

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 の変化に関する実験的検討

Experimental study of changing communication system in dilemma games involving messaging

矢野 颯真[†], 森田 純哉[‡], 井上 直紀^{‡*}

Soma Yano, Junya Morita, Naoki Inoue

^{† ‡} 静岡大学

Shizuoka University

yano.soma.18@shizuoka.ac.jp[†], j-morita@inf.shizuoka.ac.jp[‡], inoue.naoki.15@shizuoka.ac.jp[‡]

概要

ジレンマ環境での新規なコミュニケーションシステムの成立と変化を実験的に検討した。実験の結果、ジレンマ環境におかれることで、それまでに形成されてきたコミュニケーションシステムが大きく変化することが示された。また、競争優位なジレンマ環境において高い利得を獲得した参加者は、他の参加者の利得を明示的に搾取した。それに対し、協調優位なジレンマ環境においては、コミュニケーションの曖昧性を利用した、非明示的な搾取構造が示唆された。

キーワード：実験記号論, ジレンマ, コミュニケーションシステム

1. はじめに

人間は他者とコミュニケーションをとることで意図を共有している。言語はそのための一つの手段であるが、身振りなどの他の手段よりも複雑な意図を相手に伝えることができる。その要因の一つは言語の持つ曖昧性であると考えられる。たとえば言語は階層構造によって文を構成する要素の複雑な関係を表現できるが、同時に係受けの解釈に由来する曖昧さ（構造的曖昧性）が生じることもある。例えば「最新日本語辞典」という言葉が「最新の日本語辞典」と「最新日本語の辞典」という2通りの解釈ができてしまう。また、言語の曖昧性は単語の持つ多義性からも生じる（語彙的曖昧性）。例えば英語で「bank」は「銀行」という意味と「土手」という意味を同時に持つ。

言語の曖昧性は社会的な場面での駆け引きに使われることも指摘されている。ピンカーは曖昧な表現を利用したほめかしにより、利得を得ることを指摘した[1]。こういった社会関係のなかでの駆け引きが人間の知能を向上させる要因であると、霊長類研究において

考えられており、この仮説はマキャベリの知性仮説と呼ばれる[2]。マキャベリの知性仮説とは人間が進化の過程において、集団生活の中で嘘や騙しで他人から利益を掠め取ったり、逆に嘘や騙しを見破ったり、というように自己利益の追求のために複雑なコミュニケーションを繰り返したことで、現在に見られる高度な知能を獲得するに至ったとする仮説である。つまり、この仮説では競争環境への適応の繰り返しが人間の知能向上に作用したと考えられている。

このような背景のもとで、マキャベリの知性仮説を実験室実験によって検証する以下2つのリサーチクエストションを検討する。

1. 裏切りと協調を選択可能なジレンマ環境においてコミュニケーションシステムの曖昧性がどのように生じるか。
2. 曖昧性が生じたとして、曖昧性は裏切りの意図の隠ぺいと関連するか。

2. 方法

2.1 参加者

参加者はクラウドソーシングにて募集し、76名を分析対象とした。参加者は、競争優位条件で男性22名、女性16名 ($Mean_{age} = 38.05$, $SD_{age} = 9.49$), 協調優位条件で男性21名、女性17名 ($Mean_{age} = 38.87$, $SD_{age} = 10.95$) であった。

2.2 課題

本研究で用いた課題は実験記号論[3, 4]に基づくものであり、実験室内で新規なコミュニケーションを実験参加者に構成させる。これまでに様々な実験記号論的な課題が構成されているものの、本研究では著者らの過去に構築した課題[5]を一部で改変して用いる。

*本論文は、第3著者による修士論文を、第1著者が中心となって学会発表の形態に編集、加筆したものである。

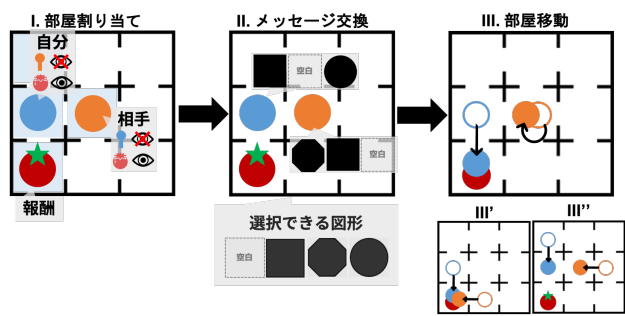


図 1: ラウンド開始から終了までの流れ

図 1 に本研究が設定した課題の概略を示す。この課題は、3 × 3 のグリッドに区切られた環境に配置された二人の参加者が、環境中の報酬を探索し獲得するものである。この時、報酬を独占することも共有することもできた。報酬を独占した場合と共有した場合で、参加者は異なるポイントを取得した。すなわち独占と共有の選択にジレンマが生じる課題であった。

本課題は、複数のラウンドから構成された。ラウンドの開始時点で、参加者および報酬が環境のランダムな位置に配置された。そこから参加者はメッセージを交換し、移動する。移動の結果、報酬が取得された場合には、改めて参加者と報酬が環境に再配置し、次のラウンドが開始する。移動の結果、報酬が報酬未取得であった場合、再配置は行われずにラウンドが継続し、再びメッセージ送信と移動が繰り返された。

上記のラウンドを参加者は設定された制限時間に至るまで繰り返し、可能な限り多くのポイントを獲得することを目指した。このゲームでは、メッセージを利用することで、報酬の位置を伝え合い（報酬は隣接しているグリッドにある場合においてのみ観察できる）、報酬の探索を効率化できた。また、メッセージには、図形を組み合わせる人工的なコミュニケーションの手段のみが用いられた。今回の実験では、4 種類の図形から 3 つを組み合わせさせてメッセージを構成した。実験参加者には事前に図形の意味を伝えず、課題のやり取りの中で、参加者間でその意味を形成させた。図形の意味の形成を促すために、独占と共有のジレンマが生じる課題（ジレンマゲーム）の前に、共有のみで報酬を獲得できる課題（協調ゲーム）を実施した。協調ゲームで形成されたコミュニケーションが、ジレンマゲームでどのように変化するかを観察した。また、メッセージの作成において組み合わせる図形を 3 つに設定することで、構造的曖昧性が生じる状況を設定した。この点が、本研究の課題と先行研究 [5] との差分となる。

表 1: 実験の流れ

時間 (m)	フェーズ
15	協調ゲームの説明
30	協調ゲームの実施
5	ジレンマゲームの説明
30	ジレンマゲームの実施
10	アンケート
90	所要時間合計

表 2: ジレンマゲームにおける得点表

(自分, 相手)	競争優位	協調優位
(共有, 共有)	(2, 2)	(3, 3)
(独占, 失敗)	(3, 0)	(2, 0)
(失敗, 独占)	(0, 3)	(0, 2)
(続行, 続行)	(0, 0)	(0, 0)

2.3 手続き

実験はオンラインで行われた。実験参加者は決められた時間に指定された URL にアクセスし、アクセス順にペアが組まれた。

実験の手続きを表 1 に示す。参加者は、課題に関する教示を受けたあとに、協調ゲームを 20 分間、さらにジレンマゲームを 20 分間続けて行い、その後アンケートに答えた。ジレンマゲームにおいては、協調優位条件と競争優位条件が設定された。協調優位条件では共有ポイントが独占ポイントよりも、競争優位条件では、独占ポイントが共有ポイントよりも高い値が設定された。ジレンマゲームでは、この 2 つの条件に参加者をそれぞれ割り当て、両者の環境の違いを比較する。ゲームの条件と得点の設定を表 2 にまとめる。

3. 結果と考察

3.1 報酬取得行動の可視化

横軸を「ラウンド数」、縦軸を「ペア内の報酬取得数の差」とするグラフを描画し、ジレンマゲームにおいて共有と独占のジレンマがどのように生じたのかを分析した。図中の各系列はペアを表す。ペアごとに制限時間内に推移したラウンド数が異なるため、系列の長さは異なる。なお、ペア内の報酬取得数の差における第 1 項は、最終ラウンドにおける高得点者、第 1 項は最終ラウンドにおける低得点者である。そのため、最終ラウンドはいずれのペアも正の値となる。よって、最終的な高得点者がそのラウンドで報酬を取得した場合、そのラウンドにおける値は上昇し、低得点者が取

得した場合は、そのラウンドでは値が減少する。参加者が報酬を共有した場合は、報酬取得数の差が水平に推移する。

協調優位条件に比べ、競争優位条件は水平な推移が少なく、上下に系列が波打っていることが分かる。このことから、競争優位条件の参加者は競争関係にあり、独占ポイントを互いに取り合いながらゲームが進行していったと考えられる。それに対して、協調優位条件の参加者は基本的に協調していたと考えられる。

3.2 メッセージの意味分析

実験において送信されたメッセージの曖昧性を検討するために、図3のようなレーダーチャートを参加者ごとに作成した。このチャートの9つの軸はそれぞれ異なるコノテーションを表す。コノテーションとはメッセージの意味の枠組みのことで、例えばメッセージで「上」という意味（デノテーション）を送ったとき、「部屋全体で見たときの上」なのか、「今いる位置の上」なのか、それが自分のことなのか、相手のことなのかというような解釈の仕方を表す。

コノテーションを分類する3つのカテゴリと、想定されるデノテーションとの組み合わせは図4に示される。コノテーションのカテゴリとそこで取られる値は以下のように説明される。

- 1. 視点:
プレイヤーがどこかの部屋を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部屋が見える方向を示す相対座標 (relative coordinates) の2通りの視点で示すことが出来る。
- 2. 対象
それらの視点を用いて指し示された部屋は話題の対象として自分 (self), 相手 (partner), 報酬 (reward) のどれかの位置について指し示していると考えられる。
- 3. 時制
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。対象が報酬であった場合は報酬がラウンド内で移動することはないため時制の区別は必要ない。

図3のレーダーチャートにおける軸の値は、各プレイヤーが実際に送信したメッセージから、それぞれ9

表 3: 図5において有意となった相関のセル数

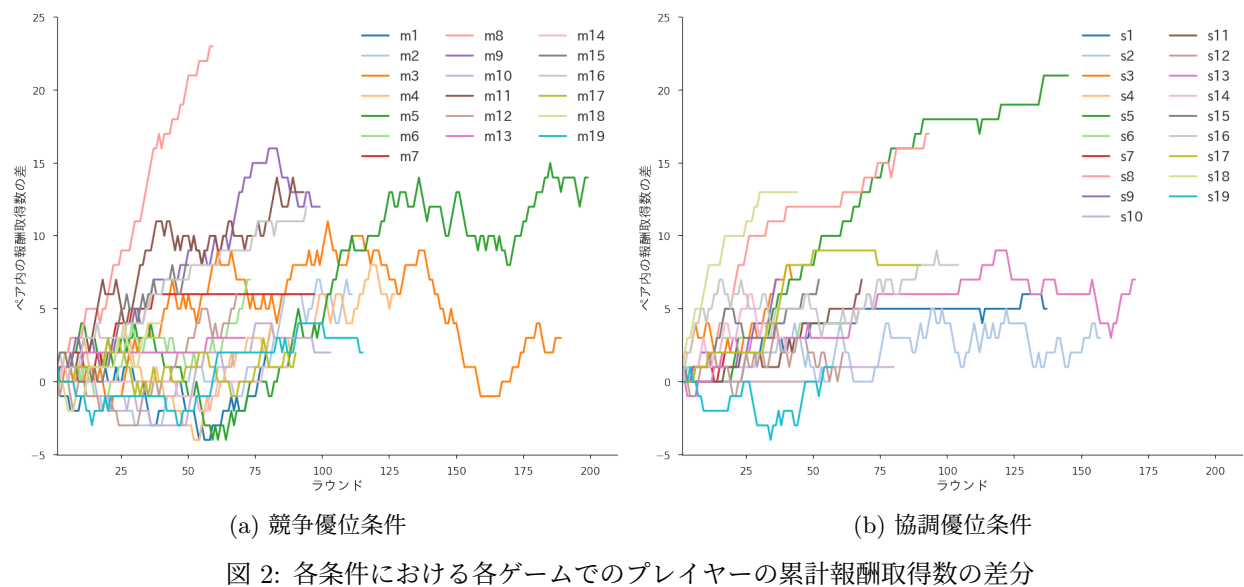
	全体	高得点者	低得点者
競争優位	128	91	85
協調優位	157	138	97

つのコノテーションで送信されたと仮定したときの平均情報量（エントロピー）を示している。算出された平均情報量が低ければ、レーダーチャートのサイズは小さくなり、図形の組み合わせの持っている意味が固定化されたことを示す。情報量が顕著に低い軸があれば、チャートの形は歪になり、プレイヤーの送っていたメッセージはそのコノテーションに固定化されたことを示す。

報酬取得数の格差が大きかったペアと小さかったペアにおいて、協調ゲームからジレンマゲームにかけてレーダーチャートがどのように変化したかを検討した。格差が大きかったペア（図3 (a), (c)）は、協調ゲームからジレンマゲームにかけてチャートの大きさが変わらなかったため、コミュニケーションシステムが収束せず曖昧なままだったと考えられる。一方で、格差が小さかったペア（図3 (b), (d)）はチャートが小さくなり、協力によって意味が収束し、より正確になっていったと考えられる。

3.3 曖昧さの変化

さらに実験に参加した全参加者を対象とし、それぞれの軸の値との間に有意な相関があるかを分析した（図5）。軸間の相関は協調ゲーム、ジレンマゲームの各ゲーム内だけでなく、ゲーム間でも網羅的に検討した。赤色に着色されたセルがスピアマンの順位相関係数によって有意水準5%以下で相関があるとされたコノテーションの組み合わせである。競争優位条件と協調優位条件を比べれば、協調優位条件はより赤いセルが多いことが見て取れる。重複を除く171のセル $((18 \times 18) / 2 + 9)$ のなかで、有意となったセルを数え上げた結果を表1に示す。図からの印象と合致し、全体、高得点者、低得点者のいずれにおいて協調優位条件において有意なセルが多いことが確かめられた。このことから、競争優位条件は、協調ゲームで構築されたメッセージがジレンマゲームで維持されなかったことがわかった。一方、協調優位条件では殆どの軸間で有意な相関が認められ、協調ゲームとジレンマゲームの間でメッセージを維持していたことが示された。



3.4 ペア内の関係性

メッセージの曖昧さとゲーム中の振る舞いや主観的な印象との関連を検討するために、チャートの特徴を表す値（例として、*ambiguity* の平均値はチャートの大きさ、*ambiguity* の標準偏差はチャートの歪さを表す）と、課題中の報酬取得行動（共有や独占の比率）、アンケートで取得した主観評価との間の相関関係を網羅的に検討した（図 6）。

競争優位条件では、高得点者と低得点者とのメッセージの類似度と高得点者による低得点者への信頼度評価の間に有意な相関が見られた ($r_s = 0.53, p < 0.05$)。つまり 2 者間でのメッセージが類似したペアにおいて、高得点者は低得点者を信頼していたことが示された。ただし、その逆（低得点者による高得点者への信頼度）は有意ではなく、高得点者から低得点者への一方的な信頼関係のみが認められ、搾取構造が成立していたことが示唆される。

一方で協調優位条件に注目すると、協調ゲームにおける低得点者の意味プロフィールの大きさとジレンマゲームにおける報酬取得数 ($r_s = 0.49, p < 0.05$)、そして、協調ゲームにおける低得点者の意味プロフィールの歪さとコミュニケーションの質に関する主観評価との間 ($r_s = 0.55, p < 0.05$) で有意な相関が確認された。この相関は高得点者では確認されず、低得点者に特有なものであった。つまり、低得点者は協調ゲームからジレンマゲームへ変化した後にも、協調ゲームのルールを維持しようとしたため、結果として低い利益しかあげられなかったと解釈できる。

上記のように競争優位なジレンマ環境ではコミュニ

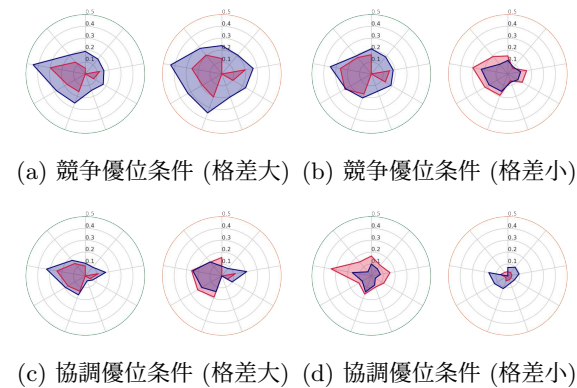


図 3: 協調ゲームとジレンマゲームのレーダーチャートの変化 (各条件で左が協調ゲーム、右がジレンマゲームを表す)

コノテーション			デノテーション	図 1 bI の盤面のときに取りうる意味の例
視点	対象	時制		
Abs	Self	Pre		自分は今、の部屋にいる
		Post		自分は次、の部屋に留まる
	Partner	Pre		相手は今、の部屋にいる
		Post		相手は次、の部屋に行け
Rel	Reward		上, 下, 左, 右, 同じ	報酬はの部屋にある
	Self	Post		自分は次、下方向に行く
	Partner	Pre		相手は今、右方向に隣接している
		Post		相手は次、同じ部屋に來い
	Reward		上, 下, 左, 右, 非隣接	相手は下方向に隣接している

図 4: コノテーションとデノテーションの組み合わせ

ケーションが大きく変化し、コミュニケーションシステムの崩壊が見られた。さらに高得点者による明示的な搾取構造が見て取れた。一方、協調優位なジレンマ環境では、比較的、正確なコミュニケーションがされていたと考えられる。ただし、協力ゲームにおいて構築されたメッセージを維持しようとする低得点者が、メッセージを変化させた高得点者に搾取される構造が示された。このことは、高得点者による曖昧なメッセージによる意図の隠蔽による、非明示的な搾取と捉えられるのかもしれない。

4. まとめと今後の展望

本研究では2つのリサーチクエストを設定した。はじめのリサーチクエスト「裏切りと協調を選択可能なジレンマ環境においてコミュニケーションシステムの曖昧性がどのように生じるか」を検討するために、本研究では図3に示したレーダーチャートを作成した。図3のケーススタディから、ジレンマゲームにおける報酬取得数の格差が曖昧性に影響したことが示された。報酬取得数の格差がより増大したペアは、より曖昧な（レーダーチャートの大きい）メッセージを送信した。また、ジレンマ環境における得点を競争優位に操作することで、送信されるメッセージはより一貫しない形に変化することが示された（図5）。これらよりコミュニケーションシステムの曖昧性は、ペアの置かれた環境、あるいはペア内での報酬に均衡によって生起するとまとめることができる。

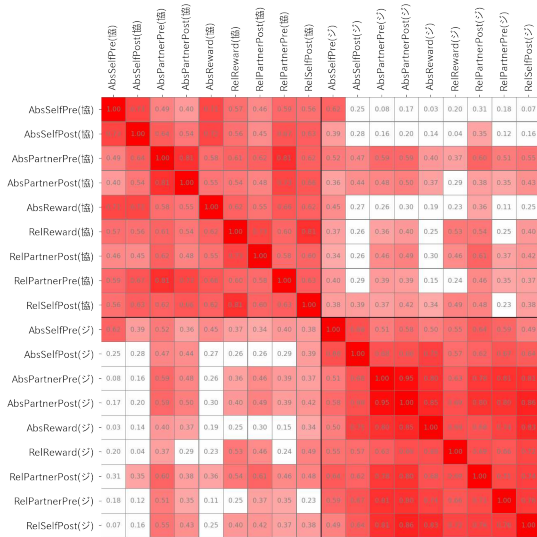
2つめのリサーチクエスト「曖昧性が生起したとして、曖昧性は裏切りの意図の隠ぺいと関連するか」に対しては、3.4における信頼性の議論に基づいて考えることができる。3.4の議論において、意図の隠蔽が生じたのは、協調優位な状況に限定された。この結果は、裏切りの意図の隠蔽を含む曖昧性を利用したコミュニケーションは、協調的な関係を大枠とした中で生起することを示している。この解釈は、人間性の進化に関わる協調の重要性を主張する近年の傾向とも一致している [6, 7]。このなかでも、Tommaselloらのグループは、裏切りをベースとしたマキャベリ知性仮説に対し、協調をベースとした知能の進化に関するヴィゴツキー的知性仮説を提案している [7]。これらの仮説に基づけば、協調の大枠を崩さない範囲での裏切りを可能にする際に、曖昧的な言語表現が利用されていたと考えることができる。

今後、このような協調下における曖昧性の生起を、コミュニケーションシステムの複雑化と関連づけて検討していく。今回の実験では、送信するスロットを3

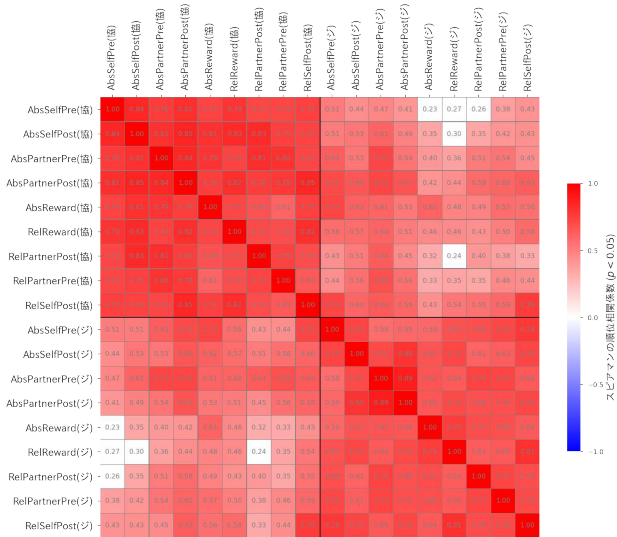
つに増やすことでメッセージの階層化を引き起こし、構造による曖昧さと裏切りの意図の隠蔽との関係性を検討することを目指していたが、分析においてメッセージの構造的曖昧性を検討することはできなかった。本研究で示した分析方法を発展させることで、そのような検討を行うことができると考えている。具体的には、スロットを2つ単位に分けて同様の分析を行うことで、人間の言語にみられる階層構造の出現とジレンマ状況の関連を検討する予定である。

文献

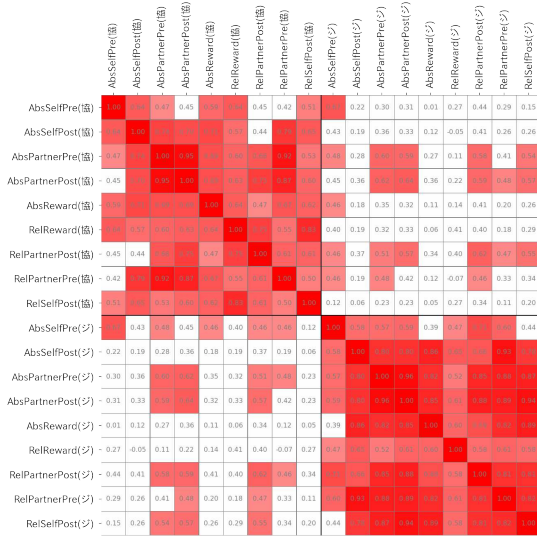
- [1] S. Pinker. *The stuff of thought: Language as a window into human nature*. New York, Viking, 2007.
- [2] Whiten A Byrne, R. Machiavellian intelligence. 1994.
- [3] Bruno Galantucci. Experimental semiotics: A new approach for studying communication as a form of joint action. *Topics in Cognitive Science*, 1(2):393–410, 2009.
- [4] 金野武司, 森田純哉, and 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*, 53(9):801–807, 2016.
- [5] Morita J. Inoue, N. A behavioral task for exploring dynamics of communication system in dilemma situations. 2021.
- [6] Yuval Noah Harari. *Sapiens: A brief history of humankind*. Random House, 2014.
- [7] Henrike Moll and Michael Tomasello. Cooperation and human cognition: The vygotskian intelligence hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362:639–648, 4 2007.



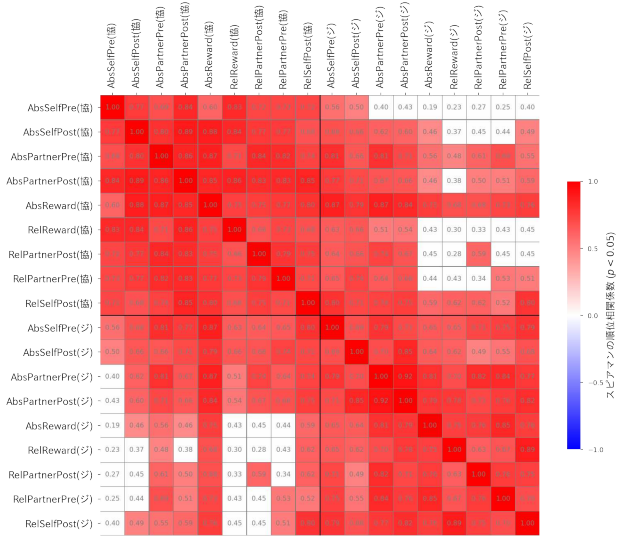
(a) 競争優位条件 (全体)



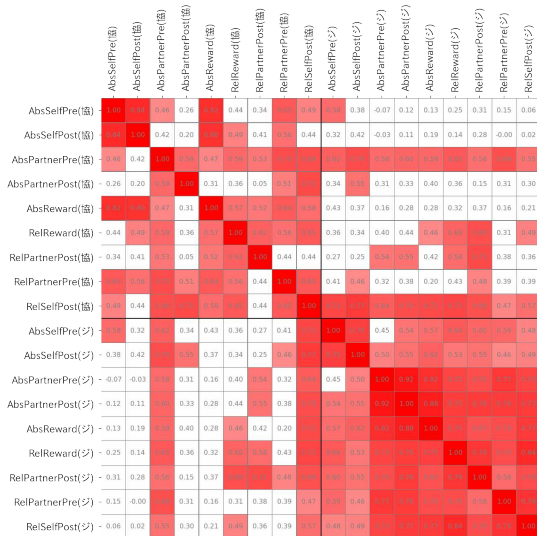
(b) 協調優位条件 (全体)



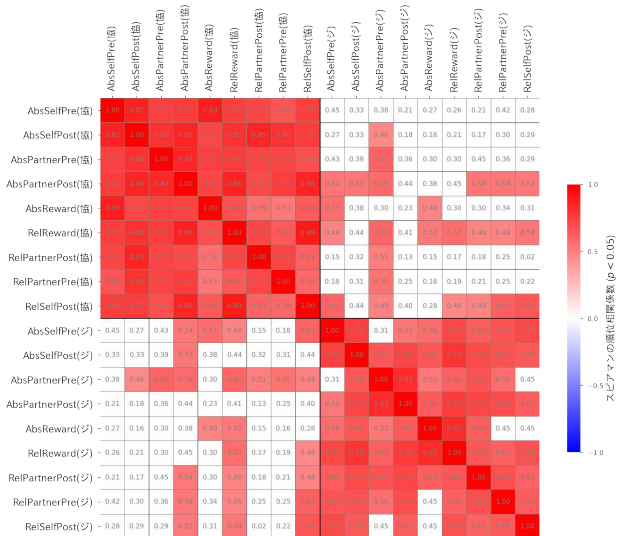
(c) 競争優位条件 (高得点者)



(d) 協調優位条件 (高得点者)

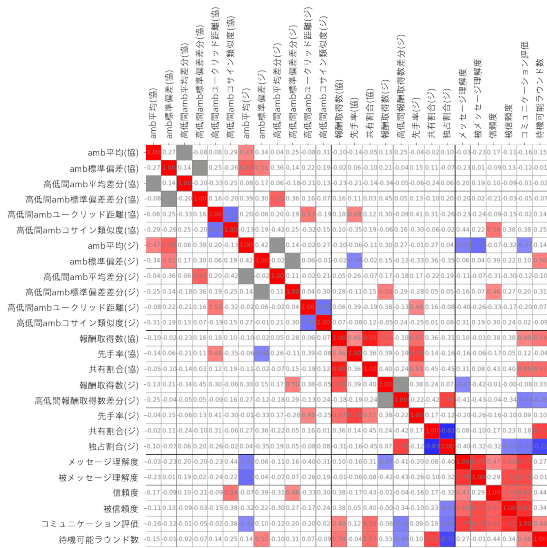


(e) 競争優位条件 (低得点者)

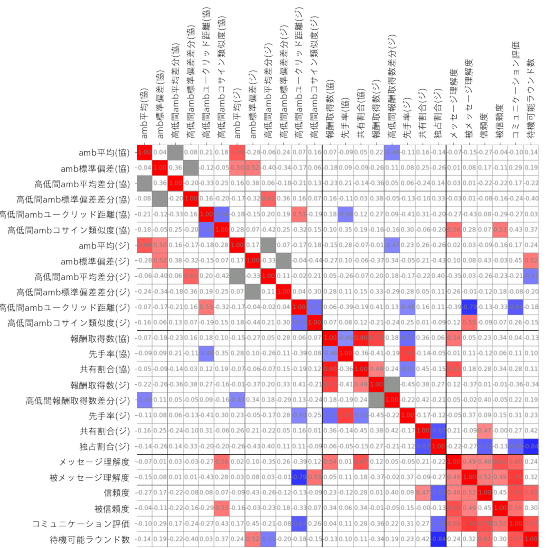


(f) 協調優位条件 (低得点者)

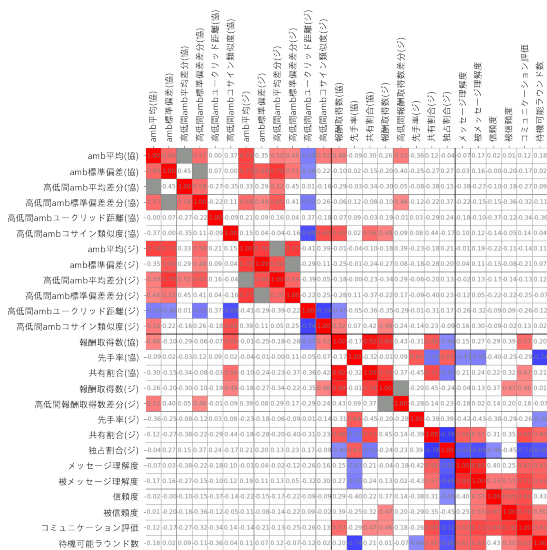
図 5: 各意味空間の Ambiguity の相関係数行列



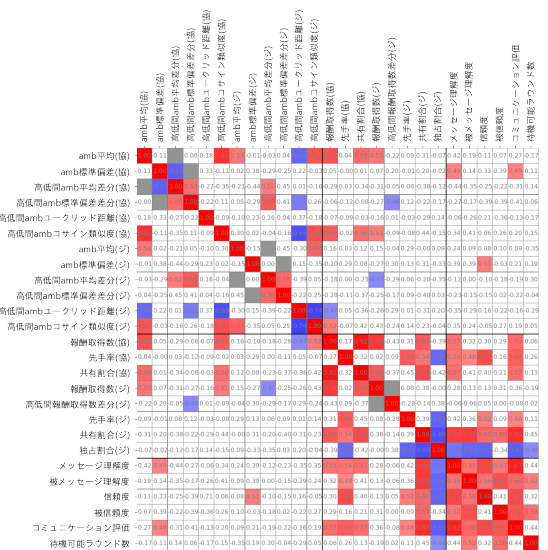
(a) 競争優位条件 (高得点者)



(b) 競争優位条件 (低得点者)



(c) 協調優位条件 (高得点者)



(d) 協調優位条件 (低得点者)

図 6: 各指標の相関係数行列