

共有言語の存在しない状況下でのコミュニケーション確立過程の 分析— 協調型二人ゲームを用いて The Sharing of Meanings of Signals Through Limited Media in Two-player Games

伊藤 昭[†] 山下祥弘[†] 寺田和憲[†]
Akira Ito, Yoshihiro Yamashita, Kazunori Terada

[†] 岐阜大学工学部
Faculty of Engineering, Gifu University
ai@info.gifu-u.ac.jp

Abstract

How can humans come to share the meaning of signals when only very limited media are available and there are no pre-defined meanings to signals? To answer the above question, we designed two-player games, which require the players' cooperation to play. The only communication means are to send color (hue) signals in one game, or monotonic sound signals in another. The player must assign a necessary meaning to an available signal, and send it to the partner. The partner must infer its meaning (sender's intention) and act cooperatively. Using these games, the process of sharing the meaning of signals is investigated, and some interesting common features are found. The process is based on mind-reading of the partner's intention, which is a key ability for any types of human communication. The mechanism is analyzed in the relevance theory framework. Our findings can be used for improving human-agent communication where no pre-defined languages are available.

Keywords — Emergence of Communication, Sharing of Meanings

1. はじめに

共通の言葉を持たない状況で、人はどのようにしてコミュニケーションを確立するのだろうか。予め意味を付与されていない信号にどのように意味を付与し、記号を共有化するのだろうか。様々な言語、文化の異なる人同士、さらには人と機械(ロボット)とのコミュニケーションが現実味を帯びてくる中で、このようなコミュニケーションの創発、確立過程に研究者の関心が集まっている。

人の言語獲得には、生得的色彩の強い「言語(文法)処理能力」、もう一つは「心の理論」に代表される「心を読む」能力が必要であると言われている[1][2]。幼児が成長の過程でこれらの能力をどのように獲得するのかが興味ある課題であるが、

解明は簡単ではない。ここで扱うのは、既に言語によるコミュニケーション能力を身につけているが、共有言語の存在しない2者間での「コミュニケーション確立過程」である。したがって、研究の興味は、成人が持つ文法処理能力、「心を読む」能力が、コミュニケーションの確立にどのように関わるのかという点になる。

著者らは人と機械とのコミュニケーションへの応用を念頭に、「心を読む」ことによるコミュニケーション創発のメカニズムの研究を行っている。しかしながら、人が日常用いている様々な言語、非言語媒体は長い進化の過程で高度に洗練化され、また言語能力とも複雑に絡み合っているため、そこから「心を読む」能力を純粋な形で抽出するのは困難である。そこで著者らは、人工的なコミュニケーション媒体のみを用いて、予め共有言語を持たない状況から、人がどのようにコミュニケーションを確立するのかを観察したいと考え、そのテストベッドとして協調型二人ゲームを開発し、被験者の行動を観察分析した。

コミュニケーションの創発の研究の歴史を見ると、人工生命的アプローチではWernerら[3]の先駆的研究、また実際のロボットを用いたSteelsら[4]の研究がある。またMitriら[5]は、ゲーム理論的/利害の対立する状況下でのコミュニケーションの創発を扱っている。

人同士でのコミュニケーションの確立過程については、ストローク情報を用いたGalantucci[6]らの研究がある。De Ruiterらは、行動により「意図」を伝達することを目的とした課題を取り上げている。しかしながら両者とも、伝達される情報は、前者ではある種の象形文字、後者では身振りのように信号の意味が信号の形態から推測されるものであった。

今回の我々の研究も、人同士のコミュニケーション確立過程の研究であるが、これまでの研究との主要な違いは、次の点にある。

信号の形態と意味との独立性：信号の形態から意

味を推測することが困難、または不適切な色相、または単音といった抽象的信号を用いる。

課題とコミュニケーションの独立性：被験者に課された課題はゲームをクリアすることで、コミュニケーションはその手段でしかない。したがって、相手の信号の「正しい意味」は課題遂行の中で開示されることはなく、相手の反応から推測することしかできない。

人と人工物のインターフェースデザインへの応用は、鴨田らの「コンコン」インターフェース[8]がある。我々の研究は、そのような新しいインターフェースへ向けての人の行動モデルの研究でもある。

2. 司令官と見張り番ゲーム

2.1 ゲームの概要

司令官と見張り番ゲーム(Commander and Sentinel Game, CS Game)は、司令官と見張り番が協力して、風船爆弾の浮遊しているダンジョンの中を飛行艇を操作してゴールを目指すものである。この時司令官は飛行艇を操作できるが、風船爆弾は見えない。一方見張り番には風船爆弾は見えるが、飛行艇を直接操作することはできない。見張り番は司令官へ、事前に意味の取り決めのない色相信号を送信することができる。司令官の行動は飛行艇の動きとして見張り番に伝達される。風船爆弾が飛行艇を発見する(一定距離の範囲に入る)と飛行艇の方向に向かって移動を開始し、飛行艇または壁に衝突して爆発するまで動きつづける。見張り番の操作画面を図1に示す。司令官の操作画面は風船爆弾が表示されないこと、条件を満たせばゴールが表示されることを除いて見張り番と同一である。

見張り番はジョイスティックの方向キーを用いて、右上の色相環のバーを回転させることで、司令官へ送信する色相信号の選択を行う。また送信ボタンを用いて色相信号のOn/Offを行う。送信された色相信号は、飛行艇のヘッドライトの色として表示される。色相環と各色の名前を図2に示す。

司令官は、ジョイスティックの方向キーを用いて、飛行艇を方向転換させたり、上下左右に移動させることができる。また方向キーと同時に加速ボタンを押すことで高速な移動も可能である。ゲームには危機的な状況に対処するためのポーズ機能が備わっており、停止(ポーズ)ボタンを押すことで、飛行艇と風船爆弾を同時に停止させることができる。停止時には、司令官は飛行艇を移動できないが方向転換することができる。また見張り番は色相信号を用いて情報を伝達することができる。

ゲームの目的は、できるだけ高いゲーム点でゴールに到達することである。ゲーム点は最初0点から出発し、2秒毎に1点減点される。飛行艇が風船爆弾に衝突すると200点減点され、スタート地点に戻される。一方、風船爆弾を(初めて)壁に衝突させると、100点の得点を得る。爆発した風船爆弾は元の場所に再生するが、再び爆発させてもそれ以上得点できない。プラスの得点でないとゴールが表示されず、飛行艇をゴールさせることはできない。飛行艇と風船爆弾の衝突で累積の減点が大きくなり、残りの爆弾を全て破壊してもプラス得点になり得ないと判断されるとゲームオーバーとなる。

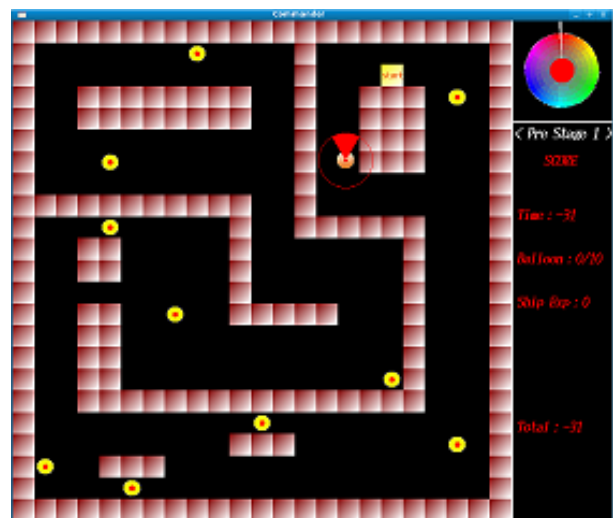


図1 見張り番の操作画面：黄色の円は風船爆弾、赤い円弧のある黄色の円は飛行艇

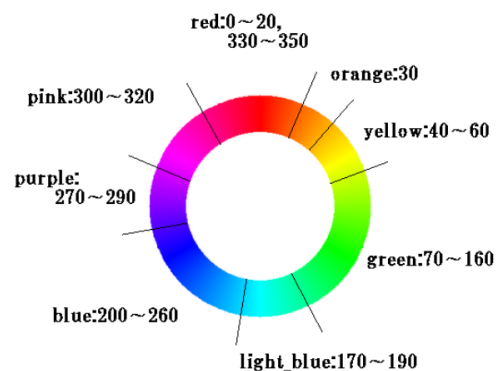


図2 色相環と各色の名前

2.2 実験

被験者プレーヤは別々の部屋に導かれ、ゲームの説明マニュアルを見たあと、PC上の操作画面を

Group	No.	意味の共有された信号	ステージ点	ゲーム点
A	9	安全(青), 危険(赤), ストップ(緑)	3	1732
	10	進行方向(色相バー), 急げ(点滅), ストップ(黒)	3	1276
	8	安全(青), 危険(赤), 急げ(点滅)	2	777
	1	安全(青), 危険(赤), ストップ(色変化)	2	710
	5	安全(青), 危険(赤), 注意(緑), 急げ(点滅)	2	369
B	3	危険(赤), 強調(点滅)	1.5	354
	4	安全(青), 危険(赤), 急げ(点滅)	1	0
C	2	安全(青), 危険(赤), 注意(黄), 強調(点滅)	0.5	0
	6	爆弾位置(色相バー), 距離(点滅速度)(注)	0.5	0
	7	安全(青), 危険(赤), 急げ(点滅)	0	0

表1 意味の共有が確認された信号とゲームの成績:(注)停止時:安全(緑), 危険(赤)

見ながらジョイスティックによりゲームをプレイする。実験は、以下のような2つの練習ステージpr1, pr2と、3つの本番ステージs1, s2, s3からなる。

pr1: 練習ステージ1。

pr2: 練習ステージ2。pr1と司令官, 見張り番の役割を交代して行う。

s1, s2, s3: 本番ステージ1, 2, 3。pr1の時と同じ役割に戻す。番号順に難易度が増加する。

各ステージとも、クリアするまで、または15分間経過するまで同じステージを繰り返す。各ステージの終了後、被験者は用いられた信号とその意味を含むアンケートに回答する。全実験時間は、アンケートを含めて2時間弱である。被験者には本番ステージの各一回目の得点に応じて報酬が支払われる。

実験は10組の男子学生ペアで行われた。ペアの間で意味の共有が確認できた信号を表1に示す。ステージ点は、ステージを1回目でクリアすると1点、2回目でクリアすると0.5点とし、本番3ステージについての得点の和である。各ペアを、ステージ点によって、A(≥ 2), B(≥ 1), Cにグループ分けした。ゲーム点は、報酬の基準となる本番ステージ1回目の得点の和である。

多くのペアは「赤/危険, 青/安全」という単純な信号から出発したが、複雑な場面ではこれだけで飛行艇を正しく制御するのは難しく、危険, 急げなどの新たな信号が追加されて行った。また赤/青を危険/安全と理解するのではなく、停止/前進と解釈するような変化も見られた。これは信号の意味が変化したという解釈以外に、行動決定の主導権が司令官から見張り番に移行したとも理解できるため、表1では区別されていない。

色相環のバーを用いて、ペア10では進行方向を、ペア6では風船爆弾の方向を、伝達しようと試み

ている。同じようなアイデアにもかかわらず大きな成績の差が生じたのは、爆弾位置を伝達するよりも、行動を指令する方が多くの場面では有利だからと思われる。これは、安全・危険から前進・停止への解釈の変化と同じ理由である。

実験の途中では、様々な異なる記号/意味の組み合わせが出現した。しかしながら、多くの信号は共有されることなく消滅し、最終的には表のように比較的少数の信号の使用に収束している。赤, 青以外で多くのペアに共通に見られた信号は「点滅/急げ」である。これは「点滅」が信号に対して「副詞」的に使えることによるものと思われる。

ゲームの成績を大きく分けたのは、「ストップ」信号、すなわち見張り番から司令官への「ストップボタンを押せ」という信号の共有である。ストップ(ポーズ)の機能は、一時停止をすることで操作に余裕を与えるだけではなく、情報交換をする時間的余裕を与えてくれる。しかしながら、被験者にはこの機能に関して機械的機能のみ説明し、情報交換を促すような教示は一切行っていない。したがって「ストップボタンを押せ」という信号を生成、共有するためには危機的な状況での情報交換の必要性の認識と、そのような状況を見張り番が判断すべきであるということの認識の共有ができていのかどうかが決め手となる。実際、成績Aグループのペア9, 10, 1では、様々な方法でこの信号の共有を実現して、その結果好成績を上げている。以下では、ペア9を例にこの信号の共有プロセスを説明する。

ペア9の各プレイでの色相信号と行動の統計を図3に示す。上は見張り番からの色相信号、下は司令官の行動である。forward/turn/stayは前進/方向転換/停止を、また()内のaccel/stopは加速ボタン/ストップボタンを押しながらの操作を意味す

る。横軸の p_{ij} はプレステージ i の j 番目の、また s_{ij} は本番ステージ i の j 番目のプレイを意味する。

p13で初めて「ストップ」を意味する緑信号が見張り番によって使われている。p14では司令官により初めてその意図が認識され、ストップボタンが押されるようになる。役割交代後のp21では緑信号は使われていないが、次のp22からは再び緑信号が使われるようになる。これは再度役割交代をした本番ステージでも使われ続け、その結果全てのステージを1回でクリアしている。s2, s3と進みつれて緑信号がだんだんと使われなくなったのは、司令官が先読みをして早めにストップ操作をするようになったためである。

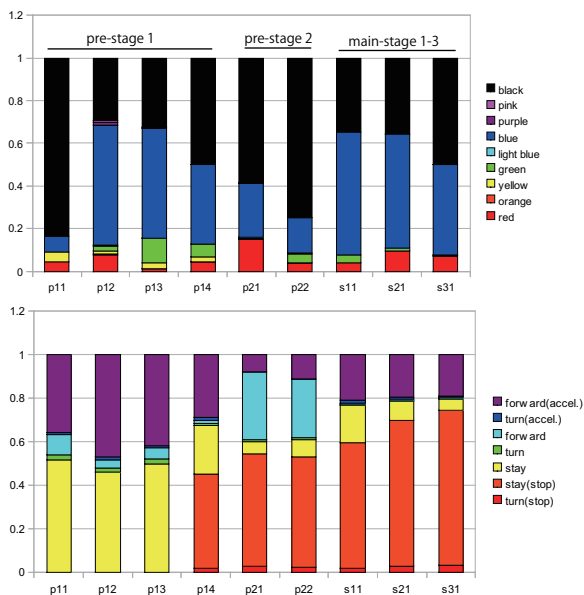


図3 ペア9の色相信号と行動統計。上：見張り番からの色相信号，下：司令官の行動

3. 三角迷路ゲーム

3.1 ゲームの概要

三角迷路ゲーム (Triangle Dungeon Game, TD Game) は、三角形の部屋が連続する迷路のなかで、二人の対等なプレイヤーが指定された条件で出会うことを目的とする協力ゲームである。指定された条件は次の通りである。

- ステージ1：任意の部屋で出会う。
- ステージ2：各自が自分のアイテムを取得後、任意の部屋で出会う。
- ステージ3：各自が自分のアイテムを取得後、ゴールで出会う。

ステージ2, 3では、アイテムを片方でも未取得の状態に出会うとゲームオーバーとなる。した

がって、アイテムの取得を相手に知らせることは必須の機能となる。

両プレイヤーは、隣室への移動を1歩(ステップ)として、指定された歩数以内で上記目的を達成する必要がある。各ステージの上限ステップ数は、ステージ1, 2, 3ではそれぞれ5, 20, 25ステップである。上限ステップ数と実際に要したステップ数の差(の両プレイヤーの和)がゲームの得点となる。

ゲームの操作画面を図4に示す。迷路内の各部屋は独自の色(色名は右上に表示)によって区別される。プレイヤーが部屋に入ると灯りが点灯し部屋の色が表示される。隣室の部屋の色は、ドアに隣接する半円の色として表示される。プレイヤーはボタン操作で明かりを消すことができるが、新たに部屋に入り直す以外、再び点灯することはできない。

プレイヤーは単音信号(正弦波)を他プレイヤーに送信することができる。送信された音は他プレイヤーまでの距離に応じて3段階の音の大きさと伝達される。具体的には、隣接した部屋では最大音、一つ部屋を挟んで隣接している時には中間音、それ以外は最小音であるが、プレイヤーには音の大きさが距離に応じて異なるのみ教示される。自分の発した音も聞こえるが、自分の発した音(300Hz)と、他のプレイヤーの発した音(400Hz)とは周波数が異なるため、容易に聞き分けることができる。

プレイヤーはジョイスティックの方向キーで部屋の移動を、またボタンを押すことで音信号を発信することができる。自分のアイテムはアイテム取得ボタンを押すことで取得できるが、相手のアイテムは取得できない。

迷路は位相的には正二十面体の各面で構成されているのだが、この情報はプレイヤーには開示されない。実験後のアンケートでも、迷路が二十面体の面からなっていることに気づいたものはいない。各プレイヤーの出発位置、ゴール、自分の/相手のアイテムの位置はプレイ毎に(それぞれが重ならないように配慮した上で)毎回ランダムに配置される。

3.2 実験

被験者は、相互に隔離された部屋に導かれ、ゲームの説明のマニュアルを読んだあと、PCの操作画面を通してゲームをプレイする。ステージ1, ステージ2は練習ステージであり、直近の10プレイ中8プレイをクリアするか、15分経過するかで次のステージに進む。ステージ3は評価ステージであり、成績に関わらず10プレイが行われる。被験

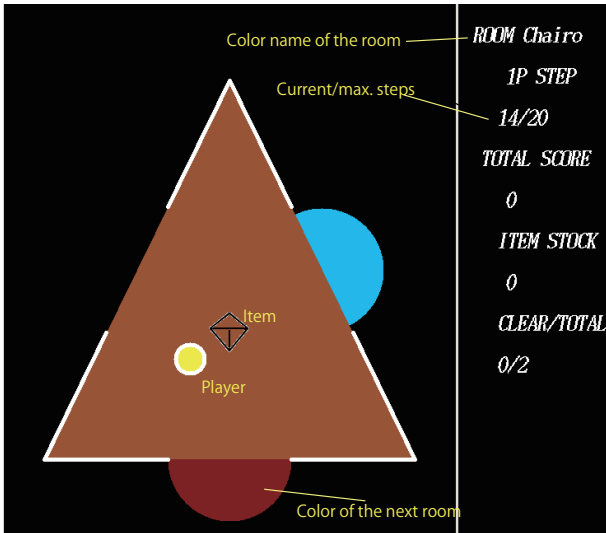


図4 三角迷路ゲーム操作画面

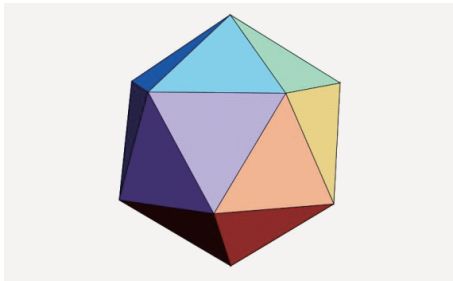


図5 正二十面体：迷路は正二十面の三角面から構成されている。

者には、ステージ3の得点に応じて報酬が支払われる。

被験者は、友人の学生同士5組である。各ステージの後に、信号の意味の認識を含むアンケートを行った。実験に要した時間は、実験後のアンケートを合わせて2時間弱であった。

観測されたコミュニケーション戦略と行動戦略を表2に示す。戦略名の はコミュニケーション戦略、 は行動戦略である。各戦略はそれが現れた最初のステージにのみ記載されている。たとえば「相手からの音に音を返す」は全ステージで一貫して観測されるが、ステージ1にのみ記載されている。

各ペアの番号1-5の下の はその信号がそのペアで共有されたことを、 は一方のプレーヤに使われたことを、×は最初は使われたがその後使われなくなったことを示す。ペア1とペア5とが成績が良いが、現在のところ採用された戦略と得点の間に強い相関は見出せていない。

次に全ペアで共有が実現したコミュニケーション戦略について、どのような音信号が使われたのかを表3に示す。ほとんどのペアで、相手との位置関係を確認するために、一番単純な音信号である

単音が使われている。

自分のアイテムの取得を知らせるためには、単音の次に簡単な信号ということで、短音2回、長音、リズム音など様々なものが用いられている。最後にゴールに到達すると、多くのペアで単音の繰り返しが使われている。

表2表3に現れる信号が各ペア間で比較的良く一致していることを考えると、タスクが容易過ぎたのかもしれない。当初、単音信号だけで意思疎通をするのはもう少し難しいものだという思い込みが我々にはあったようである。

ペア1のステージ3での行動系列の例を図6に示す。横軸は時間 t で単位はフレーム(=30msec)である。最初は両者とも、位置確認のため単音を交互に送っているが、 $t = 10200$ 付近でBがアイテムを入手、2回の短音を送り始める。同じくAも $t = 10350$ 付近でアイテムを取得、交互に2回の繰り返し短音を送り合う。 $t = 11170$ でBはゴールに到着、音を短音3回に切り替えるとともに、その場で待機する。最後に $t = 11550$ でAがゴールに到達してゲームクリアとなる。

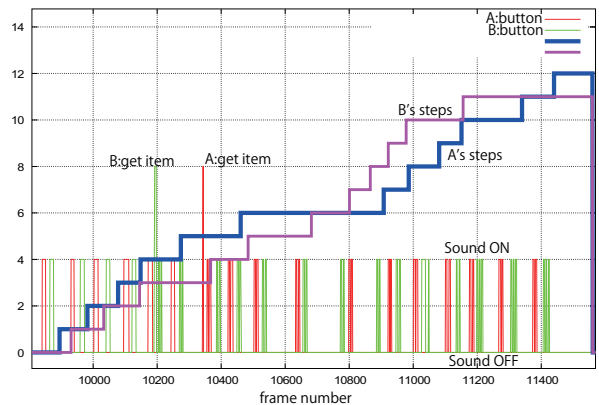


図6 ステージ3での行動系列の例

4. 考察

司令官と見張り番ゲームは、スピードが要求されるアクションゲームである。一方三角迷路ゲームは、思考力が必要とされるパズルゲームである。また、コミュニケーションの媒体も、一方では色相信号であり、他方では単音信号である。このように二つのゲームは、見かけは大きく異なっている。

しかしながら、二つのゲームは共通の特徴を持っている。両者とも良い成績を取るためには、他のプレーヤと協調して行動せねばならない。そのため、プレーヤは目的だけではなく、行動戦略、現在の状況などリアルタイムの情報を共有しなければならない。しかしながら、情報共有のための

	:コミュニケーション戦略 :行動戦略	1	2	3	4	5
ステージ 1	相手からの音に音を返す 歩数限界で音を送信して停止 一方が相手を探索し，もう一方が待機					
ステージ 2	相手のアイテム見つけたら灯りを消す 相手のアイテムを見つけたら音を送信 自分のアイテムを取ったら音を送信 相手と隣り合ったとき灯りを消す アイテム取得まで無点灯の部屋を優先探索 アイテム取得後相手のアイテム取得まで待機 アイテム取得後相手のアイテムの隣で待機		×		×	×
ステージ 3	アイテム未取得でゴールを見つけたら音を送信 アイテム取得後にゴールに着いたら音を送信 アイテム取得後ゴールに向かう			×		
	ステージ 3 のクリア回数	6	3	3	4	7
	ステージ 3 の総得点	149	71	78	109	187

表 2 観測されたコミュニケーション戦略と行動戦略

	相手との距離の確認	自分のアイテム取得を知らせる	アイテムを獲得し，ゴールで待機
1 組	短音(交互)	短音を 2 回	短音を 3 回
2 組	短音(交互)	長音	短音繰り返し
3 組	短音/長音(交互)	お互い違うリズムの音	短音繰り返し
4 組	短音(交互)	長音	短音繰り返し
5 組	短音(交互)	短音回数	短音繰り返し

表 3 各組で確立した音信号

コミュニケーション媒体が制限され，さらにそこで予め定められた記号の意味というものはない。プレーヤは，ゲームを進める中で必要になれば，利用可能な信号に意味を割り当て，その意味を共有していかななくてはならない。

4.1 意図明示推論的伝達

明らかに，予め意味の取り決めのない信号では，意味のある情報を運ぶことはできない。では，そのような信号を用いて，どのようにコミュニケーションを実現すればよいのか。我々は，Sperber & Wilson の提案する関連性理論[9] の枠組みを用いてこれを説明することとする。

もし信号に予め決められた意味がなければ，その信号は情報意図(=送り手が伝達したいと考えている情報の内容)を伝達することはできない。しかしながら，その信号を用いて伝達意図(=何らかの情報意図を伝達したいという意図)を伝達することはできる。伝達意図が受け手に伝わると，受け手は得られる手がかりを総動員して，送り手

の情報意図を推測することになる。この伝達メカニズムを関連性理論では，「意図明示推論的伝達(Ostensive-inferential communication)」と呼ぶ。もし誰かが信号を明示的に送ったとすれば，それは意図的であり，送り手は「送り手の意図を推論することは受け手にとって可能であり，かつ有用である」ことを受け手に保証することになる。

意図明示推論的伝達では，伝達を成功させるために二つの問題を解決せねばならない。その一つは，任意の信号がどのようにして意図明示的とみなされるのか，である。ある信号は，それが明らかに「通常と違って」，受け手の注意を引き起こすに十分目立つものであれば，意図明示的となる。我々の問題で言えば，明らかに異なる新しい信号を送信することで，信号を意図明示的とすることができる。

司令官と見張り番ゲームでは，意図明示性は完全に異なる色信号を送ることで実現できるように思われた。実際，多くのプレーヤは最初赤と青の信号から出発して，新しい色—黄色，緑など—を増やして行った。しかしながら，これは意図明示

性という点では、あまり成功しなかった。これは受け手が色の違いを認識できなかったということではなく、色の違いが十分に意図明示的とはみなされず、受け手側での新しい意味の探索を引き起こさなかったのである。この結果、使用される色の種類は2,3に減少して落ち着くことになった。これは我々の当初予想していなかったことである。

一部の被験者は、新しい色の導入では意図明示性を実現できないことに気づき、新しい色ではなく、色信号の点滅、色の(色相環での)回転など本質的に異なる信号形態を用いることで意図明示性を実現しようとした。

三角迷路ゲームでは、被験者は様々な長さ、リズムの音信号を用いて意図明示性を表現した。面白いことに、純粋に記号的な信号である単音では、パターンを変えることで簡単に意図明示性の伝達に成功しているように思われる。つまり、異なるパターンの音が届けば、それは必ず新しい意味を伝達していると仮定して、受け手側で意味(情報意図)の推論を開始するのである。

二つ目の問題は、受け手側でどのようにして送り手の情報意図を復元するかということである。これは、伝達意図の検出よりも困難な課題であるが、やはり関連性理論がその助けになる。関連性理論では「受け手がその状況で最も必要とする情報」で「他の方法では伝達できない情報」が、復元すべき情報意図の候補となる。もし送り手と受け手との間で共通の認知環境(=観測できる情報の集合)があるのなら、これにより情報意図の候補を少数に絞り込むことが可能である。

しかしながら、受け手側で意味候補を一つに絞れないこともある。その時には、受け手は自分が適切と思う解釈を行って、行動するよりない。もしそれによって何か不都合が生じれば、解釈が誤っていたと考えて、次回は別の解釈で行動することになる。しかしながら、前に述べたように、正解(=正しい解釈)は決して与えられない。当然送り手側では、受け手側で複数の解釈が生じないように最大限の配慮を行う。送り手側での不用意な新しい信号の使用は、受け手を混乱に陥れて、以後のコミュニケーションを極めて困難なものにする。

司令官と見張り番ゲームで観測された最も難しい信号は「ストップボタンを使え」信号である。実際、この信号の共有の成否が、ゲームの成績の良否を大きく決定している。この信号は状況が緊迫している時に情報交換の時間を作るために見張り番から出されるものだが、司令官側で単なる「注意」信号として解釈される可能性/危険性を残している。成功したペアが、この信号として緑、黒、色変化など「注意と解釈されにくい」信号を用い

ていることは、明示的意図伝達のよい戦術である。

三角迷路ゲームで観測された最も難しい信号は「相手のアイテムを発見」である。この信号は、最初全てのペアで伝達を試みたが、最終的にどのペアも共有に成功しなかったものである。この信号が有用であるためには、受け手が送り手の部屋に来れるよう送り手が誘導するしかない。しかしこの信号がそこまで保証するものかどうか、受け手は確信を持ってないだろう。その結果、送り手は受け手が来てくれるという確信を持たず、結果的に有用な情報にはなり得なかったのだと思われる。コミュニケーション戦略は行動戦略とあわせて共有される必要があるのである。

我々は意味情報の共有されていない信号を用いたコミュニケーションを関連性理論を用いて分析したが、いずれのゲームの場合でも、信号の共有のためには相手の意図を適切に処理する能力が、またその前提として、相手の意図を信じて行動することが求められている。

4.2 色相信号と単音信号—どちらがより情報を伝えられるか

色相信号と単音信号はそれぞれに特徴があるものの、On/Offしかできない音信号に対して色相信号は多くの情報量を含むため、より情報を伝達しやすいと我々は当初考えていた。実際、色相信号では、最初は多くのペアが「赤/危険、青/安全」というデフォルトの意味に頼ってコミュニケーションを取ろうとした。それに対して、単音のOn/Offしかできない音信号では、伝達できることは極めて限られてしまうと考えていた。

しかしながら、このような判断は皮相的であった。色相信号では、デフォルトの意味を越えて新しい意味を付与する必要が生じたとき、デフォルトの意味の存在は障碍として作用する。人が新しい色信号を「意図明示」を目的として、すなわち伝達意図の伝達を目的として送信しても、受けて側でそれを直接情報意図として(たとえば黄色—注意のように)解釈されてしまう可能性を排除できないのである。伝達意図の伝達には、それが情報意図として解釈できない信号を必要とする。この時初めて受け手側で「意図の探索」が起動されるのである。

実験前には我々は、新しい信号が必要となる毎に、新しい色がその意味に割り当てられ、ゲームの進展に合わせて多くの色が使われるようになるのではないかと考えていた。しかしながら、実際に使われた色はそれほど多くはなく、時間の経過とともに逆に2,3個に収束してしまった。どう

しても新しい信号を必要としたペアでは、信号の点滅や色相環の回転など、我々が予想していなかった「新しい」信号を生成した。

一方三角迷路ゲームでは、音信号は全く意味情報を欠いており、デフォルトに頼ることはできない。逆に言えば、新しい信号はかならず受けて側で解釈の探索を必要とし、これが信号の共有を手助けすることになる。また送り手も信号は受けて側で解釈されなければならないということから、解釈の候補が確実に絞り込めるようにコミュニケーションを設計しようとする。これが、表3にあるような、多くのペアでの信号の一致に繋がっているのだと考えられる。

もちろん、単音信号にも弱点はある！相手の「アイテム発見」の信号で述べたように、本当に有用な、問題解決に不可欠な信号のみしか共有できないのである。しかしながら、これはある意味では当然である。我々が被験者に課したタスクがゲームで高得点を上げることであり、なくてもすむような信号の共有は発生しない。

4.3 コミュニケーション確立の必要要素

意図伝達の過程は次の二つのサブプロセスからなる。

1. 「送り手が何か伝えたいことを持っている」という伝達意図の伝達
2. 送り手が伝達しようとしている情報内容である情報意図の伝達

1.の伝達意図の伝達については、意図明示的な信号を送信する必要性を述べたが、伝達意図が受け手に伝わるためには、もう一つ必要ことがある。相手の意図を読む前提としての、送り手の「意図性」への受け手の信頼である。これは、受け手が送り手の行動について、意図的である、すなわち送り手は「何らかの意図」をもって行動する「意図的行動主体」であり、送り手の行動を「意図」の立場で解釈することが有用である、との認識である。これはDennettのいわゆる意図スタンス(intentional stance)[10]に相当し、相手が人の場合は自然であるが、相手がロボットや計算機の場合は必ずしも自明ではない。

今回の実験のように、プレーヤ同士が計算機を介してのみ接続されており、利用できるコミュニケーション媒体が極めて限られているときに、人はどの程度強固に意図スタンスを取れるものだろうか。もし意図スタンスが揺らげば、これまで述べてきた意図明示推論的コミュニケーションは崩壊する。意図スタンスで重要なポイントは、相手の意図を読むためには意図スタンスに立たねば

ならず、一方相手の意図性を支持する証拠は、相手の意図を読み協調的に行動した結果としてしか入手できないことである。意図スタンスにうまく立てない被験者は、相手の意図がうまく読めないためコミュニケーションに失敗し、それがまた相手の意図性を疑わせることになる。

2.の受け手側における情報意図の推測においては、認知環境といわれる周りの世界についての共通認識が重要になる。我々の場合でいえば、認知環境はゲームのルールや目的だけではなく、現在の双方のおかれている現状、最適な行動戦略、どのような情報を交換する必要があるのかなど、多岐にわたるものである。このような認知環境として共有できる領域が大きければ大きいほど、相手の情報意図の推測は容易になる。もちろんコミュニケーションが進めば、共有される認知環境も増大する。しかしながら、出発点で何らかの共有されている認知環境がないと、情報意図の推測は難しい課題となる。

我々はこのような配慮から、今回の実験の被験者を司令官と見張り番ゲームでは男子学生に、さらに三角迷路ゲームでは男子学生の友人ペアに限って行った。男子学生に限ったのは、日本のほとんどの男子学生(特に工学部の)が豊富なビデオゲームのプレイ経験を持つのにたいして、一部の女子学生では必ずしもそうではなく、それが今回の実験の成績にどのように影響するのか予測しかねたからである。

デジタル環境への接触の頻度が意図スタンスにどう影響し、さらにそれがここで行ったようなコミュニケーション課題の成績にどのような影響を与えるのかは、今回の研究の範囲を越える問題であるが、今後ぜひとも取り上げてみたい課題である。

5. まとめ

我々は、予め意味の共有されていない極めて制限された信号を用いて、人がどのようにして意味を共有しコミュニケーションを実現するのかを、二つの協調ゲームを用いることで調べてみた。コミュニケーション媒体として利用できるのは、一つのゲームでは色相信号、もう一つでは単音信号である。プレーヤは、ゲームの進行につれてコミュニケーションが必要となると、適当な信号に意味を割り当て、相手プレーヤに送る。相手プレーヤは、得られる情報から送り手の意図を推測し、適切な行動を生成する。意味の共有と最終的に意図の伝達がなされる過程を関連性理論の枠組みで分析した。

我々はここで分析した結果に基づき、人のコミュ

ニケーション確立過程をモデル化する。また一方の被験者をプログラムで置き換えることで、どこまで機械がこのような柔軟なコミュニケーションに対応できるのかを実験的に研究することを計画している。

参考文献

- [1] Frith, U., *AUTISM: Explaining the Enigma*, 1989, Basil Blackwell Ltd.
- [2] Baron-Cohen, S, *Mindblindness*, 1996, The MIT Press.
- [3] Werner, G and Dyer, N., Evolution of Communication in Artificial Organisms, *Artificial Life II*, 1992, pp. 659–687, Addison-Wesley Pub..
- [4] Steels, I. and Vogt, P., Grounding Adaptive Language Games in Robotic Agents, *Proc. of 4th European Conf. on Artificial Life*, 1997, pp.474–482.
- [5] S.Mitri, D. Floreano and L. Keller, The Evolution of Information Suppression in Communicating Robots with Conflicting Interests, *PNAS*, 2009, pp.15786–15790.
- [6] Galantucci, B., An experimental study of the emergence of human communication systems, *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, Vol. 29, 2005, pp 737–767.
- [7] 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.
- [8] 鴨田貴紀, 角裕輝, 竹井英行, 吉池佑太, 岡田美智男, Sociable Dining Table : 相互適応による「コンコン」インタフェースに向けてヒューマンインタフェース学会論文誌, Vo. 12, 2010, pp 57–70.
- [9] Sperber, D. and Wilson, D.: *Relevance: Communication and Cognition*, , 1986, Oxford, Basil Blackwell.
- [10] Denett, D. C., *Kinds of Minds*, 1996, Basic Books.