

# 失敗事例を含む語彙表形成の仕組みが二者間での 記号システムの成立に与える効果

## An effect on learning mechanism of lexical table in failure cases

河上 章太郎<sup>1\*</sup> 金野 武司<sup>1</sup>  
Shotaro Kawakami<sup>1</sup> Takeshi Konno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢工業大学 工学部 電子情報通信工学科

<sup>1</sup> Department of Electronics, Information and Communication Engineering,  
Kanazawa Institute of Technology

**Abstract:** We aimed to elucidate the mechanism of formation of a symbol communication system. To this end, we conducted an experiment using a coordination task involving the exchange of symbols by pairing a human and a computational model. The mechanism of inferring the symbols that we prepared worked for machine to machine, but it did not work for machine to human. We suspected the problem that the computational model had learned the lexical table that involved relationships among symbols and actions only in successful cases of the coordination. In this study, we examined whether the learning mechanism in the failure cases had a positive effect.

### 1 はじめに

人が行う言語コミュニケーションには表面的に表れる字義通りの意味と、そうではない言外の意味が並存している。例えば、食事中に「その醤油とれますか?」と他者に言われた時には醤油を取って欲しいのだと解釈し、単に取れるかどうかといった能力を相手が問うているわけではないとすぐに分かるだろう [1][2]。人は言外の意味をどのように作り出し、また読み取っているのかについては解明されていないところが多い。

金野ら [3] は、Galantucci の提案した実験記号論 [4] を基にした認知実験を設計・実施をしている。これを用いて、人どうしで字義通りの意味と言外の意味が生成・共有されるプロセスの解明に取り組んでいる。この認知実験は、二者で情報端末を介して行なう。参加者はあらかじめ意味の決まっていない記号 (図形) を互いに交換しながら、相手との簡単な協調課題 (コーディネーションゲーム) に取り組む。このゲームを通じて、交換する記号にどのような意味が与えられるのか、つまりは字義通りの意味と言外の意味が記号にどのように与えられていくのかを観察することができる。この実験結果を基に、金野らは計算モデルを構築し、計算機シミュレーションによって記号の意味を共有するための仕組みを分析している [5, 6]。

この分析に基づいて我々は、記号の意味推定をするモ

デルとしないモデルの2つの計算モデルをコンピュータに実装し、人とコンピュータの間での実験室実験を行なった [7]。しかし、これらの計算モデルは人どうしでの実験結果と比較すると、非常に低い成功率に留まる結果となった。さらにこの結果を分析すると、我々が構築した計算モデルが、成功事例のみを学習するようになっていることに問題があるのではないかということが明らかになってきた。つまり、記号と意味の対応関係 (特に字義通りの意味である語彙表) を学習する際には、失敗事例を含めた学習が必要になるのではないかということである。そこで本研究では、失敗事例を含めた語彙学習の仕組みを計算モデルに組み込み、再度シミュレーションを行うと共に、人と計算モデルによる認知実験を実施する。これにより、失敗事例を含んだ語彙学習を行うことの効果を検証することを目的とする。

### 2 実験室実験

実験環境を図1に示す。実験では、一人の参加者と計算モデルがペアになり、情報端末を介して課題に取り組んだ。その情報端末には2×2で区切られた4つの部屋が表示されており、その中のひとつ部屋に自分の駒が示されていた。相手の駒も同様に自分とは別の部屋に配置されているが、相手の駒は互いに隠された状態になっていた。この条件で参加者は駒を移動させ、相手と同じ部屋に移動させることが求められた。

\*連絡先: 金沢工業大学 工学部 電子情報通信工学科  
〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1  
E-mail: b1414415@planet.kanazawa-it.ac.jp

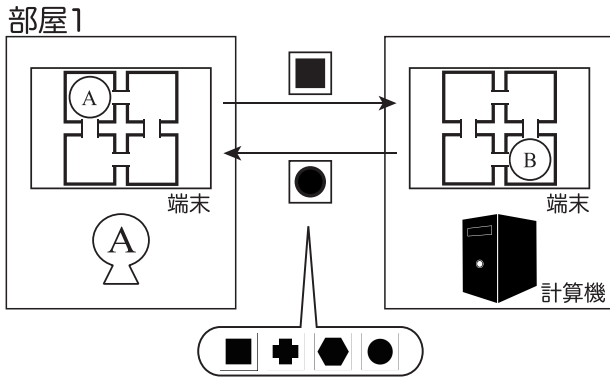


図 1: 実験環境

参加者は自分の駒を移動させる前に、あらかじめ意味の決められていない4つの図形 (●, ■, ◻, ○) から1つをメッセージとして相手に送るようになっていた。図形を決定すると、メッセージは直ちに相手に送られるようになっていた。そのため、参加者はメッセージを送る順序によって先手と後手を変更することができた (ターンテイク)。お互いのメッセージを交換した後に、参加者は自分の駒を現在の場所とその隣り合う部屋へのみ移動することができた (初期位置から斜めの部屋へは移動できない)。互いの移動先が決定されると、自分と相手の行動結果が表示されるようになっていた。参加者は部屋を一致させることができれば2点加点され、一致しなければ1点が減点された (ただし、0点以下になることはなかった)。メッセージのやり取りからここまですを1ラウンドとし、次のラウンドでは互いの駒は再度ランダムに配置された。参加者はこれを60ラウンド繰り返した。

## 2.1 実験手続き

はじめに参加者は、別室にいる相手との協調課題に取り組む旨の説明を受けた。次に、ゲーム操作に慣れるための練習を4ラウンド実施し、計算モデルとのゲームに取り組んだ。ゲーム終了後、参加者はゲームについてのアンケートに答えた。このアンケートでは、メッセージに関する理解度や作成したルール、協調姿勢などの項目について回答した。このアンケートに回答したのちに、このゲームははじめの段階で相手が人かコンピュータかが50%の確率で決まるようになっていたことが告げられた (実際には相手は必ずコンピュータであった)。それを踏まえ、相手が人であったか、あるいはコンピュータであったかについてのアンケートに答えた。アンケートではいずれであったかを選択し、その確信度をパーセント表記の10段階で答えた。その後、インタビューを行い、その理由を尋ねた。インタ

ビューの終了後、デブリーフィングにて相手は必ずコンピュータであったことが伝えられた。

## 2.2 計算モデル

計算モデルはこれまでに作成した連合学習と意味推定のモデルを使用した (詳細は文献 [7] を参照のこと)。意味推定のモデルにおいては、相手から受け取る記号の意味を推定するために、自分の記号と行動の対応関係だけでなく、相手の対応関係についても学習をするようになっている。この時、本研究では従来は成功時 (移動した部屋が一致した場合) にのみ記号と部屋の対応関係を学習するようになっていた仕組みを、失敗時においても学習するように変更する。以降、このモデルを失敗学習モデルと呼ぶ。この変更において重要なのは、移動先についての失敗時の学習はしないことである。あくまでも語彙表の作成に関してのみ、失敗時にも対応関係を学習する。

行動学習に関する失敗事例の学習は、その行動選択肢を選択しないように負の強化を行うのが一般的である。しかし語彙表の学習においては、行動が失敗したとしても相手はその記号にすでにその意味を持たせているものとして正の強化を行うのではないかと考えたことによる仕組みである。

## 2.3 参加者

実験には失敗学習モデルとペアを組む5名 (男性4名、女性1名) が参加した。参加者は全員金沢工業大学の学生で年齢は21~22歳であった (平均 = 21.4,  $SD = 0.49$ )。実験は全て同大学で行なわれた。

## 3 結果

移動した部屋の12ラウンドごとの一致率の推移について、計算モデルどうしのシミュレーション結果及び人とコンピュータの実験の結果を図2に示す。

計算モデルどうしのシミュレーション結果を見ると、もともと高かった意味推定モデルの一致率は、失敗学習によってさらに高くなっていることがわかる (はじめ12ラウンドにおける一致率は0.59から0.89へ)。しかし、人とのゲームでは一致率に大きな改善は見られなかった。失敗学習モデルは成功時のみ学習するモデル (連合学習モデル・意味推定モデル) に比べて全体的に高い一致率になっている。60ラウンド全体の平均一致率は、連合学習モデル、意味推定モデル、失敗学習モデルでそれぞれ0.39, 0.42, 0.52であった。連合学習モデルと失敗学習モデルの間での1要因参加者間計画

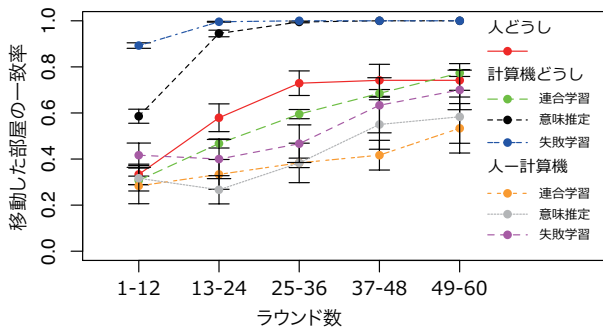


図 2: 12 ラウンドごとの一致率の推移

による分散分析では弱い有意傾向が見られた ( $F(1,8) = 3.40, MSE = 0.013, p = 0.102, \eta^2 = 0.298$ ) .

## 4 議論

シミュレーションにおいては、失敗学習モデルの一致率が初期段階から非常に高くなった。これは、失敗時にも記号と行動の対応関係を学習することがうまく機能したことを示している。失敗事例に関して、互いの駒を移動させた結果部屋が一致しなかった場合には、次に同じ状況になった時にはその行動は採らない方が良いでしょうことはすぐにわかる。しかし、部屋と記号の対応関係（語彙表）に関してはそうではないのだと考えられる。シミュレーションの結果は、たとえ行動が失敗したとしても、記号に割り当てようとした意味は学習した方がよいことを示している。

しかし、シミュレーションではうまく機能したこの仕組みも、人との間ではうまくいかなかったようである。我々は、失敗時の記号と行動の対応関係の学習は、相手が意図した意味づけを学習することができるため、初期段階での語彙表の形成を早めることができると考えていた。結果をみると、1-12 ラウンドでの一致率を上昇させることができている。立ち上がりにおいては成功しているように見える。ところが、その後の 13-24 ラウンドの一致率は下がってしまっている。図 2 に示した人どうしの一貫率は単調に増加しているように見えるが、個別のペアを見た場合には、初期段階で上昇した一致率がその後低下してから再度上昇するというケースがある。また、金野ら [3] の人どうしの実験においても、初めのラウンドで上昇した一致率が、続くラウンドで単調に増加せず、ペアによっては低下するという現象が観察されている（論文中の図 2）。人と同様の傾向を示す点は非常に興味深い。これがどういった理由により生じるのかはまだわかっていない。ただし、連合学習モデルの場合にはこの傾向が見られないため、推論を行なう仕組みによってこれが生じている可能性が考えられるのではないだろうか。

人どうしでの結果と異なるのは、続く 25-36 ラウンドでの一致率がそのまま上昇しないことである。この原因を検討してみると、計算モデルが語彙表の形成に失敗するケースがあることがわかった。計算モデルには、記号と部屋の対応関係（字義通りの意味に対応）を学習する際に、記号を移動前の部屋と結びつけるのか、それとも移動後の部屋と結びつけるのかを決めるメタパラメータ（言外の意味に対応）がある。このゲームの正解は、先手が移動前の部屋についての情報を送り、後手が互いに落ち合うことのできる部屋、つまりは移動後の部屋についての情報を送ることである。ここで計算モデルは、初めからゲームを解くことのできる組み合わせで学習するようにメタパラメータが設定されている。このため、もし人が先手で記号を移動後の部屋に意味付けていた場合、あるいは後手で記号を移動前の部屋に意味付けていた場合、計算モデルは語彙表の学習を誤ることになる。

以上のことから、他者と共有する語彙表を形成する際には、相手の言外の意味を正しく推定する仕組みが必要であると考えられる。

## 5 結論

本研究では、記号をやり取りしながら取り組む調整課題を用いて、人がどのように記号に意味を割り当て、他者と共有するのかを調べた。特に記号と行動の対応関係（語彙表）の学習に関して、成功事例だけではなく失敗事例についても学習する仕組みを持った計算モデルを構築し、その計算モデルと人をペアとした実験を行なった。計算モデルが失敗事例を学習する仕組みを持つことで語彙表の形成が早まり、記号の意味を推定する仕組みがより有効に働くのではないかと考えた。

結果、計算機シミュレーションにおいては有効性が確認されたものの、人と計算機での実験では、その有効性は確認されなかった。失敗事例を学習する仕組みは最初の段階での語彙表の形成を早めたようであったが、成功事例のみを学習するモデルとの有意な差は見られなかった。これは、言外の意味に相当する計算モデルのメタパラメータが固定されていることに起因して、相手が意図した意味での語彙表が作成できていないことが原因ではないかと考えられる。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究 (A) 「意図共有と意味創造を伴うコミュニケーション創発の進化的構成論による研究」/課題番号 26240037, JSPS 科研費基盤研究 (C) 「人工言語の共創課題を用いたことばへの気づきの獲得と言語学習効果の検証」/課題番号 16K00205,

及び MEXT/JSPS 科研費「共創言語進化」 #4903, JP17H06383 の助成を受けた。ここに記し謝意を表します。

## 参考文献

- [1] Tomasello, M.: *Constructing a Language, A Usage-Based Theory of Language Acquisition*, Harvard University Press (2003)
- [2] Frith, U.: *AUTISM: Explaining the Enigma*, Blackwell (1989)
- [3] 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. 9, pp. 801–807 (2014)
- [4] Galantucci, B.: 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)
- [5] 金野 武司, 森田 純哉, 橋本 敬: 記号コミュニケーションシステムにおいて言外の意味を成立させるメカニズムの計算モデルによる検討, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2014 (SSI2014), pp. 401–406 (2014)
- [6] 金野 武司, 橋本 敬, 李 冠宏, 奥田次郎: 記号コミュニケーションにおける言外の意味の推論に基づく先行的行動価値修正メカニズムの役割, 日本認知科学会第 32 回大会予稿集, pp. 477–486 (2015)
- [7] 河上 章太郎, 金野 武司: 記号コミュニケーションにおいて言外の意味を推定する計算モデルの人への効果, 日本認知科学会第 34 回大会予稿集, pp. 1209–1213 (2017)