダー志向性のアンバランスは人のフォロー度に影響を与えると考える。参加者は, 賢いが参加者の意見に合わせる従順なエージェント (高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準) より, 賢くないが参加者の意見に合わせない強情なエージェント (低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準)



(a) 高インテリジェンス度 × 低リーダー度水準



(b) 低インテリジェンス度 × 高リーダー度水準

図 5: 宣言不一致時高得点を獲得した頻度とフォロー度の散布図

に従うことが分かった。このことから、知的であることよりも、強引であることがリーダーには重要であると考えられる。

フォロー度に影響を与えた原因として、参加者が得点が得られる頻度に注目して意思決定を行っていたことが考えられる。これについて検証する。図 4 に、各水準において実験参加者のフォロー度と宣言不一致時に得点を獲得した頻度の散布図及び理論値を示す。理論値と実測値の比較から、参加者より賢いが参加者の意見に合わせる従順なエージェントの相手をした参加者は、得点が得られる頻度を高くするように、意思決定を行っていたことが分かる。しかし、参加者より賢くないが参加者の意見に合わせない強情なエージェントの相手をした参加者は、理論値と実測値の比較から必ずしも得点が得られる頻度を高くするように意思決定を行っていたとは言えない。両水準で結果が矛盾するため、参加者は得点が得られる頻度に注目して意思決定を行っていたという可能性は棄却できる。

また、参加者が高得点が得られる頻度に注目して意思決定を行っていた可能性について検証する。図 5 に、各水準において実験参加者が宣言不一致時に高得点 (10 点) を獲得した頻度とフォロー度の散布図及び理論値を示す。理論値と実測値の

比較から、参加者より賢くないが参加者の意見に合わせない強情なエージェントの相手をした参加者は、高得点が得られる頻度を高くするように意思決定を行っていたことが分かる。しかし、参加者より賢いが参加者の意見に合わせる従順なエージェントの相手をした参加者は、理論値と実測値の比較から、高得点が得られる頻度を高くするように、意思決定を行っていたとは言えない。両水準で結果が矛盾するため、参加者は高得点が得られる頻度に注目して意思決定を行っていたという可能性は棄却できる。

5. まとめ

本研究では、コンピュータと人の目標が一致するタスクを遂行する場合に、どのような要因がリーダーとフォロワーを決定づけるかを明らかにすることを目標に実験を行った。リーダー-フォロワー関係を決定づける要因は、アビランス、知性、リーダー志向性が考えられる。この目標のために我々が開発したリーダー-フォロワー関係を同定可能なゲームである宣言記号合わせゲームを用いた。実験の結果、協力ゲームにおいて、エージェントの知性とリーダー志向性がアンバランスな場合、人は知性が優れているがリーダー志向性が弱いエージェントよりも知性が劣っていても強引なエージェントの意思決定に従うことが分かった。このことは、知的であることよりも強引であることがリーダーの要件として重要であることを示唆する。

参考文献

- [Bullinger 11] Bullinger, A., Wyman, E., Melis, A., and Tomasello, M.: Coordination of Chimpanzees (Pan troglodytes) in a Stag Hunt Game, *International Journal of Primatology*, Vol. 32, No. 6, pp. 1296–1310 (2011)
- [Duguid 14] Duguid, S., Wyman, E., Bullinger, A. F., Herfurth-Majstorovic, K., and Tomasello, M.: Coordination strategies of chimpanzees and human children in a Stag Hunt game, *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, Vol. 281, No. 1796 (2014)
- [Rands 03] Rands, S. A., Cowlshaw, G., Pettifor, R. A., Rowcliffe, J. M., and Johnstone, R. A.: Spontaneous emergence of leaders and followers in foraging pairs, *Nature*, Vol. 423, pp. 432–434 (2003)
- [Terada 13] Terada, K., Yamada, S., and Ito, A.: An Experimental Investigation of Adaptive Algorithm Understanding, in *Proceedings of the 35th annual meeting of the cognitive science society (CogSci 2013)*, pp. 1438–1443 (2013)
- [運輸 96] 運輸省航空事故調査委員会：航空事故調査報告書 中華航空公司所属エアバスインダストリー A300B4-622R 型 B1816 愛知県名古屋空港 (1996)
- [Takahashi 15] Takahashi, K., Terada, K., and Yamada, S.: Psychological Factors to Determine Leader-Follower Relations, in *Human-Agent Interaction Symposium 2015*, P-15. (2015)