

社会的リーダー・フォロワー関係を決定する心理要因

Psychological Factors to Determine Leader-Follower Relations

高橋 和之^{1*} 寺田 和憲¹ 山田 誠二²
Kazuyuki TAKAHASHI¹ Kazunori TERADA¹ Seiji YAMADA²

¹ 岐阜大学工学部電気電子・情報工学科

¹ Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Gifu University

² 国立情報学研究所

² National Institute of Informatics

Abstract: 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 ability difference, appearance, and tendency to be a leader. In the present study, we especially focused on the appearance factor. 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. The results indicate that appearance does not affect the tendency to be a leader. However, it remains possibilities that large difference on the player's ability and partner agent's tendency to be a leader might have given larger effect on the participants' tendency to be a follower than appearance.

1 はじめに

社会では大きな目標の達成や高い利益の獲得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つ

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、能力差、アピアランス、リーダー指向性が考えられる。これらの要因を操作し、目標が一致する状況でリーダー-フォロワー決定の要因を明らかにするために、我々は非言語インタラクションの中でリーダー-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開発した。本稿では開発したゲームの詳細とアピアランス要因を操作して行った実験の結果を示す。

2 実験方法

2.1 参加者と実験計画

岐阜大の学生 18 歳から 23 歳、平均年齢 20.50 歳 ($SD = 1.45$) の男性 10 名、女性 4 名の計 14 名を対象に実験を行った。

アピアランスがリーダー-フォロワー関係の決定に寄与するかどうかを確認するため、1 要因（アピアランス：ロボット、人）参加者間要因配置で実験を行った。

*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

2.2 実験装置

我々が開発した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が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。

我々はこのゲームに宣言フェーズを導入した。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

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

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フェース画面である。実験参加者はインタフェース上の 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。

本実験において実験参加者となったパートナーエージェントのインテリジェンス度は0.9、リーダー度は0.9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。

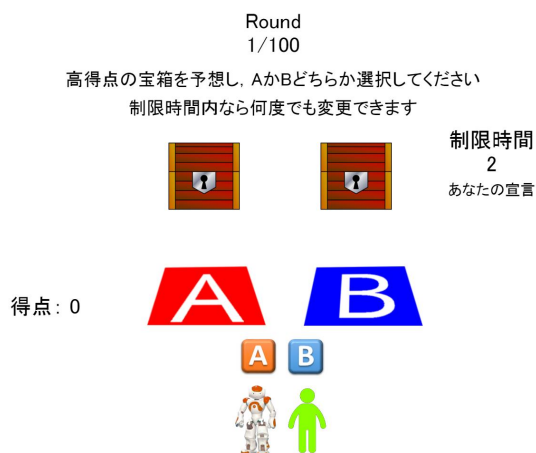


図 1: 宣言フェーズ画面



図 2: 決定フェーズ画面

ロボット水準のエージェントには Aldebaran Robotics 社のヒューマノイドロボット NAO を用いた。人水準のエージェントには、筆者らの研究室所属の成人男性を用いた。また、ゲームインタフェース上で表示するために図 3 に示すようなアバターの画像を作成した。

2.3 手順

実験の手順は次の通りである。

1. 実験参加者に対し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



(a) ロボット水準

(b) 人水準

図 3: 相手エージェントのアバター

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. 別室に移動し、パートナーとなるエージェントと実際に対面した。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、コンピュータスクリーン上での実験を開始した。まず、練習で実験参加者に 5 ラウンドの宣言記号あわせゲームを行うよう求めた。
5. 練習後、実験参加者に「練習では高得点はランダムでした。本番では高得点に規則性があります。」と伝え、本番を行うことを求めた。実験参加者からの質問を受け付け、回答が終わり次第、100 ラウンドの本実験を開始した。
6. ゲーム終了後、実験参加者に対しアンケートに回答することを求めた。

2.4 測定方法

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。

また、ゲーム終了後に質問紙調査を実施した。質問項目は以下の通りである。Q1 から Q9 の質問項目対しては 1. 全く思わないから 7. 強く思うまでの 7 段階のリッカート尺度で評価するように求めた。また Q10 と Q11 は、「自分」か「相手」のどちらかを選択することを求めた。

- Q1: あなたは、相手が協力的だと思いましたか。
- Q2: お互いの宣言が異なった時に、あなたは自分の意見を押し通そうと思いましたか。
- Q3: お互いの宣言が異なった時に、あなたは相手の意見を尊重しようと思いましたか。

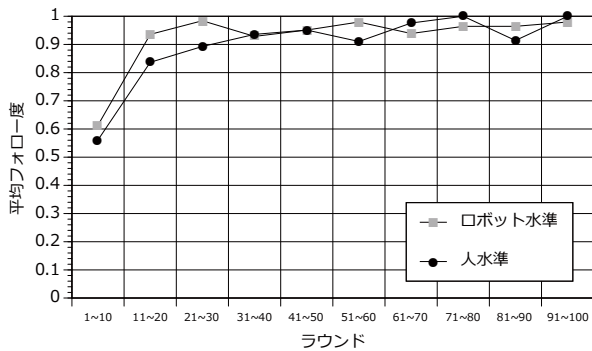


図 4: 10 ラウンドごとのフォロー度の平均

- Q4: お互いの宣言が異なった時に、相手はあなたの選択に従いましたか。
- Q5: 相手はあなたよりも、高得点の箱をよく当てましたか。
- Q6: あなたは、相手の宣言に従おうと思いましたが、
- Q7: あなたは、相手の宣言に従うことは不愉快だと思いませんか。
- Q8: 相手はあなたよりも、賢かったと思いませんか。
- Q9: 相手は傲慢だったと思いませんか。
- Q10: 宣言がお互いに違った時、自分か相手、どちらの意見が正しいと思いませんか。
- Q11: 最終的にどちらの意見に従えば、高い利益を獲得できると思いませんか。

Q1 から Q11 まで回答した後に、報酬額を伝えた。その後、技術的特異点に関して次の質問項目に対して 7 段階のリッカート尺度で回答することを求めた。

- Q12: 「日常生活の状況」を想定して答えてください。ロボットと協力して働くとき、高性能なロボットであるならば、ロボットが上司、あなたは部下になることを容認しますか。

3 実験結果

3.1 フォロ一度

図 4 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。アピアランスとラウンド区間を要因とする

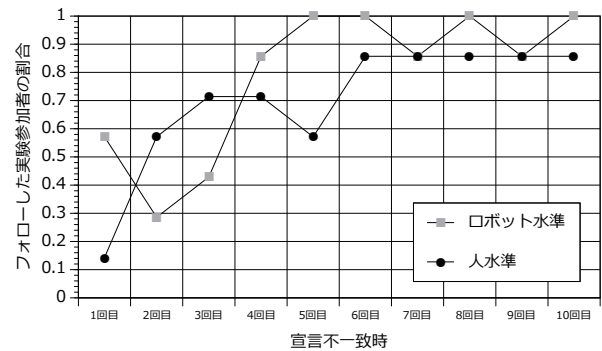


図 5: 宣言が不一致であった最初の 10 ラウンドにおいてフォローした実験参加者の割合

二元配置分散分析を行ったところ、アピアランス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 ($F(9, 120) = 0.47, p = 0.89$)。アピアランス要因には主効果が見られなかった ($F(1, 120) = 1.18, p = 0.28$) がラウンド要因については主効果が見られた ($F(9, 120) = 9.52, p < .01$)。Fisher の最小有意差法による多重比較の結果、1~10 ラウンド区間フォロー度のみ他のラウンド区間と有意水準 1% で統計的に有意な差が見られることが分かった。また、選択が不一致であった最初の 10 ラウンドにおいて何割の実験参加者がフォローしたかを図 5 に示す。

3.2 アンケート

アンケート項目 Q1 から Q9 及び Q12 のそれぞれの評定値の平均及び標準誤差を図 6 に示す。また Q10 と Q11 は、共に実験参加者全員が「相手」と答えた。アンケート項目 Q4: 「お互いの宣言が異なった時に、相手はあなたの選択に従いましたか」の平均値はロボット水準、人水準それぞれ 4.86, 1.71 であり、分散分析の結果、ロボット水準における評定値の平均は人水準よりも有意に高いことが確認された ($F(1, 12) = 8.96, p < .05$)。しかし、それ以外の項目では有意な差が確認されなかった。

4 議論

アピアランス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、アピアランス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。また、アピアランス要因に主効果が見られなかった。このことからアピアランスは参加者のフォロー度に影響を与えないということが言える。すなわち、協力タスクにおいて相手が自分の能力を上回っている場合に自分がフォ

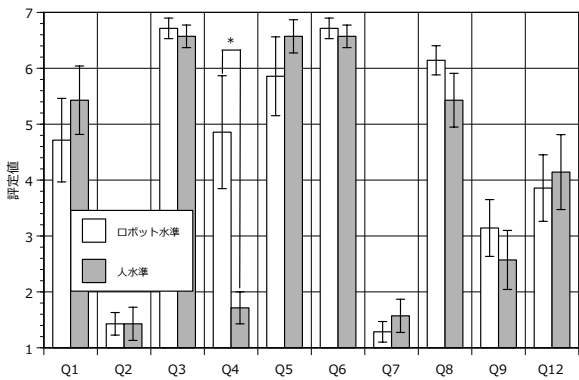


図 6: アンケート結果 エラーバーは標準誤差. * $p < 0.05$

ローになる傾向は相手がロボットであっても人であっても違いはないと言える。このことは、アンケート項目 Q6:「あなたは、相手の宣言に従おうと思いましたが」、Q7:「あなたは、相手の宣言に従うことは不愉快だと思いました」、Q11:「最終的にどちらの意見に従えば、高い利益を獲得できると思いましたが」の評定値に水準間で違いがなかったことから支持される。

しかしながら、以上の結果からどのようなアピランスであっても相手の能力が高い場合に人が必ず相手にフォローするという結論を導くことはできない。本実験で用いたパートナーエージェントはヒューマノイドロボット Nao と男性の学生である。信用できなさそうなアピランス相手、高圧的なアピランスの相手場合にはフォローすることが合理的であるとわかっていても、フォローしない可能性がある。また、本実験では相手エージェントのインテリジェンス度が 0.9 と高かった。すなわち、相手が高得点の記号を選択することがほぼ明らかであった。Q8 の評定値は両条件で高かった。すなわち結果で多くの参加者がロボット、人ともに自分よりも賢かったと思っていたことが分かったが、このことによって実験参加者が相手エージェントのインテリジェンス度について正しく認識しており、またその程度にアピランスが影響しなかったことが分かる。以上のことから、選択履歴から感じられるインテリジェンス度低い場合にはアピランスの影響がより強く出る可能性がある。

相手エージェントのリーダー度は 0.9 であった。これは、宣言フェーズにおいて選択が不一致だった場合のほとんどにおいて相手エージェントは shift を選択せずに stay した、すなわち参加者に合わせる気がない相手だと思われた可能性がある。そのような相手に対してはフォローすることが合理的であるために、アピランスがフォロー度に影響を与えにくかった可能性が考えられる。なお Q7, Q9 の結果から、パートナーエージェントのこのような行動は傲慢であると捉えられた

わけではなく、また相手の宣言に従うことに不快感を感じていたわけではないことがわかる。

以上の可能性はインテリジェンス度とフォロー度を要因とした実験を行うことで明らかになる。

元配置分散分析の結果、ラウンド区間要因に主効果が見られ、1~10 ラウンド区間のフォロー度が他の区間よりも有意に小さいことが分かった。このことは、初期のラウンドでは参加者はリーダーになるかフォロワーになるかを決めかねており、ラウンドが進行するとともにフォロワーへと態度を決めていったことを意味する。この様子は図 5 を見ることによってより詳細に分かる（なお、このグラフの横軸はラウンドではなく、宣言が不一致したラウンドである。約 1/2 の確率で不一致となるためこのグラフの第 5 回目はおよそ 10 ラウンドに相当する）。このグラフより、第 1 回目から第 5 回目にかけて、フォローした参加者の割合が増加していることが分かる。これは、ラウンドの進行とともに相手のインテリジェンス度とリーダー度が認識され、それに実験参加者が適応した結果であると考えられる。本実験においてはインテリジェンス度もリーダー度もともに 0.9 と高かったので相手の知性、態度が明確に実験参加者に認識され、そのことが適応に要するラウンドが 10 ラウンド程度と少なかったことに寄与したものと考えられる。

より詳細に図 5 を見ると、宣言不一致の初回ではロボット水準において 57% の参加者がフォローしたにもかかわらず、人水準では 14% の参加者しかフォローしていない。この割合に統計的に有意な差は確認されなかったが、実験参加者を増加させると有意な差となる可能性が高い。もし初回に差があるとすると、アピランスによるフォロー度への影響はゲームのごく初期にのみに存在すると言える。この可能性については引き続き検討していきたい。

アンケートに関しては、有意な差が確認された Q4 と Q12 の技術的特異点に関するアンケートについて議論する。

Q4: お互いの宣言が異なった時に、相手はあなたの選択に従いましたか

Q4 のアンケートの分散分析の結果によってロボット水準の実験参加者は人水準の参加者よりも、宣言不一致時に、有意に相手が自分の選択に従ったという印象を持っていることが明らかとなった。しかし、相手エージェントのリーダー度が 0.9 に固定されていたこと、10 ラウンド以降はほとんどの参加者がフォローしていたことは整合しない。この原因として、実験参加者のフォローに対する基準が対ロボットの場合と対人の場合で異なっていた可能性が考えられる。すなわち、ロボットの場合は 10% でも従えば従ったと感じたのにもかかわらず、人の場合は 10% しか従わなかったことをよりネガティブにとらえた可能性がある。

Q12: 「日常生活の状況」を想定して教えてください。ロボットと協力して働くとき、高性能なロボットであるならば、ロボットが上司、あなたは部下になることを容認しますか

本実験では、実際に報酬を手に入れる経験をさせるために、実験参加者に獲得する報酬を提示した後に、Q12のアンケートを行った。分散分析の結果に有意な差は確認されず、両水準の平均値はともに「4: どちらでもない」に近いことが確認された。これらのことから、人とエージェントが協力して作業をする際に、能力が高いエージェントであるならば、人はロボット、人両方の指示を受け入れる可能性があると考えられる。

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としては、能力差、アピアランス、リーダー指向性が考えられるが本研究では、特にアピアランスに注目して実験を行った。この目的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。実験結果はアピアランスはリーダー-フォロワーを決定付ける要因とはならないことを示唆するものであった。しかし、能力差が大きく、相手エージェントのリーダー指向性が高かったことがアピアランスを上回る影響をフォロー度に与えた可能性が残る。今後はそれらの要因を制御して実験を行う。また、より日常生活に近い実験環境を設定して、リーダーになる様々な要因を検証していく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 26118005, 15H02735 の助成を受けたものです。記して感謝します。

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)