

科学とは何か

—科学を科学することによって—

科学とは何か

—科学を科学することによって—

(A Science of Sciences)

戸 上 良 弘

戸 上 良 弘

【はじめに】

本論文は、1996年2月から3月にかけて、インターネット上のニュース「fj」に投稿した記事を元に再編集し直したものである。

人はよく、「正しさ」の判断基準として、「科学」というものさしを使う。「科学的に言って正しい」とか、「科学的に言って間違っている」という言い方をする。あるいは、「それは科学的である」とか「それは科学的でない」という言い方もする。では、はたして「科学」という「ものさし」は、万人にとって共通のものであろうか。もし共通のものとするれば、それはいったいどのようなものさしであらうか。もし共通のものでなく、人や分野によって変化するものであるとすれば、それは「正しさ」の判断基準として使えるのであろうか。現在、科学の扱う対象が大きく広がってきたが、それにともなって科学の概念そのものも変化してきているのではないか。科学という概念そのものに歪みが生じているのではないか。

上記のような問題意識をもって「科学」というものを見つめなおしたとき、そもそも「科学とは何か」という根本的な問題にぶつかった。科学とは何かという問、すなわち科学を定義することは可能なのか。このような問に対する回答をこの論文で表現しようと試みた。この論文は「科学」を「科学」することによって、「科学」を再帰的に定義しようと試みた、ひとつの結果である。つ

まり、「科学」という言葉が、この論文全体を象徴し、また逆にこの論文全体が、「科学」という言葉の表す概念を規定する、そのような自己参照的な構成で表現することを試みた。

まずはじめに、私自身がどのような視点・視野で物事を見ているか、ということを書いておく。私が科学的と感じる特徴は大きく分けて3つの部分からなる。それら3つの部分は「流れ」と「方向性」持ってそれぞれつながっている。流れには順方向と逆方向があり、それらはそれぞれ一見相矛盾する2つの科学概念をつくり出している。それらが私の頭の中では相補的に共存している。ここで「相補的」というのは、互いが他を補い合いあって共存していて、片方だけを独立して取り出せないような概念、あるいは片方を否定するともう片方も否定されるような概念をいう。科学の成長過程・発展過程において、科学と科学者、すなわち「科学の対象」と「科学する人間」との関係は、お互い切り離して考えられない関係にある、と私は捉えている。とくに科学する側の人間の思考プロセス、および思考の流れに視点を置きながら全体を眺める方法で考察していく。

【1. 科学の構造と特徴】

〔1.1 科学の基本構造モデル〕

まず、科学の構造を単純化し、図1-1のようなモデルで捉えてみる。

《仮説》→《プロセス》→《結果》

図1-1 科学の基本構造モデル

《仮説》とは、ある現象を観察し、法則性や共通性から推測される「仮定」の部分である。ここでは「問題提起」や検証される前の「モデル」なども「仮説」に含んで考える。すなわち、この図1-1のモデル自体も仮説であり、その検証は本論文全体を通しておこなう。

《プロセス》とは、仮説に対して検証や実験をしたりするときの手順の部分である。ここでは「思考実験」などの論理的な思考や「考察」もこのプロセスに含んで考える。いわゆる「科学的にいつて何々」という場合の「科学的」が指す対象が、このプロセスの部分といつてよい。

《結果》とは、「仮説」から出発し「プロセス」によって引き出された、現象、結論、予測などを示す。

科学は3つの特徴的な部分からなり、それらが一定の流れをもって渾然一体となって構成されていると捉えることができる。もちろん、実際の科学の構造は、このように単純なものではないだろう。このような構造が、並列に重なり合ったり、直列に結合したり、再帰的に入れ子になったりして、一連の科学体系が形成されていると考えられる。それは、科学が自然科学を中心に成長してきたことと、自然自体がフラクタル性（自己相似性）を帯びていることと無関係ではないだろう。

〔1.2 科学の特徴と研究者の視点〕

さて次に、3つの特徴《仮説》、《プロセス》、《結果》の中で、もっとも重要な部分はどこか、という問題を考えてみる。おそらくどの部分を重視しているかは、人によって意見が別れるところであろう。

科学によって得られた結果を利用したい人や、知識欲が旺盛な人にとっては「結果」が重要であろう。科学に新しい見地をつけ加えたい人や、いつもなぜだろうと問いかけをする人にとっては「仮説」が重要であろう。どれも重要であろうが、やはり、科学を特徴付けている部分として、「プロセス」はもっとも重要な部分と考えられる。なぜなら、もしプロセスがしっかりしたものでり、誰がおこなっても同じ結果が得られるならば、再現性・客観性が良いといえるからである。

そして、そのプロセス自体は、科学する対象を変えて他の分野に適応しても応用がきく部分であろう。狭義の科学が自然科学を指すといえるように、自然

科学におけるプロセスは現在もっとも確立されたものといっても過言ではない。自然科学のプロセスを社会現象に応用しようとする試みが社会科学であり、人類文化に応用しようとする試みが人文科学であると捉えることもできる。

〔1.3 順プロセスと逆プロセス〕

もう一つここで重要な関係は、「仮説」と「結果」は常にセットで評価する必要があるということである。プロセスがしっかりしていればいるほど、結果は仮説に大きく依存する。ある現象が、既存の科学の枠組みで説明できないとき、プロセスを逆にたどって仮説の部分を再検証する必要が生じることがある。もちろんその前に、よく現象を観察し対象の認識を深めることがより重要であることは言うまでもない。しかし、多くの人たちによって積み重ねられてきた分野における科学、言い換えると成熟期にある科学体系では、仮説は「前提」条件の中に「暗黙の仮定」として埋め込まれている場合がある。よって、そのことを「認識」すること自体が非常に難しい場合が多い。

逆にいえば、研究者がある科学の枠組みを選択した時点で、すでにその枠組みの前提条件を暗黙のうちに認めているといえる。このこと自体をまず「再認識」しておく必要がある。

【2. 工学の構造と特徴】

科学と工学とは、よく車の両輪に例えられる。現在では工学も科学の一部であるという捉え方をされることも多いが、ここでは特に工学の特徴を取り出して検証してみる。

〔2.1 科学と工学の構造上の違い〕

科学の場合は、ある現象の原因究明や理論構築などをしたい、という動機で研究を進めることが多い。一方工学の場合は、どちらかというと具体的な「目的」や「目標」が先にあり、それを実現させるための方法や条件を探すという

方向で研究が進められる。

たとえば、太陽電池を例にとって考えてみよう。工学的研究者が、なぜ太陽電池を研究開発したいのかというと、それはクリーンエネルギーを得るためである、というような目的がまず先にある。そして、その目的より、具体的実現に向け、現状認識から目標を定める。

具体的には、太陽電池をエネルギー源にするには変換効率が低いし、生産コストが高いので、エネルギーの代替えにはまだまだ問題があるという現状認識があったとする。そこで、変換効率を従来型のものよりも向上させたいという目標をたてたり、生産コストを下げるという目標を立てて、基礎研究や開発研究をおこなっていく。

つぎの問題点として、太陽電池発電には広い面積が必要であり、日本のように地価の高いところでは、それで電力を得るには無理がある、という前提認識があった場合は、家庭の屋根瓦を太陽電池でつくって家庭の屋根を発電所にしようという発想が生まれる。

また高い初期投資をしてまで太陽電池の屋根瓦を購入する人はいない、という懸念が生まれれば、国による援助制度の導入を推進したり、太陽電池発電による昼間の余剰電力を電力会社に売ることができる制度化を導入したりして目的を達成させるような努力をしていく。

このように工学では、「目的」が先にあり、それに向けて具体的に研究の目標を絞り、そしてそのための方法（プロセス）を選択し、改良・改善をかさねながらよりよい「条件」を探す、という努力がなされる。

そして、その目標や目的を達成させるための道具として、科学が利用される。工学における実験とは、各種パラメータを変えながら、よりよい条件をみつけるという努力の繰り返しである、と捉えられる。

図 2-1 に工学の構造を科学の構造と比較して表現する。実験手順は科学の方法論、すなわち科学のプロセスをそのまま応用する。しかし科学の「仮説」

と‘結果’にあたる部分は、工学では‘条件’と‘目標’にあたると考えられる。

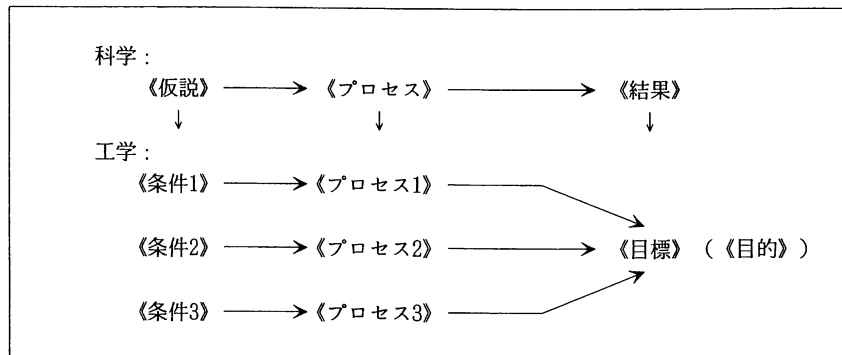


図2-1 科学的アプローチの工学的応用

別の例としてソフトウェアを開発する場合を考えてみよう。ソフトウェアであるプログラムを作る場合、何のプログラムを作るかという目的があり、その具体的なイメージが先にある。どのプログラミング手法を選ぶか、どのプログラミング言語を選ぶか、というのがプロセスの選択にあたる。またその手法を使ってどのようにコーディングするかというのが条件を探すことに相当する。目標を達成するという制約条件はあるが、条件やプロセスの選び方の自由度は、任意に近いぐらい大きい。それが工学の大きな特徴である。

さて、工学はどのような構造を持っているか、ということをもう一度まとめよう。図 2-1 をみると「工学の構造」は、目標に向かうための条件を足し合わせるような構造をしている、と見ることができる。

〔2.2 思考プロセスの方向性から見た科学者と工学者〕

前節2.1で考察したように、工学系の研究者（工学者）と理学系の研究者（狭義の科学者）とで大きな違いは、研究の動機と目標の持ち方にあるのではないと思われる。その点を踏まえ、つぎに研究者の思考のプロセスの方向性

について考えてみよう。

まず実験手順など物理的なプロセス（物理的な順序）としては、図 2-1 のように、工学者も科学者の場合と同じ方向を向いている（図 2-1 で右向き）。では次に、思考プロセスの流れ、すなわち物事をどの順番で考えるか、という研究者の思考順序について考えてみる。

工学者の頭の中には、まず「目標となる（望ましい）結果」が先にある。それを実現させるためのプロセスを選択し、プロセスに与える条件を探し出すというアプローチをとる。よって、工学者の思考のプロセスに視点をおいて意識の流れを見てみると、‘目標’から出発し‘条件’の方向に（意識上における）視線が向いていることになる。それを表現すると図2-2のようになる。

《条件》 ← 《思考プロセス》 ← 《目標》

図2-2 工学における思考プロセスの流れ図

科学者が、仮説から結果を導くプロセスを順にたどるとすれば、工学者は科学のプロセスを逆にたどって目標（結果）から条件（仮説）を探するという思考をおこなうと考えられる。さらに工学では、‘条件’を求めることが最終目標ではなく、条件群をもとにした‘設計図’から、生産のプロセスを経て‘目的物／状態’を得るまでが一連の流れになる。よって、生産のプロセスに視点をおくと、流れは図2-3のようになる。

《設計図》 → 《生産プロセス》 → 《目的物／状態》

図2-3 工学における生産プロセスの流れ図

図2-2と図2-3を重ねて書くと、次のような循環系の流れが構成される。

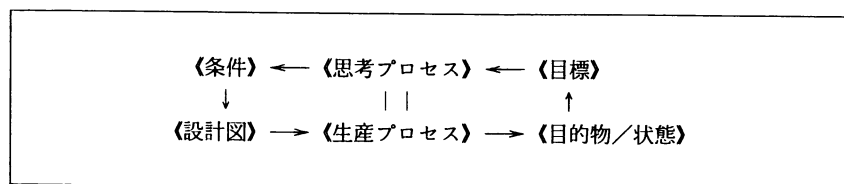


図2-4 工学における循環型発展モデル

ここで図2-4の矢印の方向は、研究者の（意識上における）視線の向きと考えることができる。そして、この循環系は、目標とおりの目的物／状態が作られる場合の典型的なパターンで、工学が発展するときの「循環型発展モデル」といえる。

〔2.3 科学と工学の狭間で〕

節2.1で科学と工学の構造上の違い、節2.2で科学者と工学者の思考プロセスの違いなど明らかにしてきた。しかし実際には両者の境界は非常に曖昧である。この節では科学（者）と工学（者）との狭間で、どのような現象が起こっているか考察していくことにする。

〈前提認識〉

科学によって新しい発見がなされ、それが工学的に応用され製品が生産されるまでには、数十年とかかる場合も少なくない。例えば量子力学の発見が現在の半導体技術に大いに役立っていることは周知の事実であろう。

〈再認識〉

しかし、ここで注意が必要なのは、科学に対して工学がいつでも遅れて発達するとは限らないという点である。

〈考察〉

たとえばカオスなどの複雑系の分野がそうである。カオス研究の分野は、科

科学とは何か—科学を科学することによって—

学的な基礎と工学的な応用が同時進行している分野である。またカオス研究は、非常に学際的な分野に発展中なので、それまでカオス研究の分野では名前も知られていなかった研究者が、あるとき突然カオスの専門家として、カオス研究者の仲間入りするという現象も見られる。

また科学は、これまで細分化することにより成長してきた一面がある。よって、複数の分野にまたがる科学を、工学的に応用したシステムなどでは、条件の組合わせや相互作用で、個々一つ一つの条件やプロセスでは考えられないような現象が起こる場合がある。一般に‘発明’といわれるものの中には、科学による説明が追いつく以前に試作品が先に作られる場合がある。

〈問題喚起〉

さて、科学や工学に人間的な駆け引きが入ってきた場合は、現象の真偽の見極めが非常に難しくなる場合がある。そのような人間的な駆け引きによって、真相が隠されてきた例は、歴史上よく見られることであろう。

〈問題設定1〉

ある製品に結びつく基本技術が、科学的にも非常に基礎的で、かつまだ十分に解明されていない現象を利用して応用製品が試作されている場合を考える。つまり、具体的な試作品はできていても、その理論的説明はまだ解明されていないものとする。

〈考察〉

科学者と工学者で思考や行動のパターンが変わってくる。科学者は新しい現象に対する理論的説明、原因の方に関心がある。

一方、工学者の方は、現象の原因の解明や理論の構築よりも、現象を利用した応用製品の方に関心がある。

〈問題設定2〉

さらにその新しい現象を発見した研究者が、その現象を応用した発明の製品化を優先し、特許の取得が確定するまで、その現象の核心部分の公表を避けるという選択をした場合はどうなるであろうか。

〈思考実験〉

- (1) ある現象が科学的にも基本的で、かつ工学的にも有用であったとする。
しかもその現象が、たとえば7つの条件がすべてそろったときだけ、再現性を持って現れるとする。
- (2) その現象の発見者が、7つの条件のうち1つの条件を、あえてあいまいにしてその内容を公表する、という場合を考える。
- (3) 他の科学者がその資料をもとに追試験した場合、条件が足りずに再現性が確認できず、その真偽は謎のまま話題を呼ぶ、ということになるかもしれない。
- (4) さらに厳正なる再試験のもと、その現象の再現性が確認できず、その現象そのものが科学の名のもとに改めて否定される、という場合が考えられる。

〈結果と予測〉

このような状況下では、科学者と工学者の間、および一般社会の間で、大きな認識上のギャップが生じる結果になると考えられる。

その現象を確認しようとする行為が、かえってそのギャップを広げる方向に正帰還をかける結果となり、そのギャップは埋まるどころか、ますますさらに広がっていくと‘予測’される。

〈目標〉

では、そのますます広がっていくギャップを埋め、建設的な方向に事態を収拾・進展させる(目標)ためには、どのような‘条件’が必要だろうか。

〈条件1〉

科学者であり、かつ工学者でもある研究者が、その現象の理論構築と再現性のある実験で、その現象そのものを明らかにする。

〈条件2〉

未知の現象の原因究明や理論構築よりも、先に応用製品を開発することで、一般社会のレベルで現象そのものの認識を広める。

〈条件3〉

人間の認識、認知プロセスの仕組みが明らかになり、社会的レベルでの誤認の構造が明らかになる。すなわち「認知革命」が起きる。

〈条件4〉

小学生や中学生、あるいは高校生に対して、好奇心を引き出すような真の意味での科学教育を施していき、未来における科学者を先手を打って育てていく。

【3. 科学の成長・発展とは】

ある科学概念が、研究者間でどのように受け入れられ、そしてどのようにして共通の認識に成長していくかを考察する。またある既存の科学概念が、新しい科学概念で置き換わっていく過程も考察する。ここでは前者を「科学の成長」とよび、後者を「科学の発展」とよぶことにする。

〔3.1 科学における三段階の成長モデル〕

〈問題提起〉

研究者の間での共通の認識、あるいは科学の常識が形成されるためには、どのようなプロセスが必要であろうか。

〈考察〉

- (1) 科学の場合を考える前に、工学的な応用製品がどのように一般社会に受け入れられ、共通の認識を形成していくかを考えてみる。

- (2) 工学（広く産業）の場合、実際に目的物／状態がつくられることによって、認識が急速に広がっていく。もちろん製品化させる以前に、マーケティングやプロモーションをとおして、あらかじめニーズの把握や動機付けなどが行なわれる場合もある。
- (3) 互換性の問題など、複雑な要因がからむ場合は、良い製品の方が売れるとは必ずしも限らない。
- (4) 技術の発達が新しい製品を創り出し、消費者の利用スタイルが旧製品を駆逐し、新製品で置き換える場合もしばしばみられる。たとえば、レコードプレーヤがCDプレーヤに置き換わっていった過程をイメージすると分かりやすい。
- (5) 科学の場合、工学でいうところの目的物である製品に対応するものは何であろうか。特に思い当たらないかもしれないが、しいていえば「概念」であるといえるのではないか。

〈問題認識〉

科学の場合、ある科学概念が、どのように認識され、ある研究者の間の共通認識となるのであろうか。あるいは一般社会で、科学の常識といわれるようになるまでには、どのようなプロセスを経過しているのであろうか。たとえば、世界でただ一人だけ物事を正しく認識していたとしても、それを表現する方法がなければ、他人に伝えることはできないであろう。また逆に、他の誰かが正しく認知できなければ、単なる妄想で方付けられてしまうであろう。

科学概念の伝達の方法としては、論文を書くという方法が現在一般的である。印刷技術がない時代では、写本という方法に頼ったこともある。そこではデータの写し間違いということもしばしば起こったと考えられる。最近なら、インターネットに代表される様々な伝達手段（メディア）の利用も考えらる。

概念の伝達を3つの部分に分けて図3-1のように表現する。

科学とは何か—科学を科学することによって—

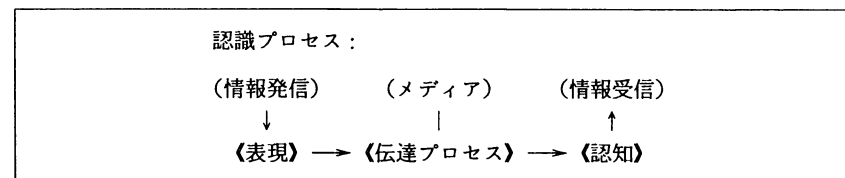


図3-1 科学における概念の伝達・認識プロセス

認知された概念が、それまで蓄積されてきた知識や既存の概念と擦り合わされ、一つの認識を形成していく。その認識を研究者の間で共有することで、共通認識となり、さらに定説となっていくと考えられる。そのような一連のプロセスを、ここでは「認識プロセス」とよぶことにする。

すなわち、ある「仮説」が、複数の研究者の共通認識となり、ある「枠組み」が形成されるには、図3-2のような流れをもつ一連のプロセスを経ることになる。

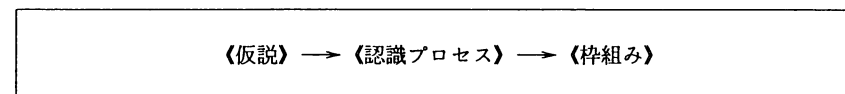


図3-2 科学における枠組みの形成

いったん「枠組み」が形成されると、その枠組みを足場として、対象をより詳しく分析できるようになる。そして、より詳細な結果を導き出すことができるようになる。その様子を図3-3に示す。

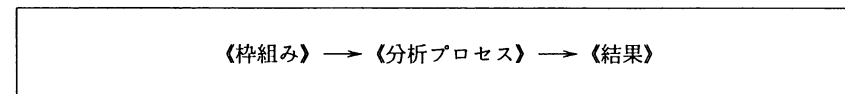


図3-3 枠組みを出発点とする分析型科学

科学の成長モデルを図3-2と図3-3を組合せて、図3-4のように三段階で捉えてみる。

つまり、科学の成長とは、図1-1で示した科学の基本構造モデルを、縦的（歴史的）な時間軸で捉え直したモデルであると考えることができる。

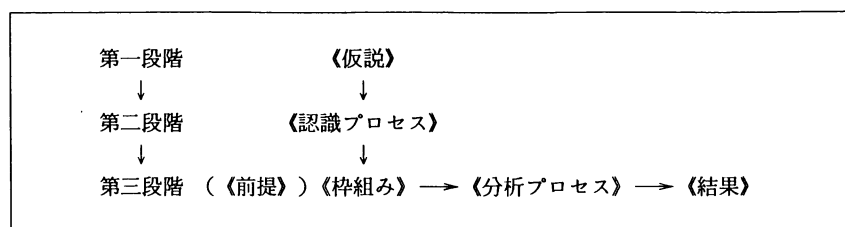


図3-4 科学における三段階の成長モデル

第一段階というのは、ある科学者の立てた仮説によって新たな科学が生まれた状態と考えられる。

第二段階というのは、その科学者に引き続き、多くの研究者がその分野に参入し、研究が活性化する状態である。そして研究者の間での共通の「認識」が生まれる状態とみることができる。この「認識プロセス」にて、仮説のふり分けもなされる。論文の査読制度などもこのプロセスに含まれるであろう。その結果として枠組みが形成されていく。科学における信頼性、客観性は、この認識プロセスによって得られていると考えられる。

第三段階というのは、学問的にも体系化され、教科書にも定説として紹介される段階である。いったん「枠組み」ができると、それを足場にして多くの人が、より詳細に対象を認識できるようになる。そして枠組み自体も強化されていく。同一時代において横的（空間的）にその枠組みによる科学概念が認識された状態である。この時点で、一連の流れに添って導かれた結果は、科学の常識として一般社会に受け入れられていく。

この第三段階では、すでに「枠組み」ができていたので、それ以前に歴史的に積み重ねられてきた仮説は、「前提」条件としてその枠組みの中に埋め込まれていく。枠組みを共にする研究者同士は、その枠組みを思考の出発点とし、普通その枠組みの範囲内でプロセスを順にたどって結果を導きだす。

〈問題喚起〉

さて、ここで注意が必要なのは、認識プロセスでふり落とされた仮説が、

科学とは何か—科学を科学することによって—

必ずしも、間違っているとか、劣っている、とは限らないということである。その時代の一般認識レベルを越えた優れた仮説も、認知されないために同様にふり落とされる。当時表現する方法がまだ開発されていない場合や、検証する方法やデータがない仮説も、認識プロセスによりふり落とされる。よって、一度捨てられた仮説が、例えば一世紀という歴史的時間を経て、その現象を十分に認識できる環境条件が揃ってから、再び振り返られるという場合も十分にあり得る。

〔3.2 科学の発展段階における枠組みの再構成〕

科学が成長過程を経て、第三段階目にさしかかったとする。枠組みから出発し、詳細な観察が可能になる。しかし、詳細な観察が可能になったことにより、逆に枠組みでは説明できない例外的な現象が発見されるのもこの第三段階である。

さて、この例外をどのように扱うかで、その後の科学の行き先が変わってくる。すなわち科学の成長が止まり固定化されるか、科学がそれ以前の科学的枠組みを脱皮し、さらに発展するかの分かれ目になる。

現在の科学体系で起こっている現象を客観的に観ることは難しいので、すこし時代を遡って、コペルニクス、チコ・ブラーエ、ケプラーの時代に行ってみることにしよう [1,2]。

16世紀当時は、惑星の動きを説明するために、プトレオマイオスの天動説を前提とした、いくつかのモデルが提唱された。

一方、コペルニクスは、宇宙の中心を地球中心から太陽中心に移すことにより、惑星の運動を説明するモデルが単純化できることを提案する。それは天動説を前提としたモデルがどんどん複雑怪奇になっていくことに対する警鐘でもあった。

さて、ここで同じ現象を表現するのに複数のモデルが存在する場合、どのモデルが妥当であるか、その評価基準として、観察的妥当性、記述的妥当性、説

明的妥当性という観点からみてみよう [3]。

天動説を維持したままの惑星の動きを説明するため、周転円のモデルが提唱された。周転円の数（次数）を上げることによって、観測データとの誤差はいくらでも狭めることができる、という認識が当時あった。よってケプラー以前の天文学においても、「観測的妥当性」はかなり得られていたと考えられる。それ故あえて地動説を受け入れる理由もなかったと考えられる。しかし、それに伴って、モデルの複雑さは増大した。すなわちモデルの「記述的妥当性」は、観測的妥当性に反して低かったと考えられる。またなぜそのようなモデルになるのか、という「説明的妥当性」は全く得られていなかった。

コペルニクスは、直観的洞察力で記述的妥当性の良いモデル（地動説）を提唱した。しかし当時多くの天文学者は、地球が動いているなんて考えられない、という反応を示した。またその当時、データの精度も高くなく、どのモデルが妥当であるかの判断は、観測データからは得られなかった。

チコ・ブラーエは、他の多くの天文学者と同様、コペルニクスの地動説は受け入れなかった。しかし、コペルニクスとプトレオマイオスの宇宙観を合わせたような、折衷的モデルを提唱した。すなわち、地球の周りを太陽が回り、その周りを惑星が回る、というものである。その折衷的モデルにおいても、観測的妥当性はかなり得られていた、と考えられる。そしてブラーエは、観測者として優れており、それ以前では得られなかった精度での観測データを残したのである。

ブラーエのように、ある枠組みを前提として対象を詳細に記述する研究アプローチを、図3-5のように、「分析型アプローチ」と表現することにする。

分析型アプローチ：
（ある枠組みから捉えられる現象を詳細に記述するアプローチ）

《枠組み1》→《分析プロセス》→《現象1》

図3-5 分析型アプローチ

ケプラーは、ブラーエの残した観測データを再検証した。とくに火星の観測結果に着目し、それまでのいかなるモデルでも説明できない僅かな誤差を見逃さなかった。そしてケプラーは、ブラーエの残した観測データの方に信頼性をおき、モデルの方の再構築に精力を傾けた。そして新しいモデルを探すという試行錯誤の結果、ケプラーはコペルニクスの地動説を前提に、地球を含む惑星が太陽を焦点とし、楕円軌道を面積速度を一定に保ちながら回っているという、真に記述的妥当性の高いモデルを創りあげた。すなわち、それはケプラーの法則として現在知られているものである。

ケプラーが新しい枠組みを試行錯誤しながら見つける過程を図3-6に表現する。

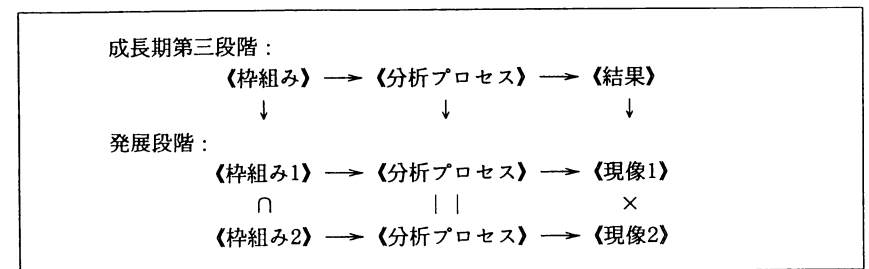


図3-6 科学の発展過程における枠組みの再構成

科学が発展していく段階では、従来までの「枠組み1」で説明できる「現象1」と説明できない「現象2」を区別しながら、双方共に説明できる新しい「枠組み2」を見つけるという作業になる。

そしてその作業は、とても創造的なものとなる。また枠組みを創るというアプローチは、いままで説明できなかった「現象2」を説明するという具体的目標が先にあるので、そのアプローチは工学的なアプローチに似てくる。しかし、「枠組み1」を概念的に含有する形で、「枠組み2」を探さなくてはならないので、その制約条件は非常に厳しいものになる。

ケプラーのように一連の現象からそれを説明する枠組みを創るアプローチを、思考の方法と方向性に着目し図3-7のように総合型アプローチと表現すること

にする。流れの方向は思考の順序を示している。

総合型アプローチ：

(ある一連の現象からそれを説明する枠組みを創るアプローチ)

《枠組み2》 ← 《総合プロセス》 ← 《現像2》

図3-7 総合型アプローチ

図 3-5 と図 3-7 を組合せ、さらに研究者の思考の順序に着目して表現すると、図 3-8 のようになる。

發展段階：

《枠組み1》→《分析プロセス》→《現象1》

↑ ○? ↓ ×

11

↓

《枠組み2》 ← 《総合プロセス》 ← 《現象2》

図3-8 新旧2つの枠組みの擦り合わせ

さて、図3-8から分かるように、「枠組み1」と「枠組み2」の擦り合わせが最後の問題となる。「現象1」と「現象2」の両方を説明できるできるように「枠組み2」を組み立てた場合、2つの枠組みの概念的な含有関係は次のようになる。

《枠組み1》 $\subset$ 《枠組み2》

ここで注意が必要なのは、「枠組み1」から「枠組み2」を直接評価することはできないという点である。また分析型アプローチしかできない研究者にとって、「枠組み2」の存在は認識することすらできないのが普通である。つまり、「枠組み1」の視野しか持たない研究者にとって、「枠組み2」は、おそらく非常に間違っているであろう。

科学とは何か—科学を科学することによって—

[3.3 科学における循環型発展モデル]

ケプラー以前とケプラー以降の宇宙モデルを見比べて、どちらが優れているかを、現在において判断することは簡単である。しかし当時、その時代における常識をくつがえし、地動説を受け入れるということは、いろんな面で非常にむずかしかったであろう。天動説という前提から、いくつものモデルが提唱された。しかし、その思考の出発点となる前提以前を検証すること自体が、認識的に難しかったと考えられる。さらに自分の立って観測している地球が動いているという認識を受け入れることが、心理的にもさらに宗教的観点からも難しかったと考えらる。

もし科学者が観測データと一致するという観測的妥当性のあるモデルの段階で満足していたら、記述的妥当性のある新しい理論は生まれていなかったであろう。そして、その記述的妥当性の良い理論の創造こそが、結果的に天文学と物理学の橋渡しをすることになる。そのことが科学の発展を促し、ニュートンの時代へと引き継がれていくのである。

科学の発展過程において、「分析型アプローチ」と「総合型アプローチ」の両者は、切り離せない相補的關係にあると考えられる。図2-4の「工学における循環型発展モデル」から類推して、図3-9に、「科学における循環型発展モデル」を提案する。循環の回転方向が、工学の場合とは逆になっている。すなわち意識上の視線の向きに違いはあるが、発展の構造自体は同じであると「推測」できる。またこのモデルは同時に「仮説の立て方」も示している。

《枠組み》→《分析プロセス》→《結果》

1

↓

《仮説》 ← 《総合プロセス》 ← 《推測》

図3-9 科学における循環型発展モデル

「科学の発展」と「工学の発展」との大きな違いは、循環の回転方向に起因した循環のサイクルであると考えられる。つまり科学の発展のサイクルの方が、工学の発展のサイクルと比べて非常に長い、ということである。工学の場合は、

具体的な目標を人間の想像力の及ぶ範囲内に設定する。循環のサイクルは、企業などの製品開発では、長期でも5年が普通である。基礎研究の場合でも、目標設定は高々10年である。

〈問題認識〉

しかし科学の場合はとくに「目標」を必要としない。工学で目標に相当するものをして科学であれば、前提概念となる「仮説」にあたる。科学では、前提となる仮説を出発点として、一般にいくつものプロセスを順方向にたどる。以前得られた結果を前提として、さらに積み重ねていき、逆戻りせずに一方方向に進んでいく。よって、ある科学の枠組みの範囲内で考察している研究者は、ゆっくりではあるが、少しずつ科学が進歩しているように感じられる。逆にそのことが、研究者が自ら寄って立つ科学の進んでいる方向性を認識することの困難さである、といえる。

〈考察〉

- (1) 20世紀における科学は、現象をモデル化し、人間が認識できるよう物事を単純化し、細分化することで、大きな成果を上げてきた。
- (2) 科学が長い年月を経て、第三段階にさしかかると、それまで、無視されたり、扱う対象から外されていた現象にまで目が届くようになる。
- (3) 過去、ふり落とされた仮説が、別の枠組みで再検証されてくるのも科学の発展前夜で見られる現象である。
- (4) 最近では、コミュニケーションの道具が発達し、異なる枠組みで研究してきた人たちの交流や意見交換が容易に行なわれるようになってきた。

〈結果と予測〉

このような状況下では、それまで表面化しなかった認識のずれが表面化してくる。他の社会現象などがきっかけとなり、何かがおかしい、という共通の問題認識が生まれてくる。そして、それまでの前提認識に対する見直し、すなわ

ち再認識の気運が高まってくる。

その結果、時代を越えて、歴史的な時間をさかのぼって枠組みの再構成がおこなわれるための環境条件が揃ってくる。そしてある新しい科学の枠組みの再創造が行なわれる[4]。その新旧の枠組みの擦り合わせがおこなわれ、新しい科学概念が‘再認識’のプロセスを経て受け入れられる、という形で科学が発展していくと‘予測’することができる。

【4. 科学の発展に伴う認識上の困難問題】

〔4.1 工学から科学へのアプローチ〕

最近では、‘情報科学’とか‘システム科学’とかいう名前のつく学部、大学院が見られるようになってきた。情報もシステムも工学的応用が広く研究され、その土台の基に科学へと発展してきた分野である。工学的な手法をとり入れた総合型のアプローチが、科学の手法として必要とされつつある。また、‘総合’ ‘環境’ ‘国際’ という類の言葉を含む新しい学部・学科も最近増えてきた。全体から部分を捉えようとする気運が高まってきたと考えられる。

科学において、分野を細分化し、お互いの住み分けができていたころは、ある意味で平和であったかもしれない。分野が異なれば、互いに何をやっているか全く分からなかったであろうから、摩擦が生じることもなかったであろう。しかし、これだけ科学が成長し、さらに情報交換がたやすくできるようになると、違うアプローチを取る別の研究者が、ある同じ対象扱うという場合がでてくる。たとえば、情報系の研究者と物理系の研究者で、ともに意見がかみ合わないという現象は、ネットニュース上でもしばしば見られることである。

研究者にとって困難なことは、分析型アプローチと総合型アプローチとは、思考プロセスにおける方向性が、互いに逆向きであるということである。一人の研究者が両方向のアプローチを使い分けられる場合が理想であるが、研究者によっては得手・不得手がある。そのため、たいていはどちらか得意な一方のアプローチをとるという場合が多い。

〔4.2 アプローチの違いによる相打ち型議論〕

研究者同士のコミュニケーションで特に問題となるのは、分析型のアプローチをとる研究者と、総合型のアプローチをとる研究者とが、同じ対象を互いに逆方向から研究する場合であろう。

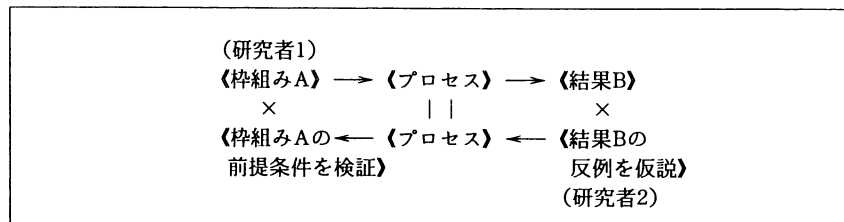


図4-1 同一対象を互いに逆方向のアプローチで検証した場合

例えば図4-1のように、「AならばB」、「BでないならばAでない」という具合に、どちらも論理的に正しい（あるいはどちらも正しくない）ことを言っているにもかかわらず、第三者にどちらかが間違っているという印象を与えてしまう議論がしばしば見受けられる。ここではそれを「相打ち型議論」と名づけることにする。

「相打ち型議論」に、第三者の立場で遭遇した場合は、次のことに注意して議論を観察してみるのもよいであろう。それは、両者がそれぞれ何を主張しているか、何を前提としているのか、互いに相手のどの部分を否定しているか、などである。少し距離をおいて眺めてみることで、「相打ち型議論」を客観的に評価できるかもしれない。

「相打ち型議論」において、とくに議論しているもの同士は、感情的に相手を非常に受け入れ難く感じるはずである。なぜならそれは、お互いが共に相手の出発点を否定し、さらに相手によって自分の結論を否定されているからである。自分の頭の後ろは見えないが、相手の頭の後ろはよく見えるというわけである。たいていの場合は感情論になってしまい、議論の成立前提を崩してしまう結果を生む。そして、その議論の成立前提を崩すことこそが、科学の発展を

阻む最大の原因になっていると考えられる。

「相打ち型議論」であることにお互いが気づき、意識上における視線の向きが180度異なることさえお互いが認めれば、より高い次元の立場において、意見の一致を認めることはおそらく可能である。つまり、逆方向のアプローチをとる者同士が、お互いに補い合い、協調し、より高い次元の枠組みを探し、意見の一致を互いに探し求めるならば、相補的效果が現れる可能性は十分にあるだろう。

さて、このような一つ高い次元からの認識が可能となるための条件は何であろうか。それはまず；

- (1) 自分がどのような視点で物事を見ているか
- (2) 自分の視線はどちら向きか
- (3) 自分の視野はどの範囲か

ということを客観的に知っていることが必要条件であると考えられる。すなわち、自分の「主観」を自分自身で「客観的」に評価できるかどうか、という点である。そしてその条件が、認識上の困難問題を回避する鍵になっていると考えられる。

では次に、なぜこのような認識上の困難問題が生じるのか、その原因を人間が鏡をどのように見ているか、という問題で考えてみよう。

問：「鏡は左右逆さに映すのに、なぜ上下逆さに映さないのか」

この問に対し、「問を発した相手」の「認識レベル」に合わせ、相手を納得させられるように「説明できる」人は、この認識上の困難問題が何に起因しているのかを知っている人である。

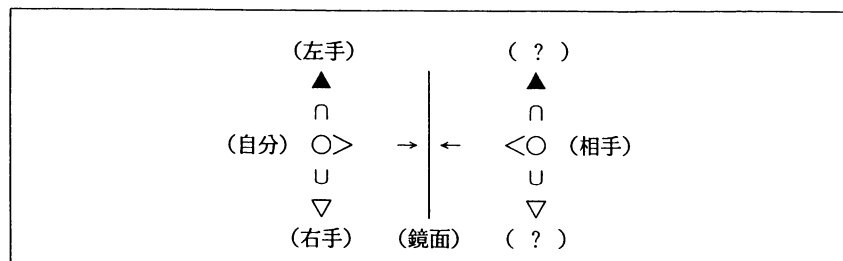


図4-2 鏡の中の相手と自分

命題A：「鏡は左右逆さに映す」

という命題Aの前提として、たとえば；

- (1) 鏡も人も地面に対して垂直に立っている
- (2) 鏡を見る人の視線は、鏡の面に垂直である
- (3) 人間の姿は、上下・前後は非対称であるが、左右だけが対称にみえる
- (4) 思考の範囲は鏡に映った二次元平面の範囲で考える

という暗黙の前提認識が考えられる。

命題B：「鏡は上下逆さに映す」

という命題を考察する場合は、すでに認識されている命題Aの「前提」を再検討する必要が生じてくる。そして思考の範囲を、前後、左右、上下と三次元に広げることによって、

命題C：「鏡は前後逆さに映す」

という、もう一つの結論を得ることができる。

ここで注意が必要なのは、命題Cの結論を受け入れた時点で、命題Aの認識

科学とは何か—科学を科学することによって—

は、(間違いとは言えないが) より狭い思考の範囲での解釈である、という認識に変わるという点である。つまり、命題Cと矛盾しない命題は、

命題D：「鏡は上下・左右をそのまま映す」

という命題になるからである。

しかし、上記の思考プロセスをたどった経験のない(命題Aの認識しか持たない)人にとって、命題Dの認識は、何か間違っているように感じられるはずである。思考の範囲を限定している人(本人にとってはその範囲が自分の思考の全てなので、範囲を限定して思考しているとは夢にも思っていない)が、その人の思考の範囲外について評価する場合に、次のような現象がしばしば見られる。

たとえば、命題A：「鏡は左右逆さに映す」を何の疑いもなく受け入れている人にとっては、その人の思考の範囲を越えた次元については認識することができない。よって、命題C：「鏡は前後逆さに映す」という命題は、その人にとっては「意味不明」に感じられるであろう。さらに、命題D：「鏡は上下・左右をそのまま映す」という命題は、その人の常識に反しているので、間違っていると感じられるはずである。

この例のように、一つの解を鵜呑みにしている人によって、より高い次元で認識している人の方が、「常識も知らないで意味不明のことを言う人である」と、否定的に評価される、という現象がしばしば見受けられる。

〈意見〉

認識における困難問題を助長してきた根本原因に、日本における「教育」に対する「認識」に問題があったと私は考えている。いままでの日本の科学教育は、実験や論理的な思考のプロセスを軽視し、結果を重視する知識移動型の教育が中心であった。さらに、白黒はっきりさせる分析形の科学だけを科学と

して認識してきた。これらのことが結果的に、科学自体を宗教化し、信仰の対象にしてしまう結果を導いたのではないだろうか。

〔4.3 分析科学と総合科学〕

研究者の思考プロセスに着目した二つの互いに逆方向の流れをもつ研究アプローチ、「分析型アプローチ」と「総合型アプローチ」とを定義した(3.2節)。その両者は数学でいうところの微分と積分の関係に類似している。「微分型」と「積分型」の科学は、まさに表裏一体の関係と考えらる。しかし両者は思考のプロセスにおいて非常に異なって感じられる。そのことを高校数学での微分・積分に当てはめて考えてみよう。

微分は間違えないように順を追って行けば、一つの正解にたどり着けるという前提認識がある。もちろんいつでも微分可能だとは限らないが、その場合でも、単に差異を認めることなら比較的簡単である。

一方、積分の方は、微分して元に戻る関数を捜すという方法をとる。もちろん勘と経験で見つけられる場合もあるが、そもそも見つけられない場合、想像から程遠い関数である場合もある。力づくで数値積分する場合も生じる。また積分の場合はきちっと範囲を絞らないと、積分定数の扱い分だけあいまいになる。

積分には微分には見られない困難さが伴うが、それでも積分関数を見つける努力に見合う喜びもある。分析型のアプローチをしていた研究者が、総合型のアプローチをとる必要が生じたときに、非常に困難さが伴う場合がある。どのような場合かという、自分のよって立つ足場を再構築する必要性が生じてきた場合である。

これは、コペルニクス、ガリレオ時代の人々が、太陽が東から西へ動くのを見て、地球が自転しながら太陽の周りを回っている、と推論することの困難さに似ている。言い換えると、他人の間違いを見つけたときに、間違いであると認識した自分の認知プロセスを逆に疑って、その判断のよりどころとしている

自分の足場、枠組み、前提などを再検討することの困難さであるといえる。

これを、『思考プロセスのコペルニクスの転回』とよぶ。

【5. 未来に向けて — 2つの可能な選択肢 —】

前章までは、「科学」は、成長・発展していくものである、という「前提」で捉えてきた。もちろん、そうでない捉え方も可能である。

〔5.1 一つ目の選択肢〕

一つ目の選択肢は、科学を微分型の「分析科学」だけに限定し、あいまいさ(可能性の幅)が残る積分型の「総合科学」を科学とは認めない場合である。そして科学の扱える範囲を限定し、扱える範囲内での記述をより正確に、より詳細に表現していく方法である。

ただしこの場合でも、人間の未知なるものに対する好奇心、探究心はなくなるであろう。そして好奇心強き若者たちは、すでに正確に記述されうる科学からの興味は薄れていくであろう。そして若者の科学離れは、ますます促進するであろう。

若者の未知のものへの探究心は、科学とよばれる分野とは異なるものに注がれ、その分野は独自に発展していくであろう。その分野が何なのか、それがまだ存在しない新しい名前によばれるのか、あるいは今ある言葉にその概念を含ませてよばれるのか、それはまだ分からない。ただ確実に言えることは、それが単に「科学」とはよばれない、というだけのことである。

科学は範囲を限定し、正確さを得ることと引き替えに、自らの成長・発展の断念を余儀なくされるであろう。そして、21世紀の学校では、歴史の授業で、20世紀に栄えた最大の「宗教」として、「科学」が語られることになるのかもしれない。

〔5.2 二つ目の選択肢〕

もう一つの選択肢は、微分型の「分析科学」と積分型の「総合科学」とが協調し、互いに学び合い、互いに育て合い、互いに補い合う場合である。

その場合は、科学自体がその扱える対象を広げられる可能性がある。そして自ら自身を成長・発展させていくことにより、より大きくなっていくことであろう。

さらに、芸術や宗教などの対象に対しても寛容であれば、科学と芸術の融合や、科学と宗教との協調も、不可能なことではないであろう。

〔5.3 未来に向けて ― カオス制御的アプローチ ―〕

「過去」と「未来」は、現在を中心にして両者はつながっている。そして未来は、「現在」私たちがどのような選択をするかによって変わってくる。

21世紀までのこの数年間は、科学において大きな転換期（分岐点）に来ていると推測できる。そのような分岐点においては、私たちがどのような選択をするかによって、「未来」はその選択（初期値）に鋭敏に依存して変わってくる。

それはちょうど、カオス的な複雑系が、初期値に鋭敏に依存して振る舞う現象と似ている。

謝辞

インターネット・ニュース‘fj’を育ててきた方々、およびニュースグループ‘fj. sci. misc’において議論に参加して下さった方々に感謝する。

参考図書

- [1] “コペルニクス革命” トーマス・クーン 著／常石敬一 訳、紀伊国屋書店
- [2] “天文学史” 桜井邦朋 著、朝倉書店
- [3] “情報数学セミナー 自然言語” 郡司隆男 著、日本評論社
- [4] “複雑系” M・ミッチェル・ワールドロップ 著、新潮社