

# 情報科学から情報学へ

堂下修司

京都大学工学部情報工学科の堂下でございます。今日のコメンテータの田中譲さんとは非常に近い関係にあるわけでありまして。始まる前に私の経歴を少し述べます。卒業したのは当然昔ですから電気工学とか電子工学なのですが、卒業の時からずっと現在で言うところの人工知能をやってきました。もっとも、昔はこういう言葉はありませんでした。人工知能という言葉ができたのは1956年でしたか、アメリカの偉い学者があつまってダートマス会議をやって、その概念を作ったわけですね。それとは別に、私は人間が扱っているところのいろんな情報のうちの音声、言語、推論とか、ものごとをどう考えるかということをやずっとやってきたわけですね。そういうことから常に自分のやるべきこと自体についても色々考えざるを得なかった。考えざるを得なかったというのは普通の皆さんのやっているエンジニアリング、工学とはかなり違った所があったわけですね。私は工学部、特に電気工学に属しながら、自分がやっていることが、皆とちょっと離れているわけですね。ですからいつもそういうことを考えざるを得なかった。一種の悩みを常に伴っていたわけですね。もうひとつは我々は工学者なんですから、自然現象を対象としてやるはずなんです。が、音声にしろ言語にしろ、結局、人間とは切り離されないということがあるわけですね。それで人間はどうかということと工学のそれとの狭間を揺れ動いてきたということがございます。考えまして、答えは見つかったわけ

はないのですが、そのことの結果、現段階のことをお話できればと思っております。

お手元の資料の第1番目は、自然科学から情報科学、特に知能科学への展開、これは1988年の人工知能学会誌に出したものであります。ですから、もう4年程前のものであります。それから後は、OHPの手書きのものもありますが、それらが綴じてございます。大体、OHPの順番でお話をさせていただきたいと思っております。

まず、レジュメ1枚のがございますが、これは1ページに納めなくちゃいけないということでバンバンバンと一刀両断のような形でいろんなことを書いてあります。(レジュメ1を参照)ですから、これは結果的に言いました非常に問題があると思っております。しかし、こういう場で議論を展開するためのひとつのきっかけにはなるんじゃないかと思ひまして、思い切って断定的にすべてのことが書いてあります。その点をご了承いただければと思ひます。レジュメの最後書いてありますように、「本稿では、情報学を上記のような計算機科学、情報科学、知能科学、感性科学、情報システム学を総合した新たな学問分野としてどういうふう形成されていくものであるか」、そういうことを論じたい、そういうことが趣旨であります。

## 1. 自然科学から情報科学へ

順番にいきます。ここのレジュメを話すと一日かかると思ひます。皆さんも専門家ですから、要点だけをかいつまんでお話をしたい

と思います。「自然科学から情報科学……」という資料を見ていただきますと最初に「知能科学に至る自然科学的認識の歴史的過程」と大それたことが書いてあります。まず知能科学というものはあるのかということでございます。通常、人工知能といわれております。しかし、人間を切り離して、機械だけを考えるのは片手落ちでありまして、一方では、戸田先生の認知科学とかいろいろなことがございます。そういった2つの人工知能と認知科学とかそういうものを結局切り離して考えてはいけないのではないか。物質サイエンスみたいなものに対して、知能をひとつのサイエンスとして総合的にとらえる、こういう見方が必要じゃないかということで、敢えて知能科学というような言葉を出したわけです。この言葉は受け入れられていません。日本では新しい言葉を言っても誰も見向きをしてくれないといったことがありまして、あまり流布しているとは言えません。しかし、一方では知能情報学とかそういう言葉は非常によく使われております。そのときにまず情報とは何かということは、(先程お話のように昨年福村先生も色々お話になったようですが、)自然科学的な我々工学者の問題だけではなくて、あらゆる学問の問題だと思います。そのへんのことをちょっと最初にお話ししたいとおもいます。

実は昔の話だからいいと思いますが、京都大学で今は昔、情報学部なるものをつくろうということでいろんな議論を全学的にいたしました。これは自然系だけでなく文科系の人とかお医者さんとか全部はいって行なったわけです。その時にある文科系の先生が言われたことがあるわけです。資料の左下の部分に括弧してあるわけですが「情報だの人工知能だのと騒ぐけれど、情報なんてものは大昔からあって、皆がそれを活用してきているのではないか、また情報とは何かを定義をしてほしい」と。定義がない学部をつくるとは何事

だ、とこういうようなお叱りであります。定義ができてしまえば学部なんかはいらん、私はそう言ったんですね。定義はなくてわからん、しかし、みんな重要だと思っているから学部をつくって研究をしていくんだ、というふうな反論をしたんですが、それは別として、それに対して私は、「確かに情報はありました、そういうことを言うのであれば物理学だっけ一緒でしょう。なぜ素粒子物理学だと騒ぐんだと、素粒子は宇宙のビッグバンの時からあったんでしょう。」と、それを物理学という形で捉えるというのは、それは人間ができてから人間がやったことであるわけですね。それと同様に情報というのは我々無意識のうちにみんなが使っているわけですね。ある意味ですべての学問は情報を扱っている、これはその通りです。それから人間の諸活動はすべて情報を扱っている、それもその通りなわけですね。ですから、ある意味では人間は生物的にはもちろん、エネルギーを補給して生きているという生命という面がありますが、もうひとつは情報処理体であるという面もあります。しかし情報とその処理メカニズムそのものを研究課題として正面から取り上げて総合的にやってきたことはそう古いことではない。例えば物理学者というのはもちろん自然現象をいろいろ解析してやっている。その手法というのは我々が情報科学でやろうとする手法と共通点があります。しかし、物理学者は自分が何故こう考えて、どういう理由で、どういう推論によって結論に達したかという自分自身の考えたプロセスは問題にしないでいいわけですね。考えた結果が物理学としてこうだ、という結果を示せばよいわけですから、自分の頭の中のプロセスは解析する必要は物理学者は原則としてないわけですね。我々、情報の立場はそうじゃないですね。そのプロセスがどうかを明らかにしなければいけない。あとでお話するように、アルゴリズムというのは情報の基本的な概念でありま

して、そういうものとしてプロセジユア、過程をはっきり、こうなって、こうなって、こうだから、こういう結果が出たんだ、それをはっきりさせたいということです。従って、そこに書いてありますように物理現象と物理学は別のものだと考えるわけです。ですから「情報」を、我々が自然に使っているのと、情報科学と情報学として使っているのとは別物である、また情報学、情報科学は最近になって系統的に研究され始めたものだと思うわけです。もちろん、萌芽があったことは当然であります。そういうことから、我々の立場から見て歴史的な流れを拾いあげてみたいと思ったのが図1であります。これは1面的にしか書けません。物理的な概念だけから述べてあります。物質世界から情報世界へと、こういうプロセスを普通は別々に分けて扱うわけです。いや、田中先生は、物質から情報へ移られた。ある意味では、だから物質世界と情報世界が同じで連続的であるともいえない。そうかといって情報世界をやっている場合には物質世界は関係ないんだとか、いうことも言えない。やはり、物事というのは概念を分けてかつそれらの間の関係を明らかにしなくてはいけないと思って、こういうことを書いたわけです。これは相当恣意的なものであって強引に議論を引

張っていつていることはご了承ください。

まず概念がカオスであった。宇宙はカオスであったかどうかそれ自体は今、問わないことにしてその宇宙を人間がとらえた概念としての状況が最初混沌としていた。最初は前科学的手法で物質の概念というものが、土だとか、火だとか、水だとかが基本であると考えた。今から見ると未分化なんです、何かをとらえようとしてきたというわけです。ところがそれだけではどうにもならないので、結

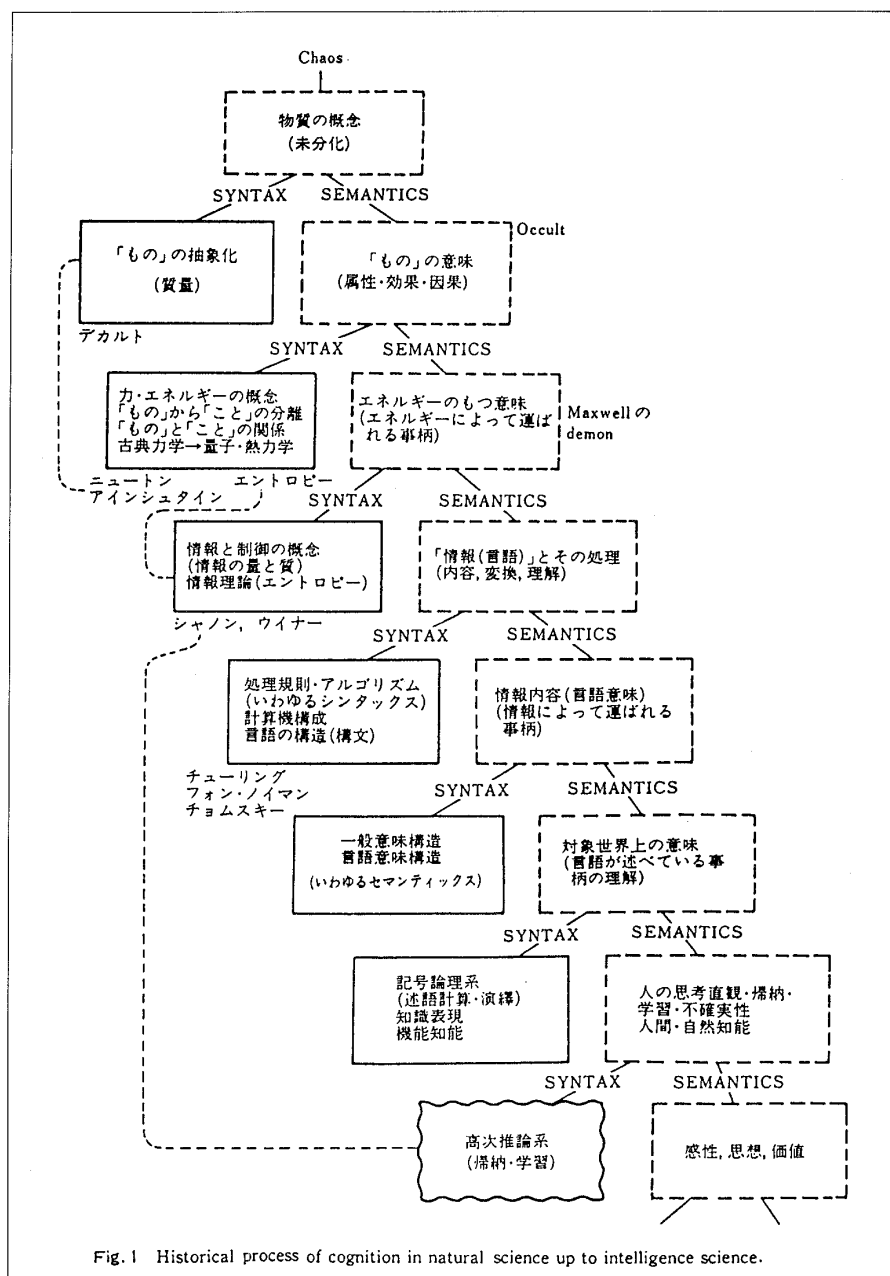


Fig. 1 Historical process of cognition in natural science up to intelligence science.

図1. 自然学から情報科学、特に知能科学への展開

局は近世になるまでそのままだったんですが、以後はずっと学問の枝別れがおこってきたということを示しているわけです。この図は左側にシンタックスと書いて右側にセマンティックスと書いてあります。これはこういう意味に使っております。シンタックスというのはある物や事の、(物と事は分けます、)明確な規則として整った形、つまりウェルフォームドと言いますが、それで記述されている。構成論的にきちんと構造が明らかになっているものを我々の目から見てシンタックスと言うことにします。セマンティックスというのは残り全部です。シンタックス以外の諸側面でシンタックスという構造で担われるところの意味、例えば、物の性質、どういう効果を及ぼすか、どういう作用を及ぼしていくのか、どういうふうに解釈されるのか、それがどのように有用性があるか、また有効性ですね、どういうふうに使われるのか、どういうふうな価値をもっているか、そういうすべての物を包含したものをセマンティックスといいます。シンタックスという側面はここにありますように有限的にきちんと記述されていますので、ある非常にキチンとして実線の枠組みで囲われるような明確な体系なわけです。ところが人間は森羅万象、宇宙全部を理解できるわけではありません。宇宙は人間にとってオープンワールドとなっていて、一部しかわからない。観測もできないし、従って、そこから一部だけを取りだしてきたものだけが、きちんとした学問的体系になるわけですが、それだけですべてじゃなくてその残りの部分はまだ点線で書いてありますように、曖昧なものとして残っているわけです。そういう図式で全部まとめています。簡単に言いますと、まず質量というのが出てきたわけです。ところが世の中、すべて質量で済むかということそうではない。同じ1グラムでも全部違う。そうしますと、属性とか、効果とか、これはわからないまま残っているわけで

すね。例えば、ここに書いてありますように水晶玉ですね。いわゆるクリスタルゲイジングがありますね、おばあさんがあやしげに水晶玉を操って占いをする。こちらのセマンティックスの部類ですね。辞書を見るとセマンティックとはあやしげなものと、書いてあります。そういうものをセマンティックスというわけです。我々はセマンティックスという言葉学でのセマンティックスみたいに非常にきれいなもの、と思いがちですが必ずしもそうじゃないです。学術用語としてのセマンティックスと一般用語としてのセマンティックスは別のものだと思っています。しかし、ヨーロッパ人にとってはセマンティックスというのは、一般用語の中からある特殊化されたものが、ある学術的なセマンティックスであるというふうに考えるわけです。次はある一定の質量がもっているものの意味は何かというとエネルギーとか、力の概念が出てくるわけです。その中で古典力学から量子力学・熱力学と、そういう過程でエントロピーという概念が、これは熱力学的エントロピーですが、そういう概念が出てくるといわけです。ところが、すべての物が力とエネルギーで終わりかということ、そうではないわけでありまして、エネルギーはどんな意味をもっているかということが問題になってきて、これについては、まだオープン、つまり、まだわからないという状態が続くわけがあります。ところが、そういう中から情報という概念が出てくると考えられるわけです。それはエントロピーという概念なわけです。先程、お話のあったシャノンのエントロピーという概念は、勿論、情報の基本的概念なんです。基本的な考え方としては熱力学エントロピーとは異質のものじゃないわけです。よく使われる式の形は多少違うかもしれませんが、概念としては全く同じようなものであります。つまり、この、古いエントロピーというのは形をかえて情報のエントロピーへと進化したと

考えていいと思う。ですから、情報世界の基本というのは、こういう物質世界のそのエクステンションとして、あらわれと考えていいのではないか。この両世界を結びつけるのがここにも書いてありますが、マックスウェルのデモンという思考実験であるわけです。要するにクーラーが何故働くかという思考実験なんです。いわゆる気体分子論というものによりますと、分子の速度の分布則がありますが、それでクーラーの働きを説明しようとするわけです。壁で隔てられた二つの部屋があって、両方に温度の同じ空気がはいっているわけです。壁にスリットがある。分子は適当に動いているわけですが、分子の速度には平均速度があつてですね、各分子の速さには平均速度より低いものと高いものとがあります。分子は勝手に動いていますが、スリットに非常軽い、動き得る遮蔽物を置いておくわけです。ここに観測者がいるわけです。物理現象に観測者を入れてくるのはどういうことかという、これが情報の情報たる所でありまして、観測者が分子ひとつの運動を見ます。ですからここに計測または観測という概念が入るわけですね。分子の速度を見る、観察するわけです。平均速度というのは事前に測っておりまた温度は解っていますから温度は類推しておくわけです。左側室中のある分子の速度が平均よりより高いものだ、早い速度だと思ったらスリットを閉じ左に残し、低速だと思ったら、スリットをあけて右室に移すわけです。そういうふうには速度を計測して、スリットを制御する。そうするとどうなるかという、情報の過程そのものなんです。計測して、判断して、制御する、これまさに情報の過程そのもの、つまり、ここに書いてありますように、情報と制御の概念というわけです。いわゆるサイバネティックスというのは、結局、この概念に基づいているわけです。そうすると、こちらの左の方の箱には高い、つまり平均速度より高い分子だけが集まるわけ

です。逆に言うと低い分子だけが右にあつま。結果的に左は高温になって、右が低温になって部屋が冷えることになるわけです。単純に物理現象とみましたら電力を加えてコンプレッサー回して、ということになるわけですが、情報という立場で見ると速度の計測、それを判断して制御するプロセスとなるわけです。そういう見方で物理現象を情報の世界に移し変えるといろんなことが見えて来る。重要なことはここに観測者が絡んでいるということです。そういうふうには解釈をするわけです。それによって、まず、情報という量的な概念、グローバルな概念が出てきたと考えるわけです。ここからだんだんと情報世界に独自の概念としてできた基礎の上に発展していく。物質世界と離れていくことになり、それは抽象化の過程をたどっていくことになる。その過程を追ってみますと、「情報と何か」は確かにそれで解りました、エントロピーだ、何ビットだとわかりました、というわけです。しかし、量がわかっただけで、情報の中身は何かといいますと情報の構造、つまり、言語、です。ここでの言語は広い意味です、自然言語に限りません。その処理の方法、つまりここに情報がありますが、その中身は何なのか、どういうふうに変換していくか、情報を理解するための変換は何か、こういうことは残っている未処理の問題であります。それについて、まず行われたのが計算の規則、処理の規則、それを行う計算機の構成、その言語の構文則、これをきっちりと仕上げる、つまり狭い意味でのシンタックスの領域だと考えるわけです。計算機に関しては1935年ぐらいにチューリングという人がチューリングマシンというのを作ったし、計算機の構成についてはフォン・ノイマンというのがちょうど10年後ぐらいにモデルをつくった。それから今度は言語という面に関してはチョムスキーが言語理論のモデルを作った。ですから、ちょうど抽象モデル、実際の機械のモデル、ソフト

## レジュメ 1.

## 情報科学から情報学へ

堂下修司

「人間、もっと広く生物は宇宙・世界をどう捉えるか。」これは宗教・芸術にしろ、科学・技術にしろ、共通で永遠のテーマである。本質的には宗教や芸術はそれぞれ科学や技術のメタ構造であると考えられる。かつてこれらは未分化で一体であったが、近代科学が発祥して以来、前者は人間の感性を主観的・思惟的に捉えることに専念し、逆に後者は物質世界及び人の物質的側面を客観的・合理的に捉えることに中心を置き、互いに分離したものとして扱われてきた。

しかし、情報科学が独自の体系を持つようになり、物質世界のメタ構造としての情報世界の解明が進んできた。そこにおいては、情報とその構造を客観的・定量的・合理的に捉え、その極限の抽象モデルとしての記号とその上のアルゴリズム・論理に基づくデジタル計算機械が独自の発展をなした。しかし、科学においてはもはや客体を主体と切り離して客観的に、ないしは静的に記述することの限界を悟るようになった。デカルトの「我思う故に我あり」にもあるように、元来科学は認識のプロセスや方法論が本質であり、専門的学問としての体系はその結果（果実）である。情報科学、特にその先端部分である知能科学においては、まさにこの認識のプロセスや方法論の解明こそがその中心課題であることが理解され、次第に推論・問題解決・学習がその中心テーマとなってきた。そこでは認識される対象の客観的存在の解明よりも、認識者（主体）と認識対象（客体）との相互作用としての系の動的解明が主題となりつつある。言い換えれば、結果として記述された閉じた抽象世界（Abstract）は独立して存在するのではなく、現実世界（Real world）の認識（Cognition）と抽象化（Abstraction）の過程の相互作用として捉えられる。

そひにおいてはもはや一つの認識結果だけを切り離して客観的体系として扱う絶対主義は成り立たず、それらは人間の中に作られた対象世界（自然・人間・社会）のメンタルイメージとして、かつ認識者毎に異なる相対的なものとして扱われる。計算機について言えば、単なるアルゴリズムの客観的・受動的シミュレータでなく、主観的・能動的エージェント、更には多エージェント系として捉えることが必要になってきた。一方エージェントとしての人間を考えると、人間の意志・意図の基には合理的・知性的側面とともに常に情動、感情、情緒的な動機や誘因があり、知性・知能と感性の相互作用が重要な働きをする。いわゆる「感性科学」は単に感性を知性と切り離して扱うものではなく、知性のメタ構造としての感性を扱うものでなくてはならない。

現代社会においては、上述のような特性をもつ、エージェントとしての人と機械は必然的に相互作用的な係わりを持ち、複合した一つのシステムを構成している。人は機械の援助なしに生きられないし、又どんな情報システムも人の深い関与なしには機能しない。このことは一つの巨大なシステムとしての社会機構全体についても言え、情報の立場から見ると、現代社会は人間エージェント群と機械エージェント群の複合した複合集団（conglomerate）的な情報システムとして捉える必要がある。情報システム学はこのような現象をどのように捉え、システムとして組織し、設計し、運用し、活用していくかという社会科学と情報科学を総合した新たな vision と手法を持たねばならない。

本稿では、情報学を上記のような計算機科学、情報科学、知能科学、感性科学情報システム学を総合した新たな学問分野として論じるものである。

## レジュメ 2.

A I からみたコンピュータの未来像  
(Computing Machine から Acting Machine へ)  
計算機世界から情報世界へ

○A I とは何か？ 情報科学との関係

○A I と知能情報処理

○人間と機械の情報処理の統合

○フォン・ノイマンの呪縛からの解放

○データ → 情報 → 知識 → 知能 → 意志 (意図)  
(符号・記号) (智慧)

計算	処理	解釈	理解・推論	判断・行動	

○SYNTAX → SEMANTICS → PRAGMATICS

○閉じた「記号は記号以外の何物でもない」世界から

記号によって意味される開いた実世界への拡大

○演繹のみの、しかも一方向のみの「open loop」系から

演繹と帰納の双方向の「closed loop」系へ

○孤立した系から外界の環境を含む相互対話系へ

[マルチエージェント系、人間・機械、自然界]

○協調システムアーキテクチャ

○TOPのないTHEORYから、TPOを含むSITUATION THEORYへ

[エージェントビュー、空間、時間]

how-toの世界から、what-to、who、where、when、whyへ

○純記号アルゴリズムの世界から、記号とパターン・コネクショニズムを統合した世界へ

(Logical Reasoning と Probabilistic Reasoning の統合)

○確定的世界から不確定性を含む世界へ

パターンとは？ 不確定性とは？

○知性システムから知性・感性を含めたシステムへ (人にやさしいシステム)

知性とは？ 感性とは？

○ソフトウェアシステムや知能システムは文化の反映

西欧型のシステムから、日本人の考えかた・文化にマッチしたシステムへ

ウェアまたは言語のモデル、このチューリング、フォン・ノイマン、チョムスキーの3点セットで情報のシンタックス的な側面、情報のシンタックスができあがった。情報の構造はわかったわけです。ところが、情報の構造、例えば言語の構造がわかっただけで、言語がどういうものか、わかったわけではないですね。やはり言語の意味は何なのか、情報の運んでいる内容は何なのかを知る必要があるわけです。そこでその次に、一般的な意味構造、または言語の意味構造、いわゆるフォーマルセマンティックスができてきたと考えるわけです。言葉は文を作るだけでなく、いろんな意味を持っていますから。そうすると、意味理論と言うことでフォーマルな面はできあがっているわけです。ところがフォーマルな意味がわかっているからといって、実際に言語が役に立つかというところではない。言語は何か述べたいという対象世界上において初めて意味がある、つまり言語が述べている事柄の理解は何かということが重要であって、これは一挙になかなかできませんので、いわゆる記号論理系、たとえば術語計算とか、演繹とか、知識表現とかの世界で話をまとめようかというわけです。こういうところは人工知能が大体対応していると言えるわけです。シンタックス、セマンティックスに対応すれば、これはプラグマティックスにあたります。従って、人工知能はある意味ではプラグマティックスの学問とも言えます。この3点セットは、情報の中心的世界でありまして、重要であります。重要という意味は記号内の世界に限っての話であります。記号というひとつの閉じた体系の中でどうなのか、ということをしきりにまとめている。そうすると先程の物質世界とは離れて、記号系が独自の体系を作ったといえるわけです。ところが記号を記号だけに閉じて見るということについてはだんだん限界が明らかになってきています。基本的限界はこの時からはっきりしているわけ

ですね。いわゆる不完全性定理というのがあります。これは物理のほうでもあるわけですが、こちらの方でも論理とか記号とかというものにおける不完全性定理というものがあります。ここの中だけでは完全にはできないことは明らかになっているわけです。するとここで行き詰まりがあるわけです。そのことに気がついてはいたんですが、実際的にそのことをもう少し考えないといけない、ということで最近は記号内世界と対峙するパタンの世界がもう一度脚光を浴びているということになるわけです。ここにパタン系と書いてありますね。パタン認識として営々とやってきたわけですね。私も音声認識ということではパタン認識をやってきた。これはあまり華々しくはなかったわけです。大体において、エントロピーや確率的なものを中心にやってきたわけです。昔にパーセプトロンとかで、ある程度進みました。しかし、そこでストップしてしまった。記号世界ほど華々しい世界はなかったわけです。ところが最近になってこちらのパタン世界の方が、いわゆる学習とも絡み、ニューラルネットワークとも絡みまして、また復興してきたわけです。復興してきた理由は技術的なこともあります。記号内世界だけでは行き詰まりだということがわかってきた、現実論としてですね。そうしますと何が必要かということ記号世界とパタン世界とをうまく融合する枠組みは何か、これが問題になってくるわけです。

今度は記号世界の後に残っているのかをもう一度もどって考えてみますとアルゴリズム的な側面はここで大体済んでいるわけです。しかし、人間の考えることはアルゴリズムにすべて済むわけではありません。単なる演繹ではなくインダクションとかアブダクションとかの問題、学習それから不確実性の問題とかが残っています。こういう問題を純記号的にやろうとすると難しいとわかってきて、将来の問題としては高次推論系つま



り、主として帰納的なもの、学習的なものを、記号とパタンのなものとの組み合わせとして考えていかないといけないというようになりつつあります。ですから、アメリカの傾向を見ると、記号内世界で理論を立てるという動きが一方にあります。しかし、一方ではリアルワールド、実世界の問題の情動的扱いが非常に重視されているわけです。実世界はどちらかというとパタン系のものであります。それと抽象世界としての記号世界との間の相互関係をどうつけるか、そこをなくして高次の帰納とか学習の関係はできないと言われるようになってきているわけです。ですから将来の問題としては記号的なものとパタンのものをどう融合させるかが一大テーマであると私は考えています。

次に、高次推論系としてうまく学習ができたとしてそれでおしまいという、そうじゃなくてまだ残る部分があるわけですし、それは我々の情報科学を専門とする者の領域を超えているかもしれません。感性だとか、思想だとか、価値だとかになりますと自然科学の枠を超えていると通常は考えられているわけです。この感性については戸田先生がお話になるわけでしょうが、エンジニアリングサイドとしましても、その感性についてある程度、形而下的にどういうふうに扱えるのか、やっていかねばならない。ここから感性処理のモデルをどうするかという研究が始まりつつあります。しかし、ここで形而上的なものまではやるつもりはない、ですから、図の右下に伸びていく点線で囲ったオープンワールドはどこまでも続くわけです。つまり全世界から、自然科学は特定のある分野を抽出してきたわけですが、これは無限から有限を抽出しても残りは無限であるということに変わりないわけです。無限の部分、つまり未知の部分の速度が下がるか、というと下がらないかもしれない。むなしい努力をしてるかもしれない。孫悟空が筋斗雲で飛んでも、たくさん飛んだ

つもりでも相変わらずお釈迦さまの手の中にあってというふうな状況で、これは自然科学の宿命だと思うわけです。ですから、この未知の部分は無限にあると考えるわけですし、すべて自然科学で律して法則化しようと努力はしますが、できるとは私は思っていない。それはそれとして別なプロセスもあるのじゃないかと思うわけです。しかし、自然科学の領域をすこしでも広げていこうとすることに意味はあると考えます。こう考えてきますと情報科学の学問的態度が問題となってくるわけで、まとめてみるとこうなるわけです。(図6、参照) 一部飛ばしまして情報科学とはそういうふうと考えますと純粹自然科学的アプローチだけでは不十分で、そうかといって逆に社会科学的な文化や制度だけをスタート点として議論する、それだけでも済まない。そうすると二股をかけているわけで、場合によっては股裂きのようなことの恐れもあるわけです。今日のテーマである情報学をどうとらえるか、このOHPのようなイメージをもっているわけです。これは計算機レベルではハードウェアとソフトウェアでひとまとまりがあるわけです。その上に情報レベル、一般的に情報処理、人工知能はここに属するわけです。その上に、その外側にといい言いますか、システムレベル、いわゆる情報システムがあるわけです。ところが、その外側に、もうひとつ対象システム、システムと言うと語弊がありますが、それがあるといってえ方をするわけです。対象系というのは自然的な対象から、人間的な対象から、社会的な対象にまで多岐に亙るわけです。こうと考えると情報科学は自然科学と人文・社会科学をブリッジするような恰好にならざるを得ないわけです。融合できると問題ないんですが、それは簡単じゃなくて色々悩んでいるわけです。

## 2. 人工知能と日本の文化

そのときに実はAI, 人工知能と我々の文化, 思考の体系に悩ましいことがあります。その話をしたいと思います。一つの命題として、果たして、我国には西洋流の科学は定着するのかと。過去に科学が存在したか、例えば江戸時代などにですね。これはノーでしょうね、科学という言葉自体が明治以降に入ってきた概念だと思いますし、特に西洋流のというと江戸時代にはなかったわけです。定着するのかということに対しては定着させなくては行けない、となろうかと思いますが、その主張は別にしまして客観的に調べてみたいと思ったわけです。そのときに学問という限りには学問の対象というのがありますね。例えば、工学だったら電気工学などなど、それから心理学と言ったら人間を対象にしますし、医学だったら人間の生命的な側面を対象とするように学問対象があるわけです。どんな情報処理でもそうなんです。コンピューターにおける情報処理でも、何について何の処理をするのか、何について扱うのかをはっきりさせなくては行けない。もうひとつは科学者など、誰がというようにエージェントをはっきりさせなくては行けない。我々はつい、明治に学問を輸入したときに、誰が、という科学者を無視して対象について得られた結果だけを輸入してきたと考えられるわけです。次に学問分野を、自然科学系と人間社会系と分けて考えてみます。自然科学につきまして学問対象というのは万国共通であるわけです。この場所で物を落とすのと、ニューヨークで落とすのは物理的には全く同じ現象であるわけです。自然科学については学問対象は、世の中、地球上全体コモンなんです。共通性があるわけです。従って出来上がった学問体系としては日本の物理学と英国の物理学とはそんなに変わらないわけです。しかしながら科学者、物理学者、これは日本と英国では違うわ

けです。すると、ここに文化依存性が出てくると思うわけです。この点は違うものなのですが、明治の時に、この違いは無視して結果だけを日本は取り入れたということになると思います。しかし、いずれにしても我が国でも自然科学は確立しつつあるとみてよいですね、それは万国共通的な学問対象をもっているということで容易に輸入（移植）ができたということだと思います。ところが人間とか、社会科学の方は、ちょっと平野先生とか、申し訳無いが、我が国は未確立だと書いてあるわけです。どうしても、アメリカなどから何か輸入しては消化している、しかし消化し切れない、私にはどうもそう考えられるわけです。マルキシズムもそうです。それが何故かを考えると、それは学問対象が社会現象、文化現象、また人間自身を扱っているわけですから、学問の対象自身、文化依存性があるわけです。アメリカで何か学問体系をつくったら、それはアメリカ人の社会とか、アメリカの組織だとか、それから“アメリカ人”という人間、西洋的なヨーロッパ系の、そういうのをベースにして、対象にしているような学問をやっているわけです。そこに文化依存性がある。やっている科学者自身も当然文化依存性があるわけです。そうすると全く文化依存的なものをやっていて、そして西洋の科学を輸入して日本の国内で確立できるか、できないのは当たり前だと私は思っているわけです。社会科学を批判するつもりは全くありません。言いたいのは人工知能のことなんです。先程言いましたように、人工知能というのは自然科学、社会科学、両方の中間に属しているわけです。すると人工知能というのは我が国で確立できるのだろうか、ここが一番の私の疑問であります。学問対象は万国共通的である面もあります。ところが、例えばソフトウェアを考えてみますと、ソフトウェアを組む原理というのは万国共通ですが、実際できあがったソフトウェアシステム、どういうソ

フトウェアをつくるかに関しては、まさに文化依存性があります。これには失敗した例があります。アメリカのソフトをボンと日本にもってきます。マネジメントインフォメーションシステム(MIS)というのが10数年前にあり、もてはやされました。会社に入れました。ところが全部消えました。アメリカでも消えましたが、日本では全然使われなかった。それはアメリカの意志決定機構を日本という会社組織にもってきて、コンピュータには乗りますが、使えるはずがないわけです。そういう意味でソフトウェアだとか、知能だとかを扱いだすようになりますと、人工知能の学問対象自身がかなり文化依存性をもっている。しかし、基本的な原理は万国共通であると、こういう両側面を持つようになってくる。

ここで我が国で人工知能を確立できるかという問題にぶつかるわけです。現実人工知能とか情報科学で残念ながら日本人で新しい基本概念を出したことは一つもないんです。自分でもやっていて、「あなたが悪いのだ」と言われればそれまでなんです。さきほどフォン・ノイマン、チューリング、チョムスキーに言及しました。最近だとプログラミング言語というのがありますね、COBOL, PL1, Lisp, Prolog, ああいう概念を日本で作ったことはないですね。みんな外国で作ったものを輸入して日本でこなしているわけです。ですから人工知能の面に関してもいろんな概念が全部向こうから入ってくるようになって、我が国で人工知能をアイデンティティのあるものとしてやっていくのは非常に難しいのではないかと感じています。

そこで今日お配りしましたこの図2です。これは学問でもなんでもなく例え話です。これは具体的に話す必要はないと思いますが、まず、図の下の方を見てもらいますと、地面がありますね、耕して、種を蒔いて、水をやって、肥料をやって、防虫して、育成して、せ

ん定して、花を咲かせて、実がなると下に落ちて次の世代が育つ。自己再生産のループ、これが自然のシステムだと思います。これをサイエンスにたとえると、アメリカとかヨーロッパはまさに自己再生産のループで育ててきたわけです。たくさんのシーズがある、これを手を汚して耕すわけです。ところが発芽するのは何分の一でみんな消えてしまうわけです。自然科学で「なんとか学」として残っているのは何千個と試みられたもののひとつだと私は考えるわけです。そのほかに屍が累々としている状況だと思います。とにかく努力するわけです。発芽するけれどだめになる、大きくなるけれどだめになる、花は咲くけれど汚い花であって、実をつけない、その結果、ほんのわずかが非常に奇麗な一輪の花が咲くわけです。これは自ら育成する文化であり、生きた花のパブリックな、(パブリックというのはヨーロッパではベランダに奇麗な花を並べて共同で鑑賞し、街自身を奇麗にするという風習がありますね。)草の根の文化、根っこから育てる文化です。ところが日本のサイエンスに関しては生け花の文化ではないか、どういうことかということ、日本でも誰かが種を蒔きますが、そんなものは無視して育てない。すると全部枯れたり、汚い花が咲いてしまうわけです。そうすると汚い花

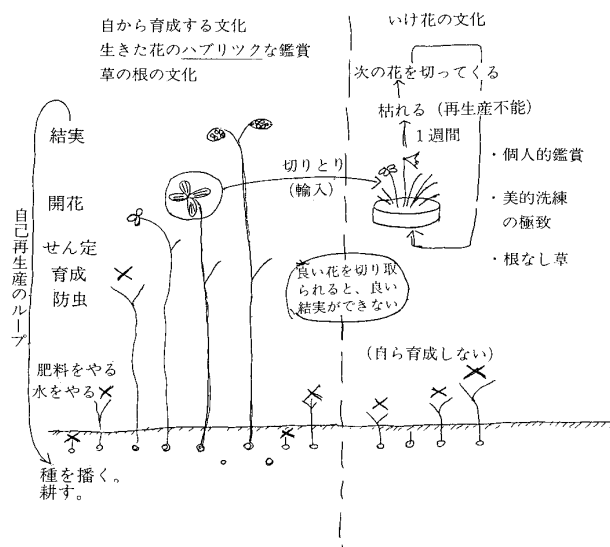


図2 日本の文化と科学

を無視して、他の人が育てた綺麗な花を鋏でプツンと切ってくるわけです。つまりサイエンスの輸入です。そこで非常に綺麗な生け花を活ける。それを個人的に鑑賞する。美的で洗練されて芸術の極致みたいなものをつくりますが個人的鑑賞であってそれは根無し草である。1週間ぐらい経ちますと枯れます。すると自己再生産は不可能ですから次の花を切ってくるわけです。常に他人が育てた花を切ってきて、また新しいものを輸入して、次の生け花を活けるわけです。結局、日本のなかで土の中から種を蒔いて、それをずっと育てて生け花に持ち込む、下から上の体系ができないわけです。明治時代からやってきたのはこれだと私は思っているわけです。この輸入のサイクルが切れ、鎖国をすると花がなくなる。生け花ができないと自分で育てようということになるのじゃないか。輸入が出来る限りは種から育てることはなかなかできないのではないかと考えています。アメリカは綺麗な花はすぐ日本にもっていかれる、綺麗な花はいい種をつけますね。花を持っていかれると花は切られますから種ができない、すると、アメリカとか、そちらの自己再生産ループができなくなっちゃうわけです。生産物の再生産ループができなくなるわけです。そういうことをアメリカは文句を言っているのではないかと私は思っております。これは日本にとっても不幸ですし、向こうにとっても不幸ですし、こういう考え方を21世紀には変えていかなければと考えています。

もうひとつは、ちょっと主題から離れますが、相撲とレスリングを比較してみたわけなんです。これも非常に違うわけです。日本の国技として相撲を挙げてみました。まずレスリングはオープンエリアであります。一応枠がありますが、枠からはみだしてもレフェリーストップがかかるだけで勝負に関係ないわけです。ところが相撲は土俵をきめます。土俵はクローズド・ドメインなわけです。そ

の中から一步でもはみ出したら負けであります。レスリングはボタンと倒れても死に体にならなければ問題ないわけです。ところが相撲は誤ってちょっと手が砂についただけで負けであります。そういうシステムの代表として相撲を考えますと、非常に潔癖な厳密性がある、完全性があり精密である、かつ美的な体系を作っているわけです。しかし、ちょっとでもはみ出したものは排除する、ちょっとでもエラーをした人は排除するというシステムなわけです。そうすると新しいものに取り組むのが億劫になるわけです。あまりにも厳密性を重んじるために、不完全なものをだんだん完全に育て上げることがなくなるわけです。非常に潔癖なところで判断して、それではないものはだめだと排除するわけです。手を汚して土から育てる、ここが出てこない。そうすると、相撲みたいに非常に綺麗な世界を作り上げることになり、相通じるものが両者にあると思っているわけです。相撲と生け花の文化、または相撲と生け花のサイエンスと私は比喩的に言っているわけです。そういうふうに考えますと、人工知能も日本でやるのは難しいなと感じている最近です。

時間がないので次にまいります。京大広報というのがありまして、今の京大総長で医学部の井村先生がそこに書いているのは、ベルツと言う内科医が明治の初めにドイツから日本にきて、その人が日本の科学についてこういう批評をしていると書いてあります。「私の見るところでは、西洋の科学の根源の本質に関して日本ではしばしば間違った見解が行われているように思います」というようなことがある。そのへんは別にして最後に「彼らは」彼らはとは日本人ですね、「科学の果実を切り売りする人として扱われました」と書いてあるわけですね。「彼らは種を蒔く、その種から科学の木がひとりで生えて大きくなるようにしようと努力した。」彼らというのは向こうの人ですね。「そうであるにもかかわらず、日本

では今の科学の成果の実を彼ら」彼らとは西洋人ですね、「から受け取ろうとしたのであります。この最新の成果」つまり先程いった花ですね、「だけを彼らから引き継ぐだけで満足し、その成果をもたらした精神を学ぼうとしないのであります。」これがベルツという人の日本のサイエンスに対する批判だと、こういうことが書いてありますので披露しました。

### 3. AI からみたコンピュータの未来

次に、あまり時間をとるといけませんので、これはもう少し現実論に立ちましてAIとは何かをずらっと項目を並べただけです。説明すると非常に時間がかかりますので断定的に話します。(レジュメ2) まずフォン・ノイマンの呪縛からの解放がないとだめじゃないかというのがひとつ、その前に計算機世界から情報世界へと書いてあります。計算機と情報は同じようなものでも違う、と私は思っているわけです。計算機はひとつの閉じた世界です。それが世の中とは無関係に機械を飾っていただけでは何にもならないんじゃないか。例えば料理のクッキングセット、電子レンジにいれておいてもうまい料理はでてこないですね。やはり良い素材をいれて良い腕の人がそれをクッキングをして初めてうまい料理がでてくるわけです。勿論、良い電子レンジがないとだめなんです。情報世界を無視した計算機世界を考えると、これは死んだ世界であるというふうに考えるわけです。昔は計算機世界だけをエンジニアリング的に扱っていたわけです。情報世界はどこに行ったのかというと、これは人間がやっていたわけです。人間が情報世界を担当して、その一部を計算機に委託していたというふうに考えるわけです。最近ではだんだんとそれじゃだめであるから、情報科学自身として、計算機だけではなく計算機がどういう情報のもとでどういうふうに働くか、どういう効果を及ぼすのか、そこまで含めて考えていかねばならない、と

なってきた。そうすると先程のフォン・ノイマンの呪縛からの解放が必要となってきた。実際、計算機が何をやっているかを話してみますと、データを扱っている。01 ですね、あんなもの人間にとってはわかりません。コンパクトディスクを買いますと 010101………がはいっているわけですね。計算機はデータの上で計算を行うだけです。ところがデータは何らかの意味をもっている。それは情報としての意味をもっているというわけです。情報を解釈も含めて体系化したのが知識だと我々は思っている。ところが知識は客観的に存在するのではなくて知能または知恵の結果としての知識であるから、知能がどう物事を理解し推量するか、これをはっきりさせなくてはいけない。ところが、知能とは初めからあるのではなく、我々のモチベーションとか意図のもとに初めてこれが発現するわけです。すると判断とか行動とかまで含めて考えなくてはならないことになってくるわけです。情報科学といっても計算機だけを扱うだけでなく、どんどん世界を広げてこざるをえなかった。必然的にですね。

一般化するとデータというのはシンタックス世界であります。ルールがはっきりしていますから。情報はセマンティックス世界であります。プラグマティックス世界というのはそれがどういう働きを及ぼすのか、どういう判断の元にあるのか。一般的にはシンタックスからセマンティックスへ、セマンティックスへプラグマティックスへ、プラグマティックスから何か、これは分かりませんね。こういうふうに情報科学のあつかう分野は拡大してきたと思っております。閉じた「記号は記号以外の何ものでもない」世界から記号によって意味される、シグニファイされるものを含めた実世界、リアルワールドへの拡大を考えていかなくてはいけないのではないかと。それからいわゆる演繹のシステム、演繹は閉じた世界ですね。そこからオープンループシ

システムと書いてありますが演繹は1方向の計算ですね。そうじゃなくて演繹と帰納という、演繹する、帰納する、演繹する、帰納する、2つの道筋が相互に絡み合っただけで自動制御、クロズドループがあるわけです。ここに計算機があります。またここに人間がひとりいます。またひとりいます。従来は計算機1台1台を孤立したものとして扱ってきたわけですが、そこから外界の環境を含む相互対話系というミューチュアルにコーポレイティブに何かやっていく方向にもっていかないとしょうがない。いまの計算機のほうですとマルチエージェント系とか人間機械系とか。人間と自然と自然界の環境における人間または機械との問題も含まれてくる。最近、流行りの協調システム・アーキテクチャへと発達していきまう。アメリカではこれをあまり使いませんで、いわゆる分散人工知能、ディストリビューテッドAI、こういうふうに使われています。次にTPOのないセオリーからTPOを含むシチュエーションセオリーへと、こういうふうにして考える。世の中の理論はTPO、つまりタイム、ポジション、オケイション、こういう状況でこういう状況のものはこうだと。一般の汎理論はそれがなくて理想ですね。ニュートンの理論も空気抵抗がない状況のもで初めてなりたっているわけですね。日本では普遍万能どこでも成り立つと思われていますが、現実はどうじゃない。しかしながら、できるだけTPOのない汎用的なセオリーというのがいいセオリーといわれていた。ところが人間とかを扱い出すとそうはいかない。TPOは避けられないですね。TPOは何か、ひとつはエージェントのもつビューですね。私とあなたは違うわけですね。そういう状況を扱うセオリーにもっていかねばならない。空間も、私の存在するこの空間とそこの空間とは違う、そして時間も今と昔は違うわけですね。それを含むセオリーとしてシチュエーションセオリー、状況理論が最近盛んにやられてい

るわけですね。そうでないと人間を含むようなシステムはできないと思っています。もうひとつはハウツー1本の世界から、WHAT、それからWHO、WHOはエージェントですね、WHERE、それからWHEN、WHYなどシステムの内的な動きへと、もっていかねばならない。ハウツーだけを客観的に取り出すだけではすまなくなっているのではないか。その次が先程いいましたように純記号的な世界、記号は記号だという世界から記号とパタン、またはコネクションとか、そういうものを統合した世界へもっていかなくちゃいけない。最近は確率推論だとか、学習でも単に記号的な学習だけではなく、確率的な学習が重要視されています。それと絡みまして確定的な世界から不確実性を含む世界へと、こういうことあります。自然科学は理想像として確定世界なわけですね。いや量子力学は違うとか、統計力学は違うとか、それはそうなんですが、理想は確定的世界なんです。ですが、人間が絡みますと確定的な世界ではありません。不確実性を含む世界を正面きって扱わなくてはならない。すると不確実とは何かを考える必要がある。最後には知性的なシステムから、知性、感性を含めたシステム、俗っぽくいうと人にやさしいシステムとは何か、というふうなことをやらなくてはならない。

次にいきますが、その前に現実世界とのかかりということはこのような図3がでています。これは学術会議の情報工学研連で1991年5月、いろいろ議論して作った図なんです。あまり見易い図ではないのですが、要するにここに外界がありますね。外界には自然的な物と、人工的な物と、それから人間またはそのつくる社会とがある。

人工とは工場だとか時計とか、ああいうものですね。そういうものの対象世界、つまり外界からいろんなものを獲得して情報獲得をして内部的なコンピュータが処理をしてそれ

を情報の作用として、また効果として外界へ返していく。すると、また外界は反応します。それを、また受け入れると考えていかなくていけないと思います。当然といえば当然なんです。今までコンピュータ屋さんはそのように考えてこなかった。真ん中のコンピュータ世界だけ切り出して何ができるか。スピードを2倍あげよう、3倍あげよう、4倍あげようと、こういうことをかなりやってきたわけですね。それじゃ限界だとなりつつあるわけです。つまり新しい概念はこの中からは出てこない。計算機それ自身の中からは出てこない。新しい血は回りの外界から入ってくる。自閉症になってしまったそこからは何も新しいものはやってこない。日本の学問は先程の相撲のように土俵をつくってその中から一歩もはみ出さない。その中で自閉症的に、いわゆる

閉じた計算機世界から、外界とインタラクトする開いた情報世界

#### 〔情報工学〕

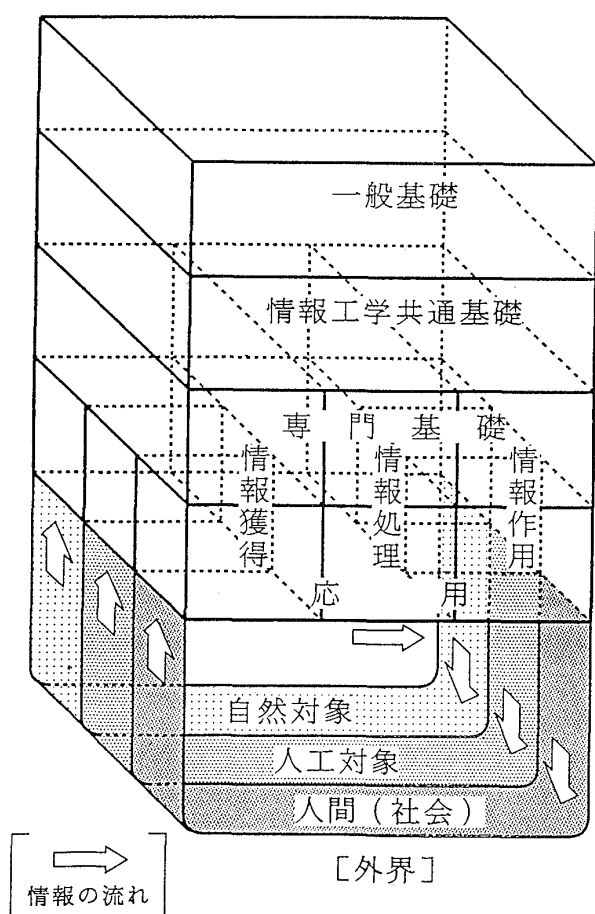


図3 情報工学分野の分類

重箱の隅をつつつく、精密に仕上げると言う日本人の特色であります。日本の情報科学、特に計算機だけを扱っている人に往々にそういう傾向があります。私はそうじゃない、情報世界を扱っていますから、いつも批判しているわけです。つまり実世界に目を向けようというわけです。実世界といいましても、知性だとか、理屈だ、なんとかと言ってみても、結局、理屈がつけられない世界も扱わざるを得なくなってきつつあるわけです。

#### 4. 感性情報処理

重点領域研究で感性情報処理というのが今年から始まっています。そこでちょっとお話ししたのですが、感性を考えると、我々はいまだ知性というか理性というか、(このあたり言葉が曖昧で申し訳ないが)こちらを切り捨てて感性だけを何とかやろうというようなこともあるんでしょうが、それじゃだめであって、お互い補完関係ということでやらないといけないと思うわけです。ですから感性的側面と知性的側面と、用語は別としまして、これは直交したものではないかと。ちょうど複素数の世界ですね。実数の世界と虚数の世界、実数世界というのは感性的、これ実世界にかなり近いわけですから、虚数の世界、これは知性の側面、知性とは理屈だと、記号だとか、やっぱりあれは虚の世界ですね。まさにクロスの世界としてその上で実際の人間のやっていることはこれらの総合関係、全体としての活動であると思うわけです。(図4.5.参照)それをどう特性づけるのか。我々はある程度特性づけないと何もできないものですから、強引にやってみたわけです。知性とはかくかくしかじかのものである、感性とはかくかくしかじかのものと、こういうふう一刀両断にやってみるわけです。仮説がないと全体像が、議論が進まないわけですから、一応こう考えるわけです。知性とは、究極的には記号論理、または記号化の過程に基

人 智		脳		情報処理
知 性 (知能)	理屈	大 脳	左脳的	記号論理・規則・アルゴリズム
	直観・認知		右脳的	パターン認識・連想・ コネクションイズム
感 性 (本能)	感覚・性格・ 人格	脳 幹		?

○知性と感性は人の情報機能の“直交した”2側面。

知性の対立概念が感性ではない。

数学における実数軸と虚数軸。

知性は感性の最大公約数的共通面？

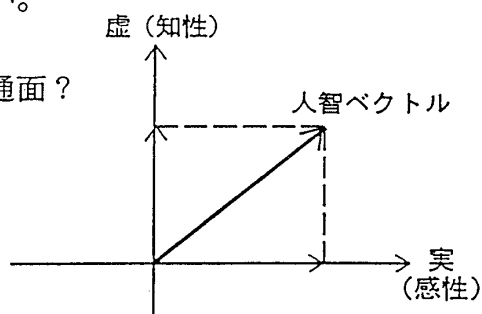


図4. 知性と感性

○知性とは：究極的には、記号論理（認識論を含む）にもとづく理屈中心の概念・カテゴリ（——化）の世界

特性－明証. 完全性. 完結性. 確定性. 法則. 整然. 表記. 明晰. 客観. 共通性. 規格.

○感性とは：本質的には、感覚パターンのアナロジーにもとづく、直観が中心の情念・実体の世界

特性－暗証. 非定型. 非完結. ゆらぎ. ランダム性. 混然一体. 余韻. あいまい. 主観. 個（別）性. 差別化. 「ちがひ」

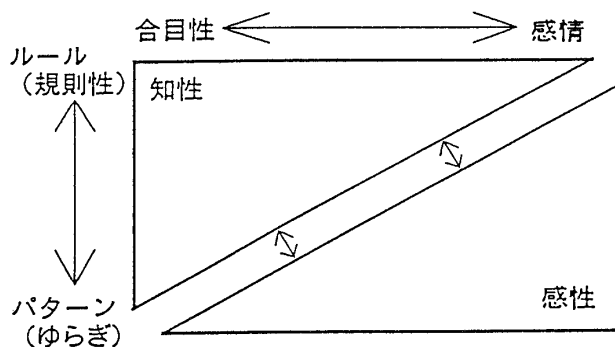


図5. 知性と感性の特性の対比



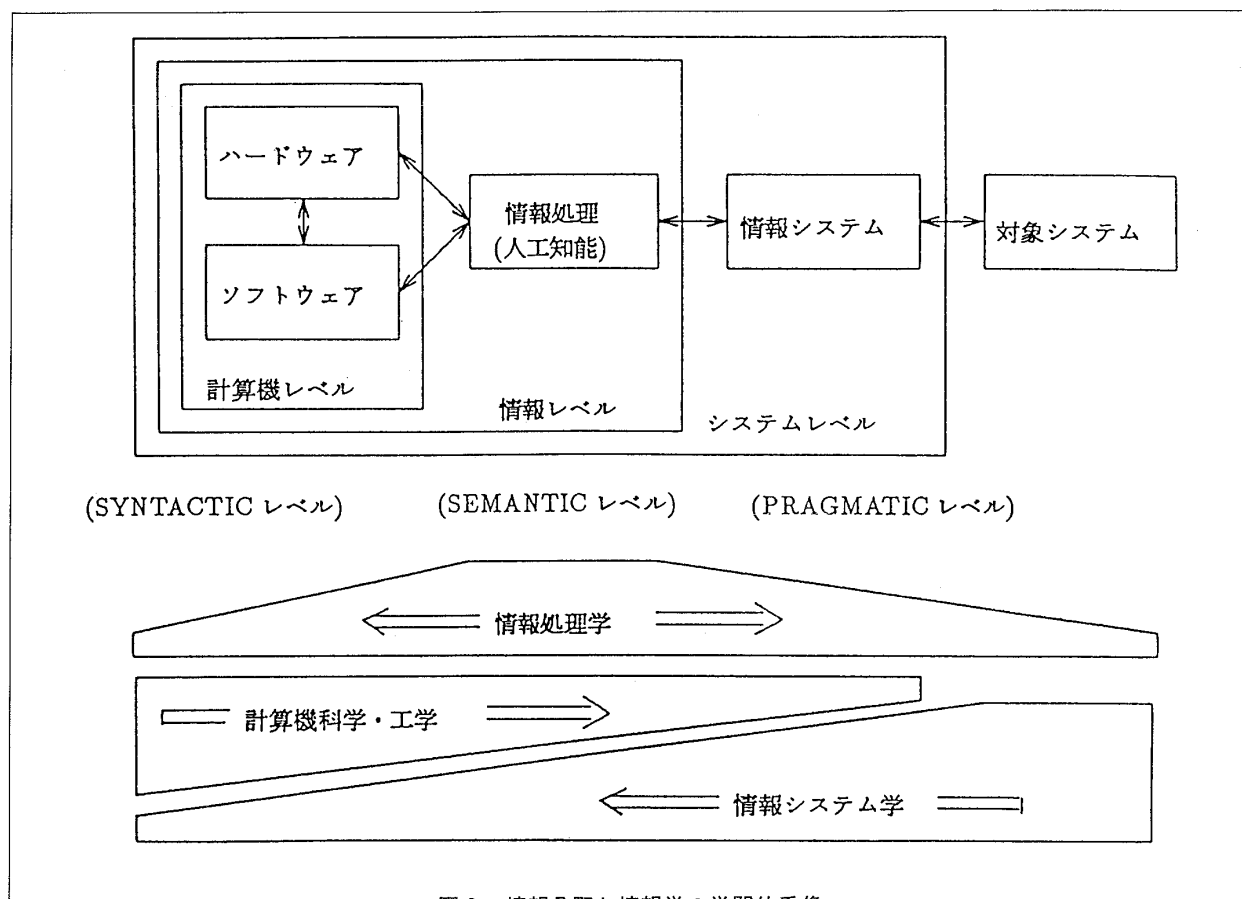


図6. 情報分野と情報学の学問体系像

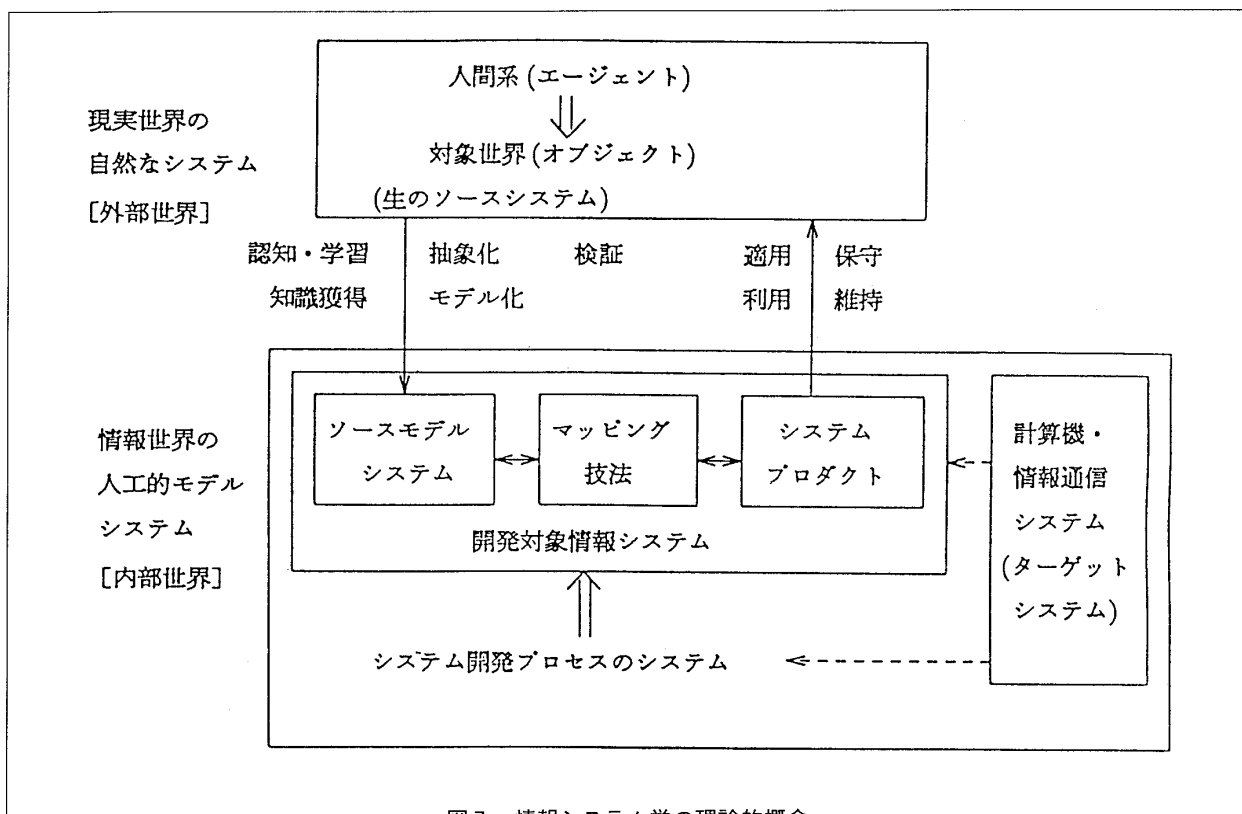


図7. 情報システム学の理論的概念

づく理屈中心のものであって、結局は明確な概念・カテゴリー、またはカテゴリゼーションを中心にする、(できるかどうかは言っていない。)それを究極の目的とする、そういう世界だろう。その特性的なものとしては明証、クリアですね、それからコンプリートネス、完全性又は完結性、これ自己完結性であります。それから確定性、それから法則性、整然としたもの、ウェルフォームドですね、それからあるものをきちっと表す、記述する、それから明晰さ、客観性、共通性、それからエンジニアルのに言いますと、ひとつの規格を定めるというわけです。それに対して感性というものは本質的に全部この反対であろう、感覚パタンのアナロジーに基づくような、直感が中心の、情念・実体と書いてありますが、こういった世界ではないのか。つまり本質的になにも記号化とか、必ずしもする必要のない、最後には言葉で表しますのでこっちにも関係しますが、基本的には何も言葉で表さなくても感情がない、感性がない、ということじゃないわけです。絵画で表してもいいし音楽で何か弾いてもいいわけですから、そうするとここは明証に対して暗証、インプリシットですね、知的世界はルーチンワーク的なものに対して、感性は形が定まっていない非定形、それから必ずしも閉じたわけでもない。ゆらぎが非常に重要である、これは確定性と不確定性ですね、ランダム性が重要である、それから混然一体というんですか、つまりこれは何かという分析論的なものが必ずしも成り立たない、もうひとつは余韻というのが非常に重要である、余韻については分析が不可能なんです、それがなければ結局だめなのではないか。それから曖昧さ、客観に対しての主観、それからもうひとつ個性化、個別化。「違いの分かる何とか」という広告がありますが、それから差別化と。こういうふうに大局的に知性と感性の特性を強引に分けてみたわけです。そこでこの図5を書いてみたわけ

です。一つの軸は規則性とかゆらぎ・非規則性とかですね、もうひとつは合目性・合理性とか感情性です。そういった二つの軸があってその中であるドメインが決まっていくのではないか。知的な側面というのは合目性と規則性を最重要的なものにして、そちらの方へ収斂させようとしているし、感性のほうは逆にゆらぎとか感情とかこちらの方にもっていかうといっているのではないか。現実にはこれがこう絡みあっていると思うわけです。ある本を見ていたとき、こういう言葉がありました、専門じゃないので借り言葉ですが、「普遍なしに個はなし、個は支えられることなしにて普遍はない」という言葉がありますが、もじって「知性なしに感性はない、逆に感性が支えられることなしに知性はない」というわけです。我々は知性的に振る舞っているように見えて、結局最後にそれをコントロールしているのは感情とか、感性だとか、モチベーションだと感じます。我々の世界も人工知能だとかなんとかいっても、結局感情を無視してはできないようなところに踏み込んでいる。つまり先程いったエージェントを表に出して考えなくてはいけない。今まではエージェントを無視して対象世界をどうするかを記述したのに対して、最近ではエージェントはどんな働きをするのかまで扱わざるを得なくなってきた。ところがそのエージェントというのは、コンピュータだったら感情とか、意志はないのですが、人間だったら感情とかを含めないとできない、とみんな感じつつあることです。また、これが一番重要ではないかと私は思っているわけですが、つまり物事理解は頭にできるイメージによって行われるのであると。しかしイメージは直感的なものですからそれだけでは消えてしまいますし、いろんな問題点があります。従って、そのイメージをきっちり体系化づけるために知識表現とか論理表現とか、つまり体系的な記号的な思考が行われる。思考によって成功したら、こ

れのリインフォースメント、イメージの強化、リインフォースメント、それが行われる、そしてこれがより確実なものになっていくと、そういう記号世界とイメージや直感的世界との総合関係が非常に重要じゃないか、というふうに感じているわけです。

## 5. 情報学の全体像

さて時間が来ましたので、あとは簡単に。先程言いましたように情報科学といいますのは計算機と人工知能とか、そういう世界だということですが、今日のテーマは「情報科学から情報学へ」というわけですから、情報学全体の像を出してみたのが、この図6です。先程一応ご説明もうしあげましたけれど、計算機を含む恰好で情報のレベルがある。情報を含む形でシステムレベルがある。システムレベルの外に対象系があると考えられるわけです。俗称、学問分野としては計算機科学、計算機工学というものは計算機を主としてやりますし、情報処理というものは先程の言いますと知能情報学、それは情報レベルを中心にして計算機のサイドと情報システムのサイドを眺めるということになりますし、情報システム学というのはどちらかというと対象システムの側からずっと情報世界や計算機世界にアプローチしていくというふうを考えるわけでありまして。そのときに、今までは大体、計算機と情報レベルについてはお話をしてきましたが、情報システムというものを我々の立場からどうとらえられるかを少しお話しなくてはいけないと思います。それがこの図7であります。(OHPを示す)これは情報システム学とは何か、という検討委員会がありまして、私が提案して、まあ、よかろうとなった一つのモデルであります。まず図の下の子組ですが、情報世界の人工的モデルとそのシステムというものを我々は作りたいわけですね。ところがこの世界は現実とは切り離しては存在しえないわけでありまして、まず

その前に現実世界の自然なシステムを把握しなくてはならない。「自然な」というのはその辺にころがっているという意味でありまして自然現象とは限りません。人間や社会の場合でも自然に存在する人間社会というのがあるわけですね。自然人としての人間そのものも一つのシステムとしてとらえるわけです。そういうような現実の世界のシステムを我々の立場から見て外部世界と言います。その外部世界が何物かを考えなくてはならない。そのとき従来は対象物の世界、つまりオブジェクトと言うんでしょうか、それだけを切り出してやっておったんですが、そうじゃなくて今後は、対象物とそれを扱うところのエージェントとしての人間の両者を含む世界を扱っていかなくてはならないということになるわけです。そこから、認知、学習、知識獲得、ある意味では抽象化、アブストラクションとかモデル化によって一つの情報世界というものをづくりあげていくわけですね。ですから、ある意味では情報世界というのは実世界の上の、もう一段上の、メタ世界といってもいいと思います。現実の世界のメタ世界だといってもいい。情報世界の中身をどういうふうにか考えるかといいますと、計算機とか、情報通信とかのシステムの上にこういった情報モデルをどうやって乗せるか、というふうにか考えるわけです。そのときの乗せ方としては、こういうふうに3点セットであります。現実世界のモデルである「ソースモデル」を構築物としての「システムプロダクト」の上にどう「マッピング」するか。こういうふうにとらえようというわけです。これはごく当たり前のことであり、 $y = f(x)$ で、 $x$ はドメインです。 $y$ はレンジといわれるものですね。 $f$ は関数で、関数というのはマッピングである。これは当たり前のことですね、万人が認める。こういうふうなことを、情報世界にあてはめてみるとどういうことになるか、というわけです。まず、この現実の世界を分析、解析、

モデル化してソースモデルを作る必要があります。次に、実際にはそれを計算機の上に実現しなくてはならないわけです。レンジ,  $y = f(x)$  の  $y$  というのは現実の計算機から出来上がった一つのシステムなわけです。このドメインからレンジへどうもっていくかという、ここのマッピングの手法を明らかにするのが非常に重要なことである。こういうふうを考えるわけであります。もちろん、専門的にはいろいろ問題がある、マッピングというのは1対1マッピングなのかどうか、いろんな問題点があるが、大枠で言うと、次のようなことになると思います。ソース、マッピングと切り離して、このシステムプロダクトをそれ単独で閉じておいたら先程の自閉症的なシステムになりますから問題がありまして、当然システムはあちこち使われて適用されて、それが一定の保守、メンテナンスされて、改良されて、維持されて、そして現実の世界へ何か効果を及ぼしていく、そうすると現実の世界から違った反応が入力されてくる、というふうに現実世界と情報世界の間のループという中で、情報システムというのをとらえていこうというわけであります。

ここからは半分は社会情報学の話であり、私の専門とは直接は関係がありません。情報を真ん中に置いた図8が書いてあるわけですが、それと、社会とか人間とかの関係を整理したいと思ったわけです。それはですね、縦軸と横軸の見方は括弧でかこって書いてあります。その見方から整理してみたいわけです。まず、右上からいきますと、「社会とその環境」と書いてある。右下に「人工システムとその環境」と書いてある。人工システムも、社会も人間が作りあげた人工的産物 (artifact) だと思っているわけです。ですから社会システムと人工システムは切り離せない、つまり、ひとつのマクロの下にグローバルな何か共通的な側面をもっているだろうと考えます。これに対局的に左側にありますように人間とそ

の環境、自然とその環境というふうなものは共通点があるのではないかというわけですね。人間そのものは細工することはできないと我々は考えるわけですね、原理的には。自然も、ある程度加工しますが、あまり加工しすぎるとしっぺ返しをくう、そういう意味で自然と人間は非常に似ている面がある。人工的に対して自然的 (natural) である。この自然というのは、我々人間が手を加えてやらなくても、人間が加工する前からそこにインプリシットに先天的に存在したものである、というふうに考えるから、ここではナチュラルという言葉を使っているわけです。そういうふうに自然的なものと人工的なもの、という軸で左と右に分けることができるのではないか。それからその次は人間に関するもの、つまり人間システム (上側) と物質的 (下側) なもの、というふうに分ける見方があるのではないかというわけです。ですから人間があって、その上にマクロな集合体としての社会がある、こちらの方も先程示しましたように一つの物質的な素材とか、そういうものがあり、その上に一つの人工システムをつくり上げているということになるわけです。

そうすると情報はどこかということになると、欲張った話ですが、みんなに関係することになるんじゃないか、と思っています。ですから平面に書いてありますが、情報は紙の面から浮き出した位置にある、そういう見方もできるのではないか、と思っているわけです。そういう見方からしますと、情報の分野というのは学問の学問 (というと他の学問の人に総スカンをくらうと思うんですが、) つまりメタ学問という側面、ある意味で汎学問という側面もあるのではないかというふうに考えているわけです。しかし、誤解してはいけないのは情報の扱い方には2通りありまして、情報固有の体系としての学問というものもある。計算機というものをどうするか、というのは情報固有の分野であります。

そういうものと汎学問的なものとの両側面をもっているのではないか、というふうにとらえたいと思っているわけであります。これについては色々な分野の方々からご意見をいただきたいと思っております。

## 6. 情報文明論

その次に少し情報文明論的なことになって、これは私の専門ではないのですが、少しまとめたわけですね。(図9. を参照)結局、よく言われるように、大昔、人間は収奪の時代だった。それから農業、栽培の時代になった、それは1次産業で、2次産業が工業、製造業というのが中心になって、それは大体1950年ぐらいに終わった、いや終わったとは言いません。世代交代が起ったのではないかと、現在、情報産業の時代であって、産業というところちょっと困りますが、広い意味での情報産業の時代であって、それが2020年ぐらいまでは続くのかなあ、というわけです。現在は1992年ですから情報産業の時代です。よくポストインダストリアルといわれますが、「脱」工業社会では困るのであって、情報産業時代と呼んでもいいのではないかと、その後、どうなるかというのは非常に気にかかるところでして、5、6、7というのを並べてみたわけですね。これをちょっと整理してみたらどうなるか。シビライゼーションからカルチャーへ、それから社会中心から人間中心へ、これは先程の図にありましたね、マクロからミクロへ、また社会基盤から人間基盤へ、そういうことじゃないかなと思うわけですね。つまり、従来は、社会をとらえるときに社会のマクロな現象をとらえ、それを成り立たせている人間というものをある程度無視してきたというふうなことも言えるんじゃないかと思うわけですね。ですから先程の計算機世界でも、計算機が扱う対象については色々やってきたけれども、その計算機自身とか、エージェントとか、そういうものについては、情報科学

は充分には扱ってこなかったということがあるわけですね。ですから社会とか、いろいろのシステムや、産物というよりも、それを成り立たせるエージェントそのものを中心に考えていく時代になるのではないかと思うわけですね。それをまとめ直してみますと、まずシビライゼーションの部分については、生存レベルというのがありますね、これは人間だったら、人間が飯を食って、そして生存していかなければならない。それはライフとしてのものです。これは最近、アーティフィシャル・ライフという言葉で研究されています。それから機能レベルというのがありますね、その上にひとつの情報レベルというのがあるのじゃないか、というふうに考えるわけですね。生存レベルでは食うために農業をやったわけですね、そのうちにいろんな機能を拡大する、飛行機を飛ばすとか何とか、機能レベルの拡大に工業をやった。今後は情報レベルでいわゆる情報産業とかそういうことを発展させてきたというわけですね。ところが今後はカルチャーレベルになるのではないかと、つまり人間サイドです。そうするともう一遍戻って人間の生存レベルになり、ライフサイエンスとか遺伝子とか、ああいうところから始まっているわけですね。しかし、遺伝子だけわかってもしょがないわけで、多分その次には人間とか、人間そのものに対して機能レベルの問題、つまり脳神経とかですね、脳の機能とかそういうレベルに来るだろうと思うわけですね。しかし、今度は脳の機能がわかっただけではしょうがない。それを働かせなくっちゃいけないということで、人間自身の知識、知能、感性とか、心理とか、そういうふうなところが最後にくるのではないかと、こういうふうに一応考えるわけですね。ですから、マクロ的なものからだんだんミクロ的なものに移ってきている。そこで新しい時代の転換が、もう一度人間について生存レベルから機能レベルへ、それから情報レベルへと変換されてい

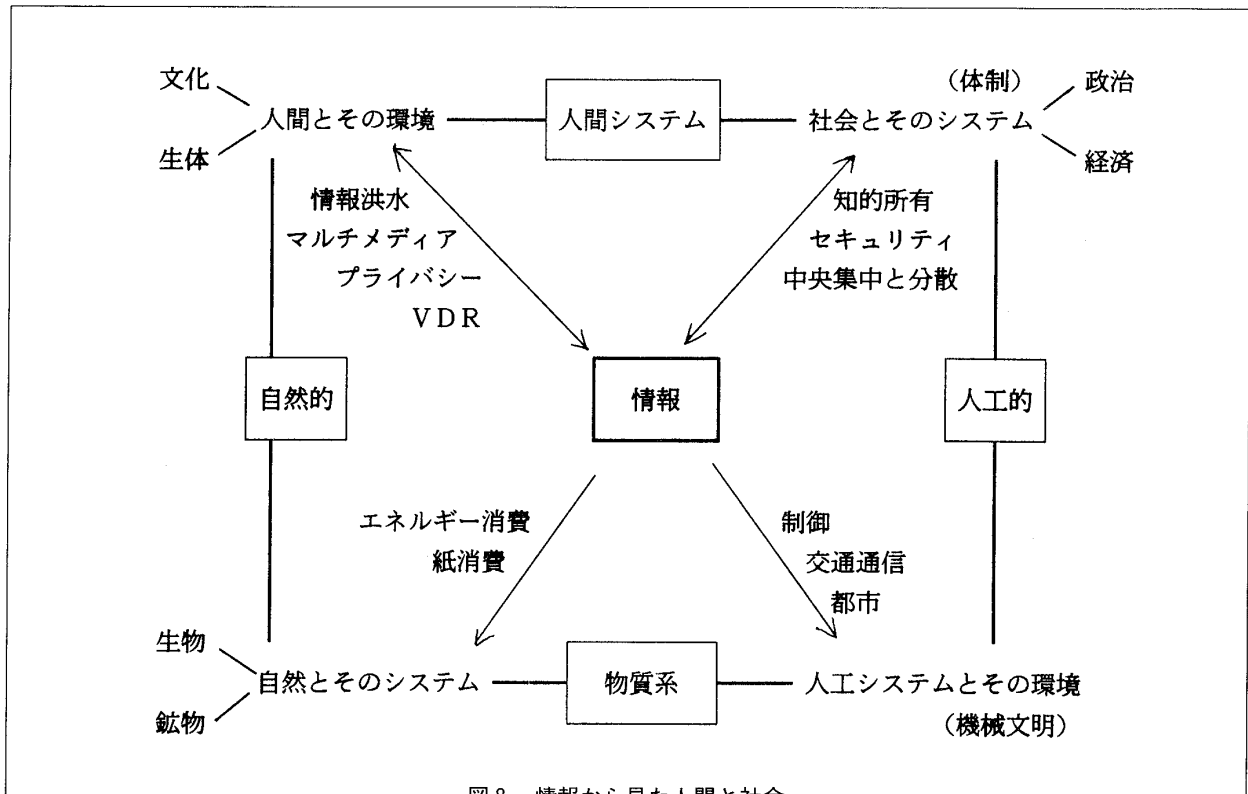


図8. 情報から見た人間と社会

1. 収奪
2. 農業（栽培・育成）一次産業 ～ 1750
3. 工業（製造業）二次産業 1750 ～ 1950
- 4. 情報産業 三次産業 1950 ～ 2020
5. 生命産業
6. 生理産業
7. 知能産業

civilization から culture へ：社会中心から人間中心へ  
 macro から micro へ：社会基盤から人間基盤へ

	生存レベル	機能レベル	情報レベル
civilization macro	農業 ↓	工業 ↓	情報・データ ↓
culture micro	生命	脳神経／生理 ↓	知識・知能 感性・心理

図9. 支配的産業・文明の変遷

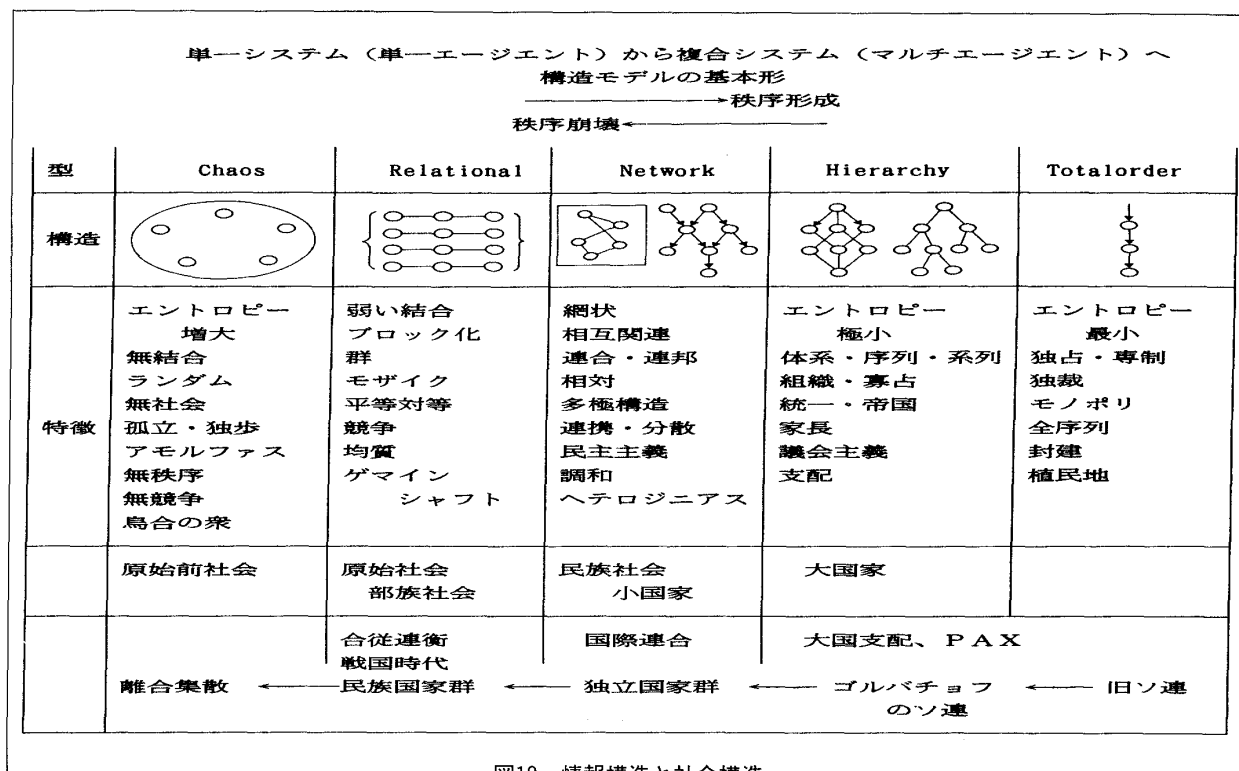


図10. 情報構造と社会構造

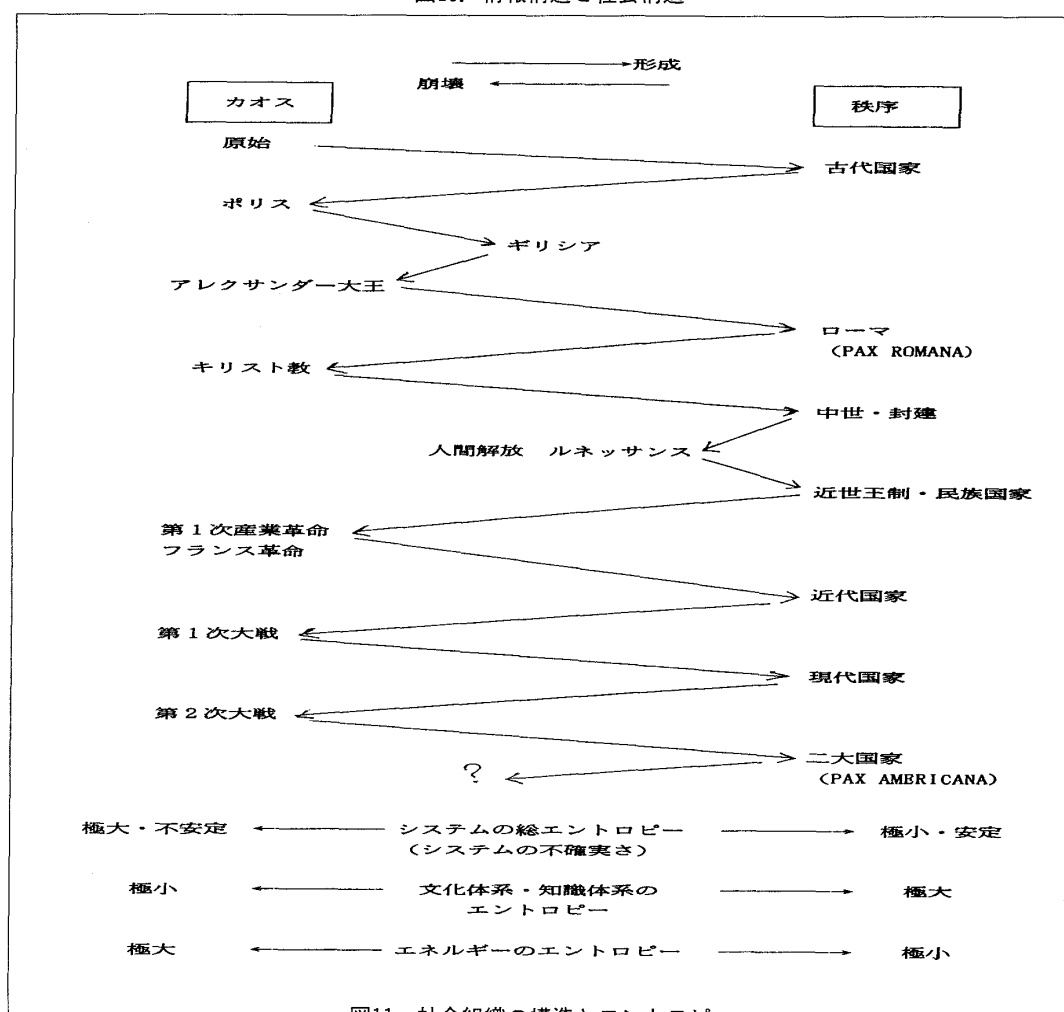


図11. 社会組織の構造とエントロピー

くんじゃないか、こいういうふうを考えているわけでありまして。次の図 10 は情報のトポロジーとでもいうもので、要するに先程からエージェントとか、社会だとか、いろんな言葉で話していますが、ちょっと我々情報科学の立場からそれをまとめて見たいと思ったわけです。我々の方ではいわゆるネットワークという言葉は昔からあるわけです。それをちょっとまとめてみますと、まず我々は色々な情報があつた場合に、カオスだというのが一つあるわけです。これは単なる寄り集まりですね。それから次にリレイショナルというのがあるわけですね。リレイショナルというのはいろんな関係がひとつのセットとして定義されている。その上にネットワークというのがありましてね、これは網の目のように物がつながっているというわけですが、それからその次に一種のハイアラキシステムみたいなものが、きちんと構成されたシステムがありまして、その次にトータルオーダーというのがあります。トータルオーダーというのは 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8……と、ずら一と一列に全部並んでいる。我々の側から言いますと物事の秩序というのは大体こいうふうに整理されるというふうに私は考えているわけです。これは大体、情報系の人には受け入れる考えだと思ふんです。各構造の特徴を書き並べてみましたが、これは思い付くままに並べたものです。社会レベルから、人間レベルから、物理レベルまで、いろんなことをごっちゃまぜに並べてあります。こいうふうにしてみますと、社会も結局こいうふうな構造の上で色々動いてきている。いろんなタイプの秩序のシステムの上で動いてきているのではないかと、こいうふうに考えたわけでありまして。

最後の図 11 ですが、よくよく考えてみると、結局、人間の歴史は秩序の形成される時期と、ランダムというんですか、秩序がくずれた時期とが交互に進んでいっているのでは

ないかと思つたわけでありまして。現在は当然、2 大国家がつぶれて秩序崩壊の時期にあるわけでありまして、そうするとある意味では社会的エントロピーというのはふえて、社会的に不安定になります。システムのエントロピー、つまりシステムの不確かさというのは極大になります。逆に非常にステイブルなシステムができあがつた（良い悪いは別にして、）ときには、極めて安定で、かつエントロピー極小という状況になっていくわけですね。文化的にみますと、文化体系のもっているエントロピー、または知識のもっているエントロピーというのは極大になる。だから逆に、その不確かさというんですか、ランダム性のエントロピーは小さくなるということです。逆に、世の中がカオスになるということは、ひとつの知識体系とか文化体系とかが崩れるということです。ですから文化体系自身もっているエントロピーは極小になる、そのかわりランダム性というのは極大になるとこいうふうに考えるわけですね。それは物理的というヒーター（加熱）に関係があるわけなんです。鉄を熱しますと鉄は溶けてきます。あれはエネルギーが極大の状態であるというわけですね。こんどはずっと冷してきたときに、いわゆるアニーリング、焼きなましをやるわけです。そうするとある特定の状態に落ち着くと、どこに落ち着くというのはわかりませんから最小じゃない、極小だというわけです。ともかく、熱したり冷したりしてですね、初めて物事は動くんであって、例えば、ローマ世界から中世にそのままでは移らないわけですね。ですから普通、エネルギー関数を書いてみたら、世の中のものすべて、波打った形になっているわけですね。ここに極小のレベルがあるわけですね。A という極少の状態から B という別の極少の状態には、直接には絶対移らないわけですね。移ろうと思うとエネルギーを与えて、これを一旦上まで放り上げて、そして徐々に冷していったら



ですね、どっかの、いいと思う所へ移っていくことになるわけです。これはある意味ではカオス、またはフラクタルというんですか、ちょっとしたきっかけでどっかの適当なところへ移っていくということです。このバリアーの壁を越えるために一辺上にあげなくちゃいけない。ですから、結局、秩序というのは単にある秩序がある秩序にシフトする

(これは好ましいことなんですが、) ことには絶対ならず一度つぶさないと新しい核はないというのが歴史的事実だと思いますね。そうすると、今の時代の次にはどうなるのかということは、非常に私としては興味がある。こういうことで一応終わらせていただきたい。

### 堂下講演に対するコメントと質疑

司会(狩野) ただ今、堂下先生から工学者としての枠を超えて、堂下先生のお話によりますと、土俵ではなくレスリングのマットを超えて、お話しをいただきました。基本には文明論もありました、そのときに、やはり、ひとつは、情報科学という内部におけるアポリアをどのような形でつめていくか、それに対するかなりはっきりしたイメージはお持ちであるということです。こういう局面に対しては、一応これまで北海道大学の田中譲教授にご討論をお願いしてあります。また、この考え方自体、論議を含んでおりますので、長田教授も論議をいただければありがたいと思います。しかし、今日のお話はかなり挑戦的で、しかも尚かつ、かなりドグマテックな局面も含んでいます。これはある面において社会学者からみますと、腹に据えかねることもあるかと思えます。そういう点でむしろ少し堂下教授がレスリングのマットを超えられた部分についても遠慮会釈なく討議をいただきたいと思います。まず、田中譲さんの話しに入る前に形の上でお聞きすべきことがございましたら簡単に質問をしていただいて、

堂下先生の講演内容の節の見出しは編集委員会の責任で作成した。

その上で討論に入りたいと思います。いかがでございましょうか。

戸田 全体としてたいへんおもしろかったのですが、ちょっと意見があります。先程の感性情報で、知性と感性にお分けになったところですが、感性というのは非常に曖昧なもので反対の形容詞を選んでこられたということがあります。私はあれはやらない方がよいと思います。これから感性をやっていかうというのです。いま感性としきりに言っているのは、いままでのコンピュータで扱えなかったものを、これをもう少し入れていかうと言う。そうすると、これはやはり初めから曖昧でどうしようもないもの、カオスであると言うのではしょうもないのです。私の方は初めからそちらの方をやっております。感情であろうと感性であろうと、全部が全部できるだろうとは思っておりません。常に疑念が残るでしょうけれども、やはりきちんとしたシステムに作っていくことはできるだろうと思っているわけです。ですから、あんまり反対語を選んで、これを感性だとおっしゃらないほうがよろしいんじゃないか。今、感性と言われたのは非常に曖昧なもので、知性の反対はみんな感性だ、というようなものでしょ

う。感性の定義をなさるときには、充分、整理の必要があるかと思います。

**堂下** はい、今おしゃられた残りは全てが感性だけでは困るというのは、まさにその通りであります。我々の面から言いますと自然科学はある程度特性化をしないと話ができないわけですね。すべてみんな感性と言われると、もう何も言えなくなります。まあ、強引に、やったという面はあります。単純に対立的にとらえるというのは違うと思うのですが、しかし、そういう側面をかなりもっているということは確かです。ですから、曖昧なものをどういうふうにして扱って行くかということは、何も感性世界に限らないのです。いわゆる、知性世界というところでもパターン認識というようなものでも、曖昧なものをどう扱っていくかということになるわけですね。ただ、それは感性の場合とは目的が少し違うのではないかなという気がするのです。知性に関しては、我々ある程度、概念をもっているわけですね。観測とはこういうことだ、知識とはこういうものだ、それに対して感性に対する言葉がなかなかいいのがないのです。

**戸田** それは結局、これを全部感性とおっしゃるからそうなるのですね。

**狩野** 堂下先生も、感情には理性も知らない理性があると、そこから始まって、それはお認めになっているわけですね。しかし、戸田先生の立場からいきますと、むしろ、理性とはまた違う、しかし理性のもつシステムに匹敵する側面があることになるでしょう。

**戸田** 感情だけではなくて、例えば音楽なら、立派なシステムが音楽の中にあってまだよくわかってないというだけです。

**堂下** それはそうですね。知性と感性との相互作用ということですね。今戸田先生が言われたように、例えば音楽で民謡とかというのは、生まれたときの素朴な、そのままの姿ですが、ところが音楽としてきっちりやるんでしたら、ここに知性が働いて、十二音階だと

楽譜をきちんと書く。そういうふうには知性が与えられて、その上でより高次のシステムとしての感性というのが体系化される。ですからここに当然、知性、知的ないろんな作用が働くわけですね。しかし、知性にこだわっていたのではこれ芸術になりませんから、結局埋め込みが行われるのではないかな。無意識化ですね。つまり、知識ベースとか、ルールベースシステムなどでルールを意識していたのでは決して感性にはなりませんから、それがパターン化されて無意識化される。知性が感性に埋め込まれてしまう。それが自然な形の次の世代の感性になってそれに知識が働いて次のことが起こると、まあこいういうふうなものではないかな。

**狩野** 今のところはこの次に戸田先生がおっしゃいますので、そのところでもう一辺出てくるかと思います。戸田先生はそこが逆でございまして、むしろ感性のなかにあるものが理性の方へ展開するという考え方を基本としていらしゃるのでしょう。

**堂下** 上述とのデュアルなことがもう一つありまして、全部言葉を入れ換えたものが当然裏にあるわけですね。これは我々のほうでデュアルシステムとこう言うわけですね。

**田中一** 大変面白く伺いました。簡単な質問です。あるもののシンタックスおよびセマンティックスと言った時に、セマンティックスは必ずしもあるものだけでは決まらないで、あるものの世界全体が決めてくるものではないかと思うのです。その世界を、仮に有限化したとしますと、有限化された世界の中に出てくるセマンティックスは結局シンタックスにならないか、ということなんですが。

**堂下** その通りです。まさにおっしゃることを言ってきたつもりです。これは先程出しましたが、戸田先生は、残りを感性というから問題なんだと言われました。その通りなのですが、だから、図にはクエスチョンマークがつけてあります。概念化された世界は

きっちりした世界ですから、いわゆるシンタックスに基づくシステムです。これを拡張していくというのは、初めはもやもやとした恰好になっているのをシンタックスの世界として切り出していくということです。先程の図でも、残りの世界からその次の枠組が出ていくというふうなつもりで書いてあります。まさに先生が言われたように、セマンティックスの中から次のシンタックスの部分が呼び出されていく、いろんな物質世界の上に情報世界が乗っているというふうにとらえないといけないのではないかと考えてあります。ですから、田中一先生も物理から情報へ一生を通してやってこられたのではないかなと思います。

千葉 私もその物から事の分離、その事がよく理解できなかった。

堂下 そうですね。「事」というのは我々のほうで言えばイベントとです。ですから、エネルギーというのはこの何か物を動かす、そういうことです。物があってそれにいろんな作用をする。これを現象ではなくて事柄、事象と我々は言っています。それを分けなくてはいけないというわけです。ミクロレベルは別として、ある物とそれがもっているいろんな作用を及ぼすものになるものというのは分けて考えなければならぬということです。情報の場合でも、エントロピーというのは情報の集合としてのある一定の性質を量的に現したものです。ところが、例えば、それをどう処理するかというのは情報をどう動かしていくかですから、まさに、事の問題だと思うわけです。そういうふうに、物と事とを、やはり、分けていかなければならない。

グラフというのはノードとその間を結ぶリンクでグラフになります。ですから、ノード自身は物の世界で、お互いどう結んでいくかというのはある意味で事の世界だと。グラフ理論で比喩的に言えるのではないかと思います。

田中譲 僕は、京大の出身で、堂下先生に教えていただいたのです。学生のころ、堂下先生とは研究室は違ったのですが、学生だった立場ですのできついことをなかなか言いにくいのです。色々な観点でお話をいただいているので、内容のすべてに関してコメントをいれるというのは難しいので、先生のアプローチそのものに対して僕が感じるところとの違いというのを、ちょっと、言わせていただきたいと思います。

それは、記号とパタンと感性というものを対極させてとらえられています。要するにパタンとか感性とかいうものは記号にならないと、記号とは違うと。

堂下 違うとは言っていない。アプローチの仕方が違うと言っているのです。

田中譲 その時に、それも、シンタックスという形で取り出してくると、やはり記号世界に落ちるはずで。その切り込みをするときに最も大切なところというのは、そこじゃないかと思うわけです。その時に、知性、感性とかという話になってますね。

堂下 それと記号・パタンの問題はちょっと切り離して考えて下さい。

田中譲 知性、感性という話をしますと、知性にしても感性にしても非常に定義が曖昧です。

堂下 ですから、パタン記号の問題と知性、感性はちょっと切り離して下さい。

田中譲 ただ、そこに、記号内世界とか、知性とか感性とか、こう書いて、パタン系と書いてあるわけです。

堂下 別の図にもあるように、なにも感性＝パタンだと、そう言っているわけではないのです。

田中譲 そういう意味ではなくて、いずれにしても定義が非常に曖昧な言葉で議論をさせていただいたので計算機家としてはなかなか解らない。ゴールがかなり明確化されないとアプローチのしようがない。我々がやる場合に

は必ずゴールを明確化するということをやるわけですが、なにをやりたいかということも明確に決めてしまう。それはごく一部であっても構わない。全体をやろうということはまずできないわけで、そういう観点からするとどういう目的をもってやろうとされておられるのか、先生ご自身はどう取り出そうとされるのか、そこがちょっとよくわからない。

**堂下** パタンと記号という問題と、感性と知性という問題は1対1じゃない。もちろん、そのことはわかっております。私が言いたかったのはパターンと記号や、感性と知性は相互に深い関係があり、切り分けられないほうがよいということです。しかし、現実にはコンピュータ屋さんはパタンというのは非常に嫌いです。それはもう明らかです。記号を記号として、データとしてどうなるかをやりたいのであって、その上にどういう情報をのつけるかというのは、特に日本のコンピュータ屋さんは全然気にしない。ですから、そこから新しいアーキテクチャはできません。現に出てこなかった。ワークステーション、それはアメリカから出てきたわけで、あれは人工知能の系列の人が新しい原形を造ったわけです。ですから、記号を記号として純粋にというだけでは、やはり新しいものはでてこない。それだけではだめだというのがAIのぶつかった問題だと思っているわけです。

**田中譲** ゼロックスのワークステーションというのは、あれは決して人工知能のところから出てきたわけではない。

**堂下** その動機はほうです。ともかくもいわゆる典型的コンピュータ屋からは出てこなかった。

**田中譲** その今のシステムビューでデザインをするものに対してエコロジカルビューでデザインしましょうということから出てきたと思うのです。要するに、それがどう使われるかということです。

**堂下** その物の見方というのは狭い意味での

人工知能ではないですけど、回りの情報世界から見ていこうという、コンピュータを外から見ようという、そういう動きがあるわけです。ですから記号というのを掛算を2倍早くすればいいんだと、こういう見方は決してしていなかったということです。ですから情報世界の方から見ていったということは事実だと思うのです。そして、最後にはそれをコンピュータ世界に持ち込んだというわけです。例えばPrologというのを考えてみます。あれは誰がやったのかというと、ソフトウェア屋さんがやったのではないです。また、叱られるかもしれないが、広い意味で言うと、論理屋さんとか、ある意味では人工知能をやろうとしている、そのようなところから、何か少しずつレゾリューション・プリンシプルというのが出てきた。そういうプログラム体系の方に形式化していった最後にホーン節というところまで持ち込んで、それが文脈自由言語の枠組に結びついて、そこでプログラミング言語体系として独自の発展をしたということです。

**田中譲** それはコワルスキーの話でコルメラウワの方は天気予報の機械翻訳、フランス語、英語の間で翻訳をするシステムを開発するところから出てきた筈です。

**堂下** 事実はいろいろわかるのです。しかし、きちんと体系としてまとめ得るかということの問題としているのです。似たような考えはあっちこっち使われているわけですね。

**田中譲** というか、さっき、シーズの萌芽、芽が出始めたところを問題とするのか、それとも学問として展開を問題にするのか。

**堂下** 両方です。概念としていかにまとめるかが日本では非常に不得意だからそこをやれば問題にしないではいけないのではないかと。Prologになってしまうともとの概念は整理されて消えているわけです。もともとなった種に相当するところは、もっと色々あったわけですが、芽がでている研究では日本でも色々

あったわけです。しかし、それは途切れちゃって、向こうで作られた概念が天下りに輸入されてきたということです。シーズということからもうひとつ、パタンと記号というのは分けて考えているのではないかと思うわけです。パタン屋さんはパタン屋さんなりにきちんと考えてきた、これはその通りなのです。しかし、記号と一体となってというのは非常に難しい側面があるわけです。例えば音声と言語をやってみますと言語はどうしても記号的なものが一番中心になる。音声というところにまさにはパタンのようなのです。ここを結びつけないと音声言語は何もうまくいかないのです。ところが、それは非常に難しいのです。つまり記号世界に、ある一定のメトリックとか、メジャーを持ち込む持ち込み方がまだあまりはっきりわからないわけです。それは確率オートマトンがあるよと言われればその通りなんですけれども、あれだけではどうしようもない。その辺をいわゆる俗称で言うアナログ推論とデジタル推論を組み合わせたシステムとしてどうやっていくのかということが今後の人工知能の立場から解決しなくちゃいけない問題だというふうに考えております。それからもうひとつ、ゴールが曖昧だということ、これはAI屋さんと純粹計算機屋さんとのアプローチの違いだと思うのです。コンピュータ世界というのは、極論するとアンド、オア、ノットしかないのです。それ以外何もないのです。ですから、その過程で、きちっとした先程言った土俵の中での勝負ができます。人工知能はオープンワールドの中でいろんなものを考えているのです。ですから、確定的なゴールを設定してない、それが明確じゃないから何もできないというアプローチは普通とってないと思うのです。もちろん、はっきりしたゴールがあれば、それにこしたことはありません。推論というのを総合的に考えてみますと、いろんなレベルがあると思うのです。一番上のは、まず目標をどうする

か、目標自身を決めないで何かやっていく、つまり目標設定をどうするかということです。次にある程度、目標をひとつの仮説として立てたらその中で、今度は目標に到達するおおざっぱな筋道をどうつくるか、これはいわゆるパスファインディングの問題です。パスが大体わかったら、これを具体的にアルゴリズムとしてどういうふうにインプリメントするかという問題です。そういうふうに行くつかあると思うのです。計算機屋さんは、一番最初に言ったレベルはあまり問題にしない。それは世界がはっきりしているからです。場合によってはパスファインディングもあまり問題にしていない。極論すると、あるのはアルゴリズム化をどうするか、そこだけです。しかし、我々の方はオープン世界を扱うと、はっきり定まっていない概念であろうともある仮定を立ててそれで何かやってみて、うまくいったらそれは落ち着くし、うまくいかなかったらそれを捨てて、というふうなことをどうしてもある程度やらなくては行けない。そうすると計算機サイドから見ると、何か、訳のわからないことをやっているというような意見が確かに出るわけです。

**田中譲** ナディア・マグネナト・タールマンという人がシンセティック・アクターという研究をしています。その人はハンフリーボガードとか、あるいはマリリンモンローをCGでモデリングしてアクターをつくらせて演技をさせ映画をつくらせてということを本当に考えている。彼女とだんなさんと二人でやっています。そういうゴールが設定されると、例えば、このテーブルにコップを置くなんてことをやると、実際はCGの世界ですのでこれはずっと通過してしまうわけです。CGの世界ですからコンストレイントを定義してチェックするということも必要となってくるわけです。それだけ、ありとあらゆる問題が出てきてそれをひとつずつ解決するというのをやっているわけです。そういうアプロー

チが日本には少なすぎるような気がするのです。さっき、先生は、日本と欧米の違いというようなことをおっしゃったのですけれど、一番大きい違いというのはそこじゃないかという感じがしています。日本では要するに言葉からまず入って入っていて、今日の先生のお話も「感性」ということばからお入りになって、それで、急に、例えば協調システムだとか、ディストリビューテッドAI、それからエージェントの話がでてくるわけです。その話になってしまう。

堂下 今日は大上段にかぶった議論をしましたけれど、シーズは日本にはないかということそれはあるのです。なぜ、協調なんて言い始めたかというわけです。一人の人のこともわからないのに、二人集めてどうなるんだという議論があった。それは、やはり、ひとりの人では済まない巨大システムが世の中に存在して、それをどうするか問われているということです。結局、人は協調して巨大システムをつくる、つまりははっきり言いますと、メーカーの巨大なソフトウェアをつくる部隊です。あそこはもうお手上げになっているわけです。なんとかしてくれと、それが出ているのです。ですから、なにも言葉だけが踊って出ているのではない。それは先程話しましたように、みんなこういう根のところはもっているのです。先程の生け花の図です。あの種や芽のところは、我々みんなもっている。心のなかであって、それなりに考えているわけです。しかしながら、問題は、結局それをずっと上にあげていくことができなくて、ひとつひとつの個別的なものをひとつの抽象としてまとめていくときには非常に訓練不足であって、途中で止まってモタモタしているわけです。しかし、個別的には、そういうのは全部もっているのです。ですから、結果的に、みんな輸入しているのです。日本人が何も考えていないかということ、そんなことはないと思います。結果的にどうしてもそうやってし

まう。

佐藤 ひとつだけ質問します。例えば常識論だとか理論的概念だとか、情報科学から情報学へとかのレジメをみてみますと、ひとつはエージェントを強調しているのですが、対象世界とエージェントとの間の相互作用を強調するということになると、物の世界におけるインナー性の問題といのはどういう形でこの意識の中にとりこまれてくることになるのですか。

堂下 我々もできればこの対象世界を客観的に吸収できたら非常にいいと思っているのです。ところがだんだんとそれができなくなってきた。例えば、今、対話の研究というのをやろうとしています。音声対話です。音声とか言語とか概念に基づいて人間がどういうふうに対話していくかと。そうすると、客観的にものごとの因果関係だけでは説明ができない。例えば音声自身、言語自身はある程度因果関係、特に音声というのは物理的因果関係で説明ができるわけです。しかし、何故そういう音声を出すのだろうかとか、ある状況のもとでどういうふうにしてそれを選ぶのか、つまり、世の中いろんな選択があり、ある状況のもとでどういうふうにして選択していくかとなりますと単に客観的因果関係ではもうどうにもしょうがなくなってくるわけです。そうすると、話し手が何を考えているかとか、そこまで踏み込まないと何もできなくなってしまう。必然的にエージェントをどうしても含めていかざるを得ないということなのです。これはむしろ心理学の方が相当そういう必要性に迫られているのでないかと思うのですが。

人間、客体としてやるには限界に来ているのではないか。

狩野 それじゃ、今のことを含めまして、社会学の方からもご議論ください。井上さん、いかがですか。

井上 今の心理学も社会学も客観主義に頼る

限り限界にきている。対象を一方的にまなごそうとするやり方が限界にきているということから反省が起こってきて、例えばエスノメソドロジーのようなアプローチがでてきたと思います。あるいは「意図せざる結果」の問題があります。これは、社会学の対象とする現象の中に主体の側で意図したものと全然意外な結果をもたらすことがたくさん見つかったということです。マックス・ウェーバーの『プロ・倫』の禁欲的エートスの形成の話も実はそうです。このことを主題化する分野が理論社会学の中で今、非常に強い関心を持たれている。それから堂下先生のさきほどの図は大変おもしろいですね。人間同士の結びつき方をパタン化した図と最後にカオスにふれた世界史の流れの図です。二つの人間の結びつきパタンの方は、ウェーバーの言っている権力と支配の問題ですね。その諸類型が全て説明されることになるのかなという気がして。

堂下 私は要する思想としてでなく、エントロピー的に、我々よく使っている言葉でもってこういうようなひとつのシステムがどういうふうに変わっていくのかを考えたい。人間もひとつのシステムをなしている。その学習というのは何なのか。新しい概念はどうしても一種のパラダイムシフトが起こらないとだめだという面があるわけです。人間も子供から大人が変わるときに一度シフトしなくてはいけない。そういうとき、いっぺん上にあがって、四方を眺めておりてくるということが必要なわけです。機械でも学習をやりますと、ローカルピークやローカルミニマムに落ち込むわけです。そういうのは必然的に避けられないわけです。やはり、いっぺんそれを抜け出して別のところに落としこまなくてはいけない。そういうふうに考えていくと、結局社会であろうと国家であろうと、人間のもっているシステムや概念体系は思想をも含めて、みんな同じなのではないかなと思ってこういう

ふうなものも書かせていただいたのです。

井上 振子のように振れているわけですか。右へ行ったり左へ行ったり。

堂下 結局安定から他の安定へはそのままでは決して移らないというのは、物理法則もそうだと思います。

田中一 安定は通過点ということですか。

狩野 安定というのは存在していない状態でしょうね。あとで見ればあるというあり方でしょう。

堂下 後で見てそれが安定だった、と。

狩野 そういう状態で変化をみた場合に、変化をみる時点が安定に見える。

戸田 ただ、次にどこへ行くかというのは全部カオスではないと私は思っております。やはり、歴史には歴史なりの法則がちゃんとあって、ただし、カオ斯的要素があることは確かです。例えばヒトラーが画家で成功していたら何が起こったかな、SFでいっぱい出てきますけれど、ですけども、やっぱり全体としてこういう方向に行っているという。

堂下 ですから、全く正反対のことは起こらないにしても、ある範囲内でどっちに転がりこむかというのはこれはもうまさにカオス的な問題ではないかなという気がします。

戸田 カオ斯的要素を入れなければならない。カオスというと、ついもう全然だめだ、定義しても無駄だということはないのですか。

堂下 無駄だということではない。混沌という意味でのカオスがすべてじゃなくて学問的にカオスというのはここで使われるカオスとは違う別の定義があるわけです。数学的なカオスというのは。

平野 それじゃ、先生、あの、極大点の放りあげられたあとは頂点からもどってくる、もどってくる理由ってというのは。

堂下 システムの方ですか。これはエネルギーを注入しないといけないと思います。

平野 ほっておけばいいわけですか。

堂下 ま、そうです。いらん雑音とか、そんなのを入れなければ、自律的に少しずつ落ち着いていく。一方で発振という現象があります。発振するかどうかというのはあらゆるシステムの基本問題でありまして、安定問題といわれます。発振しないという条件を満足しておれば、故意に外から外力を入れなければ、少しずつ落ち着いていくということがある。

平野 それはシステムのもっている。

堂下 特性です。

平野 つまり、だから、逆に言うと、そういう特性をもっているものは、システムと。

堂下 安定なシステムと称する。ですから現実存在するシステムは、人間にしろ、一応安定なシステムだと考えるわけです。逆に発振機などというのは、それはそれできちんとした別の目的があります。普通のシステムは、ダイナミズムに従って落ち着いていくようにつくられるのを目的とする。

平野 わかりました。そうすると、そういうシステムのところは、工学的な発想はもう貫かれているわけですね。

堂下 そうです。計算機は何かやろうとしているのですから、そういうふうな領域を満たさなければいけないと思っております。ですから、落ちるときにいわゆる最急降下法というのがあるのです。昔から制御の問題で言われているわけです。ここに水平なプラットフォームがあって、ここから落ちるときにどちらに落ちるか、これはもう全くそのときの状況で、ちょっとした外力条件によって決まってきた、落ちるところはかなり違ってくるわけです。それから落ちたところが、またフラットだったら、水はどちらに流れるかまさに、もう解らないわけです。ですから、そういうとき非常に曖昧性、非決定性というものが存在するわけです。非決定性というのはこれはもう情報の処理、特に人工知能に関しては本質的なものであります。例えば、Prolog は、何が一番で役に立つかという、

この非決定性を自動的にやってくれるから役に立つ、こう言われているぐらいなのです。だから非決定性と先程のカオスとは裏腹な関係にあるというわけです。ともかく、そういうわけで扱うべき要素が非常に多いのをどう扱っていくかということを考えないといけなくなる。1 + 1 = 2 だというだけではもうとっても今は処理できない。

平野 いや、私はクエスチョンマークのついているところがもとへ戻るかどうかというのが大変、社会学者として関心があります。

堂下 この辺ですか。

平野 世界史がです。

田中一 全く話が違うんですけども、記号とパターンとありました。私はニューロシステムで処理する情報というのは、単に一次元的なビット系列ではなしに、多次元的なビットの集合体です。そういう意味で、ひとつの構造体だというような気がするわけです。そしてニューロシステムはその構造体を構造体のまま展開させていく。そういう意味でニューロシステムにおける情報過程は通常の記号情報処理の情報過程とは次元の違うものではないかという気がしているのですけれども、それが記号とパターンという対比に関係しているかどうかということを伺いたい。

堂下 情報にしろ物理現象にしろ、いわゆるスペースというのが大問題だと思うのです。抽象的な空間から物理的空間まで含めてです。情報という場合、俗称アナログと、俗称デジタルとが、空間的にどう違うのかということをもひとつ考えてみる必要がある。アナログは大体において一定の何か位相構造が入っているわけです。それに対してデジタルの方は記号ですけれども、これは普通チョムスキーなんかでは句構造と言われているわけです。ですから、チョムスキーの文法は句構造文法と一般的に言われるわけです。そこには書き換えルールがあって、こういう記号はこういう記号に換えられますと定める。そのと



きに、ある記号と他の記号との間の関連性は、一切無視する。純論理的には付けてはいけないのです。これとこれが近いというのはこの記号を使う我々人間の側のプラグマティックスの世界での意味であって、論理的にはこれとこれが近いなんていうのは持ち込んではいけません。論理屋さんは完全にそれを否定します。そういうのは我々エンジニアはよくやるもので、叱られるわけです。「いらん事、密輸入するな」と。そうすると、全くこのお互いの関係の近さというものは純粹には入り込めない。ある記号はある記号との間でどういう関係があるか、どういうふうに変換されていくか、その句構造だけが与えられているというのです。一方、アナログのほうはまさに位相構造なのです。位相構造にはふたつありまして、一つは物理的、ユークリッド的なものです。それからもう一つはお互いの関連、関係をグラフ的なものとして表すものです。例えば、線で結ばれているものはある一定の関係があると言うわけです。こういうふうなグラフの全体はいわゆるトポロジーとして考えられます。このノードとノードを結ぶエッジ（線）に、普通、重みとか、場合によってはエッジに種別を付けたりします。そういうことでお互いの関係というのを表していこうとする。ふたつのノードが非常に離れているのか、またはふたつのノードがつながっていないのか、（つながっているかないかは0, 1ですけれども、）どの程度つながっているのかというのは定義がされているということなのです。ですから、データというのは、ほかのと切れて個別にバラバラになったら、私は何の意味もないと思います。ひとつの概念とかひとつの知識というのはそれ自身が他と遊離してあるのではなくて、ほかとの関連によって初めて、あるものがそのものとして理解される。類似概念、対立概念、上位・下位概念等、それらの間の関係がつけられたら人間は解ったつもりになるのではないかと思うので

す。そうすると理解において位相構造とか、グラフ的な構造というのは非常に重要ではないかと思います。結局、コネクションニズミ的な考え方もこれになるわけです。情報のいろんな要素がお互いにどう関連しているかがわかって、お互いの結合関係がひとつの非常に安定した状態、つまり結合関係がひとつのそのエントロピーの小さい状態に全体として落ち着いたたら人間は解ったと思う、安心して眠れるというわけです。ひとつの新しい情報が入ってきて、それがどこにもおさまらない、それを加えると全体が崩れる、すると頭の中がカッカして眠れないということになるのではないかと思うわけです。したがって、理解というのは単に相対的なものに過ぎなくて、絶対的理解というのはないのではないかというふうに考えているわけです。この辺になると物理屋さんはそうじゃないよと言われると思うのですけれども。

田中一 必ずしもそうは言わない。

堂下 そうですか。ですから、パタンの方は主にアナログ側を扱ってきているというのは事実なわけです。しかし、デジタルとアナログは結局くっつけなくてはいけないわけです。試みは色々ある。句構造のルールに重みをつけてコントロールしてやろうとか、いろいろあるのですが、どうもうまくいかない。逆に言うと、アナログ的なところにルールのなものを持ち込むような事もやられるのですが、まだすっきりした結合関係がないのです。みんな、それぞれの立場で試みているといったところだと思っています。しかし、人間について考えてみますとデジタルは左脳アナログは右脳と言われる。ほんとかどうか実証は難しいのでしょうけれど、しかし、人間は別に意識しないで音声と自然言語をパッとくっつけてうまくやっています。そこが何かというのを探りたいと思うのです。そのひとつの工学的な理由は単に記号を記号だと思ってやったら、これはもう複雑さの爆発を起こし

てしまうのです。つまり、純粋にアルゴリズムにやろうとしますと爆発を起こしてしまってどうにもならないということがあるわけです。ところが、人間はこういうアナログ世界をうまくくっつけていますから、何かしらの答えを出すわけです。記号の純粋世界は純粋すぎて、数学でいう一般解を出そうとするわけです。人間はそうじゃなくて個別解、ある状況のもとのバウンダリーコンディションでの状況解でいいと、人間が実際に解ったというのは個別解なのです。人間は一般解を求めようとはしていますが、いつも求めているとは限らないと思うのです。だからこそうまく人間はやっていけるのではないか。一般解だけでやるとなったら、多分、非可解問題にぶつかるのではないかと思うわけです。ですから理論としてはいいのですが、情報処理とかになってきますと、アナログとデジタルをうまく結びつけてある程度の個別解でより範囲の広い物というもので我慢しなくてははいけない。

**田中一** その場合、人間のニューロシステムというのは近似的解だというふうになってるのではないのでしょうか。

**堂下** それはなかなか難しいご質問でして、

東大の甘利先生なんかはもともと人間の神経系はアナログで、その上に相当無理をして論理を乗せているのではないかとっています。

**田中一** だから、結果として出すと近似的なことが多いという気がするのです。

**堂下** そうです。ですから、論理は無理をしたあとで後天的につくりあげた世界であって、必然的には人はアナログだというふうに私も思うのです。しかし、文化遺産として論理とか数学とかをきちんと習うわけですから、これを利用しない手はないですね。これらは理論的にはきっちりしていますから強力であることは確かであります。ですからこれを使わない手はない。しかし、これがすべてということではなくて、それを使って働かせて機能させようとしたら、どうしてもアナログ的側面を組み合わせないとうまく機能しないということだというふうに思うわけです。

**狩野** 今までの堂下先生のお話も上の方のいわばアナログ的な在り方でもって成り立っているものだ、というふうな極めて健全な理解になるかと考えております。とにかく、時間がお昼どきになりましたのでこれからほぼ1時半までの間休憩といたします。