

情報処理アーキテクチャの
基本パラダイムに関する研究

田村 浩一郎

①

情報処理アーキテクチャの 基本パラダイムに関する研究

田村浩一郎

目次

第1章 緒論	1
1.1 本研究の目的	1
1.2 従来の研究における問題点	1
1.3 本研究の特徴と構成	2
第2章 情報処理システム構築技術の現状と課題	4
2.1 ソフトウェア工学	4
2.2 エンドユーザコンピューティング	5
2.3 新機能の付与	6
2.4 部品化	6
2.5 エージェント	8
2.6 機能の理解	9
2.7 シームレスシステム	10
2.8 プログラムとデータ	10
2.9 直接操作感とメタフォア	11
2.10 データベース	12
2.11 高度知的情報処理	13
2.12 ソフトウェアパラダイム	15
第3章 情報処理アーキテクチャのパラダイム	17
3.1 情報処理アーキテクチャ	17
3.2 パラダイムとは	18
3.3 チューリングパラダイム	20
3.4 ニューラルネットパラダイム	22
3.5 記号論理パラダイム	23
3.6 パターン認識パラダイム	25
3.7 三世界モデルパラダイム	27
3.8 表象空間構成のパラダイム	30
3.9 三世界モデルパラダイムの問題点	32

第4章 認識論的観点からの考察.....	34
4.1 情報と表象空間.....	34
4.2 光学モデルパラダイム.....	35
4.3 情報とはなにか.....	37
4.4 情報のフラクタル性.....	39
4.5 記号と記号情報.....	42
4.6 認知の状況依存性.....	44
4.7 間主観性.....	44
4.8 パラダイムの階層性.....	46
第5章 トポソイドモデルの提案.....	48
5.1 関数と圏.....	48
5.2 基本モデル.....	49
5.3 表象空間.....	51
5.4 情報作用.....	51
5.5 フィードバック作用.....	53
5.6 圏と集合.....	54
5.7 トポスの認識論.....	56
5.8 認知図式.....	57
5.9 開いたシステム.....	59
5.10 部分認知者としての記憶.....	61
5.11 共同認知.....	62
5.12 トポソイドモデル.....	63
5.13 認知者と環境.....	65
5.14 トポソイドモデルの特徴.....	66
第6章 新情報処理アーキテクチャに向けて.....	69
6.1 表計算アーキテクチャとトポソイドモデル.....	69
6.2 エキスパートシステムのアーキテクチャとトポソイドモデル.....	72
6.3 パターン理解アーキテクチャとトポソイドモデル.....	74
6.4 自然言語理解アーキテクチャとトポソイドモデル.....	76
6.5 推論／問題解決／学習アーキテクチャとトポソイドモデル.....	79
6.6 ヒューマンインタフェースアーキテクチャとトポソイドモデル.....	80

6. 7 協調アーキテクチャ.....	81
6. 8 可謬アーキテクチャ.....	82
6. 9 CAI埋め込み型アーキテクチャ.....	83
6. 10 シームレスアーキテクチャ.....	84
第7章 結 語.....	86
参 考 文 献.....	88

第1章 緒論

1. 1 本研究の目的

情報処理技術の発展の牽引力には二種類ある。ひとつは、他の技術とも共通することであるが、市場ニーズに直接応えるべく行なわれる技術開発であり、もうひとつは、知能の外在化（道具化）を目指す情報処理技術に固有のものとして、その究極目標である人間の知能との対比によって、あるべき未来技術を見だし、その実現を目指す研究である。あらためて歴史を辿るまでもなく後者が前者に多くの技術的新知見を供給してきたことは、明らかであろう。

すると、情報処理技術の進歩を根底において支えるのは、目標とする人間の知能をどう考えるかである。ところが、知能というのは、まさに見方次第でどうにでもなるものである。ある見方で見えるものを手本として情報処理技術の発展方向が決められているのである。

知能を生み出すものは、どんなメカニズムをとろうとも、複雑なシステムである。この複雑な構造と機能を持つ情報処理システムの構築法を建築に倣ってアーキテクチャとよぶ。これもまた、誰がどのように見るかによって大きく変わるものである。しかしながら、より抽象的に情報処理システムの基本構造を捕え比較することによって、それらに通底する基本的発想を明らかにすることが出来る。この発想自体は、もし外在的に表現されるならば、単純なはずである。それは、しばしば技術者共同体によって、意識的、無意識的に共有される。これこそ情報処理システムアーキテクチャのパラダイムとされるものである。これは、上に述べたように、手本とする人間の知的活動の構造と機能をどのように見るのかという問題、すなわち、認識論、と深い水準で関係している。情報処理技術の発展を阻害する壁は、本質を追求するほどに実は《認識》という現象（活動）に対する《認識》の仕方に問題があることがわかる。

情報処理アーキテクチャとその背後にある認識論のパラダイムを見いだす作業は、そもそも情報処理におけるパラダイムとはどのようなものなのか、というそれ自身興味深い疑問に答えるばかりでなく、情報処理の歴史的展開を体系付け、現在直面している技術課題の本質を明らかにし、さらにそれを乗り越える道筋を示唆するものとなるであろう。達成度はともかく、本稿は少なくともそれを目指すものである。

1. 2 従来の研究における問題点

情報処理パラダイムについての議論は、本稿のなかでの引用に見るように、従来より多数なされて

いる。しかし、「情報処理パラダイムについて」の議論と「情報処理パラダイムとは何か」の議論とは異なるものである。前者はすでにパラダイムについての《パラダイム》が反省されることなく前提されている。しかし、この形式の議論が危険であることは言うまでもない。ある領域におけるパラダイムをなぜ問うかと言えば、その領域についての議論において暗黙のうちに了解されていることを《反省的に》捕えるからであろう。とすれば、パラダイム論においてもその対象領域、即ち《パラダイム論》、での議論における反省事項として、まず真っ先に「パラダイムとは何か」を問う必要がある。論理学において《論理》についての議論の前に、その議論で使われる《論理》を真っ先に吟味しなければならないのと同じ事情である。これは決して議論のための議論に終わるものではない。パラダイム論を展開するために、まずは様々な情報処理分野を網羅的に眺め、そこにおける《パラダイム》を見だし、それらを突き合わせる必要がある。この作業そのものがそれぞれの分野の新しい展開に多くの示唆を与えるものになろう。しかし、以上のような問題意識をもつならば、このような現実的な技術水準に留まることなく、情報処理、即ち知的活動、を反省的に捕える必要があり、その深層をなす認識論を避けることは出来ない。こうして、旧来の認識論を情報処理技術の問題意識から再吟味し、それによって得られる世界観から情報処理技術を見直す作業が必須となる。そして、そのときこそ、パラダイム・シフトの名に値する情報処理技術の新たな展開の可能性が生まれるはずである。しかし、従来の情報処理パラダイム論においてこの筋道がはっきり見えるものはなかったのである。

1. 3 本研究の特徴と構成

この課題を追究する我々の方法は、次のような手順にしたがう。まず、日常的に多くのユーザによって利用されているありふれた情報処理システムに潜む課題を抽出し、それがより高度の情報処理、例えば自然言語理解などにおける明らかな課題と共通することを明らかにする（第2章）。次に、情報処理システムにおけるパラダイムとは何かについて議論し、現在の様々な分野における情報処理システムに内在するパラダイムとその課題を抽出する（第3章）。ここで得られた情報処理技術に共通していると思われる認知の基本モデル（三世界モデルと名付ける）には多くの課題があることを指摘する。そして、その課題を克服するため、ひとがどのように世界を認識しているのか、という問題、すなわち認識論について情報処理工学的観点からあらためて考察し、光学モデルと呼ぶ独自の認知モデルを提案する（第4章）。この検討にあつては、誰もが想定するような素朴なモデルから出発し、それを次第に洗練させ拡大する螺旋状の議論展開を行なう。つづいて、このモデルをより精密化することを目指し、圏論を援用することによって、きわめて基底的な、すなわち工学的情報処理システムを含む認知システムの広範な領域に共通すると考えられる新認知モデル（トポソイドモデルと名付ける）を提案する（第5章）。ここでも前章と同様に螺旋状に議論を進める。得られたモデルは、環境との強い相互作用を知的活動の原初的因子として構成するものである。最後にこのモデル（世界観という

意味ではパラダイム)の各種情報処理システムにおける具体的意味合いを述べ、その意義と妥当性について検証し、さらにこのモデルに基づくあらたなアーキテクチャの展開の指針を与える(第6章)。

提案するものはパラダイムであるから、当然ながら、アルゴリズムのような直截の応用は期待できない。しかし、システムアーキテクチャを設計するとき何よりも重要なのがその基底となる発想であり、多くの設計者はその時点で暗黙のうちに旧来のパラダイムに捕われることを考えるならば、彼らの(恐らく)思い及ばないパラダイムの存在を提示するだけでも重要な影響を与え得ると考える。新情報処理パラダイムの追求は、システム設計者のみならず、人間の知能の解明に携わる認知学者や生理学者が実験を進める、あるいは理論を構築するうえで、もっとも重要な課題であることはいうまでもない。

第2章 情報処理システム構築技術の現状と課題

現代におけるコンピュータの成功の主因はハードウェアとソフトウェアの分離にある。したがって、現在の情報処理システムは、実現対象とする機能の理解とそのソフトウェア化によって構築される。しかし、ソフトウェアの構築は一般に極めて困難である。どのような手順で行なわれているかがはっきりわかっている（と少なくとも考えられている）日常的事務処理のようなものでさえ、一般ユーザがソフトウェア化することは今もって難しい。まして、人工知能のような高度な知的機能はそのメカニズムを理解すること自体が極めて困難であり、情報処理システムとして一定の水準以上の機能を実現することは極めて困難である。しかし、両者の基底に共通に存在する課題は、人間の認識過程とその構造をどのように考えるのか、すなわち、ひとは世界をどのように見るのかという問題である。

2.1 ソフトウェア工学

情報処理システムの構築法として現在主流のものはソフトウェアによるものである。ソフトウェアは一般に極めて複雑な構築物である。たとえ何であれいかなる知的機能も抽象的でしかも複雑な構造をもつのであるから、その実現法のひとつであるソフトウェアも必然的に複雑でしばしば巨大な構築物になる。ここではこのようなソフトウェアをどのような思考の枠組みに基づいて構築するのかという観点から、そのパラダイムを見ることにしよう。

ソフトウェアとはコンピュータハードウェア上で稼働する利用可能なプログラムとデータの集積である。ここで、利用可能であるとは、不特定ユーザが利用可能であるというニュアンスを持っている。初期には、コンピュータとはユーザが自らプログラムを作成して使うものという固定観念があり、作成者以外がプログラムのユーザになることは、積極的にには想定されなかった。コンピュータの普及とともに、不特定ユーザが利用出来るプログラムやデータが増加し、それにあわせてソフトウェアなる語が使われ出した経由がある。言語プロセッサやOSがその典型例である。現在では、数十万ステップに互る巨大なソフトウェアが作成されることが珍しくなくなってきた。しかし、その複雑さの故に、作成が困難であり、誤りが多く、改良、拡張もまた困難である。ソフトウェア工学が提唱され、多くの構築法（アーキテクチャ）とその背景をなす各種のパラダイムが提案されてきた。しかし、従来のソフトウェア工学は、製品となるプログラムを開発するための工学として考えられてきており、一般ユーザとは切り離された論議が多い。精密に記述された仕様に基づいて設計し、コード化し、デバッグし、納品後の保守を行なうという、ハードウェア製品の製造パラダイムをそのまま手本とするものである。この製造方式では、ソフトウェアが本来備えている修正のしやすさなどの柔軟性が犠牲にさ

れる。むしろ、そのような柔軟性は製造と製品の質を損なうものとして排除さえされるのである。この厳格さが高品質の製品を生むのに一定の成功を収めてきたのも事実である。しかし、成功の要因は同時に発展の阻害要因にもなる。硬直化した巨大ソフトウェアは、それを使用するユーザの活動をも束縛し、使用環境の変化に追従できず、そして、より高機能を求めるユーザの要望には答えにくいものとなった。このソフトウェア構築パラダイムが内在する問題点を対照的に明らかにしたのが、ヒューマンインタフェースにすぐれ、容易にカスタマイズできるパーソナルコンピュータ向けソフトウェアだったのである。しかし、それとても、マクロ機能を使う水準になると、大多数のエンドユーザにとっては使えるものではない。

2. 2 エンドユーザコンピューティング

現在もっともポピュラーな情報処理システムは分散統合型のOAシステムであらう。職員一人あたりに一台以上のパソコンがあてがわれ、それらが高速ネットワークに接続されて相互にデータの交換と共有がなされる現代的OAシステムは、今ではそれほど珍しい存在ではない¹。このようなシステムが可能になったのは、ハードウェアの進歩のみに負うのではなく、使いやすいソフトウェアの出現に拠るところが大きい。

表計算ソフト（スプレッドシート）や簡易型データベースの出現により、多くの日常的業務が一般事務職員でさえソフトウェア化することが出来るようになった。従来のメインフレーム利用形態ではSEに特別仕様でプログラムの作成を依頼せざるを得なかったものが、業務内容を一番理解しているエンドユーザがその業務のソフトウェア化をすることが出来るようになったのである。このことは、環境の変化に応じて自分のソフトウェアを改良することを容易にするという重要な側面をもっている。従来方式ではプログラムの改良もまたSEに頼まざるを得ず、費用と時間が必要になったのである。作成、保守、改良、発展などがエンドユーザの手によってなされることはあらゆる点で望ましいことであり、エンドユーザコンピューティングの重要性が提唱されるのは当然である。

しかし、ここに大きな問題が残されている。たしかに簡単な作業ならば現在でもエンドユーザコンピューティングが可能である。ところが、込み入った複雑な作業になると、一般ユーザでは扱えなくなるのである。そのような業務のために用意されているマクロ機能をほとんどのユーザは利用しようとしな²い。そして、その種の業務に対しては相変らずデベロッパーと称するプログラミングの専門家に頼るのである。すなわち、出来合いの機能の利用方法はすぐれたものになっているが、その段階

¹このようなシステムの出現と普及はすでに1980年前後において予想されていた（たとえば[田村82]）。

²このことを実証するために統計データを取るまでもないだろう。私の職場では120名ほどの事務職員が数年にわたってパソコンを毎日使用しているが、マクロ言語に挑戦し利用しているものは皆無である。

を越えて元々用意されていない新機能を作り出すことは相変わらず困難なのである。エンドユーザコンピュータの高度化はここで高い壁に遮られているといつてよいであろう。この壁を乗り越えるには、従来のソフトウェア化の考え方の根本的な再検討が必要である。

2. 3 新機能の付与

ではどのような方法を工夫すれば、一般ユーザが容易に新機能の創出をすることが出来るのだろうか。新機能の付与を容易にする条件をあらためて検討しよう。

新機能の創出は無から行なうわけではなく、既存の（出来合いの）何かを利用することになる。それを仮に《出来合い部品》と呼ぶことにしよう。これらを組み合わせて新機能を実現するとすれば、新機能の創出に伴う課題は以下のようになるだろう。

（1）出来合い部品の高度化とマクロ化を進める。高度な機能は、対象とする世界に固有でしかも共通してよく使用される機能を抽出して得られるものである。

（2）出来合い部品の機能の理解を容易にする。用意されている部品の機能がユーザに理解されなければその利用はすすまない。部品の見せ方が問題となる。

（3）出来合い部品の組み合わせ方を容易にする。

（4）創出したい機能の分割方法を容易にする。人間の認識における分節¹にかかわるものである。

（5）創出したい機能を既存体系のなかに組み込みやすくやすくする。既存の体系に割り込ませるには、それと矛盾しないようにする必要があるが、既存体系はそれなりに閉じて稼働している。

（6）出来合い部品の改良を容易にする。第一にどこをどう直すかを見いだすことが難しい。第二に、直すことの副作用が問題となる。

2. 4 部品化

以上のような観点から、新機能の創出の為にソフトウェアの部品化の概念が重要であることが長年にわたって主張されてきた。これまでに提案された基本的な部品化のパラダイムとして、《手続き型》、《関数型》、《関係型》、《オブジェクト型》がある。さらに、最近の表計算ソフトなど、

¹次章以降で認識論の立場から評述する。

《共有場設定型》とでも呼ぶべきものが出現し、普及し始めた。

手続き型

一連の動作の連鎖をひとまとめにし、単位動作とするものである。繰り返しや条件判定による動作順序の変更を含む。機械語に発し、アセンブラ、高水準言語 (FORTRAN, COBOL, C など) はこのパラダイムによるものである。しかし、この類型の中においてもそれぞれにパラダイム水準の違いがある。高水準言語は、その記述対象世界をそれまでの機械語やアセンブラ語がそうであったコンピュータの機構ではなく計算や記号処理の世界にしたところに特長があり、この意味で革新的なパラダイムシフトを起こしたのである。

関数型

入力を計算する関数を単位部品とする。関数値が出力となる。この場合の関数は計算の方向を与え、手続きのような方向性をもつ作用の抽象化と考えられる。 λ 計算に基づく Lisp を代表例と考えてよいと思うが、より純粋化したものが特に 1970 年代以降に多く提案された。手続き型言語のなかにも関数型表現は取り入れられているが、いわゆる関数型言語とは、参照透明性などの数学的関数の性質を積極的に純化した言語であると見做されている。

関係型

入力、出力のような計算の方向性を与えず、項の関係を与える。述語論理をもとにする論理型言語がその代表である。そのうち、特に PROLOG が知られている。各項の値は、入力されることもあるし、関係規定から定められて出力される場合もある。このように、関数型よりも計算手順の指定がゆるいことが特徴。最近では制約充足型計算を行なうものとして研究が進められている。

オブジェクト型

データ (被操作対象) とそれに関連する計算とをモジュールとして一体としたものである。計算の記述には手続き型、関数型、関係型、あるいはこれらの混合が考えられる。ソフトウェア工学での抽

象データ型、そして人工知能でのフレームもこの一種と考えられる。SIMULA67, SMALLTALK, C++などがプログラム言語として知られているが、このパラダイムはプログラミング言語にとどまらず、ヒューマンインタフェースやデータベースにも取り入れられ、1990年代にはもっとも広く使われるものとして予想されている。

共有場設定型

共有場（背景状況）を設定し、そのなかに部品を配置するものである。オブジェクト型の発展形としてみることが出来る。代表例として、表計算ソフトの場合、表が共有場であり、各欄に部品が配置される。部品には、手続き型、関数型、関係型が考えられる。表計算ソフトは1980年代はじめに現われた VISICALC を嚆矢とする。プログラミングであることが殆ど意識されずに多数のユーザに利用されているが、実効的にはプログラミングであることに変わりない。そのように考えるならば、プログラムの数を一挙に数倍増やしたことになる¹。その他、HYPERCARD、インテリジェント・パッド [田中92] などがある。背景状況をユーザに理解しやすいものにするためにメタフォアが使われ、その《見え方view》もメタフォアを強調する工夫がなされる。

2. 5 エージェント

プログラムモジュールはそれが実行時に機能するプロセスとなっはじめて機能部品として意味を持つ。これを我々はエージェントと呼ぶことにする²。たとえば、手続き型のサブルーチンはCALLされて起動される（制御が渡される）ことで、オブジェクト指向ではオブジェクトのインスタンスが作られることで、エージェントが発生する。エージェントの発生、終了はイベントである。プログラムはそのエージェントの行動を規定するスクリプトである。エージェントの集合体が機能するのは、互いに情報交換が行なわれることによる。この情報はデータ（メッセージ）である。

これまでのソフトウェアパラダイムにより生成されるエージェントは精密に工作された歯車のようものである。すなわち、送られたメッセージにまえてスクリプトで定められたたとりの反応を

¹このことにソフトウェア工学はもっと注目するべきであろう。現在、使用されているプログラム言語のうち、9割以上がCOBOLであるといわれるが、実際は、9割以上が表計算ソフトであると想定され、残りの1割のなかの9割がCOBOLである。CもPROLOGもさらにその残りでわずかなシェアを占めるに過ぎない。本稿では繰り返して、表計算ソフトのよさを取り上げている。

²エージェントという語は多様な意味に使われ、しかも通常ではこのような意味では使われないので、この用語法は必ずしも適切ではないかもしれない。しかし、元来は行動を引き起こすものという意味であろうし、また、よりふざかしい語が他に見当たらないため、あえてこの語を使用する。

行なう。このことが、ソフトウェア全体の柔軟性を著しく阻害している¹。しかし、機械部品とソフトウェア部品とは根本的な違いがある。プログラムの構成単位としてのモジュールがしばしばソフトウェア部品として考えられるが、入力データが異なれば、エージェントの行動は全く別ものになる。機械部品も外部状況によってその動き方を全く変えないわけではない。しかし、ソフトウェアエージェントと比較すれば、入力の違いによる行動の変化ははるかに少ない。ソフトウェアモジュールの持つこの強いメタ的性格が、複雑なソフトウェアの構築を一段と困難なものにしている。エージェントの動作の予測が極めて困難であり、あらゆる場合を想定するテストを不可能にしている。仕様と設計工程をいかに厳格にしようと、バグが未テストの部分と場合に残されるのはいわば宿命である。しかも、バグがないことを目標に厳密に作られたシステムは、バグを原理的に許容し得ないため、かえってバグに対して脆弱となり、小さなバグが致命的の打撃を与える可能性をなくすることが出来ない²。

2. 6 機能の理解

ユーザが既存部品を使うにしても、それらを組み合わせて新機能を作るにしても、既存部品の機能の理解が十分なされることが不可欠である。これは、システムからユーザに送る情報をどのようにするべきかという問題に帰着する。共有場設定型では、設定した場をメタフォアとしてわかりやすく提示することによって、ユーザに送る情報をすぐれたものにしている。すなわち、機能とその構成をわかりやすく伝えることに成功しているのである。このように考えると、これまでの部品化概念の発展過程の一面は、ユーザに理解され易い部品概念とその機能をわかりやすく伝える見せ方の発展過程としてみることも可能である。そこで、《人間はどのように世界観を構成し、どのように情報を受けるのだろうか》という疑問が生じる。この問いに取り組むのが、認識論である。

人とシステムとの情報交換は、ソフトウェアエージェント間での情報交換と同種でないことは明らかであるが、柔軟なシステムを構成するうえで果たすべき情報の役割という観点からすれば、共通して考察されるべき課題である。ここで問われる問題は、《どのような観点から分節されたエージェントがどのように情報交換することがすぐれたシステムを作るのだろうか》という問題である。ここに人間の認識の仕方、そしてそれについての考察に学ぶべき点が多いのである。それは単に人間の（すぐれていると思われる機構の）真似をしようということだけではなく、システムを作るのは人間である。したがって、人間の認識、思考を深く理解することが、より自然でより容易なシステム構築技法

¹ さきに触れた解釈学などからみると、ソフトウェア部品の動作がいかに固いかがこの点からのみ見ても分かる。

² もちろん、プログラムモジュールでイリーガルな入力データを検出するなどの工夫を行なうのが通例であり、またハードウェアの誤動作などにも対処するようにはなっている。しかし、これも、バグや誤動作を許容しているというよりも、その対策を講ずることによって排除しようとするものである。そして、皮肉なことに、バグが発生しやすいのは、まれにしか起こらないケースに備えたこのようなルーチンなのである。

を生み出すと考えられるからである。

2. 7 シームレスシステム

各機能は孤立して存在するのではなく、有機的に関係しあっている。この機能の統合が実は情報処理システムを使用現場で発展的に改良、拡大していくうえでもっとも難しい課題である。従来のように特注品のソフトを導入するときも、あるいは最近のようにパッケージソフトを購入して、ユーザがカスタマイズする場合も、それらを有機的に統合する段階で大きな壁に突き当たるのである。たとえば、給料計算、物品の購入、厚生上の事務処理など、いずれも人事異動のデータと密接に関連している。人が作業する場合でも分業化された仕事の統合は難しい面をもっているが、人間特有の柔軟さでそれをカバーしている。しかし、この部分を自動的に処理しようとすると、データ変動、規則の改正など様々な局面で生じる変化に対応しなくてはならず、しかも全体としての一貫性を保持しなくてはならない。個別に作られた機能が孤立することなく、相互に自然に接続されて統合されたシステムを形成する必要がある。これをシームレスシステムと呼ぶ。

シームレス性を実現するには個別機能間の接続性を達成するだけでは十分とはいえない。接続性はそもそも個別のプログラムが集合をなして全体を作るという暗黙の前提から成り立っている。しかし、シームレスシステムはそういった個性性自体を問題にし、個性性を与える境界をなくす（ように少なくともユーザに見える）方法を目指すのである。たしかに機械部品から作られた機械のイメージの強い世界観から出発すると、このような構成法しかないように思われる。しかし、世界は機械部品の集合体ではない、もともと連続し、必要に応じて認識対象として分節出来るものである。コンピュータも、あるいはそこに載るソフトウェア全体も実はそのようなものであって欲しい。

例えば、事務処理で書類を作成するには、単に文章や図式を入力するだけでなく、計算も、通信による問い合わせも、そしてデータベースでの検索も含み、しかもそれらが独立に分割されているのではなく、《継ぎ目なしに》円滑に進められることが重要であり、そのようになるよう、OA化システムが支援して欲しいのである。ところが、現在のソフトウェアパッケージ方式では何種類ものソフトウェアを用意しておいてそれらを切り替え、使い分けて行なわなければならない。これは、毎日の業務を行なうものにとっては極めて煩雑なのである。

2. 8 プログラムとデータ

ソフトウェア部品でこの接続を行なうには、データの共有による。この共有データが共通領域に置かれてエージェントから参照されるか、メッセージの交換として行なわれるかは、機械処理上の仕組

みの違いであり、本質的な違いはない。ここにプログラム（処理主体の規定）とデータ（処理対象）の関係の重要性が現われる。この両者の関係は情報処理のもっとも基本的な関係であるといえてよい。プログラム自身もそれを扱うプログラム（例えば言語プロセッサ）から見ればデータであるから、この関係は階層構造を作り、絶対的なものではない。階層性があるために、上の階層から下の階層のシステムへの操作が行なわれるとき、このシステムは開かれたシステムと見做される。この相対性を見抜くことでプログラム内蔵型のアーキテクチャが出現し、ノイマン型アーキテクチャとしてコンピュータにおける重要な基礎概念のひとつとなっている¹。前述したように、オブジェクト型部品の概念では、関連しあうプログラムとデータをひとつのモジュールにまとめ上げるところに大きな特徴がある。すなわち、ノイマン型アーキテクチャをソフトウェア部品アーキテクチャとしているのである。これに対し、（純粋化された）手続き型、関数型、関係型の部品は、いずれもデータから分離され、その実行時のエージェントは内部に固有のデータを持たない。オブジェクト型アーキテクチャでは、システム全体もその構成部品も同じ型で作られているように見える。すなわち部分が全体に相似となるフラクタル構造を作る。ここに、オブジェクト型部品のわかりやすさの理由のひとつがある。

2.9 直接操作感とメタフォア

1970年代から発達し、いまや、殆どのコンピュータに利用されようとしているGUI (Graphic User Interface) のヒューマンインタフェースの真髄は直接操作感 direct manipulation にあると思われる。これによって、ユーザは、特定の言い回しを覚える必要がなく、なによりも自分の指示に対するシステムの反応が予想しやすく、手ごたえがあるために、行動に確信を持つことが出来る。この直接操作感を与える仕組みは、システムの持つ既存機能をわかりやすくユーザに提示する方法として有効であることから、多くのコンピュータのシステムソフトウェアとアプリケーションソフトウェアとに取り入れられた。ここでユーザが与える情報は、（意味の伝達において）頼りない言葉ではなく、あたかも直接の行動であるかのようになっている。このことは、（実体はともかく）感覚の上では記号情報による情報伝達を否定していることになる。たしかに、人やものを動かすには言葉よりも物理的な操作の方が直接的に機能する。この感覚をうまくヒューマンインタフェースに取り入れたのが直接操作感を与える仕組みである。

この直接操作感、メタフォア metaphor によってもたらされる。そして、設定したメタフォアをユーザにわかりやすく伝える仕掛けがGUIなのである。すなわち、文書をそれらしいアイコンで示し、ごみ箱をそれらしいアイコンで示すことによって、ユーザは文書とごみ箱のある状況をメタフォアと

¹いわゆるノイマンボトルネックは、プログラムを記憶装置から逐次的に読み出す方式を非難して言うが、これはノイマン型アーキテクチャの実現の一手法に過ぎず、その本質的な特徴ではない。非ノイマン型と言われるものの大半が実はプログラム内蔵方式であり、その意味ではノイマン型なのである。

して受け取り、設定された状況を容易に知ることが出来る。このように、メタフォアによってシステム構築者が考えている状況設定とそこでの機能をユーザに容易に伝えることが出来る。そこに直接操作感を生むとがある。

メタフォアの伝達には、言葉よりも図形やマウスの操作など直接知覚に訴えるもののほうが有効であり、実際、よく利用される。メタフォアは例えるものと例えられるもののそれぞれの要素の関係における相似性で成り立つと考えられる。たとえば、日本庭園で、砂利の小山と流れの模様のある砂があれば、山と川のメタフォアをひとは認めるのである。

メタフォアが使われるのは、情報処理においてはGUIがはじめてではない。アセンブラ以降、プログラム言語はすべてメタフォアに助けられて機能する。すなわち、コンピュータの動作を規定するビットパターンに過ぎない命令群を記憶や番地や述語などに例えることによってプログラム言語が成立する。COBOLはビジネス世界の計算を、LISPは λ 計算を、PROLOGは述語論理の定理を、記述対象としてと同時に、ユーザから見たときにはメタフォアとして働いているのである[Thornburg88]。しかし、これらの場合には、2進数字よりはずっと分かりやすいにしても、言語による間接操作であるために直接操作感を得られず、現在のGUIによるヒューマンインタフェースに比べてはるかに分かりにくいものとなっている。GUIにおいても、メニュー方式によるコマンドの選択はやはり言語の使用であり、同じ問題を抱えている。たとえば、表の一部をカットし、それを別な場所にペーストする、つまり移動させるには、カットとペーストというメニューコマンドによるよりも、選択した箇所をマウスで移動させるほうがユーザにとってはずっと分かりやすく誤りにくいはずである。

ユーザから見たシステムがシームレスになるためには、アプリケーションの切り替えなど技術的な側面だけでは解決出来ない。状況設定とそれを伝えるメタフォアがシームレスに、連続的に出来るかどうか大きな問題となる。ここでも、コミュニケーションを言語によるか、非言語情報によるか、という問題が関係する。言語で表現するということは、対象を概念ですでに分節していることによって、しかし、図像などでは分節はユーザに任せられ、それを前提としない。言語化は、したがってシームレスなメタフォアを阻害する要因ともなっている。しかし、もちろん、言語のほうが表示しやすく、理解しやすいものもある。いずれにせよ、ひとであるユーザの世界に対する認識がどのようなものであるか、すなわち、ユーザはどのようにシステムから情報を得るのか、その究明が望まれているのである。人間の認識論に直接関わる事柄である。

2. 10 データベース

どのような情報処理システムも、情報の(1)生成、(2)加工、(3)配付、(4)蓄積/検索によって構成される[田村82a]。通常のOAシステムではそれぞれが(1)文書作成ソフト、(2)

表計算ソフト、(3)通信ソフト、(4)データベースソフトで代表されている。このうち、一般ユーザにもっともなじみやすいのが(1)であり、順にわかりにくいものとなる。事実、普及の仕方もちの順になっている。データベースは情報処理システムの構築にとって必須のものであるが、一般ユーザが本格的に利用し、構築することがもっとも困難なものである。

データベースシステムの構造をどのようにするかという問題は、データベース化の対象となる情報処理組織をどのように見るかという問題に直結する。実際、初期の階層型、あるいはネットワーク型の素朴な構成から、1970年代に発達した関係型、そしてそれを発展させた演繹型データベースなどは、まず、人間の組織的活動の構造の見方を反映し、そのうえに、処理アルゴリズムの効率化が工夫されてきたのである。そして、現在では、オブジェクト指向型が注目されるようになった。この過程には人工知能での知識ベースの影響が大きいと思われる。知識ベースとは処理機構、すなわち静的データだけでなく、ルールと呼ばれるプログラムを蓄積要素にもつものだからである。

しかし、データベースで一貫して重要な課題は、やはりシームレス性である。データベースが互いに、そしてシステムの他の機能から孤立しては極めて非力である。たとえば、OA化において人事係、給与係、厚生係など、それぞれが単独のデータベースを持っていたとしても、データの変動の度に入力とチェックを繰り返さなくてはならなくなる。初期のデータベースのように、データのリンクを行なうことは必要不可欠であるが、そうして出来る複数のデータベースにまたがるデータ構造とそれらのデータに関連する処理とが一貫性をもって統合されていなければならない。そして、その構造がユーザにわかりやすく理解でき、かつ構築できるものでなければならない。このような必要性からオブジェクト指向型データベースに到る発展過程を経てきた。しかし、ここでもまた、同じ理由から、この指向の限界は《オブジェクト》という概念そのものにある。一般のユーザにとっては理解しにくく、ましてや、構築しにくい点において、オブジェクト指向型データベースでは従来と同類なのである。

データベースにおいても、世界をどのように構造化し認識するかという情報処理の根本課題が問われている。その解答がデータベースの構築のしやすさと使いやすさを生む根源になる。人工知能やパターン認識などの高度知的処理ではなく、このような日常の事務処理という一見単純で現実的な業務の、それもそれを支援するというシステムの構築と使用においてさえ、このことが問われているということに注目する必要がある。

2. 1 1 高度知的情報処理

現代情報処理の対象はもちろんOA化のような日常の情報処理の機械化だけではない。OA化のような対象業務が理解しやすく、比較的实现が容易であると見られている技術分野でさえ、実際に実現しようとすれば多くの難問が立ちちはだかっているのが実態である。まして、対象の理解そのものが困難

な分野、たとえば、人工知能などでは、初期の目標の実現はますます遠退きつつあると言ってもよい [Wilks92]。

[Turing50] は人工知能についての古典的論文として有名である。今から見ると、コンピュータによる人工知能の実現が実に楽観的に描かれている。有名な Turing test について述べ、それに合格する機械の実現を 50 年以内としているが、現在それを信じるものは少ないであろう。

1980年代前半に特に盛んに開発されたエキスパートシステムなど、主として記号処理による人工知能システムは、新しいタイプのプログラミング技法を提供したにとどまり、これらの技術によるかぎりは、人間の知的活動の根幹に迫るには至らないだろう。もともとこれらの技法は学習などの高度の知的機能を実現することは期待されていなかった。学習には様々な水準があり、単にふるまいが変わるだけで学習したとするならば、そのような効果をコンピュータプログラミングで示すことは簡単である。しかし、3歳児の言語修得能力を実現することは記号処理の人工知能のいわゆる《学習プログラム》では絶望的に困難であろう。ましてや、Turing テストの例のような詩の韻律や語感に関するものまで学習によって得られる水準にまでコンピュータの知的能力を高める見通しは、今までの方法論によるかぎりは、得られていないといつてよいのではないか。

記号処理によるいわゆる人工知能の能力の限界への認識が広まり、それに変わるものとして 1980年代後半にニューラルネットが見直されるようになった。しかし、それも果たして期待されているように、記号処理技術で難しいとされる難問に応えることが出来るのかどうか、たとえば、先のような韻律や意味論的語感に到るまで学習する能力を持つのかどうか、今のところ疑問であると言わざるを得ない。ニューラルネット技術では、記号処理技術で出来たことさえいままって出来ていないというのが実情であろう¹。

記号処理技術が不得意とするパターン情報処理は、ニューラルネットでは容易に行なえると期待されている。しかし、これとでも、記号処理、すなわち、従来のAI的なプログラミング技術によるものの方がはるかに融通が利き、したがって応用範囲が広いのが実態であろう。事実、多くのニューラルシステムはシミュレーションに頼っており、たとえそれを並列処理システムで行なっても、本質的能力に変わりはない。

パターン認識のむずかしさは、特に分節 segmentationにあると思われる。たとえば、二次元図形パターンは、対象として切り出されたあとは、二次元空間での平行移動など基本的変形に不変であるものと見做すことが出来よう。その不変量の特徴量として抽出し、それによって分類すればいいのである。しかし、実際のパターン認識では、文字認識といえども、その対象を視野からいかに切り出すかが大きな問題であり、現在の技術では誤認識の大半がそこに起因する。ところが、対象が視野のどの

¹たとえば、“I cut an apple.”と（英語で）言えば、これだけの発言のもとではりんごをいくつかに切ったことになるであろうが、果樹園の幼児が自慢げに言えば、それを聞く親は樹になっっているりんごを切り落としたと思うであろう。このような意味解釈を果たしてニューラルネットのアーキテクチャでどの程度迫ることが出来るのであろうか。

部分であるかを知るためには、対象を認識しなければならない、この相互依存性によって生じる本質的な難題にいまもってパターン認識技術は（そしてニューラルネットも）応えていない。

機械翻訳などの自然言語処理はどうか、[Winograd72]による自然言語理解システムは今や人工知能研究の古典的位置を占めていると言ってもよいが、これをもって自然言語処理技術が成功したとか、成功する見通しを得られたというものではない、一見そう見えるものの、そして事実いまでもそこで使われたフレーム技術などが他の領域でも広く使われているものの、実際は（本人自らが後に認めるのとおり[Winograd86]）人間の知的活動としての言語活動に対してなにも本質的な知見を与えなかったのである。自然言語によるデータベースの問い合わせプログラムや機械翻訳などのプログラムはこれまで数多く開発され、市販さえされたが、成功したと認められるものは全くない、市場に出されても、実用に耐えられるものではなく、いつのまにか消えてしまうのである¹。この現象は、手書き文字認識や音声認識とはほぼ同様である。ただし、活字の英数字認識は、実用の水準に達しているが、この場合はパターン認識というよりも、複雑コードの識別といった感が深い。

一般的に知的情報処理はこれまでの AI = Artificial Intelligence 一本槍ではなく、IA = Intelligent Assistance の視点からの新しいパラダイムが求められているといえよう。このことは、知的機能を持つべき機械と置かれた環境との相互依存作用を一層密なものにすることにほかならない。

2. 1 2 ソフトウェアパラダイム

知的システムの挙動を言語で記述し、それによって知的機能を抽出することが可能であるというのがソフトウェア技術の根本にあるパラダイムである。そして、それが現代の情報処理技術の主流となった。ソフトウェア作りが一般には困難であるため、このパラダイムを否定する議論が昔よりしばしば行われてきた。最近ではニューラルネットの例がある。しかし、ソフトウェアの役割は機能を果たすエージェントの行動を記述するものであると広く考えれば、かつてのアナログコンピュータもソフトウェアをもつことになる。するとソフトウェアパラダイムを否定するということは、実現したい知的機能を記述せずに教え込ませることである。比較的単純な行動をさせるには教育によるほうが簡単かも知れない。しかし、複雑なことをさせようとすれば、もし記述法があるならばそれによるほうが容易であろう。そもそも教育を受け付ける学習能力をもつエージェントの機能自体、相当高度であり、誰かがなにかしらの方法で記述せざるを得ないであろう。情報処理システム構築の困難性は、しかし、エージェントの挙動を記述するかしないかで済ませるかにあるのではない。なんらかの記述法を使うかどうかという問題よりも、エージェントの構造をどのようなものであると捕えるのか、そしてそれら

¹最近、筆者の入手した機械翻訳プログラムでは次のような訳が見られる。“How are you?”（「どのよう
うにあなたはいるか」）“Fine, thank you.”（「あなたに罰金を料し感謝しなさい」）。慣用句をたまたま知らな
いというよりも、言語活動の本質への配慮を欠いていると言ふべきであろう。

をどのように組織化することで複雑な知的システムを構築するのか、すなわちアーキテクチャをどう考えるのが問われているのである。そしてさらにはその基底となる知的システムについての認識のパラダイムが問題となる。これらについて本章で詳しく論じることにする。

第3章 情報処理アーキテクチャのパラダイム

前章ではシステムの背景に潜むパラダイムがシステムの能力を大きく左右することをみた。本章では情報処理パラダイムとは何であるかをあらためて論じ、それに基づいて従来の様々なパラダイムを抽出し、そこに内包する課題を論じる。対象とする分野は極めて基本的、原理的なものから、個別的なものまで多岐にわたる。

3.1 情報処理アーキテクチャ

コンピュータの世界でアーキテクチャという語が最初に使われたのは、IBMのBrooksによるとされている[Buchholz62]。アーキテクチャは、ユーザの要求を満たす最適なシステムを設計する技法であるとしている。当時のシステムに対する関心はハードウェアに向けられており、ここでいうアーキテクチャは、暗黙のうちにハードウェアにおけるものであった。それを明確に打ち出したのがやはりIBMのAmdahlであり、アーキテクチャとはユーザであるプログラマから見たマシンの概念的構造とその機能的動作内容であるとしている[Amdahl64]。このアーキテクチャ観はしかし、ハードウェアだけにとどまらず、情報処理システム全般に通用するものである。すなわち、ユーザがシステムを使用するにあたり、システムの構造とその働きを、可能な限りの簡潔さをもってユーザに見せる見せ方、あるいは逆にユーザからの見え方、これがアーキテクチャなのである。同一のシステムに対してその見え方、見せ方は一般に多様であり、したがって見方に応じてさまざまなアーキテクチャがあることになる。これはひとえにどの立場からユーザがシステムを使用するかにかかっている。このことがアーキテクチャという語を曖昧にしている一因ともなっているが、本来の意味は決してそれほど曖昧なものではない。

たとえば、アセンブラ言語を使うプログラマにとっては、アセンブラ言語体系によってコンピュータの働きと構造を知ることが出来るから、それをもってアーキテクチャとすることが出来る。一方、表計算ソフトのユーザは表計算の機能と構造こそが対象とする情報処理システムのアーキテクチャとなる。

一般的に、アーキテクチャは、対象とするシステムの

(1) 諸機能

(2) 構造、すなわち、構成要素とそれらの相互関係

(3) 構造と諸機能の関係

によって規定される。この規定は、ユーザがシステムを利用するのに必要かつ十分な詳細さをもって提示される。

よりすぐれたアーキテクチャとはユーザの要望により的確に応えるものである。アーキテクチャの進歩がコンピュータの応用範囲を広げ、ユーザ数を拡大する。ユーザ数はこれまで増大し続けてきた。単にハードウェアが安価になったからではない。むしろ、ユーザが増えたからこそハードウェアの低価格化を可能にしたのである。ユーザ数増加の根本原因は、使いやすい機能が増大したからにはかない。それがハードウェア市場を拡大し、大量生産を促し、そして、低価格化を可能にしたのである。ユーザ数の増大の背景には技術の進歩がある。その技術とはなによりも全システムのアーキテクチャ構成技術であった。

前章で見たように、現代の情報処理技術はそれなりに発展を遂げ、殆ど誰もが使える状態にあと一歩のところまで近づいてきたかのように見える。しかし、実際には、真のエンドユーザコンピューティング、あるいは真の人工知能を実現するには極めて困難な課題をもっていることも見てきた。このことは、すなわち、アーキテクチャの問題である。その構造自体が持つ問題を見ないかぎりには解決法は見いだされない。

アーキテクチャとは個別のシステムをなんらかの水準で抽象化してのみ捕えられるものであるが、しかし、IBM/360のハードウェアアーキテクチャ、Cm-5の並列処理アーキテクチャ、あるいはNeXTのヒューマンインタフェースアーキテクチャなどというように、なおも個性をもつ。建築の歴史に時代の様式を見るように、個別のアーキテクチャの歴史のなかに、時代あるいは技術者共同体に共通する何かがあり、それらを類別する何かを見て取ることが出来る。すなわち、それらのもととなる基本的発想の枠組みである。これをパラダイムと呼ぶことにしよう。

3. 2 パラダイムとは

パラダイムの語源はギリシア語の *παράδειγμα* であり、『かたわらに並んでみせてあげる手本』を意味し、建築の場合には建築模型、設計図面あるいは建築計画がそれに相当するという [Liddel68]。

我々がこの語を使うのは、しかし、科学史におけるKuhnのパラダイム論を意識している。[Kuhn62]によれば、「パラダイムとは、一般に認められた科学業績で、一時期の間、専門家に対して問いや答え方のモデルを与えるもの」と言うことである。すなわち、模範となる手本である。科学者の手本となるものは、大はニュートン力学や量子力学の体系から、小は、様々な実験手法まで考え

られる。Kuhnによれば、パラダイムは科学の発展の基盤となるものであるが、同一パラダイムが長年続くと、それに合わない実験事実や現象が現われ、しだいに人々が疑いを持つに至る。そして、パラダイムが変更され、科学上の革命が生じる。ふたたび新しいパラダイムを科学者が共有し、それによって《通常科学》が発達する、というものである。従来、絶対的なものとされた科学における《真》の概念を時代、あるいは社会に相対的なものであるとしたのである¹⁾。その後、続く論者によって用語法は拡大され、パラダイムは具体的な手本ではなく、科学者共同体の行動を支配する信念、あるいは基本的発想の枠組みであると考えられるようになった。ある一定の時代と社会（コミュニティ）に共有されるものの見方という意味合いが濃くなったのである。このような用語の拡大は、Kuhnの不满にもかかわらず、Kuhnの主張から生じる当然の帰結であると見る事が出来る。科学の場合には、なにものにも捕われないものの見方、すなわち《客観性》を尊重するが、しかし、実際には、疑いようもないとされる発想、暗黙の前提などをしらずしらず持つものであり、そういうものなしにものごとを認識することは出来ず、科学者の科学的認識も例外にはなり得ないとするのである。

パラダイムという用語はこうして科学哲学の分野で発生したが、我々の場合にはあえてそれを技術（システム構築技法、すなわちアーキテクチャ）に適用する。そして、情報処理のような知的活動と密接に関連する分野においては、決して無理な応用ではないと考える。科学者が、専門家で構成する共同体のなかにあって、対象とする自然現象を見る思考の枠組みをパラダイムと呼ぶのならば、知的システムである情報処理システムを構築するに際して、《知的システム》とはどのようなものであると見做すのか、というもっとも基礎的な認識の枠組みが問題となり、それはしばしば専門家の共同体で共有され、当然のこととされるものであるから、さらには、パラダイムは単に暗黙の了解事項であることを越えて、むしろ積極的に表明される考え方、世界観、世界モデル、思考の枠組みに対しての主張というものにさえなってきた。パラダイムの変革は（Kuhnのもともとの指摘にあったような）起きるべくして起きるものではなく、言明され、主張され、議論される対象となったのである。

たとえば、コンピュータが単に数値の計算機械であった時代にあつては、誰も疑いようもなく、四則計算を中心とする数の処理体系こそがコンピュータの概念体系、すなわちパラダイムだった。しかし、いまや多くの研究者が知的システム（情報処理システム）としてのコンピュータのパラダイム変革を唱えている。

さらに、知的システムを議論の対象とする我々の特殊性から、パラダイムは別な形で重要な意義をもつ。すなわち、パラダイムは、対象領域に関しての情報処理するのに必要な前提知識からなる思考の枠組みであるとするならば、パラダイムの概念そのものが知的システムの重要な構成要素となっていることである。情報システムの構築法を規定するものが構築者がもっているパラダイムであり、同時にその対象システムのなかにパラダイムを含んでいることを認めるという、鏡像のフラク

¹⁾日常生活においては、このことは珍しくない。たとえば、「彼は若い」というとき、相対社会と政治家社会では意味合い（真理値）が異なる。曖昧性の処理を取り入れたとするファジー理論では、少なくともその基盤においてこの現象を捕えていないことに注意。

タル構造を我々はこのに見いださざるを得ない。もっともこの見方そのものが情報処理パラダイムのひとつなのであるが。

3. 3 チューリングパラダイム

数の計算は知的作業であり、それが行なえるものは知的システムである。パスカル、ライブニッツ、チューリングなど、多くの数学者と哲学者がこのことに関心を持ち、それをモデル化し、機械化が進められた。その集大成がチューリングマシンモデル[Turing36]であろう。これは数の計算にとどまらず、論理計算を含む極めて広大な知的作業領域をカバーするモデルとなっている。実際、現在における（並列処理を含めての）コンピュータのハードウェアアーキテクチャは相変わらずこのモデルに象徴される計算パラダイムの上に成り立っていると見てよいであろう。

チューリングマシンによる計算可能な関数はChurchの λ 計算における定義可能な関数と一致し、Gödelの一般帰納的関数となることはよく知られている。このことは、《実際にeffectively 計算可能な関数》を一般帰納的関数で定義しようというChurchのthesisの妥当性を裏付ける根拠となっている。チューリングマシンを超えるマシンの出現を否定出来ないから、Churchの主張は証明出来るものではないが、すくなくともこれまでの数学的な認識においては、計算という知的作用に対してチューリングのパラダイムが極めて強力なものとなっているのである。

チューリングパラダイムは、知的システムをテープという無限の長さを持つ外界と、それに作用を及ぼす有限の内部状態を持つ本体によって構成されるものであるとする。外界と本体内部状態との関係を極限まで単純化したところにチューリングマシンがあり、それが論理計算をも含めた広範な知的機能を実現すると見做せることは、人間の知能の機械化に対して楽観的な予感を与えるものになった。と同時に、一方では、一般帰納的関数による論理体系の構成に対する限界がGödelの不完全性定理によって与えられており、これによって、この方向での知能の機械化に対する悲観論が生まれるのである。

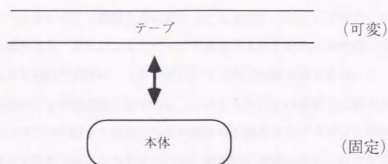


図3.1 チューリングパラダイム

チューリングマシンの構成に二通りの見方が出来る。ひとつは本体を知的機械とし、テープをその外界と見做すのである。事実、チューリングマシンとは、本体を人間、テープを紙と見做し、人間が紙に書き込みながら計算をするモデルだという解説がしばしば行なわれる。このメタフォアを使うとすると、知的部分は本体だけであり、紙に書かれた記号列と相対的に行動が規定されたものとなっている。すなわち、不変のプログラムが出来ている。この《知的機械》は外界がどのようなものであれ、少しも変化せず、したがって学習することはない。学習しないものが知的であるとは常識的には認めがたい。

もうひとつは、テープと本体とを合わせたシステムを知的システムとするものである。このシステムはテープという変化を受ける部分と、本体という固定されたプログラムを持つ部分とから構成されていると見る。可変部分と不変部分の相互作用によって《計算》が進行する。可変部分は不変部分によって一方的に変えられるのであるから、もし、チューリングマシンの行動が変化、あるいは学習しているかのように見えるとするならば、それは本体によるテープの書き換えによって起こるのであって、システムの外側から起こされるものではない。すると、このシステムは何に対して、《適応》あるいは《学習》したのであろうか。この場合の知的システムは《閉じた》システムとなっているのである。

いずれにせよ、チューリングパラダイムは我々の常識的な知能とは食い違う面を持っているように見える。しかし、そう結論付けることを急ぎ過ぎてはならない。

現在のコンピュータはどうであらうか。豊富な記憶装置（テープに相当）と高速演算制御装置（本体に相当）とを持っている。そして、外界から次々とデータを取り込み、記憶を変え、プログラムを変えている。チューリングマシンを超えているのではないか？ これも、簡単にそうとはいえないのである。チューリングモデルのテープは単なる記憶装置ではない、記憶装置を含む世界一般を現していると思わせるからである。すなわち、コンピュータが外界から取り込むと考えるデータはすでにテープに書き込まれたものを入力するのだと解釈出来るのである。宇宙の誕生から現在に到るまでこの機

械が関与するデータはすべて（機械自身に関することまで）このテープのどこかに書かれているはずである。それを読み込み、それによってテープを書き換えると考えれば、コンピュータの外界データの取り込みによる適応や学習は、《原理的に》モデル化出来るのである。

しかし、これはあくまで原理的な話である。そのようなことはあまりに膨大すぎて（たとえば、全宇宙の分子ひとつひとつの動きの軌跡からその動きの予測をするプログラムが作成可能であるにしても、それを記録する媒体は何になるのだろうか）物理的に達成出来るとは考えられないのである。すなわち、数学的な《実際に計算可能》という概念の手前に《物理的に計算可能》という概念があり、それがずっと手前のところで立ちはだかっているのである¹。記憶量も、計算時間も、アクセス出来る情報もすべて限界を持っており、限界の外側にシステムの未知の世界がある。にもかかわらず、知的システムはそれに適応し学習することが出来る。このような、《開いたシステム》であることが知的システムの大きな特徴であると考えられ、この意味というならば、チューリングモデル（パラダイム）は知的システムのモデルであることに失格している。

3. 4 ニューラルネットパラダイム

知的システムの手本である人間の物理的システムを見るならば、多数の神経によって構成される神経網としての大脳に知能の根源を見ることが出来る。神経網をなんらかの形で模倣することによって知的システムを構成しようとする志向はごく自然なものである。しかし、全く同一のものを人工的に作ることは、たとえ可能であるとしても、人間の脳が持っている多くの欠点を考えれば、あまり意味のあることではない。そこで、ある観点から神経網の機能を抽象化し、それによってなんらかの知的作用を作りだそうとすることになる。この時点で《知的システム》に対する一定の見方（パラダイム）が支配する。このことは生理学者、あるいは心理学者についても言えることであり、あるパラダイムに基づいて実験が計画され、データが解釈され、理論が作られるのである。

さて、通常考えられている神経網モデル（ニューラルネットモデル）の基本的特徴は、多入力、単出力のニューロンモデルを多数結線した構造を持ち、入力への重み付けと出力関数の調節によって所定の機能を達成するというものである。ここでは、チューリングの計算パラダイムと異なり、最初から構造変化を含んでいる。

この構造を利用するものに2種類ある。ひとつは、サンプル集合からそこに共通（内包）するのを見いだそうとする帰納学習への応用であり、もうひとつは最適化問題への応用である。

帰納学習は、定義域（対象領域）の有限個のサンプルを入力とし、それを利用して、入力のある基準を満たす分類値に変換する関数を見出すことである。一般には極めて困難である。そこで、一定

¹アルゴリズム論におけるNP-困難性は、まさにこの点に関係している。

の関数族を仮定し、そのなかに正解があるとするのが普通である。ニューラルネットモデルはそのような関数族のひとつを与えているモデルであると考えられ、入力確率的揺らぎに対処する関数を求める統計的帰納法を構成しているといえる。サンプル入力に対応する出力値の(与えられた基準から見た)誤差によって結線の重みを調整することによって、求める関数を構成する誤差逆伝播法[Rumelhart86]が広く利用されている。

しかし、この仮定は、パターン認識などにおいてさえ強すぎるものであり(たとえば、3次元物体の2次元射影からの学習など)、一方、特定の対象に対しては一般的に過ぎ、目的の関数を近似する(学習する)のに膨大なサンプルを必要とする。

最適化問題への応用の典型にホップフィールドマシン[Hopfield85]がある。対称的に相互接続されたニューロンモデルからなるネットワークの電位的活動状態が安定状態になったとき、基準関数が極小になることを利用したものである。しかし、これによって行商人問題のようなNP困難な問題が本質的に解けたわけではない。初期値がうまく与えられたときには、たしかに急速に最適化するが、その初期値の与え方に問題の困難さが転化されるからである。

以上のように、学習装置としても探索装置としても、(少なくとも)これまでのところ、対象問題に内在する困難さを本質的に解決する見通しは得られていない。学習や最適化を始める前に、対象問題が持つ固有の規則や構造をなにかしらの形で反映する処理を導入する必要があると思われる。問題の難しさの本質は往々にしてその認識にある。[上坂91]が主張するように、それを避け、一般的に扱おうとすると、多くの問題はあまりに複雑すぎて手に負えないのである。

ニューラルネットモデルをチューリングモデルで実現するとどのようになるであろうか。テープに学習サンプルの列、あるいは初期値の列などが書かれ、しかもニューラルネットでの重み等の変化を反映するテープ上のデータの書き換えが行なわれることになる。すなわち、可変部分をテープに置くのか、本体構成に置くのかの違いがあるだけである。こうして、原理的にはニューラルネットモデルといえどもチューリングモデルに変換可能であり、事実、モデルのシミュレーションが通常のコンピュータ上で行なわれている。このように見るならば、ニューラルネットモデルは決してチューリングモデルを超えるものではないが、知的システム構成の別な見方を与えるという意味で一つのパラダイムとなっているのである。そしてどちらのパラダイムにも共通していることは、システムが置かれている(何が起こるか分からない)世界をどのように考えるのか、すなわち、物理的制約によって、システムの認識と処理の能力を超えてしまう対象をどのように問題設定の枠組みに取り込むのか、という視点の欠落である。

3.5 記号論理パラダイム

論理はいうまでもなく知的作用の柱である。特に記号論理学は現在の情報処理の中枢に位置付けられるものである。論理には古典論理から様相論理までさまざまな体系がある。本稿はそれらの詳細について議論する場ではない¹。それらの根底にあって共通化している考え方、即ち論理を知的作用と考えたときのそのパラダイムを指摘するにとどめる。以下では、ことわりのないかぎり論理は記号論理のこととする。

古代ギリシアの論理学は、裁判での論争から発達したとされる。裁判では、勝敗を決める必要があり、そこから、《正しい》論理とはなにかが問題にされ、論理が洗練された。命題の作り方、その表現の仕方、そして、それらを結合するものとしての推論の仕方が問われるのである。

Leipnitzは、《明晰で正しい論理》の理想をその機械的純化に求め、論争を決着させるとき、《計算してみよう》と言えることを理想とした。ここに、論理＝計算 という明確な認識を見て取ることが出来る。それ以降、Fregeから現代の記号処理による人工知能の研究者にいたるまでこの信念が貫かれている。ここでのパラダイムは、知的作用としての論理は言語化（記号化）可能であり、記号化された思考体系が論理であり、論理は命題の表記法と命題を組み合わせる新しい命題を生む推論（記号計算）方式により構成されるというものである。

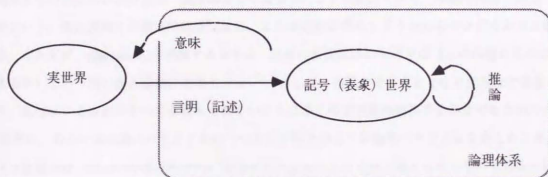


図3.2 論理体系パラダイム

では命題とは何であろうか。世界の事物や事象についての時間、空間を超えた記述である。絶えず移行行く世界のものやことが命題によって《凍結》される。命題は、人間の思考に使われる知識となるが、知識は《言葉》などの記号によって外在化（言明）される。一度外在化されたものはその意味が問われる。その意味とは、言明の逆写像、すなわち、世界の事物などへのなにかしらの形での対応

¹様々な論理体系については、たとえば [田村85] を参照。

である¹。たとえば、《雪は白い》という命題は、世界において《雪》とはなにか、《白い》とはなにか、そして《雪は白い》とは世界における何について述べているのか、それに答えるものが意味である。

以上が従来の素朴な命題論である。しかし、実世界は転変し、同一物や同一事象は繰り返されず、固定されないとすれば、意味が指すものとは何であろうか。また、ひとの知的活動においてもこのような記号化がおこるのだろうか。

命題が言語化されるとき、言明すべきこととその必要性があつて言明されるものであつて、人間の頭のなかでの思考のもとになると想定されているいわゆる知識や信念と同一視するのは早計である。たしかに、ひとはあらためて《なぜそう考えたか》と問われると、使用した命題（知識）とそれをつなぐ推論を言語で、すなわち外在化された記号で言明せざるを得ない。しかし、だからといって、思考がこのような（記号論理での）論理そのものだけということには当然ならない。論理体系は思考（の一部）を外在化することによって道具化する一手段であつてそれ以上のものではない。

ひとは命題をどのようなものとしてどのようにして作るのか、命題の正しい組み合わせ方を与える推論はすべてこのことに依存するから、論理の基礎はこの点にこそある。命題の持つ意味について認識論を含め、多くの議論がなされてきた。現代論理学では、数千年の歴史を背景に、洗練され尽くされた概念とその表記法が使われる。論理結合子や限量子による表記法である。知識や知覚を記号で表せるかという、先に指摘した根底的問題以前に、この表記法が果たして十分なものであるかどうかさへ疑問がある。たとえば、[Putnam86]が指摘するように、従来の表記体系のもとでは《この部屋にものがあるか》という問いさえ適切に表現出来ない²。まして、知識やそのもととなる知覚などを含めるとき、記号による表記ですべてを捕えきれないことは多くの哲学者の指摘をまつまでもないであろう³。思考の、あるいは知能のパラダイムの一つとして以上のような論理パラダイムを考えたとき、このような限界は（従来の枠組み内での）論理体系の工夫によって乗り越えられるものであるとは考えにくいのである。

3. 6 パターン認識パラダイム

記号論理の対極にある情報処理分野としてパターン認識がある⁴。コンピュータの能力が発揮され

¹後述するように、この点に関して様々な考え方がある。

²「もの」という言葉の定義がしにくいとか曖昧だからということではない。論理の命題を構成する基礎となる個体entityの概念そのものが本質的に曖昧なのである。

³[Wigenstein32]の「語れないものについては黙すべきである」における「語れないもの」とは、外界とその（言葉による）表現との関係であると解釈出来る。

⁴人間の持つ論理的能力と感覚的能力との対照は古代より多くの人によって指摘され、近年は「左脳

だした1950年代にすでに文字認識の研究が始められた[Selfridge55]。もちろん実用技術としての必要性から始められたが、同時に知能の重要な要素としての知覚作用の機械化が研究者の興味を強く引かせたのである。

概念形成型のニューラルネット機械はパターン認識に向いているとされる。しかし、パターン認識パラダイムがそもそもシステムの外側の実世界を視界に納めるところから議論が始められるのに対し、ニューラルネットパラダイムは、前述したように、計算機械としてのチューリングモデルと同じく閉じたシステムのなかで議論が発見し完結するのである。

パターン再認の入力は外界（実は外界についてのデータ）であり、出力は一種の命題として表現される。たとえば、文字Aが図形として入力されると、期待される出力は、表現はどうであれ、「いま与えられたのは文字Aである」という命題である。文字Aの入力は、偶発的な、すなわち、ある瞬間、ある場所で生じた白黒の点の集まりで表されるもの（データ）であるのに対し、文字Aというパターンは時間と空間を超えた概念であるから、ここには論理での知的作用と同様の命題生成に固有の情報の質的転換がある。

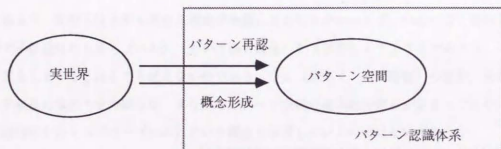


図3.3 パターン認識パラダイム

パターン認識では、パターン再認の前にパターン概念の形成が必要である。文字Aを再認するには文字Aのパターンすなわち概念をシステム内部に持っていなければならない。そして、それとの照合で文字Aの再認が定まるのである。通常のパターン認識ではある種の操作に不変の量の組み合わせをパターンとし、それらの相互関係によってパターン空間¹を形成する。たとえば、文字のような二次元図形パターン認識では平行移動、拡大、回転などに不変の幾何的な量が選ばれる。音声その他のパターン認識でも同様である。ここでは、不変量の選択、その組み合わせ方、そして、分類の仕方が主要な構成要素であり、それらをどのようにするかによってその性能が定まる。

と「右脳」のちがいがとして「わかりやすく」説明されることが多い。

¹本稿では《空間》という語を物理的な空間と数学的空間（構造の与えられた集合）の二つの意味で使用する。ここではもちろん後者である。

このような知覚的機能は一見知能水準として低いものに考えられやすい。実際、動物や幼児さえもが容易に行なうことであるが、対象を極端に限定しないかぎり、現代のコンピュータにとってあいかわらず極めて困難な課題である。

文字Aであることをいうには、自分が知っているあらゆるもののなかでそれがまさに文字Aであって他のものではないことをパターン空間を用いて《推論》しなければならない。そうして、新しい命題を作り出すのである。実問題では、多くの場合、複雑な環境にパターンが置かれている。たとえば、文字認識においてさえ、複雑な図柄を背景にする文字や、それ自体は不明であるが文脈から推定出来る文字などの認識が必要である。すくなくとも、対象の切り出し（分節）が行なわれないかぎり、その図形の不変量を取り出すことは不可能であり、また、既知のこどもの体系がないかぎり、そこへの位置付け、即ち、分類も出来ない。さらに厄介なことは、視野の大きさ、分解能などによって対象パターンの見え方がすっかり変わってしまうことである¹。このことは、次節以降で詳述する。

また、対象世界からのパターン空間への写像は経験や学習によって行なわれるとするが、ここでの学習法の大多数は帰納法である。すなわち、パターンのサンプルを多数提示することによってその《概念》を抽象する。しかし、この方法は人間がパターンを学習する方法とは随分異なっているように思われる。たとえば、ひとが《イヌ》ということばにつながる《いぬ》という概念を学習することを考えてみよう。形態も泣き声も異なる種類が無数にあるにもかかわらず、いぬのごく数例を提示されるだけで子供達はたちまち《いぬ》（という語と概念）を《学習》してしまうであろう。一般的な帰納的学習をしているとはとても思えないのである。ひと（恐らく一般に動物）の場合、もともとしかるべき不変量の選択とその結合法、すなわちパターン空間の基本的枠組みが定まっており、それにわずかな微調整を加えるだけで《いぬ》という概念を学習しているのではないだろうか。

3. 7 三世界モデルパラダイム

論理パラダイムの議論で、記号表記の意味は実世界への対応であるとした。しかし、実世界に対応付けられる（指示される）ものを見いだすことは出来ないはずである。レアルな実世界は転変として固定しないから、実際にはその記号表記を受けた人（あるいは発する人）が世界のモデル（イメージ）を持っていて、それへの対応付けをするのではないだろうか。《雪》も《白い》も実世界に認められる時空間を超えた概念だからである。概念の関係によって出来る命題の意味もこのように抽象的モデルへの写像であると考えたほうが自然であろう。すなわち、記号の意味は実世界そのものの写像ではなく、別の概念の世界への写像であると考えるのである。すると図3. 3は書き換えられて下図のようになる。ここでイデアールな抽象世界を表象空間 representation（あるいは表象世界）

¹これを克服し、むしろ積極的に利用する認識手法として逐次近似による認識がある[田村73]。この手法は後にScale-space法として視覚パターン認識に広く利用されるものとなる[Marr82][Witkin83]。

と呼ぶ¹。

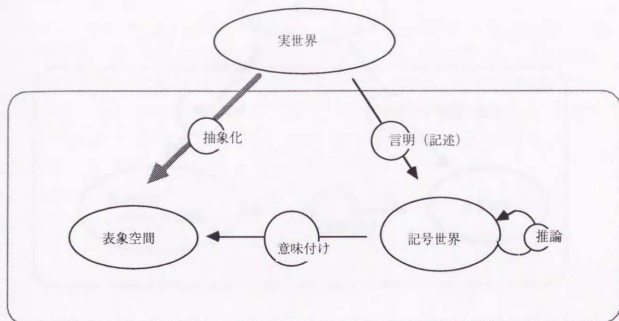


図3.4 三世界モデルによる論理体系

このように見ることによって、命題の意味だけでなく、記号演算(推論)の妥当性や完全性も表象空間上で考えることが出来る。Fregeの意義 Sinn はまさにここで言う意味付けである²。また、数学的意味論では、表象空間に数学的空間(たとえば、プログラムの表示意味論 denotational semantics における連続束[Scott76]など)を想定し、記号主義的人工知能システムでは表象空間もまた記号で表示する(フレーム論[Minsky75]など)。

一方、パターン認識においては、パターン空間が実世界を抽象して得られるものであり、この空間は、時間も場所もない構造だけの世界である。すなわち、パターン空間はパターン認識における表象空間なのである。パターン再認は実世界の対象についての記述を得ることであり、パターン空間への写像というよりは記号世界への写像と考えることが出来よう。すると、図3.4の構成がそのままパターン認識体系にも適用出来、図3.5のようになる。

¹本稿での《表象》という語の用法は独特である。一般には、表象 representation とは意識に現われる対象の総称である[平野70]。心理学では心像、人工知能では記号による内部表現をいうことが多い。

²ここで注意しなければならないのは、意味を与える表象モデルの公共性が仮定されていることである。すなわち、個別の認知者がそれぞれ固有の表象モデルを持つのではなく、共通のものになるという暗黙の前提を必要とすることである。

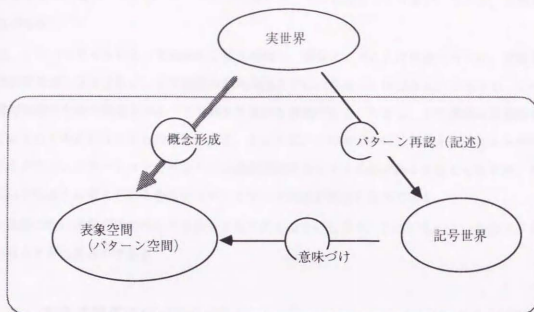


図3. 5 三世界モデルによるパターン認識体系

このようにして、論理的認知とパターン認識の認知とを合わせて見ることが可能となる。実世界、記号世界、表象世界（空間）の三世界より構成されるため、これを三世界モデルパラダイムと呼ぶことにしよう¹。

パターン再認は情景の記述であるとする、論理の命題を生成することに相当する。そして、その意味付けを支えるのがパターン空間である。しかし、パターン空間は、それがどのような位相構造をとろうとも、各パターン領域を明確に定めることは出来ず、曖昧さがある（数字のような単純なパターンでさえ、類別判定が微妙な図形はいくらでもある）。ここで曖昧さは多義性 ambiguity と漠然性 vagueness の両方を持つ。記号世界だけで閉じていれば、記号の変換体系を定めて機械的な厳密さを追求することが出来、また、記号論理はそうにして発達したのであるが、記号世界の成立の背景にあるパターン世界を考慮するならば、曖昧さが必然的に伴うものとなる。〔田村85〕はこの事情をむしろ積極的に捕えて、パターン認識の機構を反映する柔軟な論理体系（《柔らかな論理》）の構築の重要性を提唱した²。なお、この意味での曖昧さは決して有害無益なものではない。表現を精確にするには多くの情報を必要とし、コストがかかる。一定の曖昧さを許容することによって、そのコストを節約できるのである。自然言語によるコミュニケーションは、曖昧さのもたらす損失と曖昧さを

¹本稿では《認知 cognition》という語を、行動までも含む知的活動全体を指すものとして使う、認識はしたがって認知を構成する一機能である。

²ここでいう《柔らかな論理》は1992年度より始められた通商産業省の研究プロジェクトReal World Computing Programの核概念になっている。

減らすことにかかるコストとのトレードオフで成り立っているとと言ってもよい。そこに、自然言語の経済性がある¹。

では、このパラダイムによって知能の全貌を理解し、機械化することは可能だろうか。表象空間の構築技術が発達しさえすれば、より高度の知的機能を手にいれることが出来るのだろうか。この問題は、情報処理の今後の展開を図るうえで極めて重要な課題である。しかし、その議論は認識論を深めることによってのみ行なえるものと思われる。たとえば、このモデルにしたがえば、なんらかの知的システムがコミュニケーションを行なうには表象空間を共有する必要があると考えられるが、それに対してはどのように考えられるのだろうか、といった問題が残されるのである。

その議論の前に表象空間の作り方を詳しく見ておくことにしよう。ここにもいろいろなパラダイムを認めることが出来るのである。

3. 8 表象空間構成のパラダイム

これまで、実世界と表象空間との関係で情報処理システムの構造に関するパラダイムを見てきたが、実世界や表象空間の構成要素についての議論には殆ど立ち入っていない。この観点から見たときにも種々のパラダイムがあり、これまでの情報処理技術、とくにこの問題に強いかかりを持つパターン認識や人工知能の研究、さらには近年の認知科学的情報処理の研究の発展過程を通して見ておくことにする。ここでは、[Michie74]による分類を拡張した[De Mey82]での分類を参考にする。この側面から見たパラダイムの発展経過は、世界の構成要素を捕える視界の拡大過程であったことがわかる。

モナド論的表象空間

実世界がモナドで構成されるというLeipnitzパラダイムに単純に依拠するもので、実世界での対象とする要素を独立自存するモナド(単体)として見る観点から表象空間を構成する²。それらの関係やその部分、そしてそれらによって出来上がる構造を視野にいれず、それらを対象要素としない。たとえば、文字認識では一字だけが視野にはいることを想定し、再認も単純なテンプレート照合による。機械翻訳では逐語訳的な単語の変換だけで行なうというものである。初期の研究では技術が未発達であったばかりでなく、貧弱なハードウェアの制約などからこのような極めて単純なモデルが使用された。

¹数式のような数学言語においてもこの種の経済性が見られる。しかし、プログラム言語には見当たらない。我々の提唱する新パラダイムにおいてはこの問題も関係する。

²実際のLeipnitzのモナドはこれほど単純ではない。

構造論的表象空間

モナド間の関係を取り入れたものである。文字認識で言えば、文字の特徴を見だし、文字パターン間の相互関係を与える文字パターン空間を形成する。言語処理で言えば、単語間の関係を生成する統語論が導入される。

文脈論的表象空間

対象の背景をなす文脈を視界にのける。文字認識で言えば、文字の並びから各文字の推定を行なう。たとえば、英語でAの字の頭の部分の一部が欠けているものが、CとTの間にあればCAT、TとEの間にあればTHEと読める[Selfridge55]。言語処理では、文脈を考慮する分析を行なう。このことを考慮して表象空間を構成するには、入力データに文脈を随伴させる必要がある。

スキーマ論的表象空間

以上のパラダイムは対象とする実世界を認知システムから完全に切り離れた存在として捕え、その見方を表象空間に反映するものであった。しかし、認知システムの状態によってパターンの意味も言語の意味も変化することを視界にのける必要がある。

パターン認識の例[De Mey82]で説明しよう。数字の8を横に倒した図形が人間の目の位置にあれば大方はそれを眼鏡の略図だと認識するであろうが、手に提げていれば鉄垂鈴だと思うであろう。これは文脈依存の認識である。しかし、もし、眼鏡屋に入ってきた客がこのような人を見るとすれば、眼鏡を掛けた店員が眼鏡を持ってきたと思うであろう。このように、認知者のそれまでの履歴と置かれた状態によってきまる認知者の状態が入力データの解釈に大きな影響を与えるのである。この認識現象を三世界モデルで解釈しようとするならば、表象空間に自己像をもちそれとの対応で実世界からのデータが影響されるという、かなり複雑な構成を考えざるを得ない。

認知者の履歴や状態が認知を変えするという立場は、人間の認識論においては、Piagetの発達心理学でのスキーマ、あるいはNeisserの認知心理学[Neisser76]などにおけるスキーマ（図式）の理論として強く主張されたが、その影響を受けて、人工知能の世界ではフレーム理論[Minsky75]やその発展形である《心の社会論》[Minsky87]などに反映された。

また、記号論においてはこの立場から解釈学が発展した¹。解釈学は、専門家共同体の共通パラダ

¹代表的なものに[Gadamer75]がある。

イムが専門家の認識に影響するというKuhnのパラダイム論とも密接に関係するものである。そして、解釈学の考え方そのものが現代の記号論において有力な《パラダイム》になっている。

3.9 三世界モデルパラダイムの問題点

論理パラダイムとパターン認識パラダイムとをいわば合成して、三世界モデルパラダイムが作られた。しかし、このパラダイムにはいくつかの問題がある。

第一に、論理パラダイムにおける表象空間は、パターン認識と同じようにサンプルの提示による学習によって形成できるものなのかどうかは判然としない。ここでの議論は、記号論理学における記号化された命題の意味付けにはそのような空間を必要とするということにとどまっており、その空間の具体的な生成法については触れていない。実際、表示意味論にしても、あるいは人工知能におけるフレームにしても、それらが学習によって生成されることを意図して組み立てられているわけではない¹。

第二に、逆に、パターン認識側からこのパラダイムを見ると、パターン再認が記号世界への写像になっている。たしかに機械の動作はそれとおりであるが、しかし、学習によって形成されたパターン空間（表象空間）が記号世界からの意味付けとしてのみ使われる構図になっていて、パターン再認に直接利用されない。実際には、入力データは学習された作用によってパターン空間に写像され、その位置から入力データのパターンが判別されるのであるが、その仕組みがこの図式からは直接読み取ることが出来ない。

第三に、文脈やスキーマの位置付けを表象空間で行なっているが、すると言明のプロセス（解釈）に対して間接的なものとなり、実現するには複雑な構成をとらねばならず困難である。実際にはスキーマは実世界からの入力に対しフィルタリングの働きをするものであるが、その位置づけを三世界モデルでは明快に説明できない。

以上の問題点は、従来の情報処理における二つの代表例、すなわち、記号処理の人工知能を純化した論理パラダイムと、人間の知覚機能を機械化することを目的とするパターン認識のパラダイムとを突き合わせることによって、はじめて明らかにされた。すなわち、ルーチンに行なわれるものと学習過程で行なわれるものとの整合をどのように付けることができるかという問題である。両者を独立な過程であるとするかぎり、この不整合は解けないであろう。

第四の問題は、記号世界は、このパラダイムで見ると、機械にとっては内部処理の対象になるが、人間にとっても果たしてそう考えることができるのかどうか。記号処理中心の人工知能の研究者

¹もちろん、記号処理の世界においても、[Winston75]をはじめ、機械学習の少なからぬ研究があり、そこではフレームが使われる。しかし、一般の論理や記号処理においては、命題の意味付けや生成に学習された表象モデルが必須のものとはされていない。

は、人間の内部思考においても記号処理が行なわれているという信念を持っている。しかし、果たしてどうだろうか。本稿では、記号はあくまでも外在化されたものに限るとする立場に立ち、記号世界を内部に含めずに説明できる認知パラダイムを求める¹。

第五に、このパラダイムにおける表象空間は、認知者が個別に持つものだろうか、それとも客観世界として認知者とは独立に存在し共有されるものだろうか。前者を取れば、なぜコミュニケーションが可能なかが課題になる。後者は、Frege から Popper まで欧米ではその立場を取る哲学者が少なくないが、Kuhn流のパラダイム説や、認知者のみならず認知者の状態によってさえ認知が変わってしまう日常的現象を（すくなくとも単純には）説明できない。どちらにしても問題なのである。

これらの問題を克服する認知モデルを追求する必要がある。

¹このことは、人間の内部で記号処理が行なわれることを否定するものではない、その仮定を前提としないだけである。

第4章 認識論的観点からの考察

認知システムとしての情報処理システムを構築するパラダイムについて述べてきた。では、そのモデルとされてきた人間は、世界からどのように情報を得ているのか、すなわち、どのように世界を認識しているのか。認識論は存在論と並んで古代ギリシア、あるいは古代インド以来の哲学の重要分野であり、多くの議論と考察が重ねられてきた。時代と人によって問題意識が異なり、様々な認識観が生まれた。我々の立場は、情報処理技術の高度化という課題を背景にしている。そして従来の認識論の限界こそが情報処理の高度化の妨げになっているのではないかと、という疑いを持っている。その観点からあらためてひとの認識とはどのようなものであるのかについて論じる。

ところで、正しい認識論とはどのようなものであろうか。人それぞれの世界観があり、正しいものが一意的に決まるべきものではない。しかし、我々として守りたいことは、ある種の一貫性である。これは、単に一貫性のある議論によって合理性を追及するというだけでなく、《認識現象》を対象とする我々自体の認識、すなわち、認識をどう認識するかという考え方自体、もまた認識とはなにかという主張に含まれることに留意しなければならないということでもある。たとえば、あらゆる認識は個別的であり一般性はないと結論付ける認識論があるとすれば、その認識論が一般性のあるものと主張することは自己矛盾になる。論理について論じる論理の資格が絶えず問われるのと同じである。主張の内容とその主張を導く考え方の同型性ももし失われるとすれば、我々は一貫性が失われたと考えるのである。

4.1 情報と表象空間

情報処理を考えるには当然ながら人間にとって情報とはなにかを考えざるを得ない。情報とは、《知らされるなにか》であるが、本来、受け手の状態に深く依存するものである。語源的に見ると、informationとは形式formを埋める(fill in)データという意味である。形式とデータは、古来より哲学において論じられてきた反照的分節の典型である。形式は、アリストテレスの形相（理想化された形）に、そしてデータは質料（形を埋めるもの）に対応させてみる事が出来る。この反照関係は、理性と経験、悟性と感性などの論議につながるものである。理性は個人に属しているため主観性を帯び、経験は環境からのデータであるから共通性が高く客観性を帯びていると考えられる。すると、これは主観性と客観性の反照にもなる。両者に対し、時代と場所によって重点の置き方が揺れ動いてきたが、両者のバランスと調和をいかに取り、いかに認識現象を矛盾なく説明しきれるか、重要な哲学的命題である。我々の見方は、主客の対立を認めない。すなわちデカルトの二元論を否定する。

従来の情報理論は、通信技術を主眼とする通信理論であり、そこでの情報は受け手にとって確率的に不確定なものを確定するものであって、意味論、すなわち情報内容そのものを問題とするものではない。しかしながら、情報理論ではもともと受け手の実世界の見方によって情報量が定まる構成を取っていることに留意するべきであろう。たとえば、駅のプラットフォームに立ち、次に来る電車の行き先を（駅員の放送などで）知らされたときの情報量は、時刻表を知らないものと知るものとでは全く異なるはずである。明らかに実世界の事象によってのみ情報が定まるのではなく、それを受ける受け手の状況との組み合わせで定まる¹。しかし、情報理論での大方の議論は（このことを自明とするためか）受け手の状況を無視し）情報はあたかも客観世界の事象に付随するものであるかのように見做され、その結果、情報が受け手の状態とは独立な客観的存在物であるかのように見立てられる²。このことは情報（通信）理論だけの問題ではない。言明が運ぶ情報は当然ながら送り手と受け手の関係においてその意味内容が定まるはずのものであるにもかかわらず、言明は客観的自立的存在と見做されることが多い。

では、情報とは客観性を持たず、受け手が異なればいつもその内容が異なるものなのだろうか。もしそうだとすれば、コミュニケーションは成立しない。ここまでの情報の説明では、主観／客観の対立が持つ矛盾、そして三世界モデルパラダイムの持つ問題をまだ抱えているのである。認識論を深める必要がある。

4.2 光学モデルパラダイム

人間が世界を観察するとき、世界は《空》でもなく、《渾沌》でもなく³、意味を見だし、意味あるものの集まりとしてみる。空や渾沌に意味を見いだすのは、対象を分節するからである⁴。その基本は反照的二項分節であると考えられる。〈地、図〉、〈内、外〉、〈因、果〉などがあるが、そのうちでもっとも原初的なものは〈地、図〉の関係であろう。切りだされた図は類型化されて意味を与えられる。

ひと、あるいは機械の入出力関係を観察するときも、この機能が働き、両者の関係に固定した類型

¹事実、[Dretske81]は認識論に情報理論を援用している。一方、[平田92]は、「・・・時代の流れをサポートするためには、シャノン流の情報を単に正確に処理、伝送するだけが情報理論の役割ではなく、大量の情報のなかから受け手にとって有用な情報を効率的に取りだし、ニーズにあわせて加工し、整理、分類することも情報理論に課せられた重要な課題となってきた」と指摘している。

²その一例を例えば [伊藤80] に見ることが出来る。

³《空》は中観思想によれば、無ではなく、分節されないありのままの世界である。荘子の概念である《渾沌》も、「目鼻が付けられる」、すなわち、分節される前の世界である。カオスもまた語源的には混乱ではなく、大あくび、すなわち、空虚である。

⁴大乗仏教における唯識思想 [末木70] ではここで言う「分節」を「識」と呼ぶ。我々の認識論は基本において唯識論である。

化された法則（パターン）を見いだそうとする。認識現象も同様に対象として見るから、『実世界』という入力とそれに対する認識者の反応を観察し、その関係を切りだし（分節し）て、類別するのである。さらに、実世界が要素からなる空間であるとしたが、すでにその前提からして、ここで述べた暗黙の枠組みに支配されている結果であって、ありのままの世界は要素も、構造もない渾沌であるとすれば、そこでいう『実世界』は実はその概念化、すなわちイデアール化したものにほかならない。認識者への入力の実世界という渾沌であり、認識者は、分節によって対象の切り出しを行なう構成になっていると、我々は認識を《認識》するのである。渾沌である実世界が、あたかも白色光がプリズムで分光されるように、いくつかの図として分節される。切りだされた図は表象空間に位置付けることによって意味付けられる（内在化作用）。他の表象との関係で整合性がとれずに表象空間に位置付けられない対象は、図としての切り出しをすっかり変更するか、無視されることになる。これはフィードバック作用によるプリズムの調節に例えられよう。調節作用は、光学的メタフォアで言えば、意味像を結ぶ内在化作用の《レンズ》にも当然働く。このモデルをそのメタフォアから光学モデルと呼ぶことにしよう。

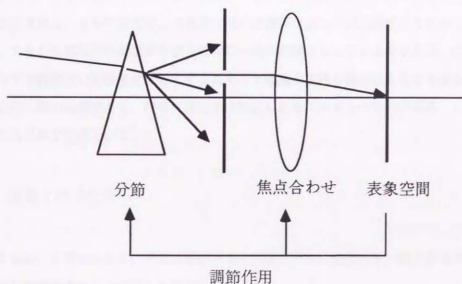


図4.1 光学モデルパラダイム

〔廣松82〕は本来、相対的、観念的であるものを物象化することによって生じる認識の誤りを指摘し、個体の存在よりも関係概念の第一義性を主張し、『もの』は関係の結節項に過ぎないとする事的世界観を提唱している。我々のここでの立場は、認識の根源として原始的分節と分節された図の表象空間への位置付けとの相互依存関係を出発点としており、やはり事的世界観をとるものと言えよう。

この世界観から認識現象そのものを対象としてみるとどうなるだろうか。これまでは、実世界とそれを認識する認識者の関係として述べてきたが、我々の認識論をより相応しく表現するように用語を変更し、認識現象を＜環境，認知者＞の関係であるとする¹。この関係は、まさに認識現象（という作用）の反照的二項分節によって生じる概念である。すなわち、どちらも単独で独立自存するものではなく、環境を認め得るのは認知者を想定するからこそ、その対象として認められるのであり、環境があるから、それを認知するものが意味を持つと考えられるのである。これに対し、環境あるいは認知者いずれも独立に存在するものと仮定すれば、たちまちおかしい不可知論ないしは論理矛盾に陥るのである²。

認知者は、認識現象を対象とする観測者が他者として切り出すものだけではない。人間の場合、自己を認知者として対象化することが多いのである。それこそが、哲学、心理学、社会学など、人文社会科学系の多くの研究の基礎となっている。この場合は、三世界モデルで言えば、表象空間のなかに自己の像を持つことに相当する。自己調節機能を導入した光学モデルによれば、状況の変動によって自己の図としての切り出しも、そしてその意味付けも揺れ動くのであるから、自己の輪郭もその像もまた固定されたものではない。どこまでが自己の輪郭なのか、そして、何が自己の意味なのか、固定されないのである。これを定めるのは環境の状況とそれによる自己調節に依存し、その状況に他者としての自己が含まれる。さらに言えば、内在化作用には調節を通して自己履歴がなにかしらの形で刻まれている。すなわち認知者の記憶が内在化作用に一定の影響をもっているのである。このことが自己履歴によって認識が強い影響を受けるとするスキーマ理論の主張を裏付けるものとなる。すなわち、環境とは自己の一種の反映であり、同時に自己とは独立したなにかをもつものである。こうして世界観、すなわち自己像が出来上がる³。

4. 3 情報とはなにか

情報とはなにか、を考えると、それは前提とする認知モデルに依存する。我々は当面、これまでの議論で到達した光学モデルに立脚してみよう。

環境に生じる事象（変化）が認知者に入力される。それは光、音、熱などさまざまなエネルギーを伴う物理現象として生じる。そこに、認知者は「意味」を見だし情報を得る。情報はこのようにな

¹ [廣松82] のいう＜所知，能知＞関係に対応する。

² 両者の存在を基底とする二元論に対する批判は多くの（通俗書を含めた）哲学書によってなされている。たとえば [廣松88]。また、生理学的知見も得られ出した。たとえば、[Zeki92] は「すべての視覚野を完全に統合する単一の主領野が存在しないことが解剖学的に証明されている」と述べている。いわゆる「おぼろげな細胞」の存在は否定されるのである。本稿でも、のちにあらためてこの問題を議論する。

³ このことをもっとも簡明に表現したのがオルテガの「私は、私と私の環境である」ということばであろう [色摩88]。

にかしらの変化によって引き起こされる。さきの表現で言えば、変化が生成するデータが形式に当て嵌められることによって情報がもたらされる。しかし、認知者にとって何の意味も見いだせなければ情報とはいえない。情報は情報内容（意味）をもつのである。こうして、認識現象の観測者からみると、情報とは、環境から図として切り出された対象（なにかしらの変化）が表象に変換されるものであり、我々が内在化作用と呼んだ関数の入力と出力の組であると見做すことが出来る。入力とは情報の担体 carrier、出力は情報内容 content と呼ばれることが多いので、我々もこの用語を用いることにしよう。認知者から見る情報はあくまでもその内容だけである。こうして、（観測者の目で見たものとして）

情報 = <担体, 内容>

と表すことにする¹。ここで、内在化作用は入力である担体を出力である内容に単純に変換するものであると言い切れないところに認知システムの本質がある。まず、認知者が〈情報〉を認めるということは、環境から図として切り出したからである。すなわち、認知者への入力が即担体ではない。注目すべきものとして取り出されたのが担体であり、担体に応じた出力が内容である。しかも分節作用は内容（表象空間の要素）に応じる調節作用によって調節される。すなわち、同じデータに対して形式が変化すれば意味内容が変わる。こうして、たとえ入力が同じでも、意味内容は変動し、そしてそれに対応して担体が変わる。ここにループが生じる。この事情を光学メタフォアを使って説明するならば、眼球運動による焦点合わせ、あるいは注視点の移動に例えることが出来る。

こうして、情報=<担体, 内容>は、表象からのフィードバックにより内在化作用レンズが調節されるループが定常状態に収まったときのものと見ることが出来る。

さらに情報の構造を突き詰めると、より複雑なことがわかる。情報の多相性 multi-morphism である。たとえば、りんごの反射光によって机の上のりんごを見るが、それはりんご全体を知る程度に視野をもったときにりんごに分かるのであって、そのときはじめて、りんごの形を作る微細な反射光の点のそれぞれがりんごという内容をもつ情報の担体になっていると見做される。そもそも反射光を光と意識すること自体、現象を（意識するしないにかかわらず）物理体系に位置付けることによって意味付けているのである。

このことをより明確に示す例は、楽譜を歪めて表した音楽家の肖像画である。遠くから全体を見ると確かに音楽家の像が見えるが、そばで見るとそれは歪んだ楽譜である。しかし、音楽家の像を見ているときには音符は音符としてみられず、肖像という情報内容を担う単なる点なのである。さらに細

¹ [廣松82]で〈所与, 所識〉と呼ばれるものである。しかし、これを情報であるとは述べていない。また、両者の関係は「関数的」であるとは述べているが、本稿で述べるような立ち入った議論は見られない。この分節の問題点を次章で述べる。

かく見るならば、楽譜の上の線や音符は、白や赤、黒の点の集合であり、これらが音符や線の情報を運ぶ担体となる。

視覚パターン以外にも情報の階層性を認めることが出来る。《りんご》という視覚パターンを認め、それが言語化されて文章中に現われるとしよう。《りんご》という語はこの文章の文意全体をはこぶ担体の一部である。しかし、全体の文脈によって、《りんご》は単なる果物としてのりんごなのか、それとも誘惑の象徴なのか、その意味合いが異なるのである。

特に文脈が異なるとは思えない状況でさえ、全く同一の情報担体に対して、ひとはそこに何重もの情報内容を引き出す。たとえば、[Austine62]では、ひとが望遠鏡を覗いたとき、見ているのが、

(1) 光る点、(2) 恒星、(3) 「シリウス」、(4) 「望遠鏡の十四番目の反射鏡の像」のいずれかであり、そしていずれでもあり、なお、曖昧でも多義でもないことを例に上げている。

このような現象は視覚だけに限るものではない。「火事だ!」という叫びを聞いたとき、文字通り火事の発生が伝えられるだけでなく、ひとは同時に警告、避難勧告、恐怖その他の《情報内容》を受け取る。このような多様な内容を情報が同時に持つことはむしろ日常的な出来事である。異なる認知者がスキーマを異にすることによって、同一担体から異なる《意味》を受け取るどころか、同一認知者が同一担体に対し異なる内容を《同時に》受けるのである。このように、情報の意味は単純に実世界や公共的概念世界に写像されるというようなものではないと考えられる。Heidegger流にいえば、「意味は自ら現われるものである」。

以上のように、情報の受け手として何を想定し、それがどこをどのように注視するかによって、情報の構造も内容も全く異なってしまう。担体が単純に情報内容を定めるものではなく、担体と情報内容は相互依存の関係にあり、しかも両項の内部構造は決して単純ではないのである。両項の関係はちょうど、左右、上下、内外の関係に似て、また、力の作用反作用に似て、まさに相互依存的、相対的、可変的であり、しかも歴然と判別される。一言で言えば、「不即不離」である。

4. 4 情報のフラクタル性

認識現象における認知者の位置付けや輪郭が変われば、当然、内在化作用（関数）が変わり、情報（〈担体、内容〉）も変わる。担体とは何かを議論することは、そのことを認識する認知者を想定することになる。すなわち、認識現象の観測者は認識現象を表象する像のなかに情報のうちの担体を《情報として》見る認知者の像を認める。担体もまた情報内容を持つ情報となるのである。すなわち、そこに必ず何かしらの意味（例えば先の例での光点）が含まれる。こうして、担体を情報として見る部分認知者が想定される。

極めて単純な物理的作用と思われる知覚作用でさえ、ひとはそこに意味を見いだしている¹、このことは、Peirceの有名な言葉、〈すべての精神作用は推論である〉に通じるものがある。Peirceの《推論》は、結果を導く原因を仮説として見いだす（彼が言うところの）abductionである[Davis72]。実世界の現象が何かの本性の結果的な現われであるとすれば、認識という推論は、その原因となる本性を仮説的に見いだすこと、すなわち、担体の意味（情報内容）を得ることである。単純に見たり触れたりする知覚現象でさえ、この種の《推論》作用が伴うのである。このことは、我々がすでに随所で指摘したこともある。そもそもこれは、我々の立場、即ち、分節という識別機能から認識論を出発することの必然的帰結のひとつなのである。

この構造をより詳しく見るならば、担体は下位の情報の集まりである。ここでいう下位とは環境（レアルな実世界）により近い位置のものである。すると

$$\text{情報}(i+1) = \langle \{\text{情報}(i, j)\}, \text{内容}(i+1) \rangle$$

という、自己回帰的な情報の構造を考えることになる。すなわち、認知者は部分認知者からなるフラクタル的構造をとる。ここで、担体すなわち集まり{情報(i, j)}は、内容(i+1)に依存して切り出されるものであることに再度注意が必要である。調節作用によるフィードバックによって担体が影響を受け変動するのである。その担体を部分認知者が分節したものがそれぞれの情報(i, j)の担体になる。この部分担体が部分認知者の内在化作用によって情報内容を引き出し、それらの集まりが上位の担体を形成する。そして、上位においてそこから内容が引き出されると、それが上位の内在化作用に影響し、部分認知者に渡される情報が変わる。こうして、トップダウン（遠心性）、ボトムアップ（求心性）のせめぎ合いが起り、認知者が知的システムとして機能する。ここで部分認知者は認知者と相似である。認知者が部分認知者からなるフラクタル構造を取るのを、これを情報のフラクタルモデルと呼ぶことにしよう。

ここで、階層を上げることは（メンタルな）視界を広げることにとりあえず留意したい。すなわち、視界を小さくするときにはモナド的なものが対象の要素とされるが、それらは担体を構成するものとして上位の情報を作りだし、より広い視界を持つことで出来る対象要素を形成するものとなる。この違いは表象空間を構成するパラダイムの違いとしてすでに述べたとおりである。しかし、実態的には環境から表象空間への変換過程である情報の構造にそれが内在していると考えの方がより自然であると思われる。これが情報の《多相性》の由来である。

情報(i, j)の集まりが担体(i+1)となる仕組みについてもう少し詳しく見ておこう。

¹仏教では、知覚作用を五段階に分ける。色（しき）・受・想・行（ぎよう）・識の五蘊である。五蘊は物質と精神との諸要素を取めるものとする。色は物質及び肉体、受は感覚・知覚、想は概念構成、行は意志・記憶など、識は純粋意識である。しかし、唯識論ではこれらの存在性（区別すること）を否定する。

情報(i,j)は、〈担体(i,j), 内容(i,j)〉である。すると、担体(i+1)と〈担体(i,j)〉との関係はどのように考えることができるだろうか。この議論では厳密性に欠けているので、安直に数学の集合論に頼ることは出来ないが、その概念を借りて論じることしよう。すると、担体(i+1)は集合〈担体(i,j)〉から得られるものであるが、〈担体(i,j)〉はi層での担体からなる集まりである。この集合に内容(i+1)が認められ、結果、i+1層での担体集合の一要素であると見做される。逆にこれらの集合が全体のなかで総合的に意味付けられたとき、それがあらたな集合の要素として認められるのである。このようにみれば、情報の階層構造は集合のベキの階層構造であると見做すことができる。すなわち、情報の多相性に見られる階層を上げるのは、先に述べたように単純に視界を広げるのではなく、ベキの階層を上げる、すなわち部分集合が上位ベキ集合（部分集合の集合）の要素として見做されるという質的な変化を伴うのである。認識の不思議さは、このように、全体のなかの意味ある部分を見だし、それを上位のベキ集合の要素に転換するところにあると言ってもよい。部分が集まって全体を作るが、その全体が逆に部分のまとまりの意味をあたえ、その部分がベキ集合の一要素と見做されて一段上の集合を作り出すのである。このような全体と部分の相互作用が知的作用の秘密のひとつの根源になっている¹。

なお、これまでの記述では部分認知者は内在化過程にのみ含まれているが、外在化過程、すなわち、表象から外界への働き掛けにも対称的にそのような部分認知者を含ませる図式を考えることができる。人間や動物の行動はこのような多くの部分認知者とそこにおける調節過程によって制御されていることは想像に難くない。行動に対する調節ループは環境を経由するループが重要な意義を持つ。このことについては次章で提案するモデルでの議論を待たざるを得ず、そこで詳しく述べる。

ここで重要なことを指摘しておかなければならない。これまでのモデルでは環境と表象空間を想定した上で写像を見てきた。しかし、ここで見たように分節を第一義に考え、それに倣するならば、両空間よりも両者の相互作用を中心に見定めるべきである。作用を分節するところにその両端に空間が想定されるのであって、その逆ではない。情報担体のその担体という具合に際限なく追い求めていっても、かならずそこには内容を伴い、逆に内容側を際限なく上昇していてもとどまるところがない。その両者のいわば極限に環境と表象空間を見ることが出来るのである。

さらに、我々のフラクタルモデルではフラクタル構造になった認知者のイメージを作っている。もはや単一の環境（対象）に向かう単一の認知者という図式は受け入れられない。しかもこのような複雑な構成が分節によって生じたことを想起するならば、各部分認知者のいずれも独立自存するものではなく、すべて反照的相互依存関係を構成する項に過ぎないのである²。

¹類似の議論をたとえば[Palmer77]が、簡明に「部分から全体へ（下から上へ）」「全体から部分へ（上から下へ）」と述べている。しかし、この種の議論は非常に多くの人々が昔から行なっていることである。問題はその構造をどのように明らかにするかである。我々の立場からすれば、情報処理システムとしていかに実現するかである。

²この意味で、[Minsky87]などに見る多エージェントアーキテクチャとは根本的に異なるものとなつて

4. 5 記号と記号情報

光学モデルにおいては三世界モデルにあった記号世界が消失している。これは、ひとの認知にあっては記号世界を含ませる必要はないという我々の立場に基づくものである。では、ひとの認知活動において、記号の役割をどのように考えるべきなのであろうか。

記号という語は様々な意味に使われ、またそれにしがつて様々な記号論があるが、ここでは広義に使い、文字やコンピュータのコードのほか、のろし、表情、映像なども含めることにする。言葉は単純なサインやシグナルから発達した記号（シンボル）のひとつである。発達した記号体系は独自の記述力を持ち、論理の命題を構成することさえ出来る。しかし、そのように発達すると、その意味が問われ、そして、記号体系での変換システム（計算、すなわち推論）の合理性が問われるようになる。

このような記号とは何であらうか。記号は一種の担体としてなにかしらの情報を運ぶ。その情報、つまり記号情報とは、ある情報を代替する情報であると考えられる。ただし、それは括弧付で、その括弧は、そのなかが何かの情報の代用であることを示す。のろし（によって運ばれる情報）は、敵の来襲という情報を代替する（表現する）情報である。「敵の来襲だ!」という言葉も同じである。一般には、記号とは、文字パターンや文字コードそのものを指すことが多いが、記号の役割はこのような記号情報を運ぶことである。文字（を担体とする情報）は書かれた内容を伝える情報を代用するものであり、X線画像から得られる情報は体内の様子についての情報を代替するものである。記号情報は、このように見るならば、その括弧を外すと、本物の情報とは情報担体が異なるものの情報内容が類似する情報であると見做すことが出来る。すなわち、次のような並列関係が想定されるものと考えられる。

記号情報_s = [<担体_s, 内容_s>]

記号情報_sで代替されると想定される実情報_i = <担体_i, 内容_i>

ただし、担体_s ≠ 担体_i

内容_i = 内容_s

記号情報のよさは、担体が実情報の担体よりも物理的に簡単に実現、制御出来ることであり、そこに記号を用いる意義がある。情報は内容さえ届くならば、その物理的実現方法は本質的に問われない。

いる。しかし、表面的にはしばしば類似性が現われる。

また、情報を記号化することによって情報の外在的な処理を可能にする。すなわち、記号化することによって、情報の生成、加工、配付（伝達）、蓄積／検索のいずれにおいても情報を道具として扱える手段を提供するのである。例えば、記号概念から記号体系が作られ、計算（推論）操作の外在化が可能になる¹。記号計算は、情報内容の操作（推論、思考）を担体（の極限である外在的、物理的事象）の操作で代替するものである。

もちろん、記号情報とそれに対応すると想定される実情報との情報内容が全く一致するようなことは（数学的なモデルではともかく）実際の世界ではありえない。しかし、一致するように意図されて記号情報が作られ、また、殆ど一致すると受け取ることが可能であるという暗黙の了解があり、その点こそが記号の存在理由になっている。記号情報の送り手は（もし意識的な送り手があれば）受け手がそれによってもともと代替することを意図した情報内容を受け取って欲しいと考える。これは、送り手側が記号情報に込めた記号情報の《意味》である。受け手は記号情報として受けたときには、そこから記号情報が代替しているはずの情報内容を見いだそうとする。こうして受け手側から見た記号情報の《意味》を取り出す。当然ながら、送り手と受け手とはその意味内容は必ずしも一致しない²、というよりも、送り手と受け手との表象空間に同型性がなければ、両者の《意味》は一致しようがないのである。このことは情報を客観視することの危険性を警告するものではあるが、ここではコミュニケーションは原理的に成立しないことになる。コミュニケーションは記号情報のやり取りによってのみ生じるものであるからである。どうやらここに再び我々がこれまで前提としてきた三世界モデルパラダイムのひとつの本質的な問題点を捉えて取ることが出来る。

なお、記号についてここで述べた立場を取ると、記号の代表である言語の意味はFrege流の真理値にはならない³。言語情報はそれが代替する実情報と並行して学習され、それを代替する記号（言語）情報の意味内容が同時に修得される。すなわち、常時並行学習により、語の意味は語の使い方で修得され、定まる。そして、情報内容は（したがって言語の意味も）、パターン化された形式を当て嵌めることによって抽出される。意味の客観性はいわば社会的共通性のうえに成り立つものであり、FregeやCarnapが仮定するような完全な公共性を持つものではない。後期 Wittgenstein での“meaning is use”や[Putnam81]の同様の言語意味論は、実は、ここで議論したように、記号情報が代替情報であることから帰結されると考えられる。

また、メタフォアは記号情報の多相性によって作られるものである。たとえば、「りんご」という

¹ 算盤や算木は計算と思考の道具としての記号情報の役割をよく示している。

² 俗に言う「痴問問答」である。

³ Frege以来、Montagueに至るまで、文の意味を真理値とする意味論はいまでも極めて強固に続いている。この立場から意味論を発展させた代表的存在である Carnap は、「文の意味を知るとは、文が可能な事例のどの場合に真であり、どの場合に真でないかを知ることである」と主張した[Carnap47]。意味を真理値とすることは、同時に語の意味を客観世界への写像とすることが伴う。現実の自然言語を想定するのではなく、むしろ数学やコンピュータで使われる精密言語の理想を求めたのであろう。

言葉は、文字通りのりんごを伝える場合と、それがメタフォアとして、例えば「健康」を象徴するものとして伝えられる場合がある。この場合、「りんご」という記号が担体となって「健康」という情報内容を運ぶ。記号論では、単体としての記号の直接の意味を代表的意味 denotation、メタフォアとしての記号情報の意味を伴示の意味 connotation と呼んで区別するが、我々の場合には、このようなタイプ分けをしない、というのは、すでに述べたように、この多相的階層性は記号のメタフォアに限らず、あらゆる情報に認められるからであり、また、この構造は再帰的に生じるものだからである。たとえば、担体としての記号である「りんご」という文字列は、三文字のパターンの並びを担体とし、「りんご」という語を情報内容とする。多くのメタフォアもまた、このような再帰的構造をとる。

4. 6 認知の状況依存性

最近、さまざまな分野、たとえば言語学、心理学、教育学、そして人工知能[Winograd86]において、認知活動の状況依存性が強調されている。ヒューマンインタフェース[Suchman87]や、さらには伝統的なソフトウェア工学においてさえこの見方に立つ反省が高まってきている[Goguen90]。それらは situated semantics, situated education, situated actions, situated object と言った用語が示すように、認知活動が状況にさまざまな面で依存していることに注目し、その重要性を基礎にしたパラダイムを提唱するものである。たとえば教育学では、環境（実社会）から切り離された従来の学校教育の欠点を指摘し、環境との密な相互作用のある場での教育を重視する。心理学では、人間の知的活動における外的状況への依存性が注目され[Gibson79]、環境から切り離された場で行なわれる従来の心理実験法が根本的に見直されている[Norman88]。

このような認知活動の状況依存性もまた、認知活動を環境と認知者の相互作用として捕える我々の立場から必然的に帰結されるものである。

4. 7 間主観性

情報によるコミュニケーションの成立を見るには認知者間の関係を見なければならぬ。コミュニケーションに使用される情報は先に述べたように記号情報である。記号情報がそのものとしてみられるのではなく、何かを代替するものとしてみられ、そのときの情報内容が送り手と受け手とではほぼ一致するとき、コミュニケーションが成立する。しかし、情報内容が一致するとはどのようなことだろうか。我々の光学モデルパラダイムでは、情報内容は表象空間に位置付けられ、表象過程と表象空間、すなわち表象構造は認知者固有のものであり、複数の認知者に共有されることを前提としていない。このパラダイムで共有されると想定出来るのは環境である。しかも、その環境も実は認知者が知りえ

るのは、プリズムによって分節されたものの射影でしかない。すると、コミュニケーションが成立する条件は、各認知者における表象構造のなんらかの共通性を仮定し、その共通的空間における要素の比較が可能であるという要件を伴う。では、この比較は誰がするのであろうか、それぞれの認知者である。その表象空間のなかに、自己の像を含むことを仮定したように、他の認知者像をも含む、このようにして、＜自、他＞の分節を基礎に認知者はその表象空間の要素として自と他の状態を表象するものを含み、それによって相手の意図を図り、推測し、調整するのである。しかし、このとき出来ることは他者も自己と同じ（類似の）表象構造を持つのではないかというもっとも基盤的な仮定の設定である。もしそれがないとすればコミュニケーションは永久に始まらない。この仮定は、生得の構造が認知者間で共通していることに依存する。認知者としてのひとはこのような、いわば強いパラダイムを持ち、それが互いに相似していることを前提として、はじめてコミュニケーションの可能性を開ける。事実、ひとや動物が種に共通する強いパラダイムを持つ証拠は多い。この点についても、次節で詳しく再論する。

このような間主観性が成立するための表象構造の同型性（類似性）を保证する原初的な要素のひとつが時空間の変化の広がりを作り出して出来る事象 event であろう¹。事象を分節して時間と空間の概念が発生する。これらの概念の成立（即ち、表象空間での要素になること）のうに、認知者は環境の状態、自己の状態などの概念化が出来る。すると、環境に時空間の座標系が設定される。こうして、自己から見た他の事物の位置付けが可能となる。この座標系は自己を中心にするとは言うまでもない。任意の点を原点として見る観測はあくまでも間接的な構成による。

時空間の座標系によって他と他の振る舞いを表象し位置付けることが出来るようになる。このような共通基盤の上に、異なる認知者の表象空間の同型性が進む。しかし、認知者がさらされる環境の領域には物理的またはその他の理由から限りがある。したがって、構造的に組み込まれた同型性以外のものについては自己がさらされた世界によってのみ調整作用が進むところから、社会性が発生する。言語体系がその一例である²。そして、前述したように、記号としての言語が代替する情報と同時並行的に学習されることと相俟って、限られた範囲でのコミュニケーションが可能となる。また、共通基盤を利用することによって必要最小限の担体量によってコミュニケーションが効率良く行なえるようになる³。さらに進めば、相手の意図を察知し敷衍することが出来、俗にいう、一を聞いて十を知る事が出来る。

¹ この概念に基づいて世界観を再構成する試みが[Whitehead19]によってなされている。本稿での事象の概念はこれに基づく。

² [Chomsky75]によれば言語の構文生成能力さえも人間の組み込み構造であるとされるが、果たしてどうか。たとえば、名詞と動詞の区別さえ見られない中国語はChomsky流の構文構造を当て嵌めることが出来るだろうか。

³ もし二認知者が全く共通の表象構造を持ち、環境を共有するならばコミュニケーションは不要になるであろう。

コミュニケーションが進むと、それにより、表象空間の同型化はさらにすすみ、記号体系がそれを加速する。いわば、弱いパラダイムが共同体に作られるのである。言語の解釈を意識的に共通化し、思考を類型化するパラダイムがこうして出来上がる。これが通常言われるKuhn流のパラダイム論でのパラダイムである。一般的にパラダイムは階層性をなすが、これについても次節で詳述する。

記号体系は物理的媒介によって情報を外在化し、固定化する。さらに、コンピュータのような知的システム（計算システム）の発達で単に人間が読んで解釈可能な固定化された情報（実は担体）だけでなく、外在化された記号を処理する作用（機能）までも外在化され固定されるようになった。ソフトウェアである。情報内容を情報によって起こされる行動であるとするならば、ソフトウェアとコンピュータの組み合わせはまさに機能に関しての（担体のみならず）情報そのものを固定化し外在化したものになる。たとえば、コンピュータに問い掛けると、プログラム化された《知識》によって答えられるのである。このように考えると、人間の認知モデルをまるごとコンピュータ内に作成することが可能であるかのように考えられ、事実この立場は機能主義 functionalism として現在でも多くの認知科学者に支持されている。機能主義によれば、機能（入出力関係で規定される）は純粋に形式化が可能であり、統語論として結晶化できるものと見做される[Fodor81]。しかし、情報の意味は記号化行動として必ずしも外在化されるものばかりではなく、内在的な表象空間との相互関係を視野にいれざるを得ないのである¹。この議論は、プログラム言語の意味論を巡って、有限オートマトンによる意味論構築を行なったStrachyの力作に対するScottの全面的な批判²において、機能主義と表象主義 denotationalism との違いとして明確に見て取ることが出来る。外在化されたものはいずれにせよその《意味》をまた別な形で求めざるを得ず、こうして、意味の記号化は無限退行に落ち込むのである。そして、それを止めるべく期待されるのは、記号解釈者としての人間である。しかし、厄介なことに異なる人間が互いに常に同一の解釈を行なうことは期待出来ない。

4. 8 パラダイムの階層性

表象構造にはそれがどんなものであれ、固定部分と可動部分がある。固定部分こそが認知者の認知の仕方と性能を基本的に規定している。固定部分は、学習も反省も、つまりは調節が出来ない部分である。しかし、その役割があればこそ、帰納推論やパターン学習などとも不良構造を持つ問題である逆問題、あるいは、探索を含むNP-困難な問題に対してそれなりの求解が出来るのである。これらが全くないとすれば求解に組み合わせ数的爆発を招き、事実上解を得るに至らない。また、類を同じくすることから互いにその固定部分がほぼ同型であることによって、ひとつどうしのコミュニケーション

¹[Putnam88]は、彼自身のかつての持論であったこのような機能主義に対する批判の書でもある。

²[Stoy77]のScottによる前書き。

ンが可能になる。認知科学における素朴理論の存在¹、幼児における共通の認知機能、高次の精神作用と思われていたものの生理的構造による説明など、人間の表象構造の固定部分とその相互類似性を裏付ける知見にはことかない²。

そもそも我々の認識論の出発点にある<地、図>の分節が行なわれるためには、図に対する注目が必要である。注目（これも調節作用による内在化作用の変化に他ならない）するためには、転変する対象の一部にある種の同一性を認めなければならず、同一性を認めるためには図としての切り出しが必要である。この循環を絶ち切る鍵は表象構造の固定部分、すなわち、《強い》パラダイムにある。これは種の保存本能などの生物的要因によって作り上げられたものであると考えることが出来る。あたかも、サーモスタットが温度の変化に対して定められた反応をするようなものである。

この固定された強いパラダイムの上に、内在化作用が調整される。調整のされ方は極めて周期の短い、対象範囲の狭いものから、超長周期で極めて広範囲の対象をもつものまでである。すなわち、パラダイムは強いものから弱いものまで階層性をなすと考えることが出来る。短周期で局所的なものの例では、眼球の焦点合わせ、中周期で、中規模範囲にわたるものでは言語の修得、そして、超長周期で超広範囲にわたるものとして、環境に適応する種の進化のための遺伝子変化がある。最後の例がもっとも強いパラダイムを形成する場である、この例では認知者は個体ではなく、種である。何を認知者とするかもまた、認識現象を見る観測者のパラダイムになることがある。いずれにせよ、この意味でのパラダイムの階層性は認知者の視野の大きさに依存する。

では、以上の議論における認知者のパラダイムとは我々のモデルにおいてどのように位置づけることが出来るのだろうか。ここまでの議論で到達した光学モデルにおいては、それはプリズムとレンズの調節作用、そして表象空間の構造、すなわち表象構造全般であるということになる。しかし、はたしてそれだけがパラダイムの全階層を支えるものになるのであろうか。種を超えたより基盤的、一般的な前提条件を考慮する必要があるのではないだろうか。例えば、すでにわれわれは時空間を合わせた事象の概念をもっとも原初的な概念として導入した。この概念は一体どこにどのように位置づけることが出来るのであろうか。いまや、パラダイムの全階層を基盤で支える概念をも視野にいた認知モデルが必要である。

¹最近、認知科学において素朴理論なるものが注目されている[波多野92]。我々の認知者モデルを当て嵌めたとき、これらの固定部分が論理として表出したものと考えられる。

²数例を上げる。生まれたばかりの小山羊や小羊が立ち上がった直後に、目の前に崖淵の絵を提示するとなじく[Gibson60]。網膜の損傷箇所や盲点で、そこでは見えないはずのものが外延されて見える現象があり、これが高次の主観的作用ではなく、神経網の構造的作用であることがわかってきた[Ramachandran92]。

第5章 トポソイドモデルの提案

情報処理技術および認識論でのパラダイムについてみてきた。しかし、認知システムのパラダイムを統一的に体系立てるには多くの不備があることがわかった。特に、これまでのモデルで重要な役割が与えられた表象構造の概念に多くの問題が残されている。本章では、数学における圏（カテゴリー）論を援用してこれまでの議論を体系的に再検討する。ただし、ここで数学概念を援用するのは、本質的に数学的厳密さになじまない認識論的議論ではあるが、その議論を出来るだけ精密に組み立て、正確に読者に伝えるためであるにすぎず、実働技術に直接役立つような数学的理論体系を追求しようとするためのものではない。実際、本章の後半の議論で、数学的体系によって認知システムを完全に記述することは出来ないことを示し、それに対するアンチテーゼとして開いたシステムとしての認知（情報処理）システムの新しいモデルを提示する。

5.1 関数と圏

認識論で述べてきたように、人の認識（あるいは認識に対する行動的反応を含む認知過程すべて）を説明するには関数（写像）の概念がふさわしい。関数概念は、入力空間（定義域）の要素が出力空間（値域）の要素に変換される対応関係を示すものである。その対応を（これこれの場合はこれこれであるというような）規則として与える場合には、入力空間における要素の位置を使用することが可能であると前提される。つまり、入力空間の全ての要素と与えられた要素との関係について、関数はいわば《知る立場》にあるものとして構成される¹。そして、出力値も、出力空間内に適切に《位置付ける》規則を与えることが可能であると前提されている。すなわち、関数は出力空間についても《知る》立場にある。これが関数に対する漠然とした概念であろう。関数は、入出力空間をあわせてひとつの認知システムを形成するのである。この概念を抽象化し、基礎概念とするのが圏理論である。

圏は対象 object と射 morphism および射の合成から構成される。対象はこれまで空間と呼んできたものに相当し、射は関数あるいは作用に相当する。圏であることの条件として、射をさだめればその両端の対象（関数における定義域と値域に相当）が一意に定まる。射は、関数、作用、機能、推移、因果、依存、変換、対応、写像、射影、含意などさまざまな概念を抽象したものと考えられる。そこに共通しているのは方向性の指定である。方向性はダイナミズムの基本であり、本質である。なお、対象 A から対象 B への射の全体を通例にしたがって $\text{Hom}(A, B)$ と書くことにする。

圏の概念を用いて認知モデルを再構成してみよう。もともと我々の認識論的立場は作用を第一義に

¹もちろん部分関数はこのかぎりではない。

置くものであったから、我々の認識論を述べる体系として圏理論は極めて有効であると考えられる。

5.2 基本モデル

認知の出発点として我々は反照的分節を取り上げた。圏理論によってあらためて考察してみよう。

原初的な分節は混沌（または空）の分節である。圏では射を与えると両端の対象が一意に定まるから、混沌は世界の推移を表わす射の集合であるとするのがよいであろう。その全体を $\text{Hom}(E, E)$ とする。混沌では考えられるあらゆる推移（あるいは作用）が未分化の状態にあるとする。ここには反照的対立もなく、ただ転変と漂う世界の状態の推移の集合だけである。その推移のひとつを取り出すのが分節である。その図式を次に示す。矢印は、ひとつの射を現わし、 $\text{Hom}(E, E)$ の一要素である。

$$E \longrightarrow E$$

図5.1 混沌における推移

認知者が世界を認知するとき、すなわち、認識し、反応するとき、混沌を分節する。混沌に含まれる射を選択し（考察対象として分節し）、分解する（複数の射の合成であると見做す）のである。我々が今、考察対象としている認知現象も現象であるから $\text{Hom}(E, E)$ の一要素である。これを、環境 E と認知者 R の相互作用の合成であると見做す。すなわち、認知者を（圏用語での）対象 R 、環境を（同じく圏用語での）対象 E であるとすれば、 $\text{Hom}(E, R)$ の射と $\text{Hom}(R, E)$ の射を合成したものが認識現象の一つをあらわすものとするのである。この関係を図式化すると下図のようになる。ただし、 $f \in \text{Hom}(R, E)$ 、 $g \in \text{Hom}(E, R)$ とする。 $f \circ g$ の全体は $\text{Hom}(E, E)$ の部分集合になる。ここで“ \circ ”は射の合成を表わす。

$$\begin{array}{ccc} E & \xrightarrow{f} & R \\ & \xleftarrow{g} & \end{array}$$

図5.2 認知現象の分節

射 f は環境から認知者への働きかけであるから、これを情報作用と呼んでよいであろう。情報作用は環境の状態を認知者に伝える作用である。前章での《情報》は、情報作用へのある入力（担体）とその出力（内容）の対である。認知者から環境への働きかけもまた、広い意味での情報作用といえ

るが、それに認知者の行動も含まれることになる。以降、認知者から見て前者を求心情報作用、後者を遠心情報作用と呼んで区別する。

このような射の概念で分節を解釈することには重要な意味がある。すなわち、環境も認知者も自存するものと認めず、単に射の両端にしか過ぎないのである。もし、旧来の二元論的な感覚で分節を見るときのように、対象の自存性を暗黙の了解として議論をはじめるとなれば、環境と認知者の境界を定めるとか、あるいは、それぞれの輪郭を定めて両者を介在するものを見ようとすることになり、その結果、議論に破綻をきたす。特に、デカルトの二元論は、独立自存する認知者を《心》とし、心が身体を含む外部世界（これも独立自存すると見做される環境）を認識するという構成を採る。すると、《知る世界》が忠実に《知られる世界》を映し出ているか否かの判断、すなわち両者の比較は誰がするののかという疑問が残され、結局《神》のような不可知な認識者が必要となる。我々の言葉で表現するならば、射があらわす作用のどこまでを環境が行ない、どこからが認知者が行なうかを検討しても、所詮は辻褄があわなくなるのである。

このような二元論的な立場で、仮に〔廣松82〕の事的認識論を我々の図式に当てはめてみよう。まず、認識現象を〈能知、所知〉に分節する。それぞれ認知者と環境に対応するとしてみよう。確かに図5.2の図式は両者の相互作用を表わすものとなっている。事的認識論では、所知をさらに〈所与、所識〉に分節する。すると、我々の図式における環境Eを所与と所識に分けることになり、その内部構造を与える形になる。では、環境を構成する所与から所識への射とは一体なんだろうか。所与とは能知に《与えられる》ものであり、所識とは能知が所与から見いだす意味であったはずだから、所与から所識への変換機能（関数¹）は能知が持つべき機能ではないのか。もしそうならば、所知は能知の一部になり、分節しないことになる。

事的認識論は、そもそも二元論を徹底的に攻撃するものであるから、以上のような論理展開は間違いない著者の意図するところではないだろう。では、どのように解釈するべきであろうか。能知、所知の分節を環境と認知者に対応させたとくに誤りが生じたのである。これこそ、二元論のパラダイムによる解釈であった。そこで、所知も能知も対象ではなく、射であるとし、所知： $E \rightarrow R$ 、能知： $R \rightarrow E$ のように、（用語に多少の無理があるものの）射の分解に対応させる。そして、射である所知をさらに〈所与、所識〉に分解する。ここで、もちろん所与も所識も射であるとする²。こうして、先の奇妙さを避けることが出来るのである。

¹実際、〔廣松82〕では所与から所識への変換を「関数的」としている。

²しかし、〔廣松82〕を見る限り、〈能知、所知〉、〈所与、所識〉などは両者の相互関係を示すものとして扱われ、用語から感じられるように、各項は射の両端となる対象を示すものとし受け取れない。たとえば、所識は所与を入力とするある関数の出力であるとする。そこに議論の分岐が生まれるのではないかとと思われる。

5.3 表象空間

では、この構図で、《認知者》とは一体なにを指すのであろうか。射を関数とすれば、 f の値域であり、 g の定義域であるから、認知者というよりも、その状態空間に相当すると考えることが出来る。環境も同様であり、状況を環境の状態であるとするならば、状況の空間であると見做せる。しかし、認知者側からの見え方は、作用 g を与えると反応 f を返すのが環境である¹⁾。一方、環境から見れば、 f と g の合成が認知者に見える。この視点から見れば、認知者は、ある状況のある状況に変えるものと見做されることになる。認知者の言明が認知者をあらわすものとすれば、まさに、状況を状況に変えるものであり、状況意味論[Barwise83]の基本的立場に対応するものとなる。このように、認知者も環境も、通常の物象化した(二元論的な)観念に基づいてみるならば、その輪郭は視点によって変わり、固定していないことになる。二元論的認識論はこのような問題を持っているが、この欠点を承知し、正しい理解を見失わないよう注意しながら、我々も時に便法としてそのような見方を利用することがある。

では、前章での表象空間とは何か。環境(実世界)を抽象化して映し出す空間であるとしたが、さきに指摘したように、その概念は曖昧であり、問題を残していた。そこで、この概念をより純化し、以上のような意味での認知者の状態空間であるとする。こうして認知活動は状況空間と表象空間の相互作用を主体とすると考えられることになる。

5.4 情報作用

環境(状況空間)と認知者(表象空間)との相互作用を示す射を我々は《情報作用》と呼んだ。そして、この射は再分節されることを示唆した。前章では、担体が情報と見做され再分節されることを述べた。ここではそれをどのように解釈するべきであろうか。まず、(求心)情報作用を担体化作用と意味付け作用の二つの射の合成であると見做す。そして、担体化に付随する対象として環境と担体空間(担体で構成される空間)を考える。遠心情報作用も求心情報作用と逆方向で並行するものとして同様に考える。すると、次のような図式が考えられる。ここで、 R' は担体空間、 R は表象空間である。

¹⁾[Gibson79]はこの事情を環境に意味が存在するという表現で述べ、それを独得の用語である

affordance と呼んでいる。認知者の「頭のなかに」意味があるとする従来の思い込み(パラダイム)に対する大胆な反論である。しかし、もちろん、「環境にのみ」意味があるとするのではない。二元論的パラダイムに対して警告しているのである。

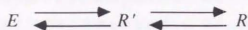


図5.3 認知現象における情報作用の分節

ここで、再び、担体化や意味付けを誰が行なうのかという疑問が生じるかも知れない。しかし、それは二元論的発想である。この図式では、認知者が行なうものと見ることも出来るし、環境が与えていると見ることもできる。しかし、どちらも（少なくとも我々のモデルにおいては）正しくない。射はどちらの対象に属するものでもなく、反対に、どちらの対象も射に付随するものだからである。認識論的に見てもこのような二元論的理解は正しくないことはすでに何度も述べた。

ここで、担体空間における担体とは何であろうか。前章で述べたように、それ自体実は表象であり、担対空間は一種の表象空間である。したがって、担体化も情報作用の一種であると見做され、担体化はさらに再帰的に限りなく分節されることになる。

図の図式でこの性質を反映した認知現象をより精密にあらわすとすればどうなるであろうか。射 i を情報作用、 i' を担体化とする。どちらも $\text{Hom}(E, R)$ の要素である。また、意味付けの射を m とする。すると、

$$i = m \circ i' \quad \text{ただし、} i, i' \in I, I \subseteq \text{Hom}(E, R), m \in \text{Hom}(R, R)$$

となる。遠心情報作用についても同様である。これにより、下図のような連鎖の図式が形成される。



図5.4 認知現象における連鎖

このような分節は次のように考えても成り立つものである。すなわち、環境から表象空間への作用（変換、写像）とは、まず環境を認識する部分があり、次にその結果に従ってある出力を定めることであると考えるのである。このように考えた途端に、この作用を二分したことになる。表象空間から環境に向かう作用も同様である。人工知能でのプロダクションシステムで言うところの、ルールの認識部と行動部への分解である。作用（関数）というのは本来的にこのような入力機能と出力機能という二分化を秘めているのである。

この図式は豊富な内容を持ち、さまざまな認識論的解釈が出来る。まず、二元論的発想で認知者の

輪郭をどう見るか、情報に内容を認める作用を認知者の行為であるとするならば、その輪郭は限りなく環境に近付くが、しかし、決して環境に達することはない。また、あるところで認知者の輪郭を設定すると、その内側は表象空間の上でのやり取りであるから内部的推論である。輪郭の外側は認識または行為の作用となる。

このように、輪郭は観測の視点によって揺れ動き、内側と見做していたものが外側、つまり対象化され、外側とされたものが内面化されるのである。たとえば、通常の意識では自分のものとされる手足が、意識を変えれば観察の対象になる。こうして、(より内側の)自分が自分を見つめる構成が出来上がる。しかし、認知者の輪郭をいくら狭めても残るものがある。認識論でしばしば指摘されているように、自己と環境とはまさに内と外、上と下のように、反照的ではあるが相対的な分節の結果であり、境界は見方によって揺れ動くのである。

さらに、認知者の輪郭を仮想的に定めても、その認知者に固有の表象空間は一義には定まらない。表象空間とは認知者内での推理連鎖(射の連鎖)における射の接点にしか過ぎないのである。

また、情報の双方向性も重要である。求心情報と遠心情報の密着した相互作用によって認知機能は成立するのである。

しかし、この構図ではフィードバックによる自己調節の機能の説明は困難である。たかだか環境の条件によってまえて定められた規定にしたがって反応が変わるだけであるが、ものの見方が内部状態の変化や環境の変化によって変わるというありふれた認識現象を説明出来ない。

5. 5 フィードバック作用

以上の認知構図をさらに拡張する。前章でも述べたように、人間の認知では、様々な周期で絶えず自己調整を繰り返している。これらは皆、環境から表象空間への作用を変化させるものであると見做せる。すなわち、ある状況が入力されると、それが一定の変換を受け、認知者の表象空間に位置付けられるが、その値が遠心的情報作用への入力となって調節機構を動かし、それが環境から認知者への作用を変化させるのである。ニューラルネットモデルにおける逆伝播誤差修正、パターン認識におけるパターン学習なども、このようなフィードバックによる調整機能の例である。また、最近ソフトウェア工学で有用性が高まっている自己反映機能 self reflection もここでいう自己調節機能の一種である。

この調節機能を説明するためには、関数空間の性質を持つ対象を我々の圏に含めなくてはならない。関数(作用)を変化させる(あるいは選択する)機構を説明しなければならないからである。圏理論では、関数空間に相当する対象を対象のベキ表現で示す。たとえば、状況空間(環境)から表象空間への関数の集合(関数空間)を想定したとき、それに相当する圏の対象を R^E とあらわす。この対

象および関連する射が数学的空間のベキの性質を持つためには条件が必要であるが、それは満たされるものとする。ほかにもこれからの記述に必要な種類の対象が含まれるものとして、我々の圏は積閉圏 Cartesian closed category であると仮定する¹。

この準備の上で、再度、求心情報作用の分節を試みよう。すると図5. 5のような図式が考えられる。ここで F は $E \times R^E$ の部分対象であるとする。部分対象とは部分空間に対応するものである。圏が部分対象を持つには条件が必要であるが、その条件を満たすものは後述するトボスである。 F が $E \times R^E$ そのものにならないのは、認知者の能力の限界、または、処理の効率化という積極的意味合いから制限されると考えられるからである。射 p は E の要素を R^E の要素である関数に適用する評価関数に相当する。

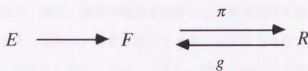


図5. 5 認知現象における調節機構

環境の状態、すなわち状況は、状況を表象に変換する関数（内在化関数）と対になって射 p に入力され、射 p により値が評価される。すると、その評価値が射 g によって変換されて R^E の要素である関数となる。こうして、内在化関数が調整されるのである。

この図式を見直すと次のことが分かる。求心情報作用を分節する中央の対象 F とそれに付随する射 p とを合わせると、まさに情報認識機能の別な表現になっている。すなわち、環境の状態を表象に変換する機構を《対象化》し、《内部》に組み込んだものと見ることが出来る。認知過程の中間に部分認知機構を組み込み、それを射 g で制御する構図になっているのである。この構図もまた、この意味で再帰性を持っている。すなわち、部分認知機構も同様にその部分認知機構を持ち得るのである。二元論的観点から説明すれば、認知者の内側に部分認知者を持ち、それを外側から制御する構図になっているといえよう。

5. 6 圏と集合

これまでの議論では、簡単化のために圏の理論的検討をあまりせずに、認識論的な解釈を自由に施

¹積閉圏は、λ計算型の関数計算と直観命題論理とを統合し、λ計算＝証明過程であることを示すことの出来る圏である〔田村82b〕。このことは語られる認識論の水準を示唆するものと思われる。すなわち、ここで議論している関数は同時に推論でもあるが、命題推論の水準であり、一般の述語推論を表わすことは出来ない。これについては後述する。

してきた。圏での議論は、ある対象の性質を他の対象との関係で規定し、あるいは性質を調べるという構成をとる。そこで、これまで行ってきた議論、とくに、関数空間やその部分空間を対象と見做す議論等については、それを可能とする条件について吟味が必要なのはいうまでもない。しかもそれは、以下に述べるように、単に数学的な厳密さのための吟味に終るのではなく、その議論の道具立て自体が豊かな記述能力をもち、多くの分野の共通的な基礎を与えることになるのである。特に、情報科学の重要な概念である関数と論理との統合化された体系を与えてくれるものとなる。このことは、認識論を深める上でも貴重な示唆を与えてくれるものと思われる。以下の議論は主として〔田村 82b〕によっている。

先に述べたように、我々の認知モデルを構築するにはすでに積閉圏の導入が必要になった。確かに、積閉圏は、対象を集合、射を集合間の写像（関数）と見做せば、集合の集まりを抽象化したものであると見ることが出来る。事実、任意の集合を対象とし、集合間の写像を射とする圏 **Sets** はそのようにして積閉圏となる。しかし、集合を論じるときに必ず生じる部分集合の全体、すなわちベキ集合の概念が積閉圏にはあらわれてこない。つまり、個々の集合の内部に自由に立ち入って論じることが出来ない。そこで、このような概念を明確に導入する必要がある。そうして出来るのがトボスである。

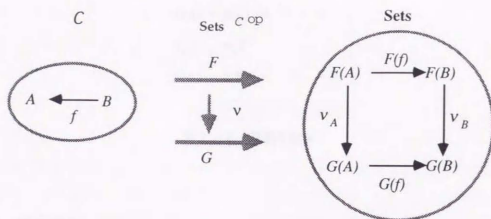
トボスは正式には

積閉圏 + 部分対象分類器 subobject classifier

として定義される。ここで、部分対象分類器とは部分対象を識別するための圏論における一種のしきりである。

詳しい説明は省くが、部分対象分類器は真理値関数とその値域の真理値集合に相当する。そして、**Sets** はトボスになるが、その部分対象分類器の真理値集合は二つの要素（真と偽）を持つ集合になる。これが古典論理の土台となる集合を特徴付けている。しかし、一般のトボスでは2値に限らない。

豊かな内容を持つ圏を構築するために集合論をモデルにさまざまなしきりを追加してトボスが出来る上がる。するとトボスは集合のあつまりの性質を持つのは当然として、集合には見られない興味深い性質を持つものになる。このようないわば**Sets**を超えるトボスの代表例として、任意の圏 **C** から圏 **Sets** への対応から作られる **Sets^C op** がある。これは **C** の各対象に **Sets** の対象である集合を対応付ける対応（関手と呼ばれる）を対象とし、関手間の射を、圏 **C** での射を集合間のある《自然な》変換に対応させる自然変換とする圏である。この圏は、トボスになる。関手は、圏 **C** の射（推移）を集合の写像（推移）に対応させるものであるから、《動く集合のプロセス》を示すと見ることが出来る。

図5.6 $\mathbf{Sets}^{C^{op}}$ の対象 (関手) と射 (自然変換)

大まかに言って, Kripke の可能世界 possible world を圏 C の対象と見做せば, 関手で対応付けられる集合は可能世界を構成する要素の集合であるとも見做せよう。これを Kripke モデルと呼んでいる [Goldbratt79]。しかし, 単純にそれだけではなく, $\mathbf{Sets}^{C^{op}}$ は, 関数概念, 部分集合概念, そして, 集合の要素概念などを表わす仕組を持つため, 関数と関数についての論理とを意味付けるしくみとなっている。すなわち, 多種高階直観論理の意味論を与える空間となっていることがいえる。そして, 部分集合分類器での真理値はもはや二値ではなく, 一般に無限となる。

5.7 トポスの認識論

想定する圏を $\mathbf{Sets}^{C^{op}}$ であるとして, 我々の認知システムモデルを再解釈するとどうなるか。環境 E はあたかも圏 \mathbf{Sets} の対象, つまり集合であるかのように見做した。しかし, この構成では要素間の対応付け (推移) が現象として与えられるだけである。もちろん, 実際は, 転変とつろう実世界の変化にある種の法則性を見いだしてそれ現象として認識するのである。ここで, 環境 E を $\mathbf{Sets}^{C^{op}}$ の関手とすれば, E は圏 C にしたがって推移する状況系列を表わし, 環境 E から自身への射である自然変換の成分は状況系列間におけるなんらかの写像となる。すなわち, うつろいゆく状況間にある種の対応関係を認め, それを現象として分節し同定することが認識であるという我々の認識観により近いモデルを与えてくれるものであると言えよう。たとえば, 「雨が降る」という現象を我々が認めるのは, 「晴れている」というそれ自体無数に変化する状況列と「雨が降っている」という (これも無数に変化する) 状況列とのなにかしらの対応関係として認識するからであろう。

$$\begin{array}{c}
 E(A) \rightarrow E(B) \rightarrow \cdots \rightarrow \\
 v_A \downarrow \quad v_B \downarrow \quad \cdots \\
 E(A) \rightarrow E(B) \rightarrow \cdots \rightarrow
 \end{array}$$

図5.7 環境の現象

5.8 認知図式

ここで、先のモデル作りに沿って、認知現象の分節を行なう。射 $n: E \rightarrow E$ を二つの射 $f: E \rightarrow R$ と $h: R \rightarrow E$ との合成であるとする。

表象空間 R は、ここまでの構成においては環境 E と全く同格な関手であり、対等である。ただ、認識論的に解釈すれば、万象を含む環境が変換 f によってより縮退されたものになると考えられる。たとえば、認知者から見て静止している物体は、時間要素を捨象して同一物と見做す、などである。この場合、環境の現象においては、個体は状態推移によって別なものと区別されるものであっても、表象空間 R においてはそれは異なる状態を持つ同一個体として表わせられる、というモデルを作ることが出来る¹。このように、なにを区別し、なにを区別しないかという議論をこの理論的枠組みの中で行なうことが可能である。

適応や学習など、認知における調節機能は《内在化作用》の変更（調節）によるとした。この内在化関数は、 E から R への関数である。トポスは積閉包圏であるから関手間の関数関係が定義出来る。

この関係は《外在化作用》についてもいえる。表象によって外在化関数 h が調節される。すなわち、調節作用により外在化関数空間のうちのひとつの関数が選択される。この調節は、しかし、内在化作用に対する調節と異なり、予測的行動を行なうアクションセットとでも呼ぶべきものである。

内在化関数がスキーマ理論で言う図式であるように、行動においてもパターン化された行動が考えられる。そのひとつが選択され、それにパラメータが与えられることによって具体的な行動が作られるのである。[Neisser76]は、「スキーマは計画であるのみならず、計画の実行者でもある。それは行動のパターンであることに加えて、行動に備わるパターンでもある。」とし、その証拠を心理学的にも生理学的にも認められるとしている。こうして、認知現象は次の図式になると考えられる。

¹同一個体とは何であるかという議論は、事物の《本質》とは何かという問題であり、プラトンのイデアをはじめ哲学の大問題なのである。我々の認識論的立場は、認知者の見方（すなわち、認知者と環境との相互作用で整合的に定まるもの）次第であるということになる。

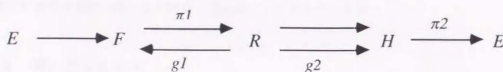


図5.8 外在化作用をもつ認知図式

外在化作用の結果が環境変化となり、それが内在化作用によって認められるから、循環作用を形成する。したがって、関数 $g1$ と関数 $g2$ とがフィードバックあるいはフィードフォワードのいずれとして働くのか、この図式からは必ずしも定まらない。関数 $g1$ は環境変化を《予測》して内在化関数 f を選択するかも知れないし、逆に関数 $g2$ は環境変化に遅れて（あるいは経験の蓄積による学習効果として）外在化関数 h を選択することもあるであろう。いずれにせよ、この図式では相互作用だけが規定され、時間関係が規定されていないことに注意が必要である。そして、それは認知現象の相互依存性を現わしているとも言える。

背景となっている圏 C は環境と表象空間の両者の変化に共通するものである。物象的、二元論的な表現をすれば、環境と認知者に共通の場を提供するものであるといってもよい。この共有場は多くの場合時空間として想定することが出来る。

このような性格を持つ作用を説明する概念として「力」がある。力もまた視覚作用などと同じく認知作用のひとつであると考えられる。そして、この現象はまさに、可動集合から可動集合へのダイナミックな変換である。[Johnson87]は、このような力のゲシュタルト的構造について、次のような特徴を上げている。

第一に、力は常に相互作用を通じて経験される。

第二に、力の経験は普通ある質量が空間（場）のある方向に移動する運動を伴っている。

第三に、一般に単一な運動の道がある。

第四に、力には起点、あるいは源泉がある。

第五に、力には力の度合いのないし強度がある。

第六に、我々は相互作用によって力を経験するから、そこには常に因果性の構造あるいは連鎖が伴う。

この性質は、情報作用、一般に認知作用に共通するところがあり、まさに我々の $\text{Sets}^{C \text{ op}}$ モデルでの作用（自然変換）が持つダイナミズムである。[Johnson87]は、身体的な構造がメンタルな認知構造を規定することを主張している。我々のモデルでこのことを表現するならば、内在化作用と外在化作用の対称性から外在化作用と類似の構造が内在化作用の構造に反映されるということになろう。そ

して、そこにおける調節作用こそが学習と適応のもととなるのである。

5. 9 開いたシステム

作用を実体とする圏論によって我々の認知モデルが一定の明確さをもって表現できることが分かった。しかし、同時にそのことによって生じる制約もある。数学的体系が必然的に内包するシステムとしての閉包性である。これまで議論してきたように、認知者は開いたシステムであることを大きな特徴としている。圏論による議論を踏まえたうえで、この性質を取り入れたモデルの構築が必要である。ここではその議論を中心にして、さらに認知の構造を捕えるモデル化を進める。

内在化（外在化）関数を選択する調節／基準関数もまた環境に応じて変化する。ここに、通常の実環境からの入力とは別の機能を認めざるを得ない。すなわち、認知システムが開いたシステムであることを意義付ける入力である。この機能は、高階直観論理モデルである $\mathbf{Sets}^{C^{op}}$ でも組み込むことは出来ない。数学的形式体系では、議論の出発点から考えられる全てを対象にしてはじめて、数学的厳密さをもつ体系の構築が可能になる。しかし、そのような体系においては、考察対象を拡大するようなメタな調節を考慮する開いたシステムのモデル化は出来ない。Gödelの不完全性定理はこのような数学体系の閉包性を持つ限界をついているのではないと思われる。Gödelは、1951年に行った米国数学会での講演で次のように述べたという[Casti89]。「人間精神が、人間の心が持つ数学的直観の全てを定式化する（あるいは機械化する）ことは不可能である。すなわち、仮にそうした直観のいくつかを定式化するのに成功したとしても、正にその事実が、新しい直観的な知識、例えばその定式化が首尾一貫しているといった知識を生み出してしまうのである。この事実は数学の「不完全性」とも呼ぶことが出来る。」

開いたシステムを圏論の図式で記述することはもはや出来ない。そこで、以下は略図に頼ることにする。この議論を踏まえて図5. 8を略図化したものが下図である。ここで、 G は調節関数空間であり、外部制御によりこの中から調節（基準）関数が選択される。また、従来どおり、 F と H はそれぞれ内在化関数空間と外在化関数空間、 R は表象空間である。

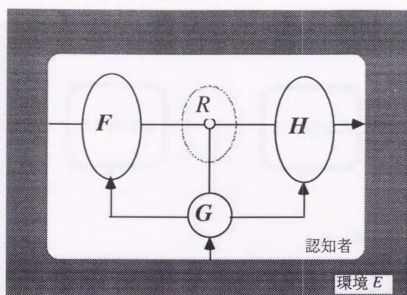


図 5. 9 略図化した認知者と環境

ただし、この図でこれまでの作用（射）主体の観点を変えていることに注意が必要である。我々の立場からすれば、本来は、環境も認知者もその輪郭は可変であり、特定出来ないものとした。しかし、この図では直観的にわかりやすい略図を作るため、輪郭を持つ個体の存在を第一義におく通常の物象化した認識観にあわせ、環境との相互作用を認知者の輪郭にはいるものとしている。したがって、ここでの認知者とは関係を作る項のひとつなのではなく、作用（射）である¹。そして、その境界は流動的である。また、第2に重要な変更として、調節関数の選択を外部（環境）からの入力によるものとした点である。これは認知者システムの開放性を表わす。すなわち、調節関数 g は、環境からの特別な指示により選択され、選択された g は表象にしたがって内在化関数と外在化関数を変化させる。内在化関数空間 F は認知者が持つ環境モデル（内在化関数の族）を形成し、そして、外在化関数空間 H は認知者の行動（例えば、計算）モデルを形成すると考えることが出来よう。これらの形成と作用の選択には、調節関数空間 G を通じての環境からのメタ指示が重要な要因となる。これが開いた認知システムの特徴である。

ここで、 $E \rightarrow R$ および $R \rightarrow E$ の作用過程の構成を見ると、いずれも《外側》からの制御によって《外側》への反応を変える機構になっている。すると、この点に関しても我々の認知者モデルと相似であることがわかる。すなわち、認知者のなかの認知者（部分認知者）を構成している、外側の認知者が内側の部分認知者を制御することによって、自らの機能を発揮していると考えることが出来る。このことを図解したものが下図である。

¹ 《認知者》というよりも、《認知射》というべきか。

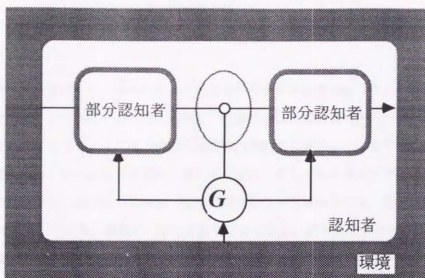


図 5. 10 認知者内の部分認知者

部分認知者の内部にもその部分認知者を持ち得る。この再帰的構造を、ここで述べているような物象化したイメージで表現するならば、認知者は環境の内部にあり、その認知者もまた内側に部分認知者を含み、部分認知者にとっては認知者がその環境となる。こうして、この再帰性は、内側にも外側にも認知者構造の階層を伸ばして行くことになる。

5. 10 部分認知者としての記憶

このモデルでは記憶をどのように解釈するべきであろうか。記憶もまた、ある入力に対する応答をするものであるから、作用の一つである。たとえば、コンピュータにおける記憶はアドレスが入力されるとそれに対応する値を返す。記憶の参照は、記憶作用（関数）に入力値を与え計算することである。すなわち、我々のいう部分認知者の一つとして考えることが出来る。記憶の更新は部分認知者に対する外側からのメタ調節である。

心理的な記憶はどう解釈出来るだろうか。たとえば、「あれはどこに置いたのだろうか」とか「あの人があったのはいつだったのだろうか」という自問をひとはしばしば行ない、自己の《記憶》に問い合わせる。この記憶とは、内側の自己を部分認知者という一種の環境（自己ではない他者）と見る視点から生じるものであると考えることができる。すなわち自己の部分の外在化である。このような心理的外在化は記憶に限らず、自己意識一般に伴う現象であろう。ひとは情報化作用の連鎖のほとんど任意の箇所に観測点を定めることができるのである。ソフトウェア工学での自己反映機能 *self reflection* は、このような心理的現象をソフトウェアアーキテクチャに具現化し、工学的に実効あるものにした例であろう。

5.1.1 共同認知

環境と認知者（表象空間）は、われわれのこれまでのモデルでは認知射（内在化作用と外在化作用）の両端に位置する項として同格であった。しかし、物象化された認知者モデルでは、環境は認知者の外側にあるとされた。このイメージは、複数の認知者の集団を考慮すると、より明らかになる。認知者が別な認知者と作用しあうときには環境を通じて行なう。そしてある認知者が他の認知者を認める（表象する）のは環境の一部としてである。認知者が自分自身を認めるとき、それは特別な他者として認める¹ことであり、やはり、環境の一部と見做すことになる。我々のモデルでは、環境、および複数の認知者はいずれも圏 C で規定される共通の事象を背景にもつことに注意する必要がある。この構図を第三者（認識現象の観測者）から見たときは下図のように表わせるであろう。しかし、いずれの認知者にとっても環境とは（対自化された自分を含めた）他者をも含むのである。

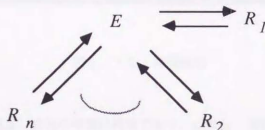


図5.11 複数認知者による認知

この円陣上の相互作用が複数の認知者による共同作業を形成すると考えられる。しかし、上で述べたように、システムの開放性による外部からの作用を忘れてはならない。このことを考慮して共同作業の場を図解するならば次のようになろう。ここで、それぞれの認知者の作用を統合する射 i を導入している。また、各認知者は射であるから、必要に応じてそれぞれが直列に分解されることはない。

¹ [廣松82] でいう《所知としての能知》に相当しよう。

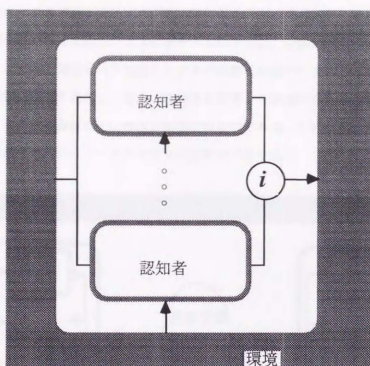


図 5. 1 2 共同認知

それぞれの認知者から見れば、自分の外側は環境である。しかし、複数のそれらがひとつの認知者のようになるためには出力の統合が必要である。各認知者にとってはそれは環境に属する作用であるが、それを切りだし、複数の認知者を結ぶものと見做すこともわれわれの分節による認識の結果である。このように見るならば、認知者の部分認知者への分節結果として共同認知を見ることが出来る。そこで重要な役割を果たすのが、これらの認知者の出力を統合する射 i である。射 i の入力端は、各認知射の出力空間の合成積であり、出力端は集団にとっての環境であり、その環境からフィードバック入力もたらされ、各認知者に特殊入力される。こうして、共同認知が出来上がると考えられる。すなわちこの環境でのパラダイムが形成される。ここでのモデルは、したがって、自己調節によって形成されるパラダイムだけでなく、共同体としての共通の調節指示によって形成される種類のパラダイムをも視野にいれることになる。

5. 1 2 トポソイドモデル

認知者の内部に部分認知者を想定できるとしたが、この部分認知者が複数の認知者からなる共同認知であると考えることが出来る。入力複数の部分認知者に分担され、その処理が統合されて認知者の表象となるが、その表象は行動として外部に出力されるだけでなく、作用 g を通じて各部分認知者

にフィードバックされ、その機能を調整する。この認知者自身がまた、環境によって調整を受けるのである。それを略図化したものを図5.13に示す。このように、全体と相似の構造を部分に再帰的に持つと想定され、これが認知者という知的システムの重要な特徴のひとつであると考えられる。しかもどの認知者も外側に環境を共有し、また、認知者と環境との共通の背景として圏Cで表される変化の規定があり、その共通基盤の上に作用が形成されるのである。これが我々が到達した認知システム、すなわち情報処理システムアーキテクチャの基本モデルである。

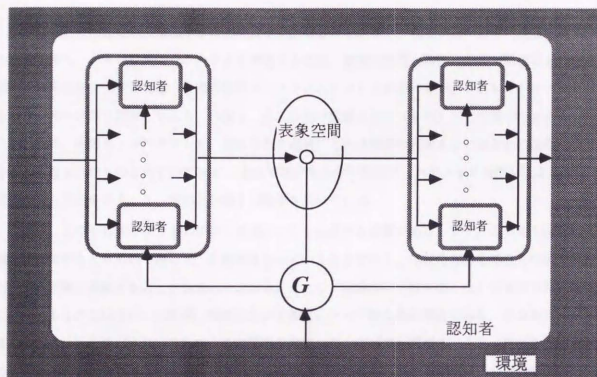


図5.13 トボソイドモデル

これまでの議論で見ると、このモデルは、人間の認知過程を含む情報処理システムを様々な側面から検討して得られた各種、各水準のパラダイムを総合し、それらの基底をなすと思われる共通機構を抽出したものである。したがって、これまでの議論で扱ってきた各種の情報処理システムが持つ特徴を備えているため、このモデルを一言で表現することは難しい。しかし、トボソイドモデルに開放性をとりいれて作られたものであるから、あえてこのモデルをトボソイドモデル Toposoid model と呼ぶことにしよう。ここでいう開放性とは、単にシステムの開放性のみを指すのではなく、認知現象を考察する作業における分節に必然的に伴うところの認知システムの本質である相互依存性を含ませた。認知システムの考察は、純粋に客観性を追求できる（と言うパラダイムに基づく）自然科学、あ

るいは自然科学に基づく多くの工学における考察とは、根本的に異なることに再度注意したい。考察者の持つ（意識的、無意識的）パラダイムと独立に認知システム（情報処理システム）を考察することは、いずれにせよ出来ないものである。そして、トポソイドモデルを認知パラダイムとして主張することは当然ながらこのことを主張することになる。

5. 1.3 認知者と環境

二元論的物象的認識観は追求するほどに綻びの出るものであるが、現実到我々自身、皮膚を境とする肉体を持ち、さらに機械的なシステムを構築するには、物理的境界（輪郭）を持つ必要に迫られる。現在の情報処理システムでは、各種の作用はソフトウェアとして実現するが、それもモジュールとして輪郭を持つ体裁を採る。すると、作用を、なんらかの輪郭を持つ《もの》として採りださざるを得ない。実際、関数も、プログラムも、記述された途端にそれは両端の対象あるいはそれに連なる作用から切り離されたものと化するのである¹。本来無理があるのを承知で、トポソイドモデルによる認知者の図式も作用を切りとり、環境と分離する輪郭を描いている。

ここで、この不自然な切り出しに伴う注意をいくつか述べる必要がある。まず、この切り出しは任意の箇所で行なえるものであって、必然性はないということである。内在化作用も外在化作用も、殆ど任意の段階に分節することが出来るのである。そして、恣意的に「切り出した」認知者の先は環境に直結するものではない。これが、略図において環境にハッチを入れた理由である。すなわち、認知者の輪郭には任意性があり、そして、その輪郭を果てしなく広げても環境に（それが何であれ）達することは出来ない。つまり、認知者（という主体を認めるとして）への入力データを認知者が受けた途端にそれは情報内容を伴うものとなり、同時に、認知者が制御できる範囲には限りがあるということである。これも本来、両端の対象を含めた作用である射を、対象と純粋作用とで分離することは決して出来ないとする我々の認識観から出てくる帰結である。対象、あるいは作用だけを分離出来ることを暗黙の前提とする二元論的立場にはこの議論は生じないかわり、奇妙な不可知論や論理矛盾に落ち込むことは前に述べた。そこで、ある種の妥協として、むりやり切りだした認知者は、本来は環境と同格であるはずのものが、同格ではなく、認知者は環境には達しえず、環境を制御出来ないものであるということになる。しかし、環境に対して主体性が全く持てないわけではなく、外在化作用が環境への影響力を保持している。環境の輪郭をいくら膨らませても、同じ理由から、認知者の外在化作用を完全に奪いさることは出来ない。これが、古来、相対主義の哲学に対する批判の根拠とされた主体性の喪失の問題に対する我々のパラダイムの解答である。

¹関数では定義域と値域として、また、プログラムでは入出力パラメータの型として両端の対象が明示的に指示されるが、しかし、これらの対象につながる作用とその先に連なる対象とを無限に連鎖させる表現、あるいは実行システムは実際にはありえず、ある単位（モジュール）で境界を定めざるを得ない。

5. 1.4 トボソイドモデルの特徴

ここで、これまでの議論を整理することを兼ねて、トボソイドモデル自体が持つ特徴とそれから導出される情報処理システムとしての性質を列挙しておこう。

認知者と環境との相互依存性

認知者と環境とは本来、独立自存するものではなく、圏論での射の両端に位置づけられる対象のよ
うに相互依存性の強いものであるとしたが、トボソイドモデルでは通常の二元論的な認識観に妥協し
て、作用（機能）の一部を取り込んでそれぞれの輪郭を設定したものになっている。したがって認知
現象（知的機能の発現）からの両者の切り出しには本質的に恣意性が付きまとい、一般論として認知
者、あるいは環境を一義的に定義づけ、輪郭付けることは出来ない。このことは、認知者の機能は、
本質的に環境の状態（状況）と組み合わせられて働くことを意味している。ある切り出され方をした認
知者は、置かれた状況を前提とし、それにわずかな作用を及ぼすことによって大きな効果を得るよう
に見えることになる。ここから、例えば後に述べる共有場の設定の有利さが派生する。

自己調節とメタ調節

認知者の枠内に取り込まれると想定する内在化作用と外在化作用のいずれも自己調節される。この
ことにより、心理学的には Neisser などが指摘するスキーマの性格を認知者が持つことになる。さら
に、自己調節の基準そのものが外側の環境から調節されるというメタ調節の機能の存在がトボソイド
モデルの大きな特徴になっている。これによってフラクタル構造を作りだすことができる。

フラクタル構造

一見複雑に見える組織の多くがフラクタル構造を持つ。材料、地形、そして人間の社会組織を含む
情報処理システムがそれらの例である。トボソイドモデルによる認知者もまたフラクタル構造をとり、
自己の内部に自己と相似の部分認知者を含む。この構造はメタ制御機構を想定して始めて成り立つも
のである。フラクタル性は、自己再帰性 recursion を含み、また、自己調節とメタ制御による内部認
知者の制御は自己反映性 self reflection を示すものである。

パラダイム階層

パラダイムは共同体を構成する認知者が共通に持つスキーマであり、環境を共有することによってパラダイムが発生し、変動する。認知者共同体もまたフラクタル構造化されるから、それによってパラダイムの階層が生じ、パラダイムの時空間スペクトルの広がりを作りだす。パラダイムの変動は、認知者共同体の共同調節（学習）である。

局所依存性と共有場

環境がある位相（遠近の概念）を持つとしたとき¹、その位相は各認知者に共有される。この位相から環境の局所という概念が生じ、裏付けられる。環境への強い依存性から、認知者はその局所への強い依存性を持つことになる。すなわち位相付けられた環境に対して認知者の位置づけ（配置）が可能になる。これが、ソフトウェアモジュールパラダイムで論じた共有場を形成すると考えることが出来る。共同体の各認知者は環境を通じて自他の認知者を認知することにより、それらを環境の位相空間に配置されたものと見做す。また、各認知者は自分の近傍の概念をその位相によって形成することが出来るため、近傍への処理機能を持つことにより、環境に依存し、密着した処理を行なうことが出来ると同時に処理の規定の経済性を計ることが出来る。特に、この位相空間に位置づけられた認知者が移動したとき、その移動が生じたという事象を $\text{Sets}^{C^{\text{op}}}$ における圏 C の射に対応させて解釈すれば、Kripke モデルの可能世界の移行であると見做すことが出来る。

多重世界

このように、トポソイドモデルのもとになったトポス $\text{Sets}^{C^{\text{op}}}$ の圏 C における対象を可能世界として解釈することにより、知的システムの挙動をより透明に一貫性をもって見ることが出来る。世界に生じる事象は可能世界の移行を引き起こすと考えるのである。この解釈は当然トポソイドモデルの世界観の基底になるものであり、トポソイドモデルをパラダイムとして知的高度情報処理アーキテクチャを構成する場合に根本ところで影響を与えるものとなる。もっとも厳密な数学的構成によってこのような世界観に基づいて成功した例が高階直観論理の $\text{Sets}^{C^{\text{op}}}$ による解釈であることはすでに述べた。プログラム言語でもっとも基本的である論理と関数を統合する体系の意味論を構築するにはこのモデルによる解釈を待たざるを得なかったのである〔田村82b〕。

¹ トポスでは位相の導入が可能である。

能動的センス

従来の情報処理では、入力される情報を受けてそれを処理する受け身のシステムとして考えられがちであったが、処理に際して不足する情報があればそれを外界から能動的に得るシステムを考えることが出来る。このような機能を能動的センスと呼ぶことにしよう。この機能は、トボソイドモデルに照らし合わせるならば、内在化関数の調節によって行なわれる環境情報の有効利用と見ることも出来るし、また、さらに積極的に外在化作用を調節することによって外界に働き掛け、影響を与えることによって新たな情報を得る仕組みを持つと考えることも出来る。

多段的メタ調節と常時学習

トボソイドモデルによる認知者の学習は内在化、外在化作用の自己調節による外界への適応とそのメタ調節によって行なわれるが、フラクタル構造をとることから空間的、時間的ともに階層的に展開される。しかも環境への依存性を本質的要件とすることから、オンライン、リアルタイムの常時学習の組み込みを強く主張するモデルとなっている。

部分認知者としての記憶

トボソイドモデルでは記憶は部分認知者として位置づけられる。記憶の変更はそれに対するメタ制御によって行なわれると見做す。これによって記憶の概念の一般化が図られている。

第6章 新情報処理アーキテクチャに向けて

— トポソイドモデルによる示唆 —

前章までは、情報処理システムにおけるパラダイムを様々な角度から抽出、純化し、一方、知的システムとしての人間に想定される機構について考察し、さらに、後者について圏理論の概念を援用することによって相互作用を第一義に置く観点から考察した。そして、認知者のシステムとしての開放性を考慮して、多認知者からなる複雑なフラクタル的構造を持つ認知図式（トポソイドモデル）を得た。以下では、まず、これまで検討してきた現行の代表的な情報処理アーキテクチャをトポソイドモデルに照らし合わせて解釈し直し、それらの限界と今後の発展の基礎となる課題を明らかにする。これはまた、トポソイドモデルの具現化につながる議論となるものでもある。続いて、トポソイドモデルを発想の起点とすることによって考えられる新しい情報処理アーキテクチャを構想し、例示する。

6. 1 表計算アーキテクチャとトポソイドモデル

情報処理アーキテクチャにおけるトポソイドモデルの具体的な意味と役割をもっともわかりやすく示す例として、最初に表計算アーキテクチャを取り上げてみよう。表上の各欄に記述された計算式が認知者（射）としてのエージェントを規定するプログラムモジュールであると見做す。すなわち、環境 E に設定された共有場としての表にエージェントが配置されたと考える。また、 $\text{Sets}^{\mathcal{C}^{\text{op}}}$ の圏 \mathcal{C} における任意の対象 A に対応する集合 $E(A)$ の要素として表の状態を持つと考える。対象 A での表の状態とは、 A という時点で表が定める値の配置である。集合 $E(A)$ にはこのほか表計算にまつわる様々なものが要素として含まれるが、ここでは簡単のため、この要素のみを見る。

内在化作用と外在化作用

各エージェントにとって、その環境 E は表の状態の変化過程を含むものとして与えられる。各エージェントは自分の立場から環境を見る（と想定される）から、その座標系の原点は自分が置かれた欄であるとするのが自然である。計算式に現われるデータの参照が内在化作用に相当し、計算式の計算が外在化作用に相当する。内在化作用で環境の座標系から自分の座標系への座標変換が行なわれる。外在化作用ではその逆変換が行なわれる。

自己調節とメタ調節

前述したとおり、最近の表計算ソフトでは、上の10行に数字が並んでいる欄に合計の関数を置くと、合計範囲をデフォルトとして上の10行にしてくれる。この行動は、与えられた入力（合計関数の指定）のみによって定められるものではなく、置かれた状況を調べ、それによってパラメータを自己設定するという内在化作用を調節する機能を持つことを示すものである。自己が置かれた状況の表象（座標変換された表の状態を含む）を見て内在化作用を調整しているのである。オブジェクト指向を含め旧来のプログラミングパラダイムには見られない機能概念である。このデフォルト値はかならずしもユーザの意図するものに一致するとは限らない。そのとき、ユーザを含む環境からのメタ調節として、ユーザによるパラメータ値の書き直しが行なわれる。

置かれる場所が移動すると、それに合わせて内在化（外在化）作用の座標変換関数が場所の移動という外界からの特殊入力に伴って変更させられる。こうして、《自分の上の10行の欄の合計》はここに移っても（特別な指示をしないうちに）《自分の上の10行の欄の合計》を行なうエージェントとなる。この場合は外界からのメタ調節に対し、自己のアイデンティティを保持するという形である種の自己調節が行なわれると考えることが出来る。また、Kripkeの可能世界の変動に認知者としてのエージェントが対応したと見做すことも出来る。

共有場の役割

このような相対性が実現されるのは、認知者の表象が座標系から欄の値への関数になっていて、原点は異なるものの、すべてのエージェントの共有場としての座標系が共有されているからである。すなわち、それぞれが何の標識もない均一な空間に置かれるのではなく、場所による区別が存在する空間配置のうえにあるからである。しかもその区別が人間認知者であるユーザとメタフォアを介してわかり合えるものとなっている。関数型にしろ、オブジェクト型にしろ、このような配置の概念がかけられているため、位置的相互関係は何もないのである。しかし、我々の経験する世界では、時間と場所とが意識される世界である¹。そこで初めて、相対的な関係が（わざわざ特別に規定されるのではなく）組み込まれたものとして与えられ、それによって相互のコミュニケーションの整合化と効率化が図られることとなる。

従来の関数型などのパラダイムは、認知射を実現するものであるとは言っても、このような共有場の上での環境との相互依存性に乏しいため、局所的状況とは切り離して独立自存するものとして見られやすいものであることがわかる。すなわち、置かれた局所に依存することを少なくとも積極的に取

¹因みに、トボスとは《場所》の意味であり、アリストテレス時代から重要な概念になっている。アリストテレスは記憶術に場所の概念が有効であることを論じている。

り入れることはなかった。むしろ、このような局所依存性はプログラムの虫のもとになるとして嫌われさえしてきた。たとえば、プログラムの任意の部分をあえてモジュールと見做すと、これらのモジュールの実行時のエージェントはソフトウェアで言うところの環境（関連する変数のスコープ）下にあるが、`goto` はエージェント（プロセス）の環境を変えるため、とかくバグを作りやすいとして、攻撃された。つまり同一変数（アドレス）の値付け `assignment` が異なるところに制御が移る可能性が付きまとうからである。さらに、変数に値付けする（代入する）こと自体、環境を変えるものとして攻撃的になった。しかし、環境の変化自体が悪いわけではない。もし、変数の値付けや `goto` を完全に捨て去るとすれば、却ってプログラムが作りにくく、そしてわかりにくくさえるのである¹。むしろ、人間認知者と共有できるわかりやすい共有場設定を積極的に利用するべきであろう。

表計算ソフトはこの観点を初歩的とはいいいながら見事に打ち出したと言える。後に詳述するように、表という共有場を設定することによって、ユーザのメンタルモデルを作りやすくする。それによって、単にユーザがシステムの機能や挙動を理解することを容易にするだけでなく、システム側がユーザの意図を推定するうえでも効力を発揮する。この場合、自然言語によるコミュニケーション以上にユーザの意図の推定に成功しているのである。このようなことを可能にするのはシステムとユーザとの想定上の共有場があつてこそである。

フラクタルとパラダイム階層の欠如

しかしながら、トポソイドモデルに照らし合わせると、現在の表計算アーキテクチャの限界もまた如実に現われる。例えば、他のプログラミング体系では当然行なわれるフラクタル構成がほとんど考慮されていない。一つの欄で規定されるエージェントが複数のサブエージェントを持つ、すなわち部分表を持つ構成は当然考えられてしかるべきである。単に部分が表計算アーキテクチャをとるばかりでなく、データベースや作図などはかの種類のアプリケーション形態を取ることも考えられよう。この場合、フラクタル性が「パラダイムの階層性」の空間的側面を与えることになる。一方、その時間的側面を見ることにより、表計算アーキテクチャにおける調整機能の多段性の欠如が見えてくる。たしかに、上に述べたようにエージェントの内在化、外在化関数の調節は行なわれるし、また最近になって取り入れられるようになった `solver` 機能は制約充足の考え方に基いて自己調節機能を備えている。しかし、より多段に、おかれた環境に適応し、学習する能力を持つまでにいたっていない。たとえばユーザ業務によって使用される関数の頻度も計算の起動のタイミングも異なっており、その種の特異性を「自動的に」とりいれることによって使い勝手は相当向上するはずである。このような多段的メタ調節機能が今後の発展にとって重要な意義を持つものと考えられる。

¹[Backus78]はこの種の純粋関数型言語を考察し提案したが、多くの人に受け入れられるものとはならなかった。

一般に表計算アーキテクチャ以外のソフトウェアアーキテクチャにおいては、モジュールのフラクタル的分解は、当然のように行なわれる。しかし、我々のトポソイドモデルパラダイムでは、単に対象とする機能の実現を分割統治方式で行なおうというのではない。統治され、統合された結果が構成員である各部分認知者（すなわちサブエージェント）にフィードバックされ、それぞれの機能の調節、改良が行なわれることを想定している。それを達成するためには、ユーザがプログラマとして手を下す必要がある場合もある。ユーザ、すなわち最外側の環境からの特別入力による変更である。このような相互干渉は単なる表面的なユーザインタフェースの水準だけでなく、システムの隅々にまでその可能性を持たせるべきであろう。そのためにも認知者の環境における位置付けがユーザに容易にわかる構造が問われ、それに答える仕組みを作り上げていかなければならない。

自己反映機能の欠如

トポソイドモデルの出発点になった圏論的認識論では、自己の範囲や自己を見る視点が流動的であり、それが知的認知の特徴であるとした。この観点から最近のソフトウェア工学で注目されている自己反映機能が引き出される。部分認知者としての自己のふるまいの観測とその制御（メタ制御）を行なうことが自己反映性である。すでにOSやプログラミング言語では自己の状態を考慮し、その状況を利用することによる処理の柔軟化と効率化が計られてきた。この観点から現在では明らかに欠如している自己反映機能を表計算アーキテクチャに導入することによって、計算の効率化のみならず、計算のパターン化、抽象化による一般ユーザへの便宜が計られることになるだろう。

6. 2 エキスパートシステムのアーキテクチャとトポソイドモデル

別な例として、エキスパートシステムでよく用いられる二つの概念について、我々のモデルでの解釈をしておこう。

黑板モデルアーキテクチャ

ひとつは、黑板モデル blackboard model である。これはルールの実行体としてのエージェントが黑板（一種の共有メモリ領域）に書かれていることを読み、ある部分が自分のルールの認識部の条件に適合すると、指定された行動をするが、その行動とは黑板の書き換えである。黑板は認知者としてのシステムの映し出す環境の像として想定されるものである。我々のモデルでは、黑板はシステム内部における複数の部分認知者が共有する内部の《マイクロ環境》である。Sets^Cの用語で表すなら

ば、黒板を Sets^{COP} の対象 B とすれば、ある時点 A における集合 $B(A)$ にその時点での黒板の状態を表すものを含むものとする。外部環境からシステムに問題が提示されると、問題を分析し、認識するシステム全体としての内在化作用が黒板上に出力する（時点 A が移行し、黒板の状態が変化する）。それをルールをスクリプトとするエージェントである部分認知者が見張り、その内在化関数を調節しつつ、条件が満たされると、行動部によって黒板を書き換える。これが繰り返され、全体として基準が満たされるともとの認知者の外在化作用が機能して解を構成し環境に出力する。すなわち前章で述べた共同認知の一例であると思倣することができる。

フレームアーキテクチャ

第二に、フレームである。オブジェクト指向パラダイムの人工知能版と言ってもよい。事物や事象がそれを構成する項と項の属性および互いの関係を構造化して表現されたプログラムモジュールである。すなわち、フレームは構造化（パターン化）された関数群である。その実行体であるエージェントは、オブジェクトエージェントと同じく、メッセージが送られると、記号列で作られたパターンの照合が行われ、構造にあった応答を返す仕組みになっている。この場合、その出力を調節作用が見て、その基準が満たされるように内在化関数が調節される。満たされないうち、バックトラックが生じる。すなわち、パターン照合の程度がある基準に達しない場合、異なるフレームが選択され、再度照合が試みられる。それに成功すると、しかるべき外在化作用が機能する。また、フレームを過去の事例をパターン化したものであるとするならば、フレームの調節過程はまさに事例ベース推論である。それだけでなく、フレームというメンタルな枠、すなわちパラダイムによる外界の認識はスキーマ理論におけるスキーマであり、これは同時に行動パターンを規定するものともなる。フレームの単位としては、単語の水準から文脈の水準、あるいは自己像を含めるものまで種々ある。これらがフラクタルの階層の水準に応じた部分認知者で行なわれることは言うまでもない。

多段的メタ調節

トポソイドモデルが主張する点は、両者に見るような認識と行動の自己調節が絶えずフラクタル階層の上層から調節され、その結果、時間的にも空間的にも小さなスケールから大きなスケールまで幅広いスペクトルを持つ調節（適応）が行なわれるということである。このメタ調節の多段性が黒板モデルもフレームモデルにも見られない。今後は技術的にも実現可能性があると思われるメタ的学習性への取り組みが重要であると思われる。

共有場の欠如

上のどちらのモデルにおいてもトポソイドモデルが想定する共有場とそこへの認知者の配置という概念が欠如している。ルールもフレームもその意味では旧来のプログラム言語の枠内に収まるものである。このことが一般ユーザが使用するには相変わらず困難であるばかりか、専門のプログラマ（《知識工学者》と名付けられた）さえも大規模プログラミングを構築することの困難さに変わるところはなかったと言えよう。ではどのような共有場を導入することが出来るだろうか。表計算の手法を直接導入して、ルールやフレームや制約を表形式で表現することも考えられる。しかし、より本質的な改良は、対象領域に依存する共有場の概念を構築するべきであろう。たとえば、人体のある部位についての診療システムならば、その部位のマップやその一定の抽象概念が有効であろう。

能動的センスの欠如

トポソイドモデルは外界からの制御、すなわちメタ制御を受け付けるだけでなく、内在化、外在化作用の自己調節機能の一つとして、不足する情報を外界（状況）への働き掛けによって得るという能動的センスを重要な機能の一つとして含んでいる。表計算アーキテクチャにおける合計関数のパラメータ設定がこのような方法で行なわれることはすでに述べた¹。従来のエキスパートシステムでは、部分認知者としてのルールやフレームが内部環境を変更することは当然行なわれても、不足するデータを能動的に得るところまではいっていない。システム全体としても同様である。このような能動的な情報収集とその利用は、トポソイドモデルが持つ状況依存性の重要な一側面であり、今後のエキスパートシステムの課題であると思われ、また、情報機器の圧倒的な普及がそのことを実用的に可能にいつあるといえる。

自己反映性の欠如

従来のほとんどのエキスパートシステムには、一般のソフトウェアアーキテクチャと同様に、自己反映性の機能が欠落している。処理の高度化と効率化にとってこの機能の導入が有効であることが期待できる。

6. 3 パターン理解アーキテクチャとトポソイドモデル

¹最近のモデムのほとんどが接続されるパソコンの通信能力を調べ、最適のパラメータを選択するようになっている。このように、比較的トリビアルな水準では現実の情報処理の世界にこのような機能が組み込まれつつある。また、知能ロボットの研究においては当然このような機能が重視されている。

単に一文字を認識する、あるいは一語の音声を認識するのではなく、広く情景や音声談話の理解を目指す研究をパターン理解の研究と呼ぶことにする。パターン理解システムの出力としては、パターンの記述という記号化された命題が要求される。

調節作用

パターン認識におけるパターン学習は自己調節作用の典型例である。これによってパターン再認を行なうのに最適な内在化関数を選択(調整, 構成)する。《教師あり》学習と《教師なし》学習があるが、ここでは《教師あり》学習について説明しよう。環境からパターンデータと教師の指示の組が入力されると、その表象に基づき内在化関数が選択(調整, 構成)される。この繰り返しが行なわれ、ある一定の基準に達すると教師が見做せば学習を修了し、以降はこうして形成された内在化関数がパターン再認に使われる。この場合の教師の指示は一貫した基準のもとに行なわれることを想定しているため、システムの外部からのメタ制御というよりもシステム内部の自己制御と見做すのが自然であろう。すなわち、「教師無し」学習と本質的には同一である。いずれにせよ、こうしてパターン空間が表象空間の一部に出来上がることになる。あるパターンが提示されると、内在化関数はそのパターン概念を示すある表象に変換する。それを外在化関数が見て、しかるべき反応を起こす。調節関数の選択(調整, 構成)は外部からメタ教師によって行なわれる。

外在化作用と曖昧性

出力作用としてのパターン記述はどうか。記述された記号が外在化されるとすれば、それは外在化関数経由になる。そのもとになるのは表象空間の要素である。この要素は外在化された記号の意味を本源的に与える。そして、この要素は現在取り入れている状況のパターン空間上の像なのである。しかし、ひとたび外在化された記号の意味付けとしてその原像が逆に求められたとき、本来の像の類似像は得られても、両者が厳密に一致することは考えられない。ここに外在化された記述(記号)の曖昧性が生じることは先に指摘したとおりである。と同時にパターンが持つ曖昧性によってパターン空間が直和分割できる性質のものではないことから本源的な曖昧性が発生することもすでに述べた。さらに、たとえこれらの曖昧さが全くないとしても、トポスによって規定される直観論理の持つ命題の《曖昧さ》がある。直観論理では一般に真理値が2値に限らず、排他律が成り立たない。この理論は工学的に開発されたファジー論理の基礎となるべきものである。以上のように、曖昧性には本質的なものから見かけのものまである種の階層性が存在する。

フラクタル構造

[Marr82]の指摘する多モジュール構成やScale-Space法などが我々のマルチ部分認知者モデルの枠組みで解釈できるのは言うまでもない、認知者内部に想定される部分認知者（再帰的に何段階でも細分化される）は視野を狭めてそこに意味ある図形（パターン）を見だし、それらの出力が統合されてより上の段階に渡されるのである（図5. 13 参照）。前述したひずんだ楽譜の描き出すベートーベンの顔を認識するにはこのような空間的フラクタル構成が不可欠であろう。

状況依存性の欠如

現在のパターン認識技術を我々のモデルに照らし合せてみたとき、もっとも欠けていると思われるのは、環境との密着した相互作用ではないかと思われる。もともと環境における現象の分節を出発点とする我々の認知者モデルは環境に強く密着し依存するものになっている。学習は状況に埋め込まれて常時行なわれるものと想定され、状況から独立した特別の学習期間を想定しない。しかも状況が変動した場合でも、追従できる構造を骨子にしている。この意味で、従来のパターン理解システムの多くとは状況への依存性において全く異なっていると言ってよい。この重要性はたとえば、音声認識を思い浮かべるとよくわかる。たしかに、このような方式を技術的に実現するのは困難かもしれないが、技術開発の出発点での問題意識の持ち方、すなわち、技術構築のパラダイムをまず変えて研究をすすめることが重要であると考ええる。

6. 4 自然言語理解アーキテクチャとトポソイドモデル

コンピュータによる自然言語理解システムの実現は、あいかわらず情報処理技術における難問中の難問である。単に形式的な記号処理技術としてみるかざりは、たとえば、かな漢字変換プログラムに見るように、十分実用になる技術に成熟してきた¹。しかし、意味が関係すると、いままって不透明な問題が山積している。

論理学的言語論と状況意味論

¹かな漢字変換プログラムの成功は、ユーザとの相互作用を巧みに取り入れ、円滑なものにしたからにはかならない。もし、自立するプログラムを目指したならば、永遠に実用にならなかったであろう。

自然言語による言明を論理における命題のように見做すパラダイムがある。というよりも、論理は言語を純粋化したものと見做されるのである。この観点からFrege以来、理論が整備され、記号論理学として数学の一分野を形成し、高階直観論理の段階にまで到達した。そして、それがプログラムの意味論にまで大きな影響を与えていることはすでに見てきたとおりである。

Frege 以来の文の意味 (Bedeutung) は論理学の命題と同じく、真理値である。語はその意義 (Sinn) を持つとされる。これはひとが共通に持つとされる公共的な概念世界への写像である。そして、それが文の構成と文脈のなかで実世界の具体的対象へ指示 (対応付け) されるとし、それを意味 (Bedeutung...指示対象) であるとした。では文の意味とは何かということになるが、Fregeはそれを真理値であるとしたのである。従って、《車が走っている》という文は、車という一般概念による意義としての間接的な意味付けがされ、続いて、文脈から具体的にある車を指示するものとされ (Bedeutung)、それが実際に《走っている》という属性を持つとき、この文の意味 (意味関数の値) は真であると評価 (解釈) されるとした。ただし、「私は～であることを信じる」という文のなかの「～である」のような埋め込まれた文は意義 (Sinn) だけを持ち、概念的世界での描写をするものとされる。

このパラダイムはその後の記号論理学の発展を基礎付けるものとなった。そしてモデル論的意味論を発展させる基礎になったのである。特に可能世界モデルによって、自然言語の厳密な意味論体系を作り上げた[Montague74]のIntentional Logic は名高い。この意味論では文を構成する要素の意味は関数であり、可能世界は関数の定義域と値域になっているとする。すなわち、型付き関数として語の意味を定義するのである。それらの組み合わせを《計算》すると最終的に述語論理の命題が出来上がり、その真理値が計算できるように構成されている。すなわち、自然言語の意味を記号論理の世界においたのである。

しかし、最近の状況意味論[Barwise83]ではこのようなFrege流の解釈を退ける。文の意味は発話 utterance と文が描写する状況 situation との関係であるとするのである。発話とは発話者と発話時 (地) 点を指定するものであり、《車が走っている》という状況はまさに、ある車が《走っている》という属性を持つという命題を真とする状況であるとする。ほかに注目すべきことがあれば、発話と描写状況に追加すればよい。この考え方は、FregeのBedeutungよりもSinnを重視し、しかも、公共の客観世界への写像ではなく、局所的状況への依存性を重視したものと言えよう。

トポソイド的言語論

以上の諸説を我々のモデル $\text{Sets}^{C \times D}$ に当て嵌めるとどうなるだろうか。FregeのSinnの世界も状況

意味論で言う発話点もいずれも可能世界に対応付けることが出来るように思われる¹。すなわち、 $Sets^{C^{OP}}$ における圏Cの対象である。そして、文を構成する要素は、高階直観論理の意味付けに見習って、要素のタイプ(型)によって定まるSetsの集合の要素に対応付けるのである。このように見れば、まさに文の意味は発話時点(可能世界)と集合の要素について語る文(状況描写)との関係、すなわち《可能世界しじかにおいて～がなりたっている》となる。これに対して、記号論理(もちろん高階直観論理を含む)では、すべての可能世界で成り立つかどうかを調べ、成り立つときその命題が真であるとされる。

この違いは、日常の発話による命題と数学的命題の微妙な違いを現わすものと考えられる。たとえば、「あの犬は狂犬か狂犬でないかどうか」という命題は、数学的には必ず真であるが、日常での発話として考えると、わざわざそのようなことをいう発話者の意図と状況を考える必要がある。命題は、命題化される必要があってはじめて作られるものだからである。そしてまた、その発現によってもたらされる状況変化の効果をも考慮しなければならない。すでに述べたように、言明(情報)は力と同じく、作用に対して反作用を伴うものであるというのが、トポソイドモデルの言語観である。この意味で、[Johnson87]の身体的作用感覚が言語の意味解釈に強く関係しているという意味論も、相互作用を基礎概念に置く我々のモデルと密接に関係している。

共有場概念の導入

トポソイドモデルの共有場の概念は自然言語理解システムにとっても重要である。コンピュータによる自然言語理解システムではしばしば空間感覚を処理することが苦手であるとされる。しかし、人間の言語理解ではたえず空間という共有場に置かれた自分と事物の感覚に基づいて行なわれるから、空間感覚は必然的に伴うのであり、それが、厳格な記号処理では扱いきれない曖昧さを生む。

この空間感覚を前面に出した言語論として、Fauconnierによるメンタルスペース論がある[Fauconnier84]。言語表現の意味解釈において、メンタルスペースを介して現実世界への対応を取るという構想である。ある表象空間を想定することは多くの理論で行なわれることであるが、メンタルスペース論では要素の位置関係と要素間の作用が重視される。作用はまさに圏における射である。

強い相互作用としての言語

しかし、より根本的なことは、トポソイドモデルが持つ環境との極めて密接な相互作用を自然言語

¹状況意味論では、可能世界をあたかも実世界に相当する存在感を持つ世界であると考えて、そういうものは認められない、とことわっている。しかし、可能世界はもっと自由に解釈できる概念であるというのが我々の考えである。

理解システムが持つかどうか、ということである。現在の多くの言語理解システム、特に機械翻訳においては、この相互作用が希薄である。これらのシステムは、人の発話は完全であり、そこにすべての情報が含まれていることを前提とする。ともすれば発話や文は置かれた状況から切り離された独立自存体として扱われるのである。しかし、発話は発話者の意思のごく一部を暗示するに過ぎない。送るべき情報の氷山の一角なのである。このようなことを考えると、環境との密な相互作用を伴うシステムとシステムの使い方を求めていく必要があるであろう。

確かに、一度書き上げられた文の翻訳では、著者の意思を簡単に確かめることは出来ない。しかし、コンピュータがこれだけ普及し、《遍在するコンピュータ》の時代になりつつあるとき、発話の多くがコンピュータに入力され、ネットワークを通じて伝えられるようになってきている。このことを前提にするならば、発話者を含む環境との常時の相互作用こそを基盤とした理解システムを構築する意義がある。このようなシステムにおいては、言語学習もまた、オンライン、リアルタイムで進めることが可能になる。そして、そのような方法によってはじめて、「言語の意味は使い方にある」というテーゼを具現化するものになるであろう。

6. 5 推論／問題解決／学習アーキテクチャとトポソイドモデル

常時学習

人工知能の研究領域は広大であるが、その中核は推論／問題解決／学習であろう。推論は問題解決のためにあり、問題解決のためには推論に必要な知識が必要であり、知識の獲得は学習によって行なわれる。そして、学習は推論を必要とする。このように、これらは本来混然一体となって行なわれるべきものであるが、これまでの人工知能の多くの研究では、必ずしもそのことが意識されなかった。ルールベースの推論では、多くのルールを知識として専門家から引き出す必要があるが、その抽象性と慣れない表現形式のため、多くの場合、この作業自体が極めて困難である。モデルベースの推論においては、モデルからルールを生成することが出来るが、意味のあるルールを精選して作り出すのは難しく、また、直接的にモデルを使う推論は一般に組合せの爆発を起こしやすい。一方、学習では、帰納学習、演繹学習、類推による学習、例示による学習など多くの学習パラダイムが提唱されている[Michalski86]が、問題解決のなかに埋め込まれることを積極的に意図するものは見られない。そのなかで、1980年代の後半から始められた事例ベース推論では、推論に使う知識として過去のエピソード的な事例を利用し、それによって問題解決を図り、そして成功したと評価されたときにはその事例が新しい知識として《学習》される。このように従来のものよりも学習の《埋め込み》が積極的に図られる方法が盛んになりつつある[小林92]。

推論における内在化、外在化作用

我々のトボソイドモデルは、これらのすべての枠組みを備えている。内在化作用＝認識部、外在化作用＝行動部とすれば、PostそしてNewellらのプロダクションシステムのルールに相当する。環境から問題が与えられたときには、内在化作用によって問題を分析、認識し、外在化作用によってその解を構成する機構である。その大枠の内部に、推論を進めるのに利用される知識としてのルールを体现化した部分認知射を持っている。これらのルールはやはり認識部と行動部からなり、表象空間を共用する。認識部は状態を類型化し、その類型化された状態に対する類型化された行動が行動部で規定される。調節作用は、認識部に対しては類型化された状態に実際の状態を整合させるように働き、行動部に対しては、逆に類型化された行動を微調整して実状態に整合させる。細かいサイクルでは認識と行動のこのような微調整であるが、大きなサイクルでは《学習》となる。学習には自己学習と外部からの特殊入力によるものがあることは繰り返し述べたとおりである。

6. 6 ヒューマンインタフェースアーキテクチャとトボソイドモデル

ヒューマンインタフェースは、ユーザとシステムとのコミュニケーションを如何によくするか、そのための仕掛けであると言ってもよい¹。コミュニケーションとは、トボソイドモデルで言うところの認知者と環境との（情報による）相互作用にほかならない。人間であるユーザを主体的に見るならば、システムはユーザから送られる情報の内容、すなわち、意図を正確に認識し、そして、ユーザにその意味を正しく理解できるように情報を反応として返さなければならない。ヒューマンインタフェースをこのようなものとして見たとき、ユーザの意図形成、意図伝達、さらにはその実行、そして、実行結果の評価（意図したことがシステムで機能したかどうかのチェック）などユーザのシステムとの相互作用が障害無しに円滑に行なわれるのがよいヒューマンインタフェースである²。

ユーザとシステムの共有場の役割

ユーザも認知システムのひとつであり、環境との相互作用で機能する《認知射》である。そして、情報システムである別の認知射と環境を共有し、環境を介して互いに情報のやり取りが行なわれると見ることが出来る。

¹ [田村92] は、認知的情報論の立場からヒューマンインタフェースについて論じている。

² [Norman88] はこの事情を的確に指摘している。

現状のすぐれたヒューマンインタフェースの代表例である表計算ソフトに、この事情を見ることが出来る。表自体が（メタフォアとして）共有場を形成している。そして、ユーザはこの共有場に認知射としてのエージェントを配置する。認知射の行動（計算）は、まさにユーザの表の解釈に直感的にあった形で行なわれる。それが一番よく現われるのは、式のコピーペーストである。第*i*列の欄と第*i+1*列の欄との積を第*i+2*列に定義し、これをそれに続く行にコピーペーストすると、各行で同じこと、すなわち、その行での第*i*列の欄と第*i+1*列の欄との積を第*i+2*列においてくれるのである。また、たとえば、ある欄に「1月」と入力し、この欄を指定して下方あるいは右方にドラッグすれば「2月」、「3月」、・・・、「12月」と、いわばユーザの意図を推定して空欄を埋めてくれる。合計の定義も同様に、その場所を移動しても相対的な座標で定義してくれることはすでに述べた。このように、ユーザがシステムの行動を予測しやすくし、そしてシステムもユーザの意図を推定しやすいように、環境を共有する感覚を生み出すのである。その仕組みが可能なのは、ひとえに環境における共有場の概念の導入とその巧みなメタフォアによる。

シームレスなユーザインタフェース

ソフトウェアの作成方法で指摘したシームレスなシステムの必要性についてはどうか。たとえば、現在のパソコンでよく使われるデスクトップメタフォアはこの志向を持っている。その世界（環境）はトポソイドモデルにある（アリストテレスのトポスの）局所不均一性を持ち、それがユーザにわかりやすさを与えている。これも環境に与える共有場の一つである。いわば、演出家であるユーザが俳優（エージェント）を使いこなす舞台装置を提示しているのである¹。このことから、各種のアプリケーション（機能）の連続的な接続をある程度ではあるが、実現している。たとえば、フォルダと書類の概念により、コンピュータファイルを目に見えるものとして提示することに成功し、マルチウインドウシステムによって、異種のアプリケーション間の移行を、ある程度円滑にしている。しかし、未だにアプリケーションソフトは堅い輪郭を持ち、その境界を超えてユーザが新しい機能を作りだすことは極めて困難である。その理由のひとつは認知射であるアプリケーションソフトウェアの調節（自己あるいは外部からの）作用が殆どないことである。もし、適切に機能する調節作用が組み込まれるようになれば、環境への依存性が発揮され、ユーザとの環境の共有がより豊かなものになるだろう。

6. 7 協調アーキテクチャ

¹この例えに関連して、ヒューマンインタフェースの観点からコンピュータを劇場として見立てる [Laurel91]は興味深い。

我々の認知射は調節作用を持つと仮定されている。この調節は自己基準による調節と外部基準による外部からの自己基準の調節とを合わせ持つものである。自己基準は自己の意図 intention であり、外部からの特殊入力とは外部の意図である。両者の統合によって、環境に適応し、環境から学習するとともに、自己の意図と環境の意図とを調整する。そして、認識と行動の一定の枠組み（スキーマ）を形成する。こうして作られるスキーマは置かれた局所的環境に依存することから、環境を共有する共同体に共通するものが形成されやすい。基準が互いに整合しない認知射が存在すると、統合化された集団としての基準との衝突を起こす。ここに、個と全体の競合と調整があり、これも再帰的階層構造を作る。トポソイドモデルによる我々のパラダイムによって構築されるアーキテクチャをこのような観点から見たとき、それを協調アーキテクチャと呼ぶ¹。認知者が分散され、分割されるのは、どの単位を認知者と認めるのかという観測で決まることであり、最小単位の認め方の問題であるに過ぎない。この分散性の善し悪しを問うまでもなく、いかなるアーキテクチャも複雑化すれば本質的にこのような構成になる必然性がある。これらの部分認知者の情報アクセスの範囲もまた、必然的に限られることはすでに指摘したとおりである。するとアーキテクチャとして機能するためには、各認知者が相互作用する舞台を与える共有場をどのように設定するか、そしていかなる方策が集団の合理的な統合を作り出すか、そのときの資源競合の問題をどう解決するか、など派生する多くの副課題をどのように解決していくにかかっていると言えよう。

6. 8 可謬アーキテクチャ

現在のソフトウェアアーキテクチャではごく小さな誤りが全体に致命的な打撃を与える。たとえ誤りが全くなくとも、作成に使用された仕様そのものが環境の変化によって実際の要請からずれることは日常的に起きている。さらに厄介なことには、人工知能やパターン認識にその特徴が顕著に出るが、アルゴリズムそのものが、そもそも要請される機能への一種の《帰納的仮説》を前提するものであり、完全な正しさはありえない。ところが、従来のソフトウェア工学は不可謬論によって成立している。バグはあってはならず、徹底的に追放するべきものとされる²。しかし、もっとも厳密な測定をする物理標準の世界でさえ、測定の誤差をまえもって見積っているし、精密機械部品では加工の許容度が与えられる。これらは誤りの存在を根底において認めているからである。

誤りを完全になくすことは不可能であるという立場からソフトウェア工学を再構築するにはどうすればよいか、バグを容認し放置することではない。特に、初等的な誤りはなくさなければならない。

¹ 1989年度より開始した工業技術院の研究プロジェクト「新ソフトウェア構造化モデル」がその実現を目標としているアーキテクチャである。

² 最近のソフトウェア製品はさすがにここまで徹底できず、サンプルテストで一定の率以下のバグの発生を認めているが、問題は、そのバグに対する対策の考え方である。

しかし、高度な水準においては、ユーザの要求とシステムの機能との食い違い（すなわちバグ）は避けられないことを認め、その上で対策を考えなければならない。そうすると、常時生じるバグを常時克服する方法論を考えなくてはならない。すなわち、目標値からのずれをもとに動く自動制御のように、環境との強い相互作用をもって、たえず自己調整ないしは他からの調整を行なわざるを得ない。オンライン、リアルタイムのデバッグ（調整）であり、もはやそれは、デバッグを超えて、自己改良であり、自己進化である。

このことを可能にするためには、自己学習するプログラムを実現することが理想である。しかし、その手前で、局所的状況への適応や能動的センスなど、これまで列挙したトポソイドモデルの特徴のうち、比較的实现が容易なものを試みることは出来る。なによりもまず、環境としてのエンドユーザがシステムの内部を理解し、「調節」出来る道を考えてみる必要がある。従来のハードウェア製品では、エンドユーザが手を入れなくても完全に動くことを理想としてきた。しかし、ソフトウェアのパラダイムはハードウェアのこのようなパラダイムとは異なるべきであろう。現在、UNIX製品などがオープンシステムを標榜するが、そのシステム内部を理解し、改造できるひとは限られている。その数少ない人達が出来ようになるにはどうすればよいのか、今後追求すべき課題であるが、その実現にはアーキテクチャの基本モデルから考え直す必要があるだろう。すなわちパラダイムチェンジが問われている。

6. 9 CAI埋め込み型アーキテクチャ

コンピュータを教育（学習）に役立たせる技術はCAI (Computer Assisted Instruction) と総称される。この研究は、米国で1959年に、我が国では1964年に始められている【田村66】。初期のシステムは非常に単純で、多肢選択問題に対する学習者の応答によって次に提示する問題を変える程度であった。その後、1960年代末から知的CAIの研究が始められ、人工知能の技術が導入された。1980年代以降、パソコンの普及により一般にもCAIプログラムが市販され、一定の広がりをもって使われるようになった。そこであらためて問われる疑問は、一体、人間教師の模倣がCAIの目標とするものだろうか、と言うことである。人間教師による教育をそのまま模倣しようとしても現在のコンピュータ技術では不可能であるが、たとえそれが可能であっても、CAIとしての意義があるのだろうか、と言う疑問である。これは、音声や文字を理解し、会話の出来るいわゆる知的ヒューマンインタフェースが本当に理想とするべきものであろうかという疑問に通じる。どの人間もそのような能力を持つが、だからといって人間は《使いやすい》存在だろうか。教育は、普通の人間は愚か、ベテラン教師でさえ困難な仕事である。しかし、たとえCAIがその困難さを乗り越え、人間教師以上にすぐれたとしても、それが技術の理想なのだろうか、と言う疑問が残るのである。なぜならば、この場合の教師とは、実世界の環境から切り離された《学校》教育での教師が暗黙のうちに仮定され、その

《学校》教育に疑問がもたれたからである。第二の理由は、せっかくコンピュータを使うのであれば、人間には出来ないことをコンピュータにさせるべきだという議論である。これはCAIに限ることではないが、第一の問いの答えに関連する。というのは、学校のように教育だけを純粋に切り出して執行するのではなく、実世界との相互作用の強い場での教育が見直される気運にあり、そのような教育にCAIがうまく利用できるのではないかと考えられるからである。いわゆる状況重視型教育(situated education)でのコンピュータの活用が検討され出したのである。

状況重視型教育とは、たとえば、パソコンの使用時に学習者がその使用法について、使用状況の中で学習する(教育される)仕組みを言う。いわば、教育がシステムに埋め込まれるのである。このような場合は明らかにCAIは密接に状況と関連して機能する。コンピュータを使う状況に限らず、一般に、実状況の中での教育にCAIを埋め込む方法が開発されている。

このsituated education または situated learning はまさに、オンライン、リアルタイムで細部に到るまで調整作用を組み込む我々のトポソイドモデルに合致するものである。そして、新しい情報処理アーキテクチャでは、現在のような単純なヘルプ機能を超えたCAIを随所に埋め込んだアーキテクチャが重要である。これによって、積極的にユーザにアーキテクチャを理解してもらう仕組みが出来るからである。これは、状況重視の教育的観点からも、そして、状況依存型の情報処理システムとしてのCAIの在り方からも重要なパラダイムであると考えられる。

6. 10 シームレスアーキテクチャ

我々のトポソイドモデルでは、射を第一義に置く認識論に立つが、射は両端の対象を介してあらわるものに繋がって行く。射を持たない孤立した対象は、認識の《対象》にならないのである。この意味で、このモデルは本質的にシームレスである。しかし、人の通常の物象化しやすい認識観に合わせると、認知射が認知者になって輪郭が定められ、認知者を置く環境の共有場が想定されるのである。この事情をわきまえたうえで、物象化された射をわかりやすく表示し、組み合わせるアーキテクチャが本質的なシームレスシステムを構築することになるだろう。射の物象化は、射のユーザへの見せ方(つまりヒューマンインタフェース)とそのモジュール化によって行なわれる。

表現形態としてみたとき、認知射の考え方にもっとも近いプログラム言語は、タイプ付きの関数型言語である。タイプとは定義域と値域を定めるものであるから、対象を指定する射そのものの具現化である。しかし、関数型言語が一般に広まらないのは、その概念が抽象的であり、通常の物象化する認識観にそぐわないからである。一般ユーザに提供されるアーキテクチャの形式的仕様を与えるという意味はあるが、ユーザに使いやすさと作りやすさを提供するものとはならないだろう。

そこで、オブジェクト指向的なものを勧案する必要がある。たとえば、SMALLTALK 80のように、モ

ジュールの段階にまでユーザインタフェースとしての視覚化を考慮している点は見習うべきところである。最近の[田中92]のインテリジェントパッドもこの点を継承している。

プログラミングの視覚化(図式化)の研究は1970年代後半に米国で始められたが、我が国では[Kurita84]の1980年頃からの研究が最初のもののひとつであろう。ここで提案されたシステムでは、SMALLTALK 80がプログラムそのものはテキストで与え、モジュールを視覚化しているのに対し、関係、あるいは作用をプログラム表現の単位としているうえに、それら自体を図式化している。我々の主張するシームレス化により近いものであるといえる。

最近のパソコンにおいては強いユーザニーズに促されて、シームレス性の追及に関しても従来のコンピュータサイエンスにない発想が実現されつつある。WindowsのプラットフォームでのOLE、そしてMacintoshのプラットフォームでのAmberは、同一ドキュメント上における様々なアプリケーションパートの同居を円滑に進める仕組みであり、まさに、ここで指摘しているシームレス性のひとつの具現化である。

しかし、物象化はいずれにせよそれ自体の問題を含んでいる。たとえば、その輪郭の設定の任意性や状況からの切り離しなどである。この相互矛盾をいかに解決するかが、今後のシームレス化のポイントになる。

その手段については、これまでの議論が多くの示唆を与えている。共有場、局所的状況、共有場に位置づけられる複数認知者、この構造のフラクタル化、さらにユーザをひとつの認知射と見立て、ユーザとシステムとの共通基盤を与えるメタフォリックな共有場、そのメタフォアを提示する手段、さらには認知者の自己調整機能などである。この、一見複雑な構造も、フラクタル性によってある種の均一性を持つともいえ、それがユーザに使いやすさと作りやすさを与えるはずである。

第7章 結語

情報処理技術においてパラダイム論は二重の意味で重要である。第一に、情報処理に限らず、工学研究者が自明とし、暗黙の了解としている技術の基礎的な枠組としてのパラダイムの変革こそが技術の発展の原動力となるからであり、第二に、情報処理技術の固有の問題として、人間の認知機能の機械化を追及することから、認知機能におけるパラダイムの役割の明確化が必須だからである。

本稿では、現状の情報処理技術が直面している壁が、それがよって立つ認識論のパラダイムの構成に起因するとの立場から、情報処理的観点からの認識論の考察を行ない、その考察をもとに新しい認知システムのモデルを提案し、それによって情報処理アーキテクチャのあるべき姿を再検討し、新展開のための指針となるべき原理を与えた。

具体的には、

(1) 認知システムを具現化するソフトウェアアーキテクチャについて、パラダイムの観点から論じた。部品構成のパラダイムと、その組み合わせのシームレス化、共有場設定の重要性、ソフトウェアエージェントの状況依存性などの問題を明らかにした。

(2) 高度知的情報処理を含む情報処理の各分野における従来のパラダイムを論じた。そこに、開いたシステムへの要請、実世界の表象化の限界、情報の多相性の扱いなどの課題があることを論じた。

(3) 従来の哲学、および認知科学での認識論を情報処理工学の視点から再検討し、自己調整可能な内在化作用を重視する光学的認知モデルを提案した。

(4) 圏理論を援用することにより、この認識論をさらに深め、圏理論における射を第一義とする世界観により、トポスモデルを構築した。しかし、圏理論のみによる閉じた体系の限界を論じ、環境からの介入を許し、むしろそれを必要とする開いたシステムのトポソイドモデルを提案した。すなわち、認知者としての情報処理システムは、トポスによって規定される射の概念を背景とし、環境に導入された位相によって作られる共有場に位置づけられ、自己と環境によって常時調節される状況依存性を持ち、なおかつ、環境に働き掛ける調整可能な外在化機能を持つものであり、しかも、自己と相似の部分認知者を再帰的に内部に持つシステムであるというものである。これによって認知者集団の階層に応じてパラダイムが形成される機構を明らかにした。

そして、最後に、

(5) このモデルを実際の各種情報処理技術に解釈的に適用してみることによって、モデルとしての妥当性を検証するとともに、現在の情報処理技術が抱える課題を抽出し、さらにこのモデルをアーキテクチャ構成のパラダイムとしてみることに、今後実現されるべき新しい情報処理アーキテク

チャを構想した。

このパラダイムを具現化したシステムが、実は自然界に遍く存在する。ゲノムをプログラムと見立てたときの細胞である。といっても、遺伝子アルゴリズムのことではない。生態形成において分裂を繰り返すとき、細胞は全く同一のゲノム情報によって、置かれた環境で果たすべき役割を持つ器官の要素となる。置かれた環境を最大限利用し、しかも環境に適応してみずからの役割を果たす。また、ゲノム自身、一見、無駄と誤りを多く含むものと見られるものの、全体としては正しく働き、強靱なシステムを作り出す。分身を作りながら、ゲノムは有機体を介して環境と相互作用し、それによるだけで、生体のすばらしい機能を発現する[Levins85]。これこそ、我々が目指すべき認知者としての情報処理システムのあり様である。

今後は、このモデルの理論的精緻化を進めるにするとともに、情報処理の各分野において具現化を図り、その工学的有効性を実証していく必要がある。

謝 辞

本研究の基本的構想は電子技術総合研究所における長年の研究によって得られたものである。その間、優れた上司と同僚による率直な意見交換と議論に恵まれ、本研究の出発点になった問題意識と基本概念を得ることが出来た。直接的、間接的影響を受けた上司、同僚は余りにも多いため、お名前を列挙することをあえて控えたいが、皆様に心より感謝の意を表したい。

本論文を仕上げるにあたり、東京大学計数工学科の森下巖教授にご指導をいただいた。また、草稿に対して、同大学同学科の甘利俊一教授、鈴木良次教授、北森俊行教授、および同大学電子情報学科の淵一博教授には様々な角度から大変有意義なご討論をしていただき、同大学計数工学科の藤村貞夫教授と杉原厚吉教授には貴重なコメントをいただいた。諸先生方のご検討を経ることによって本研究で提示した基本概念や議論の展開の問題点がより明確にされ、初期の粗雑な構成を大幅に改良することが出来た。ここに心より感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- [Amdahl64] Amdahl, G. M. et al. : Architecture of the IBM System/360, *IBM J.R. & D.*, 6, 2, pp. 87-101 (1964)
- [Austine62] Austin, J. L., : *Sense and Sensebillia*, Oxford University Press, London. p.99(1962)
- [Backus78] Backus, J. : Can programming be liberated from the von Neuman style? A distributed programming concept, *CACM*, 21, 8 (1978)
- [Barwise83] Barwise, J., and Perry, J. : *Situations and Attitudes*, A Bradford Book, MIT Press, Cambridge (1983)
- [Buchholz62] Buchholz, W. (ed.) : *Planning a Computer System*, MacGraw-Hill, p.5 (1962)
- [Carnap47] Carnap, R., : *Meaning and Necessity*, University of Chicago Press, Chicago, p.10(1947)
- [Casti89] Casti, J. L., : *Paradigm Lost: Image of Man in The Mirror of Science*, William Morrow, New York (1989) (佐々木光俊他訳「パラダイムの迷宮 科学の鏡に移る実像と虚像」白揚社, p.279(1992))
- [Chomsky75] Chomsky, N., : *Reflections on Language*, Pantheon, New York(1975) (井上他訳「言語論」, 大修館(1979))
- [Damasio92] Damasio, A. R., and Damasio, H. D., : Brain and language, *Scientific American*, Sep. (1992) (岩田淳訳「脳と言語」日経サイエンス, 11, 1992)
- [Davis72] Davis, W. H., : *Peirce's Epistemology*, Martinus Nijhoff Publishers B.V.(1972) (赤木昭夫訳「ハーバースの認識論」, 産業図書(1990))
- [De Mey82] De Mey, M., : *The Cognitive Paradigm*, D Reidel Publishing Co., Holland(1982) 村上陽一郎他訳:「認知科学とパラダイム論」, 産業図書(1990)
- [Dretske81] Dretske, F. I., : *Knowledge & the Flow of Information*, MIT press, Cambridge(1981)
- [Fauconnier84] Fauconnier, G., : *Espaces Mentaux*, Editions de Minuit(1984) (坂原茂他訳「メンタル・スペース —自然言語理解の認知インタフェース—」, 白水社(1987))
- [Fodor81] Fodor, Jerry A., : *Representations*, MIT press, Cambridge[1981]
- [Gadamer75] Gadamer, Hans-Georg., : *Wahrheit und Methode*, J. C. B. Mohr[Paul Siebeck], Tübingen(1975) (樽田収他訳「真理と方法」, 法政大学出版局(1986))
- [Gibson60] Gibson, E., and Walk, R. D., : The visual cliff, *Scientific American*, April, pp.341-348(1960)
- [Gibson79] Gibson, E., : *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, Boston(1979)

- [Goguen90] Goguen, J. A., : *Four Pieces on Error, Truth and Reality*, Technical Monograph PRG-89, Oxford Univ. Computing Laboratory, Programming Research Group, Oxford, Oct. (1990)
- [Goldbratt79] Goldbratt, R., : *Topoi: The Categorical Analysis of Logic*, North-Holland, Holland(1979)
- [Hopfield85] Hopfield, J. J., and Tank, D. W., : "Neural" computation of decisions in optimization problems, *Biological Cybernetics*, 52, pp. 141-152(1985)
- [Johnson87] Johnson, M., : *The Body in The Mind The bodily basis of meaning, imagination, and reason*. (1987) (菅野盾樹 中村雅之訳「心のなかの身体 想像力へのパラダイム転換」紀伊国屋書店(1991))
- [Kuhn62] Kuhn, T.S., : *The Structure of Scientific Revolution*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1962
- [Kurita84] Kurita, T. and Tamura, K., : Dialog.I: an iconic programming system based on logic programming, *Bulletin of the Electrotechnical Laboratory*, 48, 12, pp.966-975(1984)
- [Kurita92] Kurita, T., Otsu, N. and Sato, T., : A face recognition method using higher order local autocorrelation and multivariate analysis. 11th Int'n'l Conf. on Pattern Recognition(1992)
- [Laurel91] Laurel, B., : *Computers as Theatre*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc(1991) (遠山峻征訳「劇場としてのコンピュータ」株式会社トッパン(1992))
- [Levins85] Levins, R., and Lewontin, R., : *The Dialectical Biologist*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., p.89(1985)
- [Liddel68] Liddel, H. G., and Scott, R.(Cmpld) : *Greek-English Lexicon*, p.1307, Oxford Univ. Press(1968)
- [Marr82] Marr, D., : *Vision*, W.H. Freeman, San Francisco(1982)
- [Michalski86] Michalski, R. S., et al. ed. : *Machine Learning*, Toiga Publishing Co. Palo Alto(1986) (電総研人工知能研究グループ他訳「知識獲得と学習シリーズ」共立出版(1988))
- [Michie74] Michie, D., : *On Machine Intelligence*, Edinburgh Univ. Edinburgh(1974)
- [Minsky75] Minsky, M., : A framework for representing knowledge, *The Psychology of Computer Vision*, McGraw Hill, New York, pp.211-227(1975)
- [Minsky87] Minsky, M., : *The Society of Mind*, Simon and Schuster, New York(1987) (安西祐一郎訳「心の社会」産業図書(1990))
- [Montague74] Montague, R., : *Formal Philosophy*, Yale University Press, New Heaven(1974)
- [Neisser76] Neisser, U., : *Cognition and Reality*, Freeman, San Francisco(1976) (古崎敬・村瀬晃訳「認識の構図」サイエンス社(1978))
- [Norman88] Norman, D.A., : *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books, New York(1988) (野島久雄訳「誰のためのデザイン?」, 新曜社(1990))

- [Ocko88] Ocko, S., Papert, S. and Resnick, M., : "I understand because I built it myself," *Lego&Logo; Learning about living with computers!*, *Australian Computers in Education Conference: Golden Opportunities, Proceeding*, pp.314-326(1988)
- [Otsu88] Otsu, N. and Kurita, T., : A new scheme for practical flexible and intelligent vision systems, *Proc. IAPR Workshop on Computer Vision*, Tokyo, pp.431-435(1988)
- [Palmer77] Palmer, S.E., : Hierarchical structure in perceptual representation, *Cognitive Psychology* 9, pp.441-474(1977)
- [Putnam75] Putnam, H., : The meaning of 'meaning,' Gunderson, K., ed. *Language, Mind, and Knowledge*. Univ. of Minnesota Press, Minneapolis, pp.1351-139(1975)
- [Putnam81] Putnam, H., : *Reason, Truth and History*, Cambridge University Press, Cambridge(1981)
- [Putnam88] Putnam, H., : *Representation and Reality*, The MIT Press, Cambridge(1988)
- [Ramachandran92] Ramachandran, V. S., : Blind spots, *Scientific American*, April (1992) (影山准子訳「盲点」日経サイエンス, 7, pp.74-79(1992))
- [Rumelhart86] Rumelhart, D. E., et al : Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, 323, 9, pp.533-536
- [Scott76] Scott, D. S., : Data types as lattices, *SIAM J. on Comp.*, 5, pp.522-587(1976)
- [Selfridge55] Selfridge, O.G., : Pattern recognition and modern computers, *Proc. West Joint Computer Conf.*, Los Angeles(1955)
- [Stoy77] Stoy, J. E., : *Denotational Semantics: The Scott-Strachy Approach to Programming Language Theory*, The MIT Press, Cambridge(1977)
- [Suchman87] Suchman, L. A., : *Plans and Situated Actions - The problem of human machine communication*, Cambridge Univ. Press, Cambridge(1987)
- [Thornburg88] Thornburg, D.D., : From metaphor to Microworlds, *Computers and Education*, 12, 1, pp.11-15(1988)
- [Turing36] Turing, A., : On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem, *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42, pp.230-265(1936)
- [Turing50] Turing, A., : Calculating machinery and intelligence, *Mind*, 59, Oxford Univ. Press, p. 236(1950)
- [Whitehead19] Whitehead, A. N., : *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*, (1919) (藤川吉美訳「自然認識の諸原理」ホワイトヘッド著作集 第3巻 松籟社(1981))
- [Wilks92] Wilks, M. V., : Artificial intelligence as the year 2000 approaches, *Comm. ACM*, 35, 8, pp. 17-20 (1992)

- [Winograd72] Winograd, T., : *Understanding Natural Language*, Academic Press, New York(1972) (淵一博他訳:「言語理解の構造」産業図書(1976))
- [Winograd86] Winograd, T., and Flores, F., : *Understanding Computers and Cognition*, Ablex Publishing Co. Norwood(1986) (平賀譲訳「コンピュータと認知を理解する」産業図書(1989))
- [Winston75] Winston, P. H., : *Learning structural descriptions from examples, The Psychology of Computer Vision*, P. H. Winston(ed.), McGraw-Hill, New York(1975)
- [Witkin83] Witkin, A. P., : Scale-space filtering, *Proc. International Joint Conf. Artificial Intelligence*, Karlsruhe, West Germany, pp. 1019-1022(1983)
- [Wittgenstein21] Wittgenstein, L., : *Tractatus Logico-Philosophicus*, (1921) (奥雅博訳「論理哲学論考 ウィトゲンシュタイン全集第1巻」大修館書店(1975))
- [Young92] Young, M. P. and Yamane, S., : Sparse population coding of faces in the inferotemporal cortex, *SCIENCE*, 3, 6(1992)
- [Zeki92] Zeki, S., The visual image in mind and brain, *Scientific American*, Sep. (1992) (赤瀬英介他訳「脳と視覚」日経サイエンス, 11, 1992)
- [伊藤82] 伊藤隆:「情報とは何か」科学 50, 1(1980)
- [小林92] 小林重信: 事例ベース推論の現状と展望, 人工知能学会誌, 7, 4, pp.559-566(1992)
- [上坂91] 上坂吉則: 情報科学からみたニューラルネット, 計測と制御, 30, 4, pp.309-314 (1991)
- [色摩88] 色摩力夫:「オルテガ 現代文明論の先駆者」中公新書894(1988)
- [田村66] 田村浩一郎: 電子計算機による教育, 電気通信学会雑誌, 50, 4, pp.606-612(1966)
- [田村73] 田村浩一郎: 逐次近似法による物体認識, 昭和48年電子通信学会全国大会, 1278 (1973)
- [田村82a] 田村浩一郎:「オフィス情報システム」, オーム社(1982)
- [田村82b] 田村他: 論理と関数, 情報処理, 23, 11, pp.1034-1048(1982)
- [田村85] 田村浩一郎:「柔らかな論理」とは, 柔らかな論理に関する調査研究, 電子技術総合研究所調査報告第211号, pp.4-18(1985)
- [田村92] 田村浩一郎: ヒューマンインタフェースと情報の構造, 認知科学の発展, 5, 日本認知科学会(1992)
- [田中92] 田中譲:「自己組織型メディア情報ベースと協調作業支援環境に関する研究報告書」, パーソナル情報環境協会(1992)
- [波多野92] 波多野諒余夫, 三宅芳雄: 認知科学の動向, 人工知能学会誌, 7, 5, pp.746-763(1992)

- [平野70] 平野耿：表象，「現代哲学事典」（山崎正一，市川浩編）講談社現代新書(1970)
- [末木70] 末木剛博：唯識，「現代哲学事典」（山崎正一，市川浩編）講談社現代新書(1970)
- [廣松82] 廣松渉：「存在と意味 ―事的世界観の定礎―」岩波書店(1982)
- [廣松88] 廣松渉：「新哲学入門」岩波新書5(1988)

