

再帰的結合による多様な仮説生成  
 + Embodied Simulation による仮説選択  
 → アブダクティブな意図共有のベース  
**Diversified Hypotheses Generation by Recursive Combination +  
 Hypotheses Selection by Embodied Simulation**  
 → Basis of Intention Sharing by Abduction

橋本 敬

Takashi Hashimoto

北陸先端科学技術大学院大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology

hash@jaist.ac.jp

**概要**

言語コミュニケーションの特質である階層性と意図共有の統合を理解することは、言語の起源を追求する上で重要であろう。意図共有をアブダクティブな推論と考えると、そこに階層性と意図共有を統合する可能性がある。すなわち、他者の意図に関する多様な仮説の形成に、階層性を生み出す再帰的結合が持つ生成物の多様化という機能が活かされる。そして、その仮説の中から Embodied Simulation 可能な仮説が選択されることで、他者の意図を理解・納得できる。

キーワード：再帰的結合(Recursive Combination), 意図共有(Intention Sharing), アブダクション(Abduction), Embodied Simulation

**1. はじめに**

人間の言語コミュニケーションは、階層性を持つ記号列により複合的概念を構築し、他者と意図を共有するという特性を持つ。この二つの能力が合わさることで、人間は豊かな物質文化・精神文化を共創してこれたと考えられる。この階層性と意図共有の能力がいかにして進化しヒトにおいて統合したかを明らかにすることが、言語の起源のコアとなる問題だと考えられる<sup>1</sup>。本稿は、両者の統合の一つの形として、階層性を生み出す基盤的能力である再帰的結合により他者の意図を推論するための多様な仮説を生み出し、その仮説が Embodied Simulation により選択されることでアブダクティブな推論による意図理解ができるという仮説を提示する。

**2. 階層性と再帰的結合**

まず、階層性とそれを生み出す再帰的結合について

の暫定的な定義を与える<sup>2</sup>。階層性は「要素のまとまりが新たな機能を実現し、さらに、それら(=要素のまとまり)のまとまりがより上位の機能を実現すること」と定義できる<sup>3</sup>。

言語で想定している階層性は、単語や形態素を合わせて文や複合語を作ることで「意味」という機能が実現するような場合である。たとえば unlockable という単語は、un, lock, able という3つの要素がまとまっている。これを、{un, lock}というまとまりと able のさらなるまとまりと考えると、「unlock=解錠する」という意味と「able=可能」の意味がまとまって「解錠可能」という上位の意味が実現される。一方、「{lock, able}=施錠可能」というまとまりに「un=否定」という機能がさらにまとめられていると考えると、「施錠不可能」という異なる意味になる。すなわち、まとまりのまとまり方によって上位の機能(意味)が異なり得る。あるいは、要素をまとめることで概念を作り、まとめかたの違いによって異なる複合的な概念の構築をしている。これが人間言語においては、「un+lock+able」という sequence (あるいは、線形の合成性, linear compositionality) ではなく階層性(階層的な合成性,

<sup>2</sup> ここでの階層性および次節での意図共有の定義は、研究を進めるための作業的・暫定的なものであり、今後の研究の進展を通じて改訂されるものである。

<sup>3</sup> この定義は、段階的にまとめるという構造だけではなく、各段階でのまとまりがなんらかの機能を持つと考える点に特徴がある。そして、本稿で中心的に扱う言語文における階層性以外の現実の多様な階層構造に広く当てはまると考えられる。たとえば、場所の階層性については以下のように考えることができる。すなわち、{流し, コンロ, 食器棚, …}がまとまった「キッチン」という特定の機能を持つ部屋、{ソファ, テレビ, …}がまとまった「リビング」、そして、{キッチン, リビング, 寝室, …}が上位でまとまった「家」、さらに、「流し」は{蛇口, 排水溝, …}という下位の要素からなる。

<sup>1</sup> 共創言語進化学 (<http://evolvinglinguistics.net>) 参照

hierarchical compositionality) が不可欠であることの証左だと考えられる[1].

上記の説明で見たように、階層構造は二つの要素を組み合わせたものに他の要素を組み合わせることを繰り返すことで作り出すことができる。すなわち、要素の組み合わせという関数を再帰的に適用しているの、ここではこの操作を再帰的結合(Recursive Combination)と呼ぶ[2]. 生成言語学では語彙項目(統語体)の結合を併合(Merge)と呼ぶ[3]. 結合される語彙項目はすでに結合されたものであってもよいので、併合自体は再帰的な適用が可能、あるいは併合が再帰的操作であると考えられる。この再帰的な語彙結合操作がヒト固有の計算機構であり言語の起源の重要イベントであると考えられている[4]. 一方、我々が考える再帰的結合は結合される対象に限定をつけず、物体、イメージ、概念、語彙、数など離散的要素であればなんでも適用対象となると考える。したがって、再帰的結合は併合の一般化された操作であると位置づけられる。

物体を対象とした再帰的結合がどのような適応的機能を持ち、どのような条件で進化しうるかを調べた進化シミュレーション[5]より、再帰的結合は、生成物を多様化すること、および生成方法を多様化することという適応的機能を持ち、多様な物を生み出すことが有利になるような状況で進化し得ることが示された<sup>4</sup>。本稿では、この生成物を多様化する機能は仮説生成においても有効ではないかと考える。

### 3. 意図共有におけるアブダクション

つぎに意図共有を定義する。まず、意図を「実現したい状態に関する態度」とし、意図共有を「相手が実現したい状態に対する態度を理解し、自分もその状態を実現しようという態度を持つこと」と定義する。

これは「意図理解」よりも厳しい定義になっている。すなわち、後半の部分で自分も他者が実現したいことを実現しようという意図をともに持つことを課しており、話者と聴者がより協調的・協力的な関係である。また、話者が実現したいと思っている状態をたまたま実現することよりも、一段深い埋め込みが想定されて

いる。なぜなら、聴者には話者の意図を理解して実現することを意図することが要請されているからである。すなわち、「話者の意図を理解し、それを実現しようと意図する」という再帰的(reflexive)な構造になっている。コミュニケーションにおいてこのように定義された意図共有を実現するには、コミュニケーションを行う両者に(あるいは少なくとも聴者には)複合的な概念を構築できる能力が要請される。

人間のコミュニケーションでは、メッセージの字義通りの意味(denotation)だけではなく、メッセージの言外の意味(connotation)がある場合がほとんどで、意図は多くの場合後者に含まれる。そして、言外の意味が理解され、さらに共有されてこそコミュニケーションは成功とみなされる<sup>5</sup>。

言外の意味のように表面的に表されない意図を理解するには、コミュニケーションをコードモデル(あるいは導管モデル)ではなく推論モデルで考えた方が適切であろう[7, 8]。コードモデルとは、話者は伝えたい意味のあるコード(語彙や文法のようなルールもコードの一種)によって表現に変換し、それを導管で運搬し、聴者は同じコードを用いて表現から意味を回復(デコード)することによって意味を理解するというコミュニケーションのひとつのモデルである[9]。

一方、推論モデルでは、コミュニケーションは以下の二つの意図により成り立つとする[8]。

#### (a) 情報意図

話者 S は、S の行為 x が聴者にある特定の反応を起こすことを意図する(聴者になにかを伝えることを意図する)

#### (b) 伝達意図

話者は、聴者が話者の情報意図(a)を認識することを意図する(情報意図を伝えることを意図する)

そして、これらの意図を伝えられるのは、コード解読ではなく推論によって可能になると考える。

この推論には、相手や状況に関するあらゆる情報(すなわち文脈に関する知識)を使えりとし、それによって暗喩・婉曲・間接表現を含む定型的ではない意図の伝達・理解・共有が可能になる。だが、確定的なコー

<sup>4</sup> たとえば、資源を獲得する道具を物体や物体を加工する操作を組み合わせて製作する場合、資源を巡る競争が激しいような環境では、多様な道具を製作し多様な資源を利用できるようにすることが生存上有利になる。このような環境では物体や物体操作の再帰的結合により多様な道具を作ることが適応的となり得ると考えられる。

<sup>5</sup> ある行為により意図の伝達が意図され、それ(ある行為により特定の意図を伝達すること)を意図していることまで含めて理解される(相手はその行為が意図を伝達しようとする意図を持っていることを理解する)ことをコミュニケーションの定義に求め、意図しない共有はコミュニケーションに含まないという制限的な定義もあるが[6]、本稿ではそこまで限定的にしない。

ドによって伝えるのではないため、常に伝達に失敗する危険もある。

この推論はアブダクションと考えることが妥当である。アブダクションとは、ある興味深い現象に対してそれを説明できる妥当な仮説を設定する推論であり、プラグマティズムの哲学者 C. S. パースがはじめに提唱したと言われている[10]。現象の裏にある原因（表面的には分からないメカニズム）の推定においてもアブダクティブな推論が働いていると考えることができる[11]。「ある興味深い現象 X を観察したとき、そこに C という原因があると仮定すると X をうまく説明できる」という推論である。コミュニケーションにおける意図は話者の心の中にあり、他者の心は通常見えないものである。その心の中の意図を観察可能な行為（受け取った発話など）から推定することは、観測された現象からその裏にあるメカニズムを推定することと同じ推論が働いていると考えることで説明可能である。すなわち「S が x という行為をしたが、S が I という意図を持っていると仮定すれば x をうまく説明できる」という推論だ。

だが、有限の観察事例を説明可能な仮説は原理的には無限にあり得る。実際には無限とは言わないが、多くの仮説を想定し（仮説生成）、その中から適切なものを選択しなくてはならない（仮説選択）。

#### 4. 意図推定におけるミラーニューロンシステムの役割

話者が意図を表現するコミュニケーション的行為は、言語的な発話も含むが、発話に限定されるわけではない。この行為が身体運動でありその運動を聴者が観察できるなら、運動の目的としての意図と観察者のミラーニューロンシステム（MNS）の活動が対応すると言われている[12]。すなわち、何のためにある運動をするかという運動意図の認識は神経的には MNS によって支えている可能性がある。また、「蹴る」「噛む」といった身体運動を表す表現を読んだ時と、その単語が表す運動を観察した時の運動野の脳活動に相関がある[13]。すなわち、身体運動を表す言語表現でも MNS が活動するということであり、そのような表現の意図の認識も MNS によって支えられている可能性がある。

だが、言語のように記号を用いたコミュニケーションの場合は、身体運動を直接表すような記号ばかりが使われるわけではない。そのような記号メッセージの

意図認識にも MNS は関わるとだろうか。これには、運動野における脳波のミュー波抑制を MNS の指標とした、記号コミュニケーションシステムの形成プロセスの脳活動の分析[14]が参考になる。この研究では、コミュニケーション状況（相手と記号コミュニケーションシステムを形成するゲームを行っている状況）だけでなく非コミュニケーション状況（実際には相手がいないランダムな機械を相手にした一人ゲームを行っている状況）においてもミュー波抑制が生じる人は、コミュニケーション状況において記号メッセージの言外の意味をよりよく理解し、記号コミュニケーションシステムの形成にも成功しやすかった。

この結果は次のように解釈できる。運動野のミュー波抑制は MNS の活動を反映しており、MNS は Embodied Simulation の機能の神経基盤と考える[15]。コミュニケーションではないような状況（相互作用する人間がいないような状況）でも Embodied Simulation をしやすい人は、コミュニケーション状況では相手の人の内部状態を Embodied Simulation し、意図を含む言外の意味を推定しやすい。これは、他者の情報意図に関する仮説の選択を Embodied Simulation によって行っていることを示唆する。Embodied Simulation にこのような役割があると考えることは、日常的なコミュニケーション状況で他者の伝達意図を察知できることも納得しやすい。すなわち、どのような行為が何かを伝えることを意図した行為であるかを自分の身体をベースとして理解することができる。

#### 5. 階層性と意図共有を統合する一つの試案

ここまでに書いたことをまとめる。

- 階層性を生み出す再帰的結合は、生成物を多様化するという機能を持つ
- 意図共有はアブダクティブな推論で、多様な仮説生成とそこからの仮説選択が必要とされる
- Embodied Simulation をしやすい人は記号コミュニケーションで話者の意図を推定しやすい

これらを以下のように繋げることができる。他者の意図に関するアブダクティブな推論に必要な多くの仮説の形成に、再帰的結合による多様な表現生成という機能が活かされる。そうやって生成された仮説の中で、Embodied Simulation 可能な仮説が選択される。すなわち、相手の行為を説明するかどうかは分からないも

の・非現実的なものも含めて、再帰的結合操作という形式的な計算により多様な仮説（可能な情報意図）を生み出し、その中から自分の身体によって実現できそうなものを現実的に相手が持っていそうな意図として選択する。

この考えに基づいて推論モデルに基づく意図共有のコミュニケーションのプロセスを考えると次のようなものになる。話者は複雑な意図（言外の意味）を再帰的結合によって内的に生成し、それに対応する階層性を持つ内部表現も再帰的結合によって生成する。これを線形化して発話する（言語発話でも運動でも、外部化されたものは *sequential* な行動である）。聴者は、話者の意図に関する仮説（言外の意味）を再帰的結合によって内的に（無意識に）生成し、その中から文脈に合ったものを自身の *Embodied Simulation* により選択する。そして、これに対応する階層性を持つ内部表現も再帰的結合によって生成する。一方で、受け取った発話に対応する複数の階層構造を想定できるが、それは線形表現からデコードするのではなく、自身の生成したものとあったものを字義通りの意味として選択する。

再帰的結合による仮説生成と *Embodied Simulation* による仮説選択が意図共有のベースとなるというこの考え方は、あるコミュニケーション状況において自分でも持ちそうな意図を他者も持つことを想定する。それゆえ、行為をコード的に解釈するのではなく、行為を（身体的な）推論のきっかけとして使うことになり、身体運動を観察したり身体運動を直接的に表す表現を聞いたりしなくても、ある行為によって惹起・想起され得る自身の身体運動があるならば意図の共有が可能であると考えていることになる。さらに、身体性が著しく異なる他者の意図は理解しにくいことを示唆する。だが、生成する仮説自体には、自分も持ちそうな意図による運動だけではないもの（自分は通常は持たないであろう意図）も含まれる。自分自身は持ち得なさそうな、あるいは、実際には実現しなさそうな意図を他者が持つ可能に開かれており、*Embodied Simulation* による選択がうまく行かない場合の他の仮説を探索する道を保持している。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP26240037, および, #4903 (共創言語進化), 17H06383 の助成を受けている。

## 文献

- [1] Everaert, M.B.H., Huybregts, M.A.C., Chomsky, N., Berwick, R.C., & Bolhuis, J.J., (2015) Structures, not strings: Linguistics as part of the cognitive sciences, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.19, No. 12, pp 729-743. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.09.008>
- [2] Toya, G. & Hashimoto, T., (2018) Evolution of recursive combination operation, In C. Knibbe, G. Beslon, D.P. Parsons, D. Misevic, J. Rouzard-Cornabas, N. Bredèche, S. Hassas, O. Simonin, H. Soula (eds.) *Proceedings of ECAL 2017: The 14th European Conference on Artificial Life*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 396-403. [https://doi.org/10.7551/ecal\\_a\\_067](https://doi.org/10.7551/ecal_a_067)
- [3] Chomsky, N., (1995) Bare phrase structure. In H. Campos. & P. Kempchinsky. (eds.), *Evolution and Revolution in Linguistic Theory*. Georgetown University Press, Washington DC, pp. 1–15.
- [4] Hauser M.D., Chomsky N. & Fitch W.T., (2002) The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve? *Science*. Vol. 298, No. 5598, pp. 1569–1579.
- [5] Toya, G. & Hashimoto, T., (2018) Recursive combination has adaptability in diversifiability of production and material culture, *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, pp. 1512–1519. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01512>
- [6] 柏端達也, (2016) コミュニケーションの哲学入門, 慶應義塾大学出版会.
- [7] Grice, H.P., (1975) Logic and conversation. In P. Cole & J.L. Morgan (eds.), *Syntax and Semantics, Vol. 3, Speech Acts*, Academic Press, Cambridge, MA, pp. 41–58.
- [8] Sperber, D. & Wilson, D., (1986/1995) *Relevance: Communication and Cognition*. Blackwell, Oxford.
- [9] Shannon, C.E. & Weaver, W., (1949) *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL.
- [10] Peirce, C.S., (1940) *Philosophical Writings of Peirce*, J. Buchler, (ed.), Harcourt, Brace and Company, NY.
- [11] 米盛裕二, (2007) アブダクション—仮説と発見の論理, 勁草書房.
- [12] Iaconi, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J.C., & Rizzolatti, G., (2005) Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system, *PLoS Biology*, Vol. 3, No. 3, e79. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030079>
- [13] Aziz-Zadeh, L., Wilson, S.M., Rizzolatti, G., & Iaconi M., (2006) Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions, *Current Biology*, Vol. 16, No. 18, pp. 1818–1823. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.060>
- [14] Li, G., Hashimoto, T., Konno, T., Okuda, J., Samejima, K., Morita, J., & Fujiwara, M., (under review)
- [15] Rizzolatti, G. & Arbib, M.A., (1998) Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, Vol. 21, No. 5, pp. 188–194. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01260-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01260-0)