本田財団レポート　No. 132

「生命王国と物質帝国の交易」

～革新的科学技術の展開に向けて～

東京大学名誉教授
独立行政法人 理化学研究所研究顧問

和　田　昭　允

財団法人 本田財団

講師略歴



和　田　昭　允（わだ　あきよし）

東京大学名誉教授
独立行政法人 理化学研究所研究顧問

《略　　歴》

１９２９年	東京都生まれ
１９５２年	東京大学理学部化学科卒業
１９５４年	ハーバード大学博士研究員
１９５６年	お茶の水女子大学理学部化学科助教授
１９７１年	東京大学理学部物理学科教授
１９８９年	東京大学理学部部長
〃	Human Frontier Science Program 国際科学者委員会委員
１９９０年	東京大学名誉教授
１９９７年	日本学術会議第４部長
１９９８年	理化学研究所ゲノム科学総合研究センター所長
２００４年	はまぎんこども宇宙科学館館長
２００８年	横浜サイエンスフロンティア高校常任スーパーアドバイザー

《主な受賞歴》

１９５６年	ΣΞ Award, Harvard Chapter, USA
１９６１年	進歩賞　日本化学会
１９９５年	高分子科学功績賞　高分子学会
１９９５年	紫綬褒章
２００２年	勲二等瑞宝章
２００３年	横浜文化賞

《主な著書》

１９６６年	『生体高分子』岩波書店
１９８７年	『Automated High-speed DNA sequencing.』Nature 325, 771-772
２００５年	『物理学は越境する ― ゲノムへの道』岩波書店
２００８年	『生命とは？物質か！― サイエンスを知れば百考して危うからず』オーム社

ほか多数

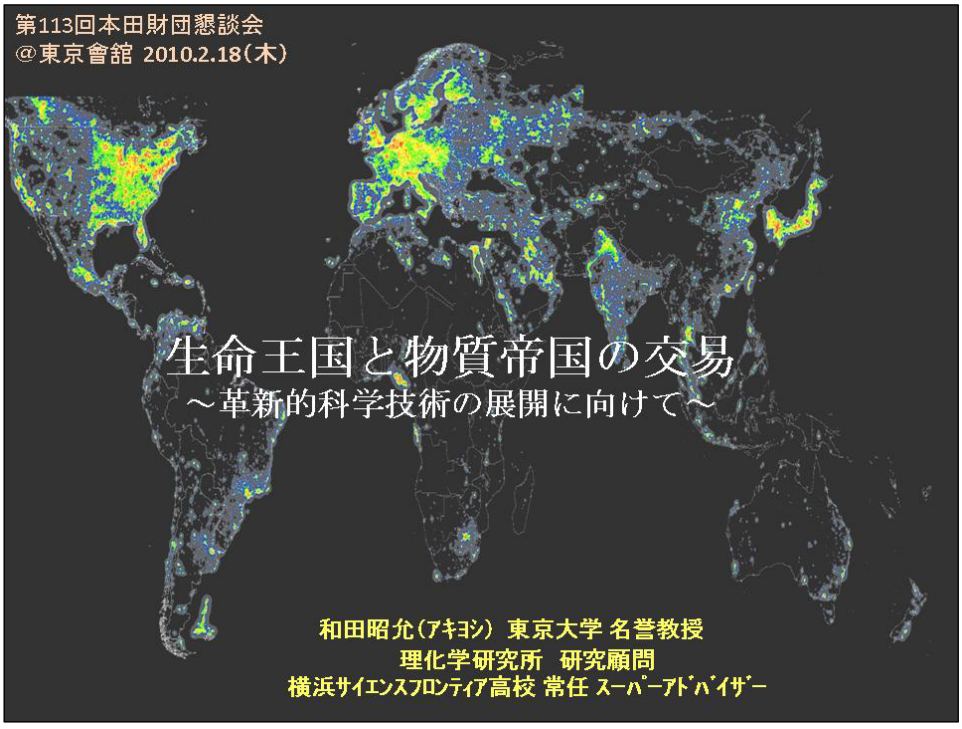
このレポートは平成 22 年 2 月 18 日東京會舘において行われた第 113 回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

和田でございます。過分なご紹介ありがとうございました。大変立派な会に呼んでいただき本当に光栄でございます。名簿を見ましたら、昔から存じ上げている方が大勢いらっしゃるので、これも大変うれしく思いました。早速講演に移らせていただきます。

「生命王国と物質帝国の交易」の表題ですが、これには理由がございます。物質帝国を支配しているのは物理学、化学です。なぜ帝国とつけたかと言うと、いろいろ厳しい規則がありまして、それから一歩も外れられない。怖い宰相が見張っていて、物理法則から外れると「間違っている」とすぐ怒られてしまうということで、物質帝国としました。生命王国の方は、もうちょっとルーズでありまして、何が何だか判らないことがいっぱいあって、はなはだ牧歌的で王国的であるとの理由で表題にしたわけです。

ノーベル賞をもらわれた野依さんがこれを聞かれてすっかり喜ばれまして、「ただ、和田さん、これには化学が入っていない。化学は自分がつけてやろう」と言われ、化学連邦共和国と名付けられました。ありがたいことにこの物質帝国、生命王国、化学連邦共和国を方々でおっしゃっていただいています。

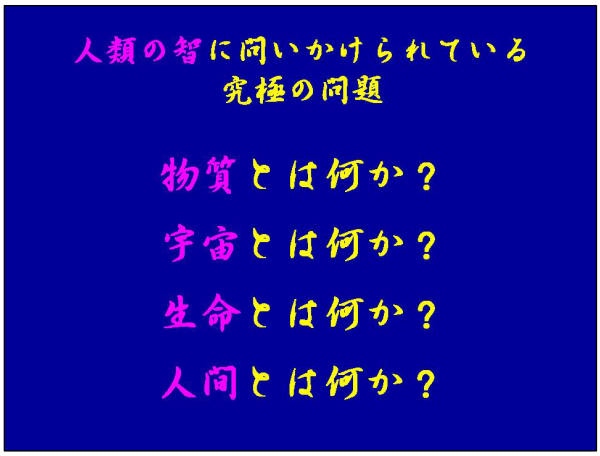
今日は NHK ラジオの収録があるので、図の説明が少しくどくなるかもしれませんが、その点、お許し下さい。



図－1

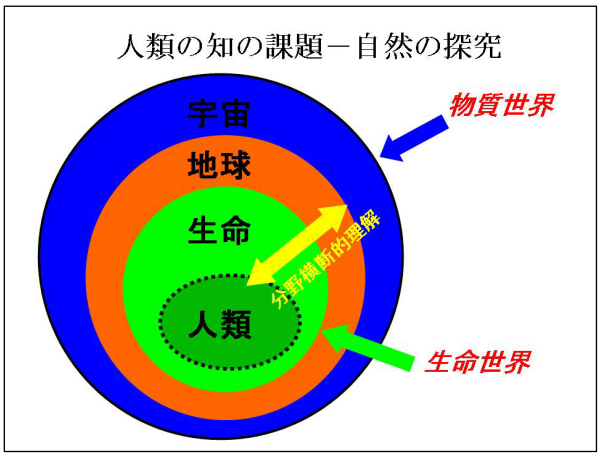
〈図－１〉　このタイトルページの背景は、宇宙衛星から見た夜の地球であります。ご覧のようにアメリカの東海岸、ヨーロッパ、日本が光っています。これを見ますと、まさに日本が三極の一つとして輝いていることがはっきりします。

サイエンスの基本



図－2

〈図－２〉　私はサイエンスの一番基本には、人類の智に問いかけられている究極の問題があると思います。それは物質とは何か？宇宙とは何か？生命とは何か？人間とは何か？です。この全体を俯瞰しないと本当のことは解らない。言い換えればこのどれかだけに焦点を絞りすぎると、ほかが見えなくなる。やはり宇宙、物質、生命、人間を全部ひっくるめて理解を深めなくてはならない。人為的な境界を取り払って自然界を一体としてみる――これはサイエンスでの一番基本の考えだと思っております。

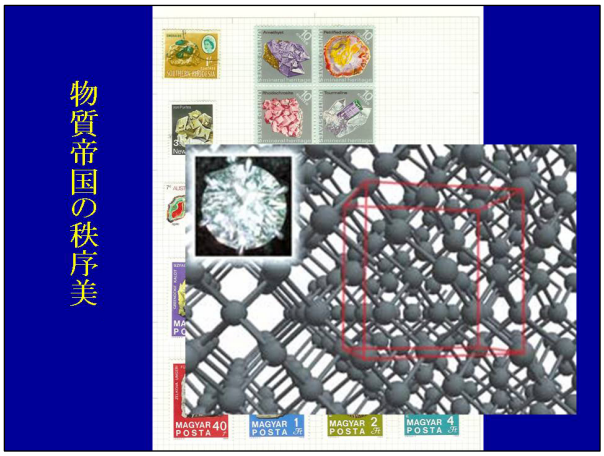


図－3

〈図－３〉　その四つは宇宙、地球、生命、人類が入れ子になっています。一番大きなのは宇宙全体で物質世界、その物質世界の中に生命世界、そのまた中に人類が入っている。これを横断的に理解しなければ本当のことはわからないのです。

私の専門は物理と生命の境界であります。人類の方はあまり知りませんけれども、今や脳の科学が大いに発達して、生命の中でなぜ人類が特別か？に答える学問も大いに進んでいます。理化学研究所にも脳科学研究センターなどがございますし、多くの優れた方が人間とは何か？を研究しておられます。

さまざまな秩序美



図－4

〈図－４〉　ここで皆さん一つの考え方を頭に置いてください。世の中のいろいろな構造や機能を「秩序」の観点から見る。秩序とは別の言葉で言うと、何か意味を持っているかたち。一方、無秩序は何が何だか判らない、定まらないものです。物質帝国の秩序美は、結晶に代表されるように、原子や分子の繰り返し構造です。ですから、物質帝国の秩序美の主なものは繰り返しの秩序（周期性秩序）であります。たとえばダイヤモンドの中では、炭素がきちんと並んで繰り返しの秩序「ダイヤモンド格子」を作っています。



図－5

〈図－５〉　一方、生命王国の秩序美はチョウチョとか花で、まったく別の対称性を持っている。これも一つの秩序でありますが、決して繰り返しではない。しかし無秩序とは違います。繰り返しのない秩序なのです。人が書く文章、この建物、我々の周辺にある多くのものが繰り返しのない秩序（非周期性秩序）を持っています。



図－6

〈図－６〉　動物のほとんどは面対称の秩序を持っていますが、花は回転対称です。いずれにせよ、生命王国のメンバーは素晴らしく美しい秩序を持っています。



図－7

〈図－７〉　生命の秩序美というものがどうして出てきたのでしょうか。時間経過を言いますと、ほぼ 40 億年ぐらい前に地球上に、何かの理由で「自分と似たものをつくり出す自己複製系」が発生しました。それが進化の系統樹をずっと辿って今日に至った。多くの種が途中で消えてしまいましたが、今 40 億年育った生命の系統樹の梢に我々がいるわけであります。

生命が不思議で、物質界の中で特区をつくっているのは、一口に言えば生命の歴史性であります。40 億年の歴史――これは半端ではございません。



図－8



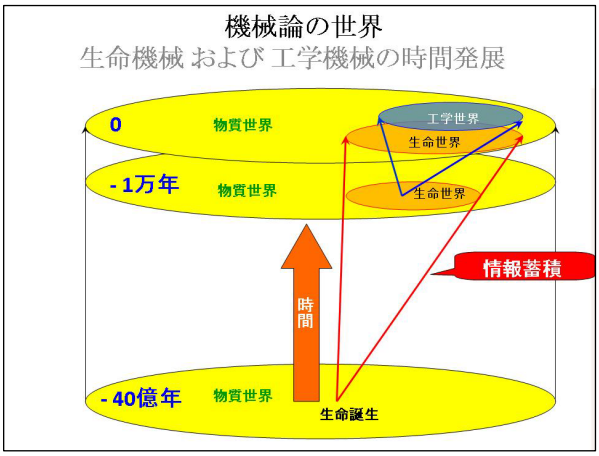
図－9

〈図－８〉〈図－９〉　今までの話は鉱物などの物質および動物・植物で、自然が作ったものです。

ところが、もう一つ素晴らしい秩序美を人類がつくりました。詳しく申し上げるまでもないと思いますが、エジソン、グラハム・ベル、マルコーニ、ライト兄弟、その他大勢の智の創始者たちが技術を発展させております。地球上には、その「人間が作った秩序美」があります

私はいつも思うのです――150 年前にグラハム・ベルの電話、ライト兄弟の飛行機、マルコーニの無線、トーマス・エジソンの白熱電球や映写機を見た人が、100 年後の今日の電話社会、テレビ社会、航空機による大量輸送、などを想像したでしょうか。

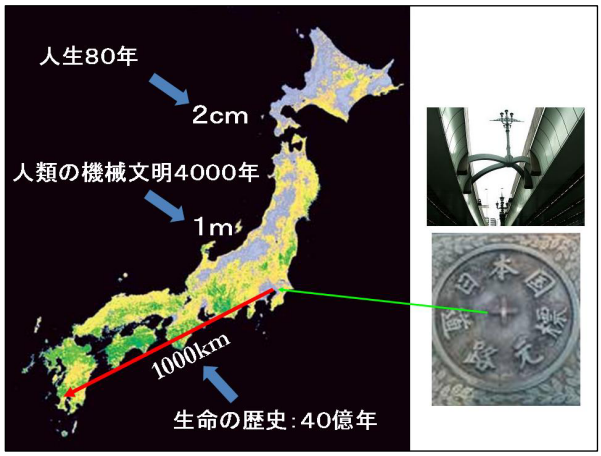
それを考えると、変な猿知恵を出して「あと 50 年後はこうなるから」と今の学問を縛らない方が良い、と思うのです。本当にしなくてはならない学問、科学・技術は、一番基礎を固めておいて、何が飛び出してもびっくりしないことが一番大切だと考えます。その辺は、ここにおられる皆さんはご同意いただける方々だと思いますので、詳しくは申し上げません。



図－10

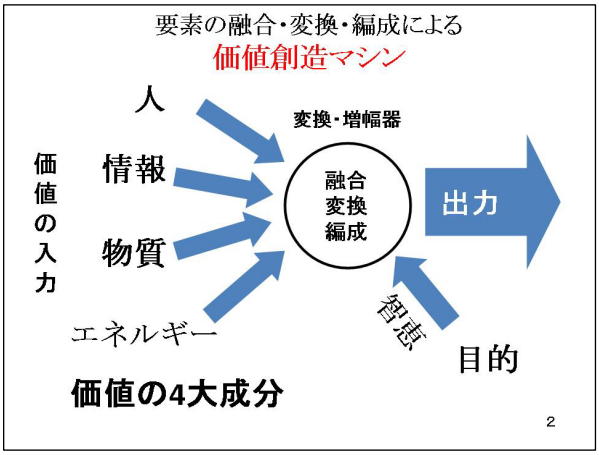
〈図－10〉　まとめますと、生物は物質世界の特区である。40 億年前に誕生して、それからずっと絶えることなく子孫を生み続けてきた。そのあげくに人類が出てきて、だいたい 1 万年ぐらい前から、工学世界、エンジニアリングの世界をつくってきたわけです。先ほど申し上げた生命世界の秩序美とは別に、工学世界の秩序美がここに現れた次第です。

40 億年の生命の歴史



図－11

〈図－11〉　生命の歴史が如何に途方もないものかを実感してみましょう。
一年を 1/4mm（1 億年＝25km）とすると、40 億年にわたる生命の歴史書は 1,000km で、東京から鹿児島に至る長大な絵巻物です。今現在を東京日本橋としましょう。そこに日本の道路元標があります。そこに向けて鹿児島を出発した生命が、静岡辺で多細胞になったのでしょうか？そして、富士山のあたりからカンブリア紀に入ります――今日見られる動物の「門」が出そろう絢爛たる時代の幕開きです。恐竜は丹沢あたりで現れ、多摩川の畔で絶滅した。現生人類は日本橋の袂で出現、エジプト文明は橋の中央の道路元標の 1m ぐらい前、“人生 80 年”は 2cm で、元標の中央に彫られた“＋”マークにも及びません。



図－12

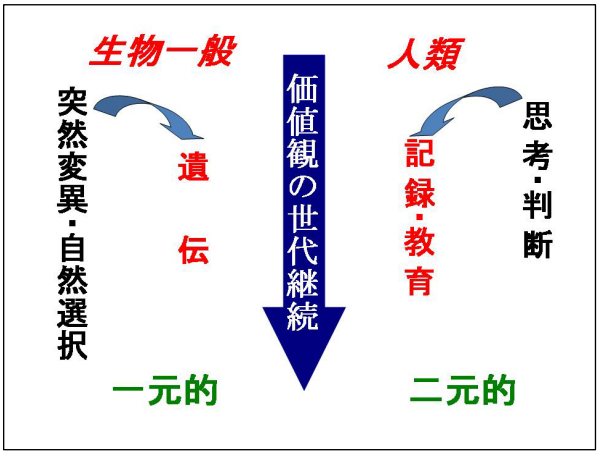
〈図－12〉　その最後の数千年から今日まで、人類はエンジニアリングを駆使していろいろな秩序美を作ってきました。その間、端的に言って価値創造マシーンを回してきたのだと思います。

価値創造マシーンは、価値の四大成分、人、情報、物質、エネルギーが入力されて、いろいろ混ざり結合し、編成されて出力になる。たとえば工場を考えれば、技術者がいて、設計図があって、原材料が入って、エネルギーが入って、自動車をつくって出てくる。

これが学校であれば、入学する学生や教官が入力なら、出力は学問をさらに身につけた学生と教

官です。当然いろいろな情報が入ってきます。あまり物質は入ってこないかもしれませんが、情熱というエネルギーが入ると考えて良いと思います。そうしたら人材が出てくる。私はこのパターンで人類の文明が出てきたのだと思います。

記録・教育という伝承方法



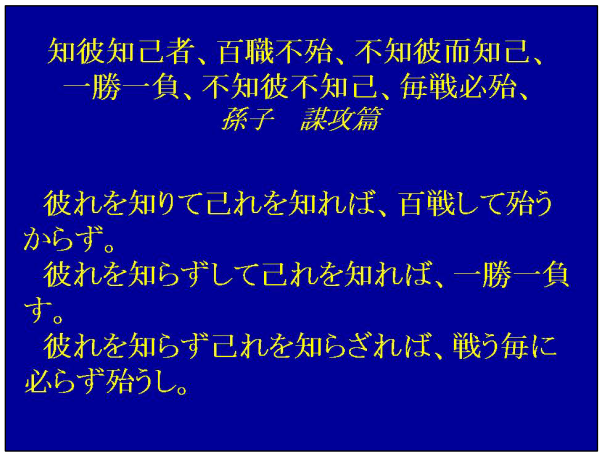
図－13

〈図－13〉　そこで人間以外の生物と大きな違いが出てしまった。それは何かと言うと、生物一般では、次の世代に伝える情報が遺伝情報しかない。サルなどは教育すると言っていますが、それほど高級なことはやっておりません。ですから人間以外の生物では、価値観の世代継続は、遺伝情報が生き延びて、次の生き延びるものをつくるという格好できたのです。

ところが人類だけは、遺伝情報に頼るだけでなく、情報を次世代に伝える別の方法――「記録」と「教育」――を開発しました。したがって、ある世代が考えたり判断したことが次世代に伝えられるようになりました。

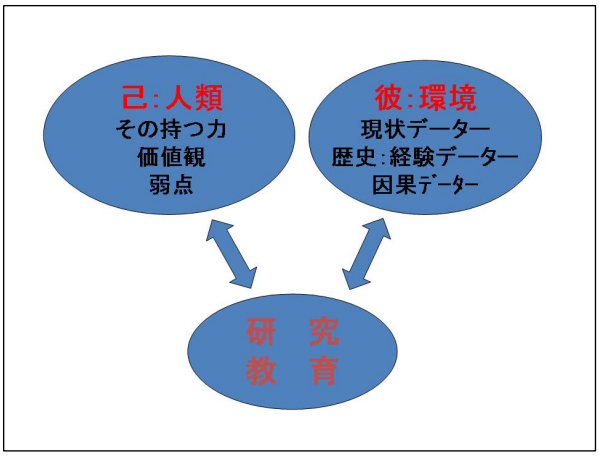
これは重大な変化で、遺伝情報だけでそれまで 40 億年間やってきた、次世代への価値観の伝承に新しい伝達回路が加わった。人類になって、これが二元的になったのです。だいたいこういうことは二元的になると、話がおかしくなってくるものでありまして、ことに厄介なのは人類が開発した記録・教育はものすごく大量で速い。世の中をどんどん変えていくわけです。おまけに近年になって、それが生物一般の遺伝情報をいじり出しました。次世代に伝えるスピードの全く違うものが、それまで平穏できた生命王国の世代間情報伝達に、複雑な干渉を起こすことになりました。これが今一番問題だと思います。しかし、今日はそういう問題の話ではないので次にまいります。

己を知り、彼を知る



図－14

〈図－14〉　孫子の「彼を知って己を知れば百戦して危うからず。彼を知らずして己を知れば一勝一敗す。彼を知らずして己を知らざれば戦うごとに必ず危うし」は私の大好きな言葉です。いろいろなことを考える時の原点だと思っています。



図－15

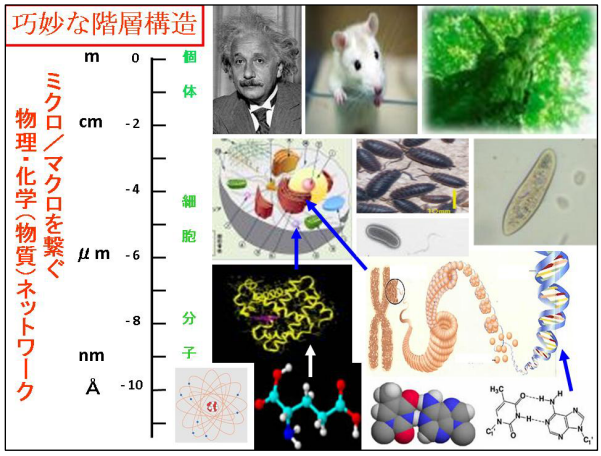
〈図－15〉　己は人類です。彼は環境とか生命、要するに人類が置かれている状況、および、知ろうとしている対象です。己を知れば、人類が持っている力です。価値観などにも影響されるわけですが、とにかく科学技術と言うものがすごい力を持っていることは間違いない。己は自信を持って良いと思います。孫子の教えに従えば、彼を知ろうとしたら、その技術力を駆使するということになります。



図－16

〈図－16〉　では彼はどういう特徴を持っているか？ですが、物質世界の秩序体の中の特区として位置づけます。物質でないという考え方もできますが、サイエンスの枠内で考える限り、ほかのファクター（たとえば創造主）を持ち込むことは全く解決にはなりません。あくまでも物質の中で、それがどうなっているだろうということを考えます。

生命の特徴



図－17

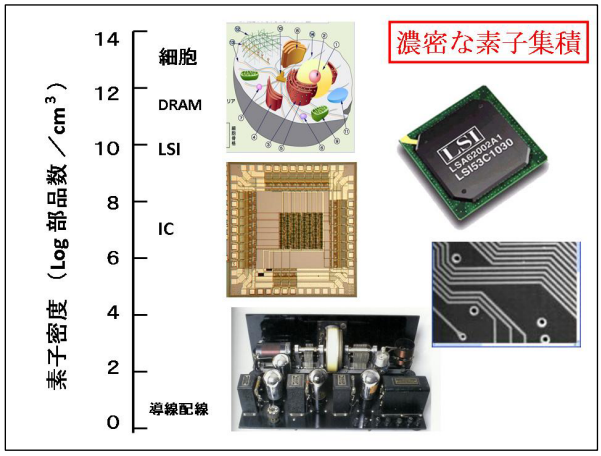
〈図－17〉　生命の大きな特徴は三つあります。

一つは巧妙な階層構造です。生物の大きい方は人間が２m前後の大きさです。もっと大きいのは数十 m、あるいは 100m もある大木があります。一方小さい方では、1m のおよそ 10 万分の１ぐらいのところに、上手い中部品「細胞」を生物は持っています。

この中部品の中には、細胞核だのミトコンドリアだの機能部品が詰まっていて、それらが化学反応の回路でつながっている、機械と呼んでよろしいものです。ＤＮＡやタンパク質という生体高分子が、機械の部品になっていろいろ機能を果たす。

要するに、この巧妙な階層構造は、100m ぐらいの大きさから 10 万分の 1m ぐらいのところの中部品、それからさらに nm（ナノメートル）大の分子にまで連綿として続いています。

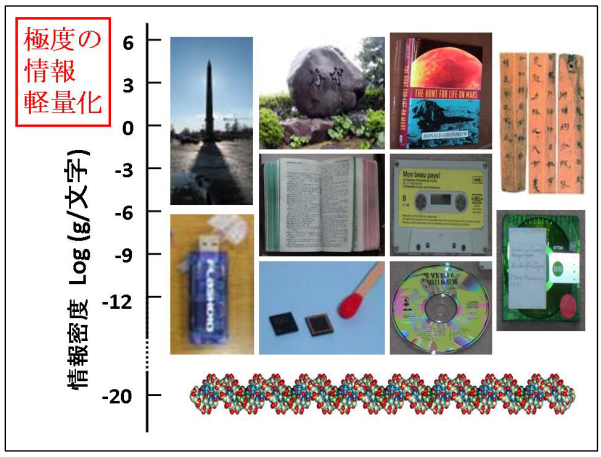
連綿として続いているところが大事なのです。例えば遺伝子は分子ですから、その分子の構造を見ると、どの生物種に属しているかということが判る。巧妙な階層構造が、生物種の特徴を維持しながら、マクロからミクロに続いているのです。



図－18

〈図－18〉　**二つ目の特徴は濃密な素子集積**です。素子集積の程度を「1cm^3 あたりの部品数」で大雑把に表します。昔の真空管を使ったラジオなどは部品が全然入らない、つまりゼロです。近年は、皆さんご存じのように LSI とかいろいろな集積回路が出てきて、単位体積あたりの部品数は急速に増えました。

しかし残念ながら、人間がつくる素子は外部から手で組立てます。大きなものはクレーンを使うし、小さいものはピンセット、あるいはリソグラフィという方法も使いますが、あくまでも“二次元面のきざみ込み”しかできない。ところが、生物の細胞は、自己形態形成という能力を使って三次元集積しているのです。これが素晴らしいところで、したがって濃密な素子集積が可能になります。



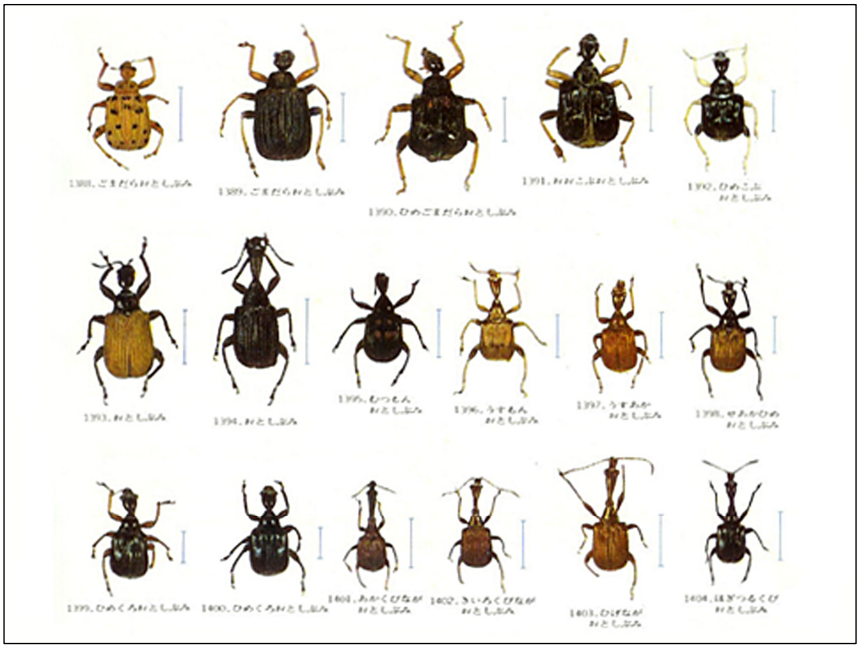
図－19

〈図－19〉　**3 番目は極度の情報の軽量化**であります。「1 文字当たりの重さ」を情報の軽量化の尺度とします。半分冗談で申しますと、石碑とか墓石とかオベリスクでは 1 文字あたりの重さがものすごく重いわけです。

文字あたりの情報量を軽くする方法は二つあります。文字を小さくし、かつ、情報担体の重さを減らす、です。小さな字引では、紙が薄くなり文字も小さくなる。それから今ではメモリースティックや CD-ROM などになって、文字あたりの重さは桁違いに軽くなりました。

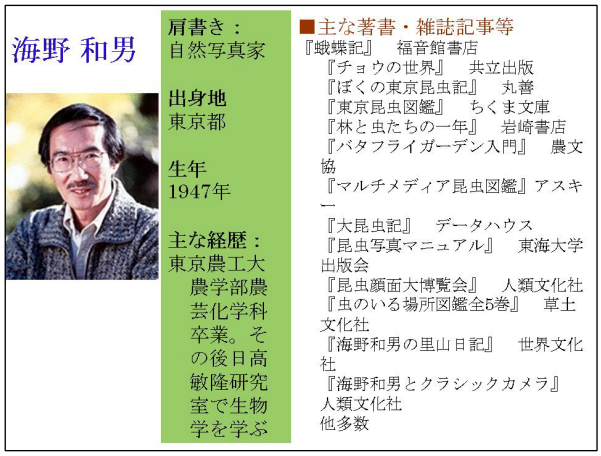
しかし、生命の情報集積、情報の記録は DNA という分子がやっております。長い分子の中の原子団の種類で文字が書かれています。分子文字と分子担体です。その結果生物は、20 けたぐらい軽い極度の情報の軽量化を実現しました。だから生物は、マクロの感覚になれている我々にとっては、ちょっとやそっとでは納得のいかない挙動をしたり、性質を持つことになったのです。

オトシブミに見る生命の不思議



図－20

〈図－20〉　生命が如何に不思議なものかを、皆さんにお見せしたいと思います。オトシブミという、体長がせいぜい 2cm ぐらいのカブトムシの話しです。オトシブミはクリとかクヌギなど、柔らかい葉に卵を産み付けるのですが、その葉をきちんと巻いたところに産み付ける。



図－21

〈図－21〉　これは海野和男さんと言う動物写真家が撮られたもので、こういう方が、日本や世界のサイエンスの普及の下支えをしていただいているということを、つくづく感じるわけです。



図－22

〈図－22〉　これがオトシブミ。卵を産みますから彼女ですね。まず、彼女はクリやクヌギの葉にきて、この葉は自分が卵を産み付けて大丈夫かということを丹念に調べます。駄目だとほかの葉に行くようですが、これは彼女が気に入ったようです。

　この葉を先端の方からグルグルと巻いて行きます。そのために巻きやすくする作業をするのです。本当は１時間か２時間かかるそうですが、巻くには、とにかく葉っぱが柔らかくなくては駄目だということで、いろいろな作業をします。申すまでもありませんが、このオトシブミの彼女は誰にも教わっていないのに、以下の複雑な作業を整然とします。



図－23

〈図－23〉　葉の中央に走っている主葉脈に刻み目を入れ、葉先から根元の方にグルグルと巻きますが、主葉脈が硬いとどうにもなりません。だから刻み目を入れるのです。再度言いますが、彼女は誰にも教わっていません。1mm ぐらいの脳の中に全部のプログラムがしまわれている。



図－24

〈図－24〉　主葉脈に平行にたたみ、そして次に主葉脈に直角に巻いて行きます。巻き始めてからも、彼女が気になる部分はきちんとたくし込みます。そこまでやるのです。彼女にしてみたら大変な力だと思うのです。この巻いた縁なども、実にきれいになっているでしょう。繰り返し言いますが、これは誰にも教わっていないのです。どうしてでしょう。



図－25

〈図－25〉　半分ぐらい巻いたところで、巻いた部分に穴を開けて卵を産みます。これはホンのごく一例でありまして、生物の世界では、誰にも教わっていないけれども、巧妙な作業をする不思議な例はいくらでも挙げられます。

　私はお茶の水女子大学の理事をしていましたので、学生たちに見せて、「君たち、こんな良い仕事はできないだろう」と言ったら、「そうですね」なんて笑ってました。



図－26

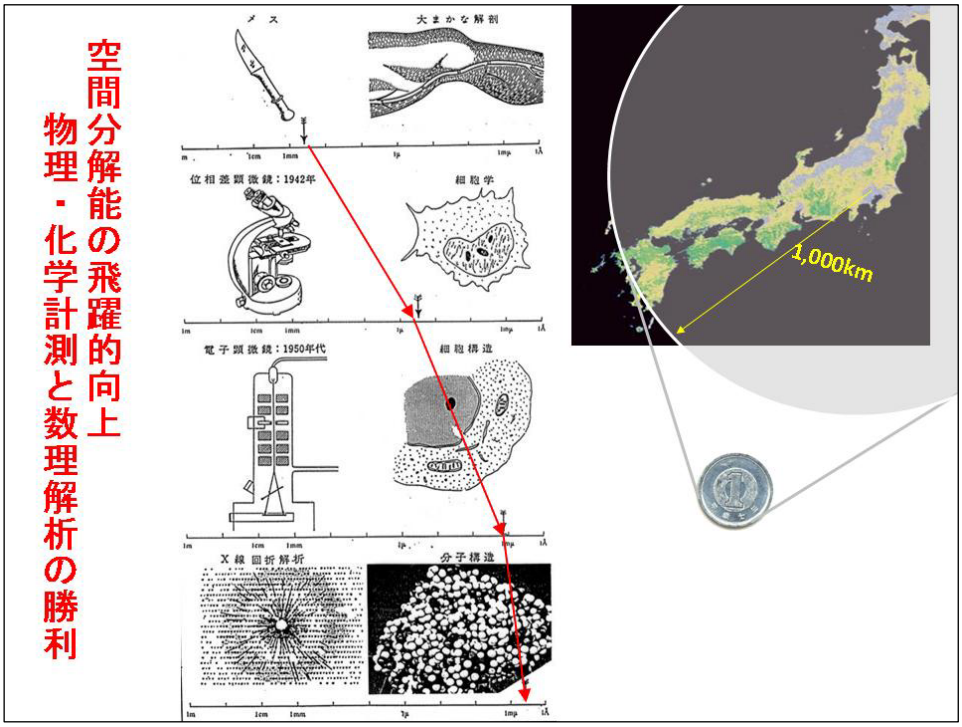
〈図－26〉　巻き終わったら、彼女はこれを切り落とします。切り落として地面の上に落ちた葉を巻いたものが、ちょうど巻紙で書いた手紙が地面に置かれているようなのでオトシブミという名前が付けられたわけです。



図－27

〈図－27〉　彼女は、これで自分の仕事は済んだということで安心していますが、実は人間という恐ろしい生物がいて、本当に卵が産み付けられているのかと、あとで切って見たりするのですが、無事さなぎになります。と言うことで生物の不思議さはこれ一例だけではありませんが、そのごく一部をご紹介いたしました。

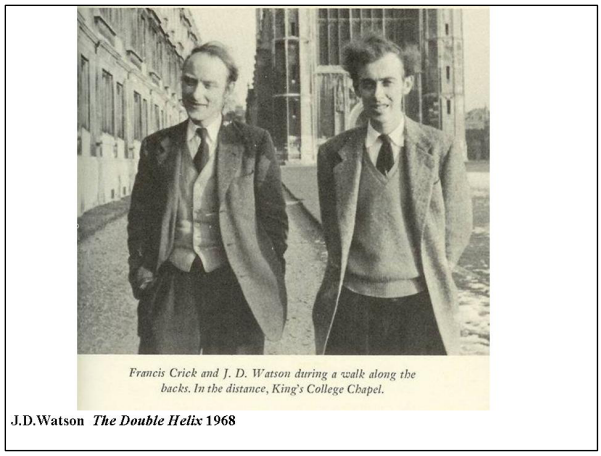
科学技術で遺伝情報を読む



図－28

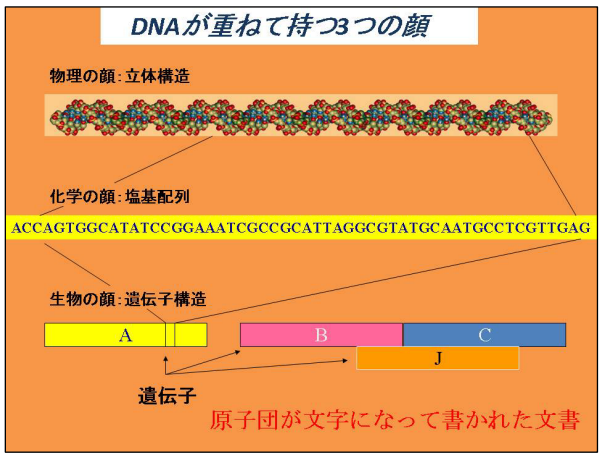
〈図－28〉　遺伝情報をどう調べるか？物理計測、数理解析の科学技術の世界であります。空間分解能の飛躍的向上がありました。昔は解剖と言って、メスでせいぜい零点何mmの空間分解能だったものが、光学顕微鏡ができ、電子顕微鏡ができ、X線回折とか、核磁気共鳴吸収とかの高度の物理的手法ができまして、原子が一個一個見えるぐらいの空間分解能が今や達成されたわけであります。

それはどれぐらいのものかと言うと、アルミの１円貨は直径がちょうど 2cm です。それを１億倍すると、その縁が鹿児島にかかるぐらいの大きさになります。それだけ拡大した時の原子の大きさが、ちょうどアルミ貨と同じぐらいです。そんな微少世界を物理計測と数理解析で、今や我々は見ることができるようになったわけです。



図－29

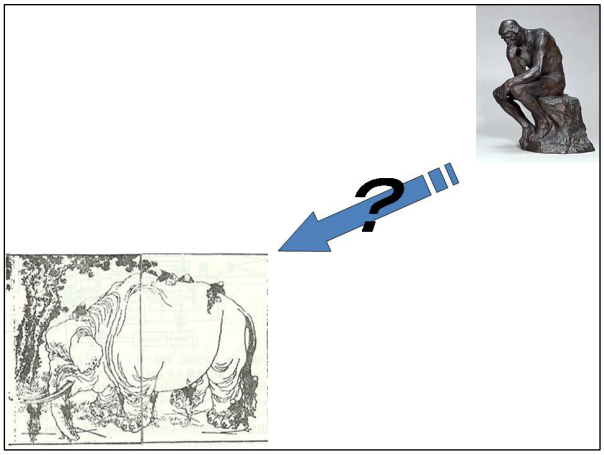
〈図－29〉　遺伝情報がどのように分子に刻まれているかを、その高度な物理解析で調べたのが、写真に向かって右のワトソンと左のクリックであります。



図－30

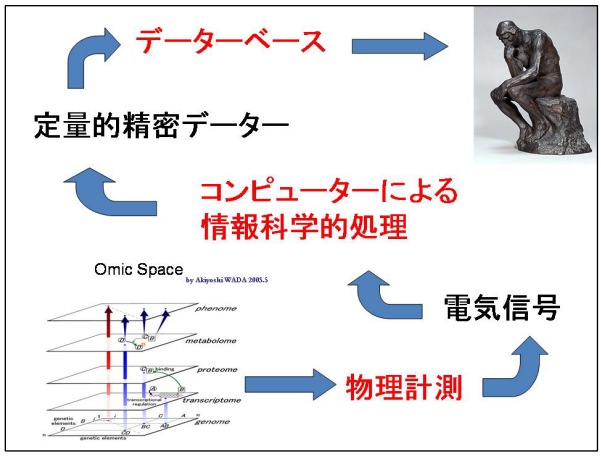
〈図－30〉　そこで判ったことは、生命の設計図である遺伝情報を伝えている DNA 分子が三つの顔を持っているということでした。物理の顔：きちんと分子の鎖が巻いた二重螺旋構造。その上に、化学の顔：A、T、G、C と、化合物の名前の頭文字で書かれた文字がずらっと並んでいます。原子団が文字になって書かれた文章です。そして生物の顔：その 2000～3000 文字が単位になって遺伝子という生命機能を発現する。要するに、同じものに物理、化学、生物が載っているわけですから、これを比べれば物理、化学、生物の関係が解る。生物の性質を、物質を表わす「物理学」と「化学」の言葉で言い表せるようになったのです。

遺伝子は、生命の機能を出す単位ですが、その遺伝子の中で文字配列がどうなっているか？その分子構造とか二重螺旋構造はどんな役割をしているのか？それらを調べれば、物質帝国の知識で、生命王国の状況を説明できる、理解できるということになるわけです。



図－31

〈図－31〉　皆さんご存じのように葛飾北斎の「群盲象を撫でる」。目の不自由な人たちが、象の体のいろいろな場所を撫でます。牙をいじっている人は、象とは硬くてすべすべしたものだと。足をいじっている人は、柱みたいでぶよぶよしたものだと。耳をいじる人は、団扇みたいだと言っている。生物に対して、これまで生物学者が見ていた生命像というのは、20～30 年前まではそういうものだったのです。

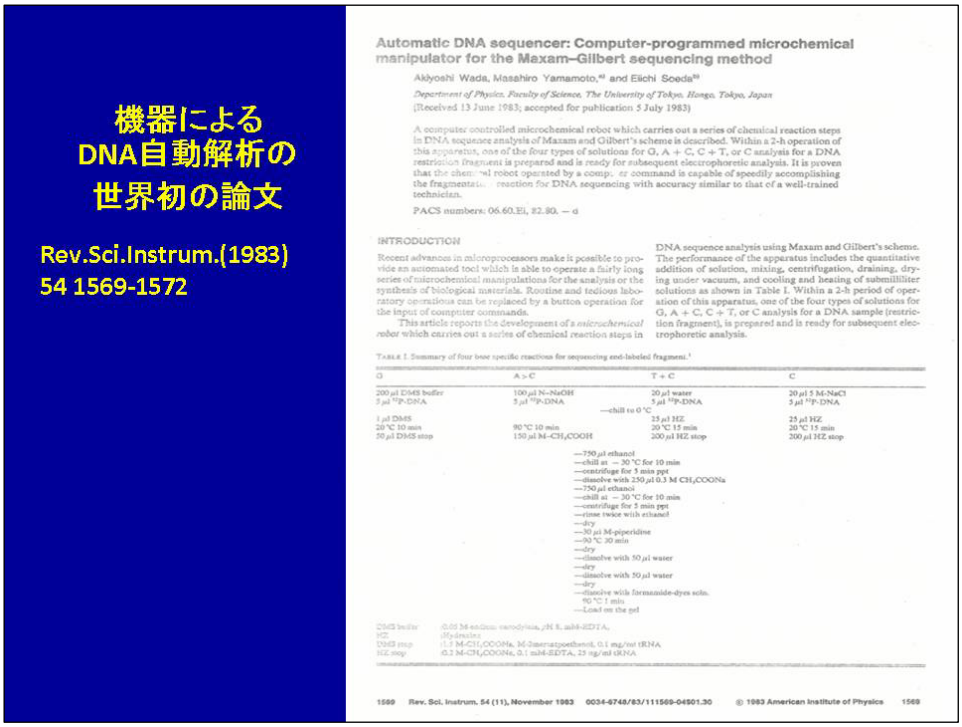


図－32

〈図－32〉　しかし、これがだんだん統一されてきた。ことに大きかったのは遺伝情報が読めたからであります。

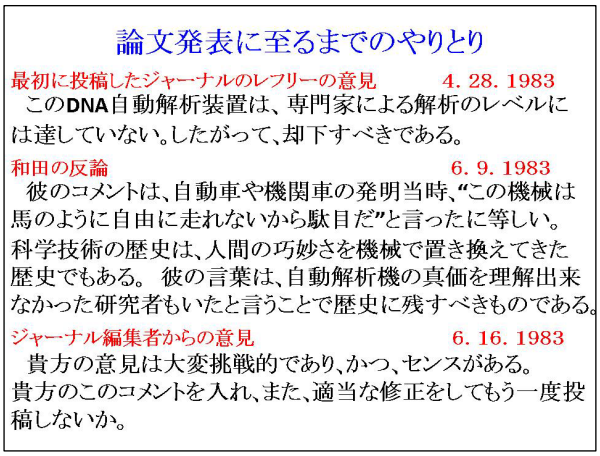
生命に関するデーターや情報をどのように測定し解析しなければならないか？ものすごく複雑な相手ですから、最後はデータベースを充実しなければならない。データベースに持ち込めるのは定量的精密データでなければならない。定量的精密データにはコンピュータによる情報科学的処理が不可欠だ。情報科学的処理ができるのは電気信号だ。電気信号を生命から取り出せるのは物理計測だ。と言うまことにスムーズな道を経て、物理計測で大量の情報を取り込むことができるようになりました。これによって「生命像」が葛飾北斎の象ではなくて、詳しい話はやめますが、分子レベルから個体レベルまでの、いろいろな階層で理解できるようになったわけです。

理解されなかった世界初の論文



図－33

〈図－33〉　今申し上げたように、これはもう手作業なんかではなくて機械で読まなくては駄目だということです。これは私が世界で最初につくり、また発表した機器による DNA の自動解析の世界初の論文であります。1983 年です。実はこの論文が出るまでに大変な騒ぎがありまして、その話をさせていただきます。

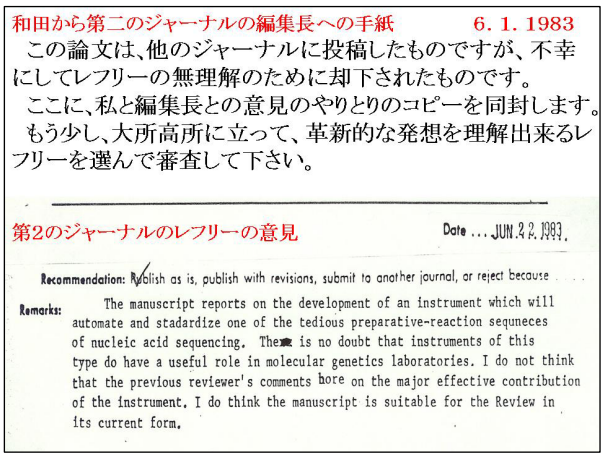


図－34

〈図－34〉　ご存じのように、雑誌に投稿しますと審査員がいて、あらゆるケチをつけてきます。私が最初に投稿したジャーナルのレフリーの意見は「この DNA 自動解析装置は専門家による解析のレベルには達していない。したがって却下すべきである」。私はカチンと来て反論をしました。レフリーには直接できませんから、編集者にするわけですが、「彼のコメントは自動車や機関車の

発明当時、この機械は馬のように自由に走れないから駄目だと言ったに等しい。科学技術の歴史は人間の巧妙さを機械に置き換えてきた歴史でもある。彼の言葉は、自動解析機の進化を理解できなかった研究者もいたということで、歴史に残すべきものである」。

そうしたら、ジャーナルの編集者から、「あなたの意見は大変挑戦的でありセンスがある。あなたのコメントを入れ、また適当な修正をしてもう一度投稿しないか」と来たわけです。



和田から第二のジャーナルの編集長への手紙　　6. 1. 1983

この論文は、他のジャーナルに投稿したものですが、不幸にしてレフリーの無理解のために却下されたものです。

ここに、私と編集長との意見のやりとりのコピーを同封します。

もう少し、大所高所に立って、革新的な発想を理解出来るレフリーを選んで審査して下さい。

第2のジャーナルのレフリーの意見　　Date ... JUN 22 1983

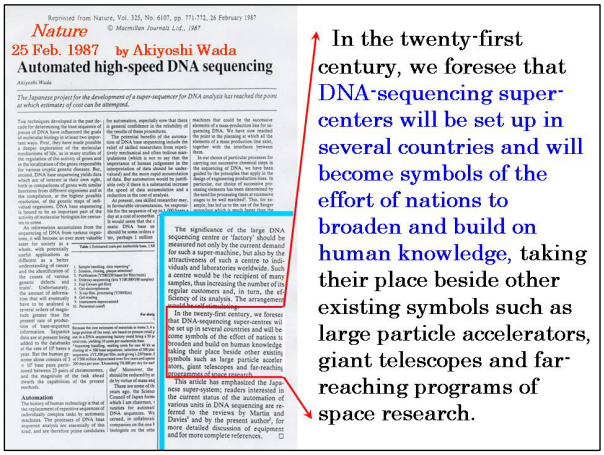
Recommendation: Publish as is, publish with revisions, submit to another journal, or reject because ...

Remarks: The manuscript reports on the development of an instrument which will automate and stadardize one of the tedious preparative-reaction sequneces of nucleic acid sequencing. There is no doubt that instruments of this type do have a useful role in molecular genetics laboratories. I do not think that the previous reviewer's comments bore on the major effective contribution of the instrument. I do think the manuscript is suitable for the Review in its current form.

図－35

〈図－35〉　しかし、私は気が短いものですから、もう次のジャーナルに、「この論文は、他のジャーナルに投稿したものですが、不幸にしてレフリーの無理解のために却下されたものです。ここに私と編集長との意見のやり取りのコピーを同封します。もう少し大所高所に立って、革新的な発想を理解できるレフリーを選んで審査してください」。ようするに、もうちょっと気の利いたレフリーを出せというわけです。

そうしたらすぐ返事が来て、念のために原文でそのまま書いておきました。新しいレフリーの意見ですけれども「前のレフリーはこの論文の真価を理解していなかった。非常に重要なものである。無修正で発表して良い」となったわけです。



Reprinted from Nature, Vol. 325, No. 6107, pp. 771-772, 26 February 1987
© Macmillan Journals Ltd., 1987

Nature
25 Feb. 1987　by Akiyoshi Wada

Automated high-speed DNA sequencing

Akiyoshi Wada

The Japanese project for the development of a super-sequencer for DNA analysis has reached the point at which estimates of cost can be attempted.

In the twenty-first century, we foresee that DNA-sequencing super-centers will be set up in several countries and will become symbols of the effort of nations to broaden and build on human knowledge, taking their place beside other existing symbols such as large particle accelerators, giant telescopes and far-reaching programs of space research.

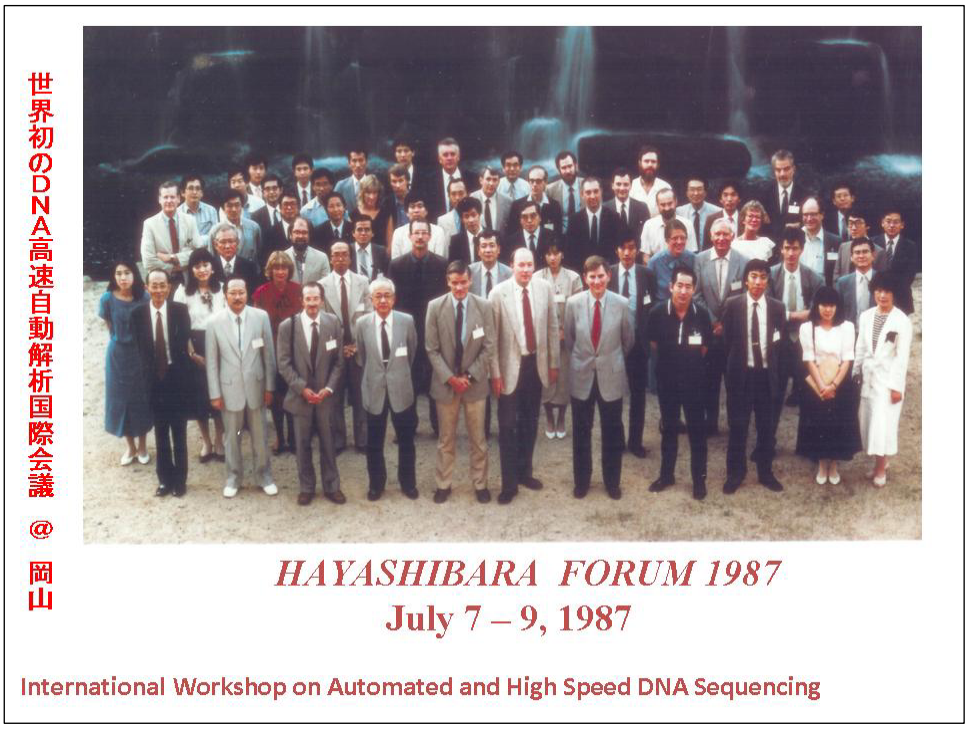
図－36

〈図－36〉　1981 年に始まった国家プロジェクトで DNA の高速自動解析の装置をつくりました。その結果の発表が先に述べた 1983 年の論文です。さらに 1987 年に『Nature』がプロジェクトに

関する総説を載せてくれました。その最後にこのように書きました。日本語に訳しますと、「21 世紀を展望すると、DNA のスーパー解析センターが、ほかのいろいろな人類の知能、解析のシンボル、例えば巨大望遠鏡、粒子加速器、などと並んで世界の先進国に建設されるだろう」という意見です。これでアメリカがびっくりしてしまいました。アメリカ議会の内部文書を見ましたが、その中には「自動車で負け、家電で負け、また今度ゲノムで負けるのか」と非常に挑発的な文句が書かれておりました。

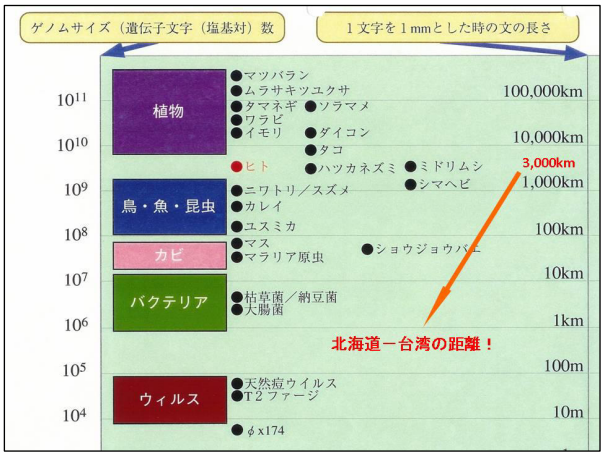
先ほど言った「自動解析機の進化を理解できなかった人がいたことを歴史に残すべきである」についての後日談があります。その後あるところで私の話しを聞いたロサンゼルスの大学の人が「シカゴに科学上の重要な文書、交換された手紙などを保存しておくアーカイブがある。自分が送ってやるからそれを寄越せ」となり、あの編集者とのやり取りはシカゴの公文書館に入っています。したがって、理解できなかった人がいた事実が、確かに歴史に残りました。

DNA 解析のはじまり



図－37

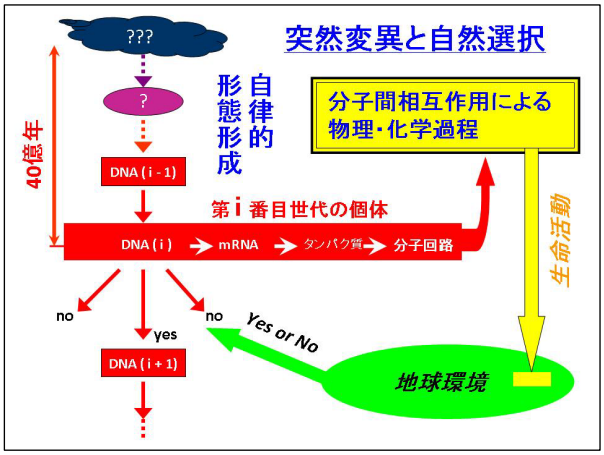
〈図－37〉　当時、日本は自動解析ではトップでありまして、1987 年に岡山の林原さんがスポンサーをされている林原フォーラムで、世界初の DNA 高速自動解析の国際会議をしました。諸外国から 20 名の本当に先端的な人が集まり、大いに議論を戦わせたわけです。この時に、ずいぶんアメリカにいろいろなノウハウを持って行かれた気配があるのですが、まあそれは良いとしましょう。この中におられます日立の神原秀記さんは心臓部を発明して、今日世界に出回っている DNA の自動高速解析機はパーキンエルマーというところが売っているのですが、その機械にはパーキンエルマー／日立とちゃんと日立の名前が入っております。もうちょっと頑張れば日本が独占できたわけで大変残念であります。



図－38

〈図－38〉　さて、それではどれぐらいの分子文字が読めるのか？生命の設計図の文字の数は、一番簡単な生物ウイルスで、だいたい 1 万～10 万文字。バクテリアになると 100 万～1000 万。設計図ですから、つくるものが複雑になれば、当然字数は増えます。人は 30 億文字です。30 億文字がどれぐらいすごい数かと言いますと、1 文字を 1mm にしてずらっと並べて 3000km。北海道～台湾の距離であります。これを人類は 6 年で読んだのです。これは相当なものです。ちょっと考えて下さい。北海道から台湾まで、飛行機で飛んでも 3 時間か 4 時間かかるでしょう。その足元に 1mm の文字がずらっと並んでいる。それをだいたい 6 年で全部読んだという話です。

生命はなぜ進化するか――突然変異と自然選択



図－39

〈図－39〉　40 億年前に、地球上に自分で自分と同じようなものをつくる分子の系、分子の塊ができた。それが自分と同じものをずっとつくってきて、ある時期に DNA という遺伝情報担体になりました。ここで DNA から情報を受けてそれを働かせるものが必要で、それがタンパク質です。

皆さんの細胞一個一個に全部 DNA が入っております。お 1 人 60 兆個の細胞を持っておられますが、その細胞に全て長さが 1.2m の DNA が入っています。60 兆×1.2m をつなげると太陽よりずっと向こうに行ってしまうわけです。しかし、先ほど申し上げましたように情報の軽量化が行われていますので、そんな長い物がコンパクトに一人の体の中に入っています。

いずれにせよ、現在はDNAが親からきて子どもに行く。それはタンパク質等をつくって働かせ、その分子回路が生命活動をします。DNAがいろいろなタンパク質分子をつくり、そのタンパク質分子が相互作用をして生命活動を行う。まさに分子間相互作用――不思議でも何でもない物理化学過程――で生命活動が行われます。

その結果出来上がった生物個体が、地球環境の中に置かれるわけです。これがポイントなのです。地球環境に置かれますと、地球環境が「あなたの子どもは残せるよ」と許可を与えてくれる。あるいは「駄目」と言われて死んでしまう。

DNAは「突然変異」と言って少しずつ違うものをつくるのです。それらの中から自然が「生かす・殺す」を決める。この「自然選択」で、環境の中で結果的に生きられるものが残る。

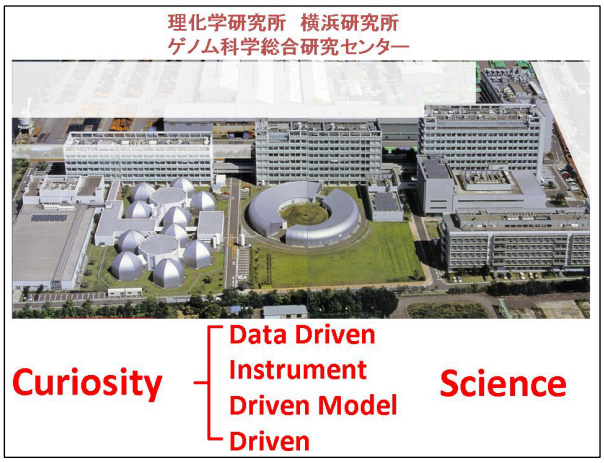
お考え下さい。いくつか可能性があって、その中から環境が「これは残して良い」と選んで残して行く課程は、すなわち「環境の情報を読み込んでいる」のです。「環境の中で生きて良い」という情報を読み込んでいるのです。

麻雀をなさる方はたくさんいらっしゃると思いますが、私などの下手な麻雀だと、良く七対子をつくるわけです。ペアを 7 組つくる。これは非常につくりやすい。しかし、七対子が牌を配った時にできる確率は、だいたい 1 兆分の 1 に近いのです。ですから、それだけ見るときちんと牌がペアになって、上がり手になって出てくる可能性は非常に少ない。しかし実際に皆さん麻雀をやられてのご経験では、1時間か2時間、何回か牌を取って捨ててということをやればできてしまうわけです。

それは何かと言うと、牌を取るのは「突然変異」に相当します。その突然変異を受けてプレーヤーは、何とか二つずつペアをつくろうという意志を持って、要らないものを捨てる、これが自然選択に相当します。こうして突然変異と自然選択を繰り返すと、非常に複雑な配列が、意味のある秩序配列として簡単にできてしまう。生物はそれを 40 億年やって、この環境に生きられる情報を残してきたわけです。

だから、ゲームの上がり手をみればゲームのルールが解る。同じく、遺伝情報を読めば、地球環境の中を生き延びるルール（智恵）を読み取ることが出来ます。

DNA を読み比べる



図－40

〈図－40〉　この文字列を読もうと世界的な動きになりまして、理化学研究所がゲノム科学総合研

究センターをつくりました。横浜の鶴見にありますが、そこでやっていることは生命科学が変わったと言うことの象徴です。いままでは Curiosity-Driven、好奇心で駆動されていろいろ研究されていた分野が、Data-Driven とか、Instrument-Driven、Model-Driven、データによって背中を押されてどんどん研究する。Instrument-Driven は装置によってどんどん背中を押される。装置がブースターになっているわけです。そういうサイエンスに変貌しました。生命科学の古い方は、これは生物学の冒涜だと書かれていますが、サイエンスの当然の発展の一段階です。

そこで我々はいろいろなことをしました。少し後発だったので、ヒト DNA の解読は全体の 6%でした。後は英米がほとんどで、日本は英米に次いで 3 番目です。

世界でしていないことをしようと言って、ヒトとチンパンジーの遺伝情報比較をしました。なぜしたかと言うと、チンパンジーと人間はどこが違うのだろうということを比較したかったのです。

普通の物理的データは、私は良く「絶対情報」と言いますが、物理の第一原理に照らして納得ができる、あるいは判断ができるデータです。一方、遺伝情報の文字の配列は第一原理が決めているわけではありません。エネルギー最小であの配列が決まった、などと言うことは全くない。

では、何が決めているかと言うと 40 億年の「歴史性」の致すところです。先ほどの環境をずっと読み込んできた結果の配列です。言ってみれば相対情報で、比べないとその意味が判らないのです。簡単な例を申しますと、生命に必須な情報は何か？に答えるには、一番高級な生物（これは我々人間だと思っていますが）と一番下等な生物の DNA を比べて、共通しているものが生命に必須だという判断をするわけです。

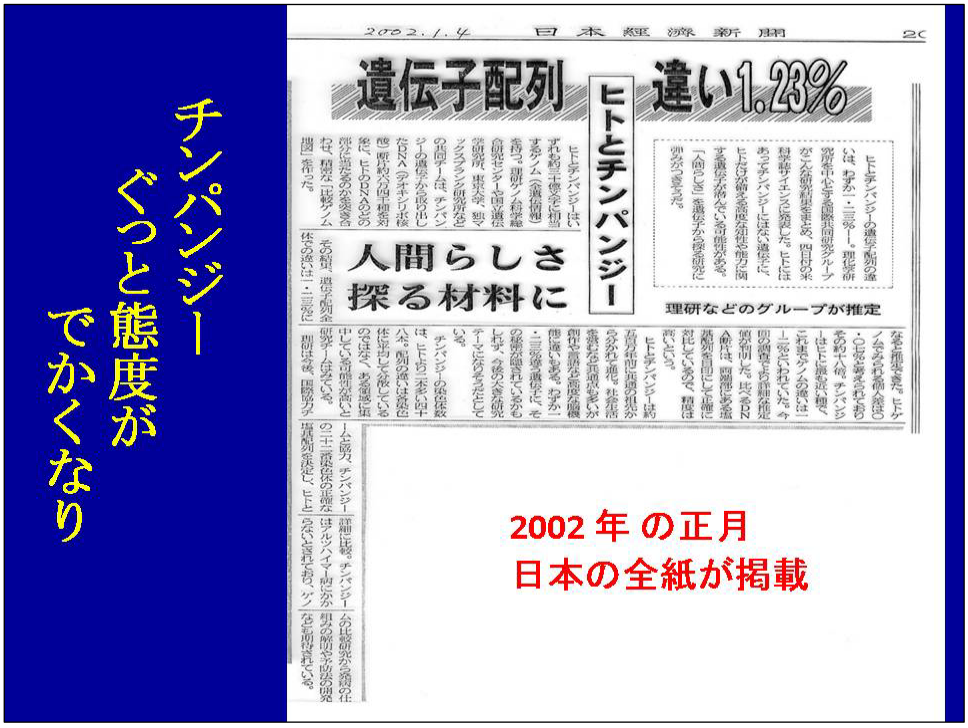

読賣新聞
THE YOMIURI SHIMBUN
6月23日 金曜日
2000年(平成12年)
発行所 読売新聞社
第44612号 (日刊) ©読売新聞社2000年
「人の知性」遺伝情報分析
理研 初の研究へ
言葉や論理・思考
チンパンジーと比較
2000 年　理研ゲノム科学総合研究センターで研究開始

図－41

〈図－41〉　それとは別に、一番近いところを比べると一番近いのになぜ違うのかが解る。ですから、先ほど申し上げましたように、人間はなぜ言語がしゃべれるのかとか、推理ができるのかを知

ろうとすると、チンパンジーと人を比べなくてはいけない。2000 年に研究を始め 2 年かかりました。今、豊橋技術科学大学の学長になっている榊さんがリーダーでやった仕事であります。

人とチンパンジーの違い

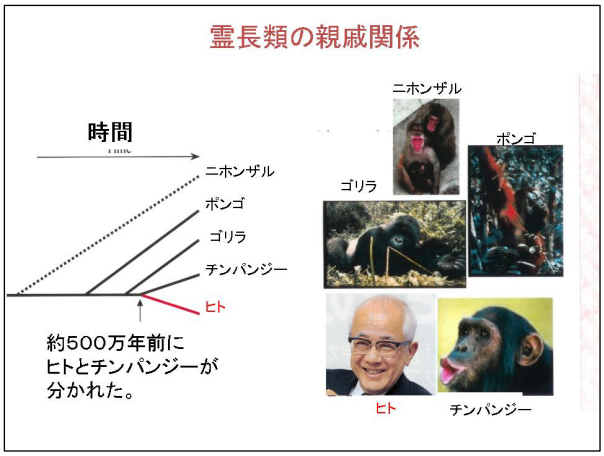


図－42

〈図－42〉　人とチンパンジーの違いは 1.23％と出ました。1.23％は、100 文字読むとだいたいヒトとチンパンジーとで 1 文字違うと言うことです。これは 2 年後の正月の 4 日の新聞です。それまで報道規制をかけていたのを一斉に解いたものですから、ほとんどの新聞が 1 面トップに掲載しました。相当世間に影響を与えたようで、その 1 週間後の新聞の川柳欄に載りました。「チンパンジー、ぐっと態度がでかくなり」。(笑い)

人とチンパンジーはだいたい 500 万年ぐらい前に分かれています。500 万年前に共通の祖先がいます。それから突然変異と自然選択で、チンパンジーはチンパンジーの道、ヒトはヒトの道を歩いてきたから、500 万年で 100 文字に 1 文字ぐらいの違いができたということです。

先ほどお話したのを覚えておられると思いますが、遺伝子はだいたい 2000～3000 文字ですから、チンパンジーと人間の遺伝子を比べると、その中に 20～30 の文字の違いが出ます。だから遺伝子レベルで比べると、ヒトとチンパンジーは大きく違います。



図－43

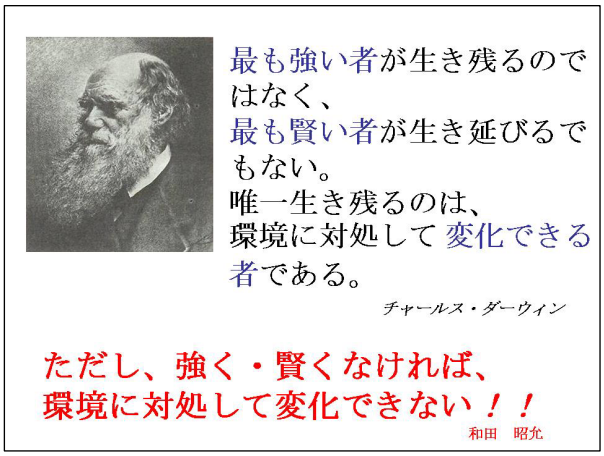
〈図－43〉　上野の動物園などのサル山にいるのはニホンザルですが、それはもっと前に分かれています。2000 万～3000 万年前に分かれたということで、したがってその遺伝子の違いは 5%か、もっと大きいかもしれません。要するに、生物の遺伝子の文字配列は時間と共に変わり、その変わり方を見れば、この 2 種類の生物は、何百万年前の共通の先祖から発したのかということが判るわけです。



図－44

〈図－44〉　ちょっと宣伝させてください。私は二つ本を書きまして、一つは『物理学は越境する』（岩波書店）。もう一つは『生命とは？物質か！』（オーム社）です。今日申し上げたことの詳しくは、これらの本をご覧いただければ幸いです。

物質は自己複製する



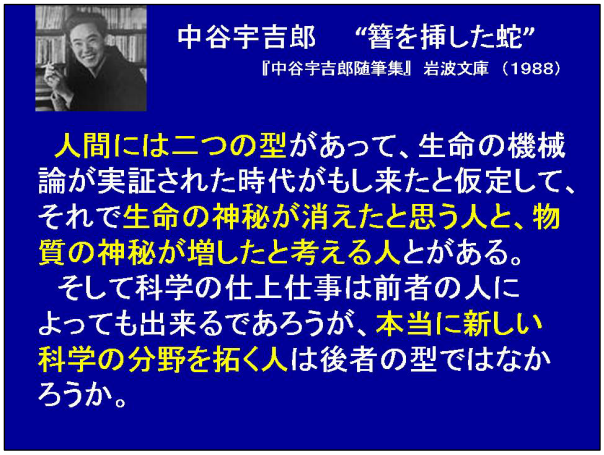
図－45

〈図－45〉　「最も強いものが生き残るのではなく、最も賢いものが生き延びるのでもない。唯一生き残るのは環境に対処して変化できるものである」。ダーウィンの至言です。僭越ですが、私はこれにちょっと付け加えました。「ただし、強く賢くなければ環境に対処して変化できない」。

ここで私が申し上げたいことは、もちろん我々、脳を持った生物では強く賢くということができますけれども、生命の遺伝情報は、もともとそういう判断をするものはなかったわけです。先ほど麻雀の例で言いましたけれども「結果的に自然にセレクトされてきた」わけです。もともと非常に強く賢いメカニズムができてしまっているのです。そういうものが宇宙にどれぐらいいるだろうか。当然、そういう疑問を持たれると思いますが、それに対する私の考えを少し申し上げます。

私は「物質は自己複製系をつくる性質を本来的に持っている」のだと思います。今はそういうものができると、食べてしまうものがいっぱいいるので見えませんが、原始地球の何もないところでは、自己複製系が必然的にできたと思います。それが突然変異と自然選択という試練にあいながら環境を生き延びてきた。環境を生き延びる情報が、結果的にそこに刻まれる。であれば、高級な生命がいるかどうかは判りませんが、宇宙に下等な生物はたくさんいると思います。たぶん太陽系でも水と必要な元素があるところには、将来必ず生命体が見つかると思います。

おわりに



図－46

〈図－46〉　中谷宇吉郎先生は、雪の博士として有名で、寺田寅彦先生の高弟でありますが、非常に良いことをおっしゃっています。「人間には二つの型があって、生命の機械論が実証された時代がもし来たと仮定して、それで生命の神秘が消えたと思う人と、物質の神秘が増したと考える人とがある。そして科学の仕上仕事は前者の人によっても出来るだろうが、本当に新しい科学の分野を拓く人は後者の型ではないだろうか」。

これは至言です。今は何かが判るともうそれで安心してしまって、その奥にある次の不思議を、しつこく探求する精神が薄れてきているようです。これが心配です。

以上、簡単ではございましたが、ご清聴ありがとうございました。（拍手）

〈MEMO〉

■このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。
講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得て下さい。

発 行 所　財団法人 本田財団
104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル
Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103
http://www.hondafoundation.jp
発 行 者　原 田 洋 一