

創発システム論から見る記号

内部視点から記号を捉える記号創発ロボティクスのアプローチ

Symbol System as an Emergent System

Symbol Emergence in Robotics : Constructive Approach towards Subjective Perceptual Symbol Systems

谷口 忠大*¹

Taniguchi Tadahiro

*¹立命館大学

Ritsumeikan University

This paper describes the problems of approaches towards ‘ ‘symbol systems ’ ’ in the research field of artificial intelligence. In conventional artificial intelligence researches, amodal symbolic systems have been explicitly or implicitly assumed. In contrast with such approaches, we insist that a symbol system have to be considered as a part of an emergent system called symbol emergent system. Based on the concept, we describe the importance of the approach called symbol emergence in robotics.

1. 記号

記号という言葉は、しばしば、概念や言語という言葉と混同を受けながら人工知能研究の歴史の中でナイーブに用いられてきた。記号とは人工知能分野における学術用語である前に、人間の主観的世界における認識、コミュニケーションに関わる学術用語であり、人工知能における記号の扱いも人間の諸活動における広範な記号現象を説明できるように構想されるべきである。少なくとも工学的な文脈における人工知能研究のみの要求に従って道具的かつアドホックな定義を繰り返してよいものではない。

人工知能研究の歴史を振り返ると Frege らによる述語論理や様相論理をはじめとした記号論理学（数理論理学）がその源流の一つにあることは容易に発見される。人工知能分野における記号という言葉はこの記号論理学における記号という学術用語を大いに引きずっている。記号論理学において主眼は論理にあり、記号の意味については統語論的な意味表現のみが扱われたものの、現実世界と対応付けについては問題の先送りを受けたと言ってよい。現実世界との対応における問題は Harnad によって記号接地問題として明示的に指摘された [1]。現実世界との身体的相互作用を通じた知能理解の重要性は Pfeifer らの身体性認知科学においても指摘されている [2]。

ナイーブな記号理解では「真なる記号」、客観的に正しい記号というものが存在すると仮定しがちである*¹。この仮定は思想的にはプラトンのイデア論にまで遡ることになると思われる。しかし、このような記号理解は現実世界で人間達によって担われている記号過程のダイナミクスを表現する上では粗い近似であることを理解すべきである。この近似は暗に明に人工知能研究、認知科学研究において研究者に以下の副作用を生じさせがちである。

副作用 1 コミュニケーションのために記号（サイン）と、認識に関わる記号（記号過程）及び概念を混同させてしまう。

副作用 2 「認知的な閉じ」の前提を忘れさせる。

副作用 3 記号の多様な解釈という現象を忘れさせる（サインと解釈項を同一視させてしまう）。

副作用 4 扱っている記号の現実世界への接地が済んでいるものと誤解させてしまう。

連絡先: 谷口忠大, 立命館大学情報理工学部, 〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1, 077-561-5839, taniguchi@ci.ritsumeikan.ac.jp

*¹ 例えば、真なる「りんご」や真なる「テレビの前」が存在すると仮定するということ。

副作用 5 記号の恣意性（分節化、範疇化、及びラベル付け）を忘れさせる。

副作用 6 言語獲得の問題がパターン認識の問題だと思わせてしまう。

副作用 7 記号系自体が時代や社会に依存して変化していくダイナミクスを問題の対象から外させてしまう。

上記に列挙したものには必然的なものからあくまでも傾向を示すものまで含まれているが、「真なる記号」の存在を仮定することは、それ自体が本来議論すべき問題の構成要素同士を癒着させてしまい、議論を泥沼へと引きずり込んでしまいがちである。熱力学とのアナロジーで語るならば、記号系を担う社会と、世界を認識し行動する個体の双方の系に関して平衡系の近似を導入しているようなものである。この 50 年間で記号に関する平衡系の議論に一定の成果を得た現在では私達も非平衡への議論へと進むべきなのだろう。

人間が本来扱う記号に関しては記号論の文脈において豊富な議論がある。これらの議論と整合的な接続を行うことがまず第一歩として重要であろう。Peirce の記号論においては記号は記号過程として表現され、サイン・対象・解釈項の三組において定義される [3]。人工知能分野におけるナイーブな記号理解ではこの三組を同一視してしまうことで、副作用 1,3,4 などを生じさせる。例えば、概念とは記号の頭れであるサインそのものからは切り離し、記号過程を支える内部情報表現として取り置くべきだと著者は考える。上記のシフトは Barsalou が従来の認知科学研究における表象の取り扱いを Amodal Symbol Systems と批判し、Perceptual Symbol Systems を提唱したシフトに重なる [4]。

2. 創発システム

「真なる記号」系の存在を手放した際に、記号を操る人間の集団としてのシステムを記述する際のダイナミクスはその抛り所を一旦失うことになる。「真なる記号」系の存在を仮定していれば、そのダイナミクスは「真なる記号」系という安定点へのホメオスタティックなダイナミクスとして記述出来るだろう。しかし、「真なる記号」系は現実世界に存在せず、記号系とはソシュールの意味において恣意的なものであると共に、パースのプラグマティズムの意味において道具的なものである [5]。個々の個体が環境認識と適応的行動のために概念を形成し、集団行動形成のためのコミュニケーションのために記号を活用し、これらが相互作用しながら変化していく。この変化の時間発展の中で数十年の時間スケールの中で平衡状態と近似しうる

ものとして観測されているのが「真なる記号」系にすぎない。この意味では記号系に対して進化論的描像、及びオートポイエティックな描像を与えることが重要である。この考え方をまとめたものが記号創発システムである [6]。そもそも、創発システムとは北村らによれば、

自律的に振る舞う個（個体や要素など）間および環境との間の局所的な相互作用が大域的な秩序を現し、他方、そのように生じた秩序がこの振る舞いを拘束するという双方向の動的過程により、新しい機能、形質、行動などが獲得されること。

を指す [7]。これは文部省科学研究費補助金重点領域研究「創発的機能形成のシステム理論」（1995 年度-1998 年度）の議論を通して得られた定義であり、創発システムの要件を上手くとらえた定義になっている。「双方向の動的過程」はマイクロ・マクロループとも呼ばれる。記号創発システムは人を系に含んだ創発システムのサブセットである。著者は文献 [6] の中で

自律知が十分な記号過程を担う適応性をもてば、互いに記号論的相互作用を行うことで協調的に作動するひとまとまりのシステムが生まれることになる。このような個体の学習適応過程に支えられ、ボトムアップに創発する記号系を媒介にして作動するシステムを記号創発システムと呼ぶことにしたい。

として、記号創発システムを導入した。必要十分な導入となっているかは議論の余地があるが、創発システムの定義における「大域的な秩序」を「記号系」に当てはめ「局所的な相互作用」を個体間のコミュニケーションや環境認識、適応的行動に当てはめることで、記号現象のダイナミクス全体を創発システムという枠組みで捉え直した点が要諦である。

3. 記号創発ロボティクス

著者らは記号創発システムを理解するための構成論的アプローチとして記号創発ロボティクスという研究領域を展開している。詳しくは文献 [8] を参照していただきたい。同名のオーガナイズドセッションを人工知能学会全国大会においても 2011 年から継続的に開催している [9]。記号の研究をするのに「なぜロボティクスなのか？」という問いがしばしばなされる。ロボットの定義を簡便に身体を持つ計算機とし、また、身体を知覚系としてのセンサ系、運動系としてのモータ系を持つものとした上で、ここでその問いに端的に答えておきたい。

平衡系の議論では対象系を数理的にモデル化し解析的な解を得ることがしばしば可能である。これに対して動的な系、複雑な系、非平衡な系では、少数の事例の除いては解析的な解を得ることが往々にして困難である。基礎的なモデルを構築してもその作動としての動的過程はモデルを作った本人にとっても自明ではない。これらのモデルの作動を確認することは、計算機によって補完されてきた。複雑系や人工生命研究における構成論的アプローチは計算機の低廉化、高性能化、普及によって支えられてきた。

記号過程の基礎的なダイナミクスは個体における実環境との相互作用を通じた学習や認識、行動及び記号を用いたコミュニケーションにある。私達が扱うべきは、それらを支える認知システム内部の基礎ダイナミクスであり、それが作動した際の社会における創発的ダイナミクスである。この基礎ダイナミクスは個体の内部視点から得られる情報のみによって駆動される。この基礎ダイナミクスが個体が得る情報を自己組織化させ、記号を用いたコミュニケーションに発展させうることが示されなければならない。この基礎ダイナミクスの検証のためには、計算機だけではなく、計算機を実世界とつなげるセンサ系とモータ系が必要になる。それゆえに、記号創発システムの基礎ダイ

ナミクスを研究し検証する第一歩として、ロボットという身体を用いた構成論を構築することは必然とも言えるのである。

現状においては、基礎ダイナミクスの記述の方法論として確率モデル、特に生成モデルに基づくアプローチが最も簡便であり、学習のパフォーマンス、また、モデルの理解のしやすさから見ても優れていると考えられる [10]。近年、表現学習などにおいて深層学習 (Deep Learning) が注目され、画像認識や音声認識、自然言語処理等で高い性能を示しているが、深層学習とベイズ理論に基づく確率モデルは相反するものではなく、理論的には広く統計的機械学習理論の中に含まれるものである。

紙幅の都合で詳細は記せないが、記号創発ロボティクスは学問の遍歴のなかで孤島としてあるわけではなく、その源流は、認知発達ロボティクスや創発システム論などのボトムアップなシステム観に根ざした知能システムへの多様な先駆的取り組みにある [11]。その延長線上に位置しながら、実世界認知から言語までを接続する知能の基礎ダイナミクスの「あり得る姿」を記述することで、「心の働きを内側から解明する」という認知科学の大目標にも貢献していくことが記号創発ロボティクスの使命である。

参考文献

- [1] Stevan Harnad. The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 42, No. 1, pp. 335–346, 1990.
- [2] Rolf Pfeifer and Christian Scheier. *Understanding Intelligence (Bradford Books)*. A Bradford Book, 2001.
- [3] C.S. パース, 内田種臣. 記号学 (パース著作集). 勁草書房, 1986.
- [4] Lawrence W. Barsalou. Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 22, No. 04, pp. 1–16, 1999.
- [5] 笠松幸一, 江川晃. プラグマティズムと記号学. 勁草書房, 2002.
- [6] 谷口忠大. コミュニケーションするロボットは創れるか - 記号創発システムへの構成論的アプローチ (叢書コムニス 13). エヌティティ出版, 2010.
- [7] 北村新三, 喜多一. 創発システム. 計測と制御, Vol. 40, No. 1, pp. 94–99, 2001.
- [8] 谷口忠大. 記号創発ロボティクス 知能のメカニズム入門 (講談社選書メチエ). 講談社, 2014.
- [9] 谷口忠大, 岩橋直人, 新田恒雄, 岡田浩之, 長井隆行. 記号創発ロボティクスとマルチモーダルセマンティックインタラクション. 2011 年度人工知能学会全国大会 (第 25 回), 2011.
- [10] 麻生英樹. 確率モデルからの記号の創発: Bayesian linguistics に向けて (<特集> 記号創発ロボティクス). 人工知能学会誌, Vol. 27, No. 6, pp. 546–554, 2012.
- [11] M. Asada, K. Hosoda, Y. Kuniyoshi, H. Ishiguro, T. Inui, Y. Yoshikawa, M. Ogino, and C. Yoshida. Cognitive Developmental Robotics: A Survey. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 1, No. 1, pp. 12–34, 2009.