

「21世紀IT社会の健全な発展に向けて」

～自然科学と人文科学による共創を～

公開シンポジウム

5月9日(水) 13:30~17:00、経団連ホール
主催：電子情報通信学会 共催：情報処理学会、電気学会

我々は21世紀をIT（情報通信技術）革命とともに迎えた。ITをリードする電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会の3学会では、ITと社会システムの健全で節度ある融合を目指し、人文・社会科学などの様々な分野と科学技術の交流促進を図っていくべきものと考え、“21世紀IT社会の健全な発展に向けて”政府へ提言を行った。

今回はそこで主張している“交流と共創の場”の第1ステップとして公開シンポジウムを企画した。基調講演では「ITを突破口とする21世紀技術文明」を石井威望氏に、後半では「自然科学と人文科学による共創を目指して」と題して、宮内淑子氏をオーガナイザに、また、公文俊平氏、関口和一氏、辻井重男氏、原島博氏、宮崎緑氏をパネリストに迎えて、健全なIT社会へ向けてその課題の検証と解決について、パネル討論を行った。

基調講演

ITを突破口とする21世紀技術文明

石井 威望

石井でございます。今日は基調講演ということで、後である具体的ないろいろなお話のバックグラウンドになるようなことをお話し申し上げたいと思います。

1. 21世紀はバイオの世紀

21世紀はバイオの世紀だといわれております。それを裏付けるかのごとく、昨年6月にヒトゲノムの全解読ができたという発表がホワイトハウスでなされました。予想ではもっと長くかかるだろうと思われていたのですが、予想をどんどん短縮しました。方法的にも従来のバイオテクノロジーを超えた新しい分野が開けたと

いうふうに申し上げていいと思います。

ヒトゲノムそれ自体の成果をもう少し違う見方で見ますと、最近「iバイオテクノロジー」などといわれていますが、「i」というのはiモードなんかの「i」ですが、従来の主としてケミカルもしくはバイオケミカルなプロセスでのDNAの塩基対の分析を、もっと本格的にITを活用するということがブレイクスルーできたということです。「本格的に」という意味は二つございまして、一つは従来のプロセスに情報処理とかメモリとか通信ネットワークとかのITを用いて解読を大幅に効率化したということです。もう一つは、同じものでも結果を視

覚化（ビジュアライゼーション）したということ、非常に複雑な分子が見えるということがあります。何といても第2の方が大事でございまして、今日はそちらの方を中心にお話しします。1990年代の終りころになりまして、いわゆるナノテクノロジーという分野、非常に微細なところがビジュアライゼーションで見えるということで、DNA自身の構造も見るできるようになりました。これは、従来の単にケミカルなプロセスとは違う本格的なITの影響という根本的な問題点が出てきたことを意味します。

2. フラクタルの世紀へ

少し抽象的になるかと思いますが、チューリング由来のオートマトンモデルみたいなもので遺伝情報の分子構造へのメモリの仕方が分かったとか、増殖過程についてノイマンのセルオートマトンみたいな生物本来の持っている機能のモデル化ができたとか、デジタル情報の通信とか情報処理を扱う場合のシャノンのモデルの適用とか、それらが一体となった点が一つの特徴です。そしてもう一つはフラクタル概念です。生物の体というのは本来非常に従来の見慣れた形よりは特殊な、少なくとも工学的な立場から見て特殊な構造をしています。例えば、DNAは一つ一つの細胞に全部入っているわけでありまして、これは情報として余りにも莫大な量があるということですが、これは現代の私たちが見て思うだけで、本来そういうのが生物です。生物は更に細胞になったり、その上のオルガンができたり、また更にその上というふうに多重的な構造になっております。

形態につきましても、これを電子顕微鏡で拡大して見ていきますと、拡大度を上げるごとに常にぎざぎざの複雑な形が出てくるわけで、つるつとした単純な形はなかなか出てきません。いわゆるフラクタルの次元が整数ではなくて1.3とか2.なんぼとかになっています。そういうところでの新しいタイプの形態学というのが、実は主としてITの計算能力のアップとかディスプレイ能力のアップということがあって初めて取り扱うことができるようになってきたわけです。更に、そういう概念が浸透したということも重要でして、我々がそういうモデルで考えるようになったというのが大きな変化なのです。これを歴史の例で申し上げますと、ガリレオが天体を観察し、月の表面をスケッチして、月の山の影が地球上の山と同じように太陽との位置関係で変わっていくということを見せました。それが今やだれでも望遠鏡で見えるわけで、そういう状況になりますと人々の間では従来の天動説から地動説に対して直感的にコンバージョンつまり転向が起るわけです。

現在、私たちはDNAやヒトゲノムを当たり前を考え、



医学にしる生物学にしる、これを抜きにしては考えられないという状況になっています。既にそのぐらいのコンバージョンが起っているのです。

これがどういうふうに21世紀に影響していくかを考えますと、一言で言えば、バイオからの発想になるだろうということは明らかです。ちなみに20世紀は物理学の時代だったといわれています。物理というのは主として無生物を扱い、生命現象を含まないというのが古典的な原則ですが、両者が全く無関係ということではありません。生物という場合にも物理的な法則なりケミカルな部分が入っています。特に、幾何学が変るときに人類の科学技術の歴史が変わるといわれていますが、フラクタル幾何学は、特別な整数次元のところではユークリッド幾何学ですから、部分的にはユークリッド幾何学を含んでいるわけです。従来の近代化の過程では、少数以下の次元のところは切り落としていたというか、そんな図形は描けといわれてもなかなか描けなかったのです。今やパソコンを買ってくればソフトがサポートしてくれますから、文系の学生でもフラクタル図形が描けるし、それを眺めることによって人々はフラクタルという幾何学の世界を具体的に知ることができるわけです。ちょうど望遠鏡でガリレオが見たというのと同じことが起っているわけです。

これに対しまして、物理学での「くりこみ」理論という、ノーベル賞をもらった朝永先生らがやられた仕事がありますが、これは電磁気学、電磁場の量子化のときの問題を解決したという仕事です。これと今のフラクタルを比べてみますと、フラクタルでもスケールの倍率をどんどん上げたりしましても自己相似性を持っていて同じ図形が出てくるという、変換に関して不変であるという意味で論理的には物理の世界でのくりこみと同じといえます。フラクタルという幾何学的概念が21世紀には一般化されて物理学をはじめ広く適用されるというふうに申し上げていいと思います。

3. マクロからミクロへ

クリントン大統領も例のホワイトハウスでのヒトゲノム計画成功発表のときに言っていましたけれども、人類は大航海時代と同じように新しいアトラスを手に入れたのです。コスモスというと、普通は大きな宇宙を考えますが、一方ではミクロのコスモス、人体とか生物体の内部をミクロコスモスといいます。生命の遺伝という、暗号みたいなメカニズムですが、ミクロのコスモスの全貌が分かったということは、ちょうど地球上でのマップが全部分かっていく過程と似ているわけです。

先ほど幾何学が変るときに考え方が非常に変ると申し上げました。幾何学はジオメトリー (geometry) でございますから、「geo-」という土地、大地という概念がまずございます。ジオグラフィー (geography) が地理だったり、ゲオポリティクス (geopolitics) が地政学であったり、いろいろアトラスの地球の表面に関する一つの学問の群がございます。もう一つは、アストロノミー (astronomy) が天文学、アストロノーティックス (astronautics) が宇宙旅行、のような「astro-」のスケールのところがマクロコスモスであり、私たちの科学のベースになっているわけです。

これに対しましてミクロコスモスの方は、結局「アトラスに対応するのは何か」という問題になります。私も医学部におりましたが、医学部の学生は一番初めに解剖学を習うのですが、解剖学のアトラスというのは人体の解剖図です。「バイオの時代」では、ミクロコスモスの世界において、「生命が微小な部分に宿る」ということわざがございますが、微小なところをどんどん拡大して見ていきます。この観点をミクロスコピック (microscopic) と言いますが、SEM (スキャンニング・エレクトロン・マイクロスコプ、走査形電子顕微鏡) を使ってどんどん拡大してミクロを見ていくとき、人はそのスコープの中で見える範囲で物事を考えるわけです。人の考えは見えるものに大きく影響を受けるわけですから、このようにミクロが見えるようになりますと、人体の中でのケミカルな動きが本当に説得力を持って、ガリレオの天体望遠鏡の観察と同じように人々の思考に圧倒的な物質的基礎を与えるわけです。

これがもっと進みまして、スキャンニング・トンネリング・マイクロスコプ (STM) を使えば、文字どおりナノメートルの世界が見えます。これを実際に見せられるとだれでもショックを受けまして、非常に大きな一種のコンバージョン、考え方の変換が起るわけです。こういうナノメートルの世界、10のマイナス9乗メートルの世界に入っていくということの本質的な意味という

のは非常に大きいのです。

炭素が並んでいる表面をナノメートルオーダーのSTMで見ますと実際に炭素の結合状態を映像で見ることができ、DNAも同じでありまして、確かに二重らせんが巻いているのが見えます。ごく最近ではもっと拡大して中の塩基対の状況まで見えてきているようです。

第1回のノーベル物理学賞をもらったのはレントゲンですが、X線を発見した人です。X線によって人類が初めて生きている人の透視図を見たということで大変センセーショナルだったのです。彼は、夫人の手に指輪がはまっているところをフィルムに撮ったのですが、人類は、生きている自分の内部が見えるようになったのです。これで恐らく20世紀はずいぶん変わったと思います。社会的にも人間に対する考え方が変わりました。

同じように、物理的あるいは生物的にも大きな変化が起りました。X線回折で分子の構造が見えるようになったので、DNAの分子構造も分かったわけです。これで、DNAの二重らせん構造を発見しワトソンとクリックがノーベル賞をもらい、分子生物学がスタートしたというわけです。

最近はずっと複雑なたん白質の問題がございまして、たん白分子が回転していることまで視覚化されております。地球上に2番目に多いたん白質といわれているATP合成酵素が回転をしているということを知りただけでもかなり興味深いのですが、更に、実際にビデオで回転運動を見せられると気分が悪くなるくらいのショックを受けるわけでありまして。

ですから、人文科学と自然科学は非常に離れているという見方がありますが、映像などのインパクトというのは結構みんな同じでありまして、先ほどのガリレオ以来のコンバージョンが起るのではないかと気がします。

先ほどのナノワールドに話を戻します。例えば工学部の教育でいいとしても、ナノワールドに入る前はすべて古典的な物理学を基礎としているわけですが、ナノワールドに入りますと途端に全部量子力学になってしまいます。そうすると従来の基礎になっている力学がシフトします。「モノづくり」における「モノ」というのはメートル、ミリ、ミクロンという全部「M」の世界だったのですが、「ナノ」になりますとこれは「N」の世界になっていくわけで、私はこれを「ナノづくり」、「ナノ仕込み」といっています。「作る」というのは何かアーティフィシャルに作るという感じがありますが、バイオになってきますと仕込んでおいて醸造みたいに増殖してくるイメージですから、21世紀には「仕込み」という生物的、増殖的なプロセスを考えることになるだろうと思います。



4. これからのバイオ

DNAの遺伝情報はゲノムがわかってしまったから、もうおしまいかという議論も聞いたりしますが、これは間違いであります。バイオはここから始まるわけではなく、ゲノムという情報は一種の青写真ですから、それからたんぱく質を作るという段階に入っていきます。たんぱく質の分子量は膨大ですから、分子式などの記号表現では書けないのですが、そのときの武器は明らかにITです。ITを駆使して立体構造を全部グラフィックスにして自由に回転・拡大して見たり操作できるわけです。ですから、「バイオの時代だ」というと、何かただムード的にそういっているという感じを持たれるかもしれませんが、そうではなくて、今進んでいるIT活用型研究手法によって、かなりはっきりと生命のプロセスについて新しい知見が蓄積されてきているのです。

最近注目を集めているミトコンドリアは細胞の中の発電所といわれておりまして、エネルギーが出てくる場所です。べん毛運動などのエネルギーもそうですし、トンボの羽が動くのもトンボの羽の根本にある筋肉細胞にミトコンドリアがびっしり詰まっています。エネルギーを供給しているからです。どういうふうにエネルギーが出てくるかというのも、最近非常に細かく分かってきました。どういう酵素系があって、どういう情報伝達系があって、電子がどういうふうに動いているということまで分かっています。この辺は、かつて顕微鏡でただ見ていた、あるいは全体を統計的に処理していた時代とは全く違っていて、それができていくプロセスが自己組織的で自己集積的であることがわかってきているのが、ケミカルアプ

ローチの最前線でございます。

次に、負のエントロピーの話です。生命現象は、どんどん組織ができていきますから、物理学の第2法則のエントロピーが増大していくというのと逆でございます。シュレーディンガーが生命の分野を物理学として開拓し始めたときに、負のエントロピーの話をしておりませんが、20世紀の終りころになりまして、プリゴジンが不可逆的な時間の問題を取り扱ってノーベル賞をもらっています。いわゆる自己組織化を基礎にした、バイオの世紀らしい情報概念という手掛かりができてくるわけです。

もう一つは、ディラックの仕事です。この人は御承知のように相対論を量子力学と結合した人ですが、従来の真空の中の電子の振舞いを陽電子と共存させて説明することで、真空中にもエネルギーがあるということ、しかも「負のエネルギー」というものがあることを彼は発見しています。もっと一般的には反粒子という概念があります。こういう研究が出てきますと、バーチャルとリアルの関係が問題になり、相当基本的な物理の原理についての議論が連想されてきます。

これは複素数が登場してきたときに似ております。複素数は複素平面上では1点ですが、一つの実態がいろいろ運動することを二つの方向から見ると二つの実体があるふうに見えるのだというように視点が転換するので、つまり、バーチャルとリアルというのは実数座標軸と虚数座標軸みたいな関係になっているということです。これが場と量子という20世紀の科学者たちをずいぶん悩ました問題なのですが、実は一つの非常に大きな新しい実りつまり関係性（相互作用）の重視をもたらしており、そこを出発点として考えていくのが現在重要な

指導概念になってきたわけです。

5. これからの IT

以上のように私の見方で言いますと IT は、ちょうど虚数のようなバーチャルな補助的便宜的部分として登場してきましたが、陽電子みみたいな本来電子の陰に隠れていて存在しないと考えられていたものと同様に、新しい指導概念の確立によって、IT が非常に実体感を持ってリアル化されてきているのです。また、相互作用自体が IT によって強く増幅されまして実在感が一層増してまいります。つまり、複素数における実数と虚数の関係というような意味での関係性が、IT によって実在感を増すというわけで、その相互依存の強い複雑系の自己触媒的なシステムの構造原理になっているということです。この原理は複雑系システム論はもちろん物理学のようないろいろな分野で有用となり、生物の分野ではそれを抜きにした従来のツールだけでは難しいというぐらい有力化しています。

一方、進化の過程でできてしまったバリアの問題があります。ここではヒューマンインタフェースを取り上げますが、これが IT との間の一種のバリアになっております。特にコンピュータを例にとりて考えてみますと、私が大学院のころやっていたコンピュータはタイプライターで IO をやっていたわけですから、バリアとしてはものすごかったわけです。それがだんだんプロットが出てきたり、あるいは CRT になったり、最近では液晶になったり、持って歩けるようになったり、そういうような意味のバリアが低くなってきております。

現在、情報に関して IT が明らかに作り出しております突破口の一つはバーチャルリアリティであります。最近再びリアルが一番良いとの考えから、リアルにバーチャルなものがスーパーインポーズして一緒にいる「補強された現実」(AR)、あるいはそれらが完全にミックスしてしまっている「ミックスドリアリティ」(MR)、といったものにどんどん進んでいっております。それから、ディスプレイにしても、例えば時計は昔は独りでじっとして見るためのものだけでなく、教会の時計のように動きながらでもどこからでも見られるでっかいのを作っていました。今や小さな時計になってみんなが持って歩けるというふうになっています。歴史からいくと、現在はモバイル、その次はウェアラブルで体に着るといった方向の変化が考えられます。もっとどきどきするような話は、網膜に直接レーザー光線を入れて、そこに書いてし

まおうというようなことを本当に実験している人がいるのです。やってもらうのはちょっと怖いような気がしますが、実際よく見えるようであります。もっとすごいのは、脳の中に電極を入れまして、そこに直接刺激を入れてやるという実験もなされております。

ですから、ヒューマンバリアというのは、方向としては IT が直結的にどんどんそれをなくしていつていくということです。更にウェアラブルといいましても普通は洋服みたいに考えますが、バイオの時代らしく ES 細胞(エンブリオニックシステムセル)を使うシナリオもありまして、皮膚なんかも今やバイオで作れるのです。作るといっても自分の皮膚なのでして、自分の ES 細胞から作られます。自分の皮膚をバイオで増殖させ移植するというような方向に進んでおりまして、そこにセンサを埋め込んで洋服の代りに作ってしまったらどうかというような提案さえそのうちになされるのではないかと思います。そんなバイオウェアラブルの研究も進んでいます。

いずれにせよ、IT はバリアの突破口を広げる方向へ進んでいくと思います。

6. おわりに

最後に結論としまして、諸科学が IT によって相互のバリアがブレイクスルーされていくということを申し上げます。

今日、お話しした内容はそもそも物理学か生物学がよく分かりません。それは全部バリアをブレイクスルーしたためです。ナノテクでも DNA ナノテクノロジーなんていう言葉もありますように、あるいは i バイオテクノロジーという言葉もありますように、その辺の考え方が今急速に変わってきております。ですから、これらのブレイクスルーによって生まれた新しい領域を、複雑系を中心にした見方で展望し、IT による活発な相互作用を期待して、「共創」という言葉が使われたのだらうと私なりに解釈しております。

以上、次のパネルでもっと詳しくお話があるはずなので、その前座と致しましてお話致しました。どうも御清聴ありがとうございました。(拍手)



石井 威望

1930 年生まれ。東京大学医学部卒業、その後、工学部卒業。二つの学部を卒業し大学院は工学部機械工学科という異色の経歴。東京大学名誉教授、工博。専門はシステム工学とマルチメディアだが、IT やバイオテクノロジーをはじめとした先端技術に関する幅広い研究を行っている。