

メッセージ付きジレンマゲームにおけるコミュニケーションシステムの変化を観察するオンライン実験

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-07-15 キーワード (Ja): キーワード (En): Communication System, Experimental Semiotics, Machiavellian Intelligence, Online Experiment, Dilemma Game 作成者: 井上, 直紀, 森田, 純哉 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00028286

メッセージ付きジレンマゲームにおけるコミュニケーションシステムの変化を観察するオンライン実験

井上 直紀^{*1} 森田 純哉^{*1}

An Online Experiment to Observe Dynamics of Communication Systems in Dilemma Games with Messaging

Naoki Inoue^{*1}, Junya Morita^{*1}

Abstract – In this study, we examined the communication system that emerges and evolves in dilemma games with messaging. The experimental task was designed as a web game based on Experimental Semiotics and the Machiavellian Intelligence Hypothesis. We analyzed the data obtained in an online experiment with the designed task to explore how condition settings of the dilemma environment affected the dynamics in the communication system that emerged in the task. The result of the analysis suggests that the dilemma environment facilitates the emergence of ambiguous messages.

Keywords : Communication System, Experimental Semiotics, Machiavellian Intelligence, Online Experiment, Dilemma Game

1. はじめに

人間は互いが競争を求められる環境においても、他人と協力し合うことで互いの利益を高めあっている。例えば、国家間の交渉では自分の国の利益を高めるために、協調的なコミュニケーションが取られることが多い。個人間でも同様に、例えば会社における同僚関係は互いに利益を競い合う関係でありながら、協力して会社全体が成長することが求められている。いずれにせよ、他者との協力と競争のジレンマが存在する状況の中で、限られた資源をより多く獲得することが求められる環境は日常生活の中で数多く存在する。

そのような競争環境とそこで生起するコミュニケーションに関連する仮説の一つとしてマキャベリの知性仮説がある。マキャベリの知性仮説とは、集団社会での生活において競争的な環境への適応として複雑なコミュニケーションを繰り返したことが霊長類の知能を高めたとする仮説である^[1]。つまり、人間やその他類人猿は互いに競い合うようなコミュニケーションを繰り返したことで高い知能を獲得したと考えられている。

一方で前述したように、人間は競争的な環境におかれたとき、互いに協力し合うこともできる。そして、競争環境における協調コミュニケーションこそが人間の知性の根源であるとする仮説がヴィゴツキーの知性仮説^[2]である。

これらの仮説は類人猿の振る舞いの観察や考古学的理論からえられた人間進化に関わる仮説である。これ

らの仮説を実証的に検証するためには、実験室内でジレンマの生じる環境を構築し、コミュニケーションの生起と変化を観察する必要がある。実験室内におけるコミュニケーションの生起と進化を扱うアプローチとして後述の実験記号論があるが、そこでは我々の知る限り、競争的な要素を含む環境は検討されてこなかった。

そこで本研究では競争環境下でのコミュニケーションを実験室内で生起させる実験課題を設計し、そこで生じたコミュニケーションを評価する指標を提案する。

以下、2節では本研究の課題設計や考察に関わる先行研究をレビューし、3節では実験課題の設計、4節では実験課題を用いたオンライン実験の手順、5節では実験の結果とその分析、6節では本研究のまとめを示す。

2. 関連研究と研究目的

本節ではコミュニケーションが生起する過程を観察する実験課題の設計や競争環境を作るための関連研究を紹介し、本研究の目的を明確にする。

2.1 ジレンマゲーム

競争環境における意思決定に関する研究分野としてゲーム理論におけるジレンマゲームがある。

ジレンマゲームの代表例として協調と裏切りのジレンマの中で意思決定を行う囚人のジレンマがある。Axelrod は囚人のジレンマを連続的に行う課題をエージェント同士で実施させ、最も成功した戦略は能動的に裏切らず、相手が協力する限り協力し続ける戦略であったことを示した^[3]。

また、集団行動と単独行動のリスクとリターンに関するジレンマとしてスタグハントゲームがある。Duguid

^{*1}: 静岡大学大学院 総合科学技術研究科

^{*1}: Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

らは繰り返しスタグハントゲームをチンパンジーと人間に課した結果、チンパンジーは相手の裏切りを恐れて小さな利益しか得られなかったが、人間は協力しつづけることで大きな利益を得ることが可能であったこと示した [4]。さらに、Yoshida らはエージェント-ヒト間でスタグハントゲームを行ったデータを分析することで、ジレンマ環境下での協調関係の維持のために人間が他者推定する際の脳の計算表現を明らかにした [5]。

2.2 実験記号論

言語コミュニケーションが生起・進化した過程を明らかにする研究手法として Galantucci は実験記号論を提唱した。この手法では研究室実験において、ペアを組んだ実験参加者が課題を通して新規なコミュニケーションシステムを生起させる過程を観察することができる [6], [7]。

Galantucci の実験記号論を受け、金野らはより定量的な分析をしやすい実験課題を提案した。金野らの実験では 2×2 マスのマップ上からペアがそれぞれ 1 回ずつの移動によって、共通の場所で出会うことを課題とした。初期状態において、ペアに参加するプレイヤーは互いの位置を知ることができず、移動に先立って、5 種類の図形を二つ組み合わせてメッセージとして交換することで、待ち合わせるマスを決めることを求められた。メッセージに使用される図形は、実験開始の当初は意味が付与されておらず、課題を繰り返すことで徐々に意味づけが行われ、ペア内でデノテーション（字義通りの意味）とコノテーション（言外の意味）の合意形成が行われることが確認された [8]。

さらに、斎藤らは金野らの課題を発展させて、味方の集団と敵の集団の間のコミュニケーションにおいて、構造依存性のような曖昧性を生起させるための課題の提案を行った [9]。

2.3 研究目的

以上のようにコミュニケーションシステムの形成、進化に関する研究は行われてきたが、ジレンマ環境におけるコミュニケーションの生起や変化を扱った研究は少ない。

よって本研究では実験室の中で競争環境におけるコミュニケーションの変化を観察することを目的とした。具体的には、ジレンマ環境においてコミュニケーションシステムに曖昧性が生起するか、曖昧性が生起したとして曖昧性は裏切りの意図の隠蔽と関連するか、の 2 点を主軸に検討を行った。

3. 実験課題

本研究では上記の問いに答えるための実験課題を設計した。実験課題は金野らの実験にジレンマ要素として報酬を加える形で拡張した。

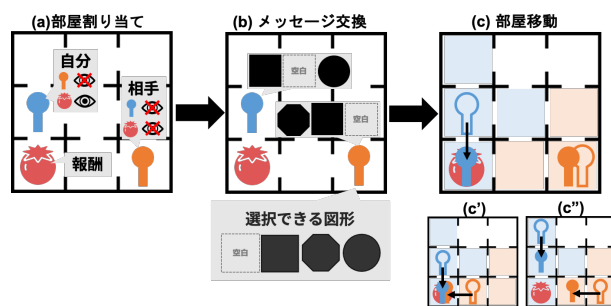


図 1: ゲーム環境

Fig. 1 Environment of the game task.

ゲームの流れを図 1 に示す。ゲームは複数ラウンドで構成され、1 ラウンドは「(a) 部屋割り当て」、「(b) メッセージ交換」、「(c) 部屋移動」の 3 ステップから構成される。

ゲームは部屋割り当てステップから始まる。2 名のプレイヤーと報酬は重複しない三つの部屋にランダムに割り当てられる。割り当て後、プレイヤーは自分の部屋と自分に隣接する部屋の状態を確認することができる。すなわち、自分の位置は常に確認できるが相手や報酬の位置は隣接していなければ確認できない。部屋割り当てステップが完了するとメッセージ交換ステップが開始する。プレイヤーは事前に意味づけされていない 4 種類の図形を自由に三つ組み合わせてメッセージとして相手に送信することができる。

さらに、プレイヤーはメッセージを送信するタイミングもステップ内で自由に選択することができる。つまり、相手からメッセージが来る前にメッセージを送信するか、来た後にメッセージを送信するか選ぶことができる。両プレイヤーのメッセージ交換が完了すると部屋移動ステップが開始する。部屋移動ステップでは隣接する部屋に移動するか、もしくはその場にとどまることができる。

移動した先の部屋に報酬があればプレイヤーは報酬を取得したとみなされる。いずれか片方のプレイヤーが報酬を取得した場合 (図 1c) は独占 (monopoly) したとしてそのプレイヤーのみに m ポイント加算され、二人同時に報酬を取得した場合 (図 1c') は共有 (share) したとして両プレイヤーに s ポイント加算される。ラウンド中に独占と共有どちらかが生じた場合、得点の加算後に部屋割り当てステップから次のラウンドが始まる。どちらのプレイヤーも報酬を取得しなかった場合 (図 1c'') は、得点の加算も減算も行わず、報酬の位置やプレイヤーの移動先を維持したままメッセージ交換ステップから次のラウンドが始まる。

表 1: オンライン実験の手順

Table 1 An online experiment procedure.

時間 (min)	フェーズ
20	準備・ゲームの説明
30	協調ゲームの実施
10	ジレンマゲームの説明
30	ジレンマゲームの実施
0 ¹	アンケート
90	所要時間合計

4. オンライン実験

前節で述べた実験課題を用いて、オンライン上で実験を行った。

4.1 実験参加者

実験は静岡大学の学生 29 人 (男性 16 人, 女性 13 人) を対象に, 4 日程に分けて実施した. ($M_{age} = 20.55$, $SD_{age} = 0.74$)

4.2 手続き

オンライン上で実験を実施するにあたり, 参加者への課題の提供には前節の実験システム, 実験の進行と教示には Web 会議ツール (Zoom), 事後アンケートには Google フォームを用いた. 実験の流れを表 1 に示す.

まず, 実験者と参加者が入室した Zoom のミーティングルーム上で画面共有機能を用いて実験と実験課題の説明を行う. 実験教示完了後, Web 実験システムへのリンクを案内し, 協調ゲームとして, 「共有でしか得点が得られない ($m=0$)」という条件のもとで, 実験課題を課す協調フェーズを実施する. 協調フェーズの終了後, 再び Zoom 上で協調ゲームとジレンマゲームの変更点を教示し, ジレンマゲームを課題としたジレンマフェーズを実施した. ジレンマフェーズで「共有することも独占することもできる (表 1)」という条件で課題を課す. 全てのゲームが終了した後, 事後アンケートとして Google フォームのリンクを案内し, 回答するよう指示し実験を終了した. なお, 参加者への教示では自分の得点を増やす指示にとどめ, 勝ち負けに関しては言及しなかった.

本実験は参加者の行動の変化を捉えるために m と s を変数として $m > s$ 条件と $m < s$ 条件の 2 条件に分けて実験を実施した (表 2). なお, この比率は先行研究^[10]においてより傾斜の強い得点配分で実験をしたところ, 参加者の選択する行動が得点の高い方に強く偏ってしまったという結果に基づいて設定したものである.

表 2: 各条件のジレンマゲーム時の利得構造

Table 2 Payoff structure during a dilemma phase in each conditions.

条件	$m > s$	$m < s$
独占 (<i>monopoly</i>)	3	2
共有 (<i>share</i>)	2	3
続行	0	0

5. 結果と考察

本研究ではオンライン実験の参加者のうち, 実験参加の遅れやシステムトラブル等によるデータ不備のない 5 ペア 10 人の事例を分析の対象とした. それらのデータを課題内で見られた参加者の行動とメッセージに分けて分析を行った.

5.1 行動

プレイヤーが条件設定やペア相手と構築した関係からどのような行動を選択していたのか明らかにするためにプレイヤーのプレイヤーの報酬取得に関する分析を行った. 本来 $m > s$ 条件と $m < s$ 条件では利得構造が異なるため, 条件間の比較は行えないが, 得点ではなく報酬を取得した回数 (報酬取得数) を分析することで条件間の比較も行うことが出来るようになる.

図 2 は各条件においてペアを組んだ二人のプレイヤーの協調ゲームとジレンマゲームにおける累計の報酬取得数の推移を示している. x 軸はラウンド数, y 軸は報酬取得数とし, ペア内においてジレンマゲームで最終的に得点が高かったほうのプレイヤー (高得点者) を赤線, 低かったほうのプレイヤー (低得点者) を青線で示している. 図 2a-2c が $m > s$ 条件, 図 2d, 2e が $m < s$ 条件のペアである.

図 2a, 2b より, $m > s$ 条件のペアはジレンマゲームにおいて, ペア内でプレイヤー同士の報酬取得数の差が開いていたことがわかる. この結果は, ペア内で報酬を独占をする側とされる側に分かれていたことを意味している. この傾向は先行研究^[10]の $m > s$ 条件においても確認されており, 独占の得点が相対的に高い条件の設定から, 独占行動を重視するプレイヤーが現れたためだと考えられる. 一方でペア 3 (図 2c) は $m > s$ 条件でありながらペア内の報酬取得数に差が開いていない. しかし, ペア 3 は他ペアに比べ, ペア全体で報酬取得数が伸びていない. これはゲーム内で共通のコミュニケーションシステムが形成される前に独占行動を取った結果, 協力関係が築けず互いに一人で報酬を探し, 独占の応酬が行われる非効率な行動選択をとってしまったためだと考えられる. 実際に事後アンケートの相手とコミュニケーションが取れていたか問う設問において, ペア 3 の両方のプレイヤーがコ

1: 実験実施後に任意のタイミングでの回答を求めた.

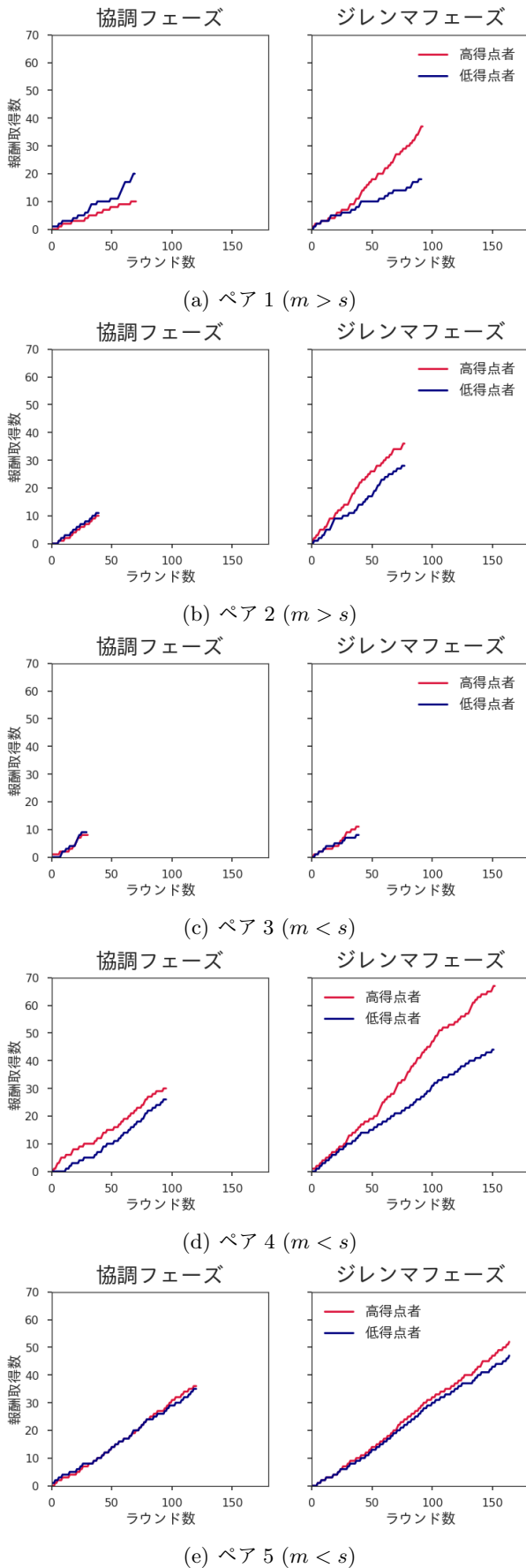


図 2: 各ペア, 各ゲームごとの報酬取得数.

コミュニケーションを取れていなかったという回答をしている。

また, $m < s$ 条件のペア 5(図 2e) はジレンマゲームを経ても報酬取得数の差が広がらず, ペア全体の報酬取得数も伸びていたことがわかる. この結果は共有が相対的に高い $m < s$ 条件の設定によってプレイヤーが共有を重視する行動をとっていたことを示している. 同様の傾向は先行研究^[10]でも示されており, $m < s$ 条件における一般的な行動であるといえるだろう. 一方で, ペア 4(図 2d) は, ジレンマゲームにおいて, $m > s$ 条件のようにペア内の報酬取得数に差が生じていることがわかる. これは共有の得点のほう相対的に高いにもかかわらず, 高得点者は独占行動を重視していたことを意味しており, 特殊な事例といえるだろう.

そこでペア 4でどのようなコミュニケーションが行われていたかについて調査するために事後アンケートの精査を行った. その結果, 協調ゲームとジレンマゲームでどのような変化が起きたか問う設問に対して高得点者は, たまに善人を装いつつ相手を裏切って利己的に行動したと回答していたことがわかった. 一方で低得点者からは高得点者の背信行為に言及する回答はなかった. アンケートからペア 4において, 高得点者の立場を曖昧にする言動によって, 裏切りの意図の隠蔽が成功し, 低得点者は搾取されていることに気づいていない可能性が示された.

5.2 メッセージ

報酬取得数の分析からペア 4 が特殊な事例であることが示され, アンケート結果から裏切りを隠蔽するコミュニケーションが行われていた可能性が示唆された. 一方で事後アンケートは参加者の主観的な意見・感想であり定性的な結果である. ゲーム内で生じたコミュニケーションを定量的に評価するためにはプレイヤーがどのような図形を組み合わせにどのような意味づけを行ったかをメッセージのログデータから明らかにする必要がある. 本研究ではゲーム内で生じたコミュニケーションシステムを定量的に評価する指標として曖昧さ指標 (*Ambiguity*) を提案する.

5.2.1 分析手法

図 3 は曖昧さ指標の導出手順を示したものである. プレイヤーがメッセージ交換ステップで図形に意味を込めて相手に送る際, ゲームの性質からプレイヤーがメッセージに込める意味 (デノテーション) はマップ上のどこかのマスを指し示していると考えられる. さらに, その意味付けを行うルールはプレイヤーは何らかの意味空間 (コノテーション) に基づいていると考えられる. 本研究では予備実験での内省報告から, プレイヤーがメッセージに含めうる意味は視点と対象と時

制の3つの観点から分類される意味空間によって記述できると考えた。表3は仮定する全意味空間と、ゲームが図1bのような盤面のときにそれぞれの意味空間において取りうる状態の具体的な例を示している。以下に *Ambiguity* を導出する流れを示す。

1. 意味空間の分類について、プレイヤーがどこかのマスを目指し示そうと思ったとき、9マスそれぞれを直接示す絶対座標 (absolute coordinates) と、自分の今いる位置を基準として対象の方向を示すことができる相対座標 (relative coordinates) の二つの視点で示すことが出来る。そして、そのマスは自分 (self), 相手 (partner), 報酬 (reward) のどれかを対象として位置を指し示していると考えられる。さらに、対象が自分もしくは相手だった場合、プレイヤーはラウンド内で移動することが出来るのでプレイヤーが今いる位置 (pre) か、移動した後の位置 (post) かを区別する必要がある。プレイヤーはこれらの組み合わせから論理的に不可能なものを除いた九つのうち、どれかの意味空間を使用していると仮定して分析を行う。
2. 意味空間における意味の状態 (デノテーション) は各ラウンドのゲームの盤面の状況に応じて決定されると考える。例えば、意味空間が RelPartnerPre であれば、自分の現在地から見た相手の現在地は上, 下, 左, 右, 同じマス, 見えない (非隣接) の6個の状態を持つと考えられるし、AbsReward であれば (0,0) から (2,2) までの9個の状態を持つと考えられる。そのような状態に合致する盤面になっていたラウンドの出現頻度を状態ごとカウントする。
3. 状態数で分類した後、それぞれのラウンドで実際に使われたメッセージの組み合わせ ($4^3 = 64$) の利用頻度をカウントする。
4. 実際に使われたメッセージで分類した後、 n を各状態の合計出現頻度、 n_i を図形の組み合わせの利用頻度、 k を図形の総組み合わせ数として、 $H = \frac{n \log_2 n - \sum_i n_i \log_2 n_i}{n}$ にあてはめて平均情報量を計算する。さらに、値の比較を容易にするために H を最大値 $\log_2 k$ で割ることで相対情報量 Hr を求める。
5. 各状態の平均情報量の平均 \bar{Hr} を計算し、 \bar{Hr} をその意味空間の *Ambiguity* とする。

このようにして求められた *Ambiguity* はプレイヤーが使ったメッセージをその意味空間でどの程度説明できるかを示している。例えば、*Ambiguity* が低ければ、その意味空間は実際に使われたメッセージと状態がよく適合しているといえる。つまり、*Ambiguity* 全体の

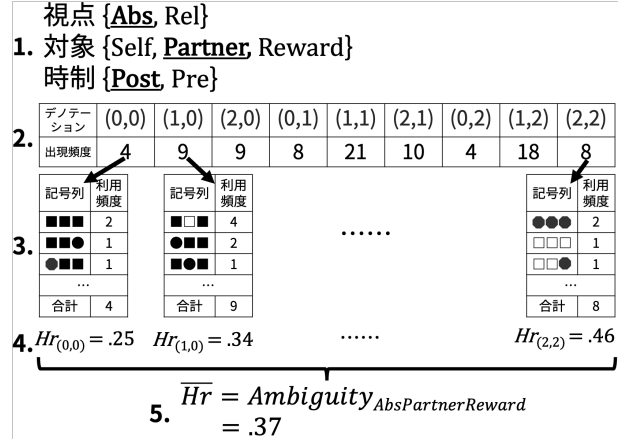


図3: 曖昧さ指標の導出手順。図はペア1 高得点者の意味空間 AbsPartnerPost における導出例。

Fig. 3 Example of a procedure for deriving an ambiguity index.

平均値が高ければそのプレイヤーは意味付けが曖昧なメッセージを使っていたと解釈できるし、*Ambiguity* の最小値はプレイヤーがその意味空間に基づいてメッセージを送信していたと推測することができる。

5.2.2 コミュニケーションシステムの分析

図4は *Ambiguity* を各プレイヤー、各フェーズごとに全意味空間で計算した結果を、そのユーザーのプロフィールとして、レーダーチャートで可視化したものである。緑色のプロットが協調ゲーム、橙色のプロットがジレンマゲームにおけるプロフィールを示している。

さらに、各プレイヤーの各フェーズごとの *Ambiguity* の最小値を図5に示している。図において実線が高得点者、破線が低得点者の最小値の変化を示している。

まず、 $m > s$ 条件の3ペア (図4a-4c) に注目すると、協調フェーズからジレンマフェーズにかけて高得点者の *Ambiguity* がより増大していることがわかる。つまり、よりメッセージを曖昧化させたプレイヤーが独占行動を成功させて報酬をより多く取得できたことが示された。この解釈は図5aからも支持される。図5aから、協調フェーズにおいて $m > s$ 条件の全ペア内で低得点者のほうが *Ambiguity* が低かったにもかかわらず、ジレンマフェーズでは高得点者が曖昧性を増大させていることがわかる。

次に、 $m < s$ 条件のペア5の *Ambiguity* のプロフィール (図4e) に注目すると、 $m > s$ 条件に比べ、ジレンマフェーズを経ても協調フェーズで築いたコミュニケーションシステムの曖昧性を変化させず、協力的なコミュニケーションをそのまま維持していたことがわかる。

表 3: 意味空間の組み合わせとその状態と例.

Table 3 Combinations of semantic spaces, their states and examples.

視点	対象	時制	図 1b のときに「自分」が メッセージに込めうる意図	意味空間が取る状態
Abs	Self	Pre	自分は今 (0,1) にいる	(0,0), (1,0), (2,0), (0,1), (1,1), (2,1), (0,2), (1,2), (2,2)
		Post	自分は次に (0,2) に行く	
	Partner	Pre	相手は今 (2,2) にいる	
		Post	相手に (1,2) に来て欲しい	
	Reward	-	報酬は (0,2) にある	
Rel	Self	Post	自分 (x,y) は次に右 (x+1,y) に移動する	上, 下, 左, 右, 同じ
	Partner	Pre	相手は自分 (x,y) と隣接していない	上, 下, 左, 右, 同じ, 非隣接
		Post	相手は自分 (x,y) の左 (x-1,y) に来て欲しい	
	Reward	-	報酬は自分 (x,y) の下 (x,y+1) にある	上, 下, 左, 右, 非隣接

同様に、ペア 4(図 4d) に注目すると、低得点者はジレンマフェーズにおいても全体の *Ambiguity* を減らし、正確な意味づけに基づいたコミュニケーションをしていた。つまり、ペア 4 の低得点者はジレンマフェーズにおいても協力的なコミュニケーションを行おうとしていたことがわかる。しかし、高得点者はフェーズ間の *Ambiguity* が大きく乖離しており、ジレンマフェーズにおいて曖昧性をより増大させている。さらに、図 5b から、ペア 4 の高得点者の最小値が増加していることから、曖昧さを増大させたことを示唆する結果が得られている。これらの考察は前項で述べたペア 4 の特異性に関する行動分析やアンケート回答とも矛盾しない結果となっている。

以上の結果から、 m と s の利得構造を変化させ、独占によって得られる報酬を多くすることによって、コミュニケーションシステムに曖昧性を生起させることができることを示唆された。一方で、共有によって得られる報酬が多い条件設定のペア 4 においても、高得点者は曖昧性を生起させることによって報酬の独占を成功させようとするコミュニケーションを行っていたことがわかった。加えて、そのようなパートナーへの裏切り行為を隠蔽するような言動を行っていたというアンケート結果が得られ、曖昧性を意識的に利用した騙しのコミュニケーションが生起していた可能性が示唆された。

6. まとめ

本研究では、ジレンマ環境においてコミュニケーションシステムに曖昧性が生起するか、曖昧性が生起したとして曖昧性は裏切りの意図の隠蔽と関連するかという 2 点に答える実験課題を設計し、オンライン実験を行った。

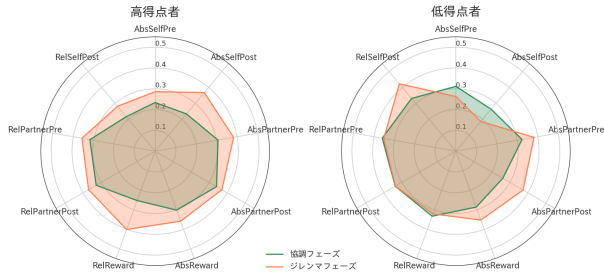
実験の結果、ジレンマ環境の変数設定によって、コミュニケーションシステムの曖昧性が生起することが示され、その中には裏切りの意図の隠蔽を行っていたことを示唆する結果も得られた。

しかしながら、分析を行ったケースの少なさや、同一条件で行ったはずの協調ゲームにおいてもペアによって報酬取得数に大きな差が見られたことから、本研究の結果が実験の操作ではなく、個人差によって生じていた可能性を否定できない。そのため、本研究の実験結果が本当に条件設定によって得られたものか確認するためには同様の実験課題でシミュレーション^[11] を実行した結果との比較を行う必要があるだろう。さらに、個人差に影響されないより一般的なデータを得るためにはさらなる実験を行う必要がある。そのため、クラウドソーシングを利用したオンライン実験を行うことでより多くのデータを得ることが出来るだろう。

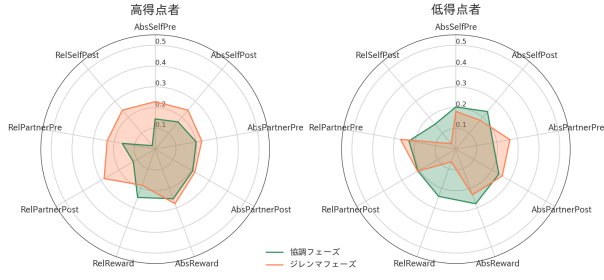
また、本研究の実験課題において、ペア内で報酬の独占者と非独占者に分かれている状況は、セキュリティ分野におけるユーザーとクラッカーの関係に近い状況と考えることもできる。Cranford らはそのような状況で行われる意思決定に関する認知的分析を行っている^[12]。同様に、本研究の実験課題や分析手法もセキュリティ分野における問題解決の一助となる可能性もあるだろう。

参考文献

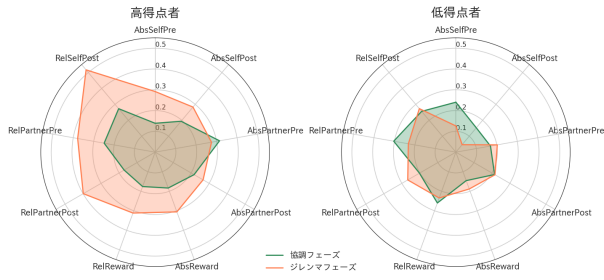
- [1] Byrne, Richard W: The thinking ape: Evolutionary origins of intelligence; Oxford University Press, (1995).
- [2] Moll, Henrike., Michael Tomasello: Cooperation and human cognition: the Vygotskian intelligence hypothesis; Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, **Vol.362**, No.1480, pp.639-648 (2007).
- [3] Axelrod, R., Hamilton, W.D.: The evolution of cooperation; science, **Vol.211**, No.4489, pp.1390-1396 (1984).
- [4] Duguid, S., Wyman, E., et al.: Coordination strategies of chimpanzees and human children in a Stag Hunt game; Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, **Vol.281**, No.1796, (2014).
- [5] Yoshida, W., Seymour, B., Friston, K. J., Dolan, R. J.: Neural mechanisms of belief inference dur-



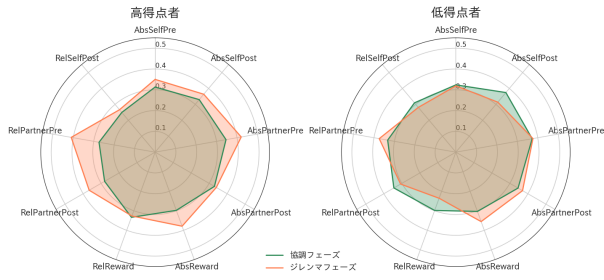
(a) ペア 1 ($m > s$)



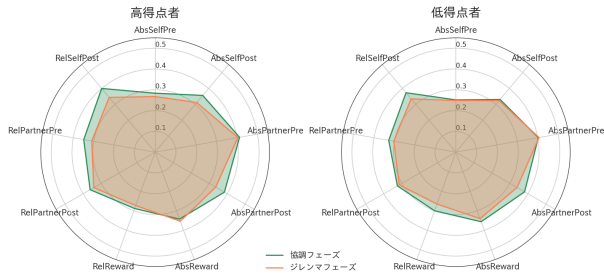
(b) ペア 2 ($m > s$)



(c) ペア 3 ($m < s$)



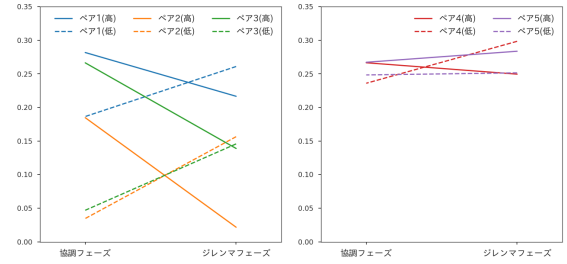
(d) ペア 4 ($m < s$)



(e) ペア 5 ($m < s$)

図 4: 各プレイヤーの各フェーズでの *Ambiguity* のプロフィール

Fig. 4 The profile of *Ambiguity* in each phase of each player



(a) $m > s$

(b) $m < s$

図 5: 各条件の協調フェーズからジレンマフェーズにかけての *Ambiguity* の最小値の変化

Fig. 5 Dynamics in the minimum *Ambiguity* from the coordination phase to the dilemma phase in each condition

ing cooperative games; Journal of Neuroscience, **Vol.30**, No.32, pp.10744-10751 (2010).

- [6] Bruno Galantucci: An experimental study of the emergence of human communication systems; Cognitive Science, **Vol.29**, No.5, pp.737-767 (2005).
- [7] Bruno Galantucci: Experimental Semiotics: A New Approach for Studying Communication as a Form of Joint Action; Topics in Cognitive Science, **Vol.1**, No.2, pp.393-410 (2009).
- [8] 金野武司, 森田純哉, 橋本敬: 言語的コミュニケーションシステムの創発に関する実験的アプローチ; 計測と制御, **Vol.53**, No.1, pp.801-807 (2016).
- [9] 齊藤優弥, 金野武司: 構造依存性を持つ記号表現の発生過程を観察可能にするゲーム課題の設計; 日本認知科学会第 36 回大会, pp.981-985 (2019).
- [10] Inoue,N., Morita,J.: Experimental study on the ambiguation of communication system caused by dilemma situation; 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.970-974 (2020).
- [11] 森田純哉, 金野武司, 奥田次郎, 鮫島和行: 協調的コミュニケーションを成立させる認知的要因; ヒューマンインタフェース学会論文誌, **Vol.20**, No.4, pp.435-446 (2018).
- [12] Cranford,E., Somers,S., Mitsopoulos,K., Lebiere,C.: Cognitive Salience of Features in Cyber-attacker Decision Making; International Committee on Composite Materials, (2020).