

ことばの言外の意味の修正過程における 字義通りの意味の解釈破棄の効果 ～実験室実験と計算機シミュレーションによる検証～

Initialization effects of denotation of symbols in process of modifying the connotation

河上 章太郎^{1*} 金野 武司¹
Kawakami Shotaro¹ Konno Takeshi¹

¹ 金沢工業大学

¹ Kanazawa Institute of Technology

Abstract: 人間のことばによるコミュニケーションの難しさの1つは、ことばの字義通りの意味と言外の意味（意図）が相互に依存した関係で循環的に決定される過程を持つ点にある。本研究では、実験記号論に基づくメッセージ付きコーディネーション課題を用いて、この循環を扱う計算モデルを構築し、言外の意味を取り違えることで生じた字義通りの意味の解釈の間違いを修正する場合に、それまでの解釈を保持あるいは廃棄することの効果を実験室シミュレーションによって検証した。結果、我々の予想と異なり、解釈の破棄はコーディネーションパフォーマンスの低下を招くことが明らかになった。

1 はじめに

人は記号を介して他者とコミュニケーションする。そのとき、その記号には記号が直接的に示す字義通りの意味だけでなく、言外の意味も伝えられる。例えば、「郵便受けを見てきて」と言われたとする。もし、郵便受けを確認しその中に手紙や新聞があれば、先程の発話はその内容物を持ってきて欲しいという依頼であったと解釈するだろう [1]。ところが、話し手の意図によっては、何らかの理由でただ郵便受けを見てきて欲しかったということもあり得る。そうした状況に対しても、人は柔軟にその意味を汲み取ることができる。同じ表現を受け取っても、相手の意図を推定し、その意図に応じた字義通りの意味と言外の意味を理解することができる。しかし、どのように二重の意味を作り、それらを二者間で共有するのかについてのメカニズムはまだ明らかにされていない。

この問題に対して、金野らは二者間で字義通りの意味と言外の意味を取り決める必要があるゲーム課題を用いて、人どうして実験室実験を行なった [2]。さらに、構成論的アプローチに基づく抽象的な計算モデルを作成し、それを用いた計算機シミュレーションによって人の持つメカニズムを明らかにしようとした [3]。しかし、

計算機どうして行われるシミュレーションでは、人の持つメカニズムと同様の機能が発揮されるかどうか分からない。そこで我々は、作成された計算モデルの機能的妥当性を検証するため、人と計算モデルの間でゲーム課題に取り組む実験を行い、計算モデルが持つ不備を明らかにしてきた [4, 5]。これらの研究から、我々は計算モデルが解釈学的循環 [6, 7] と呼ばれる構造（字義通りの意味と言外の意味の学習が相互依存関係にある中で、それぞれが相手の言外の意味を推定し、適宜これを修正しながら字義通りの意味を学習するプロセスを循環させる構造）を人との間に形成し、その循環が収束した結果として意味が共有されることに気づいたが、その循環を収束させるメカニズムはまだ構築できていない。

本研究では、解釈学的循環を収束させる2つのメカニズム（心的シミュレーションと言外の意味の推定）を考案し、計算機シミュレーションにおいて、相互依存関係にある言外の意味と字義通りの意味の学習が収束するかどうかを確かめる。また、その収束を早める仕組みとして、言外の意味を変更する際に、それまでに学習した字義通りの意味についての学習内容を破棄する仕組みを検討し、その効果の検証を目的とした。

*連絡先：金沢工業大学大学院工学研究科電気電子工学専攻
〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1
E-mail: b6800990@planet.kanazawa-it.ac.jp

2 実験課題

本研究では、実験記号論 [8] に基づく実験室実験を行った。実験では二人がペアになり、情報端末を介して相手と簡単な調整課題（コーディネーションゲーム）に取り組む（図1）。二人は、あらかじめ意味の決まっていない4つの記号（■, □, ●, ○）から1つを選び、互いに交換する。選択した記号は、画面に表示された「メッセージを送信」のボタンを押すことで即座に相手に伝えられた。そのため、参加者はメッセージを送る順序によって先手・後手を調整（ターンテイク）できた。メッセージ交換後、参加者は画面に表示された4つの部屋のうち、ひとつにランダムに配置された自分の駒を、その場に留まらせるかもしくは隣り合う部屋へと移動させ、相手と同じ部屋に駒を移動させることが求められた。なお、それぞれがいる部屋は互いに分からないようになっていた。互いが移動先を決定すると、行動結果が表示されるようになっていた。部屋を一致させると2点が加算され、失敗すれば1点が減算された。メッセージのやり取りからここまでするラウンドとし、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。

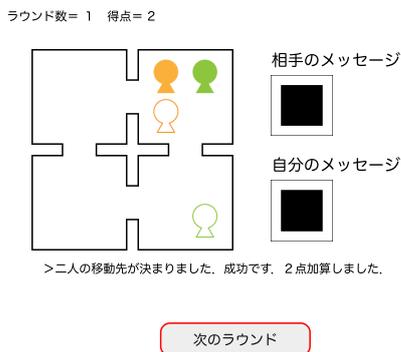


図1: 端末に表示されるゲーム課題の一例

この調整課題は、先手が記号を現在位置の意味で送り、後手が二人の落ち合うことのできる位置（簡単には行き先）を送ることができれば、安定的に得点を得ることができる。このとき、記号は単に部屋に対応付けた字義通りの意味を取りきめれば良いのではなく、先手・後手の文脈に応じて、その部屋に「いる」のか「行く」のかという言外の意味を取り決める必要がある。

3 計算モデル

前述の実験課題に取り組む計算モデルは、主に先行研究で作成した失敗学習モデル [5] をベースにした。記

号のコミュニケーションシステムを形成するためには、メッセージの送信タイミング、メッセージ、そして部屋の位置の3つを決める必要がある。そのため、我々が構築する計算モデルには、メッセージの送信タイミングを決めるテーブル（ 4×100 : 現在地 \times 送信時刻）、部屋の位置とメッセージの対応関係を学習するメッセージテーブル（ 4×4 : 部屋の位置 \times 記号）、そして移動前の部屋の位置と相手のメッセージの組み合わせに対する移動先の関係を学習する行動テーブル（ $4 \times 4 \times 4$: 現在地 \times 記号 \times 行き先）の3つが備わる。それぞれのテーブルの値は0から1の実数値とした。このテーブルを使用して確率分布を構成することにより、メッセージの送信タイミング、送信するメッセージ、そして移動する部屋の位置をそれぞれ決定する。

互いの駒が移動した部屋を一致させることができたとき、該当するテーブル要素に1をセットし、残りの要素全てを0にする。これが計算モデルの学習である。この方法により、計算モデルは成功事例を次回以降100%の確率で再現する。計算モデルはメッセージテーブルを利用して、字義通りの意味と、自身が持つ言外の意味の解釈から、相手はその部屋に「いる」のか、あるいは「行く」のかを推定する。そして、その推定した意味に応じて事前の行動シミュレーションを実行し、自身の移動先に対する一致確率の予想から、行動テーブルの数値を修正する（これは先行研究 [3] において「先行的行動価値修正」と呼んだメカニズムである）。また、移動する部屋が一致しなかった場合においても、メッセージテーブルに関しては学習する。このメカニズムは、先行研究 [5] において初期段階での二者間での語彙形成を早める効果があることを確認している。

3.1 解釈学的循環

先行研究で作成した計算モデルでは、人とのインタラクション実験において、参加者はうまく移動する部屋の一貫率を上げていくことができなかった [5]。その計算モデルでは、字義通りの意味の学習に必要とされる言外の意味（使われる記号が移動前の部屋、すなわち「この部屋にいる」という意味に対応づけられているのか、あるいは移動後の部屋、すなわち「その部屋に行く」という意味に対応づけられているのか）が、課題に成功する組み合わせ（先手が現在位置、後手が行き先を伝える）に初めから固定されていた。しかし、最初の言外の意味が、その課題に成功する組み合わせと異なっていた場合、字義通りの意味の学習は間違っただけになってしまう。これが原因となって字義通りの意味が取り決められずに、課題を成功させることができなかつたのではないかと考えられる。つまり、字義通りの意味と言外の意味の決定は相互依存関係にあり、

言外の意味を相手と合わせた状態で字義通りの意味を取り決めつつ、それが進行した結果として、課題を成功に導くことのできる言外の意味に変更するプロセスが必要だということである (図2)。この相互依存関係がまさに解釈学的循環 [6, 7] である。

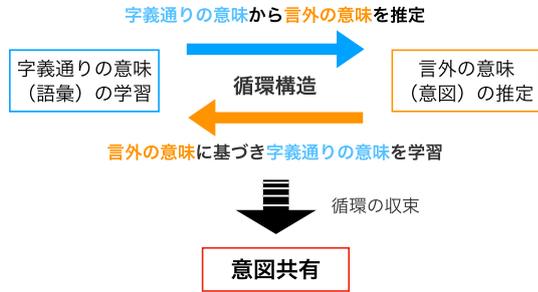


図 2: 解釈学的循環と意図共有

3.2 解釈学的循環を収束させるメカニズム

解釈学的循環を形成し、さらに収束させるためには主に2つの問題を解決する必要がある。1つは、自分がどのような言外の意味を込めて相手に記号を送るかを決定する“自身の意図の選択”に関わる問題である。我々が用意したゲームでは、仮に互いの言外の意味が同じであったとしても、その内容によってはゲームを成功させることはできない (例えば、互いに行き先を伝え合うなど)。そしてもう1つは、相手がどのような言外の意味で記号を送ってきているのかを正しく知らなければならないという問題がある。相手の言外の意味が正しく理解されていないければ、字義通りの意味を取り決めることができないからである。この2つの問題を解決するメカニズムとして、我々は心的シミュレーション [9] と、相手の言外の意味を推定する仕組みを提案する。これら2つのメカニズムを実装したモデルを以降、循環収束モデルと呼ぶ。

3.2.1 心的シミュレーション

心的シミュレーションは、仮想的な意図を形成し、他者の行動を予測する仕組みのことである [9]。分かりやすく例えると、人は囲碁や将棋といったゲームにおいて、相手がどのような手を打ってくるのかを予測する。この予測は、仮想的に構成された心 (もしくは脳) の中でシミュレーションによって実現されていると考えられる。本研究では、メッセージ付きコーディネーションゲームを仮想的に行なうことでこの仕組みを実現する (図3)。また、人がこの心的シミュレーションを行なうときには、それまでの学習内容を用いてシミュ

レートすると考えられるため、計算モデルでの心的シミュレーションにおいても、各種テーブルは最新の学習状態のものを用いた。この仕組みにより、計算モデルはメッセージ付きコーディネーションゲームを成功させる言外の意味 (先手が現在位置を送り、後手が行き先を返す) を探し出せるようになることが期待される。

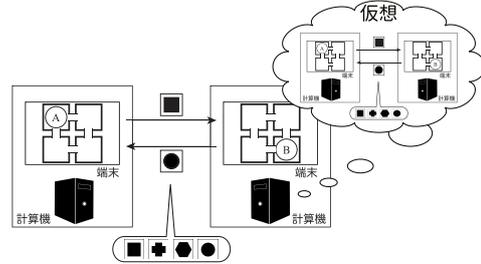


図 3: 心的シミュレーション

3.2.2 相手の言外の意味の推定

心的シミュレーションと違い、相手の言外の意味は相手から送られてくる情報を元に推論する必要がある。その情報は、メッセージ (記号) とメッセージを送った順番、移動前にいた部屋の位置、そして移動後にいた部屋の位置の4つである。これらの情報を用いた言外の意味の推定に関して、本研究では相互情報量による推定 (以降、MI 推定と呼ぶ) と同義語と同音異義語の数による推定 (以降、SH 推定と呼ぶ) の2つの方法を検討した。

MI 推定は、メッセージ (記号) を移動前の部屋 p_s と対応づけた場合と、移動後の部屋 p_e と対応づけた場合それぞれの相互情報量を (1) 式により計算し、その情報量が高い方を相手の言外の意味であると判断する。

$$MI(m|p_x) = \sum_{p_x} \sum_m^n p(m, p_x) \log_2 \frac{p(m, p_x)}{p(m)p(p_x)} \quad (1)$$

where

$$p_x \in \{p_s, p_e\}$$

この推定方法は、ある程度の頻度が積もらなければ正しい推定が行えないため、初期段階での推定精度が悪くなることが予想される。

SH 推定は、記号と場所との対応関係について、同義語 (1つの場所に複数の記号が対応づけられているケース) と同音異義語 (1つの記号に複数の場所が対応づけられているケース) の数を計算する。この計算を移動前の部屋あるいは移動後の部屋に対して行ない、同

義語と同音異義語の数が少ない方を曖昧性が少ない対応関係とみなし、相手の言外の意味であると判断する。MI 推定と違い SH 推定は多くの頻度を必要としないため、初期段階での推定精度が MI 推定よりも高くなる事が予想される。

4 推定方法の検証方法と結果

MI 推定と SH 推定のそれぞれを循環収束モデルに実装し、計算機シミュレーションによってその効果の違いを調査した。MI 推定どうし、SH 推定どうしで 100 ペアずつシミュレーションを実施した。

まず、それぞれの計算モデルのゲームにおける 12 ラウンドごと¹の移動する部屋の一致率の推移を図 4 に示す。同時に、図には人どうし (20 ペア) の結果 (全体平均とそれを成功群 14 ペア、失敗群 7 ペアに分けた場合²の推移) を記載した。

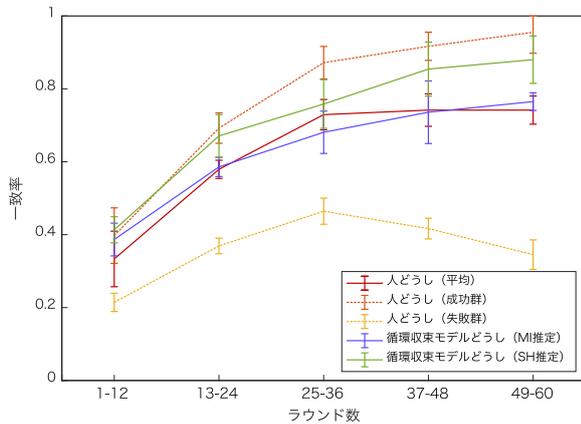


図 4: 人どうしおよび 2 つの循環収束モデルの一致率の推移

この結果を見ると、MI 推定を用いた循環収束モデルは人どうしの全体平均によく似た一致率で推移することを見て取ることができる。また、SH 推定を用いた循環収束モデルは、1-24 ラウンドにおいては人どうしの成功群と近い一致率を達成することができている。続く 25 ラウンド以降では、成功群に追従することなく、成功群と全体平均の間で推移している。

次に、それぞれの推定方法がどの程度相手の言外の意味を推定することができていたのかを確認する。計算機シミュレーションでは、実際に相手がどのような言外の意味を用いていたのかを確認することができた

¹このメッセージ付きコーディネーションゲームでは、部屋の初期位置の組み合わせが全 12 パターンになる。初期位置の偏りが出ないよう、シミュレーションでは 12 ラウンドですべてのパターンが出現するようにしたため、12 ラウンドごとの一致率を見ることとした。

²メッセージを使わずに実現できる一致率の最大値 (1/2) よりも、有意に高い一致率となったペアを成功群とし、他方を失敗群とした。

め、用いていた言外の意味と推定結果を比較し、一致していた場合は 1 を、一致していない場合は 0 として 12 ラウンドごとの推定精度を算出した。一定の頻度が積もっていない場合は推定を行わないため、その場合については計算から除外した。MI 推定ならびに SH 推定の 12 ラウンドごとの精度の推移を図 5 に示す。

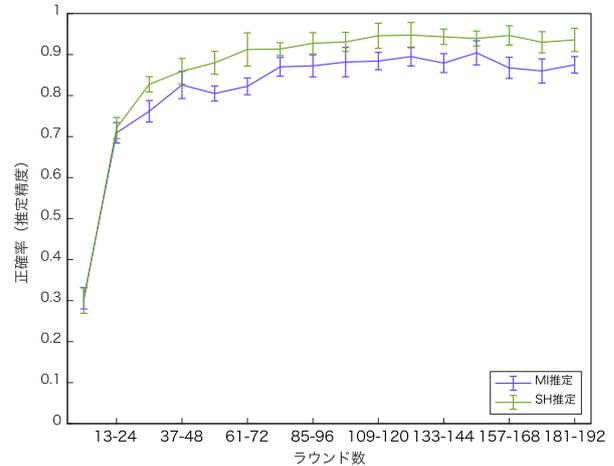


図 5: 12 ラウンドごとの言外の意味の推定精度の推移

推定精度はどちらの計算モデルも 1-24 ラウンドにおいては大きな差が生じていないことがわかる。他方、25-36 ラウンドでは SH 推定が MI 推定より精度の上昇率が高いことが確認できる。その後の推移をみても、SH 推定が安定して MI 推定よりも高い精度を維持している。

最後に、言外の意味を変更した際に、それまで学習していた字義通りの意味の解釈を破棄 (初期化) することの効果を確認する。学習の初期化による影響を見るために、1-12 ラウンドでは心的シミュレーションによる自身の言外の意味の修正を行わずに、初期状態としてセットされた言外の意味を使って字義通りの意味の学習を行なう。そして、13 ラウンドから心的シミュレーションを開始することで、自身の言外の意味の変化を起こし、そのタイミングで学習したテーブルを初期化する。

MI 推定、SH 推定それぞれの結果を図 6 に示す。図 6 には、MI 推定と SH 推定のそれぞれで、テーブルの初期化としてメッセージテーブルのみ、行動テーブルのみ、そしてメッセージテーブルと行動テーブルの両方を初期化した場合のグラフを示した。さらに、初期化効果の焦点となる 13-24 ラウンドの、各条件での一致率の違いを図 7 に示した。

結果的に、いずれのテーブルも初期化しない SH 推定のモデルが最も高い一致率となった (図 7:1)。MI 推定の場合には、13-24 ラウンドの区間では行動テーブルを初期化した際に最も高い一致率となっている (図

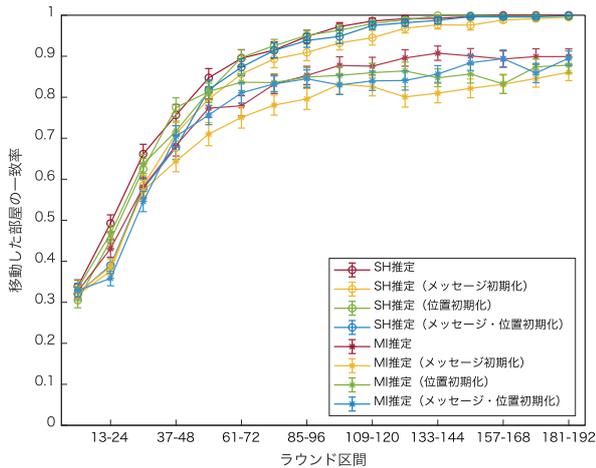


図 6: メッセージテーブルおよび行動テーブルの初期化を行なった場合の一一致率の推移

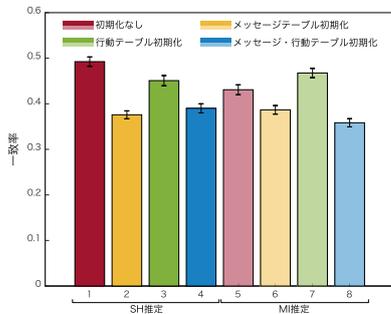


図 7: メッセージテーブルおよび行動テーブルの初期化を行なった場合の 13-24 ラウンドの一一致率

7:7) が、続くラウンドの一一致率の推移を見ると、初期化をしないモデルの方が一致率が高くなる事が確認できる。これらの結果は、メッセージテーブルや行動テーブルの初期化が、一致率を向上させる効果を持たないことを示している。また、メッセージテーブルと行動テーブルのいずれもが一一致率の向上を阻害するかというと、そうではないようである。図7を見ると、特にメッセージテーブルを初期化した際に、一致率が向上しなくなっていることが確認できる。

テーブルの初期化効果とは別に、MI 推定と SH 推定の違いを図6で確認すると、人どうしの結果との比較のため 60 ラウンドまでしか一致率の推移を表示しなかった図4での結果以上に、SH 推定の方が一致率を高めていることが確認できる。MI 推定は長く続けても一致率を 1 に到達させることができず、解釈学的循環の収束に何らかの問題を抱えていることがわかる。これは、図5に示す言外の意味の推定精度が SH 推定で 90%程度ある状態から、MI 推定で 80%程度に落ちていることが影響した結果であると考えられるが、そ

のメカニズムの解明にはより詳細な分析が必要である。

5 議論

本研究で構築した循環収束モデルは、言外の意味(記号が指し示す部屋に「いる」のか「行く」のか)と字義通りの意味(部屋の位置と記号の対応関係)の間で相互依存性の循環構造を形成し、さらに心的シミュレーションと言外の意味を推定する2つのメカニズムによりその循環を収束できることが計算機シミュレーションにより示された。このモデルによって実現された移動する部屋の一一致率の推移(図4)は、人どうしの全体平均の特性と非常に似たものとなった。先行研究の計算モデル(失敗学習モデル[5])は、言外の意味と字義通りの意味を扱うモデルでありながら、言外の意味をゲーム課題に成功する状態に固定化しており、言外の意味と字義通りの意味が循環しないようになっていた。この計算モデルは、計算機どうしのシミュレーションにおいては人どうしの一一致率の推移を大きく超えるパフォーマンスを発揮したが、人とのゲームには失敗してしまっ。この経緯を踏まえれば、循環収束モデルが持つメカニズムは、人の持つメカニズムに迫ることができているのではないかと考えられる。

循環を収束させるメカニズムの1つである言外の意味の推定について、本研究では相互情報量を用いた MI 推定と、同義語および同音異義語の数を用いた SH 推定の2つを検討した。SH 推定の方が MI 推定よりも良いパフォーマンスを得ることができたのは我々の当初の予想通りだが、そのメカニズムについては注意が必要である。なぜなら、我々は当初、SH 推定の利点は頻度の低い状態であっても言外の意味を適切に推定できることにあると考えていた。しかし、初期段階での言外の意味の推定精度を確認すると(図5)、そこにはほとんど違いが見られない。むしろ、頻度が十分に得られる期間で、推定精度に10%程度の差があった。この原因については、より詳細な分析が必要であろうと考えられる。

さらに、言外の意味の修正過程において、それまで学習してきた字義通りの意味の解釈を破棄することの有効性を確認したが、この方法は有効ではなかった。特にメッセージの初期化は、我々の予想とは反対に一致率を下げる結果となってしまった。この理由として我々は、共有された成功時の対応関係も初期化によって消されてしまうからではないかと考えている。他方で、異なる言外の意味解釈の下で進められた学習内容が残っているにも関わらず、初期化をしないの方がパフォーマンスが高かったのは、計算モデルに備わる他者模倣(先行研究[11]において役割反転模倣[10]として実装された仕組み)のメカニズムが、字義通りの意味の必要な

部分のみの修正を可能にしたためではないかと考えている。

今後は上述したメカニズムについての詳細な分析を進めつつ、構築する循環収束モデルと人との実験室実験を実施する必要がある。これにより、循環収束モデルの機能的妥当性を検証することができるものと考えられる。

6 むすび

本研究では、他者と記号をやり取りしながら取り組む調整課題を用いて、人がその記号の字義通りの意味と言外の意味をどのように共有するようになるのかを調べた。特に我々は、字義通りの意味と言外の意味の学習過程で生じる相互依存性を持った循環構造（解釈学的循環）の必要性に気づき、その構造を持つ計算モデルを構築した。さらに計算機シミュレーションにおいて、我々が提案する2つのメカニズム（心的シミュレーションと相手の言外の意味の推定）がその循環を収束させ、その結果として記号の二重の意味の共有が実現されることを確認した。また、相手の言外の意味の推定には、相互情報量を用いた方法よりも、同義語および同音異義語の数をを用いた方法の方がより高い推定精度を実現できることを明らかにした。

加えて本研究では、循環を収束させる2つのメカニズムに付随して、言外の意味を変更する際に、それまでに学習した字義通りの意味解釈を破棄する仕組みが持つ効果を検証した。結果、その仕組みは我々の予想とは反対に、記号の意味の共有を妨げる効果があることを確認した。この原因は、成功時の対応関係さえも破棄されてしまうからではないかと我々は考えている。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究 (A) 「道徳的行為者のロボットの構築による〈道徳の起源と未来〉に関する学際的探求」/課題番号 19H00524, 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] Frith, U.: *AUTISM: Explaining the Enigma*, Blackwell Publishing, pp. 219–220(邦訳) (1989)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] 河上 章太郎, 金野 武司: 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, *HAI シンポジウム 2017 プロシーディングス* (2017)
- [6] 津田 一郎: *ダイナミックな脳—カオスの解釈*, 岩波書店 (2002)
- [7] Carston, R.: *Thoughts and Utterances: The Pragmatics of Explicit Communication*, Blackwell(2002)
- [8] Galantucci, B.: An experimental study of the emergence of human communication systems, *Cognitive science*, 29(5), pp. 737–767 (2005)
- [9] Gordon, R.: Folk Psychology as Simulation, *Mind and language* 1, pp. 71–158(1986)
- [10] Tomasello, M.: *Constructing a Language, A Usage-Based Theory of Language Acquisition*, Harvard University Press (2003)
- [11] 金野 武司, 森田 純哉, 橋本 敬: 人工言語の共創実験: 使用する記号の類似性が導く言外の意味の成立, 日本認知科学会第 30 回大会予稿集, pp. 18–24 (2013)