

大阪体育大学紀要  
第21巻 (1990) pp.63-75

## フレーム問題の射程

齊藤了文

2年3月31日受付

### The Scope of Frame Problem

Norifumi SAITO

The frame problem is the problem of describing in a computationally reasonable manner what properties persist and what properties change as actions are performed (F. M. Brown).

By considering this problem, what instructions we receive?

The moral I drew from this problem is to notice the features of 'applications of rules' and 'partiality of information'. These features indicate the body of knowledge, not from the scientific view, but from the engineering view. And this view will change the traditional understanding of 'intelligence' and 'rationality'.

#### 要 約

フレーム問題は、行動によって世界に変化を与えた場合、世界のどの部分がそれによって変化したかを調べつくせないという問題である。フレーム問題とは、いくつかの行動が行われたとき、どの性質が持続しどの性質が変化するかを、まともに計算できるようなやり方で記述する問題である<sup>1)</sup>。

この問題の考察から、我々はなにを教訓として得ることができるか。

私の得た教訓は、「適用の知」と「情報の部分性」という特徴に注目すべきであるということである。これは、科学というより、工学をモデルとした知の姿である。そしてこういう観点でAIを見ていくと、人間の「知性」や「合理性」に関して、興味深い知見を獲得できるであろう。

#### 一般的な問題設定

フレーム問題が生じてきたのは、知識表現の問

題からである。つまり、人工知能を脳のシナプスに類似したものから作っていきこうという試みではなく、知能の機能に着目し、それをプログラムに基づいて作っていきこうという試みから発したのである。そしてそのためには、問題解決のために、よりよい知識表現が要請されたのである<sup>2)</sup>。

つまり、ある程度の表現力が必要とされたときに、問題が生じたのである。(これは、後に論ずるように、J.マッカーシー・P.ヘイズの言葉を使えば、認識論的に十分な表現が必要であるということである。)

さて、記号処理機械としてのコンピュータは、もともと検索という仕方で問題解決を行う。定理の証明も導出原理を用いることによって、うまく検索を行うことに帰着できる。そして、この検索のアルゴリズムは数学的、工学的に改良されてきている。ただし、ここには組合せ的爆発という問題が常に潜んでいる。つまり、あらゆる可能性をすべてたどることは、どんなに高速のコンピュータにとっても不可能だということである。そのた

めに、さまざまなヒューリスティックスが求められたのである。

さて、人間やロボットの行動を考えよう。この場合にも、すべてのことを考えてから行動することは実は不可能であることがわかる。にもかかわらず、人間の行動がわりにうまくいっているのはなぜか、これがフレーム問題の中心である。

つまり、大きく言えば、柔軟な処理、常識的な対処ができること、つまり適切な時に適切なことができることが、(コンピュータと比べて)非常に優れた人間の知性の姿を示していることが分かってきたのである。

言語では、文脈、曖昧さ、知識に関しては常識、技能、実用的知識、行動や予測に係わる時間を含んだ知識をどう扱うかが問題になったのである。

従って、結局、このような種類の「知識」を、どのようなものとして理解するかというところが、フレーム問題の中心である。

### もともとのフレーム問題

まず、フレーム問題を最初に提示したマッカーシーとヘイズの論点を見ることによって、認識論的に十分な表現、つまり表現の豊かさとフレーム問題とのつながりを見ることにしよう<sup>3)</sup>。

彼らは、汎用的な知能を設計しようとして、まず知的であることを次のように考える。「ある存在物について、それが世界についての十分なモデルを持っているとき(数学の知的世界、自身のゴールや他のメンタル・プロセスを理解することを含む)、このモデルにもとづいて、広く多様な質問に回答できるほど聡明であるとき、必要な場合には外界から追加情報を手にいれ、自身の物理的能力が許容するような外界におけるタスクを遂行できる時に、我々はそれが知的であると言うことにしよう。」

そして、この定義にもとづいて知能を、認識論

的部分と発見的部分に分ける。「認識論的部分とは、世界の表現のうち、表現された事実から問題の解決が導入されるような形式をもったものをいう。発見的部分とは、情報に基づいて問題を解き、何をすべきかを決定するメカニズムである。」

そして彼らは、特に知能の認識論的部分を取り上げる。したがって、「世界はどのような構造を持っていると見なされるべきか、そして世界とその変化の法則はいかにしてマシンの中に表現されるかを決定する」ことが、目指される。

さらに、人工知能の観点から、世界の表現に対する3種類の十分性を定義する。

「ある表現は、我々が関心をもつ世界の局面の諸事実に矛盾することなしに、世界にその様な形式を当てはめられるならば、形而上学的に十分であると呼ぶ。」この実例は、一組の粒子間にそれぞれ働く力を通じて相互作用をしている、粒子の集まりとしての世界の表現とか、量子力学の巨大な波動関数としての世界の表現とか、離散的オートマトンが相互作用するシステムとしての表現といったものである。そしてこの、形而上学的に十分な表現は、一般理論を構築するために有用であると言われる。

「ある表現は、世界の局面に対して現実を持っている諸事実に表現するためにそれを実際的に用いることが出来るならば、人間またはマシンにとって認識論的に十分であると呼ぶ。」この場合、上の離散的オートマトン等の実例は、「ジョンは家にいる」といった事実を表現するのに十分でない、と言われる。そして、オートマトン表現が認識論的に十分でない理由として、「我々は人間について、彼の内部状態をリストするほどはよくは知っていない」と言われている。

また、「ある表現は、実際にある問題を解く上で遂行される推論プロセスがその言語で表現可能なとき、発見的に十分であると呼ばれる。」

そしてこの3種類の表現のうち、特に、形而上学的に十分な表現と認識論的に十分な表現が対比されることによって、「実用的なシステムが必要とするものは、現実に確証可能であるような事実が表現されるような、認識論的に十分なシステム」であることが強調される。そして状況計算 situation calculus が導入されたのである。

そしてここで、「連続して実行される多数の行為があれば、特定の行為が特定の流量の値を変えないという、書き下さなければならない多数の条件をもつことになる」という問題が生じたのである。あまりにも多くの条件を書き下さなければならないこと、これが問題の中心だったのである。そして、この問題に対処する方法の一つとして、「多数の流量がフレームに固定されていると宣言され、行為の結果は、どの流量が変更されたか述べられることで記述され、他の流量はすべて変更されない」という方法が主張された。つまり、例外だけを記述することによって、記述の量を減らそうという提案を行ったのである。しかし実はこのような方法だけでは、うまくいかないことが分かってきたのである。

こうして、ここに提起された問題がフレーム問題と呼ばれるようになったのである。

この場合に注意しなければならない論点は、オートマトンによる表現が、認識論的に十分でない理由として、「我々は人間について、彼の内部状態をリストするほどはよく知っていない」という理由を彼らが、与えていることである。ここには、我々が（理論上というのではなく）実際上知りえないことをもとにして、人工知能を作っていこうとするのは、無意味だという主張がみてとれる。知的な働きをする機械を「作る」ことを考えると、すべての内部状態を決定することに基づいた機械は、実際上不可能なのである。これはまた「世界に関する我々の常識的見方は近似的に正しく、こ

れは我々の科学的見方にも当てはまる」という主張とも関係する。ある意味で、物理的、生理的還元主義に基づいては、マシンに知能をあたえることは、実際上不可能だと言っているのである。（ただし、知能が進化するようなコンピュータ・プログラムの可能性だけは認めている。しかし、その場合でも、「設計者が理解できないような知能を持つプログラムはコントロールできない」ために、この方法は危険な方法だとして退けられている。機械に対しては、知性を考えるとといっても、我々がコントロールできるという観点を常に持っているのである。）

このように、マッカーシーとヘイズによるフレーム問題の提示をみてくると、フレーム問題の理解において、忘れてはならない2つの論点があることが分かる。その1つは、「多数の条件」というところに現れているように、記述したり処理したりできないほど多くの情報を扱わねばならないという論点である。第2に、認識論的に十分な表現を用いることに基づいて（もしくは少なくともそのような表現を使ったことによって特に明瞭に）フレーム問題が生じたということである。フレーム問題の「新しさ」が、「認識論的に十分な表現」に由来すると言いたいのである。もちろんこの点は、もうすこし説明を必要とする。

つまり、人間の有限性を示している第1の論点は、古来、哲学や宗教の中でも言い古されていることである。するとフレーム問題が、AI研究において、「初めて」発見された問題だとすると、そこには何か特徴的なことがなければならないであろう。この意味で、形而上学的に十分な表現ではなく、認識論的に十分な表現を用いたことが、フレーム問題が問題として意識されるのに、決定的な重要性をもっていたと言いたいのである。

例えば、形而上学的に十分な表現として、古典力学（さしあたり、これで世界がすべて表現され

ていると考えておく)による表現を考えてみる。そして、科学の歴史において、なぜフレーム問題(見え)無かったのか、を考えてみよう。

非常にラフな仕方では、古典力学の世界観を見ていくと、それは決定論的な世界観であると言われる。つまり、ラプラスの魔を典型として、初期値と微分方程式さえ与えられれば、世界のすみずみまで何か起こるかを計算できるという立場であった。従って、古典力学の立場では、初期値と微分方程式の「量」さえ増せば、結局はラプラスの魔に近づくという、科学の直線的な進歩観を採用することが無理なく行われた。つまり、人間の有限性は、全知に到りえない欠陥としてのみ理解されてきたのである。つまり、世界が有限の数の微分方程式で記述されるならば、後は、初期値の数を増やせば増やすだけ、世界についての知も増加することになるであろう。例えば、 $\pi$ の値をコンピュータで求めても、何億桁までしか求められていないにもかかわらず、「原理的」には、計算を続けていけばその本当の値に限り無く近づくというイメージで、理想像であるラプラスの魔と有限の人間の関係は考えられてきたと思われる。しかも、この「原理的」な理想像こそ、実在の姿を示すものと考えられてきたのである。

これに対して、「認識論的に十分」な表現をもとにすることは、何を意味しているのか。例えば、積木の世界で、積木Aを平面上で動かしても、積木Bは普通は動かない。しかし、BがAの上に乗っていたりすると、Bも動く。フレーム問題は、このような予め限定できないような副作用をどう扱うかの問題だともいえる。このことは、今、表現したように自然言語であらわしたり、形式論理などを用いて表現するとき、この副作用をどうとらえるかの問題だと理解される。このとき、積木の世界に関して表面的に述べられていること(例えば「積木を動かす」)からは、すぐに思いつ

かないような場合(例えば「上に乗っている」)があり、それを表現することが必要になる。豊かな表現を用いることによって、フレーム公理を表現する場合でも、予め思いつかない多様な(単に多量であるだけではない)可能性を考慮せざるをえなくなるのである。

即ち、この「多様な可能性」の表現は、できるだけ多くの時点での初期値を求めるという単に量的な問題では片づかない。つまり、「原理的」には解決しているが、人間は不完全なので、現在のところその一部分がわかったに過ぎない(つまり知識の増大によって単調に実在に近づく)、とは言えない。「多様な」可能性の一部が理解されていない場合に、もしかするとその「重要な」一部がまだ分かっていない可能性も残っているのである。そして、単に量的な問題でないだけに、「重要な」部分はすべて考慮していると断言することはできないのである。

この意味で、フレーム問題は、知識表現の中の問題として初めて発見されることが可能になったのではないかと思われる。

### 問題の更なる展開

マッカーシーとヘイズの論文から、さまざまな課題や論点が提出された。したがって、それら諸点をもうすこし詳しく考察することにしよう。

第一に、もちろん、フレーム問題に対処しつつ認識論的に十分な表現をするにはどうすればよいか、という方向の考察がAIの研究者によって精力的に進められている。例えば、中島秀之は、『時間の多重世界表現』<sup>4)</sup>において、フレーム問題を、「状態変化の記述に命題を用いた場合、記述量あるいは推論量が膨大になるという問題である」と捉え、状態の変化を記述するための表現方法の考察に進む。つまり通常の論理では時間を表現できず、そのために行動の計画といったものも形式的

に記述できなかつたのである。そこで、マッカーシー&ヘイズは状態論理 situation logic を導入したが、このとき記述量や推論量が膨大になったのである。(変化を含む世界においては、データベースの根本的な更新の可能性があることに注意。)これが、フレーム問題の始まりだと捉える。このとき、彼らのような時間表現では、変化がうまく捉えられないことを問題にするのである。そして、中島は、状態の変化をデータベースの書き換えと捉え、しかもこのとき過去の状態を再現したり、仮想状態を作ることの可能にするような時間表現を導入しようとするのである。これが時間の多重世界表現である<sup>9)</sup>。

同時に、フレーム問題は、非単調推論や常識推論の問題だ、としてもとらえられている。つまり、ある動作によって変化しないことをすべて記述することが、フレーム問題の中心だと考えられたのである。そのためそのことを論理的にうまく記述する方法が求められたのである。(これは、多様性を処理しようとする自然な試みだと位置づけられる。)例えば、デフォルトを用いた推論を実現するために Sandewall によって、UNLESS オペレータが導入された。これは、通常の論理式だけを用いて推論して、 $p$  が証明できなければ、UNLESS ( $p$ ) が成り立つというものである。例えば、「ペンギンなどの例外を除き、一般の鳥は飛ぶ」というデフォルト推論は  $\forall x \text{Bird}(x) \wedge \text{UNLESS}(\neg \text{Fly}(x)) \supset \text{Fly}(x)$  と表現できる。他の知識がなければ、 $x$  を鳥だとすると、UNLESS ( $\neg \text{Fly}(x)$ ) が成り立ち、ここから  $\text{Fly}(x)$  が導けると、いったようなものである。ここで特に非単調という言い方をしたのは、通常の論理体系では、公理  $A, B$  から証明される定理の集合を、 $\text{Th}(A), \text{Th}(B)$  と書くとすると、 $A \subseteq B$  ならば、 $\text{Th}(A) \subseteq \text{Th}(B)$  が成り立つ(これを単調性とよぶ)のに対して、UNLESS オペレータを含めるとそうはならないことに由来

する。このように、論理に非単調性を導入することによって、「例外を除く」という表現をしようとするのである。これは、我々の思考が累積的でないことを表現している。つまり、前提としてもつていった知識が変化しうることを、考えに入れようとしている<sup>9)</sup>。

このように、知識表現の質を高めようとするところが、試みられているのである。

第2に、認識論的に十分な表現をどうしても用いる必要がある(この点は、人間が行う行動計画の自然なモデル化というところから要請されていた)ということは、何を意味しているのか。

前節で述べた、古典力学による表現と「より豊かな表現」との対比(つまり、形而上学的に十分な表現と認識論的に十分な表現との対比)を展開しておく。

例えば、カップが受け皿の上に乗っている場面を考える。このとき、下の受け皿を移動すると、上のカップも一緒に移動する。しかし、上のカップを移動しても、下の受け皿は移動しない。このことは、「移動する」という動作を示す述語を用いるだけでは、うまく表現できない。つまり、ある作用を行った場合、どのような副作用がおこるかは、作用対象によって異なる。従って、予め対象ごとに「移動する a」「移動する b」などという個別的な表現をしなければならなくなるだろうが、そうすると今度は記述の量が非常に多くなっていき、フレーム問題に陥ってしまう。

「より豊かな表現」を用いることは、ある程度一般的な述語(例えば「移動する」とその例外と)といった仕方で、行動や操作、作用を理解することを意味する。つまり、ある程度一般的な法則や述語(これは、世界を何らかの意味で分類することである)を基にするが、その適用は状況によって異なると考えようとする。これに対して、力学においては、法則の適用は自明だと考えられる。つ

まり、初期値を求めて、微分方程式に代入することは自明のことだと考えられていた。(量子力学においては、もちろん不確定性が出てくるが、これは近似値を考えれば、さしあたりは問題のないものである。)しかし、「豊かな表現」を用いることによって、この分類の仕方そのものが、与えられた状況において(対象ごとに操作を特定すべきだといった)問題になるのである。一般的な述語や法則<sup>7)</sup>の「適用」が自明でないという点で、「豊かな表現」は古典力学の表現では見落とされがちな問題を提示しているのである。

ここまでは、状況に応じた副作用をある程度考慮しなければならない、という仕方でフレーム問題がとらえられてきた。しかしここで、もうすこし広い仕方で、少し違った立場からどういう問題点があるかを見ていこう。

例えば、辻井潤一は、『機械の知 人間の知』の中で、フレーム問題が、「外側の記号」で関連知識の想起を含むすべての処理を完全に行おうとしたことに起因すると主張する。つまり、我々が普通に知識だと考え、言語化や意識化できるもの以外に、それを処理する仕組みが必要だと考えている。つまり、人間の問題解決の効率を考えると、知識の使い方についての知識が必要になる。そしてこの知識は、これまでモデル化されておらず、また外から解釈の与えにくい記号を用いている。そしてこの内的処理を無視して、コミュニケーションのために言語化された知識のみを問題にしたため、「論理派」のアプローチでは機械の知が作れなかったのだと言う<sup>8)</sup>。

必要な知識をどのように取舍選択するか、つまり適当なときに、適当なことを思い出すことが問題である。従ってそれに対処するために、類推などをとりあげている。

ここに述べられていることを、もう一度規則の適用という面から見る。「外側の記号」で表された

規則や一般概念は、それを実際に使うためには、「内的処理」というわれわれが通常ほとんど意識していないものを考慮する必要がある。この関連知識の想起は、知識表現を高度で豊かにするだけでは解決できるものではないのである。別の言い方をすると、豊かな表現を用いると「計算関係の規定」はうまくできるようになる。しかし、そのことと「計算過程」がうまくいくこととは別なのである。同じ仕方で計算関係が表現できても、それを実際にどう計算するかは、1つに限定されることはないのである。

この論点を辻井は、計算言語学の立場から述べている。「理論言語学からの「文法」をそのまま処理の理論に適用するときの困難は、処理の非決定性に端的に現れる。」p. 85 統語的規約と意味的規約は、文法性の判断をする際に別のモジュールとして理解され、後者を排除する研究がチョムスキーによって行われてきた。しかし、そのことと構造記述を行う際に、意味的処理を無視していいということとは異なる。意味に関する規約が構造記述に関与する可能性は大きい。「統語的に可能な部分構造から妥当な構造を順次選択し、構文解析の過程を制御する過程に理論言語学が対象外とした計算がある。」p. 94 この意味で、内的な計算過程や構文解析の処理の問題を考慮しなければならない、と辻井は述べる。「内的な記憶構造や処理に関与しようとする AI 研究者は、「個別的な知識」を記述しておくだけでは、それを実際の内的処理に活用できないこと、したがって、「個別的知識をどのように内部に表現し、それを必要な時点で参照するか」の处理的側面に、科学として考慮すべき対象があること、また、工学として実現しなければならない対象があると考えている。」p. 109

このようにして、副作用をうまく処理しなければならないとか、関連知識の想起までも考えにしなければならぬとかいうことを見てくると、

豊かな表現をめざすだけでは、問題は解決しないことがわかるのである。つまり、認識論的に十分な表現を必要とすることは、我々人間の知識と結びつく面をもってはいるが、それによって、我々のもつ表現の不十分性が示されたのである。この不十分性は、いわばその知識の適用を考慮すべきだということを示すものである。フレーム問題は、知的であるために必要な条件を「規則の適用は自明でない」という論点で提示しているのである<sup>9)</sup>。

第3に、記述したり処理したりできないほど多くの情報を扱わねばならないという論点を取りあげよう。橋田浩一は、『AI とは何でないか』<sup>10)</sup>において、この点を「情報の部分性」と表現している。「フレーム問題の本質は、巨大な全体のうちのごく部分的な情報しか記述ないしは処理できない」p. 59 ことにある。「非単調論理とかで扱おうとしているフレーム問題は、不完全な知識でもちゃんと推理できるためには、どういうふうを書けばいいのかという、いわば記述のフレーム問題とでも言うべきものだ。実は初めはそういう問題だけをフレーム問題と呼んでたから、これを狭い意味でのフレーム問題と言ってもいいだろう。で、もうひとつは、知識を部分的にしか処理できないときにどうすればいいか、つまり、どうすれば関係のない部分をよけて関係のある知識を使うことができるかっていう、いわば処理のフレーム問題だな。」p. 59 こうして、否定的な知識をどう書くとか、状態変化をどうやって扱うかということが問題にされることになる。

さて、否定的な知識や状態変化は、なぜ処理できないほど多量だといえるのか。それは、問題にしている世界が、小さく限定されたものでないからである。非常に小さな世界（おもちゃの世界）を予め想定していれば、最初からフレーム公理を記述しておくとか、STRIPSのように、削除リストと追加リストを予め与えておくことで、割にう

まくいくであろう。しかし、我々が現に住んでいる世界にまで広げると、「予め」決定しておくことは、ほとんど不可能である。

ホージランド<sup>11)</sup>は、フレーム問題を具体物に係わる問題だと言っている。つまり、抽象のレベルでは生じないものだと言っている。副作用 side effect は、抽象的な世界では生じない、もしくは考えられていないのである。従って、我々が問題としている世界が、多様な世界、開かれた世界であることが、フレーム問題が生じる根拠にもなっている。

つまり、あらゆる存在が相互に依存しあっており、しかも重要な相互関係が状況に存在している。この意味での多様な世界に住めば、フレーム問題は生じざるをえないのである。もし世界が（たとえば、目の前のコップを持ち上げることによって、核ミサイルが発射されるといった）非常に複雑な相互関係をもっていれば、人間であれコンピュータであれフレーム問題に苦しまざるをえなくなる。この意味で、どのような世界を問題にするかに依存している。そして、現実の行為を行う世界は、フレーム問題を全く無視できるほど単純でないことは明らかである。

さて、フレーム問題を、人間とコンピュータの本質的な相違を示す問題と理解する人もいる。しかし、記述したり処理したりできないほど多くの情報を扱わねばならないということは、コンピュータだけでなく、人間もフレーム問題を解決できないことを意味する。記述の量を減らす（たとえば、例外の記述）ことによって推論の量が増し、その逆も成立する。つまり、記述の量と推論の量にはトレードオフがある<sup>12)</sup>。そしてフレーム問題は、この両者をもとに考慮に入れて、「一般化フレーム問題」として理解すべきである。こうすると、情報処理の主体が有限である限り、フレーム問題は知性一般の限界であることになる。

すると、「人間があたかもフレーム問題を解決しているかのように見えるのはなぜであろうか」という問題が生ずる。世界には、法則などを用いて一様な理解を行うことのできない部分がある。しかし、それにもかかわらず、人間はある程度合理的な行動をしているといえる。ここが問題として残るのである<sup>13)</sup>。

そして、松原は、「情報に枠を囲む」という仕方、それを理解しようとする。つまり、多様な情報が与えられるにしても、枠で囲むことによって、その中だけを参照することで済む。そして、人間においてはこの枠が「かなりうまく設定されている」。そのため、人間はフレーム問題にほとんど直面しないで済む、と主張する<sup>14)</sup>。

このような理解の仕方は、差し当たり抽象的な言い方にすぎず、また「枠」という言い方では情報の量だけを限定しているような印象を受ける。この方向で考えをどれだけ進められるかはともかく、少なくとも説明しなければならない事柄は、人間は情報の部分性という制約をもってはいるが、これは知能の限界ではなく、知能の柔軟さを示しているということである。単に枠の設定の問題だとすると、情報の部分性はやはり知能の限界と結びつかざるをえないであろう。完全に近い情報をもつ方が、枠の設定にも有利に働くからである。

それでは、情報の部分性と知能の柔軟さは、どこで結びつくことになるのであろうか。この点は後に考察するが、一般的には次のように言えるであろう。それは、知能の柔軟さが、人間の知性の優秀さと結びつく点である。伝統的な知性の理解とは異なって、「柔軟さ」が強調されることによって、情報の部分性は欠陥ではなくて、優秀さの発揮される前提条件となったのである。

## 工学的立場

さて、コンピュータや機械が「動いて結果を出す」ということを、考慮する必要があるという立場を、「工学的立場」と呼ぶことにしよう<sup>15)</sup>。

「工学の立場」をもうすこし明確にするために、「科学の立場」と対比することにしよう。(もちろん、工学と科学が全面的に対立すると言おうとしているのではない。)

あらゆる研究は単純なものをみつけて、そこから研究を出発させる。科学においては、実験や観察によって、特に実験室の中で、できるだけ変数を少なくして、どの条件が独立変数になっているかを調べようとする。このことによって、できるだけ普遍的で、簡明な法則をみつけようとする。知識を表現し、説明する上での単純性を求めようとする。そして結局は、すべてを説明する普遍的な法則を求めようとする。

これに対して、工学においては、その単純なものは、何らかの意味で「動く」ものである。(説明上の重要な部分だけを取り上げても、動きはしない。)最初はぎこちない動きを示していても、それをだんだん洗練させようとする。つまり、工学は、実験室の中だけで動く物を作ることに満足しない。少なくとも最終的には、「現実の世界」で働くものを作ろうとする。単純化された世界、おもちゃの世界で働くことに満足せず、自然環境、現実の環境の中で動くことが目指されている。

つまり、科学においては、説明のための単純性の方が強く要求されたのに対して、工学においては、研究の出発点としての単純なものは、少なくとも「動く」ことが要請される。つまり、説明の立場において要求される単純さと、作る立場において要求される単純さとが異なっている。このとき、動かすためには、どのような理論を受け入れてもいい、差し当たりアド・ホックであっても構



わなないという考えがある<sup>16)</sup>。近似的でもいい。この世界の姿と一致しているという主張まで進む必要はない<sup>17)</sup>。実際の利用に関して、ある程度役に立てば、それを到達点にすることもできる。このため、統一的な説明原理が、必ずしも必要とされない。また、「原理的」な意味での失敗ということがない。

また、「働く」ということを強調することによって、論理的可能性でなく、現実的可能性を考えていこうとする。このため、「原理的」な問題では無視されていた、時間や資源の制約というものを考慮しなければならなくなる。つまり、情報の部分性は、無視できない条件として考慮せざるをえなくなる。

もう一つ、「常識」という光を照らして、「科学」と「工学」とを対比してみよう。(ここでは特に制御にかかわる工学、つまり何らかの意味で知性に関する工学のことを考えている。)

科学は、常識の批判から始めようとする。つまり、我々が、常識的に、「手にもっているものを放すと下に落ちる」と理解している事柄を、厳密に数学的に記述しようとする。ガソリンのなくなったバイクを押すのは力があるし疲れるけれども、摩擦を考えない限り、等速直線運動するものは、力を加える必要なく同じ方向に進んでいくということ、科学は教えてくれる。常識を批判し、洗練しようとして、「運動」や「力」等の定義を明確にし、それを数学的に定式化することを科学はめざしている。そして、できるだけ普遍的な法則をさがそうとする。従って、公理からの演繹という数字に示された知識形態が、知識の理想とされる。これは、法則どうし整合性や、他の法則に基づく正当化を求めることでもある。

これに対して、工学においては、常識の「導入」こそが必要になることもある。例えば、コンピュータによる定理の証明においては、公理からの演繹ということが行われていると考えられる。しかし、

問題は計算量の限界によって、ヒューリスティクスを利用しなければならないということである。効率を求めることによって、信頼性が、失われることを容認しなければならないのである。そしてこのとき、知識や常識を導入することが必要になったのである。たとえ、「原理」には必要不可欠な知識があったとしても、それが実際に「使える」ものになっていないならばどうしようもないのである。図書館のようなデータ・ベースがあっても、それをうまく検索するシステムがなければ、それらの知識の集積は、「使える」ものにならない。常識の導入は、データ・ベースの適切な検索、関連知識の想起と結びついている。従って、適切な時間で検索するために、情報の部分性を考慮する必要があり、関連知識の想起を考慮しなければならないということは、規則の適用や「処理」を考える必要があることを示している。このように、「原理的」に必要とされる知識ではなく、実際に「使える」知識を求めようとするところに、工学的な立場の特徴がある。つまり、工学（特に、制御と結びつく工学の一部）においては、常識の批判よりも、常識の導入の方が求められているのである。

科学は、世界の姿がどうなっているかを探究する。それに対して、工学はどの程度の情報をどううまく使えるかを問題にする。これは、効率と信頼性のトレードオフを認める立場である。つまり、まず、知識の確実性、真理性を確立した上で、「原理的」に何か可能であるかを考えていくのではなく、知識の「確実性」といったものを、効率とトレードオフしうるものとする立場である。「働いて結果を出す」ことがなければ、なんにもならないということから出発する立場である。

このように、工学は、(普通、科学の単なる応用として、その独自の立場はみすごされがちだが、) 実は科学とは異なる見地をもっているのである。科学の提示する法則をただ適用し応用するのが工

学だと考えられているようだが、実はこの「適用」がそれほど自明なことではなかったのである。そこに、工学の示す独自の知性、創造性が発見されるのである。

### ここからの帰結

こうして、フレーム問題と結びついて、規則の「適用」と「情報の部分性」の2つの特徴が現れてきた。これは、工学的立場で「知性」「知能」を研究してきたことに由来するものと考えられる。つまり、工学的立場での研究が、今まであまり省みられなかった「知能」の特性の強調に導いたのである。

この意味で、科学をモデルとした「知性」や「合理性」の理解とは異なった理解を、工学的立場での研究は示しているのである。例えば、法理学を合理的な過程としてとらえ、数学を合理的な議論の典型とはしないということは、トゥールミンによっても主張されている<sup>18)</sup>。それと、ある意味では類比的に、工学的立場での研究が、科学とは別の合理性を提示しているのである。

まず少し注意すると、この「常識」「日常性」の導入は、形式的、数学的な科学に対して、生き生きした生命を導入しようとしているのではないということである。このような、生命 *Leben* の強調は、非合理主義とのつながりを示すことになるであろう。しかし、工学的な立場は、「知識の正当化」ということを強調しないという意味で、合理的でないとされるかもしれないが、それにもかかわらず、「使える知識」をめざすという意味で、全くの非合理に流れていないことは確かである。

例えば、フォーダーは、信念の固定をする中央系は、科学的確証と類似のことを行うと考えた上で、人間の知っていることのどの部分が信念の固定に関与するかを予め限定できないと主張する。この主張は、知識の正当化を知性や合理性の特性

と考える限り、中央系を作ることがほとんど不可能であることを示しているように思える。しかし、工学的立場で示される合理化は、情報の部分性を認めた上での合理性である。そして、ここに示される合理性こそ、われわれ人間が示す合理性ではないだろうか。常識を批判し、実現を超越するところにのみ合理性を認めるのは、一面的でないだろうか。

つまり、合理性という特徴づけがなされる場所、理性が働く場所は、伝統的に、常識の不備の修正、常識の批判というところに求められていた。しかし、フレーム問題を概観すると、常識的な判断ができることそのことが、人間の知性の中心に位置するということである。また、そこからはみ出すことは、伝統的には独創として評価されてきたが、実はこの逸脱は、人間の知性の或る側面を異常に強調しすぎたものになっているのである。水平思考や創造性があまりにも強調され、それが知性の姿を表すものと思われてきたのは、人間は非常にうまく、常識的な行為ができていたからである。コンピュータを使って知性を「作る」という試みによって始めて、この常識的な行為が、注目に値する（つまり研究するだけの問題を含んだ）知的行為であることがわかってきたのである。真理の所有ということとは違って、この場合には多くの知識のうちどれを使うといいかという選択をするところに知的であることを示すものがあることがわかったのである。そして、この重要性の選択が、意識でコントロールできるものとは限らないところが、また問題なのである。

処理や適用を持ち出すということは、行動を行う場合の完全に意識的だと思われていた判断に、無意識を持ち出すことである。いわば「私たちは最終的な結果の状態だけを意識できるのであって、そこにいたる方法については意識することはできない」<sup>19)</sup>ということになる。この結果、自分の

行動についての説明は、いつも疑わしいものになってしまう。科学的説明において必要とされた「正当化」が、「動く」ということ、処理ということに基づいて考えると、それほど大きな価値をもつかどうかは疑問となるのである。

合理性は論理的に可能なすべての場合を求めるというよりも、現実的可能性に絞り込むことにある。このとき、常にある程度の見落としはあるにせよ、それを経験を積むことによって、補完していくことに生涯の学習がある。

結局は、フレーム問題は、探究すべき課題（「工学的立場での、つまり2つの特徴を考慮に入れた上での「知性」の解明」）を提示していると考えべきであって、人間と機械を区別すべきアポリアを提示しているとするべきではない。合理的であるということの解釈の改変をフレーム問題は提示していると理解できる。

### ま と め

結局、現実の世界を多様な世界と理解し、そのために現に今与えられた状況で、どのような規則、知識、モデルを使うのがよいかを判別するのが、フレーム問題の生じた問題状況である。そして、これに対して、最大の制約としてきていることは、「情報の部分性」である。有限の時間と資源を利用して、この判別を行わねばならないのである。「原理的」な可能性を問題にしてもしかたない。この意味で、説明をつけることに満足する科学的な立場でなく、実際に適当な時間で動くものを作ろうとする工学的な立場が問題になっている。そのため、外から解釈を与えることのできない内的な処理（これは無意識の重視ともつながる）を問題にすることが、フレーム問題に対処するために必要であろう。

つまり、知識や合理性を理解するときに、（知識の真理性や正当性を問題にするだけでは不十分で

あって）適切な時に適切な知識を引き出すことが、自明なことではなく、説明を要することだということを、フレーム問題は提示したのである<sup>20)</sup>。

こうしてみると、フレーム問題は、知性を作りあげようとする時に出てきた問題である。つまり、説明的立場（ここにおいては、それまでの宗教や慣習との整合性も要求される）ではなく、工学的立場で「知性」を探究しようというところに、AI研究の重要性和特異性が存在するのである。

一般に自然科学は規則や法則を自然の本質、真理を示すものとして求められてきた。これに対してフレーム問題が提示することは、規則だけでは不十分であるということである。特に、自然の「純粋な認識」という立場ではなく、規則をうまく適用する、もしくはそのような機械を「作る」という立場においては、「自然の本質」を「知る」ことだけでは、あまり意味がない。

このことをもう少し一般的に考えてみると、AIというものは、様々な科学が法則や規則を求めようとするのに対して、どのような状況でどのような規則をどの程度まで使えばよいかを考える、つまり或る意味でその規則を応用することに焦点があったいわば「純粋応用科学」であると位置づけられるのではないだろうか。

多様な世界がある。このような状況のもとで、そのうちどれを重視するかが問題である。認識論において問題とすべきことは、正当化の問題でもなく、多様な現象を統一するものの発見でもなく、多様な世界のうちどの部分に着目することが、まともに行動する際に役立つかということである。

世界を貫く法則や規則、モデルを見つけることは必要である。問題は、このモデルに合致しない部分があるということと、多くの規則がある場合、現在どの規則を使ったらいいのかということはどうして決定するかということである。

世界に対する多様な見方、観点をもつことは必要である。これは、恐らくその一つに固執することによって今まで無視されていた部分が、重視されねばならなくなることがあるかもしれないからである。(そしてこの立場では、論理的な可能性を尽くすことが重要になる。)

しかし、行動に移すためには、現在のこの状況の下でどの観点をとるかということである。この意味で、純粋に応用科学を求めることが、これからの研究の課題となるであろう。

注

- 1) BROWN “The Frame Problem in AI”
- 2) 例えば、【人と機械の知能】 p. 77 M. A. フィッシャー・O. ファーシャイン
- 3) McCarthy, J. and Hayes, P. J.: Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence, *Machine Intelligence*, Vol. 4, pp. 463-502 (1969)
- 4) 【認識し行動する脳】伊藤正男・佐伯胖編
- 5) フレーム問題が、時間表現や時間推論の基本問題の提示だという指摘については、“Problems in Formal Temporal Reasoning” Yoav Shoham & Drew McDermott in “Artificial Intelligence vol. 36 No. 1 pp. 49-61” を参照。
- 6) この点については、【人工知能学会誌 特集 高次人工知能へむけてのパラダイム Vol. 2 No. 1】『情報処理 特集：非標準論理とその応用 Vol. 30 No.6 1989』や “Readings in Non-monotonic Reasoning” ed. by M. L. Ginsberg MORGEN KAUFMANNなどを参照。
- 7) ある意味で、我々は規則、もしくは或るパターンを使って生活する。さもなければ、記憶が全く無視されることになる。これは、学習や経験を積むことを全く拒否することである。もちろん、この規則は、言語表現である必要はないかもしれない。たとえば、あるイメージとそのアナロジーといったようなものでもかまわない。しかし、全く個別的な知識は変化する世界には使えないので、経験を積み、知識を増すこ

とがあるとすれば、広い意味での「規則」は必要であろう。そして古来、法則や法律や規則が求められてきたことは、我々がこれらを使って、生きていく上での予測を行っていることを示しているであろう。

- 8) 【機械の知 人間の知】 p. 57 辻井潤一
- 9) 例えば、ドレイファスは、分節化された、明確に定義された言葉だけを用いては、技術を行うことができないと言う (“Mind over Machine” Hubert L. Dreyfus & Stuart E. Dreyfus 翻訳【純粋人工知能批判】)。そして、ここに人間と人工知能の記号主義との相違を見てもよいとしている。しかしながら、ここに人工知能の研究にとって決定的に解決できない部分があると断言することはできないであろう。記号主義は現在の AI の主流の立場ではあっても、発展しつつある学問においては、これをあまり固定して考えるべきではないと思う。
- 10) bit 1988/8, 同様の論点を展開したものに【フレーム問題とは何でないか】松原仁・橋田浩一 in 【bit 1990/4】などがある。
- 11) “Artificial Intelligence The Very Idea” p. 210
- 12) 例えば【フレーム問題について】松原仁・山本和彦 in 【人工知能学会誌 1987/9】や【情報の部分性とフレーム問題の解決不可能性】松原仁・橋田浩一 in 【人工知能学会誌 1989/11】など参照。
- 13) 例えば、機械学習においても、このような環境の多様性を考慮に入れるべきだという主張がなされてきている。【心理学における「工学的」アプローチの可能性と限界】佐伯胖 in 【知識の獲得と学習】
- 14) 【フレーム問題をどうとらえるか】松原仁 in 【認知科学の発展 vol. 2】
- 15) 例えば、佐伯が提示する工学者は、明示的に表現したものはすべて作る、というものであった。【知識表現の問題】佐伯胖 in 【理想 1983/12】しかし、ここではこれとは違った、工学者のイメージを提示する。
- 16) 工学の立場では、一つのモデルを貫く必要はない。ただし、ある程度一貫した方針を貫かないと、先が見えてこない。そのため科学的な説明

- の統一を求める思考法が必要とされる。
- 17) 例えば、機械翻訳の歴史をみてもこのことは理解されるであろう。(『情報処理 1986 No. 8』長尾論文参照。)例えば、シンタックスのみによる解析をしていても、それはそれである程度満足する。また、単語間の直接的な翻訳の時代には、その方法での満足は存在する。進歩をめざすことはあっても、その時点で「働く」ということを基準にして満足が得られる。
  - 18) “The Uses of Argument” Stephan Toulmin 特に, p. 7, 15f. を参照。
  - 19) p. 191 『誰のためのデザイン?』 D. A. ノーマン
  - 20) 適用の非自明性に関しては、例えば、新カント派などによって、認識は対象と異質であるにもかかわらず、どうして、認識が対象に妥当するといえるか、という問題設定の下で提出されている。そして結局はカント的に、対象がカテゴリー化され、構成されているという結論を提出しようとしている。しかし、この小論で述べている「適用の非自明性」は、これとは全く異質の問題設定であることを、ここで確認しておく。