

## 情報処理学会 AI 研究会蘊蓄放談会

研究会主査  
中島秀之  
電子技術総合研究所

### 概要

人工知能研究においては、知能の一側面を実現するシステムの研究が行なわれているわけであるが、どのような意味で知能の一側面であるかなどの哲学の占める割合が他の分野に比べて大きい。そこで今回は通常の論文発表の他にポジションペーパーによる蘊蓄・意見発表・議論喚起のセッションを設けた。

## Philosophical Discussions in AI

Hideyuki Nakashima  
Electrotechnical Laboratory

### Abstract

Artificial Intelligence cannot be the science of intelligence in the strict way. The working system itself is not an explanation of intelligent behavior. We have to provide a view point in which we can say that the system realizes certain aspect of intelligence.

In this sense, philosophical discussion is very important in AI. This series of short presentation is planed for the purpose.

## 1 何故放談会か

人工知能研究においては、知能の一側面を実現するシステムの研究が行なわれているわけであるが、どのような意味で知能の一側面であると考えるかなどの哲学の占める割合が他の分野に比べて大きい（逆にいうと、動けばそれだけで感心してもらえらる程の知的なシステムはまだ実装されていない）。そこで今回は通常の論文発表の他（いや、それ以上に）ポジションペーパーによる蘊蓄（あるいは意見発表・議論喚起）のセッションを設けてみた。自分と同じ問題を考えている人を見つけたり、同じ分野に仲間を引きずり込んだりするチャンスであると考えている。

話題例としては

- 何故 AI を始めたか
- AI は (今後) 何をやるべきか
- 今の AI はどこが間違っているか
- 何が面白いか
- 各自のテーマ / パラダイムの (哲学的) 宣伝
- 複雑系へのアプローチ

などを想定して call for paper を書いた結果、以下の目次に示すような発表が集まった。  
今後も折にふれてこのような放談会を開催する予定である。

## 2 目次

1. 阿部 明典 (NTT コミュニケーション科学研究所)  
Abduction + 類推推論 = 補間推論 → 発想
2. 月本 洋 (東芝)  
情報論理学の提唱
3. 岡 夏樹 (松下技研)  
意識の起源の解明をめざして
4. 嶋田 晋 (中京大)  
数値, 記号から図形へ
5. 出口 弘 (中央大)  
人工知能に何を期待するか
6. 橋田 浩一, 中島 秀之 (電総研)  
創発とは何でないか
7. 中島 秀之 (電総研)  
オートボイエシスと有機的プログラミング
8. 有馬 淳 (富士通)  
有機的プログラム: 自己組織化する単機能プログラム

# Abduction+類推推論=補間推論→発想

阿部 明典

NTTコミュニケーション科学研究所

## 1 Abduction+Analogy=oracle??

AIはこれまでとはたえ、創造という意味に於いても支援という形で使われてきた。これからは、真の創造を目指さなくては行けない。その意味でAIにとって“発想”の機構の実現は究極の目標の一つである。発想とは作曲したり、詩を書いたりするように何もない所から何かを創造する機構であるが、欠けている知識を予測推定することも発想の一形態と考えられ、不完全な知識の補間も一種の発想であるとする。不完全知識を補間するための論理を基盤とした手法としては、abduction, induction, analogy等がある。例えば、abductionは、“これらの豆が白い”という観測がなされた状態で、“この袋に入っている豆は全て白い”という事実のもとに、“これらの豆はこの袋から取り出された”という仮説を導き出す推論であり、一種の発想的手法である。本来、abductionとは、大前提と結論から小前提を求めるものである。しかし、AIに於ける謂所 abduction の代表である仮説推論では、小前提に仮説集合という閉世界知識の枠を与え、その中から小前提を選択するという緩和したものとなっている。つまり、oracleのようなひらめきは扱っていない。例えば、Theorist<sup>[6]</sup>では知識を常に正しい事実と場合によっては誤っていることもある仮説に分け、無矛盾な仮説集合の選択により abductive な推論を行なう。その推論法はある観測  $O$  が与えられた場合に、 $F$  を矛盾の可能性のない完全な知識である事実の集合、 $H$  を矛盾の可能性を有する不完全な知識である仮説の集合、 $h$  を仮説の部分集合 ( $h \subseteq H$ ) とすると、以下の如くなる。

- $F \not\models O$  ( $F$  だけでは  $O$  を証明できない)
- $F \cup h \models O$  ( $F$  に  $h$  を加えると  $O$  を証明できる)
- $F \cup h \not\models \square$  ( $F \cup h$  は無矛盾、 $\square$  は空節)

つまり、新しい仮説は生成せず、生成されるべき仮説の候補を限定しているだけである。一方、CMS<sup>[7]</sup>は新しい仮説を生成する可能性がある(節を構成する項がもとの節に含まれるという点では全く新しいというわけではないが、組み合わせ方は新しい)。CMSでは命題節  $C$  (ゴール) が与えられると、節(以下、殆んど知識と同義に扱う)集合  $\Sigma$  に関して

- $\Sigma \models SVC$ . (節  $SVC$  が  $\Sigma$  の論理的帰結である)
- 且つ、
- $\Sigma \not\models S$ . (節  $S$  は  $\Sigma$  の論理的帰結ではない)

であるような最小の節  $S$  を返す。つまり、 $\neg S$  は、 $C$  を証明するために節集合  $\Sigma$  に欠けている節である。従って、abductive な観点からでは導出された  $\neg S$  は発想された仮説と考えることが出来る。しかし、この節  $S$  は観測に対して論理的に正しいが、節自体の存在が正しいかどうかは解らない。Structure-Mapping<sup>[2]</sup>などに代表される類推推論場合も、二つの状況に或る関係を見つけたら、ソース状況の知識をターゲット状況の知識に写像することで、新たな知識を生成するという意味で発想的手法であり、oracleのようなひらめきをつくり出せる可能性がある。しかし、ヒントなしに妥当性をもってターゲットに対するソースを認識したり、ゴールを証明するために欠けている知識を類推するのは一般に困難である。又、ILP<sup>[4]</sup>などの induction は好ましい背景知識がある程度集まるとよいルール等を創造可能である。しかし、一般によい背景知識を得るのは困難であり、過汎化などの問題もある。

以上、様々な発想に繋がる手法を示したが、本来の abduction と analogy をうまく結び付けると oracle を導き出せる可能性があると考え、以下では、abduction と analogy を結合した発想機構の原理等を述べる。

## 2 不完全な知識

本論にはいる前に不完全な知識の定義を行う。

不完全な知識に就いては以下に示すような知識体系がある。

### 1. 知識に誤っているかも知れないというラベルがついている

仮説推論などでは、知識を仮説と事実に分け、仮説を不完全な知識とみる。仮説に関しては矛盾が起こる可能性があるという意味で不完全である。この場合の仮説とは実は、abduce されるべき知識である。前節で言及したように、abduce すべき知識に仮説集合という枠を与えている。Theorist 等の論理に基づく仮説推論では得られた仮説の正当性は論理的に保証される。

### 2. 知識の正確さに尺度がついている

Probabilistic Reasoning<sup>[5]</sup>などで、知識に確からしさの尺度がついている。確からしさが1ではない知識は常に正しいわけではないという点で不完全である。しかし、この場合の知識は abduce されたとはいえない。[1]や[8]も確率を導入しているが、これは、良い仮説を選定するための重みのようなものなので、尺度とは意味が違う。

### 3. 知識が欠如している

ゴールの証明に必要な知識が知識ベースに欠如している。従って、なんらかの手段で知識を補間しないと行けない。必要な知識がないという意味で不完全である。補間された知識は結局は1.に於ける仮説に等しいが、最初に仮説集合という枠を与えていない。従って、得られた仮説の正当性等の判断は難しい場合もある。CMSはこれに当たる。

本来の abduction, analogy で意味する知識が不完全であるとは、3.の意味での不完全さである。つまり、この欠けている知識を deduce するものであり、欠けている知識を analogical mapping などによりつくり出すことである。これにより、創造が可能になるが、仮説の自由度が大きく、正当性の判断が難しいため、少し不完全さの拘束を緩める。

### 3'. 知識が欠如しているが、代用の知識がある

必要な知識が全く欠如しているのではなく、欠如している知識に対応する類似知識がある。つまり、1.のように仮説集合として明示的に与えるのではなく、なんらかの非明示的知識があって、それに abduce すべき知識から写像する。この場合、知識ベースにある知識を使うので、新たな知識の創造ではないが、その知識の使い方に関しては創造的な使い方を行うことになる。この場合、得られた知識は元の知識ベースの中の知識に誤りがないという前提を与えると正当性は保証される。しかし、仮説の使い方の正当性は類似のとおり方に依存する。

## 3 Abductive Analogical Reasoning(AAR)

本稿では、不完全知識の補間の一手法として、abductive に求まる欠如知識の類似知識をもって知識を補間する手法を提案する。abduction の手法として、新しい仮説の発想の可能性のある CMS の枠組を利用する。更に、CMSにより求めた補間節の類似節は analogical deduction を行うことで求める。従っ

て、本論文で示す推論法は Figure 1 に示す構成をとる。

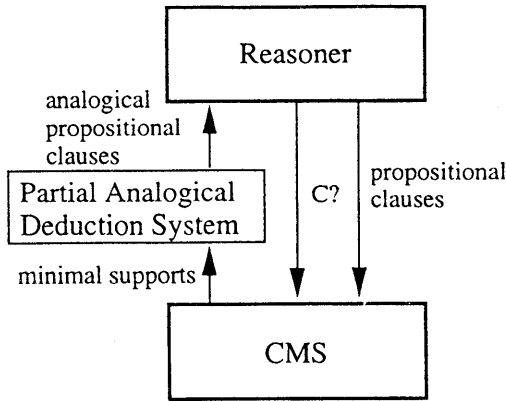


Figure 1: 推論系概観

提案する AAR は以下に示す推論を行う。

**Definition 1**  $A, B, B'$  を夫々節集合とすると、 $A \approx B'$  とは  $A \models B$  であって、 $B$  に含まれる節もしくは、その類似節、もしくは、その類似節を演繹出来る節の集合で構成される  $B'$  が存在する場合の  $A$  と  $B'$  の関係を示す。

**Definition 2**  $A, A'$  を夫々節集合とし、 $A$  がある節を演繹出来る節の集合とする。 $A \vdash A'$  とは、 $A$  の結果としての節の類似節を演繹出来る節の集合である  $A'$  が存在する場合の  $A$  と  $A'$  の関係を示す。以下では、“ $\vdash$ ”を“類似性をもって演繹出来る”という。

現在の知識ベースの節を  $\Sigma$  とした場合、ゴール節  $C$  が与えられると、節集合  $\Sigma$  に対して、 $CMS$  で  $\Sigma \models S \vee C$  且つ、 $\Sigma \not\models S$  を満たす最小の節  $S$  が得られた場合、PADS で  $\Sigma \approx S' \vee C$  且つ、 $\Sigma \models S'$  且つ、 $S \vdash S'$  である  $S'$  が存在する時に限り、質問  $C$  は  $\neg S'$  を仮説として証明されたとする。そうでない場合は、 $S$  は誤りである可能性があるため、その旨を示し、若し、 $\neg S$  が支持されたら質問は証明可能であると示す。ここで得られた  $\neg S'$  は  $CMS$  により abduce された  $S$  から analogical mapping により得られた節であり、ゴール節  $C$  を証明するのに必要な類似補間節となる。 $\neg S'$  の正当性は  $\Sigma \models S'$  により保証されるが、 $\neg S'$  の使い方の正当性はこれだけでは保証されない。

#### 4 類似補間節の生成

この章では得られた補間知識候補をヒントとして類似補間節を生成する戦略の一例を示すが、紙面の都合上、類似をとり易いものについてのみ述べる。それ以外は、普通に analogical mapping を行うことになる。尚、本稿では節同士が類似していると判断する基準は節に含まれる項(語)同士の類似性を概念ベースによる類似性判断<sup>[4]</sup>を用いることにより概念的(意味)的に類似している節が存在するか否かに基づいて行う。

**Definition 3**  $a, b$  を夫々 atom 型知識(ある対象を示す語)とすると、“ $a \approx_{con} b$ ”とは語  $a$  と語  $b$  が概念的に類似しているということを意味する。例えば、“horse  $\approx_{con}$  car”とは、馬と車が概念的に(例えば、乗りものという意味で)類似していることを表す。

さて、類似をとり易いのは、出力された minimal support を類似性をもって演繹できる節集合が知識ベースにあり、更に、或る minimal support 中の項に、他の minimal support 中の項に含まれる項と共通する atom 型の知識がある場合である。この場合は、minimal support が類似節のヒントを与えている。例えば、 $a \wedge \neg a'$ 、 $a \wedge \neg t$  等が minimal support で得られている場合は、 $a \approx_{con} a'$  であれば、 $a$  を含む  $\neg(a \wedge \neg a')$  別の節(この場合は  $\neg(a \wedge \neg t)$ )、の  $a$  を  $a'$  に書き換えることで類似節とすることが出来る。

#### 5 まとめ

本稿では発想の一形態として欠如知識の補問手法の一つを示した。類推補間節の候補を abduction により求め、それに対する類似節を求めることにより、類似補間節を求めるという手法を示した。本稿の範囲では2章の3'のレベルの不完全知識を対象としたが、提案した手法は、特に、4章に示した場合に効果を示す。本稿で示したものは、 $\Sigma \models S \vee C$  且つ、 $\Sigma \not\models S$  且つ、 $\Sigma \approx S' \vee C$  且つ、 $\Sigma \models S'$  且つ、 $S \vdash S'$  である  $\neg S'$  を類似補間節として導いたが、将来的には  $\Sigma \models S \vee C$  且つ、 $\Sigma \models S$  且つ、 $\Sigma \models S' \vee C$  且つ、 $\Sigma \not\models S'$  且つ、 $S' \vdash S$  である正しい  $\neg S'$ (最小でなくてもよい)を求めることが必要である。つまり、ある関係がわかっていると、それを利用してそれらしい新たな関係を作るのである。これを行うことが出来ると、2章の3.のレベルの不完全知識を対象とした発想の機構の実現が可能となる。尚、本稿に示した説明では、命題論理に限っているが、エムプラン展開を行なったり、[7]に示される手法をとることにより述語論理にも拡張可能である。

尚、本稿では紙面の都合上、類推補間節の生成、推論例などの議論は省いたが、別稿で議論する予定である。

#### References

- [1] Charniak E. and Shimony S. E.: *Probabilistic Semantics for Cost Based Abduction*, Proc. of AAAI90, pp. 106-111 (1990)
- [2] Gentner D.: *Analogical Inference and Analogical Access*, *Analogaica*, pp.63-88, Pitman (1988)
- [3] Kasahara K. et. al.: *Viewpoint-based measurement of semantic similarity between words*, Proc. of 5th. International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics, pp. 292-302 (1995)
- [4] Muggleton S.: *Inductive Logic Programming*, *New Generation Computing*, 8, pp.295-318 (1991)
- [5] Pearl J.: *PROBABILISTIC REASONING IN INTELLIGENT SYSTEMS: Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann (1988)
- [6] Poole D., Aleliunas R., Goebel R.: *Theorist: A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis*, *The Knowledge Frontier: Essays in the Representation of Knowledge* (Cercone N.J., MaCalla G. Ed.), Springer-Verlag (1987)
- [7] Poole D.: *Variables in Hypotheses*, Proc. of IJCAI87, pp. 905-908 (1987)
- [8] Poole D.: *Probabilistic Horn Abduction and Bayesian networks*, *Artif. Intell.*, vol. 64, pp. 81-129 (1993)
- [9] Reiter R. and de Kleer J.: *Foundation of assumption-based truth maintenance systems: preliminary report*, Proc. of AAAI87, pp.183-188 (1987)

## 情報論理学の提唱

月本 洋

(株) 東芝 研究開発センター

### 1 はじめに

本稿では論理学と情報学（確率論、情報理論、統計学の総称、以下同様）を統一的に扱うことを目的とする情報論理学を提唱する。情報論理学は新しい論理を提示するのではなく、論理を情報の観点から見直すことと情報を論理の観点から見直すことを通じて論理学と情報学の対象の拡張と質の向上を目的とする。情報論理学の要素技術としては現在のところ論理の幾何的モデル（多重線形関数空間）と無差別原理に基づく論理と確率の対応の定式化がある。これらを用いると論理命題の空間と確率分布の空間が対応付けられる。この対応により、確率分布等の論理的推論が可能になる。これは論理学の推論対象の拡張もしくは情報学の推論の質の向上である。またこの対応により、ニューラルネットワーク等の予測モデルから論理命題を最尤法で求めることができる。これは最尤法の適用範囲の拡張であり、帰納推論（学習）の質の向上である。

### 2 論理学と情報学

人間の体系的な認識方法としてはいくつかあるが、その中の重要なものの一つは論理学である。もう一つは情報学である。この二つは人間の認識能力の二通りのモデル化であるといえる。論理学も情報学も知識、情報に関する正しい推論、推測方法を研究対象とするが、論理学が主に定性的な記号の推論をその対象とするのに対し、情報学は定量的な数値の推測をその対象とする。別の表現を用いれば、論理学が記号を対象とするのに対し、情報学は数値を対象とする。人間の脳が一つであり、この二つの認識方法がその脳の能力の二つの側面であることを考えれば、この二つの認識方法は別々に存在するのではなく、ある観点から統一的に扱われるべきであるし、扱えるはずである。

論理学の一つの弱点は記号しか扱えないことである。これは、複雑な現実問題に論理を適用する時に、その問題をまず記号で表現しなければならないことを意味するが、この作業は困難であり、論理の現実問題への適用の障害になっている。また論理学のもう一つの弱点は証明等の計算量が大き過ぎることである。それほど大きくない問題の証明ですら計算量は膨大になる。これを解決するには論理が記号以外のものを、例えば数値データとか確率分布とかを推論できるようにならねばならない。また計算量を減らさねばならないが、これの有効な解決法としては近似推論が考えられる。

確率論、情報理論、統計学等の情報学の弱点は数値を扱っているので、人間には理解しにくいということが挙げられる。例えば多変量解析の予測モデルは予測はできるがそれが何を意味するかは不明瞭である。これはニューラルネットワークでも同様である。これの一解決方法としてはこれらの予測モデルを論理命題で近似することが考えられる。

### 3 情報論理学の要素技術

現在までに提示してきた要素技術のなかで主なものは論理の幾何的モデル（多重線形関数空間）[4]と無差別原理による論理と確率の対応の定式化[5]である。

#### 3.1 論理の幾何的モデル（多重線形関数空間）

古典論理の代数モデルであるブール代数を拡張することによって多重線形関数空間が得られる。多重線形関数とは2変数でいえば  $axy+bx+cy+d$  である。但し  $x, y$  は変数であり、ここでは定義域は  $\{0, 1\}$  か  $[0, 1]$  である。 $a, b, c, d$  は実係数である。この空間はブール代数の（拡張）原子の線形空間となる。従って多重線形関数はベクトルして表現される（論理ベクトル）。この空間は直観主義論理、中間論理 LC 等 [1] のモデルである。但し中間論理 LC がこのモデルに対して完全な論理であり、それは以下のよう定義される。

LC = 直観主義論理  $+(\varphi \rightarrow \psi) \vee (\psi \rightarrow \varphi)$

多重線形関数空間は適当な内積に基づき距離を導入することによってユークリッド空間になり、その時の直交関数はブール代数の（拡張）原子である。また多重線形関数空間は確率分布の空間と対応付けられるが（次項参照）、この場合にはユークリッド空間ではなく曲がった空間になる。いずれにしても多

重線形関数空間は論理の半順序位相を保存したままそれとは別の位相（距離）を導入できる論理の幾何的モデルであり、これにより多重線形関数空間内の関数の近似が可能となる。

### 3.2 無差別原理による論理と確率の対応の定式化

無差別原理は情報量の無い時は等確率にするという原理である [2]。この原理を使うと論理ベクトル  $(1, 1)$  は確率分布  $(1/2, 1/2)$  と対応する。なぜならば論理ベクトル  $(1, 1)$  は  $x + \bar{x} = 1$ 、即ちトートロジーであり、情報量がないからである。また論理関数に情報量を定義できる。この情報量は無差別原理を用いると確率の情報量と等しいことが証明でき、これらを用いて命題と確率を対応させることができる。

## 4 情報論理学によって何ができるか

### 4.1 パターンの推論

前節で述べたように、多重線形関数空間は中間論理 LC のモデルであり、また確率分布と対応付けられるから、確率分布が論理的に推論できることになる [8]。各種（数値）データは（多重）線形関数で近似できるし、ニューラルネットワークも多重線形関数もしくは多重線形関数で良く近似できるので、これらも論理命題と見なせ、論理的に推論できることになる。

### 4.2 予測モデルの理解と帰納学習の高度化

多変量解析等で用いられる予測モデルである（多重）線形関数、確率分布、またニューラルネットワークを（拡張）ブール関数で近似することによって理解可能な命題が得られる（例えば [5] [6] [7]）。この近似法は（準）最尤法である。この予測モデルの理解のアルゴリズムは帰納学習のアルゴリズムとしても機能する。現在の帰納学習アルゴリズムは得られた命題の評価を誤差で行なっているにも関わらず、誤差を最小にするような命題を求めるというアルゴリズムになっていない。前項のアルゴリズムは誤差最小のニューラルネットワークを（拡張）ブール関数で近似するので、評価基準と動作基準が一致している。

## 5 終りに - これから何をするか

現在は 命題  $\leftrightarrow$  確率分布、命題の情報量  $\leftrightarrow$  確率の情報量 等の対応が得られているが、このような対応関係を拡張したい。例えば命題の相互情報量等を定義したい。また近似推論を用いることによって証明等の計算量を減らすことも行ないたい。応用とは別に、証明、帰納推論等の論理的概念の情報の再定義や、その逆の情報の概念的論理的再定義を通じて二つの学問の統一的再構成を検討したい。最後に情報論理学は情報幾何学とスペクトル理論 [3] と深い関係があることを述べておく。

## 参考文献

- [1] D.V. Dalen: Intuitionistic logic, *Handbook of Philosophical Logic III*, D. Gabbay and F. Guentner eds., pp.225-339, D.Reidel, 1984.
- [2] J.M. Keynes: *A Treatise on Probability*, Macmillan, London, 1921.
- [3] N. Linial, Y. Mansour and N. Nisan: Constant depth circuits, Fourier Transform, and Learnability, *Journal of the ACM*, Vol.40, No.3, pp.607-620, 1993.
- [4] 月本 洋: 命題論理の幾何的モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.31, pp.783-791, 1990.
- [5] 月本 洋: 確率データからの帰納学習, 人工知能学会誌, Vol.7, No.5, pp.870-876, 1992.
- [6] 月本 洋: 数値データからの論理命題の発見, 人工知能学会誌, Vol.8, No.6, pp.752-759, 1993.
- [7] 月本 洋: パターン処理の近似としての記号処理, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J78-D-II No.2, 1995.
- [8] 月本 洋: 確率分布の直観主義論理による推論, 人工知能学会誌, Vol.11, No.2, 1996. (掲載予定)

## 意識の起源の解明をめざして

岡 夏樹 oka@mrit.mei.co.jp

松下技研(株) ヒューマンインタフェース研究所

### 1 はじめに

我々は、進化(あるいは発達)の過程において、無意識の自動的な処理だけのシステムから、意識的な処理も合わせ持つシステムが生じるメカニズムに興味を持っており、この解明は人工知能や認知科学の今後の進展にとって最重要の課題であると考えている。

本稿では、まず、意識レベル/無意識レベルの各処理の性質と役割について考察し(2節)、つづいて、意識レベルの処理の発生メカニズムの解明に向けての研究展望を述べる(3節)。

### 2 意識レベルの処理と無意識レベルの処理

我々は、意識レベル/無意識レベルの両処理それぞれの本質的な役割に注目し、そのモデル化を試みてきた[3]が、現在のところ、両処理の関係は図1に示すようなものであると考えている。すなわち、

- 無意識レベルの処理は、操作子(神経回路網中のリンクの重み等のパラメータ)の集合による、神経回路網の活性状態の同時並列的な変換である。
- 意識レベルの処理は、解釈実行系による、神経回路網の活性状態の逐次的な変換である。
  - － 神経回路網の活性状態のうちの一部(活性度の高いもの)だけが、解

釈実行系への入力(操作子または操作対象)となりうる。

- － 解釈実行系は入力された操作子の中から1つを選び、それに従って操作対象を変換する。

### 3 意識レベルの処理の発生メカニズム

進化(あるいは発達)の過程では、次のような順で意識レベルの処理が可能になっていくと我々は考えている。

1. 選択的注意が可能になる。  
解釈実行系への入力となりうるだけ活性化度が高くなっている操作対象のうち、いくつかの活性化度を選択的に高く保ち、他の活性化度を下げることができる<sup>1</sup>。
2. パターン操作による予測と計画が可能になる。  
何かの操作を仮定してその結果起こることを予想でき、それに基づいて計画を立てることができる<sup>2</sup>。
3. 記号操作が可能になる<sup>3</sup>。

<sup>1</sup>[2]は、選択的な活性化をニューラルネットワークのアトラクタとしてモデル化した。

<sup>2</sup>[5]は、この重要性を指摘した。

<sup>3</sup>我々は、[4]において、連続関数の入出力関係を学習する1つのモデルを取り上げ、意識の発生の問題(その中でも特に、分節や逐次処理がいかんにして生じうるか)に若干の考察を加えた。

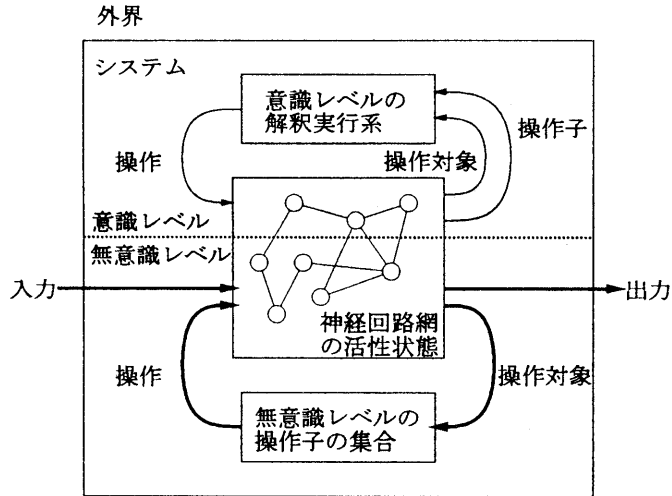


図 1: 意識レベルの処理と無意識レベルの処理の関係

我々は、意識の発生のメカニズムを解明していくためには、言葉などの記号を扱わない、より初期の段階(上記の段階 1や 2)での意識の役割を明らかにすることが重要であると考えており、そのために、

- 言葉をまだ(ほとんど)しゃべれない段階の幼児の行動  
たとえば、

- 食べたいお菓子を袋から取り出せなかったので、親に袋を渡した。[著者の長女: 1歳2カ月]
- 椅子に登るのをじゃまされたくなかった(あるいは手伝って欲しくなかった)ので、まず親を他の場所に引っ張っていき、次に自分だけ椅子のところに戻ってきて登った。[同上: 1歳4カ月]

- 動物の行動 [1]

をとりあげて検討を進める計画である。

## 参考文献

- [1] Dawkins, M. S., *Through Our Eyes*

*Only?*, W. H. Freeman, 1993 (長野敬他訳, 動物たちの心の世界, 青土社, 1995).

- [2] Mathis, D. W. and Mozer, M. C., On the Computational Utility of Consciousness, in G. Tesauro, D. S. Touretzky and T. K. Leen (eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 7*, (印刷中).
- [3] Oka, N., Hybrid Cognitive Model of Conscious Level Processing and Unconscious Level Processing, *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 485-490, 1991.
- [4] 岡 夏樹, 金道敏樹, 競合的な局所基底ニューラルネットワークによる連続関数の疑似分節化: 設計者を越えた創造的な問題解決, 人工知能学会全国大会(第9回) 論文集, pp. 181-184, 1995.
- [5] Tani, J., Self-Organization of Symbolic Processes through Interaction with the Physical World, *Proceedings of IJCAI-95*, 1995.



## 数値、記号から図形へ

嶋田 晋 (中京大学情報科学部)

### 1. 記号主義か非記号主義か

従来のAIが基盤としていた原理である「記号系仮説」には様々な限界が指摘されている。記号で予め記述していた世界が変化すると、すぐに対応できなくなるというものである。このため環境との相互作用を含んだ枠組みの提唱も生まれてきている[橋田95]。

一方で、記号を使わない手法としてニューラルネットの手法があり、これを使うと様々な入力にも頑健に対応し得ることが注目された。このため非記号処理=ニューラルネットという位置付けも見られた。ニューラルネットはその分散性、並列性からも注目されたが、記号を使わないという点ではBrooksの行動に基づく知能の発想もある。

### 2. 記憶構造の再考

AIの目標である人間の知的な行動の解明のためには、記憶の構造がどうなっているかについての仮説が重要になってくる。たとえば、記号系仮説に基づけば、文字通り記号による記憶が存在するのであり、ニューラルネットではニューロン結合の中に記憶が埋め込まれる。

人間が環境の中で振る舞うことを前提として記憶の構造を再考してみよう。環境からの情報は視覚や聴覚などといった感覚器官からの信号として取り込まれる。ここで最も原始的なレベルの記憶が形成されると考えられる。記憶といっても入力信号に初期段階の処理が加わっただけで、何も抽象化されていない。ニューラルネットの立場では、同じ信号を何度も提示したり教師信号を与えることによって記憶が強化されていくとしている。

さてこれと同様の発想で、同じ信号を与えたり教師の存在があつたりして抽象化が行なわれ、その結果、記号レベルの記憶があるという説明が可能である。しかしこれらの発想はいずれも信号の時間的な変化を無視している。実際の環境では人間は多くの場合、運動しながら信号を取り込むため、原始的記憶も動的であると考えられる。

信号がある時間間隔をもって入力されることを考えてみると、記号に至るまでにはまだいくつかの段階があることがわかる。原始的な動的記憶からいくつかの情報を捨象したレベルの記憶があると思われる。

たとえば視覚を例にとると、動的記憶とはちょうどビデオテープに記録されたような記憶である。人間でも短い時間であればこのような記憶が残っている。同じような信号が何度も入力されるに従って、そこからいくつかの情報を捨てて、抽象化した記憶が形成されると考えられる。たとえば本を何度も眺めているうちに本の色や表面の文字といった情報を捨てて、長方形の形状が運動しているような記憶が形成される。これがさらに抽象化して静止した図形、さらに記号としての「長方形」という記憶が形成される(図1)。「机の上であつて表面に文字があるならばそれは本である」という知識も生まれる。どのように情報を捨てていって抽象化されるかについてはいくつかのパスがあると考えられる。

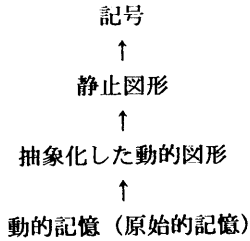


図1. 記憶の構造

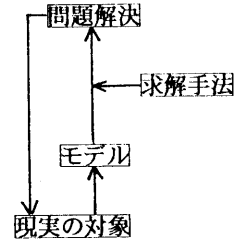


図2. 計算機による問題解決

### 3. 時空間モデルによる図形的推論

抽象化した動的図形からなる記憶が存在するという仮説に基づいて、計算機による問題解決の枠組みを提唱することが可能である[嶋田 95]。形状と運動を含んだモデルとして時空間モデルを提案する。

実世界は、いくつかの対象物体が配置された世界として表現することができ、対象物体はさらにいくつかの基本形状の組合せからなると考えられる。この基本形状を抽象化し、その大きさを離散化し、作用させる運動も抽象化し、その方向と大きさを離散化する。基本形状にいくつかの運動列を作用させたものが時空間モデルで、推論は次のように定式化できる。

ステップ1：時空間モデルにおいて、ある時点で可能な運動列を列挙

ステップ2：ある基準に従ってその中から運動列を選択

ステップ3：運動列を作用


この枠組みを使って、物体を認識する問題、動作を予測する問題、計画を立てる問題などに応用して、統一的な問題解決が可能であることが確認できた。

### 4. 計算機による問題解決の変遷


一般に計算機による問題解決は、現実の対象をモデル化し、そのモデルの上での求解手法により問題解決を行い、得られた結果を現実に応用するという過程を経る(図2)。数値処理の時代には、モデルとして数理モデルが、求解手法として数学的手法が対応していた。記号処理の時代には、モデルとして対象についての知識が、求解手法として解法についての知識が対応していた。これから考えると、次には図形によるモデル化の時代がくるとも考えられる。

### 参考文献

- [橋田 95] 橋田浩一:人工知能における基本問題,人工知能学会誌,Vol. 10, No. 3, pp. 340-346(1995).
- [嶋田 95] 嶋田 晋:時空間モデルを用いた図形的推論の枠組み,情報処理学会研究会資料,95-AI-100, pp. 45-50(1995).



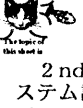
Presented by Hiroshi Deguchi  
Faculty of Commerce, Chuo University,  
742-1 Higashi Nakano, Hachioji City,  
Tokyo, 192-03 Japan  
E-Mail: deguchi@tamacc.chuo-u.ac.jp



## 人工知能に何を期待するか

中央大学 商学部 出口 弘


本発表では、複雑系研究の隘路がどこにある、それが人工知能技術とどのように関係するかを明らかにしたい。そのために人工生命など新しい複雑性研究と比較しながら、内部モデルを持ちそれを参照しながら活動するエージェントからなる複雑系と人工知能の関係を探る。



## 自己組織化の科学の歴史で生じたこと

2nd Orderサイバネティクスなど、社会システム論、経営システム論の領域では早くから正のフィードバックや揺らぎの重要性が指摘され自己組織化の議論が行われてきた。しかしハードな事例と数学的道具建てが不十分でパラダイムは成長しなかった。


散逸構造やシナジェティクスという名で生じた自己組織化のパラダイムでは、ベナールセル(味噌汁の模様)やレーザなどのハードサイエンスの事例と、力学系の分岐理論という強力な数理モデルをベースにしてパラダイムは成長した。



## 複雑系研究の隘路

散逸構造などの自己組織化モデルの研究は、普遍法則を持つ方程式系に支配されたエージェントのあつまりに関する構造変動を、分岐理論で説明したもの。従って多様性の源泉は要素間の結合位相を含む境界条件である。どのパターンが出現するかは、構造パラメータ空間の探索問題となる。

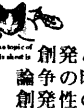
社会的主体のような自律主体のエージェントは、学習し容易に変容するルール(役割、行為パターン)ベースで活動する主体。しかもエージェントは自己や環境に対する内部モデルを形成しそのレベルでも学習やコミュニケーションを行っている。このようなシステムの研究には従来の複雑系研究は無効。



## 社会科学が人工知能に期待すること

計算機の中に意思を持った主体の社会を想定することにはまだかなりの無理がある。その意味でALにウィークALとストロングALがあるような意味では、ストロングなVirtual Economy (Deguchi), Artificial Society (Matsuo), Simulating Society (N. Gilbert)はないだろう。

社会科学が自然言語を用いたシンボル操作と行為の相互連関の中で問題としてきた、制度創発や組織、社会の諸現象をシミュレーションという形でモデル化できるのか?




## 創発という概念

創発という概念は、現在何度目かのホットな論争の時期にある。今回は人工生命の領域から創発性の議論が始まった。

創発性の議論自体は、歴史性を持った古い概念でありシステム論で今世紀初頭から論じられてきた(だからどうというわけではないが)。社会的制度創発はその代表的な問題意識

ある機能的パターンの創発的生成では、それが基礎となるプロセスのある境界条件で実現されること(境界創発)。あるレベルの上位の独立したダイナミクスが自律的に意味のあるプロセスとして存在し得ること(シンボル創発)が重要。



## 人工生命の創発研究

要素プロセスから、何らかの新規性が生じることを強調するあまり、新規な機能の形成を評価する枠組みを重視しない。あるいは研究者が境界条件のコントロールを行い、新規性の評価も行っている。

ただし要素プロセスとしてセルオートマタやテープを持ったマシンの複製など、単純な物理プロセスと異なったものを想定している。

シミュレーションによる新規の機能やパターンの発見の場としての面白さはある。これは研究者が面白いと思う機能を発現するような、要素プロセスの境界条件を実験の中で見いだすということで、新規の機能の形成の論理を分析していることには必ずしもならない。



### 社会的制度創発研究 と人工知能



もし既に実現したい機能(例えば発話行為や知的推論、知的探索)などが既知であってそれを記号計算を要素プロセスとして実現しようとするのであれば、シンボルプロセスの探索問題になる。

ある機能の要素プロセスからの発生過程やそこでのさまざまな探索過程を問うならば、その機能を選択するための選択原理まで明示してパラメータ空間の探索をやるべきであろう。

制度の発生を、シンボリック相互作用からスタートして生成的に問うというアプローチも制度創発の研究ではありえる。



### 記号的人工知能と 生物的人工知能



最近記号的人工知能と生物的人工知能、或いは仕込みをやる知能と仕込みしない知能のような区別が行なわれている。

また人工知能で、シンボル操作として高次の機能を作り込むことについて人工生命などのプロセス還元主義的アプローチから非難される。

しかしそもそもある要素プロセスのパラメータ(境界条件)をいろいろ変えて面白い機能やパターンを発見するというメカニズムは、評価関数が所与で要素プロセスが遺伝アルゴリズムのように比較的単純ものであれば、(多点)最適化探索問題と構造的に類似する。



### 人工知能の記号的アプローチ の問題関心



通常人工知能では、記号計算としてさまざまなエージェントの知的活動をシミュレーションしようとする。この際、エージェントのシンボリック操作(計算)によるプロセスを重視する。しかも実現したい機能はあらかじめ既知である。

要素プロセスを境界化する形でのパターンや機能の発現(のためのパラメータ空間の探索)は、陽に機能のある要素プロセスから設計する(記号的探索や宣言的プログラムによる記述を含む)アプローチとは対象に対する問題関心が異なる。



### 社会科学的複雑性研究と 人工知能への期待

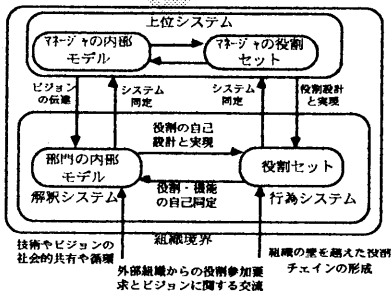


人工社会や仮想経済のアプローチではそもそもシンボルプロセスを要素プロセスとして、エージェントの活動を説明したい。その際に生成的問題意識を持つこともあるが、歴史的生成過程と制度の調整や安定化のための要件は別けて扱う。

行為モデル(活動ルールセット)と解釈モデル(内部モデル)を持って活動するシステムに関する知見を与えるためのモデル化を人工知能的シミュレーションの助けを借りて行いたい。自然言語意味論も社会的エージェントの内部モデルに関連して、再構成されるべきであろう。



### 内部モデルを持つエージェント とエージェント間関係



### なぜ適当な共通事例 の提案がないのか。



社会システムと人工知能が豊かな関係性を築くためには、社会科学の問題意識と問題意識を共有することが重要である。

社会的エージェントは、Q-learningのようにエージェントの行為を直接的に調整するというよりは、エージェントが持つ内部モデルを理由して調整する。

社会科学にとって意味のある問題設定を共有することが、有意義な交流のために必須となる。その際一定程度大きなモデルが必要。

## 創発とは何でないか

橋田 浩一      中島 秀之  
電子技術総合研究所

### 1 はじめに

人工知能は知能の構成的説明を目的とする企てである。これまでの人工知能では明示的なプログラミングを用いる傾向が強かった。しかし、知能は明示的に構成することが不可能であり、創発 (emerge) させることしかできないという議論 (Havel, 1994) もあり、最近の人工知能では明示的な設計を回避しようとするアプローチも多い。一方、人工生命や複雑系の研究においても、創発 (emergence) がしばしば強調されている。

直観的には、創発とは、明示的に設計したのではない予期せぬ構造や挙動が現われること。しかし一般に、創発という概念はどれも曖昧なまま使われているように思われる。

創発的計算 (emergent computation) の構成要件 (Forrest, 1990):

- (A) 明示的な指令に従って動く多数の行為者によって行なわれる。
- (B) 行為者の間の相互作用によって、巨視的なパターン (随伴現象) が暗黙的に形成される。
- (C) この随伴現象を自然に計算として解釈できる。

しかし、これだけでは創発の概念を有意義な形で規定できていない。いかなる計算も局所的な過程として定式化でき、しかも明示的な指令のレベルを直接解読できないようにプログラムすることが可能。たとえば、Turing 機械による計算は局所的な演算だけからなり、Turing 機械のプログラムをいくらでもわかりにくく書くことが可能。

以下では人工知能にとって有用な創発の概念をいかにして客観的にとらえるかを考える。

### 2 環境と多様性

知能は明示的に設計することができず、創発させるしかない、という主張の根拠は、要するに、知能が複雑だということだろう。知能が複雑な現象であるのは、複雑な環境に適応するため。複雑な挙動や構造を明示的に設計するのは不可能だから創発させる必要あり。

人工知能において有用な創発は、多様な環境に適応するための多様な構造・挙動を単純な明示的設計から生成すること。

文脈に関わりなく一定の挙動が発現するならば、明示的な設計 (初期条件) の中にその挙動が一意に規定されていたことになり、設計の解釈が一意に定まることになる。明示的な設計がいかにわかりにくく書かれていても、これは創発ではないと考える。

創発が人工知能において有用だとすれば、それは文脈依存性のゆえである。つまり、われわれにとって興味深いのは、環境との相互作用からの創発。環境と相互作用しない系は自己組織しない (大澤, 1994)。評価は外部から与えられる。

### 3 創発の度合い

創発の中にも「面白い」創発とそうでない創発がある。Simon (1981) の蟻のように、環境が複雑であれば単純なデザインで複雑な行動パターンを示すことができるが、これはあまり面白くない。個々の蟻の設

計からの社会組織の創発は面白い。一方、サイコロを振り続けて出た目を並べることによって整数が生成されるのはつまらない。この「面白さ」をもっと厳密に定義したい。

$cmp(x)$  を  $x$  の複雑性とする、創発度は下のような式で定義できると考えられる<sup>1</sup>。

$$\frac{cmp(\text{挙動})}{cmp(\text{設計})cmp(\text{環境})}$$

挙動が環境に依存して変化することに注意。また、ここでは挙動の創発を考えているが、構造の創発でも同様に議論できると思われる。

Simon の蟻の行程が面白くないのは、それが環境の構造から容易に予測できるから。蟻の社会組織の創発が面白いのは、個体の設計からも環境からも社会組織の構造が予測しにくいから。サイコロの目がつまらないのは、環境への適応とかいう意味付けが見出せないから<sup>2</sup>。あるいは、環境への依存性がないから。

上の式はこうした直観をほぼとらえている。明示的な設計と環境とが相互作用することによって、設計および環境に比べていかに複雑な挙動(または構造)を生成できるか、というのがこの式のココロ。

複雑度は記述長またはパラメタ数として定義できそう<sup>3</sup>。

設計の記述長は設計者が決めるものだから良いが、 $cmp(\text{環境})$  と  $cmp(\text{挙動})$  は環境と挙動の記述の仕方によって変わる<sup>4</sup>。そもそも複雑性とか創発とかいう概念は特定の記述の枠組の下でしか決まらないものかも。

#### 4 おわりに

環境との相互作用からの創発こそが適応的設計に有用。

創発を理解するには、複雑さを理解しなければならない。

Chomsky や Marr はかねてより人工知能の方法をアドホックだと批判しているが、創発アプローチによってそうした批判を一応は免れることができる。しかし、言語などに関する生得的能力を創発によって説明するのは無理?

制約 (constraint) (橋田・松原, 1994; 橋田, 1994) や有機的プログラミング (organic programming) (中島, 1995) の上記の意味での創発の度合いが高いことを理論的に検証することも今後の課題。

#### 参考文献

- Forrest, S. (1990). Emergent Computation: Self-Organizing, Collective, and Cooperative Phenomena in Natural and Artificial Computing Networks. *Physica D*, **42**, 1-11.
- 橋田 浩一 (1994). 『知のエンジニアリング: 複雑性の地平』. 東京: ジャストシステム.
- 橋田 浩一・松原 仁 (1994). 知能の設計原理に関する試論: 部分性・制約・フレーム問題. 『認知科学の発展』, **7**, 159-201.
- Havel, I. M. (1994). Artificial Thought and Emergent Mind. In R. Bajcsy (Ed.), *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 758-766. Chambéry, Morgan Kaufman.
- 中島 秀之 (1995). オートポイエーシスと有機的プログラミング. 『情報処理学会研究報告』, **95-AI-101**.
- 大澤 真幸 (1994). 失敗に内在する成功 — 機能主義的社会システム論・再考 —. 新田 義弘・丸山 圭三郎・子安 宣邦・三島 憲一・丸山 高司・佐々木 力・村田 純一・野家 啓一 (編), 『生命とシステムの思想』, 『岩波講座 現代思想』, **12** 巻, pp. 295-356. 東京: 岩波書店.
- Simon, H. (1981). *The Sciences of the Artificial (2nd Edition)*. MIT Press.

<sup>1</sup>スケール変換や正規化などの細かい話はここでは考えない。

<sup>2</sup>この意味ではカオスも面白くない。

<sup>3</sup>Kolmogorov の複雑性は記述長の最小値だが、ここでは最小値を考えるべきかどうか不明。

<sup>4</sup>天動説の下では惑星の運行を記述するために周天円を仮定する必要があるので、地動説よりも説明が複雑になる。

## オートポイエシスと有機的プログラミング

中島秀之 (電子技術総合研究所)

### 1 オートポイエシス

オートポイエシス [Maturana and Varela 91] は生命の定義として生まれた考え方で、常に自己 (auto) のシステムを創り (poiesis) 続けるようなシステムのことである。自己の構造を創出する自己組織システムと類似に思えるがそれを越えたものである。システム論的には“ベルタランフィに代表される動的平衡を中心概念として構成される第一世代のシステム論、プリゴジン、ハーケンらによって基礎的な機構があたえられた第二世代の自己組織システム、これらに対置してオートポイエシスは、次の世代に位置づくシステム論の構想である。[河本英夫 94]”

つまり高次の自己反動的 (reflective) 自己組織システムと考えることができる。自分の構造を決定する仕組みも創出するからである。

生命の本質を考えると、それが閉じたシステムではないということが重要である。例えば生物の体はその構成要素を入れ換えながら維持されている。しかも形態が一定というわけでもない。少なくとも成長/老化があるし、蝶のように著しい変態を伴うものも多い。

ちなみに創発の考え方は第二世代の自己組織システムに近いものである。<sup>1</sup>我々の目標はここではない。理由は以下のとおりである。

チンパンジーにタイプライター (ともに超多数) を与えて十分長い時間待てば、シェークスピアの著作が創発することは可能である。しかしながら当のチンパンジーにはランダムな文字列と詩を区別する能力はない。最近の人工生命の研究においても、そのような様々な振舞いの創発が研究されているが、そのシステム自身に評価ができないという意味におい

<sup>1</sup> 2階の創発 (あるいは創発の創発) [Havel 93] はこれとは一線を画しているかもしれない。

て、“たまたま” そうなったにすぎないものである。我々の興味の対象は、以下のような意味においての意識的な創発である [清水博 94](p. 96) :

世界が、生命システムの内部に蓄えられた諸定義と関係生成ルールに基づいて、システム自身によって定義されることが自己言及的な意味の創出である。それは古い関係を基礎にして新しい関係をつくることである。(中略) 機械は自分自身を定義することはできないが、生命システムは、意識的にしろ無意識的にしろ、それなりに世界を定義する能力をもっているのである。

### 2 有機的プログラミング

有機的プログラミング [中島秀之 94] においては特に有機的システムの以下のような特性を取り込むことを目指している :

- ダイナミズム : 環境の変化に応じて構造が動的に変化すること。
- 相互作用 : 部分どうし、あるいは部分と全体との相互作用。

これを別の観点から眺めると、個々の部品に書かれた情報を、環境に応じて柔軟に統合することにより、その集合体としては部品の和以上の仕事をしてくれるような構成法の提案である。環境や他の部品との相互作用により自分の構造を動的に変化させ環境の変化に対応するのである。これを実現するにはまず各部品を状況依存のかたちで構成し、状況に応じた部品の組み立てを行なうのがよい。

一般システム理論においては有機体という考え方は機械的・決定論なものと対峙されて、

(1) オープン・システム性, (2) 全体性, (3) 階層性, (4) 能動性, を満たすものとして位置づけられている。しかし, プログラムは明らかに機械的・決定的な動きをする。我々の狙いはそのプログラムを有機的に構成しようという一見矛盾に満ちたものである。しかし, この矛盾はデカルト的二元論に発していることを認識しておく必要がある。

我々, 意識をもつ生物において, 手の動き (従って, 手を構成している個々の分子の動き) はボトムアップに機械論的に決定されるのではなく, 全体の意図からのフィードバックを受けている。このように部分が全体に作用し, 全体が部分に作用するシステムを考えると, プログラムと有機体は必ずしも相容れないものではないはずである。そのようなシステムを設計したい。ここではその核心部分だけを述べる。

環境とはプロセスをとりまくすべてのものであり, 階層的に実世界へとつながっていると考える。例えばロボットなどを想定すると, どこかにセンサーやアクチュエータの層があり, それが外側の環境と内側の表現を結合している。

有機的プログラミングにおいては, これらの環境をすべて統一的に扱う。すなわち, セルと呼ばれる単位として環境の要素を表現し, それらを階層的に組み合わせることにより, 上記の環境の層を実現する。

生命は動的平衡状態を保つことによって成立している。有機的プログラミングにおいても, プログラムの動的変化を重要視する。具体的には環境 (セルの構造) がプログラムの操作対象となる。プログラム実行中にデータ構造を操作するように環境を操作する。これにより環境の動的変更が可能となる。

#### プロセス ⇔ 環境

という相互作用が達成できる。

セルにプログラムが格納され, セルの構造が変化することによってプロセスが参照するプログラムが変化するのであるから, これはある意味では自己反映計算 (reflective computation) の概念を押し進めたものである。自己反映計算においてはプログラムとそのモデル

が存在するが, ここではプログラム自身が同時にモデルである。また, オブジェクトレベルとメタレベルの区別も存在していない。これを context reflection と呼ぶ [Nakashima 92]。

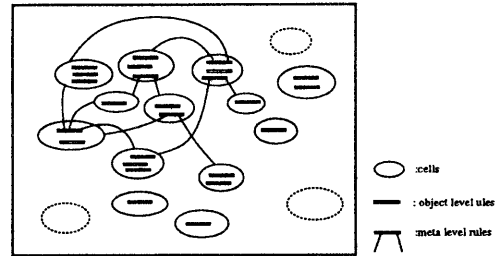


図 1: 全体論的システム

context reflection の利点は図 1 のように, 高次のセル間の関係もオブジェクトレベルの関係 (情報間の制約) と同じようにセルに格納されるので, 全体が記述に関して (I/O に関してではない!) 閉じたシステムになるという点である。この閉じた記述システムが動作によって自己変革を行なっていく様はオートポイエシスと言えよう。

#### 参考文献

- [Havel 93] Ivan M. Havel. Artificial thought and emergent mind. In *Proc. of IJCAI 93*, pp. 758-766, 1993.
- [Maturana and Varela 91] H. R. Maturana and F. J. Varela. 河本英夫訳, オートポイエシス. 国文社, 1991.
- [Nakashima 92] Hideyuki Nakashima. Context reflection. In *Proc. of IMSA 92 Workshop*, pp. 172-177, 1992.
- [河本英夫 94] 河本英夫. オートポイエシス・システム. 岩波講座現代思想 12, 生命とシステムの思想, pp. 123-157. 岩波書店, 1994.
- [清水博 94] 清水博. 自己組織現象と生命. 岩波講座現代思想 12, 生命とシステムの思想, pp. 71-120. 岩波書店, 1994.
- [中島秀之 94] 中島秀之. 有機的プログラミング言語 gaea におけるエージェント間通信. 情報処理学会研究会報告集 94-AI-95, 1994.



## 有機的プログラム：自己組織化する単機能プログラム

有馬 淳

株)富士通研究所

[概要] 複数の単機能プログラムが相互に関係を持ちながら、高機能のプログラムに自己組織化する有機的なプログラムの可能性について述べる。

### 1 動機

1つのシステムが非常に豊かな多様性を見せる幾つかの例がある - 帰納関数、計算機、自然言語、生命体など。なかでも生命体は自己完結的な度合が高く、生命体の持つ高度な機能が、より低機能なそれ自身自己完結的な細胞の組織的活動により実現されている点が興味深い。しかも細胞自身は驚くべきことにそれぞれ全く異なる機能、外見をしているのにも関わらず根源的なシステムは同じものとされている。

このようなシステムはその多様性から生じる柔軟性のために、予見できない変化の起こる環境においても持続性の高いものとなる。また、構成要素のそれぞれが完結的であれば、要求に応じた資源の有効利用や処理の並列化、特殊化をはかれる点からも有利と考えられる。

ここでは環境適応することを目的とした単一の計算メカニズムを持つ完結的な個体(プロセス)を考える。それらはまた組織化することで必要に応じて高度な環境適応、計算を行なうことができることが求められる。このようなプログラムは、要求に対して非常に柔軟に効率的に対応し、環境の変動に対し頭健であることが期待できる。環境に柔軟に対応するソフトウェアの構築法として中島ら [5] の研究があるが、本研究の方向は特に単一構造を重視する点と、下記の自律性の捕らえ方において従来研究とは異なっている。

**自律性：** 自律とは自己のあり方を能動的に決めることである。エージェント研究では、単に自己完結的な度合の高いプログラムを指している(“自立的”?)ものが多いが、ここではその意味で用いない。自己のあり方を能動的に決めるためには次の2要素の考察とモデル化が必要である。

**自覚性：** 自分(あるいは自己の行為)と外界を差別化し認識し評価する能力が必要である。自己に対する評価は自己言及を含む。自己言及を行なう個は次々と新たな自己を生み出す連続的な自己創出を行なうことになる。自己言及による計算の創出の過程を“自己”になぞらえることができるかもしれない。この見方は近年のシステム論においても見られる [3, 4]。

**存在目的：** 能動性や評価は個の存在目的から生じる。研究を着手するにあたって現状態と目標状態との差分を吸収(説明)することを根源的な目的とすることを提案する(差分駆動)。このことは自己保全や自己実現欲求に継ると考える。また、差分吸収は、現状態から目標状態を構成するメカニズム(関数、プログラムなど)を作ることとモデル化する。

### 2 雛型

ARDEX [1, 2] を一つの雛型として考えている。

現状態 ( $I$ ) と目標状態 ( $O$ ) のペアをここでは特に差分環境と呼び、外界は差分環境の集合とモデル化する。ARDEX の仕事は各  $I$  と  $O$  の差分を吸収すること、すなわち、 $I$  から  $O$  を実現する関数(プログラム)を生み出し、定着集合  $K$  と呼ぶ ARDEX の各個体が利用することのできるプログラムの集合へ結果を挿入することである。

差分環境はそれぞれある文脈の中で生み出されると仮定され、各差分環境には文脈に関する情報が付与される。同じ文脈に属する差分環境は一般的には同じプログラムによって吸収されることが期待される。

例えば現状をリスト  $l$  とし、目標状態を  $l$  の各要素を逆順にした  $l'$  としよう。この場合、この関係にある差分環境の集合が文脈であり、差分環境は  $(l'; l)$  で表される。また、ARDEX の定着集合  $K$  初期状態で identity 関数、car 関数、cdr 関数、nil 恒等関数を表す単純なプログラムから構成されているものとする。

ARDEX のアルゴリズムの概略は以下のようなものである。

- 1) ARDEX は外界から、同じ文脈上の幾つかの IO ペア  $(O; I)$  の列を受け入れる。
- 2) 簡単な変換と  $K$  内のプログラムを使うことですべての差分の解消を試みる。成功した時、解消された差分環境を生み出した ARDEX (または人間) にその時の変換と  $K$  の関数を合成した関数 (プログラム) を出力し終了する。
- 3) それに失敗した時、新しいプログラム名  $rev$  を持つプログラムを合成しようとする。この合成は、ARDEX が持つプログラムの型に従って、一般に複数の補助プログラムに対応する新しい差分環境を生み出し、文脈情報を与えて外界に放出する (別の ARDEX に委託する) ことによってなされる。  
別の ARDEX によって各補助プログラムの関数が得られたら、その結果得たプログラムを  $K$  に放出し、解消された差分環境を放出した ARDEX (または人間) にこのステップでつけた新しいプログラム名を出力し終了する。

ARDEX は  $(l'; l)$  の差分吸収に際して、新たに次の 2 つのプログラムを  $K$  に蓄積する。

$$\begin{aligned} rev([], []). \quad rev(Y; [A|X']) : -rev(Y'; X'), concat(Y; Y', A). \\ concat([A]; [], A). \quad concat([B|Y']; [B|X'], A) : -concat(Y'; X', A). \end{aligned}$$

### 3 考察

以上のシステムは下のような特徴を持つ。

- 組織形成はある特殊な高機能の個体が計画立案し組織するのではないし、また、分散化した知的な個体が高度で協調的な推論を行なうことで組織されるのもでもない。
- 各個体の動きは単純である。各個体が行なうことは、差分環境を吸収しようとするだけであり、吸収が十分でない時に新しい差分環境を生み出し放出することだけである。この自律的な活動のみによって結果的に協調関係と高い機能が実現される。
- ささまざまな機能がさまざまな差分環境によって蓄積されるため、この組織体にとってはある時点での失敗は必ずしも永久的な失敗を意味しない。
- 既存システムによってこのようなシステムの存在可能性を示したが、特に自覚性に関して研究が不十分であると考えている。

### 参考文献

- [1] 有馬 淳: 論理プログラムの自動検索・統合・発見, 情報処理学会研究報告 95-AI-99, pp.165-174, 1995.
- [2] Arima, J.: Automatic Logic Programming under Highly Redundant Background Knowledge, in Proc. of the 5th International Inductive Logic Programming Workshop, 1995 (to appear).
- [3] 清水 博: 自己組織現象と生命, 「生命とシステムの思想」岩波講座現代思想 1 2, pp.71-120, 1994.
- [4] 河本 英夫: オートボイエーシス・システム, 「生命とシステムの思想」岩波講座現代思想 1 2, pp.123-157, 1994.
- [5] 中島 秀之、大澤 一郎、野田 五十樹: 有機的エージェントアーキテクチャ, 情報処理学会研究報告 95-AI-100, pp.19-24, 1995.