

継続教育シリーズ 1

科学／技術の総合化



農業農村工学会

序文

第三期の科学技術基本計画では、「21世紀に入り、世界的な知の大競争が激化する中、新たな知の創造のために、既存の分野区分を越え課題解決に必要な研究者の知恵が自在に結集される研究開発を促進するなど、異分野間の知的な触発や融合を促す環境を整える必要がある。8つの分野別推進戦略を策定する際にも、これら新興領域・融合領域へ機動的に対応しイノベーションに適切につなげていくことに十分に配慮して進める。」と科学技術政策の総合性と戦略性を主張しています。

また、東京大学の「学術統合化プロジェクト」では、高度に細分化された自然科学の諸分野をスケールや領域を超えて統合し、それらの全体像を理解可能な形で提示し、科学と人間との間の橋渡しを行うことを目指した研究を展開しています。個別の知識だけでは問題が解決しない、あるいは全体像を把握することが困難な、環境問題や生命現象に切り込む新しい学問の構築を目指しています。具体的には、現在、基盤となるデータや知識が十分に整備され、系の振る舞いの解析すなわちシミュレーションが可能になりつつある、生命科学、物質科学、地球科学、宇宙科学などを対象として、それらの諸分野の知識の構造や系の振る舞いの共通性や相違点を明らかにする、というものです。

このような動きは、農学／農業の分野においても生まれています。

これまで農学という科学と農業技術は、効率性、高生産性、高付加価値性、低コスト化などを求めるため、科学／技術の細分化を進めてきました。その効果は、これまで様々なところに生まれ、現代社会に活用されてきました。しかしながら、現在人類が直面している地球環境問題はあらゆる面でこれらの比ではなく、相反する原理を持つ多種多様な分野が関係し、しかも時間的・空間的側面を考慮しながら、技術革新と社会改革を総合化して対応しなければならない状況にあります。そのためには多様な分野を横断し、有機的につなぐ視角を見つけ、展望を拓く手法が必要とされています。

そのため、本書では総合化の必要性、必要とする基礎力、事例、手法の紹介などを通じて、「水土の知」が科学／技術の総合化をいかに図るべきかについてとりまとめたものです。

特に今回は、循環を主体にまとめたもので、内容的にまだまだ不十分なところは多々あると思いますが、ご批判を受けつつ、さらによいものに仕上げていきたいと思っています。これからの研究者／技術者にとっていくらかでも参考になれば幸いです。

目次

第1章 はじめに

- 1. 科学／技術の総合化の必要性 1
- 2. 科学／技術の意味と方向 13

第2章 科学／技術的思考の基礎

- 1. 科学的思考の大切さ 16
- 2. 思考過程の基本 18
- 3. 科学的思考の整理 26

第3章 科学の総合化事例

- 1. ダーウィンの「種の起源」 28
- 2. ファーブルの「昆虫記」 29
- 3. メンデルの「雑种植物の研究」 30
- 4. ワトソン「二重らせん」 32
- 5. プリニウス「博物誌」 34
- 6. カーソン「沈黙の春」 35
- 7. ユクスキュル「生物から見た世界」 36
- 8. ライエル「地質学原理」 38

第4章 科学／技術の総合化の手法

- 1. 手段の目的化を避ける 41
- 2. 融合と学際 45
- 3. 川上と川下 47
- 4. デジタル化の科学／技術における意味 50
- 5. 常識の非常識 53

第5章 水土の知の総合化における科学／技術の視点

- 1. 総合化の方向 56
- 2. 水の科学／技術 59
- 3. 土の科学／技術 66
- 4. 水土の知の総合化 71

第1章 はじめに

1. 科学／技術の総合化の必要性

Seneca 21st の中道宏氏が表した【話題3】「地球環境問題に展望を拓こう」では、総合化を次のように述べています。

総合化とは、総合的（網羅的）とは根本的に異なる。総合的に整理すれば全体像を把握できるわけではない。仏教の「帝釈の網」の例えがこのことをうまく説明している。

帝釈天が地球に網をかけたことから、すべてのものは「関り合っている」。その網目の一つひとつに個があり、これが集まり全体となっている。しかし個が単に集合して全体となるのではない。一つひとつの個同士が複雑に関り合っている。その関わり合いの総体が全体である。

総合化への取組が十分行われていない現状から発生している地球環境問題等様々な分野の専門家が科学／技術の総合化の必要性を述べていますので、ここに紹介します。

■総合工学の意義と役割

日本学術会議の「総合工学」は、これまで別々の分野として発展してきた学際・複合的な工学分野（応用物理、工学基礎、計測制御、エネルギー、資源、宇宙航空、海洋船舶、安全・安心・リスク、経営工学等）を包含し、さらに工学全体の横断的課題や科学技術全体に跨る課題も対象としています。

「総合工学」は、第3期科学技術基本計画の重点8分野に関連付けて言えば、情報通信、環境、エネルギー、フロンティア、ナノテク・材料、製造技術、社会基盤の分野に跨っています。また、科学研究費に対応させて言えば、工学の分科の一つとして設定されている

「総合工学」分科よりずっと広い分野を包含しています。上記の括弧内の工学分野は、それぞれが非常に大きな先端的分野となっており、対応する学会も大規模なものが多くあります。会員数で2万名を超す学会もある。従って、それらを束ねた「総合工学」は極めて広い分野あるいは概念と言ってよく、他の領域型分野と異なった内容と特徴を有しています。特に、工学や科学技術全体に跨る広い課題を扱うことは、「総合工学」の大きな特徴です。

このように、「総合工学」は非常に広い分野を含むため、総合工学委員会には工学だけでなく、様々な分野の会員および連携会員が委員として加わっており、全体で108名の委員を擁する非常に大きな分野別委員会となっています。また、扱う課題が多いため、傘下の分科会数も多く、活発な活動が展開されています。

1. 「総合工学」は、既存の領域型分野に含まれない多くの学際的・複合的分野を含み、総合工学委員会にはいろいろな分野の委員が参加しているのが特徴です。従って、それらの分野間の交流を通して、共通の課題を見出したり、新しい融合領域や概念が生まれる可能性を有しています。ここに「総合工学」の存在意義があり、それらを生み出していくのが総合工学委員会の重要な役割です。

2. 科学技術は、20世紀に入ってから急速な発展を遂げ、現在の豊かな人間社会を支える

基盤となっています。しかし、科学技術の高度化・専門化が進むに従って、分野が細分化され、他分野あるいは科学技術全体を見渡すことが難しくなってきました。そのため、現在では分野の壁を越えた総合的視野に立って、分野間に跨る課題や科学技術全体の課題を明らかにし、新しい分野や技術を開拓していくことが必要となっています。工学・科学技術全体に跨る課題を対象とする「総合工学」は、それに応えるものであり、「総合工学」の第2の意義はここにあります。総合工学委員会はこの大きな課題を検討して提言等を出していくことが重要な役割となっています。

3. 今後の方向としては、「総合工学」が現時点で包含している応用物理、計測制御等をはじめとする学際的・複合的分野は、今後も科学技術および人間社会にとって不可欠な分野であり、それぞれが更なる発展をしていくと思われます。

「総合工学」は、現時点では上述したような分野を含んでいますが、それは固定化されたものではなく、時代とともに包含する分野や境界も変わっていくと思われます。境界は曖昧であることが総合工学の特徴であり、それを活かして時代が要請するいろいろな課題を取り上げていくことが望ましいところです。工学や科学技術全体に跨る課題を対象として新しい方向を探る役割は、「総合工学」の最も重要なものであり、その重要性は今後さらに大きくなっていくものと期待されます。

●これは、学術の動向 2008/7 に掲載された後藤俊夫氏（日本学術会議第三部会員、専門：応用物理学）の提言です。科学技術の高度化・専門化が進むに従って、分野が細分化され、他分野あるいは科学技術全体を見渡すことが難しくなってきました、という視点は同じですが、基本的に私と異なる点は、地球環境問題等自然環境を対象とした分野では、工学をいかに総合化しても限界があるということです。新製品等の開発には貢献できても自然環境の中で総合化した科学／技術の開発は困難であると考えられます。

■総合化・体系化研究を考える

総合化・体系化研究という言葉は、専門分化指向が強かったこれまでの研究の流れからすれば、新たな響きを持っています。しかし、技術と経営の両分野が連携して実践的体系技術の開発を図るこの種の研究は、過去においてもその必要とあり方がしばしば論議され、各地域でかなり研究も実施されています。その事例としては、東北農業試験場が行った盆花機械化実験農場における酪農を中心とした機械化営農試験、農事試験場・北海道農業試験場の大規模機械化畑作試験、全国都道府県農業試験場の営農地試験などがあげられます。また九州では国と県および地元、ならびに技術と経営が連携して、昭和30年代後半から実施した熊本県泗水町における農業機械化実験集落事業の調査研究などが、これに該当すると思われます。これらはいずれも高い評価を残したものですが、これに類する研究はいつしか頓座・中断し、コストダウンを図る土地利用型農業の展開を強く求められている今、総合化・体系化研究の意義とあり方が改めて問い直されているものと考えられます。

上記のような総合化・体系化研究の芽生えが育たなかった原因としては、高米価政策や

海外農産物への輸入依存政策等による農家の経営合理化意欲の減退、土地利用型農業の成立基盤の崩壊などがあげられます。しかし、研究サイドにも次のような多くの問題があったことは否めません。

すなわち、現地に導入した体系化技術は、自然立地条件や社会経済条件などを加味した地域区分の検討が不十分であったため、広く普及するには至りませんでした。学会を含め、総合化・体系化研究の業績を適正に評価する場が未成熟でした。総合化・体系化研究の手法が未確立でした。

この結果、技術分野では個別・部分技術の研究にとどまり、開発した技術を作物生産の向上を図る体系的技術として結合する視点を欠いていました。また、経営分野では計量経済、地域計画、構造分析等の研究手法の深化はみましたが、体系化技術を評価する手法の進展を欠いていました。管理者層は目的基礎研究と総合化・体系化研究を両立させる研究調整意識を欠いた等の問題がありました。

幸いに、現在は総合化・体系化研究を適正に評価する気運が醸成され、研究手法としても線型計画法やシミュレーション手法などが開発されています。育ててもらった病害分野の問題も十分に把握していない私ですが、上記のような過去の教訓を生かしながら、九州の畑作農業に関し総合化・体系化研究を担う畑作部の運営に当たりたいと考える昨今であります。

●これは、九州沖縄農業研究センターの畑作部長であった柚木利文氏が場ニュース No.29 (1984.12) に掲載したものです。その後、今日まで総合化の研究開発プロジェクト等が進められていますが、平成 17 年 3 月に策定された農林水産省の研究基本計画では、研究開発の基本方針として、①地域の条件に適合した技術体系の確立等、社会科学も含めた多くの分野を結集して進める研究が多いことから、研究面における各専門分野を超えた総合性を発揮することが重要である。②農林水産政策上重要な研究のうち、我が国の研究勢力を結集して総合的・体系的に推進すべき課題又は多大な研究資源と長期的視点が求められ個別の研究機関では担えない課題については、委託によるプロジェクト研究として農林水産省自らが企画・立案し、年度ごとの進行管理を行うことによって重点的に実施する。というような表現で示されており、総合的はあっても総合化は示されていません。つまり、網羅的な研究という印象を強く受けます。

なお、具体的な研究課題については、農業生産過程からの温室効果ガスの排出削減技術の開発において①生産管理技術の総合化による農耕地からのメタン・亜酸化窒素等の発生削減技術、栄養管理の精密化・新機能性飼料活用等による反芻家畜からのメタンの排出低減化技術を開発するとともに、農業施設等における省エネルギー化、新エネルギー利用技術を開発すること、温室効果ガスの総合収支の評価において②日本、アジア地域及び周辺海域の農林水産業における二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素等温室効果ガス収支を総合化するという 2 箇所にとどまっています。100 を超える課題数に占める位置づけは非常に弱いと言えます。どちらかというともまだ細分化による研究開発が主流ではないかという印象を受けます。

■総合化と倫理観

20 世紀の科学技術は細分化の科学技術といわれました。複雑な現実の問題はなかなかその実体がわかりにくいので、問題を細分化し、どんどん自由度を下げ、断定的な結果を求めて研究を進めてきました。その結果得られた大きな成果は語り尽くせないものがあり、今日の文明に反映されています。このような細分化研究は 21 世紀においても益々深めていかなければならないのは勿論です。しかし、これらの細分化研究を総合して実際の場合まで再構築する研究、すなわち総合化研究の充実が、21 世紀に残っていくための最重要課題の一つであり、細分化研究の成果をより人類や生物圈のために役立たせる道でもあります。しかし、総合化は著しく困難で難しい課題です。それは、総合化の対象である現実の問題が著しく自由度が大きな場であり、また、細分化研究によってわかったそれぞれの自由度に関する知見が非線型に絡み合うからです。

さて、気のせいでしょうか、バブル崩壊と機を一にして科学技術や社会の諸々の問題において、総合の難しさを痛感させられる出来事が続々と起こっています。科学技術においては、阪神淡路大震災 1 年前のロスアンゼルス大地震での高速道路の橋が落ちるのを見て専門家が日本では起こらないと豪語したのに阪神高速道路が倒れてしまったのが象徴的でした。素直に専門家は詫びておられましたが、そのころ驕りが蔓延していた我が国の状況から、決して専門家を責める気持ちにはなれませんでした。その後、もんじゅのナトリウム漏れ、動燃の火災、エイズ、牛乳工場の食中毒問題、BSE、SARS、鳥インフルエンザ、トラックなどなど、総合化の難しさをひしひしと感じました。私はこれらのことから、二つの衝撃を受けました。一つは社会のために役立てようと必死に努力した結果が裏目に出ることが頻繁に起こりうるということです。例えば、エイズの問題では、患者さんに、より有効な血液製剤を提供しようとして、膜技術を使った非加熱製剤を作ったのですが、総合的に見てさらに重要な因子を見逃し多くの人々に苦しみを与えてしまった、すなわち、より高度の総合化に達することができていなかったわけです。BSE の原因はいまだ確定しているわけではありませんが、飼料に加えた肉骨粉が原因ではないかといわれています。持続可能な社会を構築することが、21 世紀の課題です。そのためには資源、食資源の有効利用と廃棄物の削減が肝心です。廃棄物である肉骨粉を使ってより効果的な牛の育成を行うことは考えられる有効なひとつの選択肢であったと思います。ところが、別な、そのときには分からなかった因子があって、それまでをも含めた総合化ができなかったわけです。これらの別な因子に気付かなかった人を責めるのは簡単ですが、ここでは私達人類が予めそれらの因子を的確に把握できる域に達していないと謙虚に認めて、努力をしなければなりません。何らかの活動が行われると宇宙のエントロピー、すなわち無秩序さが必ず増大するというのが熱力学の第二法則です。これは、活動が好ましいことであっても残念ながら秩序の乱れも伴うことを意味しています。このことは先に述べたことを暗示しており、謙虚な気持ちにならざるをえません。第二は、SARS、鳥インフルエンザの衝撃です。この現象を目の当たりにして、歴史上に起こったという、忽然と文明や都市、国家が消滅するという事実がありうるのだという事を実感しました。特に、今日のようにグローバリゼーションが極度に進んだエントロピーの増大しやすい社会においては。

総合化は科学技術だけでは成功しません。生々しい当事者の心、社会や世界の人々の心、文化や宗教を含めた総合化がなされなければなりません。ここにおいて、総合化に倫理観が不可欠となるのです。残念で涙さえあふれてくるのですが、倫理観に悖る行為をしてしまい永年築き上げた名声や人生を一举に棒にふる、組織をすっかり駄目にしてしまう事例が多数報道されます。政治家、医療関係者、大学関係者、巨大企業、食品企業、さらに報道関係者そのものなどです。私にとっては、大学関係者、食品企業のそれは悲しい思いです。しかし、他人を非難することはできないかもしれません。倫理観喪失の事例がこのような常態であるとなると、私達個人個人が知らぬ間に倫理観に悖る行為をしているかもしれないのです。謙虚さが必要なことを痛感します。かつて、高い倫理観を持つことは人間にとっての目標でしたが、今やそれなしには世の中を渡っていけなくなった社会状況になったのではないのでしょうか。

●これは、松野隆一氏が不二財団時報（財団時報随想 vol 7_03 2004）に掲載されたものです。この内容はまさに水土の知で問題提起している考え方、理念と同様であると言えます。水、土、そして人が水土の知の基本であり、人には倫理観、歴史観、人生観、世界観という地域の風土が育てるもので形成されています。現代社会、地球環境問題に対して危惧を抱いている方々と共に総合化が必要と思います。

■ヒトは技術を総合化できるか

利己的な遺伝子をもつ生物のなかで、最も知恵を発達させたヒトという生物種は、調和のとれた技術の総合的な展開を21世紀には成し遂げるのでしょうか？ 問題の解決に向けて専門領域の自我の枠を乗り越えた相互の理解と、それに基づく個別技術の納得のいく総合化ができるのでしょうか？ 増え続ける人口を養う農業に求められているものは、個別専門的技術の開発にもまして、それらの技術の合理的な統合と総合化による地域農業環境管理のシステムづくりにあると言えます。ヒトの知恵の本質が評価されようとしています。

経済学者の T.R.Malthus が人口の幾何級数的増加と食料の算術級数的増加を指摘してから200年たったいま、世界の人口はまさに Malthus が指摘したとおりの増加を示しています。国連の予測によれば2050年には77億から111億の間になるとされ、少なくともこれまでのところは動物生態学でいうところの環境収容力（K）を限界とするロジスティック曲線に変化しつつあるという兆候すら明確ではありません。

増える人口を養う食料生産のための農業では、これが本来は太陽エネルギーに依存しているはずなのに、投入した化石エネルギーに見合うだけの収穫物を生産することすら、とうの昔からできていないのです。そして、コメ、ムギ、トウモロコシなどの主要穀物の生産性は、有史以来3倍程度ののびを見せてきたものの、最近の10年では頭打ちを示し、品種改良や栽培技術の改良も、もはやその限界にまで到達しつつあるとさえいわれています。

こうした問題に加えて、地球規模の環境問題をも考えるとき、21世紀を生き抜こうとするヒトにとって、当面する問題は限りなく厳しいものがあります。この地球で繁栄して

いるヒトという生物種が、その存続の可能性を問われているといえます。その問題の核心は、個別技術の開発に加えて、既存の技術の総合化の成否にあるように思えます。

害虫防除は、むかしは害虫駆除と言いました。いまでも殺虫剤一辺倒の場合は駆除という言葉が適切かもしれません。しかし、害虫防除の理念については 1965 年の FAO 主催の専門家会議が一つの転機となりました。「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、経済的被害を生じるレベル以下に害虫個体群を減少させ、かつその低いレベルに維持するための害虫管理システム」を総合的害虫管理 (Integrated Pest Management、IPM) と言います。この考え方の骨子は、次の 3 つの主要概念、つまり・複数の防除法の合理的統合、・経済的被害許容水準、及び・個体群管理システムからなります。しかし、その後この理念のなかに加えなければならない重要な一つ概念として・農業生態系内外への弊害・負荷の最小限化が提唱されています。したがって、今日的な IPM の理念は「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、農業生態系内外への弊害を最小限に抑えるよう配慮しつつ、経済的被害を生じるレベル以下に害虫個体群を減少させ、かつその低いレベルに維持するための害虫管理システム」である、ということになります。

害虫防除の分野における総合的害虫管理は、その考え方の提出からすでに 4 半世紀を経過しています。ところが驚いたことには、この考え方が極めて広く受け入れられてきたとはいうものの、実際場面で IPM システムが稼働しているという例は極めて少ないということです。それは、この考え方を現実の場面で実現するための具体的な優れた個別技術がまだ足りないということが一つの大きな理由と思われます。しかし、もう一つの理由は生態系管理に必要な技術の総合化そのものがうまくいってないことによるのでしょう。

害虫を管理するというその真髄は、ひとくちに言えば、作物を加害する「悪い虫」を、例えそこにも別段問題のない程度の「ただの虫」にしてしまうということであり、これは個別技術の総合化によって初めて可能となることです。個々の個別技術そのものが十分満足できるものであることはもちろんですが、これらの技術の組み合わせの総体がまた十分に満足できるものでなければ総合的害虫管理は絵に描いた餅になってしまいます。

害虫管理は農業環境管理の一断面です。そして、総合的害虫管理の考え方と、農業環境全体の管理の考え方とのあいだには重要な共通点があります。

農業生産物とその生産に携わるヒトを中心とし、それをめぐる環境を農業環境とするならば、これは農業・農村生態系そのものでもあります。一定の農産物を持続的に確保するための環境管理を農業環境管理とするならば、この管理システムの理想的な姿はまさに総合的害虫管理の考え方を拡大したところにあるといえるでしょう。これに総合的害虫管理と同様な言い方を当てると、「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、農業生態系内外への弊害を最小限抑えるよう配慮し、農村とその周辺の快適な環境を維持向上しつつ、一定の農産物を持続的に確保するための環境管理システム」ということができます。これは総合的農業環境管理 (Integrated Agro-environmental Management、IAEM) と呼ぶべきものです。IPM は当然ながら、IAEM の一つのサブシステムとして位置づけることとなります。

総合的農業環境管理も一つの理念であり、考え方である以上、その現実場面での適用は総合的害虫管理の場合と同様に、システムを構成する個別技術の内容とその統合の仕方によって成功が大きく左右されることになります。個別技術そのものの発展が大切であることはいうまでもありません。ここでいう個別技術は専門分野の異なる学門領域にまたがるものとなります。個々の科学技術者は自分の専門分野には通暁していても、別の分野の技術の評価と、それらとの組み合わせの功罪を分析することには大変弱いところです。つまり、専門的な技術は開発しても、それをさまざまな専門分野の技術と組み合わせてシステムとして稼働させるための総合技術については大変冷淡となっています。

そして、IPM におけると同様に、IAEM の場合にも、統合システムの成功の鍵はそれぞれの個別技術が現実の問題に対応しつついかにうまく統合できるかということ、完成度の高い総合化のノウハウにかかっているといえます。

これまで近代科学は、比較的狭い個別の専門領域の中で深く掘り下げることに専念してきました。そして、ともすれば全体の中での個別専門技術の位置づけがなおざりにされてきました。これから必要とされるものは全体の中でなにが重要かというところを正確に評価するための複合領域の科学です。今日の農業と環境をめぐるさまざまな問題を解決し、ヒトが 21 世紀を生き抜くには、特定分野の専門家に加えて複眼的な思考に優れた総合科学に強いジェネラリストが求められているといえます。

●これは、自然を視るエッセイの一つで、が作成しているホームページの一部です。
<http://homepage3.nifty.com/ytamaki/essay/integration.html>

これらの内容は、さまにこれまでの近代科学によりもたらされた個別専門技術を痛烈に批判していると思います。

■第3期科学技術基本計画策定への提言

平成 18 年 3 月に第 3 期科学技術基本計画が閣議決定され、平成 18 年度よりこの第 3 期基本計画に沿った新たな科学技術政策が推進されています。この策定にあたり、2004 年 10 月 18 日(社)日本工学アカデミーの政策委員会は以下のような提言をしています。

1. 第3期基本計画の位置付け

次期科学技術基本計画は、20 年ないし 30 年後のわが国と世界のあり方への長期的戦略の下に策定されるべきである。

1995 年末に科学技術基本法が制定され、以来、5 年を単位として策定されるわが国の基本計画は、政策の継続性に配慮しながらも、時代の趨勢や緊急の課題に対して重点的な施策を講じてきた。第 1 期においては、研究投資の遅れが顕著な大学等のアカデミアへのインフラ整備と研究助成に重点が置かれ、第 2 期においては、重点分野の設定とともにバブル後遺症の長引く経済不況の環境下、当面の経済立て直しへの重点的志向が顕著であった。

また、わが国の時代遅れとも言える科学技術推進システムの抜本的改革が総合科学技術会議主導で積極的に進められている。これらの施策は一部効果を発揮しつつあるものの十分とは言いがたい。その成果を確実なものとするためには、継続しての取り組みが不可欠である。

一方、21 世紀を迎えてのわが国は、国内外から未曾有の環境変化の影響を受けようとしている。内には、本格的な少子化と高齢化社会、危機的な国家財政、地方の過疎化と大都市への人口集中、雇用構造の変化と治安の悪化、産業競争力の維持への不安など。外には、早くも原油価格の高騰で顕在化してきたエネルギー資源問題、その根底をなす世界の人口増加と発展途上国の経済成長、時を置かず顕在化するであろう食料問題、加えて、民族、宗教問題の先鋭化による世界秩序の不安定化など、従来の物質・エネルギー依存型発展のシナリオでは解消できない問題に直面している。

国民の将来の安全と安心な生活を維持するためには、単に持続的発展を指向するだけではなく、これらに対処する問題解決型戦略を策定し、科学技術の総力を結集して、実行すべき転機である。

2. 科学技術政策の位置付け

科学技術政策は、従来以上に国家の戦略的政策として明確に位置付けて推進されねばならない。

基礎研究の振興、巨大プロジェクトの選択などは国家の政策課題であり、グローバリズムの進む国際関係の下で国益を重視しつつも国際的に貢献しうる政策を戦略的に遂行し、日本独自の国策と一体化した世界への発信が期待される。そのためには、産官学協力による縦割り行政を超えてのわが国の長期的ビジョンに基づく政策であらねばならず、司令塔としての総合科学技術会議は、さらに政府中枢との密接な連携など、国策と科学技術政策を恒常的に結びつける仕組みの強化が不可欠である。

また、とくに留意すべき点としては、科学技術の社会に与える影響への洞察が求められる趨勢を直視して、国策立案、決定のために常に精度の高い最新の科学技術情報の収集、解析と問題解決への活用が不可欠である。臨機応変な専門家ネットワーク組織など総合科学技術会議の機能を強化させる仕組みを構築し、国家政策立案、決定機能との密接な連携を可能にすることが焦眉の課題である。

3. 計画内容について

3.1. 目標系

目指すべき国の姿として、現行基本計画が掲げる三つの基本理念（・新しい知の創出、・知による活力の創出、・知による豊かな社会の創出）に加えて、・知の戦略的活用による国際的リーダーシップの発揮、を第四の基本理念として明示化したい。

この理念の下に目標系を構築することが望まれる。

3.1.1. 目標系 1：地球規模の制約の克服に貢献する

20 世紀後半、わが国はもの作り産業の発展により、奇跡的な経済成長を達成した。

しかし現実になりつつある 21 世紀の内外の諸課題に直面して、社会の確かな展望を国民に示すことができているであろうか。緊急の課題は地球規模の制約であり、その克服には持続可能性を目指しての技術（Sustainable Technology）を高度化しなければならない。

現基本計画の重点化施策は実質的な重点化にはほど遠く、切迫している環境の変化に対応しきれていない。国家政策として具体的包括課題をトップダウンで示し、その解決のために個別領域を超えた総合的、戦略的な取り組みを実行せねばならない。国民生活の基本的要素であるエネルギー資源や食料の多くを海外に依存しているわが国の脆弱な基盤の補強と改善は喫緊の課題であろう。また、国家百年の計である国土の保全や海洋開発、21 世紀の都市のあり方、荒廃した環境の修復も問われている。

その際、産業競争力強化を重視した従来の科学技術政策の価値観を超えて、エネルギー・水・食料等の課題への長期的対応が必須であり、わが国の持てる力で国際的リーダーシップを発揮することが肝要である。特に、専門家の間では既に石油ピーク（最大石油生産供給可能量）の到来が確かなものとされている石油資源問題に関しては、関係部署の総合的取り組みに対応した科学技術政策が焦眉の急である。

3.1.2. 目標系 2：わが国の包括的安全保障を正当に位置付ける

21 世紀の世界情勢は、先進国と途上国間の貧富差に起因する軋轢に加え、民族、宗教問題の先鋭化による秩序の不安定化が避けられない。加えて、資源をめぐる国際関係の緊張もますます高まることが予想される。

これまでわが国の高い経済力、特に国際産業競争力は国家の安全保障にも寄与してきており、その維持、強化には万全の対策を講ずべきである。しかし、混迷を深める 21 世紀の国際関係下において、わが国の国民の安全、安心な生活を確保するためには、従来以上に科学技術政策は国益を重視して、国際的リーダーシップ確立の政策の一環として推進されねばならない。即ち、国の基本的責務である国民の包括的安全保障の観点から、エネルギー開発、水・食料確保、防災防疫、海洋開発、宇宙開発、国防等の科学技術政策が検討され、遂行されることが肝要である。さらには、国家的な重要案件として領土に関わる問題などについて先端科学技術を駆使した継続的な調査・研究活動を強化する必要がある。

3.2. 手段系

わが国の科学技術の戦略的な推進に求められる手段系の中核は、高次のソフト技術によるハードの活用である。さらには目標に向けて多様な要素を総合化する新しい力量が問われている。それには限りある資源配分のための「評価システム」の適正化と科学技術の担い手である「人材」の育成が重要である。

3.2.1. 手段系 1：「知の統合システム」の形成を図る

日本工学アカデミーは、2002 ～ 2003 年にかけてわが国の製造業復活への道標として知的製造業という概念を提案した。その骨子は、わが国が得意とする固有技術のたゆまぬ改善に加えて、ノウハウや技能などの暗黙知も取り込んだ設計やシステム化など高次のソフト技術を駆使して、新たな社会ニーズに適応して発展させる知的経営を指向するものである。

同様なことが今後の科学技術についても重要であり、問題解決のためには個別知の切り売りではなく、「人文、社会系の知」を「自然、工学系の知」と統合した新たな知を創造し、活用できるシステムの構築と人材の育成を目指すべきである。そのためには既存の分野と概念に基づくシステムではなく、それらを融合あるいは組み合わせ、新たな視点で柔軟に研究・教育が行える体制の整備を進めねばならない。併せて国は新しい次元を拓く強烈な革新意識に溢れた創造的研究開発企業を適切に評価して、その育成・支援に注力すべきである。

●これらの提言を受けて、例えば東京大学の「知の構造化センター」では、①知の構造化：知識は幾何級数的に増大した。その結果、膨大な知識を把握することが極めて困難となってしまった。学問は領域を細分化することによって深化する。専門家は狭い領域を守備範囲とし、領域外の事柄については専門的判断を下すことができない。複雑化する問題を扱うためには、その全体像を把握することが必要であるが、それは個人の能力を超えてしまった。

②構造化とは、要素と要素の関係性を明らかにすることである。関係性には、階層性、因果性、関連性、類似性など様々な種類がある。知の構造化の目的に応じて相応しい関係性に着目し、分散する膨大な知識を関係付け、知識システムを構築することを知の構造化と呼ぶ。

③知の構造化の必要性：分散する膨大な知識を有効活用し、知的価値、経済的価値、社会的価値、文化的価値に結びつけるためには、知の全体像の把握が必要である。専門家は限られた領域の知識しか把握していないため、分野を超えて知識を活用するためには、知の構造化が不可欠となる。さらに、知を構造化し、可視化することで、知識を活用するための様々な操作が可能となる。

しかし、総論的な問題意識や視点はある程度整理されていますが、具体的に何をどのように行うかという提案までには至っていないと感じられます。

■水土の知 ―水土を巡る変化―

農業農村工学会が平成13年12月に定めたビジョン「新たなく水土の知」の定礎に向けて」においてもいち早く科学／技術の細分化の影響と問題提起を行っています。

わが国では工業の急速な発展に伴い、大量生産と大量消費が定着し、生活の便利さは向上した反面、物的生産の効率化が他の過程を顧みずに追求された結果、生産と消費に伴う大量廃棄が定着することとなった。農業においても大量の輸入地下資源エネルギーが消費され、また、大量の食料輸入は国土に窒素を蓄積させ、それを水圏に排出することで循環に重大な歪みを与えるようになった。国土経営の点から見ても、都市は自ら処理できない大量の廃棄物を産出し、その対処に困惑している。

循環を巡っても事態は変化してきた。生産から消費に至る仕組みが巨大化したのに伴い、人々が循環を認識できなくなっている。また、従来循環のうちに備わっていた浄化能力を質的にも量的にも超える廃棄が行われるようになり、循環の健全さが失われ、あるいは循

環それ自体が失われるようになった。

〈水土の知〉にも変化が訪れた。近代以降、細分化して要素還元し、分析して法則を発見する西欧近代科学の導入とともに、教育・研究体制が確立された。これにより知の様態が、観察と経験に基づき個人が体得するような技能から、専門化し普遍的な“科学／技術”に変化した。個々の科学は分科し、それぞれの対象と方法を確立した後に精緻になり、水準も向上した。技術もまた、このように高度化した近代科学に基礎づけられて質量ともに能力を高め、たとえば構造物や水理の詳細な解析による安全性・安定性の向上、多数の施設に対する制御能力の増強などを可能とした。その成果は、水の乏しい台地を新たに開削した水路により潤したり、大河川の氾濫原に機械排水を導入して次々に農地とすることなどに現れ、こうした成果が敗戦後の食料危機を克服し、その後の人口と生産力の増大に大いに貢献したことは周知の事実となっている。

ただこの過程で、〈水土の知〉も生産効率一辺倒に偏った社会全体の大きなうねりに抗することが困難となり、個別技術の充実のみを図る傾向が助長されたことは否めない。その結果、分科する科学の方法への過剰な依存が生じ、細分化された科学／技術の視点で地域全体を評価するようになり、本来水土の特性に応じた全体性を扱うことを特徴としてきた知が水土を見失う場面も生じてきた。たとえば水循環の仕組みにおいて従来の生態系に対する配慮が不十分であったり、また、灌漑用水や排水の施設の効率性を重視するあまり、独自の文化を担った地域用水の機能が後回しにされることが往々にして見られるようになった。

しかし、我々は比較的早く自覚的に、生産と生活の場の一体性から生活基盤の整備に取り組むとともに、農地から農村への対象の拡大、生態系への配慮、各種施策との連携など水土が本来持つ全体性の特徴に沿って方向転換を図ってきた。現在、このような地道な努力の方向を、時代が求めるようになっている。

参考文献

1. 総合工学の意義と役割、後藤俊夫、学術の動向、2008. 7
2. 総合化・体系化研究を考える、柚木利文（九州沖縄農業研究センターの畑作部長）、場ニュース No.29（1984.12）
3. 総合化と倫理観、松野隆一、不二財団時報（財団時報随想 vol 7_03 2004）
4. ヒトは技術を総合化できるか、里山環境生物学研究所
<http://homepage3.nifty.com/ytamaki/essay/integration.html>
5. 水土の知 ―水土を巡る変化―、農業土木学会、2001.12

2. 科学／技術の意味と方向

当たり前のことですが、科学と技術は違います。科学であれ技術であれ、まして「科学技術であってもいいじゃないか、言葉などの拘るのは時間の無駄である」という議論もあります。しかし、これは乱暴な議論であり、未来への道を誤らせるものです。科学には科学の、技術には技術の役割があります。科学も技術もその誕生をたどれば、人間と自然との関係に行き当たります。人間はヒトという生きものであり、自然の一部なのですから、自然の中での自分の位置づけを知りたくなり、私とは何だろうと考えるのは、まさに自然の行為です。それが「自然科学」です。

自然を知る、人間を知るという知の形成のためには、自然哲学の他に占星術や錬金術のような観測や実験もありました。後者は科学になるには普遍の概念が必要で、そのためには因果律とモデル化（理想化）が不可欠です。ある原因で起きる結果は決まっているという因果律は科学の基本です。科学の世界は常にモデル化されているということです。力学を初めて勉強したとき、摩擦はないものと言われて不思議な感じがしませんでしたか。自然界では摩擦ゼロなどという場所はありません。

一方、技術は、科学があろうが無かろうが、ヒトという生物の得意技として存在します。そもそもヒトは、技術を持つ、または道具を使う生きものです。特に芸術は他の生きものにはないもので、しかも人類は早くからもっていたものです。技術は、科学の理想化とはまったく異なり、身体感覚と連動した現実から生まれるものです。食べ物を入れる容器を見ても、中に物が入るという機能にとどまらず、持ったときの重さ、大きさ、手触りなど、それを作り続けるところから、単なる計算ではわからない真実が見えてくることもしばしばです。技術は、理想ではなく現実を見据えて生まれてきたわけで、科学とは性質が異なります。

■科学革命の歴史

科学は、まず自然観から始まります。ガリレオは、「宇宙という書物は数学の言葉で書かれている」と言い、実験を行い、それを理念化して法則的秩序を見出すという現代科学の基礎を作りました。さらにニュートンは、リンゴも月も同じ重力で動いているという万有引力、つまり天も地も同じ法則に支配されているという自然観を生み出しました。そして、デカルトの心身二元論により、天と地、つまり宇宙全体が機械のように動いている中で、人間も機械とみなせるという機械論的自然観が生まれました。このような経緯をみれば明らかのように、科学にとって重要なのは、どのような自然観を持つか、自然をどのような方法論で理解するかということです。つまり科学革命は、それまで自然を全体として受け止め、とくには石にも山にも生命を感じるというアメニズムも含めての有機体的自然観から機械論的自然観へという大転換だったのです。

第二の科学革命は、「科学の制度化」であり 19 世紀に始まります。19 世紀の半ば、身近なもので言うならば、ミシンと自転車生まれ、化学製品としてはレーヨンやセルロイドなどが作られ、現在の機械と化学物質に囲まれた生活への幕開けとなりました。このような技術の発展と科学の制度化が進行している最中に日本は明治維新を経験し、近代化・西欧化をめざしたのです。ヨーロッパで科学と技術が近づき始めたときに、それを導入し

たことになります。第1の革命を経ずに第2の革命から始まったところに日本の科学と技術のあり方の特異性があるのです。

そして、1930年代に入ると第3の科学革命が起こります。量子力学と相対性理論が生まれ、物質の性質をミクロのレベルで解明する物性論や高分子化学が生まれてきました。科学が技術の基本となって技術が工業製品につながっていった時代です。1930年代は第一次世界大戦と第二次世界大戦の間であり、この二つの大戦は科学技術が支えた戦争で、兵器開発が進められました。戦闘機、潜水艦、毒ガス、ジェット機、ロケット、レーダー、原子爆弾、ペニシリンなどがあげられます。

そして、今第4の科学革命の時だと思っています。それは「生命」、「循環」を基本にする「知」への移行という流れです。

科学技術という、何でも呑み込んでしまうお化けのような言葉から離れて、科学のこと、技術のことを丁寧に考えていく必要があります。科学技術基本計画にも21世紀は「生命の世紀」といわれるという言葉がありますが、それは生命への理解が深まることによって、医学の飛躍的な発展や食料・環境問題の解決に寄与することが期待できるという科学技術への期待です。しかし、今それ以上な大事なものは、生命、循環という課題を、私たちかせヒトという自然の一員として生きて行くにはそれをどのように捉えたらよいのかという視点に立つことではないでしょうか。

■生命、循環の時代

科学を活用することでその構造と機能は解明できますが、それだけでは生命は捉えきれません。それどころか、間違えて捉えてしまう危険があります。現代生物学は、地球上の生物はすべて細胞でできており、その中にあるDNAという物質を基本にして生きているという共通点を明らかにしました。これは、生きるものはすべて38億年ほど前に生まれた祖先を共有する仲間であるということを意味しています。生命科学はDNAを遺伝子という、最も小さな単位までに還元して捉え、遺伝子の働きを基礎に生物の構造と機能を知れば、生きもののことはすべて理解できると考えています。それは誤りです。生きものは全体の中の相互に関係した一つとして生きているのであり、全体的な捉え方をしなければなりません。日常生きものを見たときに気づく特徴は、多様、全体、関係、歴史などの性質です。

地球上には五千万種とも言われる多種多様な生命体が存在し、それぞれがその特徴を活かして暮らしています。人間も、ヒトという生物としてこの世に存在しているわけですから、その特徴を活かして文化・文明を築いてきたのですが、生きものの仲間であることを忘れてはなりません。

■科学／技術の持つ問題点

科学技術基本法の制定により21世紀初めに選ばれたテーマは、「ゲノム解析を進め、その中から病気や薬物反応に関係する遺伝子を探し、その遺伝子が作るタンパク質の構造や機能を解明する。それをもとに新薬開発をしたり、個々人に対応する予防、診断、新療法を確立してオーダーメイド医療を進める。この成果は機能性食品の開発にも応用できる」

というものです。これは一見すばらしいという印象を受けますが、人間を機械にみなして、壊れたら修理するという考え方は良いのでしょうか。生命を生命として捉え、それぞれの生命が循環の中で育まれている、また、予測不可能な世界が生きものにあるという考え方は見えてきません。機能性という特化した食品でも人間には吸収できる能力に限界があります。また機能性を追求すればするほど、健全な人間の抵抗力は低下します。むしろ、バイ菌を受け入れてたくましい人間をつくることの方が大切ではないでしょうか。

社会全体が科学／技術に振り回され、人間が主体となっていないとしか思えない価値観で動いているのではないのでしょうか。

文化や伝統という言葉は、科学や技術と何の関係もないように見えますが、自然観、生命観、人間観が相互に密接に関係しています。人間が科学／技術や社会システムに合わせるのではなく、人間、生命、循環にあった科学／技術や社会システムを作ることが大切です。

参考文献

ゲノムが語る生命、中村桂子、集英社新書、pp23-66、2004.11

第2章 科学／技術的思考の基礎

1. 科学的思考の大切さ

いろいろな意味で困難な時代になると予想されている 21 世紀には、科学／技術の役割とその正しい選択がますます重要になります。すでに環境問題、資源エネルギー問題、人口・食料問題、生命倫理、高齢化社会の諸問題など従来の枠を超えた重要な問題が山積しています。

こうした時代の中にあり、科学は正しい推論や直感を通して、物事の本質をつかむ力と正しい判断力を養ううえで有効です。関係するさまざまな現象と物事の相互関係を知り、正しく分析し、その結果を判断するためには、観察データから推論によって仮説を出し、それを検証していくという科学的思考が要求されます。さらに、全体を直ちに把握するような直感的思考も必要です。ここで大切なことは、推論、直感、判断力、仮説の提案などの各場面において最も大きな役割を果たすのが自然観、生命観、人間観という、その人が育った地域、そして人類の歴史・文化まで通じる基本的な姿勢なのです。

ところが、実際には、多くの人は枝葉末節にとらわれいると言ってよいのではないでしょうか。このことは、科学研究にも、技術開発にも共通です。

■文理融合と知の総合化

最近、「知の総合化」ということが言われています。これは、文科系の文化と理科系の文化の間に対話が無く、断絶状態を問題視していることから生まれています。この言葉は、1959 年にイギリスの C・スノーによって初めていわれたものです。近年、地球環境問題への対応など知の総合化が求められています。理科系の者にとってもいまや政治、経済、法律、倫理、文化などの文科系学問を無視することはできません。逆に文科系の者にとっても基本的な科学／技術の知識と考え方の習得は必要です。

■科学とは

科学にはいくつかの大切な任務があります。まず、いろいろな現象を論理的にきちんと説明することがあげられます。これは通常「解明」と呼ばれる分野です。次に自然観、生命観、人間観という人間の基本的な姿勢をもとにして、役立てられる技術の分野を見出すこと、そして、科学の知識を技術として、道具として応用することに結びつけることにあります。

科学の思考プロセスは、観察→仮説→検証という原理があります。次に科学的思考には正しい推論というものがあります。推論とは、「既知の事実を考察することによって、未知の事実を発見することです。基本的な推論には、「演繹」、「帰納」、「推定」の三つがあります。そして、そのほか広義の推論には、類比（アナロジー）、直感、観念連合なども含まれます。

子供は何回かの経験を通して事実を知識として学んでいきます。たとえば実際の経験から、水に熱を加えるとまもなく沸騰するという知識を学びます。それがガスであれ、炭火であれ、法則を理解します。大切なのは経験です。知識が言葉だけの観念的なものであれ

ば科学的思考プロセスの最初である「観察」自体がないのです。ろうそくに火をともしと燃えるという教えだけでは科学になりません。フェデラーの「ろうそくの科学」が生まれたのも、実際にろうそくに火をともしてみて、いろいろな観察と推論を行ったからです。

※フェデラーの「ろうそくの科学」

ろうそくが燃えるというひとつの現象を、1860年科学者ファラデーは幾つかの化学現象として実験的にこれを分析し、6回に分けて講義しました。受講生は一般市民でした。ファラデー自身もかつては製本店員から独学で化学を学び、電気分解、塩素の液化等幾つかの歴史的な大発見を成し遂げた著名な英国科学者です。ろうそくは個体であるのに、燃えれば何も残りません。ろうそくは溶けてその溶液は皿形を作ります。皿の周囲が固いのは、空気の流れによる冷却です。中央部は溶液池です。この液が芯を毛細管現象で上っていきます。そして熱により燃焼し、気体になって炎となります。炎の熱は空気と接した所が一番熱くなります。炎が光を発するのは炎の中に個体のままの炭素が光っているからです。炎と空気との接触が進むと光らなくなります。炭素がなくなるからです。その炎を冷却すれば水が凝固します。燃焼によって水が出来ます。ろうそくの炎の中には水素があります。水素と空気の酸素が化学変化を起して水が来ています。そしてまた、ろうそくの炎の中には炭酸ガスも発生しています。炭酸ガスは、炭素が酸素と化学変化を起しているからです。空気とは酸素と窒素が容積比1対4の混合物です。炭酸ガス発生の検出方法をそのまま用いて、人間の体内でも燃焼が行われていることを立証できます。人間は酸素を吸って、炭酸ガスを吐き出しています。吐き出したガスは炭酸ガスであることは、生石灰が白濁することによって確認できます。だからこそ、新鮮な空気の流通が良くない部屋の人間は酸素の代わりに炭酸ガスを吸っていることが理解できます。空気はきれいでなければならない。

参考文献 <http://www.eva.hi-ho.ne.jp/nishikawasan/> 旅スケッチと読書ノート

2. 思考過程の基本

■三段論法

三段論法（さんだんろんぼう、ギリシア語：syllogismos）は、「大前提」「小前提」「結論」の三つの命題から成る推論規則です。アリストテレスによって整備された。「大前提」に法則的に導き出される一般的な原理を置き、「小前提」に目前の具体的な事実を置き、「結論」を導き出します。その三段論法の例を示します。

大前提：すべての人間は死すべきものである。

小前提：ソクラテスは人間である。

結論：ゆえにソクラテスは死すべきものである。

この三段論法は、二つの前提が真ならば、結論は必ず真になるという意味で「演繹」です。演繹とは、一般的な前提あるいは法則から特殊な事業を導き出すことです。対義語は帰納法です。帰納の導出関係は蓋然的に正しいのみだが、演繹の導出関係は前提を認めるなら絶対的、必然的に正しいことになります。したがって実際上は、前提が間違っていたり適切でない前提が用いられれば、誤った結論が導き出されることがあります。

例えば、物体が落下するとき、重いものが早く落ちるのはかつての常識でした。これに対してくわしい実験からガリレオ・ガリレイは物体の落下時間が質量に比例するものではないことを示しました。これは帰納的な判断です。また、ここから彼は物体の落下速度は質量にかかわらず一定だろうと判断しました。これは予想です。その後、様々な実験や研究から物体がそれに従うべき法則として万有引力の法則や運動の法則が設定されました。これが認められた後は、物体を落下させる実験を行わなくても、その落下時間は計算できるし、全く異なる条件下、たとえば金星で同じ実験を行った場合の結果についても値を得られます。これが演繹的な判断です。仮に実験結果が異なった値を取れば、実験の失敗を疑うか、そこに差を与える他の要素を探求することになります。なぜならば、その実験の範囲では、前提とする法則が正しいものと判断できた上での結果だからです。

演繹においては、結論は前提に含まれており、いわば言い換えているわけです。したがってこの意味の情報量の増大はありません。

科学的「説明」というのは、基本的には二つの前提を説明項として、被説明項である結論を推論するという三段論法の形式をとります。この際、ときに見かけられる「循環論法」を排除しなければなりません。循環論法とは、被説明項（結論）を説明項（前提）に入れるという誤りで、

食品を冷蔵庫に入れると長持ちする。

この食品を冷蔵庫に入れる。

この食品は長持ちする。

という三段論法を例に上げると、

この食品は長持ちしているが、どうしてだろう。冷蔵庫に入っていたからだろう。

本当に冷蔵庫に入っていたのかね。

だって長持ちしているじゃないか。

というようなことになります。

【良い例】…正しい用例

10 円は銅貨である

銅貨は金属である

ゆえに 10 円は金属である

【悪い例】…正しくない用例

AはBと仲が良い

BはCと仲が良い

ゆえにAはCと仲が良い

■演繹の創造性

演繹というのは、言い換え、つまり同語反復という意味で、確かに新しい情報の増大はありません。しかし、だからといって創造性がないとは決していえません。数学の演繹を考えると、演繹の結論が正しければそれは別の意味で情報量の増大とみなせます。

また、演繹には新しい組み合わせを創るという創造性もあります。たとえば、

工業生産は安定大量生産である。

農業生産を安定大量生産にしたい。

農業を工業化すればよい。

これを先の演繹形式にあてはめるには、小前提と結論を入れ替えて、A＝工業生産、B＝農業生産、C＝安定大量生産と考えます。この場合の結論「農業生産を安定大量生産にしたい」の真偽は、小前提「農業を工業化すればよい」の真偽にかかってきます。つまり、これを実現するには植物工場の成否にかかってきます。

しかし、さらに考えると、植物工場の成否には、生産効率自体が問われるのは当然ですが、エネルギー浪費型に対する対策のあり方、環境保全に対する影響度など安定大量生産とは別な論点が生まれてきます。つまり、

農業生産の形態は循環を促進し、環境保全に貢献する産業である。

工業生産を環境負荷の少ない産業にしたい

工業を農業（循環）化すればよい

という発想も生まれてきます。なお、したい、すればよい、可能であるという叙法は普通の三段論法には入ってきません。「農業を工業化すればよい」を小前提とする演繹ですが、ここでは「推定」が入ってきます。この場合、農業を工業化するための技術的可能性が問われるのは当然ですが、環境保全、省エネルギーなどの視点からの推定の妥当性も問われてきます。つまり推定にはあらゆる可能性を探るという創造性を促す要素があります。

なお、演繹法の欠点は、正しくない、あるいは使用するのが適切ではない前提を用いてしまうことがあることです。

先入観や偏見に基づいた間違った前提を適用してしまう場合や、ある限定された範囲でのみ正しい前提を全体に適用してしまうような場合などがそれにあたります。

■ 帰納

帰納というのは、いくつかの具体的な観察事実から共通点を探し、一般的な法則を導くことです。この意味で、特殊事実から普遍的な知識を導入する推論とすることができます。

ガス栓をひねるとヤカンの水はまもなく沸騰した。

炭火でヤカンの水を熱してもまもなく沸騰した。

ガス栓と炭火は水を加熱する。

水に熱を加えるといずれ沸騰するだろう。

帰納法とは、特定の性質（沸騰する）をもつ事物（ガス栓、炭火、・・・）を一般化する推論という理解ができます。帰納法とは、特定の性質を持つ事物を一般化する推論ということもできます。帰納と三段論法との関係をみますと、帰納とは三段論法の小前提と結論から大前提を導く推論ということもできます。帰納を行うときは、その性質を持つ事物に対して、前もって一定の概念の枠組みが与えられていることも意味しています。

帰納は、再現性のある実験による検証とか、事物を一般的に考える抽象化において使われる極めて重要な推論です。これにより一般化された法則なり規則なりが新しく得られることから、情報量が増大します。問題は、観察の事例数が少ない場合に陥る「誤り」が生じることです。より正確な帰納のためには、事例を数多く枚挙しなければなりません。あるいは確率的な判断が必要となります。それを防ぎ、データの有効性を検証するため、統

計学にある有意性などがこれに対応することになります。

なお、帰納法の欠点は、全事例を網羅するか、それと同等の論理証明をしない限り、帰納した結論(帰結)は必ずしも確実な真理ではなく、ある程度の確率を持ったものに過ぎないことです。(故に帰納法は帰納的推理ともいいます)

事例の集合が不完全である限り、いくら事例をあげても、それは正しい確率が高いものにしかありません。

全知全能ではない人間の認識の限界が帰納法の欠点となります。

■推定

推定は、帰納のように事物を一般化するのではなく、特定の事物がもつ性質を一般化するということになります。

食品を冷蔵庫に入れると長持ちする

この食品は長持ちしている

この食品は冷蔵庫に入っていたのではないか

という例の場合、冷蔵庫はもともと食品を保存するためのものであるにしても、冷蔵庫の性質自体は食品の置き場、食品を冷やす、凍らす、乾燥させるなどいくつかの性質を持っています。ところが、長持ちしているという一つの性質から、いろいろな性質をもつ冷蔵庫を判断するわけですから、性質の一般化につながってきます。つまり、性質の帰納です。推定は帰納と同じように性質の事例が少ない場合には事実を誤る恐れが強いのです。たとえば、食品が長持ちしているだけでは、冷蔵庫に入っていたかどうかを確信することはできません。もともと腐りにくい食品であったかもしれませんが、多量の抗菌剤が含まれていたかもしれません。

風邪をひけば熱が出る

いま熱が出ている

風邪を引いたのではないか

という推論において、風邪には発熱のほかにはだるさ、咳、扁桃腺の腫れなどの症状が併発するはずですが、さらに発熱症状は肺炎、はしかなどのほかの多くの病気においても起こります。推定は、発見的な思考において類比(アナロジー)や直感とともに、重要な役割を果たすことが多いのです。発見的な思考というのは、学習者が主体的な思考によって与えられた情報を再構成し、新しい関係や構造を見出すような学習方法とされています。

驚くべきあるいは不可解な事実Bがある。

しかし、もしAならばBである。

したがって、Aは真ではないか。

ここでは、先の推定の三段論法における大前提と小前提が入れ替わっています。これによって、推定が発見的な推論であることが、よりはっきりします。

演繹、帰納、推定という思考過程は、それと気がつかなくても、日常的に絶え間なく現れています。子供は、ケーキは甘くておいしいものだという知識を持っています(帰納)。おやつにあるケーキが出されると、その味を予測することができます(演繹)。あるいは見かけがよくわからないお菓子がケーキのように甘いと、それをケーキだと判断します(推

定)。

■類比

類比（アナロジー）も重要な推論です。これは、いくつかの類似点に基づいて、一方の事物が持っているある性質を、他の事物に及ぼすことです。最近問題となっている環境ホルモンの場合は、女性ホルモンと同じように働く作用によって、いろいろな動物に生殖障害を起こすことから、人間にも危害が加わるのではないかと恐れられています。本来は、生殖障害を起こした動物と人間は、別のカテゴリーに属するものですが、同じ動物種に属しているという意味で似ています。

環境ホルモンが動物にある種の生殖障害を起こした。

人間とその動物は同じ動物種に属する。

環境ホルモンは、人間にもある種の生殖障害を起こすのではないか。

この類比は、帰納と推定の合成と考えられます。まず帰納がいくつかの類似点を枚挙することによって全体に「似ている」と結論する作業にあたります。これまでの多くの実験例から、人間と動物とは同じ動物種として、一般に化学物質に対して多かれ少なかれ同じように反応することがわかっています。環境ホルモンがいろいろな動物に生殖障害を起こすことが知られていますが、人体実験はできないので、因果関係を確認することは難しいのです。そこで、推定になりますが、人間も環境ホルモンによって同じような生殖障害を起こすのではないか、という推論を行うことになります。

■観念連合

私達が意識的にも無意識的にも使っていると思われる広義の推論には、さまざまな「観念連合」があります。ここで観念連合というのは、かつて感じた強い印象、親近性、あるいは習慣によって結合した二つの事物の間に起きます。この二つの事物は何らかの接近、類比、因果関係にある場合が多くなります。連想やイメージ化、夢の多くは典型的な観念連合であり、個人の日常的な思考の多くを占めています。

この観念連合の特徴は、それが単なる思いつきではなく、習慣になった場合は次に示すように「記号」を形成します。

例えば、条件反射という観念連合を考えてみましょう。「パブロフの犬」では、犬に肉片を与える直前の条件刺激としてベルの音を聞かせる。これを何回か繰り返すと、犬はベルの音を聞いただけで唾液を分泌します。このメカニズムは、何回か与えられたベルの音と肉片の組み合わせからの帰納によって両者が連合し、ベルの音が肉片の記号となったということです。こうして条件反射の場合には、帰納という推論によって、唾液を分泌する習慣が作られたと考えることができます。

■直感的思考

科学においては直感的思考も非常に大切です。実際これまで述べてきた分析的思考と直感的思考の両者が有機的に組み合わさるとき、新しい考えや飛躍したアイデアが生まれやすくなります。

分析的思考は、論理的な推論を一步一步推し進めるものであり、そのプロセスは普通はきちんと意識されています。それに対して直感は、意識的には論理的思考を利用せずに、すばやく問題の本質、つまりその意味とか重要性、構造やからくりなどを把握するような性質のものです。その場合、直感する人はそのプロセスを意識しませんし、どのようにしてその結論に到達したかを十分説明できません。問題全体に対するある種の感知によっているとしか、言いようがないのです。

しかし、直感といいましても無から有を生み出すようなものではありません。直感が推論としては不完全に見えることがあっても、その不完全さは意識には省略された推論を補うことによって、完全になると考えるのが自然でしょう。

正しい直感が生まれるためにはまず、その問題に関わる知識に精通していることが必要です。科学者がある問題を長い間にわたって集中的に考えていて、散歩に出かけたときなどに、ふとインスピレーションが湧くことがあります。これが正しい直感になる場合が多くあります。よく知らない問題に対して単なる思いつきは幼稚であり、ほとんどの場合に間違えます。

直感においては、ある瞬間に霧が晴れたように、物事がはつきりしてくるよう感じられるものです。絶対に正しいとは断言できないが、何かある一般的な観念をつかんだという感じがするものです。このような一般的な観念をつかむような推論は、先に説明したように帰納と推定、あるいはそれらの組み合わせのアナロジーしかありません。

このようなことから、直感の基本的論理は

直感：（無意識的）帰納 → 推定

ということになります。帰納のところで精通した知識が求められ、その上でそれぞれの知識の統合としての推定が直感の要となります。

■科学と測定

科学はもともと「常識」から発達したものです。たとえば、星の動きを研究する天文学は、いつ種をまくか、いつ収穫するかといった農耕上の必要性和、航海上や時間を知る必要性から発達しました。常識から科学への移行は、常識の日常性や実用性から、その素材が切り離されて研究されるときに始まります。光や色は日常の感覚的利用から離れて、光とは何か、色とは何か、という問いに移ったときに科学になります。とはいえ、常識と科学の推論の基本は、変わりません。大きな違いがあるのは、推論の「複雑性」と、「質と量」の違いの二点です。但し、すべての科学が量的とは限りません。例えば観察のみによる生物学は定性的であり、分類学がその典型です。また膨大な生物の観察から、推論の繰り返しによって到達した初期の進化論は、突然変異と自然選択による進化という質的な一般法則を樹立しました。観察段階にある生態学や、動物行動学なども質的です。さらに農学のかなりの部分は、質的です。

水は加熱するとことにより沸騰するとか、冷やした食品は腐りにくいとか、自由な物体はらっかするとか、いずれも単純なヨ苦節的に知覚でき、あるいは推論できる現象です。夏は冬よりも暑いとか、金属は木片よりも重いといった常識についても同様です。ところが科学において課題となるのはこのような単純な関係ばかりではありません。

科学の細分化、専門分化が進むにつれて、非常に込み入った因果関係を含む推論を必要

としてきます。さらに単純な問題についても、水はいかなる気圧のもとで何度で沸騰するのか、与えられた食品を何度で保存すると何日ぐらいもつのか、といった「定量性」が要求されます。科学が定量的性質を獲得するためにもっとも大切なのが「測定」です。測定によって初めてデータの客観性と再現性が保証されるからです。測定の精度が低い場合には、データのバラツキが大きいので、正しい推論のために統計的処理が必要になります。精度が上がればあがるほど、科学は緻密になっていきます。

しかし、科学の追究における最大の課題は、より明確な因果関係を導き出すために多く用いられている手法である「制御された環境下での測定」が農学等を扱うフィールドサイエンスにおいては、誤った推論を招く恐れが強いことです。温度、湿度、日照、地温、微生物、風力、地下水位、降雨、肥料など様々な制御を行い測定したデータが、現実の自然環境下では、異なるデータになることが大いにあり得るのです。

その年の気象条件の状況、経年変化に伴う土壌の変動要素、周辺環境の変動などなかなか制御された環境下でその測定が有効な手段となりえない場合が多いのです。最近有機農業の有用性を把握するために試験ほ場を設定しようとした時に、それが作り出せないという事実と直面した研究者がいました。なぜかと言えば、有機農業の有用性を示すには、それと比較できる対照ほ場が必要になります。しかし、現在の既存の農地は、何らかの形で化学肥料や農薬に「汚染」されているので、どのような状態にある農地を基準とするのか悩みました。これから山を切り開き新たな農地にするのか、あるいは既存の農地をさらに数年程度利用した後それを基準とするのか、いずれにしても有機農業の解明には相当な時間を要することが判明したのです。

このようなことから、科学の基本は検証（実証）であると考えられます。

■実証と反証

科学というと多くの人は「実証主義」という言葉を思い出すと思います。これは先の観察→仮説→検証のプロセスにはかなりません。例えば「植物の葉は緑色である」という言明があるとします。子供がいくつかの観察を繰り返した結果、どの植物の葉も緑色脱他場合、帰納によってこれが一般法則であると仮定されます。これが仮説設定です。この仮説を実証するために、さらにいくつかの観察を付け加えると、これが検証になります。

付け加えられた観察の結果、やはり植物の葉が緑色であった場合には、仮説は検証されたことになり、一般法則として成り立ちます。これは誰が追試しても同じことから、客観性を持つことになります。

ところで、たまたま子供が晩秋の紅葉をみて、植物の葉は緑色であるという言明が一般法則ではないことを知ったとします。これを「反証」といいます。ただし、注意すべきことは反証されたからと言って一般法則が誤りであると断定することは必ずしもできません。むしろ、大体は正しいという場合が多いのです。ほとんどの場合葉は緑色であり、紅葉は特殊ケースにすぎないことから、一般法則は成り立つと考えられます。

同じように、相対性理論の登場により宇宙の果てでニュートン力学が反証されたとしても、あるいは量子力学によって原子レベルでニュートン力学が反証されたとしてもニュートン力学が間違っているとは言えません。私達の日常生活では、ほとんどニュートン力

学で十分なのです。反証というのは、その法則がどの範囲で正しく、どの範囲からは正しくないかをはっきりさせることが主要な役割となっています。

■要素還元主義

科学／技術の細分化を進めてきた方法のものが、この要素還元主義です。これは、対象を分析するのに、全体を細かく部分に分解して行くやり方です。対象を全体的に観察するだけではよくわからないとき、誰でも中身を見ようとします。

物理学において物質を調べる場合には、分子や原子、あるいは素粒子のレベルまで分解します。生物学においても、生物は器官、組織、細胞、細胞内小器官、生体高分子というように、細かく分析されていきます。そのたびに、科学はより精密になっていきました。

この要素還元法の第1の利点は、細かく分解することにより、対象のより精密な測定ができることにあります。物理学、化学、そして生物学の大部分は、このようにして進歩してきたと言えます。

しかし、この方法の問題は既に示したように様々なところで生まれています。科学は人類に大きな恩恵を与えてきました。しかしながら、その人類も食糧、環境、エネルギー問題など地球的規模の問題に直面し存続そのものが脅かされてきています。これまで科学は、要素還元的手法により大きな成功を収めてきました。それは「研究対象を構成する要素に分解して、その性質を解明し要素の特性や機能を重ねて全体を再構築することによって対象を理解する」という手法ということになります。この手法は、結果的に自然や社会は究極的には単純な法則に支配され「線形的な世界」であるとする機械論的世界観をもたらしました。そして、この法則の解明が科学の目的であると考えられてきたのです。

しかし、近年、要素に分解するだけでは理解できない現象が存在することが明らかになってきました。例えば、ヨーク博士（メリーランド大学）は、天体の運動から水や空気の流れや音声波形に至るまで、きわめて複雑で予測不可能な変動が存在することを発見して、これをカオスと名付けました。また、マンデブロー博士（エール大学）は海岸線、植物など複雑な幾何学的形に共通に表れる自己相似性をフラクタルと名付け、その普遍的な性質を明らかにしました。このカオスやフラクタルといった非線形概念の形成を契機として、自然は非線形性が本質であって、多種・多様・多数の要素が相互に作用して変化し続ける複雑なシステムであることが分かり始めてきたのです。

3. 科学的思考の整理

■人文諸科学は科学か

・文科系の学問も、演繹、帰納、推定、類比、観念連合、直感は自然科学と同じ推論であり、全く共通です。特に社会科学は、多く見受けられます。何らかの仮説に基づいて社会調査を行い、統計的处理や理論的解析によってモデルをつくります。さらに、それを予測、計画、管理に役立てていきます。この方法は、オペレーションズ・リサーチの分野でとくに著しい進展を見せています。経済学の場合のように一般的な理論をつくって、いろいろ応用することさえ行われている。社会科学以外にも、心理学、言語学、歴史学、考古学なども同様に説明できます。

つまり、自然科学と違いがあるのは、検証可能かどうかという点と、可能な場合に定量性があるかどうかです。実際、文科系の諸学問においては、仮説や解釈結果が検証も反証も不可能で、仮説のままになっているケースが多くあります。また検証可能であるにしても、社会学における仮説のように、検証までに非常に時間がかかる場合が少なくありません。経済学でも、検証まで時間がかかりかかったり、予測の定量性に欠けることが多いのです。人間が行動したり判断したりする場合には、一般に検証の結果を待つことはできません。人間は何が正しいかわからないときは、またわかっている場合でも、自分の信念や気分で行動します。この意味で、社会科学の検証の問題には限界があります。

社会科学が対象とするのは、多数の人間が集まる社会であり、社会のなかの人間の行動です。社会のなかの人間は、様々な欲求と限界を持ち、お互いにさまざまな形で関係し、様々な意志決定を行っています。この人間の集まりである社会は、さまた複雑系をなしています。

■科学の原理

科学には、まず帰納を主体とした検証プロセスがあります。

観察 → 仮説 → 検証

帰納とは、いろいろな事例から共通な原理を「抽象化」という重要な操作を意味します。初期の科学はみな観察から出発しました。しかし、もし科学が単なる観察による帰納だけからなるとしたら、その科学の多くは定性的段階にとどまってしまうでしょう。しかし、観察が制御された条件下における定量的な実験、すなわち測定に置き換えられた場合には、量的な法則をつかむことができます。そして、その法則から定量的な予測を行うことができます。「植物の葉は緑色である」という定性的な言明が、定量的な科学になるためには、「植物の葉はクロロフィルという色素により光合成を行う」という理論と、それに関連した実験が必要です。同じように、「自由な物体は落果する」というのは常識ですが、物体が何秒後に地上に落下するかという定量的な予測を行うためには、測定を通して運動力学の理論を構築する必要があります。実験結果からの推論によって得られた理論法則が、「理論的仮説」になります。この理論からさらなる演繹によって、検証可能な予測を行うことができます。このため、科学には

理論 → 予測 → 検証

という演繹を主体としたプロセスがあることがわかります。

実際には、実証を主体とした帰納的科学と、理論を主体とした演繹的科学の二つは、一緒

になって科学を進歩させてきました。最初に仮説を立てるときには、主に観察や実験からの帰納や推定が関わってきます。次に、立てられたモデル（理論的仮説）から演繹された予測結果について、実験によって検証を行うことになります。もし、実験結果が予測と外れる場合には、モデルを修正する必要があります。このプロセスを繰り返すことによって、最終的に正しい理論が得られます。

諸科学における検証方法

分野	検証方法	推論
自然科学	観察→仮説→検証（帰納科学） 理論→予測→検証（演繹科学） 仮説→演繹→検証（仮説演繹）	演繹、帰納 推定、類比 観念連合
社会科学	半定量的な自然科学的方法 解釈→仮説→検証 仮説→反証→新仮説（弁証法）	直感
人文科学	観察→記述→解釈 知的概念→実際の意味→デルファイ法	

※知的概念：対象が実際の意味を持つと考えられる効果の概念

参考文献

知の総合化への思考法、高辻正基、p29-66、東海大学出版会、2000.3

第3章 科学の総合化事例

現代は異常気象、地震、地球温暖化、エネルギー資源の枯渇など、自然環境、地球環境に係わる課題が顕著になってきています。しかし、数学、物理学、化学を学ぶようにこれらの分野に取り組もうとしても壁にぶつかってしまいます。その理由は、自然環境、地球環境に係わる科学は、他とは異なり「総合化」して理解しなければならないからです。

この総合化とは何かと言え、複数の構成要素からなり、それぞれが相互に作用する現象を全体として把握することです。400年ほど前にデカルトは物を切り刻んでミクロに分析する方法を提案し、要素還元法として現代科学を飛躍的に発展させました。しかし、自然環境、地球環境問題になると要素還元法では解決できません。また、これらの分野は元に戻ることはできない、非可逆性をもっており、やり直しのできない分野です。夥しい数の偶然が重なり、人類を含むほ乳類が生存できる環境が出現したのです。自然に対しての畏敬の念、自然を畏れ、敬う、そして感謝する気持ちが科学の総合化の基本にあると思います。

そのため、科学の総合化を考える具体的な事例について、世界を動かした科学者の取り組みんだことを参考に紹介します。

1. ダーウィンの種の起源

生物は絶え間なく繁殖を続けながら個体の数を増やしていきます。その結果、数が増えすぎて過密な状態に陥り、食べ物や住み家の奪い合いが生じます。いわゆる生存競争がどの種にも起きるのです。

また生物を取り巻く環境が変わると、その変化に適応して生き延びるものと死に絶えるものとが現れます。新しい環境に合わせることに成功した個体は生き残り、そうでないものは死滅します。

こういったプロセスを何世代にもわたって続けていくと、周囲の環境に適合したものが相対的に多く残り、全体の配置が変化したように見えます。これが、ダーウィンが『種の起原』で提唱した「自然選択説」のアイデアです。

たとえば、堅い樹木しか生えていない島では、それに適応したくちばしを持つ鳥が多く見られるという観察結果があります。これをダーウィンは、「適者生存」という言葉で表現しました。

すなわち、与えられた環境にあった生物は保存され、その環境に不利な生物は消えてゆくのです。そして、この適者生存のプロセスが長年つづくと、時間の経過とともに環境の変化に応じて、新しい種が生まれる可能性が生じる。ダーウィンの言葉で言うならば、「自然界に存在する自然選択が生物進化の原理」ということになります。

彼は35歳の時にこのアイデアを原稿にまとめ、友人のライエルからアドバイスを受けながら書き足していきました。49歳で、同じような自然選択の考えを持つ生物学者のウォレスとともにロンドンの学会で発表しました。『種の起原』が刊行されたのはその翌年のことです。

【ダーウィンの教訓】

真にクリエイティブな業績を出した学者は、当代の学会から受け入れられないことが多くあります。あまりに革新的であるため、専門家ですら理解を超えてしまうからです。そのような理解にも落ち込まず研究を遂行するには、それなりのサポーターが必要です。ダーウィンの場合にも同様に、先述したように、親しい友人で学者でもあったトーマス・ハクスレー、チャールズ・ライエル、ジョゼフ・フッカーらが彼の研究を高く評価し、世に出すための助言を惜しまなかったのです。懐疑性のダーウィンは、友人によって随分と救われたのです。

また、体がそれほど健康ではなかったダーウィンが高齢まで知的活動を続け、膨大な量の本を刊行できたのは、妻のエマが献身的に支えたためとも言われています。もともと彼女はイギリスの陶磁器会社ウェッジウッドの創業者の孫であり、多額の持参金を持って嫁いできました。彼らの助けがなければ「種の起源」の出版は、さらに遅れたかも知れません。

孤独との戦いを勝ち抜いた強者たちでした。産みの苦しみのプロセスでスーパー科学者たちを支えたサポーターがいたことは、科学史の上でもっと知られて良いことでしょう。創造力を最大限に発揮する科学は、決して一人では成就しないのです。

2. ファーブルの昆虫記

ファーブルが求めているのは昆虫に関する学術論文の執筆ではなく、昆虫の生の動態を描くことでした。学会に出向いて自分が発見した新事実を発表すると、研究者としての実績は残るでしょうが、学術論文として書いたのでは、ごく一部の学者たちに読まれるだけで多くの人に知られることはありません。

ファーブルには出版にあたり別の野心がありました。多くの啓発書では、書かれた内容の出典はよそにあります。もし詳細に調べてみれば、原典がどこかにあり、それを平易に書き直したものであることがわかります。しかしながら『昆虫記』の中身は実はファーブル自身が新たに発見したことであり、どこにも類書はありません。

彼が目指したのは、オリジナルでありながら万人に広く読まれるという新しいタイプの本でした。本好きが知的欲求を満たすために読むような大人の読み物で、最先端の話題が盛り込まれた本を彼はもくろんだのです。その願いを込めたのが『昆虫記』で、いわば文理融合型の書物の先駆けとなりました。

『昆虫記』の全訳を刊行した奥本大三郎氏は、ファーブルには歴史を記述する時に必須となるような「文体」があると言います（『博物学の巨人アンリ・ファーブル』奥本大三郎著、集英社新書）。

この点は後に取り上げるユクスキュルと似ています。ファーブルもユクスキュルも、その著作には無味乾燥な記載が驚くほどありません。読者にとってまったく初めて出会う生き物であっても、親しみやすく上手に描写されています。これは科学を興味深く伝える際に、書き手にとって大変重要な心得です。

【ファーブルの教訓】

ファーブルの最大の功績は、わかりやすい表現で自然を伝えることに成功した点です。

一般に、学者は難しい内容をさらに難解な文章で書くことによってステータスを維持する風潮がありますが、これはファールブルの時代も今も全く変わりありません。専門家の間でつまらぬ意地の張り合いをやっているのは勝手ですが、その結果、科学から遠ざけられてしまう一般市民こそいい迷惑です。

ファールブルが偉いのは、ここに風穴を開けようとしたことです。まさにサイエンスライターの先駆けでもあります。

また、ファールブルは百冊もの入門書や教科書などを書いています。その理由の一つに、彼自身が独学であったことが挙げられます。頼るものがない独学では、書物だけが世界を開いてくれる窓です。ここで書き方が下手で、いくら読んでもわからない本に出会うと独学者は絶望せざるを得ません。

ファールブル自身も物理学や数学に興味を持ち、せっせと本を手に入れては勉強していきました。しかし、若い頃から難解な教科書、特に数学にはさんざん苦勞させられていたようで、この苦勞に比例するかのごとく、彼が執筆した数学の本は初学者にわかりやすい出来映えとなっています。誰にも頼らず自分一人で苦勞して勉強した人は、理解しにくい箇所がよくわかっているものです。ファールブルの事例からは、教育はどのような人間が行うべきかという根本的な問題を考えさせられます。

さて、アカネの研究で身を立てることに失敗したファールブルは、いよいよ本格的に『昆虫記』執筆にとりかかります。歴史に「もし」はないのですが、もし彼がアカネで大金を得ていたなら、先述したようなわかりやすい理系の入門書の数々と『昆虫記』は存在しなかったのではないのでしょうか。

歴史に名を残した科学者や作家には、貧乏であるが故に優れた研究や作品を生み出した人たちが少なからずいますが、ファールブルもまさにそうでした。本人には申し訳ありませんが、私だけでなく世界中のファールブル・ファンがホッと胸をなで下ろす瞬間です。

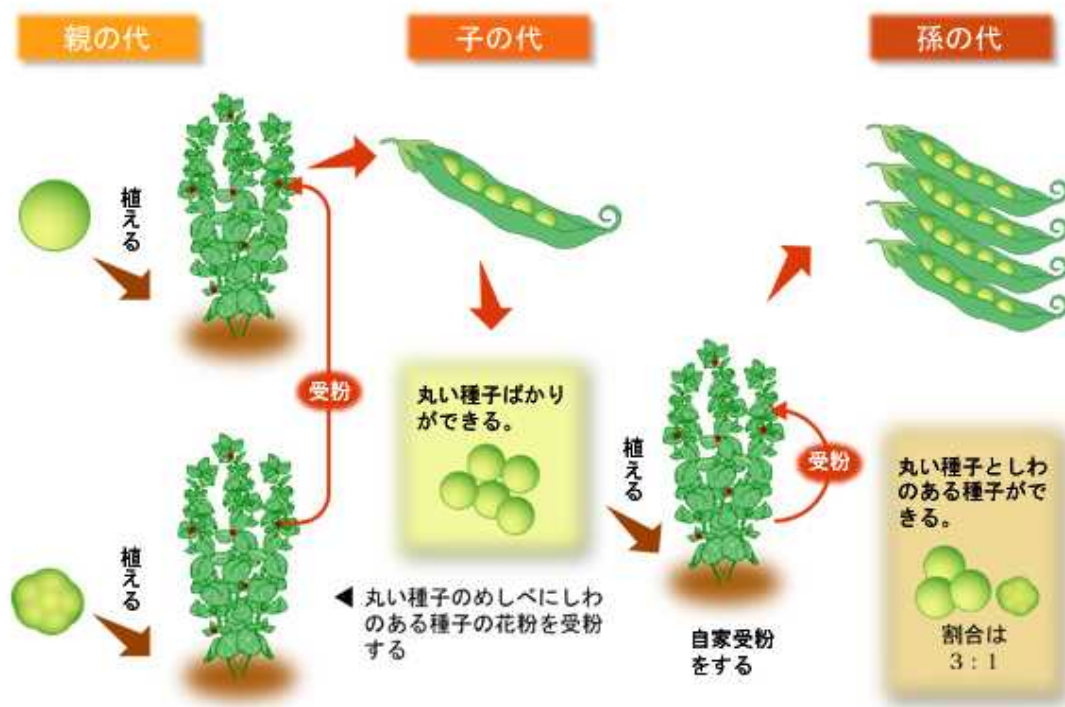
3. メンデルの「雑种植物の研究」

『雑种植物の研究』では、メンデルは研究を始める前に明確に目標設定をしています。それは、親から子どもへ性質がどのように受け継がれるかという疑問に科学的に答える、というものでした。

平たく言えば、黒い目と青い目の両親から生まれてくる子どもは、どちらの目の色か、という疑問に答えようというのです。このような異なる性質のことを「形質」といいます。そして親から子へ形質が伝えられる際に、何らかの「要素」（現代では「遺伝子」と呼ばれているもの）が関係しているとメンデルは考えました。

メンデルは「優性」と「劣性」という言葉を使いました。この言葉は内容の優劣という意味ではなく、形質が現れるか、それとも抑制されて現れないか、ということです。たとえば、黒い目は優性として遺伝し、また青い目は劣性として遺伝します。このように対をなす形質をもつ遺伝子は、対立遺伝子と呼ばれます。そして、親から子へこの形質が移った時に、二代目の目の色は黒と青が混ざったような色にはならず、黒い目か青い目のどちらかの色しか出ません。

さて、本題に入りましょう。「優性」しか持たない人と「劣性」しか持たない人の間に生



理化学研究所

横浜研究所には「ニュートンのりんご」と「メンデルのブドウ」の木がある

www.riken.go.jp/.../trivia/006/image/mendel.jpg

まれた子が「優性」「劣性」ともに持っていたとします。その人が同じような遺伝組成の相手と結婚した場合には、黒い目の孫が三人に対して青い目の孫が一人誕生します。このことをメンデルは、わかりやすく記号で表しました。優性の遺伝子をアルファベットの大文字Aとして、劣性の遺伝子を小文字aとしましょう。せっかくの読み物に理科の図が入り込んでしまう無作法をお許しいただきたいと思います。

黒い目の親がAA、青い目の親がaaという遺伝子を持っていたとします。すると二代目の遺伝子は両親から一つずつを受け継いでAaとなります。ここでAは優性、aは劣性の遺伝子なので、二代目の目の色は黒となります。

ここから三代目が生まれると、彼らの遺伝子は二代目のAaが再配分されて、AAが一人、Aaが二人、aaが一人生まれます。つまり、AAが黒い目、Aaが黒い目、aaが青い目となります。この結果、黒い目が三人に対して青い目が一人誕生するというわけです。

このように、二代目では出なかった形質が三代目で再び現れ、最終的には三対一となることを、メンデルはエンドウを使った詳細な実験と、簡単な記号で説明しました。この方法は当時の生物学ではきわめて斬新なものであり、現代の遺伝学でもそのまま採用されている優れた考え方です。

【メンデルの教訓】

科学者の資質として何が大切ですかと問われることがあります。そんな時、わたしは仮

説を立てる能力と、実験・実証を遂行する忍耐強さ、の二つを挙げることにしています。

何をターゲットに仕事を進めていくかを考える、それが仮説を立てるということです。実験・実証はその仮説を実際に証明していくために、データを集めていくことです。時には理論的な意味づけを追求することも必要です。

メンデルはまさにこの実験と実証の王者でした。彼は一万株を超える数のエンドウを栽培し一万三千の結果を得て解析しました。それだけではなく他の植物で確認する為にインゲンマメでの実験も行いました。

実際に研究をしたものでなければわからないのですが、果てしない作業の中で早く成果としてまとめ上げたいという葛藤が研究者にはしばしば生じるものです。そんな中で、メンデルの周到さと根気強さは、尊敬に値すると言わざるを得ません。

ところで、科学者にはモノ派とスジ派がいる。自然界の一次データを取るのがモノ派。これを料理しておもしろい話を作り上げるのがスジ派と言ってよいでしょう。

メンデルは典型的なモノ派でした。これに対して、先に挙げたダーウィンはスジ派です。メンデルはダーウィンのように自分の研究が世に受け入れられるための戦略を考える人ではありませんでした。とにかく植物が好きでたまらず、暇さえあれば研究に没頭していたのです。その証拠に修道院長になってからも時間を見つけては栽培の研究を続けています。日本で言えば、ノーベル化学賞を受賞した島津製作所の田中耕一さんに当たるのではないのでしょうか。

モノ派とスジ派は、どちらも科学を進歩させる大事な資質ですが、思いもかけない重要な科学的な発見は、このようにオタク的研究者から生まれてくるものです。

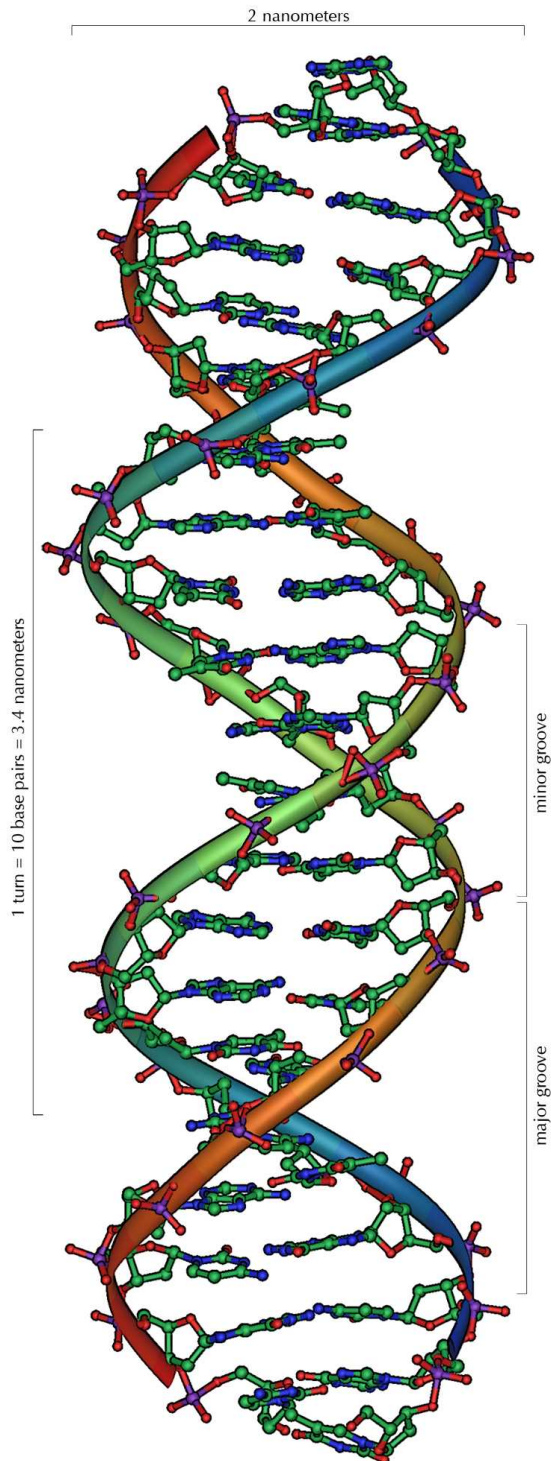
4. ワトソン「二重らせん」

1953年、遺伝子をになう基本物質である DNA の二重らせん構造が、科学の世界で最も権威を持つ「ネイチャー」誌に掲載されました。

二重らせんとは、二本の曲線がらせん状にからまった構造をいいます。DNA のもつ二重らせんは、右巻きの立体構造をしています。すなわち、右方向にまわりながら登っていく階段をイメージすればよいのです。

DNA は、塩基、糖（デオキシリボース）、リン酸基、という三種類の物質からなっています。さらに塩基は、グアニン (G)、シトシン (C)、アデニン (A)、チミン (T) の四つからなります。これらの分子模型を組み上げて、当時まだ二十四歳の若さの生化学者ワトソンが元は物理学者だったクリックといっしょに、二重らせん構造を考え出したのです。ワトソンはこの発見の顛末をドキュメンタリーとして残そうと考え、ノーベル生理学・医学賞受賞の六年後に本書を世に出しました。ここには、世界的発見をめぐる激烈な先陣争いの様子が赤裸々に描かれています。

生物学に革命をもたらした結果が明らかになっていく展開は、どんな小説よりもエキサイティングです。弱冠二十四歳の駆け出し研究者にしか過ぎなかったワトソンが、ノーベル化学賞を受賞したポーリング教授などの大御所を出し抜いてゆくエピソードも飽きさせません。実体験にもとづいた科学者ならではのノンフィクションであり、生物学をまったく知らない者が読んでも十分に楽しめる一冊です。



【ワトソンの教訓】

本書は純粋科学を扱った本であるにもかかわらず、米国でベストセラーになりました。その後、全世界で翻訳され、日本でも 1968 年に江上不二夫教授と中村圭子博士による優れた和訳が出ました。二人の訳者は日本の分子生物学を切り拓いた生物化学者です。

私の通っていた中学校の理科の先生は、和訳が出たその年に『二重らせん』を冬休みの課題図書に指定しました。翻訳の初版本を当時、中学一年生だった私は読んだのです。それは私にとって初めて読む科学の本でもありました。

一読して、私はDNAの世界に引き込まれました。何と自然は精妙にできているものなののでしょうか。生物学上の基本問題を、化学者と物理学者が解いてしまったことにも私は驚きました。試行錯誤の結果、判明したDNAの構造は、実に美しいです。生物学が自然科学の中心になることを予感させる本でもありました。同じような感想を持った高校時代の友人は、自分の得意な化学と物理の能力を伸ばして、生命化学の研究者になりました。この本は、世界中の多くの若者に、分子生物学の魅力を伝えた啓発書でもあったのです。

科学者たちが熾烈な競争をしながら知識の最先端を押し広げていることを教えてくれたのもこの本でした。そんな生き馬の目を抜くような研究世界で、ワトソンは戦略的に行動し、目的に向かって無駄なく突進していき、成功をつかみまし

た。

たとえば、ワトソンは最初からノーベル賞を意識して研究を行っており、ポーリングへの対抗心がむき出しに書かれています。さらに、成功した暁には成功物語を書くべく、仕事の過程をしっかりと記録していたという逸話も伝わっています。

戦略的という意味では、ワトソンのイメージトレーニングには、他の追随を許さぬものがあります。DNA構造の模型が完成する姿を夢見る力強さは、あらゆる困難を乗り越え

てゆきます。彼らは研究の初期から、DNAの構造を突き止めて脚光を浴びる自分たちの姿を思い浮かべ、成功のイメージトレーニングを行っていたのです。

もう一つ着目したいのは、ワトソンの集中力と不適なまでの自信に支えられた科学者としての直感力です。競争に勝ち抜いたのは、本質のみを突き詰めていくパワーにありました。分子生物学者の渡辺格教授は、「ワトソンは靴下の左右の柄がちがっていても全く気に留めないほど研究に集中していた」と述懐しています。並の科学者ではないことを物語るエピソードです。

ワトソンは幸運だったただけだと、という評価がしばしばなされてきました。しかし、私はそうは思いません。その幸運を引き寄せる戦略を彼が持っていたことも、本書から読み取れるからです。科学の世界でも、偶然はちゃんと準備している者に訪れるのです。

5. プリニウス「博物誌」

皇帝ティトゥスに百科事典として贈られたという全三十七巻からなる『博物誌』には、宇宙、地球、気象、地理という地球や宇宙にまつわる自然科学から、人間、動植物、農業、薬品などの身近な対象物、さらに絵画、彫刻などの芸術まで、きわめて幅広い分野にわたる記述がなされています。

扱っている項目の総数は二万点超。ローマ帝国の内外の著者二千人ほどの著作も引用されています。その分野の広さに関しては、他の追随を許しません。

プリニウスは、人類の知識のすべてを抱え込む大作を目指していました。しかもその上で、常に人間と自然との正しい関係を求めていたようです。彼の中には自然は人間をはるかに超えたものという認識が明確にあり、この考えに基づいて、人間の分をわきまえた生き方を明らかにすることを考えていたらしいのです。

その証拠に、単に無機質な記述で見えるものすべてを網羅しようというのではなく、要所要所に自分自身の考えや価値観を刷り込んだ記述を行っています。彼の思想が色濃く反映したものとなっているのですが、その原点はプリニウスが生きた時代にあると思われます。

『博物誌』が執筆されたのは、ローマ帝国の爛熟期に当たる皇帝の権勢華やかなりし頃であったのです。この時期のローマ人たちの生活は必要以上に贅沢になり、道徳の頹廃もはなはだしかったのです。ローマ帝国の高官でありながら質実剛健な生活をしていた彼は、そんな現実に関心を痛めていました。

「自然界のあらゆる存在は人間のために存在するのであり、人間が自然を正しく認識し接しさえすれば人間にとって有用であるが、誤って利用するなら自然の恩恵にあずかれず、逆に自然から報復を受ける」（『プリニウスの博物誌』）と考えていたのです。

なお、彼は亡くなるまでこの『博物誌』を書き直すことに余念がなかったそうです。

【プリニウスの教訓】

プリニウスを死にいたらしめた西暦 79 年のヴェスヴィオ火山の大噴火は、彼の名前を火山学の歴史に残すことになりました。この時の噴火現象はプリニー式噴火（Plinianeruption）と呼ばれています。このプリニー式噴火は、わが国の例を挙げると、1707 年に富士山が大噴火した現象としても有名です。

ヴェスヴィオ火山の噴火によって、当日どのようなことが起きていたのか、以下では具体的に見てみましょう。

8月24日午後、ヴェスヴィオ火山の頂上から噴煙が空高く立ち昇りました。火山学で言うところの噴煙柱が誕生したのです。この噴煙の形状はちょうど古く生い茂った松の木が空に向けて枝葉を延ばしているようなものでした。

8月24日夕刻には、大量の火山灰が山頂から噴出して、それらは遠方にまで拡散していきました。大プリニウスを乗せた艦隊の上にも火山灰が降り積もってきます。船は海岸に近づいていきましたが、空は次第に薄暗くなり、そのうち真っ暗になりました。

細かい火山灰のほかにも粗い軽石や火山弾までが落ちてきました。火山弾は中がまだ熱く、地面に落ちて割れると、真っ赤な内部が露わになりました。

さらに8月25日朝には、ついに火砕流が発生しました。ヴェスヴィオ火山山頂から赤熱した火山灰と岩片が一気に流れ下ったのです。高温の火砕流は地表だけでなく海上にまで広がっていきました。

カプリ島とミゼノ岬は火砕流に飲み込まれて視界から消えてしまいました。この時に、プリニウス率いる艦隊の乗組員は全員、火砕流とそれにとまなう有毒ガスに覆われてしまいます。これは亜硫酸ガスと呼ばれる二酸化イオウの成分で、しばしば地下のマグマに蓄えられているものです。

当代きっての自然現象をよく知る科学者だったプリニウスも、噴火が破局的なものになるとは、夢にも思わなかったようです。なお、作家の澁澤龍彦は『唐草物語』に収められた短編「火山に死す」で、プリニウスの最期の姿を想像力たくましく描いています。

十八世紀になって、この噴火により埋没してしまった都市ポンペイの発掘が進むと、驚くべき古代ローマの生活がわかってきました。彼らは、日本でいうと弥生時代に当たる頃、すでに高度な技術を持ち、豊かな生活をしていたのです。二千年ぶりに出てきた遺物は見事で、私のような火山の専門家も驚くことがいくつもあります。

私は2004年に神戸市立博物館でポンペイから発掘された遺物の展示を見ましたが、その9年前に起きた阪神・淡路大震災をすぐさま思い出しました。ポンペイの繁栄と悲劇は、われわれの生活基盤のもろさも教えてくれます。

6. カーソン「沈黙の春」

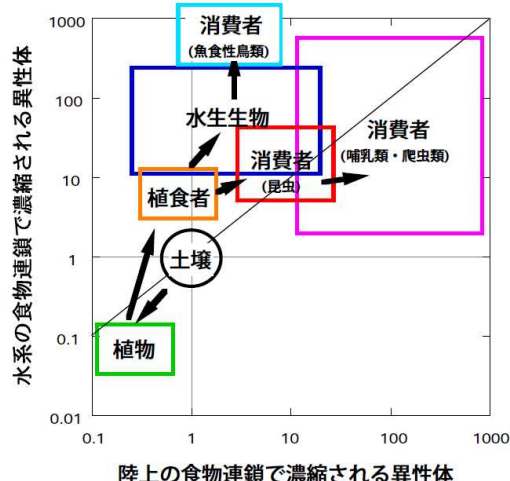
1960年代までの米国では、害虫を駆除するためにDDTなど人体に有害な農薬が大量に使われていました。空から農耕地に散布された有機塩素系の農薬は、陸上の植物や海や川の魚介類に入って蓄積されます。これらは別の生物に食べられることで次第に濃縮され、それを最後に食べるのが食物連鎖の頂点にいる人間なのです。人体に取り込まれた残留農薬は、いずれ人間の健康をむしばんでゆきます。

カーソンは生物学の研究からこうした危険性に気づき、数多くの科学的実証データを集めて、1962年に『沈黙の春』を出版しました。この題名には、本来は生き物が萌え立つ春が農薬などの化学物質によって死んでしまった、という意味が込められています。この本は米国で百万部超のセールスを記録。二十カ国以上で翻訳され、たちまち賛否両論が世界中で沸き起こりました。

自然界にはおびただしい数の生き物が互いに競合し、また共存しながら生きています。ここで、人間の都合によって特定の生き物だけ除去すると、絶妙なバランスが崩れてしまいます。

また、もともと天然の世界では、ある種の個体だけが特異的に増えることがない仕組みが

栄養段階とダイオキシン類の異性体組成比



用意されていますが、ヒトという種だけがこの掟を知識の力で破り、際限なく数を増やしてきました。

「自然は多種多様の生物群が存在することで、それなりの安定を維持している。そのなかの一種ないし数種を撲滅することは、とりもおさず全体のバランスをくずす結果になる」(『沈黙の春』筑波常治氏の解説)のです。いつの時代にも忘れてはならない警告です。

【カーソンの教訓】

『沈黙の春』は一冊の本が社会・経済活動を縛る法整備まで動かした非常に珍しい例です。ここには、科学的な議論のほかに明確な「思想」が盛られています。そしてその内容は、これからの時代の科学の方向性を示すものでもありました。

すなわち、一つ一つの要素を分割し、特定の一つに働きかけるとい近代科学の方法から脱却し、全体の調和を考えるとという新しい視点の提案です。これはまた、地球科学の視座、つまり地球という巨大な世界をまるごと見る、四十六億年という地球史の長大な時間で考える視点でもあります。

カーソンはこう語ります。「いまこの地上に息吹いている生命がつくり出されるまで、何億年という長い時がすぎ去っている。発展、進化、分化の長い階段を通過して、生命はやっと環境に適合し、均衡を保てるようになった」(『沈黙の春』)。

このような自然界全体をくまなく見渡す優れた考え方を、彼女は半世紀も前に提起しました。『沈黙の春』は環境問題だけでなく、社会の在り方に対して、今もお指針を与え続ける名著なのです。

7. ユクスキュル「生物から見た世界」

『生物から見た世界』は1934年にベルリンで出版された動物学の古典的名著です。生物にとって環境のもたらす意味を考えるというのが本書の主題であり、多方面に影響を与えました。

一般に、環境とは客観的にわれわれ生き物を取り囲む状態のすべてです。木や花、もしくは気温・天候も、すべて周囲に存在するものは環境と言ってよいのです。

しかし、ユクスキュルはまったく異なる視座を持っていました。客観的な視点から環境をとらえるのではなく、生物が自分を中心として意味を与えたものが本来の環境であると考えたのです。

動物たちはみな、それぞれが独自の環境を持っています。動物を取り巻く時間や空間は、物理学が説明するように一意的に決定されたものではなく、動物によってすべて違う、と言うのです。

そして、このように定義された環境に対して、ユクスキュルは新しく「環世界」という言葉を与えました。言うなれば、あらゆる動物はみな独自の環世界を作りながら、その中に浸って生きているのです。

たとえば、木の上で獲物の接近を待っているマダニは、温血動物の哺乳類が下を通過したとたんに落ちてきます。首尾よく取り付くと、今度は触覚を使い毛が少ないところを選んで血を吸います。このマダニにとって意味のあることは、まず哺乳類の皮膚腺から出る酪酸のにおいです。決してバラの香りや糞尿のにおいではありません。しかも、マダニのもつ温度センサーは温血動物の体温にだけ反応します。両生類や爬虫類の体温でもなければ、よく焼けたビーフステーキの温度でもありません。すなわち、主体（マダニ）にとって意味あるもの、この場合には酪酸のにおいと温血動物の体温だけが、実在する環世界なのです。

これは私たち人間にも同じことが言えます。私たちが「環境問題」という時は、人間にとって都合の良い世界が周囲にあるかどうかを問題にしているわけです。すなわち、「良い環境を築く」とは、実は「人間にとって良い環世界を築く」という意味で用いられているのです。

本書ではこうした斬新な考え方が、さまざまな事例をもとに展開されます。また、共著者になっているゲオルク・クリサートをはじめ、多くの画家や研究者によって描かれた豊富な挿絵が入っているのですが、これらの絵が理解を高めるのに一役買っています。本書の原題の副題にあるように「見えない世界の絵本」となっているのです。

そんな中の一つに、人間が見た部屋、犬が見た部屋、そしてハエの見た部屋、という左ページのような三点の絵があります。

上の絵は人間が見た部屋です。ソファ・照明・本棚、またテーブルの上のご馳走のすべてが見えています。同じ部屋でも、犬にはテーブル上のご馳走とソファは見えていますが、本棚や照明は見えていません（中）。これがハエになると、照明とご馳走以外は何も見えてはいません（下）。このように、それぞれの主体によって、意味のあるもののみが存在するというのが、環世界の姿なのです。

ここで問題になるのは、たくさんの客観的環境の中から、ある動物が生存する上で選んだ主観的な環世界は何か、ということです。確かに、端から見ればどの動物も客観的環境に適応しながら生きているのですが、個々の動物にとってみれば、自身が作り上げた主観的な環世界の中でのみ生きているというわけです。

本書の結びの章で、ユクスキュルは人間の環世界の感覚についても言及しています。たとえば、天文学者には、「地球からできるだけ遠く離れた高い塔の上に、巨大な光学的補助具によってその目を宇宙の最も遠い星まで見通せるように変えてしまった一人の人間が座っている。彼の環世界では太陽と惑星が荘重な足どりでまわっている。その環世界空間を

通りぬけるには、足の速い光でさえ何百万年もかかる」という具合です。

この考え方は、私たちが環境という言葉で簡単に片付けている世界に、まったく新しい視座を与えてくれました。

なお、「環世界」という訳を与えたのは、この本の翻訳を手がけた動物行動学者の日高敏隆博士です。「環境」という言葉のもつ客観的なイメージを排除したいがためでした。

【ユクスキュルの教訓】

ユクスキュルの考え方は、哲学者カントの認識論とも通じるところがあります。すなわち、人間がある対象を認識することで、はじめてその対象は実在のものとして出現します。逆に言えば、人間は自分のもつ認識方法でしか、対象を認識できないと考えた点です。カントの認識論の生物バージョンと言ってもよいでしょう。

極言すれば、環世界は人間にとって周囲の世界を認識する「幻想」であると言えます。人間をとりまく「環境」という概念自体が、人類の幻想によって成り立っています。人はこれまでさまざまな幻想としての環世界を、世界中いたるところに作ってきました。国家も宇宙もすべて人間のこしらえた概念と言ってもよいのです。

ヒト以外の動物は、もともと自然環境の中に適応しながら暮らしていて、自然を変えてしまおうなどとは決して考えません。片や、人間は与えられた自然環境だけでは満足せず、生活しやすく有益なものに自然を作りかえようとしています。

農業の誕生も化石燃料を大量に使い始めた産業革命も、自然を意のままにコントロールし改変するという人類の営為でした。人間の私利私欲が現在の地球温暖化の発端を作ったのであり、地球環境問題は人類の環世界が作り出した問題に他ありません。

現在ではこの環世界（幻想）の視点なしに、環境問題の本質的な議論はできません。ユクスキュルの環世界は、今後の人類存続と持続する社会を作り上げるためにも必須の視座なのです。

8. ライエル「地質学原理」

『地質学原理』（Principles of Geology）は、地質学の基本的な原理を述べた本です。ニュートンの『プリンキピア』（Principia）を意識して、この言葉をタイトルに用いたといえます。言ってみれば、ライエルは地質学のニュートンになりたかったのです。

『地質学原理』では、地質学の新しい考え方である「斉一説」（uniformitarianism）に基づいて、地球の歴史とメカニズムが説明されています。この斉一説とは、現在は過去を解く鍵であり、地上の地学現象は時代を超えて、同じ自然法則にしたがって起きます。逆に言えば、過去に起きた地質作用は、現在進行中の地質作用と同じものであるため、過去の現象をよく観察することで現在の様子が理解できる、という考えです。ライエルに先立って地質学者のジェームズ・ハットンが提唱したアイデアでした。

一万、当時の地質学では、過去の現象は現在とはまったく違うものであるという説が主流でした。過去には今は見られない巨大な噴火や大洪水があったというもので、「天変地異説（カタストロフィー説）」と呼ばれています。聖書の説くノアの洪水はこれに当たるでしょう。

これに対してハットンは、先述したように過去も現在も同じような種類で同じような規

模の現象が起きうります。自然は変化したとしても、急激にではなくゆっくりと変化すると捉え、天変地異説と対立し地質学者の間で激しい論争が行われていました。

ライエルはハuttonの斉一説を地質学の基本原理として用い、それまで事実の寄せ集めに近く、博物学的であった地質学を近代科学として確立しようとしてしました。つまり、自然好きのアマチュアの道楽と見なされがちだった地質学がよって立つところの理論が、はじめて明確になったのです。もし『地質学原理』が刊行されていなければ、学問としての地質学の理解は大幅に遅れていたと考えられています。

『地質学原理』は千四百ページに及ぶような大著です。中身は四部から構成され、第一部では地質学の定義や地質学史、第二部では無生物界の変化、第三部では生物界の変化、第四部では地質時代のさまざまな変化が論じられています。

特に、「第三紀層」と呼ばれる数千万年前の地層と火山地域に関する記述は詳細を究めています。たとえば、化石に見られる生存種と絶滅種の比率から、新生代を始新世、中新世、鮮新世に分けることを提案したのですが、これは現在でも使われています。

【ライエルの教訓】

現在では『地質学原理』は古典として不動の地位を確立した書物ですが、この出版とその後のライエルの生き方に関して、科学のアウトリーチ（啓発・教育活動）という観点から考えてみたいと思います。

彼は学者として珍しいほどの非常な健筆家で、次々と本を出し、精力的に地質学を広めていきました。彼の行動には、一種の戦略と呼べるような確固たる考えがあり、これらは今でも参考になることが少なくありません。

ライエルは『地質学原理』を一部の専門家のために執筆したのではなく、もっと広く一般読者に読まれることを念頭に置いていました。すなわち、地質学という当時の最先端の学問が、科学として認められるだけでなく、もっとポピュラーになることを狙っていたのです。十九世紀にこのような観点で本を書いたこと自体、時代を超えた新しい試みであったと言えます。

その証拠に彼は『地質学原理』をどの出版社から出すかについて、あれこれ考えをめぐらせています。その結果、彼は保守的な出版社であるマレー社から刊行し、最初に知的な上流階級に属する市民の理解を取り付けようとしてしました。というのは、当時の知識人の中には、十九世紀になって急速に進んだ地質学は、キリスト教や聖書に反するものではないかという懸念を持つ人が少なからずいたからです。

ライエルは彼らの反発を買わないように、内容の記述のみならず体制についても細心の注意を払いました。紳士としてふさわしい品のある言葉遣いを身にまといました。さらに彼は好意的な書評を保守派に属する雑誌に出してもらうことにも成功しました。

ライエルは出版社の社長にこう語ったとされています。

「深遠な科学について解説しながら読みやすいものを書くことのできる著者は今までもほとんどいなかったし、これからもないだろう」（『ライエル地質学原理』（上））

彼は市民に科学の真理を伝えるアウトリーチを第一の目的とする新しいタイプの科学者だったのです。

ライエルの著書は、後に続く科学者たちがどのように本を書いたらよいかの手本にもなりました。これに加えて彼は講義も上手であったらしいです。地質学専門家としてのフィ

ールドワーク、読みやすい本の執筆、おもしろい講義と講演というのが、ライエルがもっとも得意とするレパートリーでした。

後年、この三者を合体させ、海外に頻繁に出かけるスタイルに行き着いたのも、この頃の試行錯誤から生まれた結果なのです。科学者としての卓越した仕事を残しただけでなく、十九世紀において既にアウトリーチの戦略を持っていたライエルは、現代のわれわれも学ぶことが大変多い、類い希な科学者だったのです。

参考文献

世界がわかる理系の名著、鎌田浩毅、文春新書、p9-114、2009.2

第4章 科学／技術の総合化のための手法

1. 手段の目的化を避ける

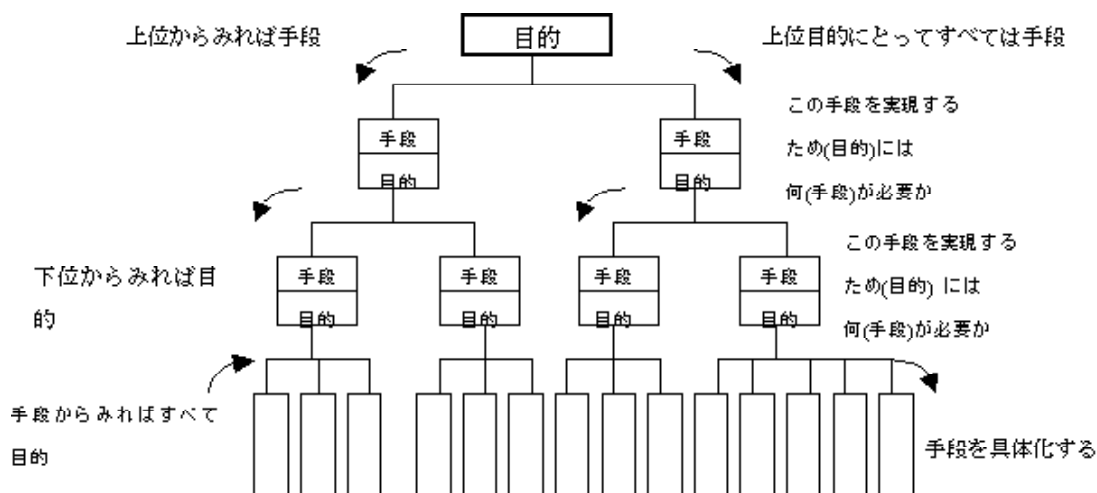
手段の目的化とは、本来他の成果を得るための手段である行動について、その行動をとること自体を目的としてしまう社会行動のことです。

たとえば、「目的は何なのか。」考え出すとわからなくなることがあります。子供を叱っている時、何のために叱っているのだろうと思うことがあります。自分の中ではっきりとした目的が見当たらないのです。つまり、「叱って」いるのではなく、感情にまかせて「怒って」いるだけなのです。目的があり、その達成手段として「叱る」という行為があります。目的を明言できない時、それは間違いなく「怒って」いるのです。反省しなければならない人が多いのではないのでしょうか。

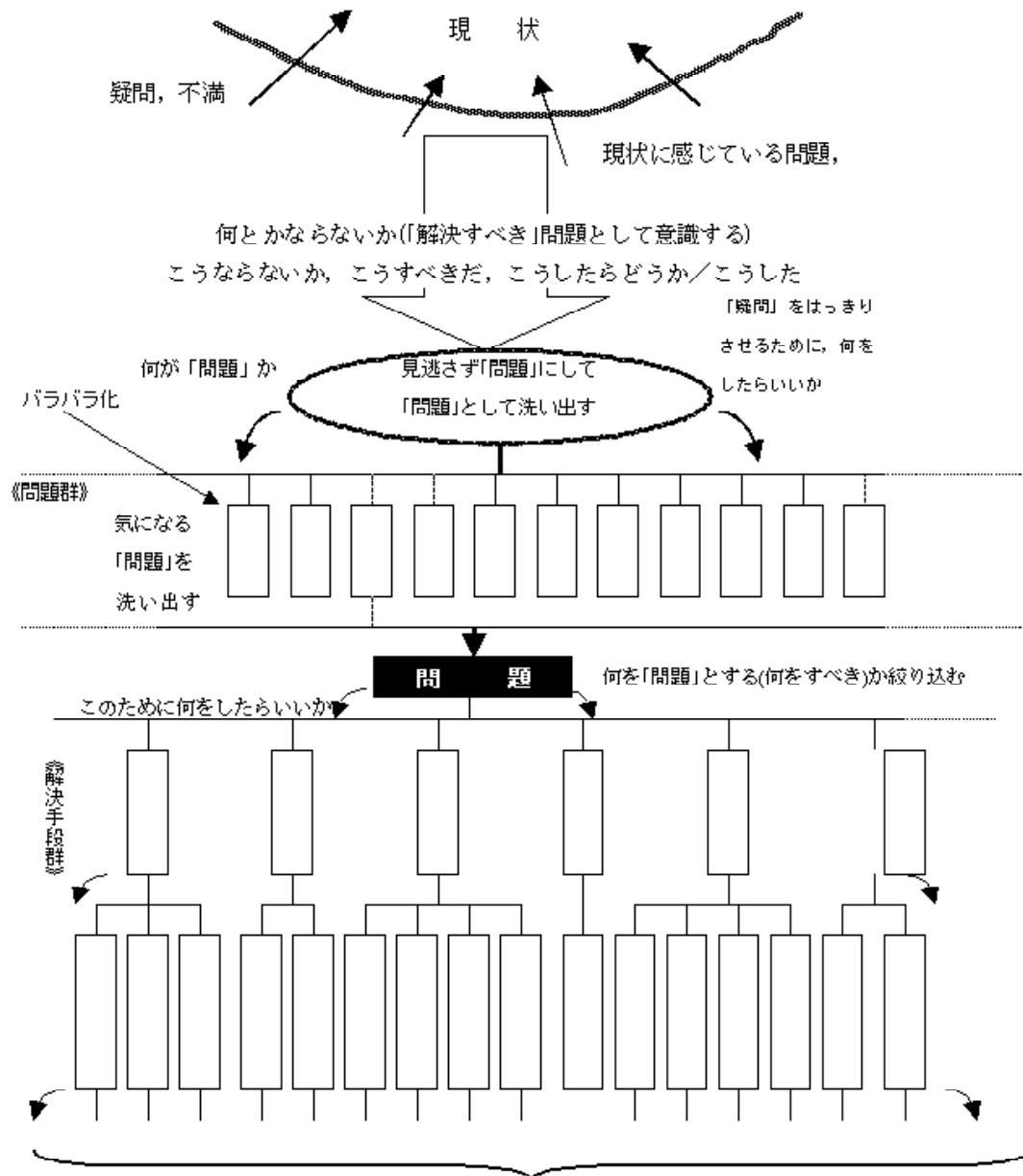
これが科学／技術の開発となれば、問題はさらに深刻です。手段が目的化しないような手法をここで紹介します。なお、目的を達成するという観点からは、手段の目的化は目的を見失って墮落した結果であると批判する向きもありますが、時として文化は、そのような傾向を強く持っており、一概に批判できない問題でもあり、難しい点があるのは確かです。

■目的と手段

目的とは、実現を「目指すこと」であり、すべての目的は、目的－手段の連鎖の中にあります。手段とは、目的実現のために（使える）必要なすべての「道具、手立て」をいいます。何が、使える（必要な）手段かを限定的に決めつけてはなりません。目的実現に有効ならば、すべては手段となりうるものですが、すべてをつかう時間的、コスト的余裕があることは少ないため、「どれが目的実現に有効か」優先順位のつけ方が必要になります。



■目的・手段分析の流れ



選択可能な具体的行動レベルまでブレイクダウンしていきます。解決に有効なものを，どういう手順で実施していくかをプランニングしていきます。

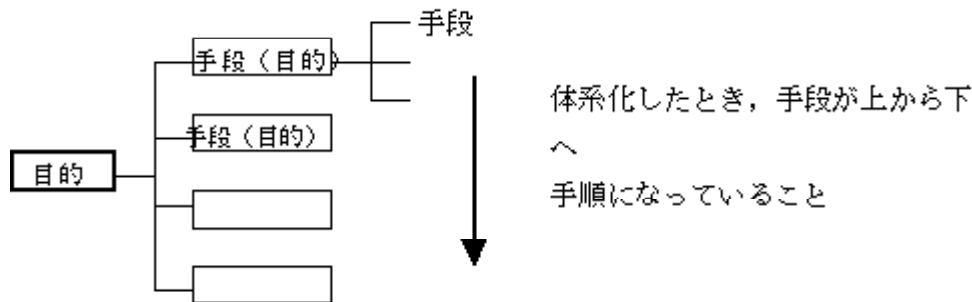
①「目的」を実現するには、「何をすればいいか」「どうすることが必要か」と，その手段を洗い出します。

◇この場合，いきなり細部に入るより，おおまかに必要なこと（その目的達成に必要な要素，必要な要因，必要な事柄，必要な役割等々）を洗い出し，それをするために必要な行動，働き，機能，作用を表現します。

たとえば，会議を成功するのに必要な手段を洗い出す前に，おおまかに，「開催目的」「議題」「人」「雰囲気」「進め方」「決定」「実行」といった項目を挙げ，「開催目的を明確にする」とか「全員に事前に会議目的を知らせる」等といった表現に置き換えていきます。この作業を通して，目的－手段の大まかな上下関係が図式化できます。

②手段は、(原則として)「～を～する」と、「名詞」＋「他動詞」で表現します。

◇「が～している」や「～が～なっている」という自動詞では、主体的に何かをするという意思が見えません。ここでは、分析自体を目的とした作業をしているのではありません。動詞は、一語一動作、に分けましょう。



④仕事や作業の手順・進め方を意識しましょう。

目的・手段の洗い出しは、目的実現に向けたストーリーづくり(起承転結，入口→出口，増やす→維持する→減らす)をどう設定するか、にあります。

- ・PDCA (Plan → Do → Check → Action), PDS (Plan → Do → See) (ただし、PDCAの、PがなくDCAのみ、AがなくPDCのみ、DがなくてPCのみ、等もあります)
- ・「頭で考える」→「やり方を工夫する」→「チェックの仕方を工夫する」→「再起動する」
- ・「計画を立てて」→「計画通り実行し」→「計画との違いをチェックし」→「計画に戻す」
- ・「確認する」→「選択する」→「手に入れる」→「チェックする」
- ・「案を出す」→「評価する」→「選択する」→「実行する」
- ・「入口」→「プロセス」→「出口」
- ・「ヒト」→「モノ」→「カネ」→「トキ」

たとえば、「職場のコミュニケーションをよくする」というとき、「コミュニケーションとは何か」「よくするとは何か」「どういう状態が必要なのか」「何か仲介者が必要なのか」といった疑問が出たら、それをそのまま、必要な手段に、とりあえず置き換えてみる(検討の後で、消えたり、置き換わったりする)のがよいでしょう。

⑤他人ではなく自分がすることを忘れないようにしましょう。

◇手段分析はそれ自体が目的ではありません。それによって目的実現の手段を洗い出し、実現への具体的行動につなげることが目的です。その意味では、手段分析者＝実行者であることを忘れてはなりません。

⑥目的－手段の洗い出しが適正かどうかのチェック

- ・その手段があれば、目的が達成できるのかを問い直し、直接の目的－手段の関係をチェックします
 - ・その手段の目的は何かを問い直して、直接の目的－手段の関係をチェックします
- たとえば、「その手段がない(やめる)と困ることは何か」「それから期待できること(何

が起ること)は何か」「それは何のために働いているか」「それによってどういう結果になるか」「その手段のある理由は何か」等々です。

⑦目的－手段体系の整合性を整える

細部にこだわるより、全体の流れを体系化することを先行させます。全体図を俯瞰しながら、目的－手段の整合性（目的と手段が親子関係として適切か）を整えていく方が全体の構造がみやすくなります。たとえば、「減量する」という目的の手段分析をする場合、ある程度体系化したとき、いくつかのヌケがわかっているが、何をいれていいかを考えてそこで立ち止まり、全体像を描いて考えると、たとえば「脂肪の吸引」といった手段が入る枝ができていないことに気づいたりするものです。

■手段分析から実施手段を具体化する

①行動を選択可能なところまで具体化する

「上位目的」を達成するための手段を展開した、最下位（どこが最下位かは展開しているものによる）の手段は、「具体的に複数の方法を列挙し、そのどれかを選択すればすぐ実行可能なところ」まで、具体化されていなくてはなりません。

②具体的な行動を選択する

各手段を実現するために、何から、どうやってやっていくかを、優先順位をつけ、選択、特定していきます。その場合、現実的な実行可能性だけでなく、実現しようとしている「目標」に照らして、必要不可欠な行動を抜かないことが大切です。そうでなくては何のためにこの分析をしたのかの意味がなくなります。多少のむずかしさはあっても、目標実現にどのようなアクションが必要かの視点を見失わないことです。

③条件を明確にする

誰（と誰）が、何を、どこで、いつからいつまで、どれだけ、どういう手順で等々を決定していくに当たって、

《前提条件》どういうことを前提に考えなくてはいけないか

《制約条件》どんな制約があるか

《使用条件》どういう状況、条件で、実行しなくてはいけないか

があれば、明確にしておくことができます。これによって、選択がピンポイントに限定されます。

参考文献

問題の分析と解決プランニング 4

<http://www.h2.dion.ne.jp/~ppnet/prod0933.htm>

2. 融合と学際

融合とは、性質の異なる二つ以上のものがとけて合わさりひとつになることと言われています。例えば農学と工学の融合による植物工場や新エネルギーの開発などがあげられます。また、学際とは、研究などがいくつかの異なる学問分野にまたがって関わる様子を示しています。これらの言葉と総合化との関係は一概には言えませんが、少なくとも「水土の知」の領域においては、融合や学際よりも広く、複雑で高度な科学／技術の意味を有していると考えられます。また学際的な分野を融合研究で取り組むといった表現もあります。

■融合

融合という分野の異なるものが、その境界を超えて研究に取り組むのは、境界を壊すために行うのではなく、システムとして有益な目的があるからです。境界によって分かれた複数のセクターの利害が一致することが大切です。

境界があるということは、コンセプトや用語がわかれているということに他なりません。問題解決の思考方法、研究手法なども異なることが多くあります。思考方法、手法は、他の分野にとっても有益なことがおおくあるため、無理に統一する必要はありませんが、共通のコンセプト、目標の確立や用語の統一を可能な限り行うことが望ましいです。

さらに、境界を超えた研究ツールの開発も大切です。研究を進める上でも、成果を評価する上でも、実験、実証試験は必要不可欠です。

作物に有用な水は水質も水量も必要なツールですが、作物に有用な土となれば、微生物、化学などの尺度が必要となります。しかし、最終的には質のよい安全な農作物となるとその評価尺度は農産物そのものの量と質が問題となってきます。共通のツールを見つけることは意外と困難を伴う場合が多くあります。

そして、境界を超えた研究には、部分の最適化ではなく、全体の最適化が必要となります。そのためには部分の最適化を抑えたり、組み合わせを工夫したりすることも必要になります。また犠牲となるような代償も新たに支払わなければならないことさえあります。全体を俯瞰する、観察する力が必要となります。

■学際

「学際」interdisciplinary とは、本来、学問の一専門領域とそれに隣接する他の領域の間に存在する中間領域を意味します。したがって、その中間領域の研究を試みようとするのが学際的研究ということになります。

しかし一般的には、学際的研究は、一つの目的と関心のもとに、多くの隣接する学問領域が協業して研究するものとされています。実際に協業的研究に基づく学際的研究は、公害問題から平和研究、さらに宇宙開発などさまざまな領域において行われ、それなりの成果をあげつつあります。

こうした学際的研究が要請される背景には、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問のみではどうも対処できない問題が今日の社会のなかで噴出し、それらの解明が急務とされるようになったことがあげられます。それゆえに、社会からの現実的要求は学問の総合化志向を生み出し、各専門領域において達成してきた成果の結集を強く求めるこ

とになっています。

今後、学際的研究は広範な分野においてその必要性を高めることはいうまでもありません。しかし、同研究において重要なことは、どの学問領域を協業させるかという点であり、研究の具体的目的にとらわれすぎて協業の範囲を少なく限定することのないように注意する必要があります。つまり、各研究テーマに対して、自然、社会、人文の各科学を網羅した異専門間協業を図りうるよう努力することが必要です。

学際研究を進める上で、最初に取り組みやすい方法を二つ紹介します。

①「呉越同舟」アプローチ

例えば、異なった専門用語を使用している自然科学と人文・社会科学分野の協同として、課題のある現場を調査する場合、全行程を同行し、すべてのイベントを共有体験する「完全な共同」フィールド調査があります。参加者全員が、意見を交換し、議論を共有する場を確保して目標と課題を共有するのです。

②ピンポイント・アプローチ

焦点を絞った学際的研究により、多様な現実を複合的に捉え、多面的に解釈し、包括的な戦略を提示することができます。ただし、多様で複雑、かつ膨大な対象を多面的に分析することは実質的に困難なところもあります。



3. 川上と川下

川上と川下という言葉は、直接河川における上流と下流という関係にとどまらず、生産者と消費者、農村と都市のような関係についても使われることがあります。科学／技術を総合化する場合にも、広く俯瞰するためには、この川上と川下という視点での捉え方が大切になります。

■川下にある都市生活の恩恵は川上が支えます。生活に欠かせない毎日の上水道の水をはじめ工業用水や農業のかんがい用水も川上から流れ下る河川に依存しています。また、豊かな森林や河川は、漁業資源の育成にも役立っています。過疎化と高齢化が進んで川上流域だけでは支えきれなくなった国土の保全を、川上と川下が一体となって「流域単位」で相互に支え合うシステムづくりが進んでいます。

都市部からは、豊かな自然、夜神楽や椎葉平家まつりなどすぐれた伝統芸能を求めていこいの空間として都市と農山村が交流し合います。また西米良村では、都市部との交流や山村の活性化を目指す「ワーキングホリデー」など山村おこしの新しい取組がはじまっています。グリーン・ツーリズムのうねりが宮崎県に広がって交流の輪が広がり、国土を守る運動につながります。

川上と川下が一体となって、国土保全を支え合うシステムづくり。川上と川下が連携して初めて大河が維持されることを認識する必要があります。

■森林と木材の循環をうまく回していくためには、木材を生産する川上の「もり」と木材を利用する川下の「まち」の連携が必要です。この流れに携わる方々の業種は多様ですが、これらの業種間のネットワークを充実させることは、各業界、地方の活性化にもつながります。

国産材が生産されて住宅に利用されるまでの流れを、それに携わる業種と共に図として示しました。また、この図は同時に、現在の標準的な構法で建てられた30坪程度の木造住宅に利用される木材が、各業種にどのように関連するかを示しています。30坪程度の日本の一般的な木造住宅に蓄積されている約20m³の木材を生産するために必要な丸太は、約2倍の40m³です。これは、丸太から製材品等を加工する工程で、半分が端材やおがくずとなるためですが、これらは、燃料やパルプチップ等に利用されます。

30坪の木造住宅1棟に必要な良質な丸太を確保するためには、数倍の量の丸太が必要となります。これは、伐採された丸太全てが製材に適した良質な材ではないからです。一方、日本で最も蓄積量の多いスギの7～9齢級（31～45年生）の人工林1ha当たりの蓄積量は、全国平均で約311m³とされています。これらの森林から間伐の際に出される丸太を製材品に使用することを前提とし、間伐対象となった木材材積割合や、良質な丸太の割合を勘案すると、30坪の木造住宅1棟に必要な丸太を産出するには、約2haの人工林が必要となります。



■効果

①地方・地域の活性化

木材の生産は森林資源が豊富な地方で行われる一方、住宅や建築に蓄積される木材は、その多くが都市部に存在します。したがって、森林・木材の循環を強化する試みは、そのまま地方・地域の活性化につながります。

②木材の循環の担い手・大工の育成

住宅や建築を長持ちさせ、木材の循環を適切に保つには、大工・棟梁といった技能者による維持管理・更新が欠かせません。

各地においては、技能者を育てるための専門校や大工塾が展開され、また、大工・工務店と設計者、木材販売業者、製材業者、木材生産者の連携を模索する動きも出てきています(「顔の見える木材での家づくり」等)。

こういった活動に対する行政による支援は今までも行われてきましたが、今後は、森林と木材の循環を考えたより広い視点での支援が必要となっています。

③長期優良住宅と木材の循環

国産材を多く利用するためには、住宅の寿命が短い方が良いのではないかという疑問が生じますが、森林の質を保ちながら循環させることを考えると、住宅の長寿命化は重要で

す。住宅の寿命が 30 年程度では、木材が生長する時間がありませんが、住宅の寿命が 100 年になれば、それに利用する木材も十分に育ち、その木材が形成していた森林の環境も長く良好な状況が保てます。また、こうした森林から生産される地域材を活用することにより、地域の大工・工務店や林業・木材産業など多くの関連産業を通じた地域の活性化が期待されます。

参考文献

宮崎県の取組

www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/kankyo/.../013p012.pdf



4. デジタル化の科学／技術における意味

現代はデジタル社会と言われています。インターネットをはじめとする IT すなわち情報技術の急速な発展ぶりを眺めれば、そういう言葉が出てくるのも当然かもしれません。今や IT は生活のあらゆる面に浸透しています。

■デジタル社会の特徴とはいったい何でしょうか。便利で効率がいい、という点がまず思い浮かびます。かつては職場の書類はほとんど手書きでしたし、それを送るにも郵便が大半でした。今はパソコンで作成し、電子メールで送るのが当たり前です。調べ物があるときは、昔のようにいちいち図書館に行かなくてもネットで検索できます。誰かに緊急の連絡をとるにも、携帯電話ですぐ相手をつかまえることができます。

しかしまた一方、この便利さゆえに、私たちの生活がとても忙しくなったことは確かでしょう。休日でも、旅行中でも、電子メールや携帯電話でひんぱんに仕事の連絡が入ってきます。いつでもどこでも、気の休まる暇はありません。またパソコンはよく故障しますし、ネットがつながらないこともあります。そうすると予定が狂って混乱してしまいます。デジタル社会では文書ファイルの数や種類も一挙に増え、その管理だけでも大変です。パスワードなどを含め、管理は原則として自己責任なので、うっかりして貴重なデータを失ったりしないよう、常に気を配らなくてはなりません。

こうしてデジタル社会では、便利さと引き替えに不安やストレスもまた増大していくのです。いや、あえて言えば、私たちは今や、「忙しくするために忙しくする」という自己循環に陥ってはいないでしょうか。

■デジタルとは何か

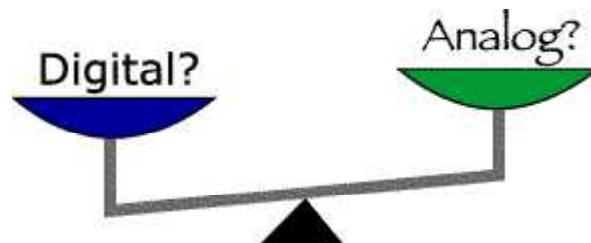
英語のディジットとは「指」のことです。指を折って数えることから、デジタルとは「数」を表す言葉です。ですから、デジタル社会というのは実は「数値社会」に他なりません。コンピュータというのは基本的には数値を扱う計算機械であり、したがってコンピュータが活用される社会では、世の中のあらゆる対象が数値で表されることになります。

近年、組織や個人を数値で評価し、比較する傾向が非常に強くなってきました。このことはいわゆる市場原理と結びついています。それだけでなく、デジタル化とも深く関係しています。定量的なデータにもとづいて競争させ、高い点数をとったものを選択することが、もっとも客観的で合理的な方法だと信じられています。しかし、そこに落とし穴はないのでしょうか。

企業では、よい製品やサービスを提供することより、売り上げや利益を増し、株価をつりあげることが第一目標となります。従業員も、自分の業績の数値を向上させ、ノルマを達成しなくてはなりません。学校も同じことです。教師は学生とのコミュニケーションより、さまざまな評価書類を作成し、数値的なデータを整理する作業に追まわられます。学生はとにかく試験の点数をあげることが第一で、学ぶ楽しさなどどこかに行ってしまうのです。

こうして集められた数値データは、コンピュータで自動的に計算処理され、表やグラフの形で提示されます。その結果をもとに、再び人間の行動計画がたてられていきます。つ

まり、デジタル社会の中心は人間ではなく、高速回転する計算処理のメカニズムそのものなのです。われわれ人間はすべて、その部品と化してしまうのです。これは、投資家も、経営者も、労働者も、消費者も例外ではありません。チャップリンのモダンタイムズは肉体労働の機械化を諷刺した映画ですが、今では知的活動をふくめ、人間のあらゆる活動が機械化されてしまうのです。



■デジタル社会の特徴は、欲望が際限なく増していくことです。そもそも、欲望とはデジタルではなくアナログなものであり、一定程度満たされると飽和するのが普通でした。どんなにおいしいご馳走も、お腹が一杯になるともう食べられません。食欲だけでなく、性欲も睡眠欲も同じことです。アナログな欲望には生理的にストップがかかるのです。けれども欲望は、身体的・物質的なニーズを基盤としているものの、社会的な影響のもとにつくられます。そしてデジタル社会では、欲望がどこまでも膨張していく恐れがあるのです。百万円より一億円、さらに百億円、一兆円と、数値の桁はいくらでも増していきます。企業の利益だろうと、個人の所得だろうと、数値を増していく操作に限りはありません。アナログとデジタルとは、本質的な違いがあるのです。

先日のジェネラルモーターズの没落とサブプライムローンの破綻は、この違いを象徴していないでしょうか。キャデラックのように排気量の大きい豪華なクルマを運転したいというのは、物質的でアナログな欲望です。これは、ある程度満たされると飽和します。私自身、若い頃、アメリカで大きなクルマを借りて乗り回した経験がありますが、しばらくすると飽きてしまいました。アメリカでは 1980 年代からコンパクトで燃費のよいクルマが求められるようになりましたが、ジェネラルモーターズの没落の原因の一つは、そういうアナログな欲望の飽和に対処できなかったからだと考えられます。その後おくらてコンパクト・カーを作ったものの、消費者のニーズを経営者がとらえ損なったわけです。

一方、サブプライムローンの破綻はまったく性格が異なります。これは土地や家屋というアナログな物質が、証券価格というデジタルな数値に変換され、それを操作して際限なく値をつりあげていくことが目的となりました。膨大な入力データと複雑な計算式にもとづき、コンピュータのなかで算定される金融商品の価格変動は、誰にも予測が付きません。デジタルな欲望には歯止めがかからなくなってしまうのです。この結果、恐ろしい破綻が起きてしまいました。その責任を、投資家や金融業界だけに負わせることはできません。

■言うまでもなく金融も IT も現代には不可欠ですし、組織や個人を数値で評価する方法が有効な場合もあるでしょう。しかしそれらはあくまで、生き物であるわれわれ人間がよりよい生活をおくるためのものです。われわれの欲望とは本来はアナログなものであり、飽和するからこそ、生物はこれまで生きて来られたのです。

数値を究極の目標にするのではなく、人間が本当に必要とする目標に気づかなくてはなりません。人間を機械化しない IT が、いま求められているのです。

科学／技術の総合化に向けても、自然を畏れ、敬い、自然の恵みの中で調和した営みが人間が本来必要とする目標であることをアナログ的に知ることが大切です。

参考文献

NHK 視点・論点 「デジタル化と欲望」 東京大学教授 西垣 通、2009.6.17



5. 常識の非常識

非常識とは、常識的でないこと、社会構成員として必要とされる価値観・知識・判断力を欠いていること、またその人のことを言います。しかし、ここでは、本来当たり前であると認識していた事柄が、一步視点を変えると非常時となることがあるという立場で話をします。

■おやじの味

『女流作家』とは言いますが、『男流作家』とは言いません。それは『作家』は男がなるもの・・・と思われているからでしょうか。他にもあります。『女医』『女子大生』『女社長』『婦人警官』などなど。これらも医者、大学生、社長、警官は男だと思われているからですか。

逆に、『教育ママ』や『おふくろの味』と言うのは、子供の教育や食事を作るのは母親の仕事とされているからでしょうか。あなたはどう思いますか。一件当たり前のように認識していても、それが現代社会においては、非常識になつていくことが多くあります。そのように考えられると、また新たな発想が生まれてくるものです。

■高地トレーニングはボートに役立たず

高地トレーニングとは 2000 m 級の高地、即ち空気中の酸素分圧の低いところで主に持久力のトレーニングと定義できます。希薄な空気中でトレーニングすることにより酸素摂取能力を向上させ、その結果として持久力能力を高めようとするものです。その持久力向上はどのような体の順応が得られた結果かを考えないことにはすべてのスポーツの持久力トレーニングに応用できません。まず持久力を構成する要素をまとめると次のようになります。高地トレーニングでは主に肺のガス交換機能、赤血球（ヘモグロビン）量の増加により酸素摂取能を高めることに目的があります。しかし、酸素摂取運搬（トランスポート）能力は健康であれば充分の余力を備えています。つまり、運動時は体温の上昇、血液の pH の変化、CO₂ 等による末梢での血液からの酸素供給（酸素乖離）上昇、肺換気、心拍数の増加等々により、安静時の 20 倍は容易に越えることができます。

ボート選手は 2000 m レース中で呼吸困難に陥り漕げなくなった経験はないと思います。つまり、トランスポート能力は足りているのです。ボート選手が高地トレーニングまで行って赤血球を増やす努力がどれほど効果的なのか考えるべきです。このことでボートの選手にとって大切なのは健康である（貧血、心肺の病気の有無）ことをチェックすることです。

反対に高地では疲労を溜めやすく、専門スタッフの監視のなかでやらないと失敗する恐れがあります。トレーニング量が稼げないためにユーティリゼーショントレーニングが不足することも痛いのです。

さらに漕艇運動（特に技術不足の場合）では座位のため充分に大きな筋肉を動員して漕ぐことは高度の技術を要します。このため最大心拍数（HRmax）がランニング時のように生理的限界まで上昇しないことが多いのです。つまり、酸素運搬能力が漕能力を制限していることは考えにくいのです。逆に大量の筋肉が動員し易いと思われるスポーツの自転車

車、ランニング、水泳等全身運動 の種目においては漕艇より高地トレーニングの効果が期待できるでしょう。

結論として、低地でロングを漕ぎながらユーティリゼーション能力とテクニックをつけ、筋肉の動員量を増やすことに並の選手は専心するべきです。

■常識はすべて捨てなさい

農家の木村秋則氏は絶対不可能といわれたリンゴの無肥料、無農薬栽培を成功させました。苦難の時代に米と野菜の無肥料、無農薬栽培も会得し、自然栽培の技術はほぼ終着点に近いところまで来たと言います。この木村氏の3つの提言は、次のようなものです。

- ①すべては観察から始まります。ずっと見ていることが大事です。
- ②農業では非効率なものが効率的なものになることがあります。
- ③狂うほどバカになって取り組めば必ず答えは見つかります。

木村氏の畑では、あえて雑草を伸び放題にしています。畑をできるだけ自然の状態に近づけることで、そこに豊かな生態系が生まれるといいます。害虫を食べる益虫も繁殖することで、害虫の被害は大きくなりません。さらに、葉の表面にもさまざまな菌が生息することで、病気の発生も抑えられます。

木村氏がやることは、人工的にりんごを育てるのではなく、りんごが本来持っている生命力を引き出し、育ちやすい環境を整えることだそうです。害虫の卵が増えすぎたと見れば手で取り、病気のまん延を防ぐためには酢を散布する。すべては、徹底した自然観察から生まれた木村氏の流儀なのです。

「私の栽培は目が農薬であり、肥料なんです」

りんごが実るまで長く壮絶な8年間

木村が農薬も肥料も使わない栽培を確立するまでには、長く壮絶な格闘がありました。かつて、農薬を使っていた木村氏。しかし、その農薬で皮膚がかぶれたことをきっかけに、農薬を使わない栽培に挑戦し始めました。しかし、3年たっても4年たってもりんごは実りませんでした。収入の無くなった木村は、キャバレーの呼び込みや、出稼ぎで生活費を稼いだそうです。畑の雑草で食費を切りつめ、子供たちは小さな消しゴムを3つに分けて使う極貧生活となったようです。6年目の夏、絶望した木村は死を決意しました。ロープを片手に死に場所を求めて岩木山をさまよったそうです。そこでふと目にしたドングリの木で栽培のヒントをつかむ。「なぜ山の木に害虫も病気も少ないのだろう？」疑問に思い、根本の土を掘りかえすと、手で掘り返せるほど柔らかかったそうです。この土を再現すれば、りんごが実るのではないか？

早速、山の環境を畑で再現しました。

8年目の春、木村の畑に奇跡が起こりました。畑一面を覆い尽くすりんごの花。それは豊かな実りを約束する、希望の花でした。

当たり前のことが当たり前でなくなったのが今の農業です。昔は種もみ用のイネは優しく脱穀しました。脱穀の時にもみの傷ついたところから雑菌が入ると、ばか菌という病気

が発生し、不発芽や立ち枯れ病を生じるからです。今の脱穀は、コンバインが一定の回転で能率良く処理します。種もみを傷つけないためには、コンバインの回転を少し抑えてやればよいのですが、それをやりません。

農家では病気を防ぐため、種もみの消毒を行います。みな漫然と昔からやられていたからと答えます。防止するには塩水選や温湯消毒がありますが、私は泥水（土壌菌）で行います。イネ作りの最大のポイントは、必ず田を乾かしてから春に耕起することにあります。田起こしに湿った土では失敗します。乾いた田は好気性菌が働きます。私には土壌菌が喜んで活躍する姿が想像できます。練りあんのようにトロトロになるまで代掻きをする人がいますが、これも人間の勝手な想像です。粗末な方が間違いなくよいのです。

科学／技術の総合化にも非常識な視点が必要であると考えます。



第5章 水土の知の総合化における科学／技術の視点

■ここでは、和の経済第15回科学と技術(2005.11)に掲載された酪農学園大学客員教授三野耕治氏の論調を主体に整理しています。

1. 総合化の方向

最近、生命の本質をシステム（制御系）として把握する考え方がでてきています。ゲノム解読の進展によって、人間のDNAのうち蛋白にかかわる領域は2%以下と小さく、残りの多くの領域は調節制御に関わっていることが分かってきています。また、幾つかの遺伝子が重複的に機能している場合が多く、一つの遺伝子だけを追いかけても解明できない現象が多いことも分かってきています。児玉龍彦東大教授はある遺伝子の動きを解明して、その遺伝子を除いたネズミを作って実験してみたところ思うような性質を示しませんでした。ある遺伝子がなければ別の遺伝子が代わりに働くことが分かってきたのです。

児玉教授は「遺伝子1個」研究には限界があるので多数の遺伝子が絡み合って働くシステム（制御系）を研究するため、システム生物医学ラボラトリーを立ち上げて、専門に分化した医学、生物学、情報科学などの異分野の専門家をチームとした研究システムを作って研究に取り組み始めています。高等な生物は調節制御の多様化により環境変化に適応できるよう進化してきており、生命の本質は多重のフィードバック経路により調節されるネットワークであると考えられてきています¹。

また、マイケル・ギボンズ教授（マンチェスター大学）は、知的生産のあり方を「現実社会との関わり」という観点から分析したモード（様式）論という考え方を発表しました。専門分野に依拠した知的生産をモード1と呼び、専門分野を超えた知識生産をモード2と呼んで、「モード1」から「モード2」へと脱皮するべきであると論じています。モード1は伝統的なアカデミズムの世界の研究様式ですが、モード2は、問題解決的で学際的な知識生産を言います。情報化社会の進展によって様々な場所における知識生産が容易となり、専門分野を超えた知識生産が可能となっています。例えば、ある問題を解決するため、異分野や各階層の専門家による人的ネットワークを構築して、専門家（大学や研究機関以外のNGO、NPO）からの情報や知見の収集を行うことは、モード2的な知識生産です。これが総合化と言える分野の一つの形です。

■代替医療から学ぶべきもの

技術の総合化について考察するには、医療の分野で始まっている「代替医療」や「西洋医学と代替医療を統合する統合医療」の流れが参考になると思います。近年、代替医療（補完代替医療とも言われる）と言われる医療が広く利用されるようになってきました。この医療は鍼灸や漢方、カイロプラクティクや指圧、ハーブ療法など、現代西洋医学以外の医学・医療の総称であり、例えば、平成10年に設立された日本補完代替医療学会での「代替医療」の定義は、「現代西洋医学領域において、科学的未検証および臨床未応用の医学・医療体系の総称」となっています。

アメリカ政府は、増え続ける膨大な医療費の削減のため、1992年、NIH（国立衛生研究所）にOAM（代替医療事務局）を設置しています。その研究予算は93年には年間

200 万ドルでしたが、1999 年に O A M の組織が N C C A M（国立補完代替医療センター）へ格上げされるとともに、2005 年には 1 億 2300 万ドルと急上昇しています。この予算によって、全米の 13 の医学校で C A M（complementary and alternative medicine：補完代替医療）研究が推進されており、また、全米の 90 % の医学校で代替医療の講義が行われています³。

そもそも医学は客観的なデータに基づいて再現性と客観性を重視しながら、生物学的なヒトという集団を対象に研究を行う学問であり、これに対して医療は臨床家が診療とケアの観点に基づいて患者の期待にそえるように主観的・感覚的要素（個人差）を考慮しながら、「人間」という個人を対象に治療を行う行為です。しかし、現実の医療現場においては、医学的な所見を個々の患者に機械的に当てはめてきたために、対処できないケースが出現してきており、近代医学の限界が指摘されてきているのです⁴。人を対象とした科学的知見による医学が、患者（個人）に医療を満足に与えることができないため、患者不在の医療から患者本位の医療へ転換して、個々の患者の満足度を高められるような全人的医療が求められてきています。すなわち、要素還元主義の医療から個人（複雑系）を対象とした医療への転換が求められてきているのです。

代替医療あるいは補完代替医療は、現代西洋医学では十分に対応できない疾患に対して代替医療による方法を補完的に用いることで改善を図ることですが、これからの医療は「現代西洋医学」と「それ以外の代替医療」を個々の患者に合わせて統合的に扱う「統合医療」の提唱がなされています。

■近代農業の非総合性

近代農学による農法が農業の若い担い手を満足させていない現状を踏まえて、近代農法を補完・代替する農法の検証や科学的知見の蓄積を行う必要があると考えています。また、往々にして科学的知見が母集団として蓄積できていない、個別事例のため再現性がないという理由で否定されていますが、何故再現性がなかったのか、前提となった条件を検証するといった個別的な対応が技術の総合化の確立の上で必要となっています。技術の総合化を試みる農家が存在する以上、科学的知見が未検証だからといって、その技術の総合化を否定する研究者が正しいとは限らないのです。この農学と農法（農家）の関係は、医学が客観的データに基づく学問であり、医療が個人を対象としたケアであることに類似します。農学と農法は区別するべきものですが、それと同時にお互いに発展し、融合するべき関係にあると考えられます。なぜならば、技術の総合化を確立する必要に迫られているのは農業者であって、農学なり農業研究は農業や農業者をサポートするための実学であるからです。そして、その技術は代替技術に止まらず近代農法との総合技術への発展が期待されています。

■農業研究の新たな展開

米国統合医療の第一人者であるワイル博士（アリゾナ大学）は統合医療の教育プログラムを進めるに当たって医療哲学や科学哲学という基本理念を重視しています。今までの知識授与型の上意下達 of 医療教育では、生命や健康、医療のあり方などの根本問題については対処できないので、患者という個人に対して多角的な視点から問題解決できるよう哲学

や価値観の構築を行うことを優先しています。山本竜隆医師によると、統合医療プログラムは 12 の教育科目にも及びますが、さまざまな代替医療の知識や技術はパーツ（枝葉）であり、医師と患者の関係や患者自身の積極的な関与が重視されており、患者を全体的にとらえて最適な治療を構築することを目指したシステムとなっているといえます³。

ちなみに古典派経済学の始祖といわれるアダム・スミスはグラスゴー大学で道徳哲学教授であり、アダム・スミスの経済学には道徳哲学（Moral Philosophy）が基盤にありました。さらに、哲学や思想を基にしない学問を憂慮したシューマッハーは、以下のように指摘しています。

「誤りは専門化にあるのではなくて、教科の内容が一般に底が浅く、形而上学的な意識に欠ける点にあります。科学を教えるとき、科学の前提だとか、科学法則の意味や意義、自然科学が人間の思想という全体像の中でどんな位置を占めているのかといったことが忘れられています。その結果、科学の前提も科学が発見したものと通常誤認されています。経済学者の大半が、自分たちの教えている経済学の中にそういう見方（経済理論の前提になっている人間観）が含まれていて、それが変われば経済理論も変わらざるをえないということを知らないのです⁴。」

このように学問の基礎となる哲学教育の重視は農業や農学についても必要であると考えられます。農学という科学は何のためか、という根本問題を抜きにして、細分化された先端技術の習得や上意下達教育を行ってはいは農家側と研究側の意識の乖離は狭まらないのではないのでしょうか。

さらに、今後、課題に対応した研究を進めるに当たっては、既存の組織を越えた農業研究のネットワーク化が必要であると考えられます。その理由は農業技術がそもそも総合的技術であり農学が総合科学であって、モード2的な知識生産に最も適した研究分野であるからです。また、土壌や微生物、植物といった様々な要素が総合的かつ非線形に関係する「複雑系」が関連する「農業問題」に対応できる農業技術を体系化するには、従来手法では困難であり、複雑系に対応できる研究体制が必要であると考えます。これからの農業研究の方向としては、既存の研究組織内であるか、組織外であるかを問わず、研究管理において以下のような枠組みが必要であると考えます。

- ① 研究課題を設定する段階から、問題解決に対して意欲ある生産農家や食品企業、ユーザーを広く参加させ、研究方向に具体性と社会性を持たせること。例えば、対象作物についての問題意識と解決策について意見のある農家の参加などが役に立つ可能性がある。
- ② 研究には農業以外の異分野の研究者を参加させ、他分野における最先端の知識、知見の導入を図ること。（専門分野だけの研究者による研究の閉鎖性を解消すること）
- ③ ユーザーや異分野の研究者にかぎらず、NPO や NGO といった市民の知見や情報を収集し、交流すること。視点が異なれば、解決策がみえてくる場合が多い。
- ④ 研究推進にあたって、分野別成果の交流、課題達成に関して管理を確実に行うこと。

参考文献

- 1 朝日新聞、朝刊、科学、2005 年 1 月 5 日、28 頁。
- 2 山本竜隆「治る力を呼びさます統合医療のすすめ」東京堂出版、2004 年、112 ～ 113 頁。

- 3 山本竜隆、「治る力を呼びさます統合医療のすすめ」東京堂出版、2004 年、125 ～ 128 頁。
- 4 E・F・シューマッハー著、小島慶三・酒井懋訳「スモール イズ ビューティフル 人間中心の経済学」講談社学術文庫、1986 年、120 頁。

2. 水の科学／技術

わが国は山岳や溪谷に恵まれており、国土の 67 %を占める森林は豊かな水を湛え、人々を潤してきました。しかし、水に豊かなわが国でも美味しい水の入手が困難になってきており、ミネラル・ウォーターの購入や輸入が増加しています。水が安全でただ同然で手にはいる時代ではなくなっているのです。

日本人にとって、水はあまりにも身近にあり、改めて科学の対象とすることは、時代遅れと思われがちです。ところが、地球物理分野の地球システムモデリングにおける未知数あるいは不確実量と考えられている諸項目の中で、水フラックスの予測は最も遅れている事項の一つであると指摘されています。(The Unknown and the Uncertain in Earth System Modeling, C.L.Quere, EOS Vol.87, No.45, 2006)。この論文によれば、カーボンフラックスの予測モデルや気象予測モデルのほうが一步も二歩も進んでいるといいます。

一方、私たちに身近な例で言えば、アルカリイオン水、マイナスイオン、などといった「健康増進に寄与する」かのような概念が社会に撒き散らされていますが、これらの学術的定義は何も明らかでないことは、すでに多くの指摘を受けているとおりです。さらに日本国内における社会的事例をあげますと、洪水や水不足、異常気象に伴う集中豪雨、不法投棄物による地下水汚染など、水と環境に関する実態を知れば知るほど問題が増加する傾向にあると言わざるを得ません。ここで必要とされるのは、水と環境に関わる基礎科学です。

農業や食糧生産の問題でも、水問題は未解決です。灌漑するとか、排水する技術は、農業において最も発達した技術体系のひとつですが、その副産物である塩類集積、ウォーターロギングなどの否定的影響の解決は、今なお世界の難問として立ちはだかっています。乾燥地、半乾燥地において、塩類集積やウォーターロギングを起こさないような灌漑排水技術を、一刻も早く確立すべき課題です。すでにこれらの問題を起こしている土地（オーストラリア、カザフスタン、中国、インドなどに見られる）の修復技術の研究も、必要に迫られています。周知のように、科学技術基本計画の重点推進 4 分野の 1 つに環境問題が挙げられています。この環境問題の研究を推進するに当り、生物多様性の保全や地球温暖化対策を重視すべきことは明らかなですが、上記で示したような水循環の科学、水の物性科学、あるいは水と土の科学のように、水の基礎科学とでも呼ぶべき分野についても十分な光を当て、これを推進する必要があると思います。

さらに、水は食糧と同様に生命維持には必要不可欠であることから、重要な研究分野ですが、今まではその分析手法が化学的な分析、ミネラルなどの成分分析、官能検査に限られており、身近な存在でありながら知見の少ない分野でした。これまで水質基準といった衛生面、水質管理面や、水分活性と食品に関する知識の習得を求めるものが中心であったことに加えて、研究者の実験条件が異なり研究者間で統一性を欠き、実験データに再現性がなかったことがあげられます。コンクリートをつくるのに水が必須ですが、そのことは誰でも知っています。そしてわれら生物の命を支えるのも水です。そうでありながら私たちは、水について深く知っているかと問われれば、答えに窮するのではないのでしょうか。

水土の知の総合化を図るには、もう一度原点に帰り、水の機能の研究を自然環境との関わりの中で見つけていく必要があると思います。

■まだまだわからない水の構造とメカニズム

水に機能性をもたせる処理法としては、①ある種のエネルギー場で水を処理する方法、②ミネラルを添加して水の構造を変化させる方法、③物理的な処理で物質を除去する方法などが知られています。エネルギーの種類には、電場、磁場、遠赤外線、音波、圧力などがあり、電場処理による食品加工原料の品質改善、磁気処理によるボイラー用水の赤水防止、音波によるワイン発酵の促進などがあります。岩元睦夫氏は、各種のエネルギー場に置かれた植物など生体の生長がその温度が変化しない程度の低いエネルギーレベルにもかかわらず影響を受けると考え、このエネルギーの働きを「微弱エネルギーが対象物に含まれる水に作用し、そのことによって水の物性が変化し機能が生まれ、結果として生体反応などが影響される¹⁾」という考え方を提案しています。

そもそも水分子は $10^{-7} \sim 10^{-13}$ /sec という速さで動いており、瞬間の姿を捕捉することが難しいこと、水は常に体内で他の成分（タンパク質、核酸、脂質、ミネラルなど）と相互に関わりあっているため、生体という複雑系中での水の動向と機能発現のメカニズムを解明することは難しいことです。近年、わが国においても機能水について政府が関心を示し研究が行われるようになってきていますが、水については不明な点が多く、作用についても未解明の部分がほとんどです。電解水に関しては、1997 年以降、強酸性電解水が手指や内視鏡の洗浄消毒について認可されており、また、2002 年 6 月から強酸性電解水が微酸性電解水とともに食品添加物として認可されるなど利用が比較的進んでいるものの、説明されている効果が十分解明されているとはいえません。

①高温・高圧下における水の構造と物性

水の構造と物性の中で高温・高圧状態における水の構造と物性についてが十分解明されていません。「複数種類の分子モデル」や「分極モデル」の開発が必要です。

②水の平均的構造と動的構造

分子動力学法にもとづく水のモデルが必要であり、モデルにもとづくシミュレーションによって水の熱力学量と輸送係数の異常がどのように再現されるかを解明する必要があります。

③交流電場を利用した新しい水溶液分析

様々な溶液における測定方法がありますが、電解質溶液の濃度の増大により水分子とイオンの作る水和圏が広がり、陰・陽イオンを骨格とした三次元高次構造が発生することがわかりつつあります。新たな水の構造変化の研究手段としての可能性があります。

④水溶液に対する磁場効果

コロイド分散系、原子間力顕微鏡、蛍光プローブを用い、単純かつ精密に制御された実験系において水溶液系への磁場効果、変動磁場と静磁場での水溶液への効果の違い、多孔質粒子へのイオン吸着速度や多孔質膜中のイオン透過速度への磁場の影響に関して解明する必要があります。

⑤磁気処理水の物性変化のメカニズム

磁気処理水の基礎的研究から、攪拌磁気処理、静水磁気処理と蒸発速度の関係、蒸発速度に対する磁場の強さの影響、溶存酸素の影響について解明を進め、磁気処理水の物性変化のメカニズム、蒸発速度からみた磁気処理水の物理的特性などを解明する必要があります。

⑥水の分析方法

X 線・中性子線回折測定、熱力学的測定、NMR スペクトル測定、中性子散乱測定、振動分光測定、分子動力学法、分光法および表面張力測定法など様々な測定・シミュレーション手法によって得られる情報のタイムスケールと水の構造について整理し、水の分析方法を確立する必要があります。

⑦水とタンパク質の相互作用のメカニズム

疎水相互作用によって生成される疎水クラスターがタンパク質内にどのように形成されているか、タンパク質の構造や機能がどのように疎水クラスターによって調節されるかについて解明が必要です。

⑧エージング指標による水の評価

クラスターの大小および分布による水の評価方法について解明し、不安定水溶液が時間とともに安定水溶液に変化するエージング（老化）現象から ORP・pH を基に定量的にエージングを評価する指標 [AI] を水の新たな評価方法として開発する必要性があります。

⑨ファジィ理論とバイオセンサーによる水の評価

あいまいで微妙なものの評価においては、従来の重回帰分析よりもファジィ理論を適用した評価方法の方がすぐれています。また水のミネラル分の量に対応して起こるアルコール醗酵を検出するバイオセンサーを活用し、これまでの表現しきれない水の微妙な差異を識別できる手法を開発する必要があります。その場合、¹⁷O-NMR 化学シフト法による水の液体構造の遷移を解明し、分子集合体である液体として水の構造設計の手法を開発する必要があります。

■わが国の水の利用研究に関する動向

農業や食品の分野においても古くから取り組みがあり、電解還元水は 1960 年代には種子の発芽・生育に応用した報告があります。電解水以外に磁化水、脱気水、遠赤外線処理水、ミネラル水などが利用されてきています。1994 年には政府系の生物系特定産業技術研究機構と民間 8 社の協同出資によって(株)機能水研究所が設立され、また、1996 年には民間企業グループにより電解機能水農業研究会が発足しています。

農林水産省でも機能水への関心が高まり、1994 年から 3 年間、食品総合研究所を中心として機能・特性の評価法の開発プロジェクト研究が実施されました。また、1996 年度には構造改善局資源課が「水資源再評価研究会」を開催し、農業分野における機能水の活

用について報告書をまとめています。さらに、農産園芸局野菜振興課は施設園芸における機能水の利用促進を図るため、1997年度から5年間、「新素材利用園芸栽培実用化技術の開発」を(社)日本施設園芸協会に委託し、報告書がまとめられています。

なお、科学技術会議政策委員会が推進したナノテクノロジーの研究のなかでも、水の研究が取り上げられており、「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会報告書」(2000年12月)の中の「ナノテクノロジー重要研究領域マップおよび課題例」に「水分子ナノクラスターの化学反応」が示されています。また、農林水産省においても「生物機能の革新的利用のためのナノテクノロジー・材料技術の開発」が2000年度から開始されており、水分子クラスターの動態評価と利用の研究が実施されています²。

■機能に着目した水研究の現状

このような背景から食品や資材関係以外の研究側の機能水に対する関心も薄く、資材を利用している農業現場と研究側や普及側との隔たりは大きいといえます。また、資材メーカー側も往々にして根拠のないセールストークをしてしまい、それを信用した農家が失敗して2度と手をださないという事例をよく耳にすることがあります。このような状況が生じた一因には、例えば、電解水についていえば、①強酸性電解水を農作物のどの生育段階でどう使用すればよいか、②どのような特性をもった電解水が農業分野に適しているかという点について研究がなされなかったことが原因であると考えられます。

近年、津野和宣助教授(宮崎大学農学部)のように植物病理の見地から強酸性電解水について研究に取り組まれる方が現れたことは好ましいことです。津野助教授は強酸性電解水が残留性に乏しく、人畜に被害が少ないことから、有効な資材であるとの認識に立った上で、植物組織中への浸透性がないことから、殺菌剤の代用でなく植物体の表面を正常に保つために予防的に利用することが原則であると説明されています。

機能水についてしばしば問題になるのは、宣伝される効果について対照実験が行われていないことです。機能水の客観的な効果判定には殺菌力、植物の生長速度、鮮度保持といった条件設定が比較的容易なものが考えられますが、鈴木教授はバイオアッセイ(生物検定)として単細胞を評価に使えないかと考え、機能水素材の機能性評価にユーグレナ細胞を用いた実験を行っています。

■機能に着目した水研究の展望

自然降雨、灌漑用水など作物が生育するために必要な水についての研究と利用技術は、これまでの量の管理から質の管理に移行すべき時期に来ていると考えられます。基本はあくまでも自然の観察から生まれる循環、適応機能の解明から生まれる水の利用技術です。具体的には、次のような展開が考えられます。

①農業における電気分解水を用いた病虫害防除

強酸性電解水および強アルカリ性電解水などを用いた様々な農作物栽培における病虫害防除技術の開発が望まれます。

②電解水の青枯病菌に対する殺菌効果

NFT水耕栽培における電解水使用の際、時間経過にともない循環される電解水に生じ

る性質の変化に着目した電解水の持つ青枯病菌に対する高い殺菌効果を利用する技術の開発が望まれます。

③各種処理水の植物生育効果

音波、磁場、セラミックスなどが生み出す微弱エネルギーが水の質に変化をもたらすメカニズムを解明し、各種処理水の活用し、作物の持つ水分を近赤外分光分析法で解析することでその生産地の判別も可能となる技術を開発することが望まれます。

④稲作の収穫量に強電解水がもたらす効果による環境保全型農業への転換

強酸化水と強還元水の持つ特性と実用面での効果を解明し、強電解水の稲作における散布方法、漢方薬との併用方法について開発する必要があります。強電解水の稲の育成、収穫労力、収穫量における効果を考察し、強酸化水と強還元水の交互散布の活用が環境保全型農業に最も近い農業技術であることを推進する必要があります。

⑤生産からオゾン水の科学と食品産業への応用

灌漑用水という生産段階からの水質管理にとどまらず、オゾン水の瞬時殺菌効果、安全性、利便性、脱臭・鮮度保持効果など食品加工分野まで活用できる一連の水活用技術の開発が望まれます。また、鉄酸化物が磁気処理により凝集・沈殿し、赤水も防止されることから酸化還元反応によって除錆効果も期待できることを活用することが望まれます。

⑥高周波還元水の科学と産業への展開

高周波還元水の持つ赤錆の除去と防止効果のメカニズムを活用する方法があります。さらに原子力発電ボイラーにおけるスケール除去、灰のダイオキシン除去、レジオネラ菌抑制、湖沼浄化などへの応用展開が期待できます。

⑦新しい水の機能と可能性

—超臨界水による有機汚染物質分解への応用—

超臨界水による加水分解反応によってフロンが短時間で CO_2 と無機塩酸に分解されることを活用します。プラスチック廃棄物の分解、土壌中の有機汚染物質の分解など、環境問題への応用を拡大します。

わが国における水の機能性への関心は医療や農業、食品産業での現場での利用に向けられていました。しかしながら、欧米のように基礎的な研究をすすめなければ、飛躍は望めません。分子科学の権威である長倉三郎博士³は低磁場の光化学反応に及ぼす影響を理論的に明らかにされていますが、磁場と化学反応との関係について将来の興味あるテーマとして磁化水をあげており¹⁰、今後の研究が待たれるところです。

21 世紀のキーワードは環境と持続性である。資源消費型社会から循環型社会への転換のためには、生物機能を高度に利用する産業（とくに自然循環型農業）への転換が重要であると考え、そのための基幹技術として水の新たな機能に着目した活用方策の開発が重要であると考えています。光合成の機能は「無機」と「有機」の世界を非熱的プロセスの下

で結合させることであり、水が太陽エネルギーの受容体として働き（水自体があたかも触媒のように機能して）、「無機」と「有機」の結合に当たって結節点としての役割を果たしていると考えています¹²。

今後、タンパク質、核酸、脂質、ミネラルなどの生体関連物質と水との関係が明らかになり、さらに、水のクラスター構造と微弱エネルギーの作用機作が解明されれば、循環型社会に大きな貢献がなされると期待され、それが総合化の大きな前進になると考えられます。

参考文献

- 1 岩元睦夫「機能水の過去・現在・未来」2003年3月18日、「新しい水」についての講演会講演要旨集、2頁。
- 2 山本和貴「農林水産省における「水の科学」への取り組み」農林水産技術ジャーナル 25（8）2002、7頁。
- 3 神奈川県科学技術アカデミー理事長、文化勲章受章者（1990年）、電荷移動理論の新しい基礎概念を提唱し、分子科学の新たな研究分野を開拓した。

3. 土の科学／技術

ここでは、和の経済第 17 回科学と技術(2006.1)に掲載された酪農学園大学客員教授三野耕治氏の論調、筆者自身の研究成果を主体に整理しています。

■土～根と微生物～

近代農業は肥料、農薬等化学資材を大量に投与することにより生産性を飛躍的に向上させてきましたが、一方で環境負荷の増大、連作障害などの影を落としてきています。

微生物農法の先覚者である島本覚也氏は、麴作りの技術を農業に応用して、有機物を分解し植物に有効な成分を生成して活用する方法を創案しました。微生物農法などの民間農法は近代農法では改善されない連作障害などを、効果の多寡は別として、克服しようとする農家の意欲の顕れです。食の安全・安心のニーズに応えて、減農薬・減化学肥料を中心とした農法に転換するには、土壌や土壌微生物と根との関係を安定した技術体系として確立する必要があります。

■土と微生物

微生物は土壌中の有機物を分解することにより、植物の生育に大きな役割を果たしている一方、その分解過程で無機化される栄養素を摂取して、菌体の維持や増殖を行っています。有機物の分解過程で菌体成分として使用されなかった余分の養分は、土壌中に放出されて植物に利用されたり、土壌に吸着保持されたり、溶脱されたりします。難分解性の植物残渣はさらにゆっくりと分解されながら腐食物質へと変化していきます。このような永年にわたる土壌中での物質変化の過程を通じて土壌中に集積された有機物は、土壌の潜在的作物生産力、つまり地力のひとつの指標となっています¹⁾。

農業の生産性向上と効率化とともに、野菜や畑作物は連作によって輪作体系が崩れ、土壌病害菌による連作障害や病害虫による被害が発生しています。このため、農薬の施用や土壌消毒などが行われていますが、改善の効果が見られない場合があります。

一方、近年の消費者が安全・安心を指向するために農薬を抑制する必要が生じており、土壌改良のために微生物を使った資材が多く販売されていますが、その効果は必ずしも確かではありません。結果に結びつかないことの原因は、そもそも土壌にはその環境に適応して生息している微生物が既に存在しているため、有用な微生物を人為的に少量添加しても、増殖するまでに死滅してしまうと考えられるからです。有用微生物がもつ機能を発現させる手法が確立していないのです。

そもそも土壌の物理的・化学的性質が複雑でその挙動の記述が困難であること、また、土壌 1 グラム中に 0.1 ～ 10 億個といわれる微生物を土壌から分離し、その微生物の形態や生理的性質を逐一調べていく作業には大変な労力と時間がかかること、更に根の生理を自然条件下で記述することが困難で地上部の生理に比べて研究が立ちおけていることなどから、土壌は「ブラックボックス」と言われてきました。とりわけ、微生物は培養困難かまたは培養不能なものが 99 %であり、微生物の研究が遅れていた理由は、単離・培養できない微生物を無視せざるをえなかった点にあります。

しかしながら、最近、培養できない微生物についても、培養を介さないで土壌摂取した

微生物から直接抽出した核酸（eDNA）をもとに生物相を解析し、遺伝子情報を取得することが可能になっており、研究は新しい段階を迎えています。例えば、ヒトゲノムの旗頭ベンターが率いるチームは、サルガッソー海の多種多様な微生物をまとめてショットガンクローニングし、全塩基配列を決定し、そこに存在する全ての微生物種をゲノムレベルで網羅的に明らかにしています（サイエンス誌 2004 年 4 月号）²。

■eDNA研究の意義

eDNA とは、土壌試料から培養過程を経ずに得られる微生物由来の DNA のことです。高品質な作物生産を行う上で、安定した地力の確保、連作障害等の病害の克服が重要です。それを実現するためには、土壌の物理性、化学性、生物性を適切に把握する必要があります。物理性、化学性については、これまで多くの知見が得られており、土壌診断の項目にも取り入れられていますが、生物性の評価法は確立されていません。土壌病害の発生や有機質肥料からの養分供給には、土壌微生物が重要な役割を果たしているため、物理性と化学性の評価だけでは不十分で、生物性を評価するための手法の開発が望まれています。

このため、ブレイクスルーとして eDNA（土壌から培養過程を経ず得た DNA）の解析手法を取り入れ、微生物多様性を調査する手法等を開発し、土壌生物相の機能と構造を eDNA に基づき解析するとともに、作物生産性と土壌微生物相との関連性を解析することが重要になっています。

これらの eDNA に基づいて開発される技術・知見を用いることにより、土壌の物理性、化学性に生物性をも加味した総合的な土壌診断法、診断結果に基づく土壌微生物相の改良による病害低減技術及び適正な施肥管理技術の開発等、環境と調和した生産性・品質の向上に結びつく技術開発に資することが可能となります。

■肥料に頼らない農業を可能にする－根圏制御研究－

作物の根の近傍の土壌環境である根圏³は植物根－微生物－土壌の複雑系ですが、要素還元的手法で「線形的な世界」の解明を目指してきた近代科学が最も不得意とする研究分野です。大崎満教授（北大）はカリマンタン（ボルネオ島インドネシア領）の泥炭地を調査する過程で、作物が育ちにくい pH 3 の酸性土壌でイネが生育する現場をみたことが契機となって根圏を対象とする研究を始めました。

インドネシアなどの熱帯泥炭地では、農業利用により泥炭層が消失すると下層から極めて貧栄養な栄養分が溶脱した硫酸酸性土が出現し、農耕はもちろん、植生の回復すら困難になってその多くは放棄されている現状にあります。このような酸性土壌で植物の育成を困難にしている大きな要因は土壌 pH の低下により可溶化する Al の過剰障害です。ところが、大崎教授はこの植物に影響する Al の毒性にもかかわらず良く生育しているイネがあることを見出して、そのメカニズムの解明が新しい農業技術につながると考えました⁵。調べてみると、植物はその根と着生微生物からさまざまな物質を放出して根圏の環境を最適化することにより、劣悪な土壌条件下でも生育する仕組みをもっていることが分かってきました。その各種物質の特徴は以下のようなものです。

①根から分泌された有機酸には Al とキレート（注）を形成する能力をもつものがあり、

有機酸とキレートした Al は毒性が低下し、吸収されにくくなる。

②根から分泌された有機酸は土壌中に含まれる難溶性無機リン酸化合物 (FePO_4 , AlPO_4 , Ca_3PO_4) を溶解し、植物が吸収することのできる可溶性無機リン酸を生成する。

③根から分泌されたタンパク質（酸性フォスターゼ、フィターゼ）は、土壌中に含まれる有機態リン（フィチン酸、核酸）を分解し、植物が吸収することができる可溶性リン酸を生成する。

④根の表面に存在する微生物には pH 調整能を有するアンモニア放出細菌、窒素固定細菌、養分の吸収促進する菌根菌などがあるが、植物根はゲル状の多糖類（ムシゲル等）を分泌して微生物の共生場をつくり病原菌を抑制し、フラボノイド類の微生物活性物質を分泌して有用微生物の活性化する。

※注…キレートとは、原子の立体構造によって生じた隙間に金属を挟む姿から、ギリシャ語の「蟹の爪」に由来する化学用語。複数の配位座を持つ配位子が配位していることをいい、このようにしてできている錯体をキレート錯体と呼ぶ。キレート錯体は配位子が複数の配位座を持っているために、配位している物質から分離しにくい。これをキレート効果という。

これまでの農業技術では根圏だけを改良することができなかったために、土壌そのものを改良しなければならず、大量の肥料や土壌改良材を使用していますが、この根圏の環境を整えて制御する技術を開発できれば、肥料などに頼らない持続的な農業が可能となります。すなわち、根圏制御によって「足し算の農業」から「足さない農業」に転換できるのです。

また、根圏制御研究は、植物の生産性向上や持続的農業技術に貢献するだけでなく、有機酸が金属イオンを無毒化し、Al の害を軽減できるので環境浄化に活用できます。

根から分泌されるリグニン分解酵素は分解能が通常の 20 倍の能力があり、残留農薬、PCB、ダイオキシンの分解に寄与できます。さらに、近年、野菜などで肥料過多による硝酸態窒素の問題が生じていますが、植物と共生している脱窒素細菌を強化することにより土中の過剰な亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を窒素ガスに還元して分解することが可能になります。

北大農学部の手元にマイナス P と書かれた標識が立つ圃場があります。植物の 3 大栄養素の 1 つであるリン (P) が 90 年間投与されていない区画です。

土壌のリン化合物の大部分は植物が直接吸収できない。大崎教授たちはこの区画から植物が吸収できるようにリン化合物を分解する微生物を発見しました。リンは 80 万 t にも及ぶ原料であるリン鉱石の輸入に全量依存していますが、土壌中のリンを吸収することが可能になれば、輸入に頼らない農業へ転換できます。

また、大崎教授は熱帯のゴム樹の生えている地域でゴム液が無くなる場所を調査して、ゴムを食べる微生物を採取しました。この微生物はポリプロピレンやポリスチレン、ウレタンなどを分解する能力をもっており、さまざまな土壌微生物の利用により環境改善が可能となります。

近年、バイオインフォマティクス（生命科学への計算機科学の応用）が進展していることから、有用微生物（窒素固定細菌、アンモニア放出細菌、菌根菌など）の同定評価を可

能とする DNA チップの開発によって、微生物を単離・培養するプロセスを要せずに効率的な微生物診断が可能となります。

また、微生物群を対象にしたゲノム解析（メタゲノム解析）によって、新規の有用な酵素や生理活性物質の発見が期待されており、いままで「ブラックボックス」といわれた土壌が「宝の山」になろうとしています。

■植物と微生物とのコミュニケーション

根圏環境では、植物と細菌など微生物との関係が大きな役割を果たしています。その中でも人間にとって重要なものは、タンパク質など生体物質に不可欠な窒素を固定する窒素固定細菌です。

地球上の土壌と水中に含まれる窒素のうち、60 %以上が窒素固定細菌の働きとみられており、固定した窒素がもっとも迅速かつ有効に植物に移行するのが、植物－細菌の共生システムです⁴。この共生システムは植物と細菌の間でシグナルを相互に交換することによって行われていることが最近明らかになりつつあります。

近年の分子的手法の進展によって生物の相互作用に関わる遺伝子が数多く見つかり、その生理的機構が解明されつつあります。例えば、マメ科植物はフラボノイド類のシグナル物質を出し、根粒菌はそのシグナル物質を認識して遺伝子の転写が始まり、根粒因子と名付けられる物質を作ります。これが根粒をつくってほしいというシグナルを植物に伝えます。このシグナル物質の交換を通じて探している相手かどうかを識別していることが分かってきました⁵。

根粒菌とマメ科植物のゲノム解析が進展したことにより、塩基配列情報をもとに共生過程で発現が変化する遺伝子の同定などが進められています。生物間相互作用が個々の生物に与える影響と共進化（2種以上が互いに影響し合う進化）の過程が解き明かされようとしているのです。

■植物と微生物の共生に学ぶ

このように植物と微生物が共進化の関係にあることが分かりつつありますが、動物と植物との間にも共進化の関係が認められています。

早くから知られている例は、被子植物と草食昆虫の関係です。被子植物は紫外線を吸収するフラボノイドを作出することにより、大切な胞子を紫外線障害から防いでいます。また、このフラボノイドは抗菌性や対虫性をもっているので、草食昆虫にも対抗できます。ところが、昆虫は近紫外線を捕捉できるため、フラボノイドが吸収した紫外線を感知して植物の在処を知ってしまいます。ある程度を草食昆虫に胞子を食べられても、生き残った胞子を昆虫に運搬してもらえます。このような関係はとりわけ、蜜を吸い花粉を媒介する訪花昆虫と虫媒花の関係が有名です⁶。

牧草と牛とに同様な関係があることを藤本文弘教授（岐阜大学）は見出しました。牧草が長い間、刈り取らないと勢いをなくし、刈り取ると若々しいみどりの葉を再生して伸びることに気がつきました。食べられた牧草は早く再生して光合成を盛んに行います。多年生牧草は再生でき、食べ残された場合には種子をつけます。草食動物に食べられる環境下で進化してきた牧草は強い再生をもっています⁷。

藤本教授は、根粒菌とマメ科植物との共生メカニズムや牧草と草食動物の共進化の事例は、地球上での生存が排他的な競争ではなく、より豊かな生を求めている「競い合い、認め合い」であると指摘しています。すなわち、生物間相互作用が進化の源です。藤本教授が指摘するように、育種によって植物は潜在的な能力を発現し、栽培することによって植物はヒトの管理下で外敵から身を守られて成長します。地球上でヒトと植物は相互に作用し、共進化の過程を歩んでいるのです。循環型社会の方向として「ヒトと植物の共生」という農業のあり方は「ヒトと植物の共進化」という長い歴史からみてむしろ当然のあり方と考えられます。

現在では定説に近いとされている考え方に生物細胞の起源を説明する「細胞内共生説」があります。細胞内の小器官ミトコンドリアや葉緑体の起源は好気性細菌、藍藻に近い物が細胞中に取り込まれて、一つの細胞になったと考えられています。宿主の細胞に有機物やエネルギーを供給する代わりに、細胞内で保護を受け、維持に必要な成分をもらっているのです。最初は単細胞生物でしたが、やがて多細胞生物へ、そしてより複雑で高度な生物である動物や植物へと進化しました。このように「共生」は普遍的なものであり、私たち人間を始め、今日ふつうに見かける動物植物は、そのような進化の過程を経ていると考えられています。

2004 年 4 月から、北大の創成科学研究機構では根圏制御研究に腸内微生物研究チームを加えた「食の安全・安定供給」プロジェクトがスタートしていますが、農業だけでなく、医薬品や健康食品という「ヒトと生物の共生が」が研究対象の時代となってきたのです。

参考文献

- 1 丸本卓也「土壌微生物バイオマス窒素の動態に関する研究」日本土壌肥料学会誌、第 68 巻（1997 年）第 3 号、229 頁。
- 2 斉藤雅典「網羅的に調べるとのこと」農環研ニュース、2004. 7、No63、2 頁。
- 3 根圏（Rhizosphere）とは、植物根面より数 100 μ m の範囲で、植物根－微生物－土壌が活発に相互作用している領域をいう。
- 4 藤本文弘「生物多様性と農業」農文協、1999 年、165 頁。
- 5 前掲書、176 頁。
- 6 平野千里「原点からの農薬論－生き物たちの視点から」農文協、1998 年、51～53 頁。
- 7 前掲書、183 頁。

4. 水土の知の総合化

これまで見てきたとおり、水の分野では、機能水、軟水・硬水、電解水、温度帯、ナノテク、水分子など多様な水質の機能解明が必要であり、それにより水循環機能を発揮させる水の新たな利用方法が生まれることが示唆されています。

また、土の分野でも、土と微生物、植物と微生物の共生など化学肥料や農薬に依存しない土の生命力があり、それを解明することが次世代の新たな物質循環を生む基本であると考えられます。

水土の知は〈水〉と〈土〉に関する知見を中心に〈人〉を介して地域の水土に及ぶ対象を反映して全体性を有しており、これまでもその特徴を活かして数々の成果を上げてきましたが、過度に細分化され、水土の特性に応じた全体性を見失う傾向にあることも否定できない事実です。

このため、この知には水循環にせよ、物質循環にせよ、細分化されて過程の一部分を担って発展してきた個々の分野を総合化し、循環の全過程の中でとらえる本来のあり方に今一度視座を転換し、その体系化、普遍化を強力に推進し、新たな形態の科学／技術として定礎すべきです。その際、近代以降の科学／技術に裏打ちされ、現在までの成果の蓄積に立脚しつつ、近世までに確立された水土の精神を再評価し、生産力も技術もはるかに異なる水準にある現代に再生することが求められています。

こうしてみると、水土の知の総合化は、これまで細分化してきた科学／技術の再編を行うのではなく、自然の力をバランスよく引き出し、自然の循環機能を最大限発揮させるような新しい視点に立った科学的な解明と自然との共生を図る技術開発が必要であると考えられます。そこで、新しい視点からの水土の知の総合化に向けた事例を紹介します。

■常磁性という水土面の機能

火山活動によって作られた岩石は太陽光線を受けることによって、植物を成長させる力を持ち、常磁性の岩石は自然界の電磁波エネルギーを取り込み、また、それを周囲に解放することによって植物の成長に良い影響を及ぼすと考えられます。

黒体放射理論によれば、物質は太陽光線が照射され吸収されると、それを放射し、その波長はそれぞれの物質によって異なります。例えば、花崗岩は溶岩が噴出したときの温度が 200 ～ 500 度のものが多く、4 ～ 8 μm の波長の電磁波を吸収しており、放射される波長も 4 ～ 8 μm の波長です¹。また、36.5 度の人間は 9.65 μm を、満月は 7.77 μm の電磁波を放射します²。さらに、電磁波の生体へ及ぼす機能に関しては、井上昌次郎教授による実験では、4 ～ 14 μm の電磁波をネズミに放射した結果、ネズミの体重の増加、睡眠時間の延長など成長促進作用が確認されており、人体に関しては末梢血液循環の促進効果が確認されています³。

磁性には 3 種類あり、強磁性 (Ferromagnetism)、常磁性 (Paramagnetism)、反磁性 (Antimagnetism) です。強磁性とは磁石に吸い付く鉄、コバルト、ニッケルなどの磁氣的性質です。強磁性体の原子は磁気モーメントを持っていて、その向きが同じ方向にそろい、自ら磁化をつくっています。また、常磁性とは外部磁場が無いときには磁化を持たず、磁場を印加すると磁場の方向にわずかに磁化する性質をいいます。アルミニウムや酸素

などが常磁性を示します。反強磁性とは銅や水のように非常に弱い力で磁石から遠ざかるとうとする性質をいいます。ところが、強磁性をもつ鉄も磁石にくっつかなくなる場合があります。強磁性体は小さい磁石の向きがそろっているものですが、温度を上げて、一定温度（キュウリー温度）以上になるとその向きがバラバラになり、強磁性ではなく常磁性を示します。また、反磁性体も強磁性体と同じように温度を上げて、ある温度（ネール温度）以上になると、磁気モーメントがバラバラになり常磁性を示すのです。

常磁性と反磁性は非常に弱い磁場（CGS⁴ 単位の 100 万分の 1 の単位で測定される）を意味し、この弱く測定が難しい磁場は長期間にわたり作用します。土や岩に常磁性が存在する場合、これを磁石の近くに置くと、糸につるした土や岩に弱い力が働き、磁石にわずかに引っ張られます。常磁性の強さとは、岩を糸につるして磁石に引っ張られる度合です。100CGS では磁石に吸い付かず、0.5 インチが関の山で、200 ～ 300CGS では 2 インチは移動し、700CGS では 5 ～ 6 インチ動くことになります。

博士によると、良い土（700CGS）で穀物を栽培した場合には、常磁性が反磁性の水の蒸発を抑えて保水力は 5 割増加し、耐寒性を増すことが分かっています⁵。博士はこの力を測定するための常磁性土壌測定器（PCSM：Paramagnetic Count Soil Meter：Phil Callahan Soil Meter）を開発しました。土壌の良さは、常磁性の数値が 100CGS では貧弱、100 ～ 300CGS は良、300 ～ 800CGS は優、800 ～ 1200CGS 以上は秀というように分類されます。土壌の常磁性が貧弱な場合には、常磁性の高い玄武岩や花崗岩など火山岩を土に入れると良くなります。古代ケルト人が直感で理解していたことが、今や近代科学の恩恵によって電子技術を用いてその岩石にどの位の力があるのか、測定することができるのです。

高エネルギーを前提とする近代科学と対極をなす自然を破壊しない科学として、常磁性は生物学にとって重要であるにもかかわらず、常磁性という用語は土壌学、植物学や農学では、この言葉が見出せないと博士は指摘しています⁶。

ちなみに、常磁性について、藤原肇氏（地質学者。国際政治経済についての論評も多く、ゼネラリストとして知られている。）は「日本中の科学の教科書を捜しまわっても、このパラマグネティズムを論じた本は見あたらず、生命現象にとって最も重要なものが、見落とされているような感じがするのです⁷。」と同様の意見を述べています。

キャラハン博士は、同じ火山国であるアイルランドと日本で仕事をしたため、アイルランドの円塔と同じように、禅寺の庭の石組の中に常磁性と反常磁性の岩石の組み合わせがあることを観察した結果、狭い国土の 2 つの国の農業や生活の中に常磁性の力を自然に取り入れていることに気が付いたのです。更に、常磁性の円塔と同様に反磁性の樹木にも太陽エネルギーを集めることができる性質があると考えています。このエネルギーは、円塔が収集するエネルギーとは、反対の性質を持つものです⁸。

アイルランドやアマゾンでは森林の樹木を伐採するときに 1 本の樹を残して伐る風習があります。その残った木がアンテナの役割をして太陽から電磁エネルギーを取り込み周囲の土壌に与えます。アイルランドでは耕地の中央に残った木をフェアリー・ツリーと呼んでいます。アマゾンのアシアリ部族は、この木をスピリット・ツリーと呼んでいます⁹。わが国でも神の木を残して、伐採する木こりの伝承がありましたが、いずれも土壌にエネルギーを与えることを知っていて、この木を切るようなことはしなかったのです。

■人と環境に優しい技術

こうした常磁性の力と関連して極低周波があります。大気中にある極低周波は落雷によって発生した波長の長い電磁波です。極低周波は、深い地中や海中を貫通することから潜行中の原潜の交信に海軍が使用しているものです。37500 km (8 Hz) という非常に長い波長や、また、8 Hz、14Hz、21Hz、27Hz、33Hz という決まった値をとります。この極低周波は、シューマン博士によって発見されたものであり、電離層と地表との間で存在しています。更には、 α 波や β 波として知られる脳波とも一致していることが認められています¹⁰。

キャラハン博士はアイルランドの常磁性の円塔が極低周波のアンテナであり、その増幅器であると考え、測定した結果 8 Hz を確認しています。アイルランドの巨石遺跡でも 8 Hz を確認しており、また、来日の折には冒頭で述べた 160 年続く井上醤油を訪問して、醸造蔵で 8Hz の数値を測定しています。博士は低周波が植物の生育のみならず微生物の活性にも大きな影響を与えていると考え、Tek meter (極低周波測定器) を開発しています。太陽光線は土中を通過しないので、土中の太陽光線は研究する必要はありませんが、土中の極低周波は種子や根を刺激し、通過するので、むしろ太陽光線に代わって極低周波の研究をする必要があるにもかかわらず、生理学者や生物学者からはまったく無視されている研究分野であると、博士は語っています¹¹。

冒頭述べた佐藤順一氏が行った炭埋は反磁性の性質をもつ炭を埋めることによって、圃場が吸収する電磁波や低周波を整えようとしたのです。わが国で民間農法として行われているこの炭埋工法に関しては、中野益男教授 (帯広畜産大学) の指導で、1993 から 1998 年までの北竜町、下川町、清水町など 11 圃場で作物収量調査が行われています。この調査では作物の増収効果が確認されていますが、炭埋によってなぜ作物が増収するかというメカニズムについては解明されていないものの試験データが蓄積された意義は大きいといえます。

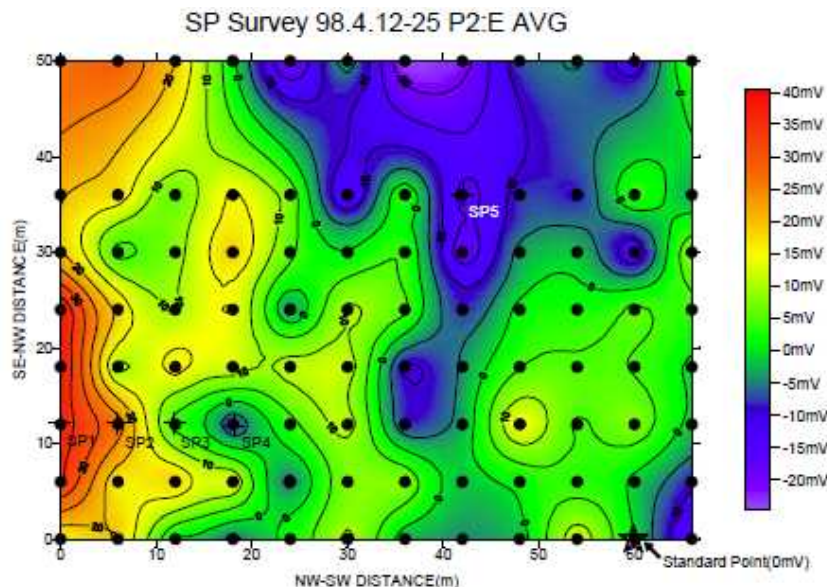
報告書の概要は以下のとおりです。

「炭埋施工後 2 年目から、作物収量は増加する傾向が認められ、その程度は平均して 10 % 程度です。作物毎に炭埋の効果発現までの期間に差があること、作物中のミネラル微量要素は全体の傾向として増加の傾向がみられること、また、土壌物理性に関しては、炭埋区は対象区に比べて、透水性、通気性、保水性が良好で団粒構造が発達していることがわかっています。さらに、土壌物理性に関しては、活性化が促進され作物成育に直接良い影響を与え、増収につながったと考えられています。なお、炭埋による自然電位の改善効果に関しては一部圃場では磁力が経年的に上昇する傾向 (300 ~ 500 n T) が認められましたが、差が認められない圃場もありました。結論として、炭埋によって増収し、炭埋によって磁力が高まっています。」(農用地活性化技術検討報告書、北海道開発局、1999 年)

■自然電位で土壌生物を探知

これに関連して農村工学研究所では、筆者らは自然電位を図ることで土壌生物、特に線虫を探知する方法の特許 (1999 年特許 3007969) として取得しています。

地盤には様々な要因により微弱な電流が流れており、地表面には定常的な電圧の高低（自然電位）が生じており、土壌生物に影響を与えているとされています。面的に自然電位を測定し、電圧の高いところから低いところまでの代表的な何点かの土壌を分析し、土壌生物密度と電圧の相関を求めます。相関がある生物については、労力のかかる分析を行わずに、自然電位分布により密度分布を推定することができます。



これまで、土壌生物は作物の生育状況や顕微鏡観察などによりその存在を確認し、線虫などに対しては高額で人体にも有害な農薬に依存してきました。

しかしながら、この方法を用いることで局所的に把握でき、しかもその対策として前記した炭を土壌中に埋設することで自然界の電位を調整し、

農薬を使わない農業が見出せているのです。

■土地改良における環境との調和への配慮

平成 11 年 7 月に制定された食料・農業・農村基本法においては、国土や環境の保全、文化の伝承等の農業・農村の有する多面的機能については、将来にわたって適切かつ十分に発揮されるべきことや、農業生産基盤の整備にあたっては、環境との調和に配慮しつつ行うべきことが規定されました。また、平成 13 年 6 月の土地改良法改正においては、土地改良事業の実施の原則として「環境との調和への配慮」が加えられました。この意味は、おおよそ次のようなことから説明されています。

わが国の農村においては、水田等の農地のほか、二次林である雑木林、鎮守の森・屋敷林、生け垣、用水路、ため池、畦や土手・堤といった、多様な環境が有機的に連携し、多くの生物相が育まれ多様な生態系が形成されるとともに、農地や歳月を経て周囲の環境と調和した農業水利施設等の呈する良好な景観が形成されてきました。

わが国の農村の環境は、このような適切な維持管理の上に成り立った二次的自然を基調とするものであり、その保全や回復を図ることが、国全体として良好な環境を維持・形成する上でも重要です。

また、農業は生産力の基礎を自然の物質循環の中に置いており、環境への適切な働きかけによって、環境を管理・整備するという特質を有しています。このため、適切な農業生産活動が行われることにより、国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成等の多面的機能が発揮されていますが、一方では、化学肥料や農薬の不適切な使用等により、農業が環境に負荷を与える場合もあります。

他方、かんがい排水事業やほ場整備事業などの土地改良事業は、生産基盤の整備を通じ

て、農業生産性の向上、農業経営の合理化等を目指すとともに、持続的な農業生産活動を可能とすることにより、自然環境の保全などの多面的機能の向上にも資するものです。さらに、農業集落排水事業などの農村の生活環境の整備を行う事業は、水質の改善などにより、良好な環境の形成に資するものです。一方、経済性や管理上の効率性を重視した工法による事業の実施に伴い、生態系や景観等への負荷や影響を与える側面も有しています。

このため、可能な限り環境への負荷や影響を回避・低減するとともに、良好な環境を形成・維持し、持続可能な社会の形成に資するためには、農業生産の基盤や農村地域の生活環境の整備を担っている農業農村整備事業の実施に際しても、事業の効率的な実施を図りつつ、さらに環境との調和への配慮を進めることが必要です。

■バイオマス資源の循環技術に問われること

生ゴミや家畜糞尿等の廃棄物を微生物の働きを利用してエネルギーや液体肥料として利用するメタン発酵が全国で取り組まれています。この技術には、メタン発酵過程の複雑さに加えて、嫌気発酵であるために廃棄物中のタンパク質に含まれる窒素や硫黄の最終生産物は、それぞれアンモニア及び硫化水素となりますが、前者は消化液中に高い濃度で存在し、メタン菌の発酵を阻害します。さらにこの消化液の廃水処理ではアンモニアの硝化と脱窒工程を付加する必要があるために装置コストも割高になります。後者はバイオガスから脱硫する必要があり、装置のランニングコストを高めています。

これらの技術を総じて見ると、自然の循環機能を活用せず、各段階で最大限のエネルギーを得るために様々な化学反応を活用していることに基本的な問題があるように思えます。

これと対比できるのが、江戸時代の江戸の循環システムではないでしょうか。ロンドンやパリを知る外人は江戸の街の清潔さ、よく入浴し、粗末だがよく洗濯された着物を着る江戸の人たちの清潔さに驚嘆したそうです。江戸では、排泄物は便所から汲み取られ堆肥の材料として、高額で取り引きされるほど大切にされていました。したがって、道路を汚すことは少なかった様です。

下水に流したものは洗濯の水と、米のとぎ汁であるが、ほとんどが川に流れ込む前に大地にしみ込んでしまったと、あります。洗濯はというと、石鹼は高価で使われず、灰やムクロジなど環境に良いものが使われていました。しかも洗濯や炊事に使った水は、拭き掃除に使い、最後は畑や植木にやったり、打ち水するなど徹底的に使いまわす事が多かったのも、量も現代よりはるかに少なかったと思われます。つまり、自然の環境容量とでも言えるべき機能を最大限に活用し、過度なエネルギーは用いてこなかったように思えます。

木質系バイオマスも、メタン発酵、炭化等の技術が提案されていますが、自然の循環機能を活かしたシステムであるかをもう一度点検する必要があると思います。

■水土の知の総合化は100年使える農地の利用・管理技術の確立にあり

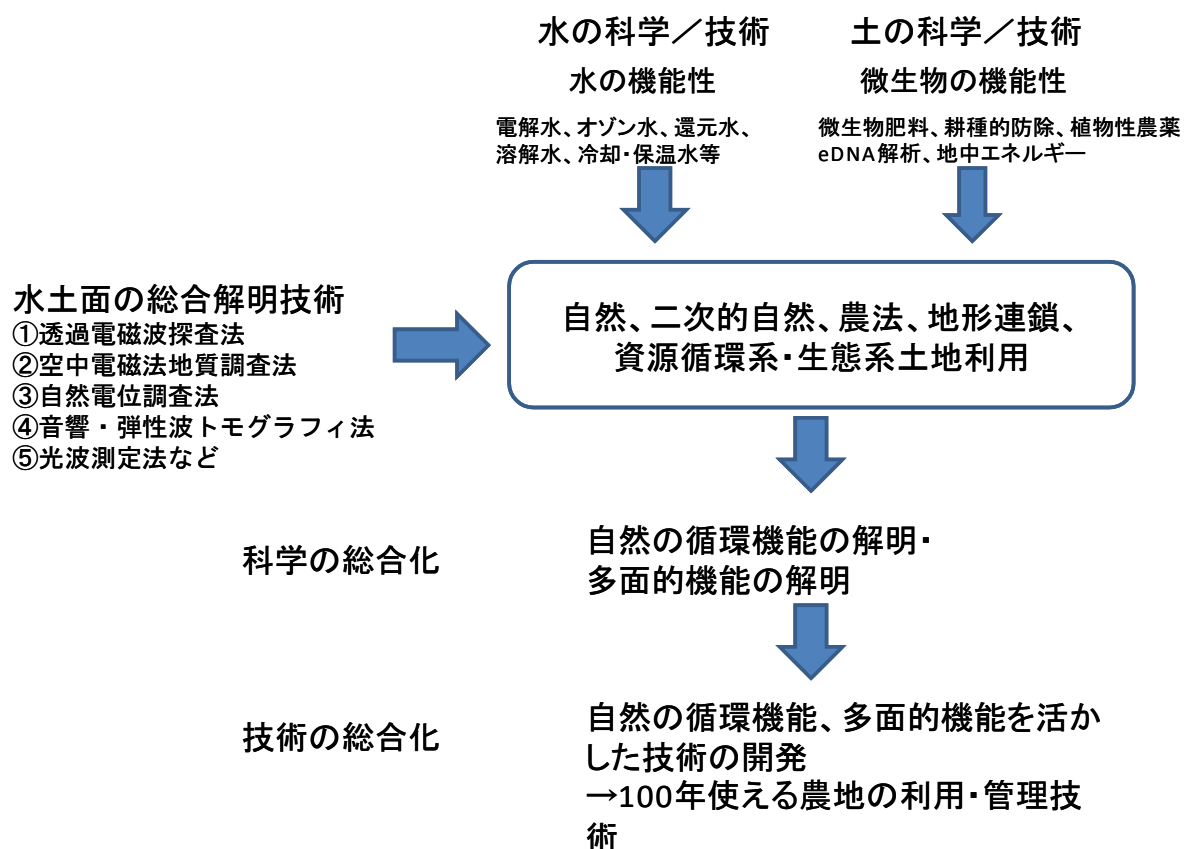
水土の知は〈水〉と〈土〉に関する知見を中心に〈人〉を介して地域の水土に及ぶ対象を反映して全体性を有しており、これまでもその特徴を活かして数々の成果を上げてきましたが、過度に細分化され、水土の特性に応じた全体性を見失う傾向にあることも否定できない事実です。

このため、この知には水循環にせよ、物質循環にせよ、細分化されて過程の一部分を担って発展してきた個々の分野を総合化し、循環の全過程の中でとらえる本来のあり方に今一度視座を転換し、その体系化、普遍化を強力に推進し、新たな形態の科学／技術として定礎すべきです。その際、近代以降の科学／技術に裏打ちされ、現在までの成果の蓄積に立脚しつつ、近世までに確立された水土の精神を再評価し、生産力も技術もはるかに異なる水準にある現代に再生することが求められています。

この水土の知の理念を環境との調和への配慮という面に当ててみると、まさに水と土の有する自然力、包容力、治癒力等の循環機能、多面的機能を最大限活かすことが環境との調和につながることになると言えます。そのためには、水、土、そして相互の関係、さらに人の関わり方について、新たな知見を形成する必要があります。

循環型社会をむけて、このような自然エネルギーを利用した研究を農業、特に昆虫制御に活かす時期が来ていると考える。また、自然界を観察し応用する農業技術は、わが国でも行われていたのであるが、近代技術進歩の中で忘れ去られてしまったのである。常磁性や極低周波といった微弱で捕捉し難い低エネルギーの研究を今後大いに農業に取り入れる必要があると考えられる。わが国においても地域で真摯にこういった自然に優しい技術を取り入れた意欲的な農業者が現れている。

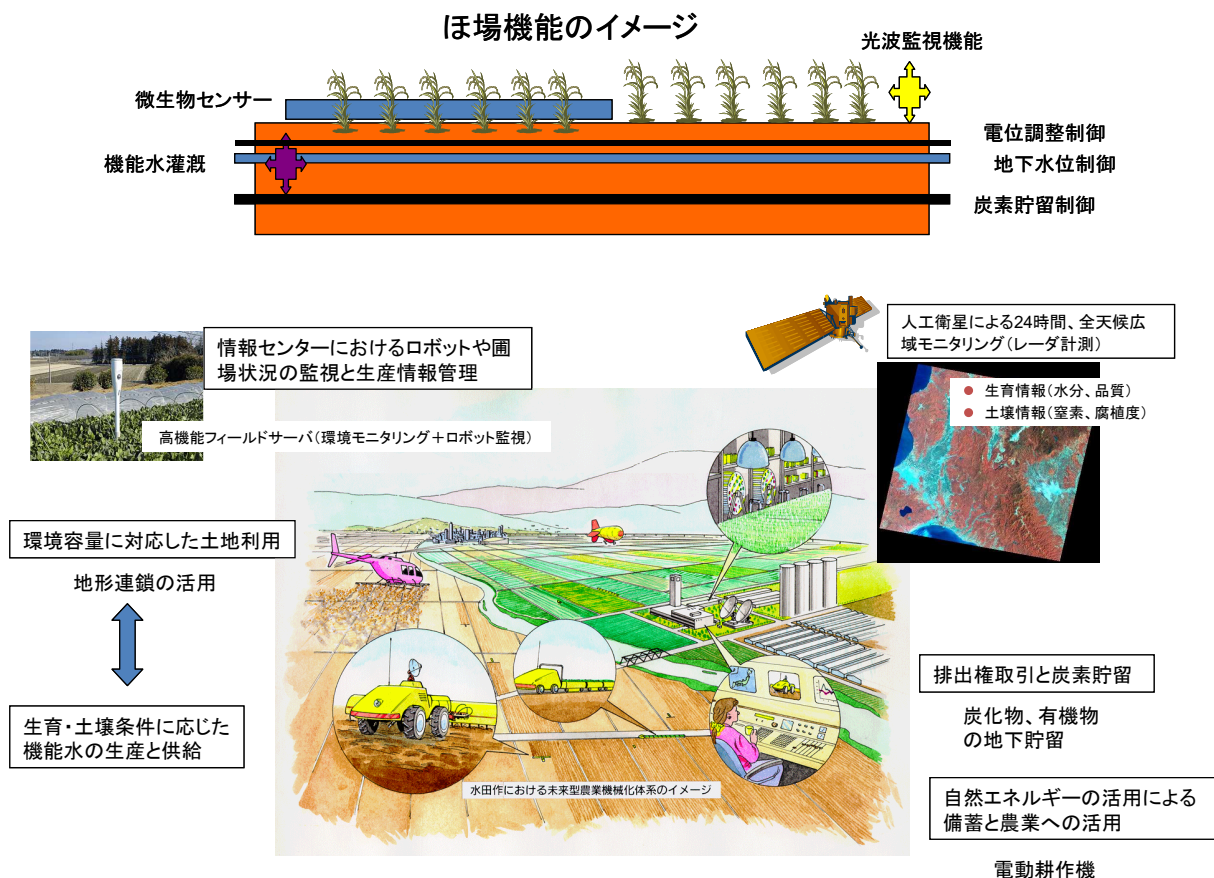
近代農法が往々にして効率化の中で見過ごしてきた自然の叡智とも言うべき優れた技術を現代科学で再評価して、近代農法とこれを補完する技術を総合化技術として体系化する時期が来ているように思えます。



これらをまとめると、科学／技術の総合化のための新たな手法としては、
①水の機能性に着目した研究および、②土の持つ微生物の機能に着目した研究開発を進め

ると共に、それらの新たな解明手法と併せて水土面を新しい視点でとらえる透過電磁波探査法、空中電磁法地質調査法、自然電位調査法、音響・弾性波トモグラフィ法、光波測定法などを用いた診断技術を駆使して、自然、二次的自然、農法、地形連鎖、資源循環系・生態系土地利用といったフィールドを捉えることが必要であると考えます。これにより自然の循環機能、多面的機能を活かした技術の開発という技術の総合化が図れるものと考えます。

国が国民の食料の安定供給を保障するということは、収奪ではなく、自然循環機能を活かした持続的な農業が行える農地づくり、つまり、100年は使える農地を作り上げていくことに責任を持つことであると思います。この農地には、当然のことながら水に関わる施設も含まれます。具体的なイメージは、ほ場に電位量・光量を把握するセンサーを持ち、電位を安定させる電極を持つこと、地下水位を管理できるようにし、微生物センサーによる生育環境の把握、余剰エネルギーの蓄積と利用、炭素貯留機能の監視などが隔地管理できること、さらに地形連鎖も活用した環境容量を備えた土地利用を行えるようなことであると考えています。



参考文献

- 1 丹羽鞠負「水ーいのちと健康の科学ー」ビジネス社、1992年、93頁。
- 2 Philip S. Callahan [Tuning in to Nature] Acres U.S.A.1975, 奥井一満訳「自然界の調律」海鳴社、1980年、83頁。
- 3 丹羽鞠負「水ーいのちと健康の科学ー」ビジネス社、1992年、219～221頁。

- 4 1秒当たりでセンチメートル・グラムをいう。この稿では 100CGS は 100/1,000,000 of a CGS を意味している。
- 5 Philip S. Callahan [Paramagnetism & Native Agriculture] Subtle Energies in Agriculture Conference January, 1999
- 6 Philip S. Callahan [Paramagnetism Rediscovering Nature, s Force of Growth] Acres U.S.A.1995, p.43.
- 7 藤原肇「宇宙波動と超意識」東明社、1990 年、261 頁。
- 8 Philip S. Callahan [Ancient Mysteries, Modern Vision] Acres U.S.A.1984, p.108.
- 9 P. S. キャラハン「常磁性の土壌と大気中の極低周波が植物の成長に与える影響について」千年の森シンポジウム（1994 年 9 月）講演要旨 110 頁。
- 10 Philip S. Callahan [Paramagnetism Rediscovering Nature, s Force of Growth] Acres U.S.A.1995, p.p.54-55.
- 11 Philip S. Callahan [Exploring the Spectrum Wavelength of agriculture and life] Acres U.S.A.1994, pp.160-163.