

# 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

齊藤 優弥<sup>†</sup>, 金野 武司<sup>‡</sup>

Yuya Saito, Takeshi Konno

<sup>†</sup> 金沢工業大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻, <sup>‡</sup> 金沢工業大学 工学部 電気電子工学科

Kanazawa Institute of Technology, College of Engineering,

<sup>†</sup> Electrical Engineering and Electronics,

<sup>‡</sup> Electrical and Electronic Engineering

b1512436@planet.kanazawa-it.ac.jp, konno-tks@neptune.kanazawa-it.ac.jp

## 概要

本論では、人間言語における構造依存性という特徴と、それによって起こる意味創出のメカニズムに着目した。我々は、人どうしが簡単な図形を用いて記号コミュニケーションを行い、二者間でやり取りされる記号の意味が増える過程と、それらを組み合わせた記号表現に構造依存性が発生する過程を定量的に観察できる実験課題について検討し、協力関係と競合関係が同居する2対2のゲーム課題を開発した。その結果、課題を通じて協力関係にある二者が共創した意味の数と、扱う記号表現のバリエーションの増加を確認した。しかし、それらの中に構造依存性を持つ表現の発生は確認されなかった。その原因として、協力関係と競合関係それぞれから生じる失敗回避の動機によって、協力する二者間でやり取りされる意味の増加が抑制されたのではないかと考えられる。

キーワード：構造依存性，実験記号論，ゲーム課題

## 1. はじめに

人間言語には、複数の記号によって構成された表現の意味が、その記号表現の背後構造に依存するという特徴がある。この特徴は構造依存性と呼ばれており、橋本 [1] は「最新日本語辞典」という表現を例に説明している。この「最新日本語辞典」からは、少なくとも「最新・日本語辞典」と「最新日本語・辞典」の2種類の背後構造を考えることができる。そしてこれらの構造からは、「最新の日本語辞典」と「最新日本語の辞典」の2つの意味を取ることができる。また、藤田 [2] は、“2つの統語体を結合して1つの集合を定義する演算操作”である Merge の回帰的適用によって構造依存性が実現されると共に、この回帰的 Merge によって、原型的な言語が“生成的で創造力に富む仕組みを備えた人間言語に変容した”ことを指摘している。これらのことから我々は、構造依存性という特徴が、人

間言語における意味が創出されるメカニズムに大きく関与しているのではないかと考えている。

構造依存性のメカニズムを解明するためには、構造依存性を持つ表現の発生過程を観察することが有効と考えられるが、実際の人どうしの会話からそれを行うことは容易ではない。これに対し、実験記号論に基づいた実験室実験 [3, 4] の手法を用いることで、記号システムの形成過程を定量的に観察することが可能になる。また、この手法に基づき、ゲーム課題による実験枠組みを構築すれば、制限された状況下での記号のやり取りにおける先手後手の役割などを明確化することができ、より定量的な分析を行うことが可能になる。そこで我々は、構造依存性の発生過程を定量的に観察できるゲーム課題の検討・開発を行った。

## 2. 実験課題の検討

本研究で実施するゲーム課題において、人どうしの記号でのやり取りに構造依存性を持つ表現を発生させるために、メッセージは少なくとも3つ以上の記号で構成される必要がある。また、メッセージを複雑化させるために、やり取りの中で相手に伝えるべき意味が次々に生じることが重要である。

意味が次々に生じるような状況を考えて場合、Naming Game [5] のような課題では、単語と対象がそれぞれ結びつけられ、二者間で語彙表が作られるのみで、やり取りされる表現が複雑化するとは考えにくい。また、Kirby [6] らが実施した課題は、対象の「形、色、動き」に3種類ずつの違いを設け、それらにアルファベットを組み合わせた単語を割り当てるといったものだった。その結果、表現のバリエーションを増やすには実験者による外的操作が必要であった<sup>1</sup>。これらの

<sup>1</sup>人から人への伝言ゲームを構成する際に、実験者が伝達される語彙リストを操作しなければ（実験者が何の操作も加えなければ）、記号と意味の対応関係は同義語を増やす（記号によって意味を区別できなくなる）傾向があることが確認されている。

ことから、二者間でやり取りする記号表現の複雑化には、何らかの要因や仕掛けが必要であるということが考えられる。

Galantucci[7]によると、二者が協力して取り組む課題の難易度を段階的に難しくしていくと、二者間で共有される記号的メッセージの表現のバリエーションが増加することが確認されている。ところが、そのような要因を実験者側から付与し続けるのは容易ではない。我々としては、二者が協力して課題を進める中で、課題が自律的かつ段階的に複雑化していくことが理想的である。そのような状況を実現するために、我々は囲碁に注目した。囲碁は、対局する相手の石の置き方に応じて盤面が複雑化していく。このゲームにおいて相手に勝利するには、相手の行動の意味を推測する必要があり、そのためには相手の石の置き方や盤面の状況に意味を見出さなければならない。そして、見出した意味に応じて自分の石の置き方を変えることで盤面はより複雑化していく。しかし、1対1の囲碁をそのまま課題として用いたのでは、抽象度、難易度が共に高く、さらに二者間での明示的なやり取りができない。そこで我々は、囲碁をよりシンプルにし、二者間での協力関係と他者との競合関係を併せ持つ課題にすることを考えた。囲碁を模した2対2のチーム対戦型のゲーム課題にすることで、盤面上で対局するチームとの駆け引きにより盤面が複雑化し、さらにその状況に意味を見出すことで、ペアを組むチーム内でやり取りする記号の意味も複雑化していくのではないかと考えた。

### 3. 作成した実験課題とその特徴

前節で検討したゲーム課題の内容を基に、具体的に2対2の石置きゲームを考案し・作成した。この石置きゲームでは、4人の参加者を2人1組のチームに分け、ゲーム課題に取り組んでもらう。図1(右)に示すように、タブレット端末のゲーム画面に表示された8×8の盤面中央にはオセロと同じ初期位置で白と黒の石が2つずつ配置されており、石は同じ色の石の上下左右に隣接するマスにしか置くことはできない。このように石の初期配置と配置可能なマスを定めたのは、ゲームの初期段階において意味付ける必要のある状態を限定し、難易度を下げることが目的である。このゲーム課題では、参加者は石を置く前にまずペアを組む人と1度だけメッセージ交換を行う。そのメッセージは、実験者によって用意された5種類の簡単な図形(○, ×, □, ◇, ◎)の中から3つを組み合わせて構成される。そしてゲーム画面下部の「送信」ボタンを

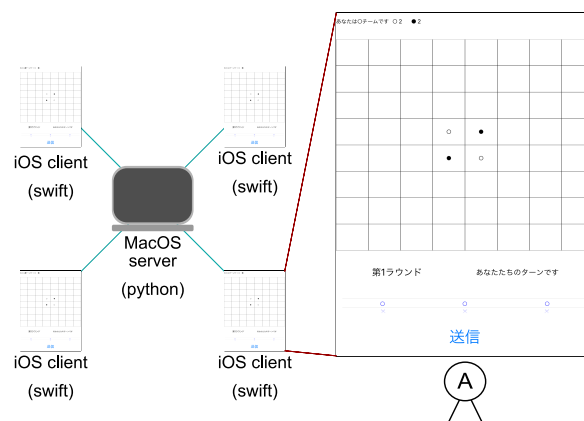


図1 システム構成・ゲーム画面

押すことで、サーバを経由してペアを組む人の端末にメッセージが届けられ、ゲーム画面の盤面下に表示される。また、「送信」ボタンを押すタイミングによって、メッセージを送る先手・後手を調整することができる。全体のゲーム手順として、まずチーム内でメッセージを交換し、その後個人で石を置くマスを決める。ペアを組む2人が同じマスを選択した場合のみ、画面上の盤面に石が配置(表示)される。1チームがメッセージの交換から石を配置(成功・失敗は問わない)するまでを1ターン、両チームが1ターンずつ終了するまでを1ラウンドとする。両チームがこれらを交互に繰り返す、上記のルールの中で互いに配置できた石の数を競う。

この石置きゲームにおいて、石を配置する際には同じ色の石に隣接するマスしか選択することはできない。もし対局するチームによって自チームの石が全て囲まれてしまうと、自チームはそれ以上石を配置することができなくなってしまう。このゲームを1対1の人どうしで行なった場合、自分の石が相手に囲まれそうになった時に、それを回避する行動をとるであろう。その結果、ゲームの勝敗は毎回引き分けになることが予想される。ところが、これを2対2の人どうしで行うと、ペアを組む二者が石を配置する際に選択したマスがそれぞれ異なり、配置に失敗する場合が生じる。このことから、自分の石が囲まれてしまうのを回避するためには、ペアを組む二者間で、少なくとも盤面の状況をどのように捉えているか、盤面のどのマスに石を配置するかという情報を共有していなければならない。我々はここに、意味を次々に生成し、複雑化させていく必要が生じるのではないかと考えた。

#### 4. 実験方法

参加者は、同じ室内で、互いに顔が見えない状態でゲーム課題を行なった。参加者はメッセージを交換する度に自分とペア相手双方の記号表現とその意味を専用の用紙（図形・意味記録用紙）に記入した。これは、分析時に参加者がどのような記号表現・意味でメッセージを送った、もしくは受け取ったのかを確認できるようにするためである。

ここで問題になるのが、二者間がやり取りする記号表現に構造依存性が発生するまで、どれだけの時間を要するのか予想できないことである。そこで我々は、参加者への負荷にならない程度の時間内で、参加者間で流通する記号の意味を増やし複雑化させるために、2つの工夫を施した。1つは、一定ラウンドごとに、ペアを組む二者の対面での相談時間（5分）を設け、口頭で記号の使い方などを相談することを許可した。この時、参加者は相談内容もメッセージ交換時と同様に専用のメモ用紙（相談内容メモシート）に記録した。また、参加者には相談後のラウンドでメモ用紙を見ながらゲームを行うことを許可した。これは、参加者がそれぞれの相談時に取り決めたことを忘れてしまうことを防ぎ、記憶能力による個人差を減らすためである。さらに、分析時には二者間でどのような記号に関する取り決めが行われていたのかを確認できるようにするためである。2つ目は、2回目の相談後のラウンドから、競合相手となるチームに、ペア内でやり取りするメッセージが公開されるようにした。これは敵対的模倣 [8] による記号表現の複雑化を狙いとしたものである。我々は、ゲーム課題の途中からこの仕掛けを設けることで、効果的に敵対的模倣が行われ、競合関係にあるチーム間でこの学習が行われることによって、より早く記号表現が複雑化すると考えた。1度の実験でゲーム課題は16ラウンド実施し、3, 6, 11ラウンドの終了後にそれぞれ相談時間を設けた。

ゲーム課題終了後、ペアを組む二者が課題を通して意味を増やしていたならば、意味を増やそうと思った理由や経緯、相談時に考え出されたが課題の中では実際に使われなかった案や表現方法などを確認するために、参加者へのアンケートおよびインタビューを実施した。アンケートでは、参加者は課題中に使用した記号や相談内容を記録したメモ用紙を参照しながら、互いに顔を合わせない状態で以下の10項目に回答した。また、その回答方法は、第2項のみを2件法、その他の項目には5件法を採用した。

1. 相手チームにどの程度勝ちたいと思ったか
2. 記号の意味を増やそうと思ったか

3. 記号を組み合わせる数は十分だったか
4. 使用できる記号の数は十分だったか
5. 自分が伝えようとする内容を、十分に記号で表現できたか
6. 自分が伝えようとする意味は、相手に十分に伝わったか
7. ペアの記号の意味をどの程度理解することができたか
8. ペアが送ってくる意味の数を多いと感じたか
9. 対戦相手のメッセージの意味はどの程度わかったか
10. 自分たちのメッセージは対戦相手にどの程度わかってしまったと思うか

アンケート終了後、参加者は互いに顔を見合わせた状態で、各ペア毎に以下の6項目について半構造化インタビューを行った。ただし、最後の項目はそれまで質問していたペアとは反対のペアに対して質問した。

1. ペア内で最終的に取り決めたルールは何か
2. その他に取り決めたルールはあるか
3. 伝わらなかった意味や、使わなかった表現はあるか
4. ペア内で考えたルールや作戦で、工夫した点は何か
5. その工夫では、どのような意味で記号を使ったか
6. 対戦相手のチームが使っていた記号の意味は、説明された通りに推測していたか

実験に用いたゲームシステムはサーバークライアント型で設計した（図1左）。サーバーの役割を持つ計算機1台と、タブレット端末（Apple社製iPad）を4台用いた。サーバープログラムはpythonで、クライアントプログラムはswiftを用いてそれぞれ開発した。

実験は3回実施した。一度の実験には4人が参加したため参加者は計12人であった。参加者は全員金沢工業大学の男子学生だった（平均年齢21.3, SD = 0.52）。

#### 5. 結果

実験を通してペアを組む二者が共有した意味の数を分析するため、対面での相談時に記録用紙に記述された記号の使い方を、実験者の判断で抽出した。これを共有された意味の数とした。これと同時に、ゲーム中に使用された表現の数のラウンド毎の推移を図2に示す。図2を見ると、1回目の相談時に二者間で創出・共有された記号の意味の数が最も多く、平均4.67個であった（相談時に共有された意味数の増加幅）。2回目以降の相談では意味の数はほとんど増えず、2回目は

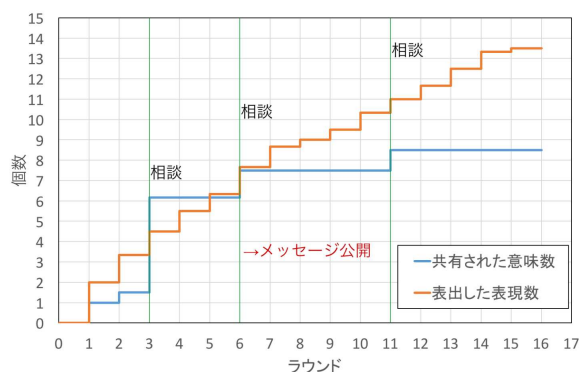


図2 各ラウンドにおける意味と表現の増加

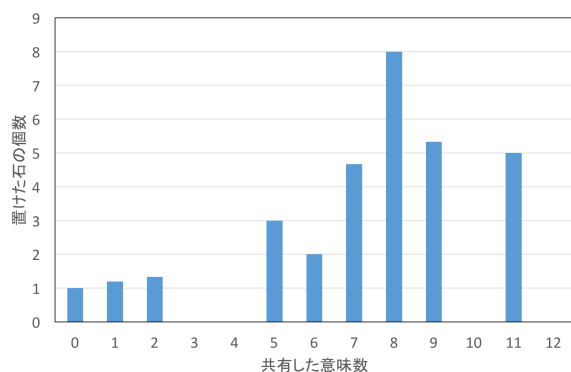


図3 二者が共有する意味数毎に置けた石の数

平均 1.33 個, 3 回目は平均 1.00 個であった。2 回目の相談以降のラウンドでは, やり取りするメッセージが競合相手に公開される仕掛けを設けていたが, この設定による効果は見られなかった。

続いて, 図 3 に, ゲーム課題の中で二者間で創出・共有した意味の数毎に, 配置に成功した石の数を示す。これを見ると, 二者間で創出・共有した意味の数と記号のやり取り後に石を置くことに成功した回数の間には強い正の相関関係があることがわかった ( $r = .824$ )。特に, 意味の数が 5 個を超えた辺りから, 配置に成功した石の数も増え始めたようである。これらの結果は, 協力関係にある二者間の記号のやり取りにおいて, 二者が共通して扱うことのできる意味の数が増えれば石を置く数が増えると共に, 5~8 個程度の意味が共有されていれば, 石を安定して置くことができるようになっていたことが伺える。

次に, メッセージに構造依存性を持つ表現が発生しているかを確認するために, 記録用紙・メモ用紙の記述内容から, 二者がやり取りの中でどのような記号の使い方をしてきたのかを調べた。まず基本的なものとして, 「○」は「上」, 「×」は「相手の石」など, 1 つの記号に対して盤面上での「方向」や「石の区別」など

を対応付ける意味論的な使い方がされていた。また, それらを組み合わせて, 「×○□」が「相手の石の上の右」のように, 統語論的な使い方もされていた。さらに, 同じ「○○○」という表現でも, 先手は「上」を 3 つ組み合わせた統語論的な表現でメッセージを送り, それに対して後手は「了解」という返事の意味で送る, というやり取りを行うペアを確認した。このように, 同じ表現でもメッセージを送る順番によってその意味が変化する語用論的な使い方も確認することができた。しかし, 構造依存性を持つ表現及び記号の使い方を確認することはできなかった。

## 6. 考察

アンケートから, このゲーム課題において相手チームに勝利したいと思う人の割合が高く, 5 段階評価で平均 4.0 であった。また, インタビューから, ゲーム課題実施中の各チームの戦略は, 自チームの石の配置ミスを避け, 相手チームの石から離れるように石を配置するものが多く, 多様化していなかった。このことから, 実験参加者が他者と協力・競合関係にある以上, このゲーム課題における勝利条件を満たすために, 自チームの意思疎通の不備からなる石の配置の失敗を減らすことに意識が向けられていることがわかった。まず, 協力関係にあることから, ペアを組む二者が”同じマスに石を置く”という共通の目的を持つ以上, それを達成するために正確な意味のやり取りを行う必要があった。さらに競合関係によって, ペアを組む二者に”相手チームに勝利する”という目的が加えられ, より正確に意味をやり取りする必要が生じたと考えられる。その結果, 二者間の意思疎通に不備が生じることを防ぐために, 新しい意味を創出・共有し続けることをせず, 表現や戦略が簡素化されてしまったのではないかと考えられる。そのため, 二者間でやり取りされる表現が, 構造依存性を持つ表現にまで複雑化しなかったのではないだろうか。

この改善には, 二者間で意味が創出・共有され続け, 表現や戦略が多様化するゲーム課題への変更が 1 つの方法として考えられる。その 1 つには, ゲームのシンプルさを維持しつつ, 各チームの戦略がより多様化するものとして, 五目並べへの変更を考慮することができるのではないだろうか。五目並べは, 囲碁と同じように盤面に二者が交互に石を置き, どちらが先に石を 5 つ直線上に並べることができるかを競うゲームである。一般的な五目並べの場合には, 先攻の黒が圧倒的に有利であり, 必勝法も存在する [9]。1 対 1 でこのゲームを行った場合には, 後攻の白が取る戦略は相手

の妨害になるが、これを本論の石置きゲームと同様に2対2とした場合には、記号による意思疎通の不備によって石を置けない場合が生じる。これにより、先手有利の逆転が起こり得る。また、この先手・後手の有利・不利の逆転と共に、配置される石の状況による配置方略の変更も当然のことながら起こることが予想される。これによって、協力関係にある相手に伝えるべき意味はより増加・複雑化し、戦略は多様化することで、構造依存性を持った表現も現れるのではないだろうか。ただし、五目並べを模した課題に変更したとしても、課題に含まれる競合関係と協力関係のそれぞれから失敗回避の動機が生じる点は同じであるため、今後はその点についても、より根本的な解決方法を検討・考案する必要があると考えられる。

## 7. 結論

本論は、人間言語に見られる構造依存性という特徴の発生過程を定量的に観察可能にする実験枠組みの構築を目的として、協力関係と競合関係を併せ持ったゲーム課題を検討・開発し、その実験を行なった。結果、協力関係にある二者間で創出・共有する意味とその表現の増加を観察することができたが、構造依存性を持つ表現の発生を確認することはできなかった。

## 文献

- [1] 橋本敬 (2015): コミュニケーションの3つのレベルにおける接地・脱接地, 日本認知科学会第32回大会予稿集, pp.716-725.
- [2] 藤田 耕司 (2013): 生成文法から進化言語学へ-生成文法の新たな企て-, 生成言語研究の現在, pp.95-123.
- [3] Galantucci, B. (2009): 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.
- [4] Scott-Phillips, T. and Kirby, S. (2010): Language evolution in the laboratory, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 14, No. 9, pp. 411-417.
- [5] Baronchelli, A., Felici, M., Loreto, V., Caglioti, E. and Steels, L. (2006): Sharp transition towards shared vocabularies in multi-agent systems, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, Vol.2006, No.6, P06014.
- [6] Kirby, S., Cornish, H. and Smith, K. (2008): Cumulative cultural evolution in the laboratory: An experimental approach to the origins of structure in human language, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 105, No.31, pp.10681-10686.
- [7] Galantucci, B. (2005): An experimental study of the emergence of human communication systems, *Cognitive science*, Vol.29, No.5, pp.737-767.
- [8] Suzuki, J. and Kaneko, K. (1994): Imitation Games, *Physica*, 75D, pp.328-342.
- [9] Allis, L., van den Herik, H., and Huntjens, M. (1993). Go-Moku and Threat-Space Search. Report CS 93-

02, Department of Computer Science, University of Limburg, Maastricht, the Netherlands.