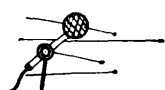


講演



基礎と応用（輪廻が技術革新）†

坂井利之††

1. 情報は何か基礎で何が応用か

基礎というものは、目的や仮説、条件を考えずに存在し得るものであろうか。また基礎というのは、相対的なものであって、何か他のものと対比して初めて論議し得るものであろうか。科学や技術の分野をしばしば樹枝状図で画くが、その時応用は枝である。応用はあくまで応用であって、枝が幹や根になることはないと考えてよいであろうか。

周知のように、木の枝が根となり、幹や枝を作り、花を咲かせる“挿し木”という技術がある。茎が地面につけば、根が出てまた個体を生成する植物も多い。

情報という学問や技術は、“挿し木”という技術加工を施さなくても、どのような応用の枝からでも、気根が出て地面に着地するバンヤンジュの樹のような性格があるように思う。

そもそも情報の本質は、30年ぐらいの歴史しかないコンピュータによって脚光を浴びてきたものであり、工業化で環境汚染に気が付いたのがたまたま最近であるのとよく似ているが、本当は根が深いのである。

かつて電子通信学会の用語委員会で、10数名の人々が集まった時、“情報”という定義では、一番紛糾し意見がまちまちになったのを記憶している¹⁾。今でもこの傾向は続いていると思う。

図-1は、昭和53年頃総合研究班で10名以上の大学教官や研究者が、何回か、また時間をかけて、ほぼ妥協点に達した情報工学の暫定的な3つの近未来の研究目標と、それに関連する関連分野を示したものである²⁾。矢印の源にある分野が基礎ということになる。パターン情報処理が個別分野（応用にあたる）の1つであって入出力装置や物理学、オートマトン理論などと階層が異なったり、関連の矢印がないのは、図をあまりにも複雑にしたいくないという意図もあるが、普通の常識では、このようなトリーが妥当なのである。

1.1 情報は人間に役立てるためにある

目的指向の考え方は、応用とか、システム工学の立場であって、システムの機能とかメカニズム、装置の性能などと呼ばれる。製品のライフサイクル、ニーズなどという言葉や、ソフトウェアにおける semantic gap などという言葉も、この立場から使う用語である。人間の要求、システムや機械の仕様記述とそれへの対応から生まれている。

材料の開発にしても、目的がありシステム仕様に合うように開発目標を定めるのはこの分類に入る。たとえば、レーザ発振器の周波数を光ファイバの減衰の少ない所に持っていくことなどはその典型例である。

一般にパターン認識と呼んで、装置やシステムを目的指向で計画し実行するものは、応用と呼ぶべきである。図-1からも分かるように、パターン情報処理は、知能情報システムのサブシステムとして分類されている。また、パターン認識システムは個別分野では、かなり複雑で総合されたシステム技術から成り立っていることが階層からも分かる。

1.2 情報は生存・移動のための根本条件である

動物や人間が生存し、環境に適応していくためには、単なるセンサレベルだけでなく、パターン認識機能は基本であり根本の条件である。胎児が体内で母親の声を認知し、生物が餌を得るための条件反射的な行動をし、身を護るための各種の感覚器官（触覚、聴覚、視覚）を備え、これと直結したパターン認識機能を具備している。最低限として、物理量、化学量、接触量の強弱を弁別し、運動・操作の方向を定めることが必要である。

人間が高度の知的活動をするための記憶や連想の自己組織化は、3才くらいまでの幼児期に完成するという。これなどは、言語による教育を実施できる以前の、本能的というか生態基礎条件というか、そのような性格のものである。

生物の感覚センサとしての触覚は、タッチにより情報を獲得し、聴覚は無指向性で、リモートセンシング

† 情報処理学会第23回通常総会特別講演（昭和57年5月19日）

†† 京都大学工学部情報工学教室

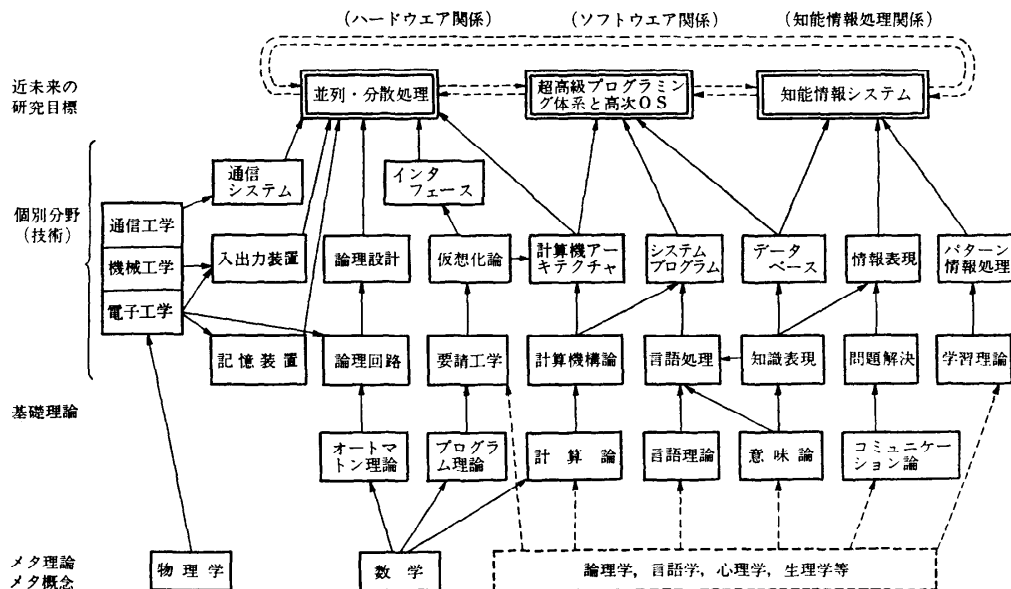


図-1 情報工学の研究目標と関連分野 (典型例)

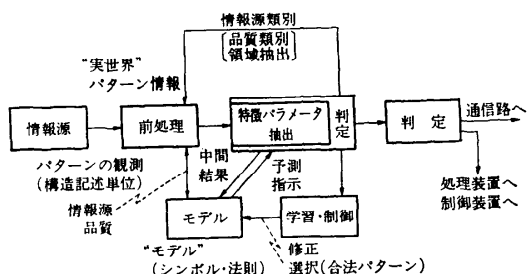


図-2 前処理におけるパターン理解

ができる。視覚は指向性があるリモートセンシングであって、その指向性はメカニカルな運動（神経）系によって成立している。

1.3 パターン認識は、生物生存からは基礎であり、

現在の電気通信系・情報処理系では応用に入れているが、果たしてこれは妥当であろうかここで私が主張したいことをいおう。パターン認識は応用であると現在思っている人が、あらゆる人工的システム形成の基礎であると疑わなくなった時に、情報工学はようやく確立し、人工の情報システムが一人前になった時である、といたいのである。

アメリカの学会で、人工知能 (Artificial Intelligence) とパターン認識 (Pattern Recognition) に関係し、それらの主要メンバとなっている学校、技術者

の分布を眺めるときわめて興味深い。情報の本質を追求する嫡子と庶子にも匹敵すると思われるくらいに歴然と区別がつく。

パターン認識やパターン理解、情報の伝送と蓄積をあまりにも特別に扱い、限られた環境条件、限られた目的だけにしぼっている間は応用研究であり、開発であるが、生物の感覚器官なみに対象世界や実世界を限定せず、図-2 に示すように伝送のための通信路とか処理装置、制御装置とかを意識せずに“実世界”のパターン情報を前処理で扱えるようになったら、それは基礎である。

パターン理解という研究は、パターン認識が、応用から回り回って基礎に認められるための一里塚である。

応用が基礎と目されるようになるくらいの進展や思想が、技術革新なのである。前処理とか、プレ・エディットなどといってそこが人に委ねられている間は、実はまだ砂上の楼閣を作っているのではないだろうか。そこで私は、“基礎と応用”という題目の副題として、応用-基礎-応用-基礎-という階層のループが象徴するように“輪廻”が“技術革新”のパロメータであるといいたかったのである。

2. 基礎と応用の観点いろいろ

2.1 システムの階層構造からの分類

自分（システムの着目点、対象）から見て応用と基礎を分けるのが常識であろう。ある人工的システムのエレメント（システムエレメント）には色々の階層がある。ハードウェアの論理パッケージ、ソフトウェアのパッケージやサブルーチンなどその規模にもよるが、また観点とシステム定義によって、ある時はエレメントになったり、ある時は目標とする総合システムになったりする。また図-1でのパターン情報処理のブロックのように、サブシステムとして、トータルシステムのエレメントであるとともに、サブシステムを形成するエレメントの総合システムの二重性格を持つことも多い。

2.2 仮定・条件設定の多寡とその強弱による分類

学問とか技術で、基礎的であるという時は、仮定とか条件がより少ないとか、その条件がより弱い時が多い。

数学、物理などで抽象的、論理的な理論とかモデルを設定する時には、この傾向は否めない。科学は、真理の探求という目的であり、技術は、さらにその上に人工機械やシステムを構成することにより、人間や社会に役立てようとする条件がさらに加わっている。

医学とか工学などで、総合的という聞こえは良いが、仮定とか条件が明確にできず、しかもそのエレメントの数も多く、構造や相互関連も不明な時は、基礎とはいわない。科学でも工学でも基礎という時は、抽象度が高くて定義が明確であるか、具体度が高くて実世界との対応がきわめて良好な場合が多い。

2.3 汎用と特殊

電気工学科においては、電気回路とか分布定数回路、半導体の等価回路などは、その分野での基礎という慣習になっている。マックスウェルの電磁方程式、波動方程式、量子力学の粒子論や波動論から、ある特殊目的の設計のためにはより易しく使い勝手の良い等価回路とかモデルを考えて、ここから出発する。この等価回路とかモデルが成り立つための条件とか環境を忘れたり、知らなかったり、意識の外に置いたりすると、間違いの原因になる。この条件・仮定をいつも正しく判断でき、適用限界を知った上で利用してこそ妥当な解が得られるのである。

アナログ計算機は、実世界の環境とか現象と独立でその実世界と対応し、記述する数学上の微分（積分）方程式が共通であるから、幾つかの実世界にも汎用的に利用できるのである。特殊回路の基礎は、その条件・仮定が満たされなくなった時は、もはや基礎としての資格を失って、より階層的に基礎の段階にまで掘

り下げて、応用問題として目標を設定し処理されなければならない。

近年情報の問題で重視されるモデルという概念（図-2にその言葉がある）、さらには、virtual（仮想化という言葉で図-1にある）という超物理的な論理（思想）の体系モデルは、注目され追求されなければならないテーマであろう。

3. 情報における基礎と応用

生物においては、外界のデータを獲得し、これを自己の生存、運動の情報として適応的に活用する機能は、個体保持の上で瞬時ともゆるがせにできない。このようなパターンの認識や弁別を、細胞、神経繊維、器官、脳などの個体トータルシステムで実行する場合もあるが、細胞機能だけで、或種の役割を果たすものも知られている。

生物における細胞自体でも、その機能の改良（分裂、分泌能力など）によって、目標システム、目的物作成が容易になり効率が増える時は応用研究になるし、その反対に、複合的なセンサと処理機能を一体化した前処理用 LSI エレメントは、単体であっても総合的な判断、制御、処理機能を持ち、環境に条件反射的に適応し、行動する基礎ユニットになる。（図 5 はこのような基礎ユニットの処理例である）

前置装置と呼ばれるものには、電気回路では周波数フィルタ（物理量による選択）、AGC（物理量による制御であって、受動的、能動的、あるいはフィードバック付であるか否かの別は存在するか）などがある。これらに共通していえることは、入力情報と出力情報の量とその時系列（質）については対応関係は連続的であり、良い写像関係が存在することである。

この選択動作や制御動作を、そのフィルタを通る情報、そのフィルタを包む外界環境の内容に適応して、入力と出力関係の選択とか対応制御を行うものが情報フィルタであり、ロボティックスの前処理である。これについては後述する。

したがって、データや情報の流れのきわめて前段階にありながら、なお、かなりの判断や処理をシステムの仕様に従って実行するので、このようなものは基礎であるといいたいのである。

つまり汎用性があり、情報の流れの中では前段階に位し、しかも後段階からのフィードバック指令や、入力となる情報・外界に適応し、しかもそれらを学習したり、先験的知識によっても適応的に動作が変更でき

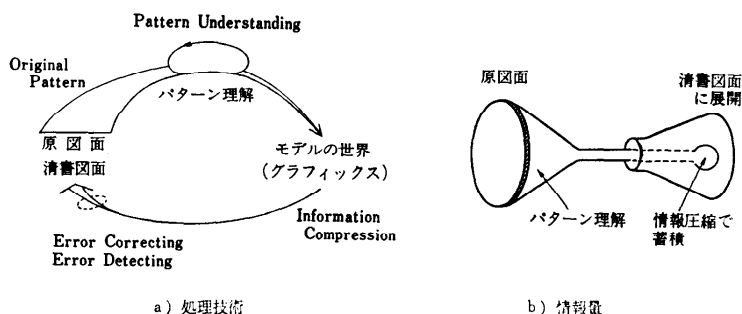


図-3 実世界とモデルとの図面における対応

るのが知能フィルタや知能センサである。

複合的、総合的で、データや情報の流れの順・逆方向、それを包む外界環境からのあらゆる情報にも対応できる、生物生存の条件にも匹敵するロボティクスの前処理であれば、これは応用システムが基礎に入り込んでいるといえよう。このような大きい逆転、つまりどう考えても複雑な応用が、逆転して基礎になると、そこに展開される世界は根本的に異質のものに向上し、これが技術革新である。生物では進化と呼ばれるものに対応するだろう。

情報の世界は計算機と通信との単純な論理和ではないことは、私は昔から主張し、それに対する証明をしようとしてきたのであるが、真の情報工学は、科学にも哲学にもつながるのではないかとさえ、近頃考えるようになってきた。その根拠にもなるような幾つかの例を示したいと思う。

3.1 物理量、微分方程式表現から脱皮し、情報をモデル・構造で表現・記述させる

近代科学は、哲学とか日常で使用される用語を排除し、厳密に定義され規定される術語のみの上で理論を構築し、そして、実験科学では、それらの抽象世界での理論の展開と実世界との対応の良否、忠実さによって理論の妥当性を評価してきた。

ところが情報が対象となると、社会科学的な相互作用があり、用時間的に相乗効果を持って展開するものが、論議の対象となるので、哲学や心理で用いられる認識とか理解というような言葉がアナログ的に使われ出した。人間とか動物の世界と人工システムとのアナログである。

このように複雑なものになると、もう微分方程式とか積分方程式の解のように、時間的情報量が零に近いものでは駄目で、時間的に変化し続ける情報を追跡し

記述することができるモデルという概念やブロック図で、多数のエレメントとそれらの相互関係を、空間的、時間的に記述する方法へと進展してきた。

電気通信においても、物理量の大きさである S/N 、Noise Figure などから、AEN などという情報内容を物理量に換算したものに脱皮していたのである。

最も積極的には、知識と物理量との相互関係、知識と処理量との相互関係が論議され、 S/N 比とのトレードオフ、処理量の圧縮、選択範囲の限定化などにつながるパターン理解、人工知能へと進展している³⁾。

これらの研究開発の外に、あるいはその上に、情報内容により上述の各種項目を実現する LSI エレメントを、システムの基礎、情報の流れのより源である情報源の近くに導入しようとする1つの試みが、知能センサであり情報フィルタなのである。

情報フィルタでは、画像イメージの面識別センサ、音声では人間の音声とパルス性雑音などを識別し除去する音声情報フィルタなどの実現の可能性が強まっている。

3.2 物理法則の上にさらに情報生成(器具)の法則があるか

応用技術としてのパターン理解が、情報の流れの前処理の段階に入ると、基礎技術となることを述べた。知能センサや情報フィルタが、在来の通信技術、情報処理技術を革新的に変革し得る可能性があることも、実証されつつある。ここでは、幾何学的表現としての点、線、面の座標軸上での位置表現・“直線を引く”“直交させる”、“分岐させる”、“線分の上の点”、などという述語で表現された、いわば最も情報の圧縮された表現を、コンピュータグラフィックス表現と呼ぼう。(図-3 参照)

在来の画像としての手書きの原図面、などをパター

ン理解させることによって、グラフィックス表現に必要なグラフィック記号、述語、制御記号などを抽出する。すなわち、実世界を理解させてモデルの世界（グラフィックス）に変換させる。さらにもし可能ならば、これら線図形、濃淡図形などを数学における近似と同じように、限られたシンボル（実世界では図形の単位）で表現することができ、しかもこれを展開して図形として表現した近似図面が、実世界の原図面と必要な精度において十分であれば、それを清書図面と呼ぶことができよう。

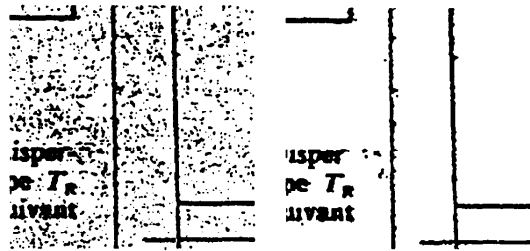
これはあたかも、組織符号において、エラー検出のため冗長性の付与を行っているのと同様に、実世界において可能なパターンから、シンボルへの変換過程を著しく制限する法則になっている。error detecting (correcting) code のパターン情報版が成立し得る。人間の作成している文書、人間の作成した文字や図面は、この範疇に入るものと考えて、差支えなさそうである。図-4 に、その簡単な処理例を示す。

『情報の世界においては、物理法則の上に、さらに情報生成器具の法則、情報生成の法則が存在している』という仮説を設け、これを実証できるケースを探求するテーマがあると信じるのである。

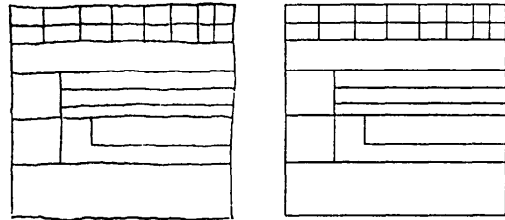
3.3 新しい環境——先端技術環境とは何か

(i) パターン認識やパターン理解が、情報の伝送や処理の前の段階に入り、しかもタスクの制限の少ない多様な入力パターンに対してと同様、その環境や雑音に対しても適応的である時を、ロボティックス的前処理と呼んだ。これは電気通信のための伝送にも、また情報処理や制御のための前処理や分類判断にもなる。この場合応用が基礎に転じている理由は、次の通りである。

①入力パターンの線図形に対して制限がないこと。
②世界の实在としてのパターンの存在する紙の質や地色、裏地のすかしや雑音などにも無関係であること。
③パターン理解の単位が物理量の強度などの大きさでなく、 3×3 メッシュの面構造であること³⁾。
④ AD 変換が実時間で行われるだけでなく、その2値化のしきい値の制御が適応的であり、誤り訂正符号の概念をも導入できること。
⑤さらには、線の太さと観測単位メッシュ（構造記述単位、モデルのシンボル：図-2 参照）との間に、1つだけ、メッシュサイズが小さいという仮定をおくだけで、“合法パターン”という制限、さらに合法パターンの相互的空間的配列について“線図形”という正規表現で記述できる制約まで入っ



(a) 左側は青焼コピーの原図、右側は線図形の知識（法則）による清書結果



(b) 左側は鉛筆の手書きによる原図、右側は計算機による理解とグラフィックス的整形結果

図-4 線図形文書の雑音除去、清書例



図-5 貼合せ原稿の処理例

て、誤り訂正ができること。などの法則が成立する。これらの詳細については文献 3) に譲るとしてその処理の実例が 図-4 (a) の写真であり、ロボティックスの前処理の例が 図-5 の写真である。これは手書き文

字、青焼きコピー、新聞紙面、カラー写真を一枚の紙の上に貼合せ、それを同一の前処理装置でリアルタイムに適応的に処理させたものである。

(ii) 並列処理のアルゴリズム、人工システムのサブシステムや各種ブロック間のインタフェースなどは、個別で、限られた場面では、議論されているけれども、まだ基礎的な思想や理論にはなっていない。

たとえば、文書(文字、図面、グラフ、写真などを含む)を並列処理のためメッシュに分割する。これら機械的分割から、さらにパターン内容によって連合、結合、分割、修正などを適応的に行う知能処理は、並列アルゴリズム開発の基本的例題であり、基礎に転化し得る適例であろう。

図-1 に示した、近未来の研究目標の階層で、高位の個別分野の処理システムが、前述来のパターン情報処理の例のように、ロボティックス的前処理として、

システム仕様記述、システム設計、ハードウェアの中に入り込んできて、これらが基礎として研究者、技術者の中に浸透するように努力することが肝要である。

このような傾向が定着した時は、情報工学がコンピュータと電気通信との論理和として見られる時代から脱皮して、人間や動物における思想、生存のメカニズムにやや近づいてくる。この輪廻が技術革新の時代の幕開けではないかと思う。

参 考 文 献

- 1) 電子通信学会：通信理論専門用語集。(1973.3)
- 2) 総合研究報告：情報工学の学問体系のあり方に関する研究、文部省科研費報告(代表者 田中幸吉) p. 22 (昭和 54.3)。
- 3) 坂井利之：情報基礎学—通信と処理の基礎工学，コロナ社，p. 14，p. 31，p. 275 (昭和 57. 2)。