

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

An effect of computational model inferring human connotation in symbolic communication

河上 章太郎^{†1}, 金野 武司^{†1}

Shotaro Kawakami, Takeshi Konno

^{†1} 金沢工業大学 工学部 電子情報通信工学科

^{†1} Department of Electronics, Information and Communication Engineering, Kanazawa Institute of Technology
b1414415@planet.kanazawa-it.ac.jp, konno-tks@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Abstract

Humans assign denotation and connotation to a symbol to communicate with each other. We prepared a coordination task that can be solved by appropriately assigning a meaning to a symbol, and conducted an experiment of letting a pair of a human and a computational model engage in it. Two computational models were prepared, with one model not inferring the meaning of a symbol sent from its partner, and the other model inferring the meaning of the symbol and adjusting behavior in advance. In our previous study, the coordination task was confirmed to be solved using a simulation between the computational models. However, this paper reports that the same mechanism did not work between a computational model and a human. The result of analysis of behavior and the questionnaire suggests the necessity of a learning mechanism of failure cases.

Keywords — Experimental semiotics, Human computer interaction, Inference of meaning, Denotation and connotation

1. はじめに

人の言語によるコミュニケーションには、字義通りの意味とそれとは別の言外の意味が含まれている。例えば、「郵便受けを見てきて」と言われれば、郵便受けを確認し中に手紙があればそれを持って来て欲しいと解釈し、郵便受けをただ見るということはしないだろう [1, 2]。このような言外の意味を人はどのように作り出し、読み取っているのかについては未解明などところが多い。人と自然に言語的なコミュニケーションをすることができる機械が実現されていないことが、その良い証拠と言えるのではないだろうか。

金野ら [3] は、実験記号論 [4] を基にした認知実験を

設計・実施し、人どうしで字義通りの意味および言外の意味が生成・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、二者でコンピュータ端末越しに行なう。参加者はあらかじめ意味の定められていない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。このゲームによって、やり取りする記号（図形）にどのような意味を持たせるのか、つまりは字義通りの意味および言外の意味を記号にどのように持たせることができるのかということがわかる。この実験結果を基に金野らは計算モデルを構築し、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]。この研究から、記号の意味の共有は受け取った記号に基づく事前の行動シミュレーションと、それによる行動選択肢の低減の仕組みがあれば上手くいくことが明らかにされつつある。しかし、計算モデルに実装されたメカニズムを人が備え、使用していることの証拠は未だ得られていない。

そこで本研究では、金野らによって構築された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同様の実験室実験を行なう。計算モデルは、記号の意味を推定する仕組みを持つモデルと持たないモデルの2種類を用意する。記号の意味を推定するモデルは、相手から送られてきた記号のメッセージに対応する意味を推定し、さらにはその意味に基づく自らの行動シミュレーションを実施して、自分の行動を決定する。他方、記号の意味を推定しないモデルは、送られてきた記号と自らの状態を条件として行動を決定する連合学習のモデルとする。

それぞれの計算モデルに対して人がどのようにコミュニケーションするのかを観察・分析する。また、参加者はゲームを行なった相手が人であったかコンピュータであったかを判断するアンケートに答える。仮説として、人は記号の意味を推定するモデルとは上

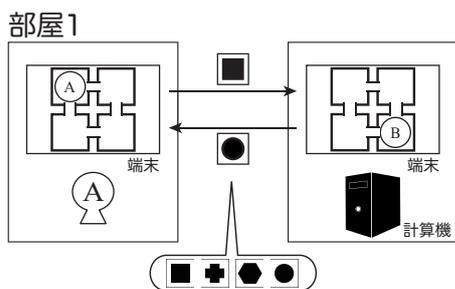


図1 実験環境

手く課題をこなし、推定しないモデルとは上手くこなせないのではないかと予想する。これと同時に、前者に対しては人との区別がつかず、後者に対してはすぐに相手がコンピュータであることに気づくのではないかと予想する。

2. 実験室実験

我々が設計した実験環境を図1に示す。実験では、一人の参加者と計算モデルがペアとなってタブレット端末を介して課題に取り組んだ。端末には2×2の4部屋が表示されており、その中のひと部屋に自分の駒が設置されていた。相手の駒も同様に自分とは異なるいずれかの部屋に配置されるが、その配置は互いに隠された状態となっていた。この状況で参加者は、駒を相手と同じ部屋に移動させることが求められた。

参加者は自分の駒を移動させる前に、あらかじめ意味のない記号として用意された4つの図形（■, □, ●, ○）のうち1つをメッセージとして相手に送るようになっていた。図形はタップすることで変わり、図形の下に表示される「メッセージを送信」ボタンをタップすることでメッセージが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・後手を変えることができた（ターンテイク）。互いのメッセージを交換したのちに、参加者は自分の駒を現在の場所とその隣り合った部屋へのみ移動させることができた（斜めの部屋には移動できない）。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。また、参加者は部屋を一致させると2点が加点され、そうでなければ1点が減点された。メッセージのやり取りからここまでを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 手続き

参加者はまず、別の部屋にいる相手との共同の課題に取り組む旨の説明を受けた。そして、ゲーム操作に慣れるための練習を4ラウンド実施した後で、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。このアンケートで参加者は、メッセージの理解度や作成ルール、協調姿勢といったことについて回答した。このアンケートに答えた後で参加者には、実はこのゲームでは最初に相手が人であるかもしくはコンピュータであるかが50%の確率で決まるようになっていたことを告げた（実際には相手は必ずコンピュータであった）。続いて、参加者はゲームを振り返って、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、いずれかを選択した上で、その確信度をパーセント表記の10段階で答えた。確信度を答えてもらったのちに、インタビューを行い、なぜそのように思ったのかを尋ねた。このインタビューの終了時に、相手が必ずコンピュータであったことのデブリーフィングを行なった。

2.2 計算モデル

実験では2つのタイプの計算モデルを用意した。1つは記号の意味推定を行なわないモデル（以下、連合学習モデル）。もう1つは相手の記号の意味を推定するモデル（以下、意味推定モデル）であった。2つの計算モデルは、ゲーム開始から15秒を上限に0.5秒刻みでメッセージを送信するタイミングを決定した。計算モデルは時刻に応じた30個の価値テーブルを持ち、メッセージの送信タイミングはその価値テーブルを確率分布にして決定された。価値テーブルのそれぞれの値には初期状態では0から1の実数乱数がセットされた。計算モデルは、送信する前に人からのメッセージが届けば後手、そうでなければ先手となった。

ゲームでは、図形を4つの部屋に対応付けるだけではなく、先手・後手に応じて、図形の意味を変更することが要求されるようになっていた。より具体的には、先手が現在位置の意味で記号を送り、後手がそれに応じて二人が落ち合うことのできる部屋の位置を記号で送ることができれば、効率的に同じ部屋に移動できるようになっていた。ここで、図形と部屋の位置の対応関係は字義通りの意味に、先手・後手に応じた図形と現在位置あるいは行き先との対応関係は言外の意味に対応している。人どうしの実験では、字義通りの意味

と言外の意味の両方を同時に調整する必要があるが、本研究では字義通りの意味の決定過程におけるメカニズムの違いに関する影響のみを調べるために、言外の意味についてはあらかじめ「先手が現在位置」、「後手が行き先」と対応づけることとした。

計算モデルは、部屋の位置に応じて図形を決定するためのメッセージテーブル (4×4) と、部屋の位置及び相手のメッセージに応じて移動先を決定するための行動テーブル ($4 \times 4 \times 4^1$) の2つを持っていた。それぞれのテーブルの数値には初期状態で0から1の実数乱数がセットされた。

2.2.1 連合学習モデル

連合学習モデルでは、先手においては現在位置に対応するメッセージテーブルを確率分布にして図形が決定され、後手においては行き先に対応するメッセージテーブルから図形が決定された。また、後手における行き先は、先手(人)から受け取るメッセージ(図形)と自分の現在位置に対応する行動テーブルを確率分布にして決定された。最後に、先手の場合には後手(人)から送られたメッセージと自分の現在位置に対応する行動テーブルから行き先が決定された。連合学習モデルでは、相手のメッセージから直接自分の行き先を決めており、メッセージが指し示す意味(どの部屋に対応するか?)についての推定は行なわれなかったようになっていた。行動決定後、移動した部屋が一致した場合には、計算モデルが持つそれぞれのテーブルで、メッセージの送信タイミング、メッセージ、行き先について、対応するテーブル要素の数字を1とし、それ以外の要素の数字を0とした(以降、このテーブルの修正を学習と呼ぶ)。これにより、計算モデルは成功した行動を続くラウンドで必ず再現するようになっていた。

2.2.2 意味推定モデル

意味推定モデルでは、連合学習モデルの機構に加えて、受け取るメッセージがどの部屋に対応するのかを推定した。具体的には、自らが持つメッセージテーブルを逆に用いてメッセージから部屋の位置を推定した(メッセージ作成では部屋の位置から図形を決める)。自らのメッセージテーブルを相手の記号の字義通りの意味の推定に使用できるようにするため、このモデルでは移動した部屋が一致した際に、自分の記号の使い

¹それぞれの数字は現在位置 × 記号 × 行き先に対応する。

方(部屋の位置との対応関係)と共に、相手の記号の使い方を学習した。また、相手(人)の記号の使い方と共に、行動テーブルについても相手(人)の部屋と記号の対応関係を学習した。相手の状況に立った学習は乳幼児の発達過程において重要性が指摘されている役割反転模倣[1]のメカニズムに対応すると考えられる。また、これにより実現される記号と字義通りの意味の間の可換性は、語彙獲得において重要性が指摘される対称性バイアス[7]のメカニズムに対応すると考えられる。さらに、上記の仕組みに加えて、行動決定についても一つ重要な仕組みがある。実は、相手から送られた記号から部屋の位置を推定しても、それに伴う行動変化を起こさなければ、課題の成功率は上がらないことがシミュレーションにより明らかになっている[5, 6]²。例えば、図1のような対角に配置された状況を考えてみる。このとき、もし後手(人)からのメッセージを先手(計算モデル)が「右上の部屋で落ち合う」ことだと推定したとき、先手は左下の部屋に留まるという行動を選択したりはしないだろう。ここでは、事前にその場に留まるという行動の可能性を0にする必要がある。つまり、記号が指し示す内容を行動選択肢の低減という形で事前に行動テーブルに反映させる仕組みが必要になるということである。意味推定モデルには、この仕組みを組み込んだ。

2.3 参加者

実験には連合学習モデルとのペア5名と推論モデルとのペア5名の計10名(男性8名、女性2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19~23歳(平均 = 21.0, $SD = 1.0$)であった。また実験は全て同大学で行なわれた。

3. 結果

参加者に対して、実は50%の確率で相手がコンピュータであったことを告げたとき、連合学習モデルでは5人中4人が、意味推定モデルでは5人中5人が相手は人であったと答えた。また、確信度の平均値はそれぞれ8.0 ($SD = 1.58$)及び6.6 ($SD = 1.36$)であり、分散分析の結果、両者に有意な差は見られなかった($F(1, 7) = 1.59$, $MSE = 2.74$, $p = 0.248$, $\eta^2 = 0.185$)。この結果は、どちらのモデルにおいて

²連合学習モデルどうしの計算機シミュレーションにおいても、時間をかければ安定して移動する部屋を一致させることができるようになる。人どうしの実験において、うまく行くペアはだいたい30ラウンド程度で安定して部屋を一致させることができるようになる反面、連合学習モデルどうしのシミュレーションでは200ラウンド程度かかる。

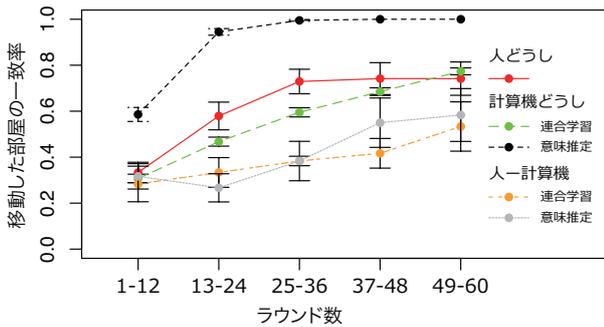


図2 12ラウンドごとの移動した部屋の一貫率の推移

も計算モデルを人と判断したようであることを示している。

到達スコア及び移動した部屋の一貫率について、連合学習モデルでは平均 19.4 点 ($SD = 12.93$), 0.39 ($SD = 0.097$) だった。また意味推定モデルとの到達スコアは平均 25.4 点 ($SD = 19.36$), 平均一貫率は 0.42 ($SD = 0.128$) だった。意味推定モデルの平均が若干高くなったが、2 群の平均値について、被験者間計画の 1 要因分散分析の結果に有意な主効果は見られなかった (到達スコア: $F(1, 8) = 0.33$, $MSE = 271.05$, $p = 0.581$, $\eta^2 = 0.040$, 一貫率: $F(1, 8) = 0.14$, $MSE = 0.016$, $p = 0.718$, $\eta^2 = 0.018$)。

比較のため、先行研究において実施した人どうし ($N = 20$) [3], 及び計算モデルどうし ($N = 100$) [6] の 12 ラウンドごとの推移を図 2 に示す。人とコンピュータでの一貫率が、計算モデルの違いに関わらず最も低い推移となっている。ここで注目したいのは、いずれの計算モデルも人どうしでの一貫率には全く及ばない状態であったこと、そして、2 つの計算モデルでの一貫率に違いが生じなかったことである。計算モデルどうしのシミュレーションでは、メカニズムの違いによって一貫率の推移に大きな違いが生じていた。ここで、計算モデルどうしの一貫率がどちらのモデルでも高い状態になっているが、これは、言外の意味の部分計算モデルが「先手で現在位置を送り、後手で行き先を送る」ようにあらかじめ設定されていたことによると考えられる³。なぜこのような結果になったのか、次節で検討する。

4. 議論

人とコンピュータによるコーディネーションゲームの結果は、我々の予想を次の 2 つの点で覆した。1 つ

³ 今回の実験においても、計算モデルには先手のメッセージは現在位置と、後手のメッセージは行き先と対応づけて学習することがあらかじめ設定されていた。それにも関わらず、人-計算モデルの条件ではうまく部屋を一致させることができなかった。

は、一貫率が人どうしに比べてだいぶ低かったにも関わらず、人は計算モデルを人だと判断したことである。そしてもう 1 つは人どうしに比べ、どちらのモデルも一貫率が低い状態に留まり、かつ、相手からのメッセージの意味を推定する意味推定モデルが、連合学習モデルと同じ程度の一貫率に留まったことである。

一貫率が低かったにも関わらず、人はなぜ計算モデルを人だと判断したのだろうか。ゲーム終了後のインタビューでは、人であると判断した理由として「思考する時間があつたように感じたから」「一緒にメッセージを作っていたような感じがした」「ルールが決まっていないうちで相手が合わせてくれているような気がした」という声があつた。こういった声は、学習の仕組みが機能していたことを示唆しており、何らかの学習機能があると感じられれば、人は相手を人と判断するのかもしれない。これに対しては、学習を全くしないランダムなケースで、同じように人と判断するかを確認する必要があるだろう。

計算モデルどうしであれば一貫率が非常に早く上昇するにも関わらず、人を相手にした場合にうまくいかなかったのはなぜだろうか。これはまず実験者の開発過程での経験として、計算モデルが失敗事例から学ぶような仕組みになっていないことが原因ではないかと考えられる。ゲームの初期段階では、たとえ移動した部屋が一致していなくとも、相手がどのような記号の使い方(部屋と記号の対応関係)をしているかを加味するものであるし、相手も同じようにするだろうことを期待している。ところが、本実験で用意した計算モデルは移動した部屋が一致したケースのみを学習するようになっていた。部屋と記号の対応関係である語彙表を、ゲームの初期段階で作れないことが一貫率が上昇しない理由だった可能性がある。

これを支持するデータとしては、アンケートでの「あらかじめルールを定めたか?」および「途中でルールを変更したか?」の設問に対する回答と、初め 12 ラウンドでの一貫率の関係をみることで考えられる。なぜなら、計算モデルは失敗事例に対する学習を行わないことから初期段階では同じ状況で異なる記号を用いることが頻繁に起こるため、あらかじめルールを定めつつそれを変更しない場合には移動する部屋を一致させることが著しく困難になるのではないかと考えられるためである。参加者 10 名のうち、あらかじめルールを定め、かつ途中でルールを変更しなかったと答えたのは 2 名おり、その初め 12 ラウンドの一貫率は 0.000 および 0.167 だった。これに対して、残り 8 名の一貫率は平均 0.333 ($SD=0.102$) だった。

現時点での結果は、仮説を支持する傾向にある。

最後に、2つの計算モデルで一致率に差が生じなかった理由を考えてみる。上に述べたような初期段階での語彙表作成の失敗により、意味推定のメカニズムが効果を発揮しなかった可能性があるのではないだろうか。アンケートの結果を見ると、「人のメッセージの理解をパートナー（計算モデル）が無視したか」という設問に対する答えについて、2つの計算モデルで差が生じていた。連合学習モデルでは4人が「はい」、0人が「どちらでもない」、1人が「いいえ」と答え、意味推定モデルでは0人が「はい」、2人が「どちらでもない」、3人が「いいえ」と答えた。カイ二乗検定の結果、モデル間で有意な人数差があり ($\chi^2(2) = 7.00$, $p < .05$)、残差分析の結果、「はい」の回答者数が有意に多かった。この結果は、連合学習モデルでメッセージを無視されたと判断した参加者が有意に多かったことを示している。以上のことから、失敗事例を学習に組み入れることで初期段階での語彙表作成に成功するようになれば、2つの計算モデルの一致率に差が生じるのではないかと考えられる。

5. 結論

本研究では、記号をやり取りしながら取り組む協調課題を用いて、人が記号に意味を割り当て、他者と共有する際の仕組みを解明するため、2つの計算モデルを構築してそれぞれの計算モデルと人をペアとする実験を行なった。用意した計算モデルは受け取る記号の意味（特に字義通りの意味）を推定し、事前に行動を調整するモデルと、記号の意味を推定しないモデルであった。我々は、記号の意味を推定するモデルとの協調課題において人がうまく解くことができることを予想し、また、記号の意味を推定しないモデルの場合に、人は相手がコンピュータであると気づくのではないかと考えた。

しかし、計算機シミュレーションではうまく課題をこなすことができた計算モデルが、人との場合にはどちらもうまくこなすことができなかった。また、どちらのモデルに対しても、多くの参加者が相手はコンピュータではなく人であったと報告した。アンケートおよびインタビューの結果からは、課題の成功度合いは低くとも、学習の仕組みがあることによって人は相手を人であると判断するようであることが示唆された。また、計算モデルの違いについては、記号の意味推定を行わないモデルが記号によるメッセージを無視することが多かったと報告された。しかしその違いが顕在化する以前に、仕組みとして失敗ケースを学習

するようになっていないことが、課題をうまくこなすことができなかった原因なのではないかと考えられた。

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, 及び 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 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] Sidman, M.: Symmetry and equivalence relations in behavior, *認知科学*, Vol. 15, No. 3, pp. 322-332 (2008).