

集団規範アウェアなエージェントによる 利害関係下の人間集団内のインタラクション仲介

布施 陽太郎^{1,a)} アイエドゥン エマヌエル^{2,b)} 徳丸 正孝^{2,c)}

概要: 本研究は集団規範を考慮して振舞う計算機エージェントがプレイヤーとしてゲームに参加し、人間プレイヤー同士のインタラクションを仲介するポジションで振舞うことで、人間集団内の利害調整を促す可能性を探索する。エージェントが自律した人間社会の一員として受容されるために、我々はエージェントによる個々の人間集団特有の暗黙の了解 (暗黙的集団規範) への適応に着目している。我々が提案した最後通牒ゲームを基にした利害関係下の集団ゲームにおいて、集団規範アウェアなエージェントは人間プレイヤーの公平な振舞いを促進した。本研究ではエージェントがゲームに参加する場合としない場合を比較して人間プレイヤーの振舞い方への影響を調査する。本実験の結果より、人間集団と比べて人エージェント集団では人間プレイヤーの公平な振舞いが促進されたものの、プレイヤーの利益は相対的に小さくなった。このことはエージェントの仲介が集団内プレイヤーの利益低下と引き換えに公平な振舞いを促進したことを示唆する。

1. はじめに

今日、アシスタントやパートナーとしてエージェントやロボットが人間と共生する社会の実現に向けて、人間とエージェントの間のインタラクションに関する様々な研究が取り組まれている [1]。人間とロボットの共生のためには、ロボットに対する人間の受容が不可欠であり、ロボットの感情表出やジェスチャ、視線などの社会的な振舞いについて研究されている [2]。

社会性とは集団を作って生活しようとする性質であり、社会を成立させるために必須の特性である。社会には守られるべき規範が存在し、それに従うことは社会性を持つ振舞いを表出するための手段の1つである。社会は多様で多数の大きささまざまな集団により構成される。集団内で人間は直接的なやり取りや指示無しに、その場の状況に応じて集団の一員である他者に特定の振舞いを期待することがある [3]。そのようなとき、その集団では特有の集団規範が共有されているといえる。人間の集団ではその場で求められる振舞いは明文化されず、しばしば暗黙的に共有される。すなわち、社会全体で共有される規範があれば、個々の集団におけるローカルの規範もある。その特定の集団の規範への適応は、ある主体を集団の一員として認めるか否

かの基準になり、その主体の振舞いの理解のしやすさの向上に貢献する。

我々は直接的なやり取りが無い状況でも、暗黙的に形成される集団規範に適応するエージェントやロボットの研究に取り組んできた [4]。暗黙的に期待される振舞いの推察が可能なロボットやエージェントの実現を目的にしている。そのようなエージェントは従来に比べて親しみやすさや人間らしさ、行動の予測しやすさを向上させ、人間とエージェントの共生への貢献が期待される。したがって、ロボットやエージェントに対する人間の受容の観点からも集団規範への適応について探求している。

我々の先行研究 [4] では比較的単純な実験シナリオにおいてエージェントやロボットを評価しており、集団内の利害や自身の行動へのフィードバックがある状況が考慮されていなかった。一般に、ゼロサムであれ非ゼロサムであれ、集団においてある集団成員の利益が他メンバの損になる状況が発生し得る。集団内に利害関係がある場合、人間は他者に公平であることを望み、他者と自分との利益の差があることを好まない [5]。加えて、人間は集団内のメンバの行動に対して直接的な返答やフィードバックを実施することがある。したがって、より現実的な集団に即した評価実験の実施には、そのような要素を含む実験シナリオでの提案意思決定手法の評価が必要である。

利害関係にある人間は所属する集団内の他者が公平に振舞うことを望む。加えて、自分の得を好み、自分の損を好まない。このことから以下の2点のことが言える。

¹ 富山県立大学

² 関西大学

a) fuse@pu-toyama.ac.jp

b) emay@kansai-u.ac.jp

c) toku@kansai-u.ac.jp

- 自分の極端な利他的振舞いは自身の利益を損ない、公平さの観点から自身が許容しない。
- 自分の極端な利己的振舞いは他者の利益を損ない、公平さの観点から他者が許容しない。

したがって、利他と利己を織り交ぜた意思決定が人間らしく理にかなった集団内での振舞いとして求められる。そこでは、ある程度他者の利益に配慮を見せることで利他的に振舞いつつ、自らの利益を守るよう利己的に振舞うことが重要である。このことは従来研究のシナリオに比べて、より複雑なシナリオにおいてエージェントが集団メンバとして振舞う必要があることを意味する。

本実験シナリオに関する我々の先行研究 [6] では、提案モデル搭載エージェントを集団規範に適応的なエージェントとみなし、ゲーム内で振舞いを変えない非適応的エージェントと比較評価した。実験シナリオでの集団は3名の人間メンバと1体のエージェントメンバの合計4メンバによって構成された。実験の結果、集団規範アウェアなエージェントが参加した集団の人間メンバが公平な振舞いをより表出することが観察された。このことはトップダウンでのルールや制度の制定ではなく、集団メンバである計算機エージェントの振舞いを起点としたボトムアップの集団内協調や公平な振舞いの促進の可能性を示唆している。また、Hang らは人間の利他的行動を促進するナッジエージェントを提案し、そのエージェントがインタラクションする動画を見た人間被験者が利他的な振舞いをする傾向があることを報告している [7]。以上のような先行研究があるものの、公平さや利他性の促進という側面でのエージェントの研究は多くない。

本研究では人間集団での公平さや利害に着目し、エージェントが人間と人間との間のインタラクションを仲介するポジションで振舞うことによる集団内利害関係の調整の可能性を探索する。最後通牒ゲーム [8] を基に先行研究 [6] で提案された集団型最後通牒ゲームを、集団内で利害関係と行動へのフィードバックを考慮して振舞う必要がある実験シナリオとして本研究で用いる。人間同士のインタラクションにおいて利害関係の不一致や利害衝突がある状況で、集団規範アウェアなエージェントが人間と人間との間の媒介として集団に参加することによって、利害関係の衝突を回避できるという仮説を立て、実験シナリオで表出された人間被験者たちの振舞いを分析する。

ゲームの構造上、各ゲームプレイヤーは他者のすべての振舞いを観察できない。しかし、我々が提案した集団規範アウェアな意思決定モデル [6] は集団内のすべての振舞いを観察可能であることを前提にしている。したがって、本研究はエージェントの意思決定が集団規範に適応的であることの影響を調査することを目的とする。人間プレイヤーとは異なり、エージェントは集団内のすべての振舞いを観察した上で意思決定する。

2. 実験シナリオ

2.1 最後通牒ゲーム

最後通牒ゲームでは、2名のゲームのプレイヤーが“提示者 (proposer)”と“受け手 (responder)”に任命され、金銭の分配と受領に関する意思決定に従事する。初めに、提示者は実験の主催者から金銭を与えられ、それを受け手と自分との間でどのように分割するかを決定し、分割した金額を受け手に提案する。受け手が提案を受諾する場合 (accept)、主催者から初めに与えられた総額は提示者の提案通りに分割される。一方で、受け手が提案を拒否する場合 (reject)、両者とも獲得金額がゼロになる。文化の違い考慮したうえでも、提示者は平均して得た金額の40%を受け手に提示する傾向があることが報告されている [9]。

2.2 集団型最後通牒ゲーム

本項では、本研究で用いられた集団型最後通牒ゲーム (GUG) について説明する。ゲームの基本的なルールとして、お金を他者に分配し、その金額について受領ないしは拒否する。集団型最後通牒ゲームにおいて、各プレイヤーは金額を提示する提示者と提示された金額に対して受領か拒否かを返答する受け手という2つの役割を担う。

1ラウンドにおけるお金の取引の流れを図1に示す。実験主催者は1,000円を各プレイヤーに配布し、各プレイヤーは左隣のプレイヤーに金額 m を提示し、その後右隣のプレイヤーから提示される金額に対する受諾または拒否の返答 r を表出する。実験ではラウンドを20回繰り返す。加えて、各プレイヤーはゲーム内のすべての情報を得られない。プレイヤーは自身が行った取引についての情報と1ラウンドが終了する時にどのプレイヤーが受諾または拒否を表明したのかの公開情報のみを得る。しかしながら、本実験においては利害関係下にある集団における集団規範に適応することの影響の調査を目的とするため、提案モデルはすべてのプレイヤーの取引情報を得て、その情報を基に意思決定した。

以上より、通常最後通牒ゲームと異なり、GUGのプレイヤーは提示者であり受け手でもある。交渉を伴う集団内インタラクションにおいて、あるメンバは提示者であったり受け手であったりすることもあり得る。また、GUGシナリオは実世界での人間集団内で起こり得る個々の利益と集団全体の利益が衝突する社会的ジレンマの状況にあるといえる。以上から、通常最後通牒ゲームと比較して、GUGシナリオは単純な拡張方法によって集団でのダイナミクスを反映し、プレイヤーの分析によって集団内での公平さに関する指標を提供することが期待できる。

2.3 ゲームインターフェース

人間のゲームプレイヤーはディスプレイとゲーム用コントローラをインターフェースとして、集団型最後通牒ゲーム

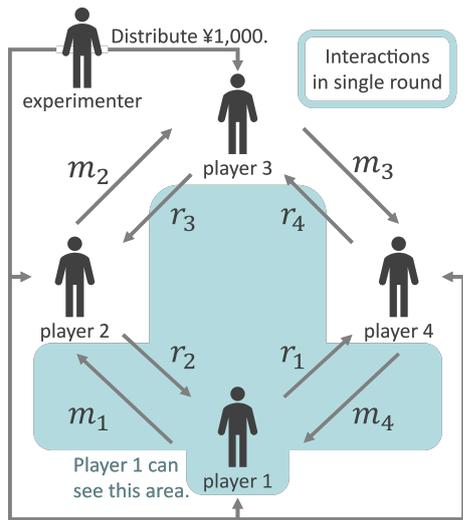


図 1 ゲーム環境全体における実験主催者とプレイヤー P_x のポジションの概念図. m_x が提示金額で, r_x が提示された金額への判断.

に取組んだ. 図 2 はゲーム用仮想空間の全体を示す. 中心の灰色の円形の机を囲っている 4 体のロボットがゲームに取組む. 各プレイヤーはそれらのロボットのいずれかの視点に立ち, そのロボットを操作することでゲームをプレイする. 図 3 から図 6 はあるプレイヤーが見るディスプレイに表示されるインターフェースの例を示す. プレイヤーはコントローラを用いて自身のゲーム内の振舞いを決定する. 図 6 における 1 ラウンドの取引の結果を示す画面は, 各色のロボットの返答のみを示す. 各被験者は他のプレイヤーのゲーム画面を見ることはできない. 加えて, 実験主催者がゲームの進行を常に確認していることを被験者は知らされる.

加えて, ゲームシナリオ内では 1 ラウンドごとに, 図 4 に示されるようなインターフェースによってアンケートを実施する. ゲームに参加する各人間プレイヤーは金額提示 (図 3) と判断 (図 5) の間に, 「あなたが提示される金額は何円以上であることが望ましいのか」を回答する. このアンケートを実施することにより, 人間プレイヤー p が提示されることを期待する金額 $m_{\rightarrow p}^*$ と実際に提示される金額 $m_{\rightarrow p}$ の差を計算することが可能になる. これにより, 各人間プレイヤーの期待と実際の差や人間プレイヤーにとっての取引相手の予測可能性を定量化することを目論む.

3. 実験

3.1 実験の概要

1 集団において, GUG を人間プレイヤーのみで集団が形成される 4H 条件で 1 回, 人間とエージェントで集団が構成される 2H2A 条件で 1 回実施する. 図 1 が示すようにゲームのプレイヤーは 4 名存在し, そのプレイヤーとして人間 H_x もしくはエージェント A_x が参加する. 各条件においてどのプレイヤーとして人間 H_x もしくはエージェント A_x がゲームに参加するのかを表 1 に示す. 各 2H2A 条件では, エージェントが奇数もしくは偶数番号のプレイヤーとして参

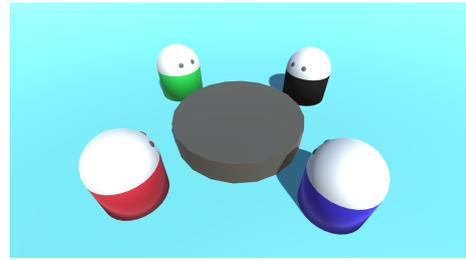


図 2 ゲーム環境全体.



図 3 ある特定のプレイヤーの提示金額入力画面.



図 4 プレイヤーに提示される理想の金額を質問する画面.

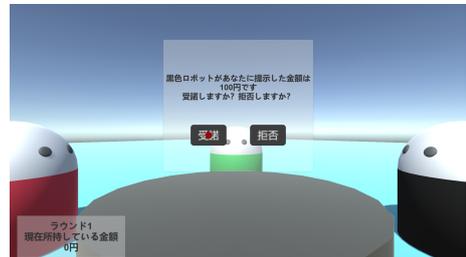


図 5 ある特定のプレイヤーの返答 (受諾か拒否) の入力画面.

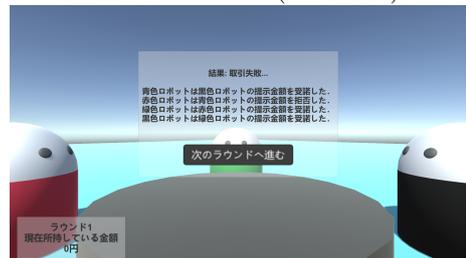


図 6 1 ラウンド目における全てのプレイヤーの判断の表示. 全てのプレイヤーが同じ情報を得る. この後に第 2 ラウンドに移行する.

加するので, 人間はあるエージェントに金額を提示し, 別のエージェントから金額を提示されることになる. このことは人間プレイヤーと人間プレイヤーの間でエージェントプレイヤーが仲介することを意味する.

集団規範アウェアなエージェントの意思決定手法は先行研究 [6] に基づく. 加えて, 表 2 にエージェントの意思決

定に関するパラメータを示す。第1ラウンドでは2体のエージェントは400円を提示しエージェントに提示された金額が200円以下なら拒否するように初期状態を設定した。被験者の人数は16名(すべて男性), 平均年齢は21.9歳 ($SD = 0.899$) であった。

本実験は富山県立大学「人を対象とする研究」倫理審査部会の承認を得て実施された(受付番号: R4-6)。

表1 実験集団の各条件におけるプレイヤー P_x . H_x は人間, A_x はエージェントを意味する。

Condition	P_1	P_2	P_3	P_4
4H	H_1	H_2	H_3	H_4
2H2A_1	H_1	A_2	H_3	A_4
2H2A_2	A_1	H_2	A_3	H_4

表2 集団規範アウェアなエージェントのパラメータ

学習率 α	0.2
割引率 γ	0.8
報酬関数パラメータ Δ	50
kurtosis	10000
initial arg max V_{offr}	400
initial arg max V_{diff}	-200

3.2 結果

表3は各集団における2回分のゲームの結果を示している。各集団のプレイヤーが各ゲームにおいて最終的に得た金額が示されている。集団(Group)AとBは1回目のゲームが4H条件, 2回目のゲームが2H2A条件であった。集団(Group)C, Dは逆の順番での条件の集団を設定した。また, 図7, 8と図9, 10, 11は実際の集団Aと集団Dにおける各ラウンドでの提示金額 m , 判断 r の推移を示す。各ラウンドにおいて提示された金額がグラフに, 各プレイヤーの受諾(A)もしくは拒否(R)についての判断がグラフの上の表に示されている。プレイヤー番号と人間被験者, エージェント番号は共通しており, プレイヤ x は人間被験者 H_x もしくはエージェント A_x のことを指す。加えて, 図12は各人間プレイヤーが得た最終スコアTAの条件間比較を示す。2H2A条件よりも4H条件での人間プレイヤーの最終スコアが有意に大きくなる傾向がウィルコクソンの符号順位検定によって示された。

各実験集団における意思決定の推移と最終的なスコアに加えて, 以下の3つの指標に基づいた4H条件と2H2A条件の比較を実施した。まず, ゲーム内人間プレイヤーの振舞いを分析する指標として, 図13は各被験者の20回の提示金額の標準偏差を示す。ウィルコクソンの符号順位検定を実施し, 人間被験者の提示金額の変動度合いの条件間の比較において, 2H2A条件での人間プレイヤーの提示金額のばらつきが有意に小さいことが示された。

表3 各条件におけるゲームの結果。

Group	Condition	Total amount of player			
		1	2	3	4
A	4H	14,340	13,980	13,670	14,010
A	2H2A_1	10,150	9,890	10,010	9,950
A	2H2A_2	4,950	5,005	4,995	5,050
B	4H	10,798	10,600	12,105	10,497
B	2H2A_1	1,500	2,500	1,960	2,040
B	2H2A_2	8,080	7,635	8,425	7,860
C	4H	16,150	16,910	16,850	18,090
C	2H2A_1	14,040	13,930	14,170	13,860
C	2H2A_2	12,810	13,100	12,890	13,200
D	4H	5,899	7,578	7,217	7,306
D	2H2A_1	3,766	4,164	4,150	3,920
D	2H2A_2	9,498	8,860	9,220	8,422

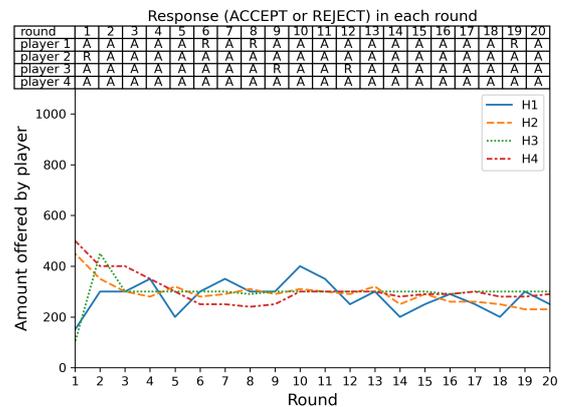


図7 集団Aにおける4H条件でのゲームの推移。

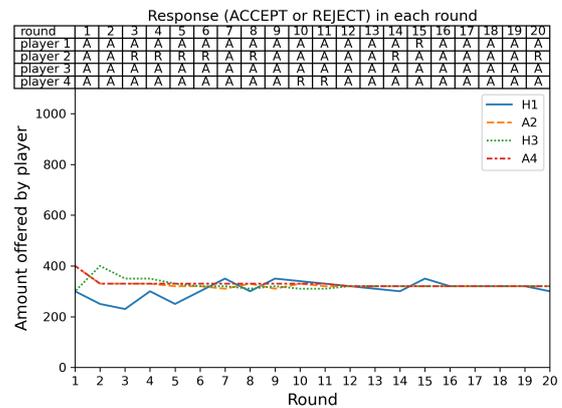


図8 集団Aにおける2H2A_1条件でのゲームの推移。

次に, 図14は各人間被験者の各ラウンドの $|m_{\rightarrow p}^* - m_{\rightarrow p}|$ の合計値を条件間で比較する。人間被験者が提示される金額の期待と実際金額の差が0に近いほど, 人間被験者が最低限期待する相手からの提示金額に近い金額を取引相手が提示していることを意味する。4H条件と2H2A条件において, 人間プレイヤーにとっての取引相手はそれぞれ人間プレイヤー, エージェントである。ウィルコクソンの符号順位検定を実施し, 2H2A条件での人間被験者の $|m_{\rightarrow p}^* - m_{\rightarrow p}|$ の合計値が有意に小さいことが示された。

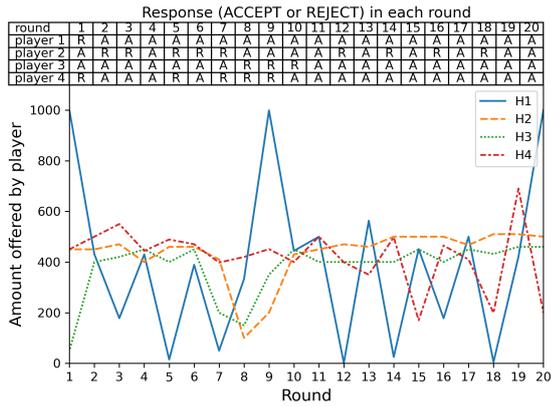


図 9 集団 D における 4H 条件でのゲームの推移.

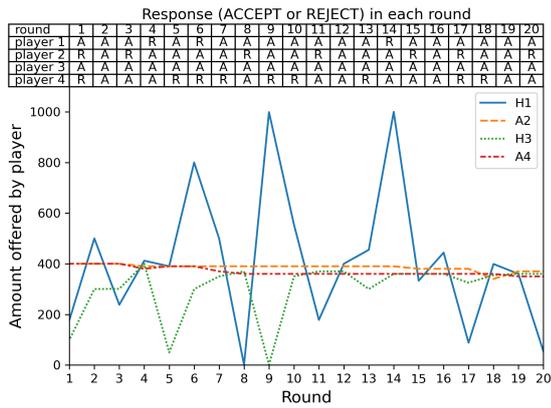


図 10 集団 D における 2H2A.1 条件でのゲームの推移.

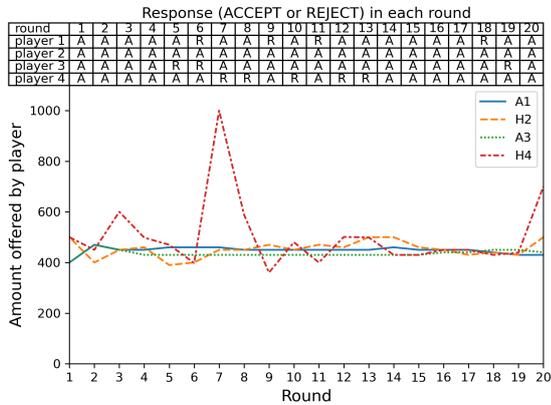


図 11 集団 D における 2H2A.2 条件でのゲームの推移.

最後に、図 15 は、集団内の人間プレイヤー H と H から見た 3 名の他プレイヤーとのスコアの差の絶対値 $|TA_H - TA_{\text{other}}|$ の条件間比較を示す。各人間プレイヤーが集団内他者との程度異なるスコア TA を得たかを算出することで、各人間プレイヤーがどの程度公平な振舞いをしたかの指標としてみなせる。その値が大きいほど集団内でのスコアに格差があることを意味する。対応あり t 検定を実施し、2H2A 条件での人間プレイヤーとそのプレイヤーにとっての他プレイヤーの最終スコアの差が有意に小さいことが示された。

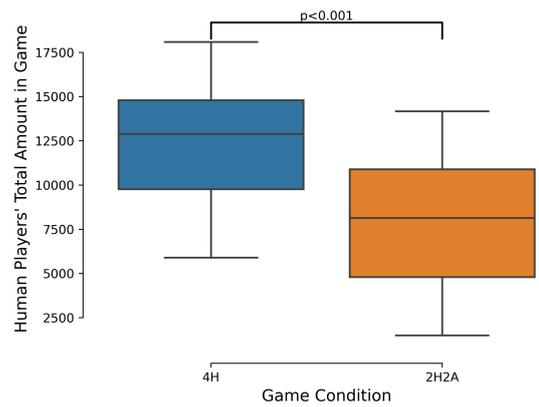


図 12 人間被験者が得た最終スコア (TA) の条件間比較.

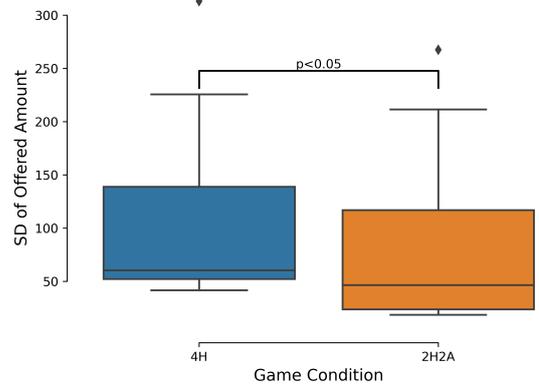


図 13 各被験者の提示金額の標準偏差の条件間比較.

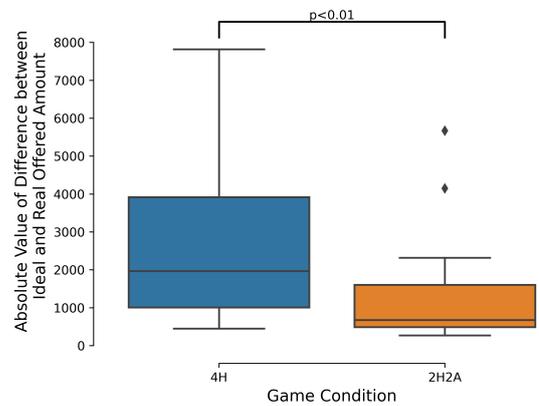


図 14 各被験者の各ラウンドの $|m_{\rightarrow p}^* - m_{\rightarrow p}|$ の合計の条件間比較.

3.3 考察

図 12 より 2H2A 条件よりも 4H 条件での人間プレイヤーのゲームスコアが高い傾向にあることが明らかになった。2H2A 条件ではエージェントが人間被験者の提示金額を拒否する傾向がみられたのが原因の一つとして考えられる。したがって、エージェントは集団規範への適応にこだわって妥協せず、そのことが原因で集団内の各プレイヤーの最終スコア TA が低下した可能性がある。

また、図 9, 10 での人間被験者 H₁ のようなランダム戦

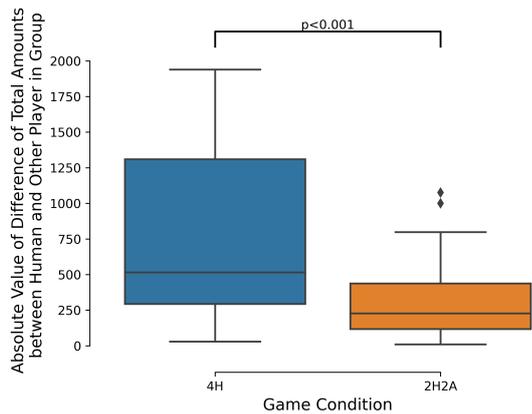


図 15 集団内スコアの他者との差分の絶対値の条件間比較.

略を採用するプレイヤーの提示金額が拒否を誘発し、集団全体が損する様子がたびたび観察された。人間被験者 H_1 が含まれない集団 D の 2H2A.2 条件である図 11 では、表 3 によると、集団 D の 4H 条件と比較して、全体的に高いスコアを得られた。ランダム戦略を取るプレイヤーへの対処が構造上困難であることは、実集団モデリングの観点から GUG 実験シナリオの今後の課題として考えられる。

図 13 は 4H 条件に比べて 2H2A 条件の方が予測可能性の高い意思決定を人間が実施したことを示唆した。2H2A 条件の方が人間の提示金額のばらつきが少なく、その提示金額を与えられるプレイヤーにとって予測可能性の高い提示金額であったことが推察される。また、図 14 は 2H2A 条件の方が提示される金額の期待と現実のギャップが小さいことを意味し、エージェントの提示金額は人間被験者をサプライズさせる度合いが小さかったと考えられる。すなわち、このことは人間被験者にとって予測しやすい意思決定をエージェントが表出した可能性を示唆している。加えて、エージェントの提示金額が人間の期待を下回りにくく過度に上回ることもないことは、人間にとって最低限提示されたい金額に近い金額がエージェントによって提示され、エージェントは取引相手が得をしすぎない金額を提示したことを意味する。提示する側と提示される側というペアの利害関係下での協調や利害調整が比較的発生していたことが示唆された。人間プレイヤーの期待と関連付けられた指標において公平な提示金額をエージェントが表出した可能性を示す。加えて、図 15 は 2H2A 条件の方が最終獲得スコア TA の集団内部格差が有意に小さいことを意味し、集団規範アウェアな意思決定をするエージェントが人間の間のインタラクションに介入する形で参加したことが人間被験者の公平なスコア獲得を促進した可能性がある。

以上より、集団規範アウェアなエージェントが 2 体参加する 2H2A 条件の集団では、エージェントの仲介が公平な分配を人間に促す一方で、集団内のプレイヤーの最終スコアは 4H 条件に比べると低くなる傾向があった。エージェントの拒否判断によって金額提示という行動に対する規範的

統制は強く表れているが、そのことが集団内の公平を実現する可能性を示唆している。すなわち、今回の GUG 実験シナリオの結果から、GUG では公平さと富の総量は相反し、どちらを重視するかによってエージェントが参加すべきか否かが異なることも示唆された。

4. おわりに

本研究では利害関係のある人間集団ゲームシナリオに参加した集団規範アウェアなエージェントが人間と人間の間のインタラクションを仲介するポジションで振舞うことによる集団内利害関係の調整の可能性を探索した。ルールを集団内に制定することによるトップダウンでの社会的ジレンマの解決というより、集団規範アウェアなエージェントが集団メンバとして仲介することによるボトムアップでの社会的ジレンマの解決を目論むエージェントベースアプローチの探索である。実験結果より、集団規範アウェアなエージェントが参加する集団では、人間のみの集団よりも人間メンバの公平な振舞いが表出されるが、各メンバの利益は低くなる傾向があることが示された。このことは当該エージェントの仲介が公平さの促進と引き換えに集団内の利益を低下させたことを示唆している。将来的には、被験者数を増加させての実験、人間とロボットの集団での本シナリオ実験、実験シナリオのゲームルールの調整に取り組む。

謝辞 本研究は科研費 JP23K16983, JP21K12099 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Sheridan, T. B.: A review of recent research in social robotics, *Current Opinion in Psychology*, Vol. 36, pp. 7–12 (2020)
- [2] Onyeulo E. B., Gandhi V.: What Makes a Social Robot Good at Interacting with Humans?, *Information*, Vol. 11, No. 1, 43 (2020)
- [3] Feldman, D. C.: The development and enforcement of group norms, *Academy of Management Review*, Vol. 9, No. 1, pp. 47–53 (1984)
- [4] Fuse, Y., Tokumaru M.: Social Influence of Group Norms Developed by Human–Robot Groups, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 56081–56091 (2020)
- [5] Fehr, E., Schmidt, K. M.: A theory of fairness, competition, and cooperation, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 114, No. 3, pp. 817–868 (1999)
- [6] Fuse, Y. et al.: Unleashing Fairness: How a Group Norm-Aware Agent Shakes Up the Ultimatum Game, *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 36727–36740 (2023)
- [7] Hang C., Ono T., Yamada S.: Designing Nudge Agents that Promote Human Altruism, *The 13th International Conference on Social Robotics*, pp. 375–385 (2021)
- [8] Thaler, R. H.: Anomalies: The ultimatum game, *Journal of economic perspectives*, Vol. 2, No. 4, pp. 195–206 (1988)
- [9] Oosterbeek, H. et al.: Cultural Differences in Ultimatum Game Experiments: Evidence from a Meta-Analysis, *Experimental Economics*, Vol. 7, pp. 171–188 (2004)