構成的情報学とAI

Constructive Informatics and AI

中島 秀之

Hideyuki Nakashima

公立はこだて未来大学

Future University - Hakodate

h.nakashima@fun.ac.jp, <http://www.fun.ac.jp/~nakashim/>

keywords: science, constructive methodology, Artificial Intelligence, endo-system view

Summary

As computer scientists, we have been trained in the methodology of natural science, which is analytic in its essence. Informatics, and particularly Artificial Intelligence, is not an analytic discipline. It is required to establish a constructive methodology.

The gap between two disciplines is larger than as it is generally conceived. It is important to recognize the difference and establish a new methodology. One of the motivating findings to write this paper is that western and eastern views of the world are quite different. The former assumes existence of an observer that is independent from the observed system and the view point is unconsciously fixed to the observer rather than the system. This paper argues that eastern view of the world is essential in search for the new methodology.

In designing a system, that requires intelligence in particular, it is essential to take the agent's view that is inside the system rather than God's eyes' view separated from the system. The direct consequences of this change allow us to discuss about and gives design principles on the following issues:

- (1) interaction between an AI system and the AI researcher,
- (2) partiality of information,
- (3) situatedness,
- (4) multi-layered complex systems,
- (5) emergence and constructive methodology, and
- (6) a theory as a good story.

We need a world view that allows locally consistent but globally inconsistent systems. There are researchers to claim that intelligence is built on top of ad-hoc miscellany of many special purpose modules rather than on top of small coherent collection of basic algorithms.

In this paper, I propose a new research methodology for constructive sciences. It includes analytic methodology as its part. However, the methodology is by no means complete. It is a first step toward the completion of the constructive methodology, which may require joint effort of the community for more than a decade.

1. 問題点と目的

20 世紀は理論物理学が大きく進歩した時代であった。相対性理論を筆頭に、自然科学の方法論が見事に成功し、我々の世界観を大きく変えた。ここでいう自然科学の方法論とは理論の構築と、その実験による検証のループである。

情報処理の学問体系は“computer science”あるいは「情報科学」の名の下に、この自然科学の方法論を踏襲しようとしているかに見える。実際に AI 研究などでも、追試可能性の必要性が主張された時期もある。そこまで極端な例ばかりではないにしても、プログラム作成よりは（実動プログラムまでは具体化できないような）理論構築が重要視されていることは否めない。

しかしながら実験可能性や客観性のみを追求する科学

はその適用対象に限界があることも認識されている。たとえば実験心理学の限界が認識された後の認知科学への転換がその好例であろう。当の物理学においても、量子力学における「観測が対象の系に影響を及ぼしてしまうことは本質的に避けられない」という不確定性原理の発見や、複雑系の世界観など、従来の自然科学の方法論の枠を越える問題も散見されるようになった。

このような認識を根底に、情報の学問体系を見直してみたい。特に AI で問題とされる知能の研究においては、知能を自然現象を扱うのと同じ方法論だけでは研究ができないことを主張し、それに代わる方法論を提案することが本論文の意図である。以下の章ではまず科学の方法論を再確認することから始める。科学的方法論の根底となっている、研究対象の系から独立した理論家という前

提を見直し、その限界を明らかにする。そして、系の内部からの視点の重要性とそれに基づく研究方法論の提案を行なう。

本論文は新しい方法論の提案を行なうものであるが、それは論文の書き方にまで及ぶ。まず2章において個人的思考の歴史を通し本提案に至る動機を述べたい。3章では従来の方法論による現状分析を行なう。ここでは物理学を中心とする自然科学の方法論と、本論文で提案する構成的情報学の方法論を、デカルト的二分法 [Des Cartes 37] によって分析する。続いて4章でシステム内視点によるAI研究について述べ、これを受けて5章で新しい内部視点による構成的方法論を提案するが、これらの記述は物語である。そのような方法論の評価は物語的に行うのが良いことも述べる。最後に6章で、関連する主張との比較を行う。

本論文の構成からもわかるように、私は従来手法を否定しようとしているのではない。現状分析には有効な手段であるし、長い間に確立された方法論であるから、可能な限りそれを使うのが望ましい。ただ、その限界をよく理解し、限界を越えた部分に関してはなんらかの新しい方法論を補完的に使うべきであるという主張である。実際、本稿で提案する新しい手法では分析的手法をその一部に使用する。なお、本論文は新しい方法論への第一歩であり、その全貌はこれから皆で構築して行くべきものであると考えている。

2. 個人的思考歴

本論に入る前に、ここにたどり着いた私自身の思考の履歴を書いておきたい。私自身の問題意識を明確にすると共に読者へのガイドとなれればと考えている。

AIの研究を始めて以来、ずっと知能の文脈(状況)依存性とその表現の問題に関心を抱いてきた。Stanford大学のCSLI(Center for the Study of Language and Information)が状況理論のメッカとなったときに1年以上にわたって滞在し共同研究を行なう機会を得た。このときに各国から集まった研究者と深い討論をする機会を持ったが、何か根本的な認識の違いを感じていた。しかしながら自分の考え方を論理式に表してしまうと両者の意見は一致する。議論では互いに違いを感じつつその根拠を確定することはできなかった。

状況理論 [Barwise 83] では状況 s と、そこで成立する情子(インフォと呼ばれる情報単位) σ の関係を、状況が情子を支持するという意味で $s \models \sigma$ と表す。この式自体に問題はない。しかしながら、左辺の状況 s はその状況内に存在するエージェント a にとってアクセス可能なものか否かでは意見が分かれた。私はそのようなものはエージェントにとってアクセス不可能であると考えている。それを明確にするためにエージェントが状況だと思いついて入っているもの(現実がそうであるか否かは当のエ

ージェントには検証不能なもの)として心的状況(mental situation)という概念を提案し、これを ms_a と記することで異なる理論の構築を試みた [Nakashima 96]。しかしながら、なぜ彼我の理論が異なるのかは依然として謎であった。

数年後に全く別のコンテキストで市川の世界観に関する記述(3・1・2節)を読んだときにこの疑問が氷解した。情報の実在論的立場をとる英米^{*1}の研究者たちと、我々日本の研究者の世界観の違いが理論に反映していたのである。それ以降様々なことがこの枠組で捉えられることに気づいた。そして出来上がったのが本稿で述べる考え方である。

しかしながら、そこで止まる訳には行かなかった。この世界観の違いをどのように研究手法に反映させるかという問題が残っている。複雑系の議論でもそうだが、「分解すると全体の性質を失ってしまうような系」というような否定法的な記述は分析的手法には有効であっても、構成的手法においては無意味である。^{*2} 構成的手法の構成的記述が必要である。産総研において「情報の学」の議論を呼びかけてから多くの人と議論する機会を得、考え方がかなり進んだ。実は本論文の査読を待っている間にも議論が進んでいる。最終的な、デカルトの方法序説に匹敵するレベルでの完成にはまだ10年くらいはかかりそうであるが、糸口だけは見えたつもりである。分析のループを内包する構成のループである。ヒントとなった藤井晴行氏の発表にちなんで「Fダイアグラム」と呼んでいる(図5)。

3. 分析的方法論による現状分析

本論文の主張は二つの軸から構成されている。

第一の軸は「視点」である。研究対象のシステムあるいは構成すべきシステムをどの視点から眺めるかを問題とする。自然科学で採用してきた、システムから切り離された客観的な視点を本論文では「理学的視点」と呼ぶことにする。これに対し、システムと一体化した視点を「システム内視点」と呼ぶ。

第二の軸は「分析的手法対構成的手法」である。この方法論の違い自体はあまり説明を要しないと思うが、これらの手法の違いは視点の違いと切り離して理解することは困難である。

以下ではまず視点の違いが実は我々の世界観に奥深く根ざしていることを見る。その後で、この視点の違いが方法論の違いにどのように結び付いているかを見る。

*1 本論文では東洋対西洋のような文化論を展開するつもりはない。実際、哲学的にも言語的にも日本とドイツ(特に現象学)の距離は近く、英米との距離は遠い。

*2 たとえば状況理論の $s \models \sigma$ という、状況 s で σ が成立するという情報は構成的に利用可能であるが、その否定である $s \not\models \sigma$ (これは $\neg \sigma$ が成立するという情報ではなく、 σ は成立しないという情報)はどのように使って良いかわからない。

3・1 視 点

§ 1 エージェントの視点

IJCAI 95 では Minsky, McCarthy, Simon, Hayes ら AI の生みの親たちが顔を揃えた。彼ら AI 第 1 世代の最大のスローガンは「知能とは記号処理である」という点にあった。Simon は記号処理パラダイムで知能の様々な現象が説明できることを改めて説明した [Simon 95]。例えば感情や第六感といった、一般には記号処理とは考えられていない事象も実は記号処理の一側面であることを主張した。この主張自体は自然なものである。

会場からの「では AI の問題と情報処理一般の問題は同じなのか」という質問に対し、Hayes は肯定的に答えた。しかし、我々はこれに関しては反対である [中島 97]。AI と一般の情報処理はある重要な点において異なっている。それは処理の完全性を要求するか否かであり、これは知能の本質的な枠組みと関係していると考えている。

Russell [Russell 95, Russell 97] は bounded rationality の概念とエージェントの視点が重要であると主張している。彼は AI を「正しいことをするシステムを設計する問題」と定義し、「正しいこと」とは何かを問題にする。そして正しいとは、あるエージェントが与えられた情報をもっともなやり方で処理することであるとしている。結果の正しさではなく、処理の正しさ（もっともらしさ）を問題にしているのである。

橋田 [橋田 94] の主張している情報の部分性という考え方が AI 第 1 世代と我々第 2 世代の見方の差を的確に表している。情報の部分性には処理の部分性（時間などの資源制約により手持ちの情報が完全には処理しきれないこと）と入力の部分性（必要な情報が全部は揃っていないこと）の二種類があるが、現在直面している問題がどちらの理由によるものかはシステムにとっては区別できない。つまり、ある推論を行っているときにまだ解が得られていない場合、もう少し計算を続ければ解が得られるのか、あるいはもう少し情報を収集しなければならぬのかは推論の当事者にとっては原理的に不可知である。これがシステム内視点であるが、知能とはこのような情報の部分性（これは避けられない）の下で最善の解を得る仕組みのことである。

もちろん AI 第 1 世代がそういう問題に気づいていなかったわけではない。McCarty と Hayes は早くからフレーム問題を唱え [McCarthy 69]、McCarthy らは非単調論理の研究を続けてきたし、最近では文脈の扱いの重要性を主張している。しかし、そのアプローチは本論文で提案するものとは異なる、理学的視点に基づくものであった。フレーム問題（特に後年の広義のもの [Dennett 87, マッカーシー 90]）というのはシステムを客観的に外から眺めたときの定式化である。すべての情報を持っているシステム設計者（あるいは理論家）からみた「正しい」推論をシステムに行なわせることが問題となっている。しかしながらシステム自体はそのような完全情報を

持っていない。つまり、理学的視点を持ったフレーム問題は構成的には解決不能問題なのである。

§ 2 世界観

前節で述べたエージェントの視点と「正しいこと」の定義を彷彿させる世界観が日本にある。

市川 [市川 00] によれば集団の統合原理は以下のよう

に分類することができる。^{*3}

● 実力によるもの

動物の社会に見られる、実力による社会構造。

● 規範によるもの

○ 無矛盾を要請する世界観によるもの

* 戒律型

憲法や絶対神による法典などを戒律とし、戒律対個人の関係が重要である。

* 審判規範型

個人の自由が尊重されるが、個人間で対立した場合には裁判などの審判（上位機関の裁定）に頼る。

○ 矛盾を容認する世界観によるもの

会社と地域社会など、個人が複数の層の集団に属し、それぞれの集団の規範は異なっているもよい。

無矛盾世界観とは、宗教的戒律や法律のように、人間を越えた絶対的存在を指定するものである。イスラム社会、キリスト教社会などがそれにあたり、憲法、絶対神などを戒律とし、戒律対個人の関係が重要である。必然的に一神教となる。

容矛盾世界観^{*4}とは、局所的整合性は重視するが全体的整合性は考えない^{*5}ものである。集団全体としては矛盾があってもよい。つまり、部分集団の内部規範が重要で、典型的には日本の企業や地域社会がそうである。矛盾を許容するだけでなく、老荘思想や禅などのように矛盾から出発したりするものもある。このような社会は集団指向であり、多神教であることが多い。

図 1 に対比されるように、無矛盾世界観による戒律・規範型社会では集団を超越した唯一の普遍的・客観的規則の存在が前提となり、理学的視点を採用する自然科学的方法論の下地を与えている。つまり、理論家が絶対神の位置を占める。これに対し容矛盾世界観は外部の客観的視点を持たない。システム内部の視点が重要である。

このように、理学的視点というのは無矛盾世界観に深く根ざしたものだと考えている。人間を離れた「真実」が存在するという立場は私には根本的に理解しがたいものである。それ以上に「情報」がその認識主体である人間を離れて客観的に存在するという立場は情報処理研究、特に AI 研究においては有害ですらある場合がある。

^{*3} 本論文の目的は社会学や生態学ではないので、ここで述べているのはあくまでも議論を明確にするための例であり、統合原理自体の定式化やそれに関する主張を行っているわけではない。

^{*4} この用語は私と松井千津子によるものである。市川自身は「矛盾世界観」という語を用いている。

^{*5} アモルファスとはこういう性質をもった物質構造である。

図 1 社会構造と視点

このような世界観に基づく研究の違いは、たとえば非単調論理研究の展開にもみられ、以下の二つの立場に分かれる：

- (1) 「正しい」非単調推論というものが存在し、(人間がどう推論しているかとは独立に) それを数学的に定式化しようとする立場。
- (2) 人間の行なう非単調推論をモデル化しようとする立場。

ちなみに現在まで非単調推論に関する多くの研究は前者の枠組で行なわれており、それらは実っていないと考えている。

§ 3 言語構造が要請する視点

世界観は言語を規定するし、言語の構造は世界観に反映する。下村寅太郎は思想と言語の問題について多く語っているが、以下がその典型的な主張である [下村 79]：

言語学者にはよく知られているが、ベンジャミン・ウォーフの「言語学的相対性理論」と言われるものがある。彼はマサチューセッツ工科大学出身のエンジニアであるが、アメリカ・インディアン人のホーピー語の研究から、その理論を構成した。彼によると、言語は観念を表現 (express) するものではなく、観念を形成 (shape) するものであって、言語体系を異にするとその世界像も異なったものになる。ホーピー語には動詞のテンスがなく、時間の経過や連続性は考えられない。このような言語では「科学」は形成され得ない。ヨーロッパで科学が成立したのは、ヨーロッパの言語の構造と密接な関係が予想されるという(勿論ヨーロッパの言語によってのみ可能ということではないが)。

実際に、我々は言葉で思惟する。言葉なしには思惟することは出来ない。眼なしには「見る」とは出来ず、耳なしには「聞く」ことの出来ないと同様である。しかし我々は見る時、眼を

意識せず、聞く時、耳を意識しないように、思惟する時にも言葉を意識しないが、これは両者が密着し融合している故に意識されないのにすぎない。ところで、言葉で思惟することとは、特定の特殊な言葉で思惟することである。「普遍的言語」は現実には存在しない。我々が思惟する場合、常に日本語で思惟し、日常の身边は日本語の世界であるから、我々は必ずしもこれを意識しない。しかしそれぞれの言語はそれぞれ独自の文法組織をもち、文法組織はそれぞれ一定の考え方の体系を背景にもっている。アリストテレスがもしギリシャ人でなかったら、その論理学も違った形になったであろうと言われる。(中略)

この問題は、改めて考えると、単に日本文法内の一問題に止るものでなく、日本文法の体系に係わる根本問題であって、我々の考え方一般の深部に関する問題ではないかと思う。言語学者服部四郎氏によると、「は」と「が」の助詞をもつ言語は世界中で日本語と朝鮮語だけであるとのことである。一般に、日本語では主語を必ずしも必要としない。むしろ一般に我々の文章や日常の会話では主語が省略される。『源氏物語』の難解なのは主語が省略されていて、専ら敬語で示されることによることは周知の如くである。主語の省略か主語がないのか、必ずしも判然としない。これは単なる文法内の問題でなく、これに予想されている我々の思惟の仕方一般の性格に係わる本質的的原理的な問題を示唆するように思われる。唐突なようであるが、西田哲学の根本思想の源泉の一つをこれにおいて見出し得るように思う。西田哲学の独創はこれに由来するのではないか、と。

金谷 [金谷 03] は日本語と英語の視点の差に注目している。彼は、

- 英語は神の視点
- 日本語は虫の視点

から、それぞれ情景を記述していると主張している。金谷がその著書 [金谷 04] において NHK 教育テレビ「シリーズ日本語」で池上嘉彦が紹介した実験について触れている。川端康成の「雪国」は

(1) 国境の長いトンネルを抜けると雪国であった。

という文で始まるが、これを川端の翻訳を多く手掛けている翻訳家 E.G. Seidensticker が英訳した文は以下のとおりである。

(2) The train came out of the long tunnel into the snow country.

これらを読んだ人達に情景を絵にさせると、日本語 (1) の場合は汽車に乗っている乗客の視点から描いた絵になるのに対し、英語 (2) の場合は汽車の外から見た、汽車がトンネルから出てくるのを上空から描いた絵になるのである。決して英語訳がまずいのではない。日本語のような視点からの記述も不可能ではないが、それでは自然な英語にならないのだ。

金谷も言うように、状況は神の視点からは使いにくい。状況に埋め込まれた虫の視点でこそ状況が使える。日本語の構造は状況依存性を表現しやすいものになっている。助詞の利用により、状況からは明らかでない要素のみを明示すれば良いのが日本語の文法である [中島 99]。これを反映して、(1) では「汽車」が陽に示されていないのに対し (2) では主語^{*6}として現れている点に注目する必要がある。汽車に乗っている虫の視点からは汽車を明示する必要がないが、上空から俯瞰する神の視点からは汽車を明示しないことには記述が始まらない。

§ 4 内部観測

自然科学の記述は理学的視点の典型である。システムを超越した理論家 (客観的外部観測者) の観点 (図 2 左) から客観的な記述がなされる。特に古典物理学はこれで大成功を収めた。

しかしながらこの世界観は量子力学においてくずれ始め (観測による系の不可避の変更)、カオスに始まる複雑系の発見で決定的な困難に出会った。カオスとは微少な差がいくらでも拡大しうる系のことで、システムの状

態変化は繰り返されることがなく無限に異なるパターンが展開される。そのため、その系の動きを外部から客観的に定式化して記述することができない (あるいはその記述が理解に役立たない)。複雑系というのはこれ押し進めた概念 (システム観) で、局所的性質が全体に拡張できないため分析的手法が通用しないものをいう。観測が系に影響を及ぼすため、内部観測者 [郡司 97] の立場をとらざるをえない。つまり、そのようなシステムを理解するためには観測者がシステムの一部となり構成的手法によってシステムを造り上げていくしかないのである。

ここで内部観測による理解についてすこし議論しておきたい。当然のことながら、分析的な理解とは異なるものである。新たな「理解」の概念が必要である。全体的な整合性を持った理解ではなく、部分的に整合性のある理解のアモルファス的な連続が必要であろう。容矛盾世界観の理解である。これはフレーム問題の解消の糸口ともなる。

先に「理学的視点を持ったフレーム問題は構成的には解決不能問題」であると述べた。フレーム問題は大局的整合性を求めているから解決不能であるが、その意味では人間も解決しておらず、実際問題としては解決不要な問題と考えている。むしろ、状況依存性を最大限に発揮し、状況依存の解を連結すればよい。内部観測者にとって自分のおかれた状況に同調し、その局所的理解にもとづく局所解を得ることは可能である。そして状況の変化を感知し、別の理解に移ることができれば良い。

3.2 分析的手法と構成的手法

これまでに述べた視点の差を念頭に、研究の方法論に関して分析したい。科学 (特に自然科学) の研究方法論は確立しているので、それを基に科学と工学の方法論を比較する。

§ 1 科学の方法論

科学の方法論とは、仮説の生成とその検証のループを繰り返すものである。仮説は検証可能なものに限られる。そういう方法論に則った行為のみが科学である。その目標は対象とする系の理解である。自然科学の場合は自然界の法則の記述が目標となる。この方法論が機能するためには以下の二つの前提が必要である。

- (1) 対象の系が理論家の営みとは独立に存在していること。
- (2) 観測が対象とする系の振舞いに影響を及ぼさないこと。あるいは及ぼす影響が別の手段で測定でき、データから影響を排除できること。

上記の前提は、自然現象を対象とする物理学においては典型的なかたちで成立する。自然現象は人間の存在にかかわらず存在しており、重力の法則や原子の構成などが観測者によって左右されることもない。

分析的手法はデカルトの方法序説によって完成されたとみることでもできる。デカルトは問題を単純な部分に分

^{*6} 「主語」という用語は英語の文法構造を表すための用語であり、動作主体などと言った意味的役割とは何の関係もないことも断っておかねばなるまい。そうではなければ「汽車」を主語として明示しながら、汽車の視点に立っていないことが理解できない。係助詞「は」は話題の中心となる要素を示しており、通常はこれが文の状況として設定され、そこに視点が移ることになる。三上 [三上 53, 三上 60] に始まる一連の研究で主張されているように、我々が学校文法で習った日本語における主語という概念は誤りであろう。この問題は前出の下村も若干触れていたが、最近一般的に認識されつつある。本節で引用した金谷の主張もその流れの上にある。

図 2 客観的 (外部) 観測者の視点と内部観測者の視点

割し、それを個別に解決するという分割統治手法を提唱している。心身二分を説き、精神の働き (理性) のみが真理への根拠となるとしている。そしてその根拠として神の存在を示していることは、前節で述べた無矛盾世界観の視点を裏付けるものである：

第一に、わたしが先に規則として定めたこと、すなわち、われわれがきわめて明晰かつ判明に理解することはすべて真である^{*7}ということ自体、次の理由によって初めて確実となるからである。神があり、存在すること、神が完全な存在者であること、われわれのうちにあるすべては神に由来すること。[Des Cartes 37](p. 54)

§2 工 学

私は、工学とは現象を創り出し制御する方法に関する学問体系だと考えている。原理はわかっている (科学として完成) が現象再現ができない (工学として未完成) という分野も多い。たとえば重力の理論と重力の制御はその関係にある。逆に試行錯誤で現象は創り出せているが、その基本原理はまだ未解明という分野もある。高速走行する車や列車、そして航空機などに見られる車体の空力設計などはその例である。吉川らは自然科学の方法論による研究を第一種基礎研究と呼び、(設計論を中心とした) 構成的研究を第二種基礎研究と名付けた [吉川 04]。これは科学 (分析) と工学 (構成) を対等に、互いに逆方向の学問体系として、位置付けたものである。

工学に必要なのは構成的方法論である。たとえば生物進化の仕組みの基本と考えられている、生成と選択もそういった方法論の一つである。ちなみに (進化自体ではなくそれを論じる) 進化論は厳密な意味での自然科学の方法論に乗っていない。一部の理論は反証可能性を持っているが、大域的な意味での進化は一度限りの現象で、実験の対象にならない。後述する意味での物語 (5・4 節) を皆が納得しているというのが正しい。ALife はこのよう

な進化をシミュレーションの上に作り出し、様々な実験環境を提供するものであるが、これと現実との整合性を議論する理学的な枠組を持たない。

工学が設計対象とするレベルは、自然現象とは直接の因果関係にないシステムであることも多い。建築などがその典型である。そこで生活したり活動する人間の利便性が一次的設計対象である。そして、それを支える建物の構造が二次的対象となる。藤井は建築設計のプロセスを新しい視点で分析している [藤井 98] が、これに関しては後述する (5 章)。

情報・通信分野においても情報伝達には電気などの自然現象を利用しているが、情報処理自体は自然法則ではない。Shannon の情報理論 [Shannon 49] はある意味で自然法則だが、それがとらえているのは情報のごく一面 (情報の通信に関する量的側面) のみである。つまり工学の扱う対象は自然科学の扱う対象より遙かに広いのである。そこには独自の方法論が必要となって当然であるのにもかかわらず、従来より無意識に自然科学的方法論がそのまま適用されてきた嫌いがある。

4. AI 研 究

前章で構成的方法論にとってのシステム内視点の必要性を述べた。構成的方法論はかなり広範囲の学問体系に必要とされるものであるが、本論文ではその対象を情報処理、特に AI 研究に限る。

本章ではシステム内視点を採用ることによって AI 研究の方法論がどのように変わるのかを考察する。そして、構成的研究方法論への糸口としたい。

対話システムの構築を例として構成的方法論を見て行きたい。対話というのは自然言語による 1 次元の文字列 (あるいは音の列) の往復で 2 (あるいはそれ以上の) エージェント間で情報交換をすることである。状況意味論 [Barwise 83] では、対話においては送り手と受け手の間で状況が共有されていることにより情報伝達が可能であると考えられている (図 3)。これは分析的な説明としては正しい。

^{*7} 有名な “cogito, ergo sum” (我思う、故に我あり) を出発点として、そこから真理を積み上げていく方式。

図 3 旧来の対話システム観

図 4 提案する対話システム観

しかし、状況を共有するというのとはどういうことであろうか。

客観的な意味でいえば、対話の登場人物は物理的状況を共有している。また物理的に似た構造の体や経験を共有している。しかし、対話によって新しい共有知識を得ることは不可能であることが証明されている [Halpern 90]。つまり、対話において客観的な意味での共有状況は存在しないと考えた方がよい。存在するのは互いに共有していると信じている状況だけである。図 4 のように、対話の登場者が各々で全員が状況を共有していると思い込んでいるモデルを想定するのが正しい。このモデルの優位性は二つある：

- (1) 自分の推論と他人の推論のモデルに同じプログラムを用いればよい (他人は自分と同じであるという仮定) ので計算論的に単純である。
- (2) 三者以上の対話に関してもそのまま適用できる。三者対話では第三者が聞いていることを前提に対話相手を褒めたりすることがあるが、これは旧来の対話概念で捉えることは困難である。

この新しいモデルにより主観的に筋のとあった対話が可能となるが、客観的な観点は棄却される。

例をみよう。落語に「こんにやく問答」[飯島 90] というのがある。

●落語家の説明：

元こんにやく屋の和尚と旅の僧が問答をすることになった。問答をして敗れたほうがお寺を去るという決まりになっていたから、さあ大変。旅の僧が問答を切り出すが和尚には何を言っているのかさっぱり

わからないので、黙っていると、旅の僧は黙行だと勘違いして、今度は両手をおなかにもっていき、小さな円を作る。和尚はこれに応じて空に大きな円を描きます。すると旅の僧が平伏して、今度は両手を開いて前に差し出す。和尚はそれに対して、片手を差し出す。また旅の僧は平伏して、3 本指だけを前に差し出す。和尚が、あかんべえをすると、すっかり恐れ入った旅の僧はそそくさと逃げ出してしまう。

●旅の僧の解釈：

「当寺の和尚は博学多識。拙僧の及ぶところではございません。私が『天地の間は』(と言って、小さな円を作る)と伺ったら、『大海のごとし』とお答え、『十方世界は』と聞けば、『五戒で保つ』さらに『三尊の弥陀は』と聞けば、『目の前を見る』とおっしゃられた。まことにすばらしい方でございます」

●元こんにやく屋の解釈：

「あれは、俺の昔の商売を知っているからかいに來たに違いない。おまえのところのこんにやくは、こんなに小さかった(と言って、小さな円を作る)と言いだしたので、そんなことはない、こんなに大きかったと言いつつ、10 枚でいくらだと値を聞いてきた。『500 だ』と言うと、『300 文くらいだろ』と値切り出したので、『あかんべえ』……」

こんにやく問答は対話として成立しているのだろうか？システムの外にいる観測者の観点(この場合は落語家や観客の視点)ではこんにやく問答は明らかな誤解の例としかならないだろう。しかしながらそれぞれの登場者の見事な一貫的解釈に注目していただきたい。観測事象に対しこのような一貫した解釈を付ける能力こそ問われるべきではないだろうか。ある意味では物語生成能力とも言え、今の AI システムに欠けているものである。外部に真実があるとする視点からは決して生まれてこない研究ではないかと思う。つまり、対話研究は客観的な情報伝達モデルの研究(分析的解釈)ではなく、主体が伝えたい内容を外在化させたり、あるいはそれから一貫した解釈を得たりする構成的手法の研究を行なうべきである。なお、ここでの一貫性は各個人内に留まり、全体としては矛盾を容認する、容矛盾世界観の一例である。これに関する私の試みは [Nakashima 94, 中島 99] などにある。

5. 構 成 的 手 法

5.1 多層システムの構築

AI で対象とするような複雑なシステムは、多くのレベルで各々異なる意味や法則を持つ。たとえば生物は、社会レベル、個体レベル、器官レベル、細胞レベル、分子レベルのような多層にわたる理解を必要とする。

これらの層はすべて説明上も実態上も実在しており、下位層は上位層の分解ではないし、上位層の性質を下位層に還元することもできない。各々の層が(その上下の層

との間になんらかの制約はあるが) 独自の法則で機能していると考えるべきである。^{*8} しかし忘れてはならないのは、それらは複数のシステムではなく、単一のシステムの異なる見方である。つまり分子から構成される生物と細胞から構成される生物というように二つの別のものが存在するわけではなく、それぞれの層は同じ生物というものの異なる切口に過ぎない。

Polanyi は下層のシステムでは定まらない境界条件を上層が与えているとしている。生物の例では分子層は物理化学的制約からなりたっているが、それらの配置などの境界条件は上位の層が、物理化学とは別の原理で定められているとしている [Polanyi 66](page 67)。

近年マルチスケールシミュレーションの研究が行われ、分子構造から液体まで、あるいは人間の神経と行動のレベルといった、上下の層の間関係がかなり解析されている分野ではその関係(モデル)を研究者が作りこむことによって多層のシミュレーションを可能にしている例がある(たとえば [大武 05])。しかし、これらは2層の間に限られており、また一般的な意味で上下層をつなぐ方式には遠いと言わざるをえない。また、先に述べたように物理的に別の層が存在しているわけではないものを、二つのシミュレーションに分け、それらをつなぐという方式自体が本質をはずしている懸念もある。

私は一般化した多層モデルの構成は不可能であると考えている。自然界がその進化の過程で行なってきたように、構成と分析(進化の場合には構成された個体の行動に基づく選択)のループしか一般的方法論は存在しないのではないか。システムを構築し、その振舞いを観測・分析し、うまく上位の層としての振舞いが出るようにシステムに修正を加える。研究者がループ内にいること(内部観測)が重要である。^{*9} この上下の層の関係は以下でもう少し詳細に分析したい。

5.2 構成と分析のダイアグラム

全体(上位層あるいはマクロ)と要素(下位層あるいはミクロ)との関係は、比喩的な表現であるが以下のように分類できる:

- (1) 単調関係。要素を組み合わせるにいくときに、その要素の性質が保存される関係。これは更に二つに分類できる:
 - a 線形関係。全体が要素の単純な和になるもの。デカルト [Des Cartes 37] が想定したのはこのようなシステムのみであると考えられる。
 - b 非線形関係。全体が要素から組み立てられる

ときに要素間の相互作用が付加されるもの。

- (2) 非単調関係。全体が要素から組み立てられるときに要素間の相互作用が付加されるだけではなく、新しく加わった要素が以前のそれを無効にすることがあるもの。

線形関係はデカルトが述べているような分析的手法で解決できる。

非線形関係はこれより構成困難である。構成前に相互作用が予見できれば分析的手法に還元できる。予見できなかった場合でも、構成後の相互作用を分析することによって新しい構成法が推論できるはずである。修正された手法で構成し直せばよい。つまり、構成し、分析し、再構成するというループになる。このループの分析のフェーズには仮説生成と観測のループ(つまり、分析的手法)が内部観測的な意味で包含される。構成的に生成された系に対して、それに依存した形で系の持つ性質を分析的に調べる必要があるからである。すでに法則が発見されている場面ではそれを当てはめればよいが、法則未発見の場面においては仮説をたて、それを検証するというループが必要となる。分析の手法自体が構成の結果に依存しているため、この部分には研究者の関与が必須であり、内部観測的分析となる。

非単調関係では、上位層の性質と目標との差異をそのまま下位層に戻しても、その結果が解に近付くという保証がない。上記のループを(可能性としては無限に)繰り返す必要がある。F ダイアグラム(図5)はそのようなループの一つを描いたものである。これは元々建築デザインを念頭に定式化されたものであるが、ここでは一般の非単調システムのモデルに拡張している。まず下位層の部品[建築の場合は^{*10}建物の構成要素]がある。これを適当な手法で構成したシステム[建築物]を創り上げる(この部分は狭い意味での構成のループになる)。そのシステムの性質を分析(ここが分析のループになる)する。できあがったシステムの性質を目標のもの[仕様あるいはデザイン]と比較し、その差分を元の材料あるいはその構成手法にフィードバックする。単調なシステムであれば1回のフィードバックで収束するはずであるが、非単調なシステムでは収束する保証はないため、全体のループを繰り返す必要がある。この全体が構成的手法のループである。先にも述べたように、これに含まれる分析のループは固定ではない。構成されたシステムの性質により、分析の手法自体が変わる可能性がある。

5.3 囲碁・将棋における構成的手法

囲碁や将棋といったゲームは、個々の石や駒と盤面全体の戦いは非単調関係である。一般的には石や駒が多い方が良いのだが、特定の石や駒の存在がマイナスになる^{*11}場

^{*8} AI への批判の多く、典型的には Searle の中国語の部屋 [Searle 80] の議論は、この多層性の無理解に起因する誤謬である。

^{*9} このようなシステムは「完成品」として研究者の手から離れることはあり得ない。以前に、AI プログラムは研究中は盛んに実行されるが、プログラムが完成したらその後は使われないではないかという批判があったが、それで良いのである。

^{*10} 以下同様に □ 内は建築の場合。

^{*11} 囲碁の場合は「ダメ詰まり」という、石の追加が明らかに不利になる例の他に、弱い石の存在が動きを規制することなどが

図 5 F ダイアグラム：構成と分析のループ

合も多い。

囲碁や将棋では長い間の研究によってある程度の全体と部分の関係が解明されており、部分と全体の関係が解明された部分については、それが定石という形で残されている。この定石は分析的科学における法則に対応するものである。法則と異なるのは大域的整合性を保証しない^{*12}点にある。盤面にある特定の性質を持たせたい場合、それが実現可能な場面と、それを実現するための石や駒の配置がパターン化されて蓄積されているのである。しかし、盤面の他の部分の状況によっては定石が使えない場合もある。また、そのような定石が存在しない場合の手法、あるいは、定石そのものの生成に使われた手法は「構成と分析のループ」である。つまり、これらのゲームのような、人間の知能と比較して非常に単純なシステムで、しかも千年以上の研究が施されたシステムにおいてすら構成と分析のループ以上の方法論が見つかっていないのである。

5.4 評価手法

自然科学の方法論は仮説形成とその検証のループである。それに相当する構成的学問体系の方法論は構成と評価のループであろうと述べた。構成されたものの善し悪しを計る基準が必要であるが、これが外部からの客観的基準ではありえない。システム内視点による評価が必要である。ここに「良い物語としての評価」が使えないかと考えている。

物語は個別の部品（分析の対象）ではなくそれらの相互関係（全体性）を問題としている。つまり、構造自体が評価の対象となる。要素間の相互関連が必然的で、しかも多重に入組んでいるものが良いとされている。

次に、物語は客観的な評価基準を持たない。あくまで読み手の主観の総体とその評価となる。しかしながら、各評価が全くばらばらであるということではなく、世の共通理解としての良い物語が存在する。学术论文に論文賞

ある。将棋では飛車角の動きや効き筋を他の味方の駒がブロックしてしまうことが典型例。

*12 物理学における法則ですら、すべての場面で適用可能な統一理論は未だに発見されておらず、ある意味では完全な無矛盾世界観には到達できていない。

が存在するように、文学の世界にも様々な賞が存在しているのはその証である。

実は物理学や数学でも同様に、研究者だけが共通的に持っている暗黙知（研究の歴史や目的、価値観など）の上に成立している [Polanyi 66]。そしてこの暗黙知はいわば徒弟制度のように大学で教授から弟子へと受け継がれているものに他ならない。AI はその歴史が浅いから暗黙知の部分が少なく苦労しているだけであろう。この暗黙知の部分を伝達するには物語しかない。いや、物語こそが正しい手法であろうと思う。ここでは諏訪 [諏訪 05] の主張するメタ認知プロセスが重要になる。自分が無意識に前提としていること（暗黙知）を言語化する努力が必要である。ただし、この言語化は「正しい」ということを前提としてはならない。正しいという概念は本論文が批判の対象としている客観的観測者の立場でなければ語れない。自分自身のメタ認知でさえこんなにやく問答の世界なのである。

良い物語は万人に理解されるとは限らない。いや、むしろ一部（とは言え、少数派では困るのだが）の人にしか理解されないからこそ物語なのである。グレッグイーガンの SF（たとえば [イーガン 99]）はシミュレーションや意識についてかなりの洞察を与えてくれる。物語に読者（私）が同調しているからだろう。しかしながら、同調していない読者にとっては訳のわからない言葉の羅列かもしれない。こんなにやく問答に私が見た意義を本論文の読者は見出してくれないかもしれない。

6. 他の主張との比較

本論文で述べた考え方は私だけのものではない。少なくとも構成的手法の必要性に関しては様々なところで主張がなされている。最後に、そのような関連する考え方を概観しておく。

6.1 システム論

構成的手法あるいは全体論を主張するものの一つにシステム論がある。その歴史も本論文に並行する展開を見せている。システム論 [Bertalanffy 73] は生命を定義す

べく開始された。第二世代のシステム論においては自己組織化が議論の中心となる[清水 94]。そして第三世代がオートポイエシスである[河本 94]。

オートポイエシス[Maturana 80, 河本 95]というのは自らがシステムと外界の境界を定めながら作動しているシステムのことである。本論文で議論している内部観測や複雑系、多層システムなどと大いに関係があるばかりではなく、情報システムというのはそもそもオートポイエティック(自己創出的)である。システムの境界ばかりではなく自らの意味や意義すら自己創出的である。

このような、システムそれ自体がシステム存在の理由になるというような自己参照は、経済現象にも多く見られる。たとえば貨幣が貨幣として通用する理由は、皆がそれを貨幣と認めているからである[岩井 93]。一般に経済現象は予測実現機能を持つ(予測に関して正のフィードバックを持つ)と言われている。多数の人が株価や為替レートの上昇を予測すれば株を買うので、実際に株価が上昇する(これを利用して株価の操作や為替レートに対する政策介入が可能になる)。

6.2 科学の社会性

科学の手法がデカルトの想定したような個人の理性のみによるものではないことは、実は近年の(物理学を含む)研究者は皆理解しているのではないかと考えている。一般の認知が遅れているだけかもしれない。科学的理論は正しいと証明されることはなく、実験により否定されていないという状態が続いているだけである。

De Millo 他[De Millo 79]は数学の証明ですら社会的行為であると主張している。実際二つの互いに矛盾する命題の証明が一方は日本、もう一方はアメリカのグループによってなされたが、互いに相手の証明の欠陥を発見できなかったということがあったそうである。第三者による検証においても両者の誤謬は発見できなかったが、アメリカグループの方が正しいという社会的なコンセンサスが得られたそうである。^{*13} この場合も証明の誤謬は指摘可能であるが、証明の正当性は証明できない(たとえば Hofstadter は三段論法の正当性を証明しようとするとう無限後退に陥るとい議論を展開している[Hofstadter 79])。

Polanyi が物理学の社会性を指摘していることは先に述べた(5.4 節)。

6.3 現象学など

哲学的には現象学の考え方が本論文での主張に近い。現象学の産みの親は Husserl であるが、AI のコンテキストではその弟子の Heidegger の方がなじみが深い。Heidegger[Heidegger 27]は道具はそれ単独では意味をもた

ず、その使用(世界とのインタラクション)との関連においてのみ意味をもつことなどを分析して、多くの AI 研究者に影響を与えた。

Winograd もその影響を受けた一人である。彼は世界初の本格的自然言語理解システム SHRDLU[Winograd 72]を構築してみせた研究者であるが、後期は独立した知能システムとしての AI プログラムの構築を放棄し、人間とのインタラクションの中にシステムの意義を見出そうとしている[Winograd 86]。

現象学の流れを汲む木村[木村 82, 木村 94]は「モノ」と「コト」の違いについて述べている。ある対象を「モノ」として捉えることも「コト」として捉えることも可能である。^{*14} モノという捉え方は critica の働き、あるいは analytic な見方であると言う。つまり、世の中を自分=主体とは切り離して客観的に存在するものとして見、それを分析的に研究しようという見方である。それに対して「コト」という捉え方は、自分が対象とかかわりあって初めて明らかになる。要するに主体がそこに入ってしまうようなものである。これは synthetic なもので、topica の働きであると言う。彼は英米と日独の「主体」概念の差にも注目している。日本とドイツには「自己」(内部視点的な意味で行動や経験の主体)の概念があるが、英語の self は自他対象で、myself, yourself, himself, herself, itself という言い方が同じように可能である。これはアメリカでは対象を自己から切り離れた「モノ」として捉える見方が中心になることと関連している。話者本人ですら(神の視点から)客観視しているのである。

現象学とはやや軌道が異なるが西田幾多郎は以下のように述べている[西田 20](pp. 456-457)：

個体概念に基づく精神科学に於いて、比較や分析によって一般的性質や因果的連鎖を明にする事が不必要であるといふのではない。唯単にこれ等の方法によってのみ個体知識を明にすることはできぬ、別に全体の直観より立出する総合的見方がなければならぬと思ふのである。前者は却って後者の手段と考へることができる。是故に個体的知識を目的とする精神科学に於いては、芸術と同じき創造的想像の力を要すると考へるのである。

これは方法論として構成のループが分析のループを内包するように、分析的見方が総合的見方の手段として含まれていることの主張に他ならない。

7. 結論と今後の展開

本論文ではふたつのことを主張した。ひとつはシステム内視点の重要性。もう一つは構成的手法の重要性であ

^{*13} 原論文の主旨はソフトウェア工学においてプログラムの正当性の証明にこのような社会性が導入されておらず、従ってその証明自体が信頼できないという主張である。

^{*14} 前述の金谷も、英語は世界をモノ(名詞)中心に記述し、日本語は世界をコト(動詞)中心に記述すると書いている。

無矛盾世界観 デカルトの二元論 客観主義 理学的視点 分析的手法 古典物理的世界観	容矛盾世界観 一元論 主体概念 システム視点 構成的手法 複雑系的世界観
--	---

表 1 世界観と視点の関係

る。両者は密接に関連している。内部視点を採るなら構成的手法しか採用できないし、逆に構成的手法を語るときに外部視点はあまり役に立たない。世界観と視点の関係を表 1 にまとめておく。

システムから切り離された理学的視点でシステムを考えるのではなく、システムの一部としてのシステム内視点（エージェントの視点）でシステム設計を行なうことが必要である。そのような視点の直接的帰結として以下のことが言える：

- (1) システムは観測者と相互作用するものである。AI システムは研究者の関与抜きには語れない。
- (2) 情報の部分性はエージェントの視点によって捉える必要がある。
- (3) 状況依存性の利用には状況内に視点をとる必要がある。
- (4) 多層システムの設計手法が必要である。
- (5) 創発・構成的方法論の確立が急務である。
- (6) 良い物語としての理論構築が必要である。分析的方法論ではないので、論文や理論の検証も分析的方法論がそのまま適用できない。

本来なら構成的手法を構成的に示す必要があるのだが、その部分は今後の課題とさせていただきます。基本的には F ダイアグラムの精緻化と多層化の方向を考えている。その一環として、自己の内部観測を中心とした「メタ認知」の定式化を提案した [Nakashima 06]。これには、認知科学の最近の研究動向が本論分の意味での外部観測中心のものに戻りつつあることへのアンチテーゼと、内部観測を客観的な道具とする方向への示唆とを含んでいる。

謝 辞

本論文の議論は様々な研究者との議論によって深まった。ここに完全なリストを記すことは不可能であるが、以下の人たちとの議論の影響は特に大きい（ほぼ年代順・所属は当時のもの）：John Etchemendy (Stanford), Stanley Peters (Stanford), Brian Smith (Xerox PARC), 片桐恭弘 (ATR), 木村敏 (元京大), 柏木寛 (電総研), 内藤耕 (産総研), 諏訪正樹 (中京大), 藤井晴行 (東工大)。また、故江面竹彦氏 (当時産業図書編集長) は「寺子屋」を組織し、我々に様々な哲学者と議論する機会を与えてくれた。

最後に、本論文を完成させるのに根気よくつき合ってくださった論文担当委員の堀浩一氏ならびに査読者各位に感謝したい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Barwise 83] Barwise, J. and Perry, J.: *Situations and Attitudes*, MIT Press (1983), 土屋, 鈴木, 白井, 片桐, 向井訳, 状況と態度, 産業図書 (1992)
- [Bertalanffy 73] Bertalanffy, von L.: 一般システム理論 - その基礎・発展・応用, 長野敬, 太田邦昌訳, みずす書房 (1973)
- [De Millo 79] De Millo, R. A., Lipton, R. J., and Perlis, A. J.: Social processes and proofs of theorems and programs, *Communications of the ACM*, Vol. 22, No. 5, pp. 271 - 280 (1979)
- [Dennett 87] Dennett, D.: Cognitive wheels: the frame problem of AI, in Pylyshyn, Z. ed., *The Robot's Dilemma*, Ablex Publishing Co. (1987)
- [Des Cartes 37] Des Cartes, R.: *Discourse de la methode*, 谷川多佳子訳: 方法序説, 岩波書店, 1997 (1637)
- [イーガン 99] イーガン グレグ: 順列都市, 早川書房 (1999)
- [藤井 98] 藤井 晴行: 行為の概念に基づく建築環境学の方法に関する分析哲学的研究, 早稲田大学大学院理工学研究科 博士論文 (1998)
- [郡司 97] 郡司 ベギオ幸夫, 松野 孝一郎, オットー・レスラー: 内部観測, 青土社 (1997)
- [Halpern 90] Halpern, J. Y. and Moses, Y.: Knowledge and Common Knowledge in a Distributed Environment, *JACM*, Vol. 37, pp. 549-587 (1990)
- [橋田 94] 橋田 浩一: 知のエンジニアリング: 複雑性の地平, ジャストシステム (1994)
- [Heidegger 27] Heidegger, M.: *Sein und Zeit*, 細谷貞雄訳: 存在と時間 (上, 中, 下), ちくま学芸文庫, 1994 (1927)
- [河本 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)
- [河本 95] 河本 英夫: オートポイエシス, 青土社 (1995)
- [清水 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)
- [Hofstadter 79] Hofstadter, D. R.: *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*, 野崎, はやし, 柳瀬訳: ゲーデル, エッシャー, バッハ - ある不思議の環, 白揚社, 1985 (1979)
- [市川 00] 市川 惇信: 暴走する科学技術文明, 岩波書店 (2000)
- [飯島 90] 飯島 友治編: 古典落語集 7 正蔵・三木助, ちくま文庫 (1990)
- [岩井 93] 岩井 克人: 貨幣論, 筑摩書房 (1993)
- [金谷 03] 金谷 武洋: 日本語文法の謎を解く「ある」日本語と「する」英語, ちくま新書 (2003)
- [金谷 04] 金谷 武洋: 英語にも主語はなかった, 講談社選書メチエ (2004)
- [木村 82] 木村 敏: 時間と自己, 中公新書 (1982)
- [木村 94] 木村 敏: 心の病理を考える, 岩波新書 (1994)
- [Maturana 80] Maturana, H. R. and Varela, F. J.: *Autopoiesis and Cognition: the realization of the living*, 河本英夫訳: オートポイエシス, 国文社, 1991 (1980)
- [McCarthy 69] McCarthy, J. and Hayes, P. J.: Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence, in *Machine Intelligence 4* (eds. B. Meltzer and D. Michie), pp. 463-502, Edinburgh University Press (1969)
- [マッカーシー 90] マッカーシー J., ヘイズ P., 松原 仁: 人工知能になぜ哲学が必要か, 哲学書房 (1990)
- [三上 53] 三上 章: 現代語法序説, 刀江書院 (1953), くろしお出版により 1972 復刊
- [三上 60] 三上 章: 象は鼻が長い, くろしお出版 (1960)
- [Nakashima 94] Nakashima, H. and Harada, Y.: Situated dialog model for software agents, *Speech Communications*, Vol. 15, pp. 275-281 (1994)
- [Nakashima 96] Nakashima, H. and Harada, Y.: Situated Disambiguation with Properly Specified Representation, in Deemter, van K. and Peters, S. eds., *Semantic Ambiguity and Underspecification*, pp. 77-98, CSLI Publications (1996)
- [中島 97] 中島 秀之, 有馬淳, 佐藤理史, 諏訪正樹, 橋田浩一, 浅田稔: 新しい AI 研究を目指して, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 5

- (1996)
- [中島 99] 中島 秀之：日本語対話を日本語で考える，情報処理学会研究報告 99-SLP-27, pp. 49–54 (1999)
- [Nakashima 06] Nakashima, H., Suwa, M., and Fujii, H.: Endo-System View as a Method for Constructive Science, in *Proc. 5th International Conference of the Cognitive Science (ICCS 2006)*, pp. 63–71 (2006)
- [西田 20] 西田 幾多郎：意識の問題，西田幾多郎全集第2巻 (1920)
- [大武 05] 大武 美保子：神経系の双方向シミュレーション 人の動きを体の内側から読む，電子情報通信学会誌, Vol. 88, No. 11, pp. 909–913 (2005)
- [Polanyi 66] Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*, 佐藤敬三訳：暗黙知の次元，紀伊国屋書店，1980 (1966)
- [Russell 95] Russell, S.: Rationality and Intelligence, in *Proc. of IJCAI-95*, pp. 950–957 (1995)
- [Russell 97] Russell, S. and Norvig, P.: 古川康一監訳，エージェントアプローチ人工知能，共立出版 (1997)
- [Searle 80] Searle, J. R.: Minds, Brains, and Programs, *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 3, pp. 417–458 (1980)
- [Shannon 49] Shannon, C. E. and Weaver, W.: *The Mathematical Theory of Communication*, Univ. of Illinois Press (1949), 長谷川淳，井上光洋訳，コミュニケーションの数学的理論，明治図書 (1969)
- [下村 79] 下村 寅太郎：日本語と西田哲学について，日本の名著 47 西田幾多郎 付録 47 (1979)
- [Simon 95] Simon, H.: Explaining the Ineffable: AI on the Topics of Intuition, Insight and Inspiration, in *Proc. of IJCAI-95*, pp. 939–948 (1995)
- [諏訪 05] 諏訪 正樹：シナリオ創発の認知科学的裏付け：言語化と現象学的知覚の共促進構造，人工知能学会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 34–39 (2005)
- [Winograd 72] Winograd, T.: *Understanding Natural Language*, Academic Press (1972)
- [Winograd 86] Winograd, T. and Flores, F.: *Understanding Computers and Cognition*, Ablex Publishing Co. (1986)
- [吉川 04] 吉川 弘之，内藤 耕 (編著)：第2種基礎研究，日経BP社 (2004)

〔担当委員：堀 浩一〕

2005 年 1 月 7 日 受理

著 者 紹 介

中島 秀之(正会員)

1952 年西宮市生まれ。1983 年，東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程修了（工学博士）。人工知能を状況依存性の観点から研究。マルチエージェントならびに複雑系の情報処理とその応用に興味を持っている。2004 年より公立はこだて未来大学学長。産業技術総合研究所情報技術研究部門研究顧問。人工知能学会元理事，情報処理学会副会長，認知科学元会長，ソフトウェア科学会元理事。マルチエージェントシステム国際財団元理事。主要編著書：知能の謎（講談社ブルーバックス），知的エージェントのための集合と論理（共立出版），思考（岩波講座認知科学 8），記号の世界（岩波書店），Prolog（産業図書）。