

# 非ゼロ和状況における メタ信号の役割

祖父江 翔太<sup>1,a)</sup> 伊藤 昭<sup>1,b)</sup> 寺田 和憲<sup>1,c)</sup>

**概要:** 本研究では、事前にコミュニケーション信号が確立されていない状況下において、非ゼロ和ゲームを対戦してもらうことで、コミュニケーションの創発を調査した。コミュニケーションツールとして使用できるものは、事前に意味づけされていない、周波数の違う2種類の単音である。実験の結果、相手と協調して得点の獲得を目指す協調ペアと、自己の利益を優先させる非協調ペアに分類することができた。協調ペアは非協調ペアに比べて信号をより正直に使用しており、また獲得コイン数(得点)も多かった。全てのペアで対戦に直接必要な信号だけでなく、協力・調整を行うための様々なメタ信号が創発し、メタ信号によって非ゼロ和環境を制御しようという様々な試みが観測された。さらに、全てのペアで、ランダムに選択するよりも高い成績が観測され、メタ信号の有効性が確認された。

**キーワード:** 非ゼロ和, 音信号, メタ信号

## The role of the meta signal in non-zero-sum game situation

**Abstract:** We investigated the emergence of communication using non-zero-sum games on the condition that the meanings of communication signals are not established beforehand. As a communication media, the players can use as signals two monotonic sounds whose meanings are not specified beforehand. As a result of the experiment, we classified the subject pairs into two group — cooperative and uncooperative pairs. Cooperative pairs used signals more honestly, and get more coins (points) than uncooperative pairs. In all the pairs various kinds of meta-signals for cooperation and negotiation emerged, and were used to control the partner in various ways. All the pairs earned more coins than that earned by playing randomly, which means that meta-signals have positive effects even for uncooperative pairs.

**Keywords:** non-zero-sum, sound signal, meta signal

### 1. はじめに

人間は日常生活を送るにあたり、多くのコミュニケーションを行っており、その手段として当たり前のように言語を使用している。しかしながら、人間はまだ言語を習得中の幼いときでも、家族、友人との意思疎通を行っている。さらに、知らない外国人と話す時など、自身の使用する言語が通じない状況下でも人は表情や身振りを使用することによって意図を伝える事が出来ている。むしろ、日常会話においては言語よりも「動作」や「表情」などの「非言語情

報(信号)」から相手の意図を推測する機会が多い[1][2][3]。この事は、社会では「空気を読む」事が重要である(言語情報からではなく周りの非言語情報から推測する)事からも明確である。こうした例から挙げられるように、人間には言語を使用しなくても必要ならば自ら信号を生成し、使用することができる。

信号はコミュニケーションに重要だが、信号は最初から存在したものではない。自身の意図を相手に伝えたい時、自分の本心を悟られずに相手に自分の思い通りに動いてもらいたいときに信号は生成される。自身の意図を相手に伝えたいときの例では、日常会話における意図伝達があげられる。本心を悟られずに動いてもらいたい時の例では、仮病やポーカーなど「自分の利益を守る」「自分が得をする」ために使用される場面があげられる。このように、人は意

<sup>1</sup> 岐阜大学

Gifu University

a) sobue@elf.info.gifu-u.ac.jp

b) ai@gifu-u.ac.jp

c) terada@elf.info.gifu-u.ac.jp

図伝達した方が楽な時、信号をうまく使用しないと自身に損害が出る時に信号を生成する。また、人はその信号と自身の状況をもとに相手の信号を理解すると、自身も使用するようになる。

相手との共通の言語が存在しない場合での、信号を用いたコミュニケーションの発現の研究は幾つか行われている [4][5][6][7]。しかしながら、これらの研究は両者の利害が完全に一致している条件下であり、現実社会では相手と利害が完全に一致していることはない。利害が対立した状況下での研究はロボット同士のコミュニケーションを調査したもの [8][9] があるが、この研究で出てくる信号は意図しないものであり、意図したコミュニケーションではない。すなわち、利害の完全に対立した状況下では意図的なコミュニケーションは成立しない。なぜなら、敵からのどのような信号も無視することが最善だからである。

ロボットが人と同様に、両者の利害をもとに信号を認識、使用するようになれば、人とロボットの自然なコミュニケーションを図る事も可能である。利害が完全には一致しないけれども、協調することが必要な状況下でのコミュニケーションの成立を扱ったものは、CheapTalk の一連の研究がある [10]。しかしながら、そこで扱われるのは一回限りの信号の信頼性である。

本研究では言語が使用できず、あらかじめ非言語情報の意味も共有されておらず、両者の利害が完全には一致していないという条件下で、非言語情報を用いて言語 (信号) が生成されるのか、されるとしたらどのように生成されて行くのかの分析を行う。

我々がここで取り上げようとしているのは、非ゼロ和という利害が完全には一致しない状況下で繰り返し意思疎通しなければならない時の人のコミュニケーション行動である。そこでは、適切な信号を確立して情報交換を行うものの、相手を完全に信頼できる状況ではなく嘘をつかれ騙される可能性も否定しきれない。そのような状況下では自分の行動情報だけでなく、さまざまなメタ信号が相手の判断に利用されることが期待される。

## 2. 実験説明

### 2.1 実験設定

本実験は実験になれるための Phase1 と本番の Phase2 の 2 段階に分けて行われる。Phase1 では 1 ラウンドで 5 回の行動選択、時間制限は無しという条件で計 10 ラウンド行う。Phase2 では 1 ラウンドで 10 回の選択、行動選択、時間制限は無しという条件で計 5 ラウンド行う。得点表は Phase1 では図 2 を、Phase2 では図 4 を使用する。使用する得点表は試行ごとにランダムに提示されるが、1 ラウンドで見ると両者公平になるように設定されている。Phase1 の利得表 1, 2, 3, 4, Phase2 の利得表 2, 5, 6, 7, 8 については両者の利得の和が最大になる解が 1 つしか存在し



図 1 Phase1:実験画面

Fig. 1 The experimental interface of Phase1

|   |     | A   | B |
|---|-----|-----|---|
| A | 5/5 | 0/7 |   |
| B | 7/0 | 0/0 |   |

|   |     | A   | B |
|---|-----|-----|---|
| A | 0/5 | 5/5 |   |
| B | 0/0 | 5/0 |   |

|   |     | A   | B |
|---|-----|-----|---|
| A | 6/4 | 0/8 |   |
| B | 6/0 | 0/0 |   |

|   |     | A   | B |
|---|-----|-----|---|
| A | 4/6 | 0/6 |   |
| B | 8/0 | 0/0 |   |

|   |     | A   | B |
|---|-----|-----|---|
| A | 0/0 | 4/6 |   |
| B | 6/4 | 2/2 |   |

図 2 Phase1 で使われる利得表

Fig. 2 The payoff used in Phase1

ない場合の設定である。

Phase2 では Raise という機能を追加し、得点を 2 倍できるようにした。お互いが 2 倍することができるようにしたため、最大で 4 倍にすることが可能である。実験データは以下の項目を記録するようにした。

- ・行動決定までの時間
- ・操作内容 (入力されたボタンと押していた長さ)
- ・今の選択回数と成績

### 2.2 実験概要

本実験はそれぞれ別室にいる 2 人 1 組で行われる。両者には図 1, 3 のような表をもとに選択肢 A, B どちらかをゲームパッドを用いて選択してもらう。選択した結果は両者が自分の選択を決定して初めて相手の選択がわかるようになっており、自分の選択中は相手が何を選んでいるかは



図 3 Phase2:実験画面

Fig. 3 The experimental interface of Phase2

|   |       |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
|---|-------|-------|---|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|---|---|---|-------|-------|---|-------|-------|
| ①   | ②     |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>0/0</td><td>-3/5</td></tr> <tr><td>B</td><td>5/-3</td><td>-2/-2</td></tr> </table>   | P1\P2 | A     | B | A | 0/0   | -3/5  | B | 5/-3  | -2/-2 | <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>3/1</td><td>-3/5</td></tr> <tr><td>B</td><td>3/-3</td><td>-3/-3</td></tr> </table> | P1\P2 | A | B | A | 3/1   | -3/5  | B | 3/-3  | -3/-3 |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 0/0   | -3/5  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 5/-3  | -2/-2 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 3/1   | -3/5  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 3/-3  | -3/-3 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| ③   | ④     |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>-1/-1</td><td>-1/6</td></tr> <tr><td>B</td><td>5/-1</td><td>-3/-3</td></tr> </table> | P1\P2 | A     | B | A | -1/-1 | -1/6  | B | 5/-1  | -3/-3 | <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>5/1</td><td>-3/-3</td></tr> <tr><td>B</td><td>-3/-3</td><td>1/6</td></tr> </table> | P1\P2 | A | B | A | 5/1   | -3/-3 | B | -3/-3 | 1/6   |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | -1/-1 | -1/6  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 5/-1  | -3/-3 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 5/1   | -3/-3 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | -3/-3 | 1/6   |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| ⑤   | ⑥     |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>4/-3</td><td>-2/-2</td></tr> <tr><td>B</td><td>1/1</td><td>-3/4</td></tr> </table>   | P1\P2 | A     | B | A | 4/-3  | -2/-2 | B | 1/1   | -3/4  | <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>1/3</td><td>-3/3</td></tr> <tr><td>B</td><td>5/-3</td><td>-3/-3</td></tr> </table> | P1\P2 | A | B | A | 1/3   | -3/3  | B | 5/-3  | -3/-3 |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 4/-3  | -2/-2 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 1/1   | -3/4  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 1/3   | -3/3  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 5/-3  | -3/-3 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| ⑦   | ⑧     |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>-3/3</td><td>3/3</td></tr> <tr><td>B</td><td>-3/-3</td><td>3/-3</td></tr> </table>   | P1\P2 | A     | B | A | -3/3  | 3/3   | B | -3/-3 | 3/-3  | <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>2/2</td><td>-3/4</td></tr> <tr><td>B</td><td>4/-3</td><td>-3/-3</td></tr> </table> | P1\P2 | A | B | A | 2/2   | -3/4  | B | 4/-3  | -3/-3 |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | -3/3  | 3/3   |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | -3/-3 | 3/-3  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 2/2   | -3/4  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 4/-3  | -3/-3 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| ⑨   | ⑩     |       |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>5/3</td><td>-3/6</td></tr> <tr><td>B</td><td>-3/5</td><td>5/-3</td></tr> </table>    | P1\P2 | A     | B | A | 5/3   | -3/6  | B | -3/5  | 5/-3  | <table border="1"> <tr><td>P1\P2</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>-3/-3</td><td>1/3</td></tr> <tr><td>B</td><td>3/1</td><td>-1/-1</td></tr> </table> | P1\P2 | A | B | A | -3/-3 | 1/3   | B | 3/1   | -1/-1 |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | 5/3   | -3/6  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | -3/5  | 5/-3  |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| P1\P2   | A     | B     |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| A   | -3/-3 | 1/3   |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |
| B   | 3/1   | -1/-1 |   |   |       |       |   |       |       |   |       |   |   |   |       |       |   |       |       |

図 4 Phase2 で使われる利得表

Fig. 4 The payoff used in Phase2

わからない。また、使用する得点表は毎回ランダムに提示される。図 2, 4 にかからわかるように、両者が得点を得られる状況と片方しか得点を得られない状況 (利害が一致しない状況) が存在する。

本実験は実験参加者に実験の仕様や操作になれてもらうため、Phase1 では両者の利害が比較的一致している状況が多く存在する簡単な利得表を使用し、本番の Phase2 では両者の利害が一致しない状況が多く存在する複雑な利得表を使用する。Phase1 から Phase2 への変更点は以下の 3 つである。

- ・利得表を理解しやすくする文章を削除し、利得表も複雑なものに変更
- ・1 ラウンドで 10 回選択の 5 ラウンドに変更 (総試行回数は 50 回で同様)

- ・得点を倍にする (Raise) 機能を追加

## 2.3 実験画面

実験画面 (図 1, 3) についての説明は以下の通りである。

得点 (Point) は両者の選択の結果に応じて入る点数が記載される。

ラウンドスコア (Round Score) はそのラウンド中に獲得した得点の合計が記載される。選択しただけではマイナスになる可能性もある。実験中はラウンドごとにリセットされる。

ラウンド (Round) は現在自分が選択を行った試行数が記載される。Phase1 では 1 ラウンドで 5 回選択してもらうことになっており、合計 10 ラウンド行われる。Phase2 では 1 ラウンドで 10 回選択してもらい、合計 5 ラウンド行われる。画像はどちらも 1 ラウンドの 1 試行目ということを表している。

ラウンドコイン (Round Coin) には、そのラウンド中に獲得したコイン数が記載される。ラウンドの終わりにトータルコインに加算された後、リセットされる。本実験では 5point を 1Coin とし、端数は切り捨てて換算される。

トータルコイン (Total Coin) とは、実験中に獲得したコイン数の合計である。ラウンド終了毎にラウンドコインが加算される。ラウンドコインの数によっては減少するが、表示が 0 以下になることはないように設定されている。

## 2.4 意思疎通手段

実験中の意思疎通手段として、事前に意味づけされていない単音を採用した。音は実験中のどのような場面でも両者ともにゲームパッドのボタンを押すことで鳴らすことが可能である。単音は低音と高音の 2 種類を実装しており、自分の出した音は左から、相手の出した音は右から聞こえる設定である。音は自分の鳴らしたい時間だけ鳴らせるようにするため、ボタンを押している間はずっと出るように設定されている。

## 3. 実験

### 3.1 実験参加者

実験は岐阜大学の学生 16 名 (男性 12 名女性 4 名) の 8 ペアを対象に実験を行った。2 人ペアの実験なので、1 ペアの片方の成績を 1-1、もう片方の成績を 1-2 のように表す。また、協調的な行動をとった実験参加者を C、非協調的な行動をとった実験参加者を N として分類する。

### 3.2 協調、非協調の基準について

協力して行動を選択し、両者の得点の和が最大になるものを協調解と呼ぶ。本実験において、Phase1 では協調解が 1 つしかないものが 4 つ、Phase2 では 5 つ存在する。実験参加者の協調、非協調は、協調解が 1 つしかない状況で協

表 1 Phase1 成績  
Table 1 Phase1result

| No. | タイプ | 主な信号            | メタ信号           | 発生数 | 音使用率 | 協調率  | 正直率  | コイン数 |
|-----|-----|-----------------|----------------|-----|------|------|------|------|
| 1-1 | C   | A:高音 B:低音       |                |     | 100  | 80.6 | 75   | 38   |
| 1-2 | C   | A:高音 B:低音       | 強調             | 1   | 100  | 72.2 | 72.5 | 39   |
| 2-1 | N   | A:高音 B:低音       |                |     | 92.5 | 47.2 | 86.5 | 14   |
| 2-2 | N   | ランダム            | 無              | 0   | 27.5 | 19.4 | -    | 25   |
| 3-1 | C   | A:高音 B:低音       |                |     | 100  | 94.4 | 77.5 | 39   |
| 3-2 | C   | A:高音 B:低音       | 指示, 確認         | 40  | 100  | 94.4 | 87.5 | 41   |
| 4-1 | C   | A:高音 B:低音       |                |     | 100  | 91.7 | 100  | 48   |
| 4-2 | C   | A:高音 B:低音       | 強調, 確認         | 24  | 100  | 97.2 | 97.5 | 38   |
| 5-1 | N   | A:高音 B:低音       |                |     | 95   | 33.3 | 57.5 | 8    |
| 5-2 | N   | ランダム            | 強調             | 30  | 45   | 16.7 | -    | 22   |
| 6-1 | C   | 選択肢の文字数         |                |     | 27.5 | 100  | 100  | 44   |
| 6-2 | C   | A:低音 B:高音       | 無              | 0   | 37.5 | 100  | 100  | 44   |
| 7-1 | C   | A:高音 B:低音       |                |     | 100  | 88.9 | 95   | 43   |
| 7-2 | C   | A:高音 B:低音       | 強調, 訂正         | 4   | 100  | 97.2 | 100  | 40   |
| 8-1 | C   | A:低音 B:高音       |                |     | 100  | 75   | 97.5 | 39   |
| 8-2 | C   | A:高音 1回 B:高音 2回 | 選択の変更要求・選択開始合図 | 11  | 100  | 80.6 | 87.5 | 39   |

調整を選ぼうとした割合が最初の 10 試行を除いた 40 試行を通じて 67%以上の場合を協調 (C), 67%未満の場合を非協調 (N) として判断する。

### 3.3 メタ信号について

A, B どちらを選択するかを戦略と呼ぶ。単純な自分の戦略の伝達を超えて、相手の行動の調整や制御を行う目的を持った信号をメタ信号と定義する。メタ信号の種類、発生数は最初の 10 試行を除いた 40 試行を通じて発生したものをペアごとにカウントする。

### 3.4 実験手順

ステップ 1: 実験内容および操作方法を記述したマニュアルの黙読

実験参加者は行う実験の内容と動作方法を理解する。

ステップ 2: 実験

実験参加者は 50 回の非ゼロ和ゲームを行う。実験中はヘッドホンをしてもらうことで外部の音の遮断し、実験中の音の聞き逃しがないようにする。

ステップ 3: 実験後アンケート

実験参加者はどのように実験を行ったか実験後アンケートに記入する。アンケートは項目 6 から項目 9 のみ 7 段階のリッカード尺度を用いて評価してもらい、それ以外の項目は自由記述してもらう。

## 4. 実験結果

### 4.1 Phase1

Phase1 の実験結果は表 1 のようになった。協調的だったペアと非協調的だったペアに分類し、協調率の平均、音使用率の平均、取得コインの合計の平均をとったものを図 5(a)-図 5(c) に示す。協調率の平均、音使用率の平均、

表 2 アンケート

| 質問番号 | 質問内容                          |
|------|-------------------------------|
| 1    | この実験を行うにおいて、音をどのように使いましたか     |
| 2    | 相手からの音をどのように理解しましたか           |
| 3    | 高得点を得るためにどのような戦略をとりましたか       |
| 4    | 相手はどのような戦略をとっていると感じましたか       |
| 5    | 利得表を倍にする選択を使用した時とその理由を書いてください |
| 6    | あなたは相手とのコミュニケーションに成功したと思いますか  |
| 7    | あなたは相手と協力して実験に取り組みましたか        |
| 8    | 相手は協調的だと感じましたか                |
| 9    | 相手はざる賢いと感じましたか                |
| 10   | 実験を行った感想を自由に書いて下さい            |

表 3 Phase1 アンケート

Table 3 Phase1question

| No. | タイプ | 項目 6 | 項目 7 | 項目 8 | 項目 9 |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 1-1 | C   | 7    | 7    | 7    | 3    |
| 1-2 | C   | 6    | 5    | 5    | 3    |
| 2-1 | N   | 3    | 5    | 2    | 3    |
| 2-2 | N   | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 3-1 | C   | 6    | 7    | 7    | 1    |
| 3-2 | C   | 5    | 6    | 6    | 4    |
| 4-1 | C   | 6    | 7    | 7    | 1    |
| 4-2 | C   | 6    | 7    | 6    | 2    |
| 5-1 | N   | 1    | 4    | 1    | 7    |
| 5-2 | N   | 2    | 1    | 3    | 4    |
| 6-1 | C   | 5    | 5    | 6    | 6    |
| 6-2 | C   | 6    | 5    | 7    | 1    |
| 7-1 | C   | 6    | 5    | 7    | 3    |
| 7-2 | C   | 6    | 6    | 5    | 4    |
| 8-1 | C   | 6    | 5    | 6    | 3    |
| 8-2 | C   | 7    | 6    | 5    | 4    |

取得コイン数の平均について  $t$  検定を行った結果、協調率 ( $t(14) = 7.933, p < .01$ ), コイン数 ( $t(14) = 9.121, p < .01$ ) については有意差が認められた。音使用率 ( $t(14) = 1.276, p = .133$ ) については有意差が見られなかった。これらの検定結果から、協調的なペアは非協調的なペアに比べて、良い成績をおさめていることが言える。

Phase1 ではランダムに選択したときの最終的なコインの期待値は 20 である。協調的なペアの平均取得コイン数は 41 と期待値を大幅に上回っており、意思疎通がかなり成功していることがわかる。他方、非協調的なペアの平均コイン取得数は 17.25 と期待値を下回る結果となり、意思疎通に失敗していることがわかる。

## 4.2 Phase1 アンケート

Phase1 の項目 6-9 のアンケート結果は表 3 のようになった。協調的だったペアと非協調的だったペアに分類し、これらの項目について平均をとったものを図 6(a)-図 6(d) に示す。全ての項目に対して分散分析を行った結果、項目 6 ( $F(1, 14) = 112.388, p < .01$ ), 項目 7 ( $F(1, 14) = 19.4385, p < .01$ ), 項目 8 ( $F(1, 14) = 119.3043, p < .01$ ) については有意差が認められたが、項目 9 ( $F(1, 14) = 0.2727, p = .601$ ) については有意差が認められなかった。このことから、協調的なペアは相手も協調的であり、お互い協力してコミュニケーションに成功したと感じていたことが言える。

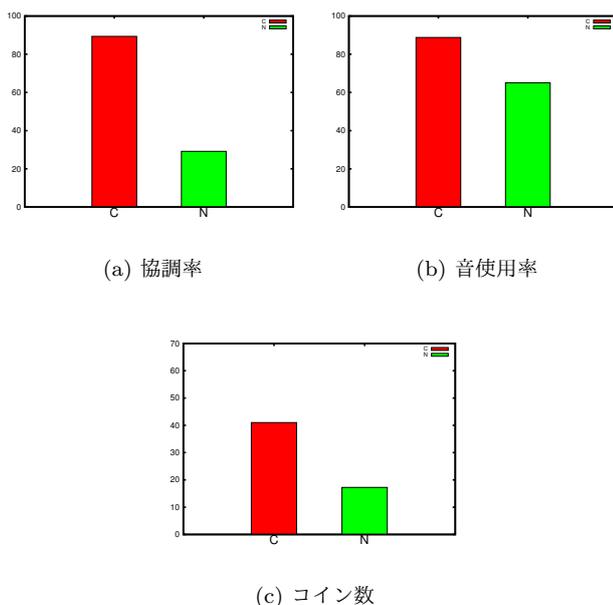


図 5 Phase1:協調ペアと非協調ペアの比較

Fig. 5 Compare of cooperative pairs and non-cooperative pairs the Phase1 experiment

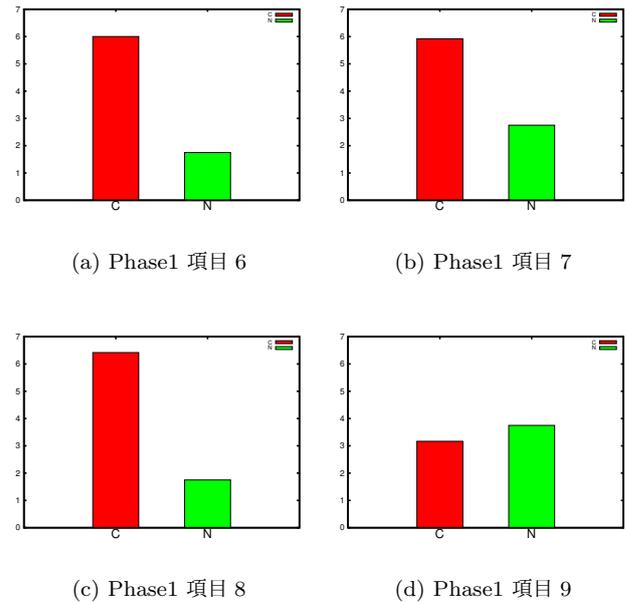


図 6 Phase1 アンケート:協調ペアと非協調ペアの比較

Fig. 6 Compare of cooperative pairs and non-cooperative pairs the Phase1 question

## 4.3 Phase2

Phase2 の実験結果は表 4 のようになった。協調的だったペアと非協調的だったペアについて協調率の平均、正直率の平均、音使用率の平均、Raise 率の平均、取得コインの合計の平均をとったものを図 7(a)-図 7(e) に示す。正直率は自分が設定した音に対する選択の一致率、Raise 率は実験中に得点を倍にした割合である。これらの項目について  $t$  検定を行った結果、協調率 ( $t(14) = 4.317, p < .01$ ), コイン数 ( $t(14) = 6.851, p < .01$ ) については 1% 有意が、正直率 ( $t(14) = 2.283, p = .022$ ) については 5% 有意が認められた。音使用率 ( $t(14) = 1.152, p = .134$ ) と Raise 率 ( $t(14) = 1.173, p = .130$ ) については有意差が見られなかった。これらの検定結果から、協調的なペアは非協調的なペアに比べて音を正直に使用し、良い成績をおさめていることが言える。また、非協調的なペアは音を騙しに使用していることが言える。Raise 率に有意差が出なかった理由としては、協調的なペアはどちらかにとってマイナスが大きいときは得点を倍にしなかったのに対し、非協調的なペアは、少しでも利益を高くするために全部の試行で倍にするようなペアが存在したためだと考えられる。このことは、協調的なペアの Raise 率が最大値: 92.5%, 最低値 67.5% と集まっているのに対し、非協調的なペアは最大値: 100%, 最低値: 5% とばらつきが大きいことから推測できる。

Phase2 ではランダムに選択したときの最終的なコインの期待値は 0 である。協調的なペアは平均取得コイン数は 58.5 と期待値を大幅に上回っており、Phase2 でも意思疎通がかなり成功していることがわかる。他方、非協調的な

表 4 Phase2 成績  
Table 4 Phase2 result

| No. | タイプ | 主な信号              | メタ信号           | 発生数 | 音使用率 | 協調率 | 正直率  | Raise 率 | コイン数 |
|-----|-----|-------------------|----------------|-----|------|-----|------|---------|------|
| 1-1 | C   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 80  | 82.5 | 70      | 50   |
| 1-2 | C   | A:高音 B:低音         | 抗議・強調          | 25  | 100  | 90  | 92.5 | 67.5    | 46   |
| 2-1 | N   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 55  | 92.5 | 85      | 5    |
| 2-2 | N   | A:高音 B:低音         | 抗議・強調・騙しの伝達    | 35  | 100  | 45  | 77.5 | 100     | 27   |
| 3-1 | C   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 100 | 95   | 82.5    | 65   |
| 3-2 | C   | A:高音 B:低音         | 選択の指示・確認       | 40  | 100  | 100 | 92.5 | 87.5    | 69   |
| 4-1 | C   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 85  | 97.5 | 92.5    | 66   |
| 4-2 | C   | A:高音 B:低音         | 強調・確認          | 22  | 97.5 | 100 | 100  | 87.5    | 55   |
| 5-1 | N   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 50  | 67.5 | 77.5    | 0    |
| 5-2 | N   | A:高音 B:低音         | 強調             | 39  | 95   | 10  | 87.2 | 87.5    | 6    |
| 6-1 | C   | A:低音 B:高音         |                |     | 100  | 95  | 97.5 | 70      | 60   |
| 6-2 | C   | A:低音 B:高音         | 強調・確認          | 5   | 100  | 100 | 100  | 80      | 57   |
| 7-1 | N   | A:高音 B:低音         |                |     | 100  | 65  | 80   | 22.5    | 42   |
| 7-2 | C   | A:高音 B:低音         | 強調             | 18  | 100  | 90  | 97.5 | 5       | 4    |
| 8-1 | N   | A:低音 B:高音         |                |     | 100  | 65  | 97.5 | 57.5    | 30   |
| 8-2 | C   | A:高音 1 回 B:高音 2 回 | 選択の変更要求・選択開始合図 | 24  | 87.5 | 70  | 80   | 85      | 20   |

表 5 Phase2 アンケート

Table 5 Phase2 question

| No. | タイプ | 項目 6 | 項目 7 | 項目 8 | 項目 9 |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 1-1 | C   | 6    | 6    | 5    | 5    |
| 1-2 | C   | 6    | 6    | 5    | 7    |
| 2-1 | N   | 4    | 5    | 2    | 3    |
| 2-2 | N   | 6    | 5    | 4    | 5    |
| 3-1 | C   | 7    | 7    | 7    | 1    |
| 3-2 | C   | 6    | 6    | 7    | 3    |
| 4-1 | C   | 7    | 7    | 7    | 1    |
| 4-2 | C   | 6    | 7    | 6    | 2    |
| 5-1 | N   | 2    | 2    | 1    | 7    |
| 5-2 | N   | 5    | 4    | 5    | 3    |
| 6-1 | C   | 7    | 6    | 6    | 3    |
| 6-2 | C   | 6    | 6    | 6    | 2    |
| 7-1 | N   | 5    | 3    | 5    | 4    |
| 7-2 | C   | 4    | 5    | 4    | 4    |
| 8-1 | N   | 6    | 4    | 5    | 4    |
| 8-2 | C   | 5    | 4    | 6    | 5    |

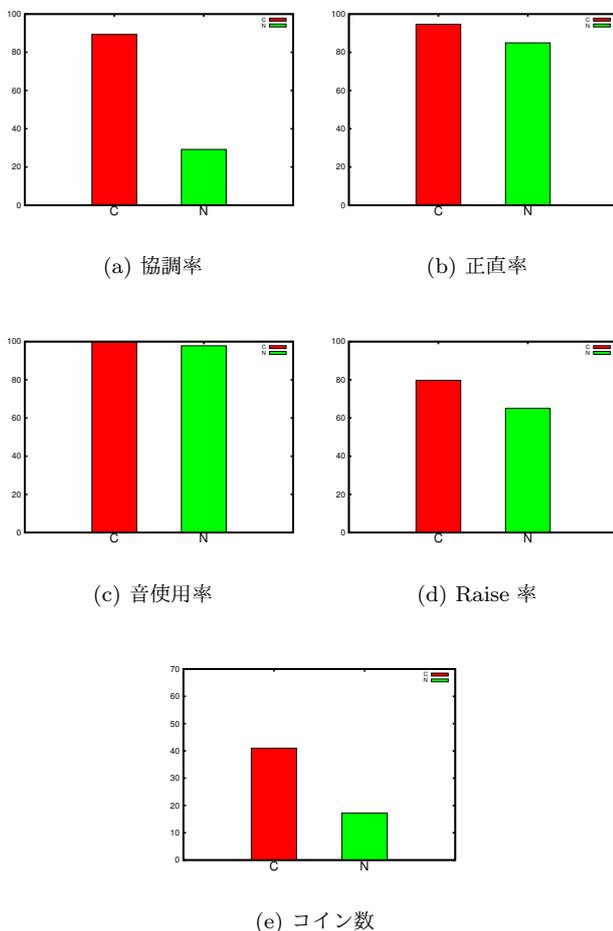


図 7 Phase2:協調ペアと非協調ペアの比較

Fig. 7 Compare of cooperative pairs and non-cooperative pairs the Phase1 experiment

ペアの平均コイン取得数は 16.75 と期待値を上回っており、協調的なペアほどではないが、ある程度の意思疎通が成功していたことがわかる。

#### 4.4 Phase2 アンケート

Phase2 項目 6-9 のアンケート結果は表 5 のようになった。協調的だったペアと非協調的だったペアに分類し、これらの項目について平均をとったものを図 8(a)-図 8(d) に示す。すべての項目に対して分散分析を行った結果、項目 6( $F(1, 14) = 12.4727, p < .01$ ), 項目 7( $F(1, 14) = 31.9873, p < .01$ ), 項目 8( $F(1, 14) = 10.1658, p < .01$ ) については有意差が認められたが、項目 9( $F(1, 14) = 2.5284, p = .134$ ) については有意差が認められなかった。このことから、Phase1 と同様に協調的なペアは相手も協調的であり、お互い協力してコミュニケーションに成功したと感じていたことが言える。また、項目 9 で有意差が見られなかった原因として、協調ペアの 1 部では最後の試行で相手を裏切るという行為が見られ、そのため評価にばらつきがでてしまったためだと考えられる。

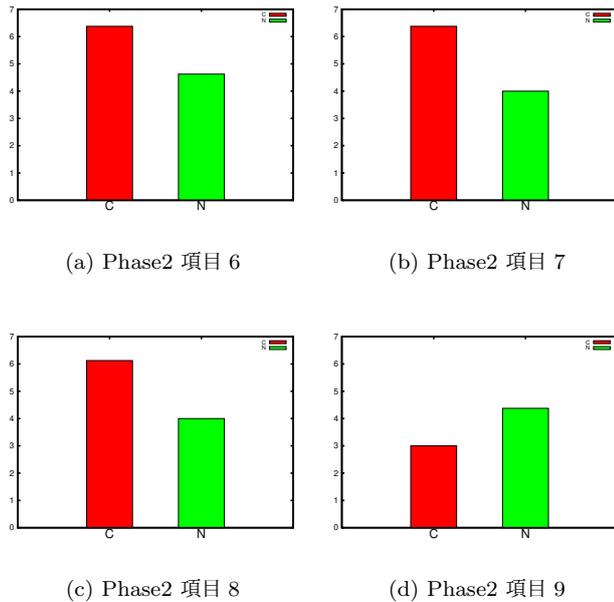


図 8 Phase2 アンケート:協調ペアと非協調ペアの比較

Fig. 8 Compare of cooperative pairs and non-cooperative pairs the Phase2 question

#### 4.5 メタ信号

本実験では、選択を伝える信号以外に、強調、確認、抗議、指示、選択開始合図、変更要求といったメタ信号が確認された。

強調とは、自分が選ぶ選択肢に対応する音を3回以上鳴らしているもの、実験参加者が使用している音の中で明らかに鳴らしている時間が長いものである。

確認とは、お互いが選ぶ選択肢に対応する音を鳴らした後、お互いがまた選択肢を変更しないで伝えたものである。

抗議とは、お互いの選択が終わって結果画面が表示されたときに、強調と定義した信号を鳴らしたものである。

指示とは、自分が選択する選択肢に対応する音を伝えるときに、相手に選択してほしい選択肢に対応する音も鳴らしたものである。

選択開始合図、変更要求とは、選択前に選択肢に対応しない音を鳴らしたものを、相手の選択に対して選択肢に対応しない音を鳴らしたものである。

これらのメタ信号をペア内でカウントし、Phase1で発生したメタ信号の平均とPhase2で発生したメタ信号の平均についてt検定を行った結果、5%有意が認められた( $p = .049$ )。このことからPhase1に比べてPhase2ではメタ信号が多く発生していることが言える。また、Phase1では協調的なペアのメタ信号発生割合:33.3%、非協調的なペアのメタ信号発生割合:37.5%と差があまり見られなかったが、Phase2では協調的なペアのメタ信号発生割合:57.5%、非協調的なペアのメタ信号発生割合:72.5%とある程度の差が確認された。

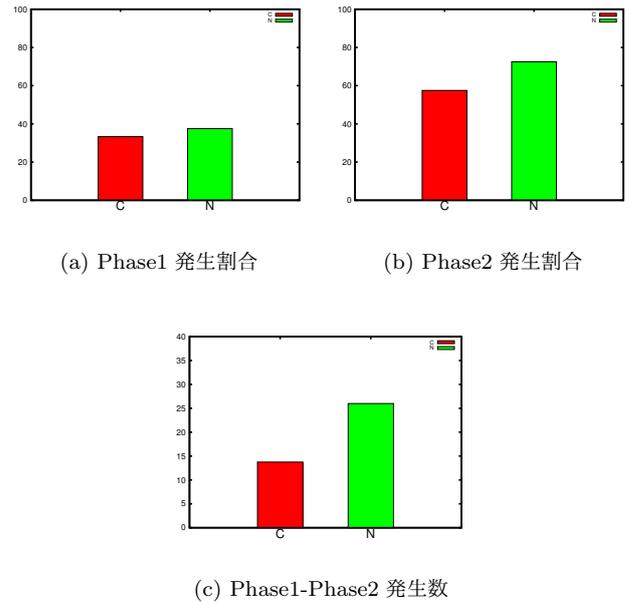


図 9 メタ信号の発生数比較

Fig. 9 The number of generation comparison of a meta signal

#### 5. 考察

ランダムに選択したときの期待値と、実際の成績の観点から見ると、協調ペアについてはPhase1, 2ともに意思疎通にかなり成功したと考えられる。非協調ペアについてはPhase1では意思疎通に失敗しているが、Phase2では一定の意思疎通の成功したと考えられる。この理由として、4.5で行った検定から明らかである「Phase2を行うにあたりメタ信号が多く発生した」ということから説明できるのではないかと考えられる。つまり、メタ信号をもちいて相手の行動の調整・制御を行うことで、ある程度の意思疎通を実現させていたのではないかと考えられる。すなわち、メタ信号には非ゼロ和状況での意思疎通を調整・制御する役割があると考えられる。

また、メタ信号が増加した別の要因として、非ゼロ和な状況が増加したことで相手を同定する必要が生まれたのではないかと考える。つまり、メタ信号によって相手が協調的かどうかを推定し、協調的でない場合にはメタ信号を用いて相手を協調的にしようとしたのではないかと考えられる。このことは、Phase2において、Nのメタ信号の発生割合の平均が72.5%だったことに対し、Cのメタ信号の発生割合の平均が57.5%とNのほうが15%上回っていることから推測できる。また、協調的なペアでもメタ信号を使用していることから、相手が協調的な場合でも、メタ信号を使用することで今後も協調的に行動することの確認(非協調的になることの防止)を行っていたのではないかと考えられる。

発生したメタ信号はコミュニケーションにおいて、いず

れも一定レベルのパフォーマンスの向上をもたらしたが、全ての信号が大幅なパフォーマンスの向上をもたらしたわけではなかった。強調、抗議といった信号は、相手が協調的などきは選択の変更による利害調節を生み出していたのに対し、相手が非協調的などきは相手を騙すことに用いられていた。しかしながら、確認・指示といった信号は協調的なペアでのみ確立され、確立されたペアは高い成績を獲得した。これらのことから、相手との会話が必要にならないようなメタ信号(強調、抗議)はパフォーマンスを劇的には改善しないが、相手との会話が必要となるようなメタ信号(確認、指示)はパフォーマンスをより向上させる効果があると考えられる。さらに、このようなメタ信号が発生したペア(表4のペア3, 4, 6)の騙し率も低いことから、騙しの抑制、関係の改善効果を生み出しているのではないかと考えられる。

こうした結果から考察すると、メタ信号の役割としては以下の3点のような効果があると考えられる

- ・メタ信号によって相手を同定することで相手の方針を判断し、相手を完全に信頼できない状況下でのコミュニケーションの能力を向上させる。
- ・協調的なペアにおいては、より安定した協調が可能になる。
- ・戦略的互惠性を追求するペアでは、騙し、相手の行動を制御する手段として利用しつつ、全面的な対立関係に陥ることを防ぐ。

しかしながら、表4のペア5の成績からわかるように、お互いが完全に敵対関係になってしまうとメタ信号は多用されても状況を改善することはできず、「互惠」という意味での協調も困難になると考えられる。

## 6. まとめ

本実験では、Phase1では実験に慣れてもらう、Phase2ではPhase1で確立したコミュニケーション方法を用いて意思疎通を図ってもらうという目的から2段階のPhaseを設定した。その中で発生したメタ信号に注目し、非ゼロ和状況でのコミュニケーションにおける役割を調査した。その結果、メタ信号には非ゼロ和環境でのコミュニケーションを制御・調整する役割が観測された。また、相手が協調的、非協調的にかかわらず、成績がランダムに選択するよりも高かったことから、メタ信号は相手によらず一定の効果があることが示された。

さらに、Phase1からPhase2に移行するに当たり、騙しを行う実験参加者が増加しただけでなく、ペア7, 8のように非協調的な行動をするようになった実験参加者も観測された。これらのことから、騙しを行うということ、非協調的になることの要因として「自分だけが大きく得できること」という要因がある可能性が示唆された。

今後の課題としては、非ゼロ和な状況において協調的な

人間が非協調的になる要因や騙しを行う要因を調査することである。そして、日常生活では行えている非ゼロ和な状況下での戦略的互惠性を生み出しているような、非協調な相手との関係とのコミュニケーションを行えるようにすることである。

## 参考文献

- [1] Baron-Cohen, S, *Mindblindness*, 1996, The MIT Press.
- [2] Denett, D. C., *Kinds of Minds*, 1996, Basic Books.
- [3] Sperber, D. and Wilson, D.: *Relevance: Communication and Cognition*, 1986, Oxford, Basil Blackwell.
- [4] Galantucci, B., An experimental study of the emergence of human communication systems, *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, Vol. 29, 2005, pp 737-767.
- [5] J. de Ruiter, M. Noordzij, S. Newman-Norlund, R. Newman-Norlund, Pe. Hagoort, S. Levinson, I Toni, Exploring the cognitive infrastructure of communication, *Interaction Studies*, Vol.11. 2010, pp 51-77.
- [6] Scott-Phillips, Thomas C., Kirby, Simon, and Ritchie, Graham R.S., Signalling signalhood and the emergence of communication, *Cognition* 113, 2009, pp.226233.
- [7] Ito, A. and Terada, K. ;The Sharing of Meanings of Signals Through Limited Media in Two-player Games, 0th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-man2011), Atlanta, 2011.
- [8] S.Mitri, D. Floreano and L. Keller, The Evolution of Information Suppression in Communicating Robots with Conflicting Interests, *PNAS*, 2009, pp.15786-15790.
- [9] 佐藤 尚, 内部 英治, 銅谷 賢治, 強化学習エージェントによる協調行動とコミュニケーションの創発, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, 2007, 55-67,
- [10] Rachel Croson, Terry Boles, J. Keith Murnighan, Cheap talk in bargaining experiments: lying and Threats in Ultimatum Games, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2003, vol.51, 143-159.