

# 科学における人間的要素 (I)

— 自然科学の方法 —

山崎 匡毅

## 目次

はじめに	
第1章 科学の定義とその範囲	
1-1 科学とは	
1-2 適用範囲	
第2章 理論化と構成要素の本質	
2-1 現象の複雑さと理論の単純性	
2-2 理論の構築とその正当性	
2-3 構成要素の本質	
第3章 自然科学の立場	
3-1 立場Ⅰ——客観的思考	
3-2 立場Ⅱ——主観的思考	
3-3 立場Ⅲ——不確定性原理	
第4章 微視的方法と巨視的方法	
おわりに	

## はじめに

自然科学とか社会科学とか科学という言葉は日常広く使われている反面、科学とはいかなるものか、科学的方法とは何かという問いかけに真に答えようとするものは意外に少ない。ここに非科学性が見い出され科学という名の下にひとりよがりな理論、学説が展開されているのが現状である。このことは特に社会科学と呼ばれる分野において顕著であり、そこに社会科学を非科学的にしている要因があると思われる。自然科学において確立された方法とは何か、社会科学特に経済学は科学という名に値する分野であろうか。その科学としての限界はどこに存在するのであろうか。人間的要素を考慮した上でこれらの疑問に答えようとするのが本研究の主題であり、それはまた従来の科学的方法への反省と新しい方法論の確立の試みでもある。

周知のように17世紀において、ガリレオ、ケプラー、ニュートン等の偉大な思想家により近代科学のドラマの幕は切って落された。以後、あらゆる分野で新しい手法で問題が追求され答えが求められ、今日の科学が確立されたのである。過去400年間の驚異的な科学技術の発展はなぜ起ったのか。我々は誰れもこの問には、答えられないであろう。恐らく、人類史上の最大の謎として記され

るに相違ない。しかしながら、一点だけ明確にその要因について言えることがある。それは近代科学は中世の殻を抜け出した新しい精神の上に築かれたものであり、自由な思想の結晶である。驚くべきことに17世紀のあれほど多くの進歩がほとんど科学機械なしに行なわれ、思想家はありふれた事実や資料の中にそれまで気がつかなかった新しい意味を見出した。例えばコペルニクスは、全然実験もせず観測もほとんど行なわずに以前の学者達が集めた資料を研究しただけであったにもかかわらず、天文学に画期的な貢献をなした<sup>(1)</sup>。新しい精神が新しい果実を生み出したのである。

このような、驚くべき近代科学の歩みも決して直線的ではなかった。真理と思われた古い法則は新しい法則に取って代わることもしばしばあった。それはまた古い概念と新しい概念の衝突であり、ある時には、壮烈な闘争が展開された<sup>(2)</sup>。ポアンカレは、この事情を的確に次のように述べている<sup>(3)</sup>。

科学の理論がどんなに寿命の短いものかを知って世の人々は驚いた。何年か栄えては次々に放棄されるのを人々は見ている。破壊の上に破壊が積み重ねられているのを見ている。今日の方法の理論も間もなく打ち倒されるめぐり合せになるはずだと予言し、そのことから理論は絶対に空であると結論する。これがいわゆ

る科学の破産である。

しかし、古い理論は全ったく無意味に放棄され破壊されたのであろうか。そうではない。多くの場合古い理論は、新しい理論に土台を与えていることも事実である。アインシュタインは、次のように述べている<sup>(4)</sup>。

新しい理論を作るのは、古い納屋を取りこわしてその跡に摩天楼を建てるのとは違う。それよりむしろ山に登っていくとだんだん新しい広びろとした展望が開けて来て、最初の出発点からは思いもよらなかった周囲の沢山の眺めを見つけ出すというのとよく似ているのである。

このように多くの試行錯誤が繰り返され、近代科学は、今日の姿に体裁を整えてきた。本研究は現代確立された科学の方法を概観し、科学の方法とは何かを人間的要素の中に考察しようとするものであり、内容的には、自然科学の方法と社会科学の方法とに大別することができる。本稿の第1部では、方法的にはほぼ確立されている自然科学について、第2部では社会科学とくに経済学の方法を中心に次号において論述する予定である。

## 第1章 科学の定義とその範囲

### 1-1 科学とは

科学とはどのような学問分野であろうか。例えば、ニュートン力学は科学として異論なく認められている。それはなぜであろうか。ニュートンは自然界における物体運動の研究において物体と空間という要素間に相関関係および因果関係を明確にしたからに相違ない。このようにある対象において要素間に相関関係ないし因果関係を見出し、これを法則化し理論化できる分野を科学と呼ぶのは適切であろう。そして法則が適用される対象が包括的かつ一般的な系であればあるほど、また法則が例外なく適用されるほど一般的で強い法則であり、理論体系は科学として優れたものである。この意味ではニュートン力学は全ての古典的運動法則を明確に記述する強大な理論体系で科学と呼ぶのにふさわしい分野である。

しかし、このニュートン力学もすべての自然現象を無条件で記述するものでないことは現在では周知の事実である。物体が光速度近くで運動するときにはもはやニュートン力学は適用限界を超え、

アインシュタインの相対性原理を用いなければならぬ。また、原子や分子を扱うミクロな世界ではハイゼンベルグ等が確立した量子力学の助けをかりなければならぬし、そこでは単に古典的な因果関係だけでなく確率的概念も必要である。素粒子の世界にいたっては、人間はまだこの超ミクロの世界を記述できる理論を構築できないでいる。

このように人間は長い間対象の中により強くより一般的な法則を見出そうと努力してきたにもかかわらず、最も単純と思われていた自然界においてさえすべてを記述できる理論体系を確立できないでいる。このことは理論が有効なのはある限定された対象系に対してのみであり、あらゆる対象系を記述できる一般理論は、少なくとも現在の人間の知識では、存在しないことを意味する。

従って、あらゆる理論法則は必ず限定された対象系にのみ妥当性を持ち、この系の外では理論はもはや効力を失うことを銘記すべきである。ここで、系とは解析のために明確な境界で区切られ、要素間にある統一的な機能を有する一部または全体を指している。

以上我々は科学とはいかなるものかを概観したが、科学とその方法をまとめて次のように定義しよう。

『科学とはある解析対象となる系において、本質的要素間の個々あるいは全体について偶然以上の確定的（統計確率的意味を含めて）な因果関係ないし相関関係が見出され、ある理論体系によって記述できる分野である。科学的方法とは対象に対して人間の観測—認識を通じて対象の本質的要素を誤まりなく抽出して対象の本質を記述する理論体系を構築し、さらには理論が現実を反映しているかを検証していく一連の体系だった解析過程である。』

従って、後に細述するように科学は再現実験が可能とすればくり返し現象の本質を再現できるばかりではなく<sup>(5)</sup>、構成要素を組合せることにより新しい現象を創出することが可能である。再現実験が可能でないとしても、要素間の相関関係ないし因果関係の理論上の解析から起こりうる現象を予言することができる。

## 1-2 適用範囲

いわゆる社会科学と呼ばれる科学とは自然科学の方法を導入したものであろう。しかし、人間的要素が主体となす社会科学は自然科学に比較してそれほど単純ではない。たしかに人間も社会も物質から作られているけれど、それらは精神活動を主とする複雑きわまりないものである。ここに社会科学を科学としてむづかしくしており、種々の混乱の要因があると思われる。自然科学的方法において社会科学は本当に存在するであろうか。

例えば、人間の最も知的活動である芸術は科学といえないだろう。なぜなら芸術が科学であるとするれば、名画や名曲と呼ばれる対象物の要素間に確定した因果関係ないし相関関係が見出され理論法則化されることになる。もしそうであるとするれば、科学は再現することが可能であり、かつ要素間の組合せで新しく創造することが可能であるから、名画は理論に従いいくらでもでき、名画が巷にあふれることになる。即ち、これは芸術の崩壊である。もちろん、この議論に反論できるだろう。つまり名画や名曲となる要素やその関係は現在の人間の知識が充分でないからであり、もし全知全能の人あるいは巨大なコンピューターによりその要素が明確に抽出されれば美に対する確定的な関係を見出すことができ、理論法則化される。従って芸術は科学の一分野となるであろうと。この反論は一見して最ものように感じられる。しかし、地球上のすべての人間の美的感覚から要素を抽出して、その要素間に名画となるあらゆる関係を見出すことなど現実にできようか。これは宇宙の星の数を決定する以上に不可能であり、我々はこのような架空の議論をする余地はない。

それでは人間社会に科学的方法は適用されないであろうか。そうではないだろう。第2部で細述予定であるが、自然科学ほど強力で一般的でないにせよ科学になりうる分野があるだろう。例えば、現代資本主義経済の国民所得は投資=貯蓄という要素間の確定的関係の条件により均衡される。このように経済学は本質的要素間にある相関関係ないし因果関係が見出され、理論体系化ができてから、科学としての資格はあるだろう。しかし、自然科学と同様、投資=貯蓄という関係はすべての経済社会に適用できるものではなく、明ら

かにある段階の資本主義社会にのみ意味を持っており、社会主義経済にはこの等式は全ったく無意味になってしまうのである。社会科学においてもすべての社会に妥当する普遍的な法則は存在せず、法則や理論は必ず適用限界が存在するのである。しかも、理論の適用限界は社会科学の場合自然科学に比較してより顕著であり、従って社会科学の法則はおうおうにして一般性に向け強固ではないのである。

このような視点から眺めれば、たとえばケインズの「一般理論」は決して一般的な理論ではないことは明らかである<sup>(6)</sup>。それは資本主義のある特殊な段階にのみあてはまる狭い意味での一般理論なのである。ミュルダールがアジアの後進的経済を観察して、ケインズの「一般理論」は決して一般理論的ではないと言ったのはあまりにも当然であろう<sup>(7)</sup>。同様に、経済社会の巨視的運動法則を記述するマルグスの「資本論」もすべての経済段階にあてはまるような普遍的一般理論ではないことも明らかである。社会科学とくに経済学に関するこの種の議論は第2部にゆずるとしよう。

## 第2章 理論化と構成要素の本質

### 2-1 現象の複雑さと理論の単純性

科学者は「真理は単純である」ということをよく口にする。真理は原理や理論により記述されるとみなされるから、原理や理論は単純でなければならないだろう。事実多くの科学者は複雑な原理よりも単純な原理に高い評価を与えようとする。逆に、単純で明瞭さがなければ、原理や理論としては不十分ということになる。このことは何を意味するであろうか。

自然現象は多くの場合真に複雑である。科学者はこの複雑な現象の中に共通な本質的で単純な要素を見出し、その要素の組合せにより現象を説明しようと努めてきた。本質的要素は単純でなければならない、この単純性により法則を明快に理論化できる。即ち、理論は常に単純な本質的要素の上に築かれるのである。しかし、現実の現象は真に複雑きわまりないものであり、その本質的要素とその相関関係を見出すことに人類は信じられないほどの歳月を費したのである。

一見したところ理論の単純性と現象の複雑性と

いうことは奇異に感じるかもしれないが、決してそうではない。我々がおうおうにして陥る誤まりは、単純な要素からは単純な現象しか生じないという先天的認識にある。地球はたった92種類の元素から形成され、実際に有効な元素はその中の30種類に満たないにもかかわらず、それらの元素が地上の千変万化の現象を演出している。また、炭素と水素のたった2種類の元素が何十万という有機化合物を作りうることを想像すれば充分であろう。

事実、現象が複雑すぎてその本質的要素が抽出できず、理論化ができないため実験にたよっている分野が非常に多い。むしろほとんどの現象は理論によっては記述されておらず、実験にのみ知りうるというも過言ではないであろう。

人類は月へ到着した。この偉大な業績を達成するためには、信じられないほどの高度な技術と莫大な計算を必要としたであろう。しかし、この高度の計算技術を持ってしても、屋上からたった一枚の紙きれを落したとき、どこに落下するかを予測することはできないだろう。ここに我々は科学

における理論と技術の限界をはっきり想像することができるのである<sup>(8)</sup>。

## 2-2 理論の構築とその正当性

対象となる現象は真に複雑であるが、理論化への第1歩は現象を正確に観測—認識し、現象を演出する本質的要素は何であるか、またその相関関係や因果関係はどのようになっているかを誤まりなく抽出しなければならない。この時、対象に対して実験とか調査の操作をほどこし、その要素を抽出しやすくする工夫も必要となろう。対象に対する観測—認識による本質的要素の抽象という段階を図示したものが第1図の上のカメラの部分である。

もちろん、本質的要素でない非本質的要素は抽出してはならないが、本質的でないが無視した要素が実は本質的なものであったり、また時間と共に非本質的要素がいつの間にか本質的要素に成長していることが起こりうることに注意すべきである。このことはことに社会科学の場合起きやすいということを念頭におかなければとんでもない

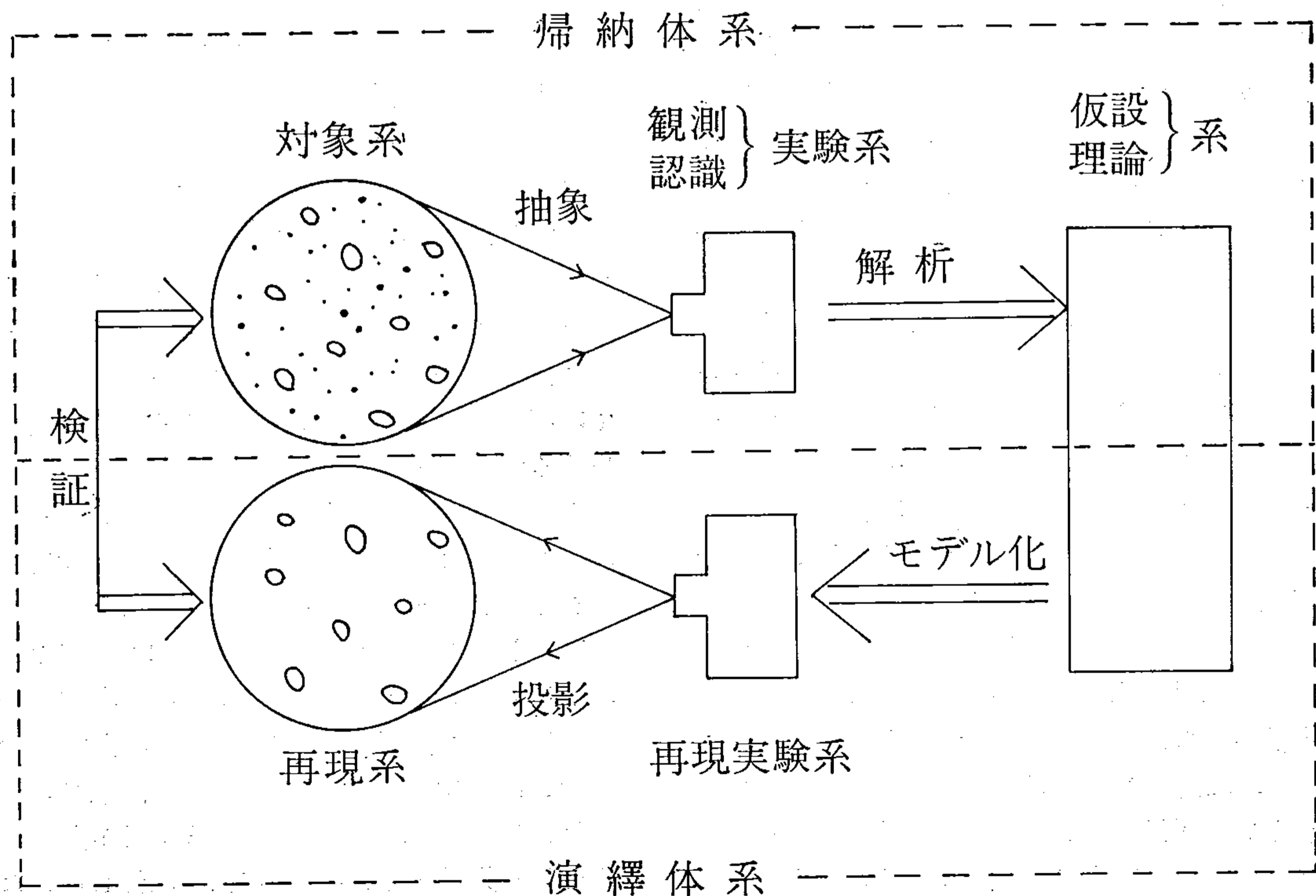


図1 理論体系の構成図式

誤まりをおかすことになる<sup>(9)</sup>。というのは社会は生もののように常に変態していくからである。

現象における本質的要素が抽出されたら、これを解析しある法則にのっとった仮説をたてなければならない。この仮説の設定が図1の右側の部分に相当する。以上ここまでがいわゆる帰納の段階である。

設定された仮説は常に正しいとは限らないから、それは検証されねばならない。この仮説の検証は自然科学の多くの場合実験によってなされる。仮説における要素を組合せ一つのモデルを作り、そのモデルを使って図1の下側のプロジェクターから、左側下段のスクリーン上に現象を再現してみるわけである。もちろんこの実験により再現された現象は対象そのままの現象に一致する必要はなく、対象の本質だけが忠実に再現されれば充分である。

理論仮説は現象を単に再現するだけでなく、本質的要素の組合せモデルを工夫することにより、まだ知られていない新しい現象をスクリーンに投射したり、更には起こりうる新しい結果を予言することができる。これがいわゆる演繹であるが、この演繹の方法が科学を有力なものにしており、実際演繹により多くの有益な現象が予測され、技術的にも実現されたのである。

スクリーン投射される再現系が現象の対象系を本質的に合致したり、演繹により新たな現象を正しく予言できた場合、この仮説は検証されたことになる。もしそうでない場合には、理論化過程のどこかに何らかの誤まりがあったことになり、仮説は否定される。

仮説が強く立証されればそれは理論と呼ばれるものになり、その立証の強さに比例して理論は強固となる。また、適用される対象系の範囲が広ければ広いほど理論は一般性を呈する。

### 2-3 構成要素の本質

<構成要素とは>

今まで要素という語句を漠然と用いてきたが、理論の構築上必要とされる要素はどのようなものであり、どのような性質を持っているであろうか。

実際対象の解析において出現する要素は、対象

の性格に相応して種々様々である。例えば物理学の対象となる要素は質量、距離、電荷、エネルギーというようなものであり、化学における要素は分子量、元素、当量、原子価などであり、生物学では種とか遺伝子とかいうものであろう。

このように構成要素は対象の性格により多岐にわたるが、理論の構築の際には考えうる要素から最も根本的で本質的な要素を抽出することが要求される。さらに本質的要素は前に述べたように単純さと明快さがなければならない。例えば、ギリシャ時代には水は自然界の最も基本的要素すなわち元素と考えられていた。確かに水を本質的要素として取り扱うことも可能であるが、水をさらに分解して水素と酸素という今日の元素を本質的要素と考えた方が優れている。なぜなら水素と酸素の方が水より単純な要素であり、これら二つの組合せを考えた方が現象をより深くより明確に説明できるからである。

何が本質的要素であり、何が非本質的であるかということは人間の解析目的に依存する。例えばここに2粒の麦があるとしよう。第1の解析目的を種の遺伝形質の相違による麦の成長の相違の研究とし、第2の解析目的を環境の相違による麦の成長の相違の研究としよう。第1の場合の本質的要素は遺伝形質であり、このとき解析を妨げる主な要因は種の育成環境——特に栄養の相違にあるだろう。第2の場合、本質的要素は栄養などの環境であり、この解析の妨害要因は種の遺伝形質の相違であろう。このように理論化への過程において研究の目的に応じて、対象の何が本質的であり何が非本質的かを検討しなければならない。

<示量性と示強性>

理論上の構成要素は大別して量的なものと質的なものに分けられる。理論上簡単に取り扱うことができるものは量的要素であり、一般に質的要素を理論の中にくみ込むことはむづかしく、もしできたとしても議論は定性的なものとならざるを得ない。

定量的な議論が可能となり、数式により定式化されうる要素は次の二つの性質を持つ。一つは示量性と呼ばれ、他は示強性と呼ばれるが、この二つの量を明確に区別するのに人類は信じられないほどの時間を費したし、現在でもこの概念は混同

されて用いられている場合がある。

示量性の要素は加え合わせることができるという加法性を持つ。一方、示強性の要素は加法性がなく、単に強さとか水準を示している。多くの場合、示量性と示強性の要素が結合して、法則が定式化される。

例えば、熱と温度を考えてみよう。熱は熱量とよぶべき量であり、それは魔法ビンにためたり、熱交換器から出したりすることができる。一方、温度は物体の熱的水準というある強度を示すもので、熱が多いとか少ないという量を示すものではない。このことは  $100^{\circ}\text{C}$  の石を  $20^{\circ}\text{C}$  の水に入れたとき、温度が合計して  $120^{\circ}\text{C}$  になるという加法計算が、まったく無意味であることからすぐわかる。物理学に代表される自然科学が極めて美しく定式化されている裏には物理現象が示量性と示強性の要素の組合せによりその本質が表現できることにある。示量性と示強性の一例をあげると次のようになる。

示量性……質量、体積、エネルギー、電荷、エントロピー

示強性……圧力、温度、電圧、磁界

自然科学の場合、このような区別が誰れでも納得がいくような客観的意味でなされる。即ち、非人間的要素とみなすことができる。これに対し社会科学の問題点は人間的要素の混入に伴う不明確さであり、ここに社会科学を自然科学のレベルに本来的に成立させえない理由がある。

例えば、経済理論における貨幣とか財とかエネルギーは明らかに示量性であり、財の価値水準を示す価格は示強性であろう。それでは効用はどうであろうか。効用の概念は限界学派の中心的課題であるが、それは人間が作った要素であり、従来から可測的な示量性とみるような混乱がみられ、空虚な議論が繰り返されてきた<sup>99</sup>。効用のようなあやふやな要素の上に理論が築かれる社会科学は、その基礎が脆弱なものとならざるを得ないであろう。

<単位と次元>

物理的要素はさらに最も基本的な次元なるものに求められる。次元は最も単純なもので物理学の場合距離や質量や時間であり、多くの量はそれらの結合により成立つ。例えば、面積は距離の2乗

であり、体積は3乗である。この量に人間が使いやすい基準を導入して作られたものが単位である。例えばm, kg, 秒などは単位であり、単位には次のような規則がある。

異った次元を持つ単位には加減法則は適用されない。例えば  $1\text{kg} + 1\text{秒}$  というのは何の意味を持たない。同次元の単位の場合のみ加減演算が出来るが、単位が異なる場合には換算をしなければならない。例えば、 $1\text{kg} + 1\text{g}$  は次元が同じであるから、単位の換算により  $1000\text{g} + 1\text{g} = 1001\text{g}$  か  $1\text{kg} + 0.001\text{kg} = 1.001\text{kg}$  のどちらかに計算される。

経済学においても次元と単位に同様な注意が必要である。例えば、貨幣が一般的価値形態として経済社会に必然的に生ずることは、貨幣は他の財と異なり次元が同じで完全に示量性があり、加減法則が成立つからである。

### 第3章 自然科学の立場

#### 3-1 立場 I—客観的思考

多くの自然科学者がとっている立場は、自然現象を対象として解析する場合、人間による理論の構築という以前に宇宙に一貫した真理や原理があり、科学者はその真理や原理を見出すことに使命があるというものである。確かに、理論は前章で論じたように人間による観測—認識を通じて導かれたものであるが、いったん仮設が実証され、理論として確立してしまうと、理論は人間の手をはなれ、それは宇宙の真理を記述する。即ち、理論は確かに観測—認識を通じて人間が創造したものであるが、理論として確立してしまうと人間がいよいよといまいと宇宙の真理を記述しており、宇宙はその法則に従って運動しているのであるという見解である。

例えば、古典力学のニュートンの運動法則は、確かにニュートンという思想家により創造されたが、法則として定式化してしまうと、この法則はニュートンや他の人々がいよいよといまいと妥当するものであり、それは宇宙の運動を記述する非人間的な絶対的法則であり、この法則に従い太陽系の惑星運動が規定され、理論計算により来たるべき日食や月食が正しく予言されるのである。

このような立場は理論における人間的要素を排

除した点で極めて単純明快で非常に理解しやすい長所を持つ。多くの古典的自然現象に対する研究はこの立場で充分遂行できるもので誤解の余地も少ない。

以上述べた立場はニュートン以後機械論者も含めて自然科学の主流を占めた考え方であり、現在でもこの立場は科学者の共通の認識となっているようである。即ち、自然科学の使命は人間が存在しようとしまいと成立する宇宙の普遍の真理を見出し、ある非人間的な絶対法則により理論体系を築くことである。

### 3—2 立場Ⅱ—主観的思考

科学者の使命は宇宙の普遍の真理を見出し理論により記述するという前節の立場は単純明快で理解しやすいが、人間的要素をこのように簡単に排除してしまう思考方法に疑問を感じる立場がある。というのは、理論の草案者が人間である以上、理論は完全に非人間的でありうるか。また、観測者が人間であるから、理論は人間の目を通した人間主体のものであり、理論の価値はその精神的内部に存在するのではなからうか。科学に対するこのような考え方は多くの社会学者・哲学者がとる立場である。

カント流の考え方を例にとると、時間および空間というような物理的現象は単に主観的なものである。というのは感覚的現象として知覚するためには、人間の精神があらかじめこれらの現象に作用しなければならない範疇だからである。

イギリスの哲学者バークレーの見解も同様である。意識がなければ何もない。自分の存在を知らず、他の誰からも知られずに外部の暗闇と呼ばれながら原子から構成された沈黙の宇宙が存在するだけである。

このような考え方は観測者である人間が対象に作用してはじめて認識がなされから、人間的要素は必然的に対象と融合し、精神的意識の中にこそ真理が存在するという観念的なものであり、この立場は当然人間的要素を排除して厳然として成立つ客観的真理をいう唯物的な立場とは鋭い対立をなしている。唯物的世界観の強い現在では、少なくとも自然科学者では観念的立場をとる人は少ないように思える。

それではこの立場Ⅱと前節の立場Ⅰとは本当に相反するものであろうか、またその対立の接点はどこにあるだろうか、この点に関する従来の多くの議論はほとんど無意味で空虚なものであった。なぜなら、一方的に自分の立場に固執するだけで、その接点を互の立場に立って検討しなかったばかりでなく、方法論的にも未熟であった。事実、この問題に解答を与えるのは比較的簡単である。結論から言えば、この対立は観測系に介在する人間的要素を理論構築のどの範囲に境界線を引くかというみかけ上の見解の相違である。

第2章の図1を参照して説明すれば、立場Ⅰは人間を理論体系のわく外においている。即ち、対象に働きかけて観測—認識するのは人間であるけれど、一たん理論体系として確立してしまふと人間の手をはなれ、宇宙の客観的真理となつていく。これに反し、立場Ⅱは観測—認識の主体である人間が中心的存在であり、理論体系まで人間の思考のわく内におかれている。即ち、対象の観測—認識を通じて作られた理論が、人間の手をはなれずに人間的要素の混入するわく内におかれているのである。

ただ、立場Ⅱにおいて主体的な精神面を強張するあまり、すべての理論は架空的なものであり、しよせん共通的客観的価値を持ちえず、従って法測はすべて空虚なものであるとする見解は科学的精神に反するものであり、科学自体の破産である。従来行われてきたこのような極端な考え方の多くは幼稚なものであり、その伝染は科学的方法に対する脅威である。

### 3—3 立場Ⅲ—不確定性原理

立場Ⅱとは別の意味で理論体系の中に人間的要素が介在してくるという立場がある。対象の観測—認識が観測者や観測装置を通じて行われ、観測そのものが対象を攪乱してなされる。観測を受けている対象は観測を受けない対象とは異なるものであり、従って対象そのものの本質は決して認識されず、このような観測から導かれた理論は人間的要素を含む観測者および観測装置とは切りはなせない何物かがあり、何らかの不確定性が存在するのではないだろうか。

このような疑問は対象系およびそこから導れる

理論に関する高度な問題であり、理論の構築上人間的要素がどこまで入り込むか、また避けがたい不確定性はどこに起因するかという問題に重要な解答を与える。幸い量子力学における最近の発達はこのような疑問にある程度明快な答を用意している。この解答が不確定性原理に関するものであり、それは古典的因果律を破る点において自然科学だけでなく、社会科学さらには哲学・宗教に対して大きな衝撃を与えた。それにもかかわらずこの原理は多くの場合特に社会学者や哲学者により誤まって理解され、それが弊害を生んでいるのも事実である<sup>(4)</sup>。

このような状態を鑑みれば、不確定性原理の意味を論じることは無意味ではないだろう。我々はニュートンやガリレオ以来、あまりにも古典的な思考に慣れ、長い間対象を観測し認識することが簡単に客観的に出来ると信じ込んでしまった。本当はどうなのだろうか。一例をもって考えてみよう。

今、野球のボールが飛んでいるとし、この運動法則を見出すためにはボールを追跡し観測しなければならない。この対象の観測は普通人間の目あ

るいはカメラという観測者ないし観測装置によりなされるが、この観測のカゲには光という観測媒体が存在がするということがおろおろにして忘れられがちである。もし光がなければ観測不能である。ということは観測対象のボールと観測装置である目やカメラとの間に光を通じて何らかの相互作用があったからこそ観測が可能になる。さらに最も重要なことはボールが光によって攪乱されないという前提があったからこそ観測が確実に行われ、ボールの位置とか運動量がはっきりと確定してくるのである。

この状態をわかりやすく図示してみよう。図2(a)はボールの観測であるが、観測が確実に行われるためには対象のボールが光によって攪乱されず、ボールそのものに何ら変化がないという前提がある。

しかし、この前提はあらゆる観測について常に妥当するものではない。たとえば上例のボールをどんどん小さくしていき図2(b)のように電子ほどの微粒子にしたと仮定し、この電子の運動を知るためにボールと同様な実験をしたらどうなるだろうか。電子はボールと異なり観測媒体の光のエネ

## 観測対象

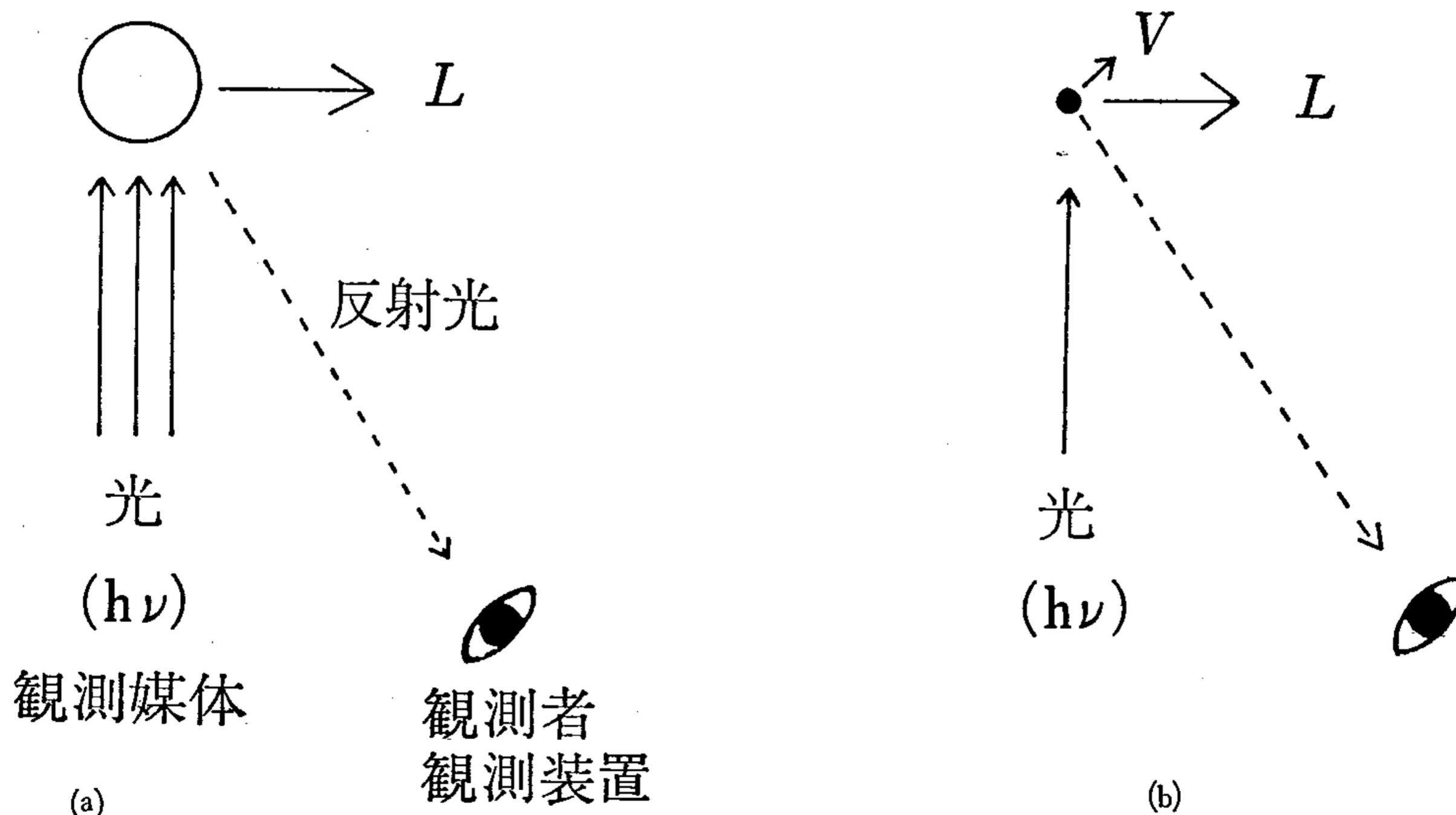


図2 観測対象—観測媒体—観測者の相互作用

- (a) 対象がボールのように大きい場合は観測は確実に行われる。L方向はボールの運動方向を示す。  
 (b) 対象が電子のように極めて小さい場合は対象そのものが光にはね飛ばされ、位置や運動量が不正確になり観測は確実に行われない。



ルギーが無視できるほど大きくはない。(b)に示すように電子は光の照射によりはね飛ばされ<sup>14)</sup>、その位置とか運動量ははっきりせず不確定になってしまう。ということは、電子のような微粒子は光の攪乱により目とかカメラでは確実に観測することは不可能なある不可避の不確定性が入り込んでしまう。即ち、観測対象が観測媒体に比較して無視できるほど小さくない場合は、対象と観測者あるいは観測装置との間に観測媒体を通じて無視できない相互作用が生じ、観測そのものを不確定にしてしまうのである。これがいわゆる不確定性原理である。

さらにもっとつっこんだ議論をすると次のようになる。観測装置と対象の間の測定の内容は二つの段階に分けることができる。第一段階においては制御不可能な相互作用により純粋状態がある混合状態へと移行する。次の段階はこの混合の中から一つの状態を規定し、一つの点に収束させる観測者自身による状態の規定である<sup>15)</sup>。

ところで何が観測装置であり、何が観測対象であり、何が観測者であるかということは一義的に定まるものではないという大きな問題にぶつかってしまう。例えば物を見る場合、視神経と目の両方がともに観測者であるとする見方もできれば、網膜は観測装置であって視神経を観測者とみなすこともできるわけである。ここに、観測対象—観測装置—観測者が一義的には定まらず、観測そのものが無意味となってしまう、観測を基礎として導出される理論の根幹が崩れてしまう危惧がある。

この問題は自然科学における極めて高度な問題であるが、幸いこの点に関しフォンノイマンが次のことを証明している<sup>16)</sup>。何が観測者で何が観測装置かという上記の見方の相違は物理的結果には影響しない。この証明は理論全体が内部的矛盾を持たないために必要なことなのである。

### 3—3 観測—情報—エントロピー

対象の観測—認識、すなわち対象の情報を得るということは観測者が対象に対して何らかの働きかけをしなければならない。ということは情報の取得がエネルギー的に無償ではできないことを意味する。

例えば、物体が何物であるかを知るためには、光をあてたり手で触れてみたりして外部から対象に何らかのエネルギー的作用を必要とする。一方、物体自身は物理的作用を受け、従ってある攪乱を生ずるからエントロピーが増大する。前節でも述べたように、多くの場合光または手による攪乱が無視されるとの暗黙の仮定の上に情報が取得されるが、光や手により物体自身に変質するようなものであれば、観測は不可避的な不確定性を含むことは明らかである。

観測を通じての情報とエントロピーとの相互の関係はかなり高度な問題であるが、ほぼ次のように要約されるであろう。

対象が観測媒体を通じて観測を受けると、観測装置との間に相互作用を生じある混合状態が生ずる。この混合状態の出現は、換言すればエントロピーの増加である。次に情報集々の過程ではこの混合状態が一つの純粋状態へ収束されねばならない。この情報という純粋の出現は別の言葉でいえばエントロピーの減少である。このことは情報量が多くなればなるほどエントロピーは減少し、その代償として媒体を通じて外部からエネルギーが補充されなければならないことを意味する<sup>17)</sup>。即ち、観測によりある情報を得ようとするとき、それが無償ではできないという重要な帰結を得るが、この細部に関してはなお議論の余地があるだろう。

## 第4章 微視的方法と巨視的方法

自然界において我々が通常おこなう観測では分子的不連続構造は直接表面に現われず、単に物質の中の莫大な分子や原子の作用によって生ずる全体的平均を観測しているわけである。このように個々の粒子が表面に出てこないような観測を巨視的観測といい、この中に法則性を求めていく思考方法を巨視的方法という。また、この方法によって得られる理論を現象論的理論と呼んでいる。

一方、分子とか原子という粒子個々の構造を考察し、逆にそこから自然界の本質にせまろうとする方法がある。このような方法が微視的方法であり、この方法に導かれた理論は分子論的理論と呼ばれている。

ここでは巨視的世界や微視的世界そのものを深

入りして論ずるのではなく、巨視的な全体的挙動とその構成要員たる微子的な挙動との間に存在するある種の相反性について論じようと思う。というのは、この考察が第2部で論じるように社会現象における全体と個との間に横たわる極めて重要な問題に対して解決の糸口を与えられるからである。

全体は個から構成されるから、個は全体の一部である。一方、全体は個の総意によつてその挙動が決定され、個は全体の意志によって統制を受ける。一見したところ、全体と個の挙動は一致しており何ら相反していないように感じられる。実際はどうであろうか。実例をもって考察してみよう。

ここに一碗のラジウムがあるとす。このかたまり全体は莫大な数のラジウム原子から成立っている。ラジウムは放射性原素である、よく知られているように次の法則に従って崩壊していく。

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (\lambda \text{ は定数})$$

ここで  $N$  は任意の時間  $t$  における生存ラジウム原子の数、 $N_0$  は最初あったすなわち  $t = 0$  のときのラジウムの原子の数である。この式は全体のラジウムは時間と共に指数関数的に減少していくことを示す。

ここで問題なのはなぜすべてのラジウム原子が一度に同時に崩壊しないで、ある一部の原子が崩壊し、他のものは生き残るのであるかということである。ある特定のラジウム原子が生れつき寿命が短かく、あるラジウム原子は生れつき寿命が長いように最初から決まっているのだろうか。そうではない。個々の原子の寿命は生れつき決まっているのではなく、全体との確率の関係によって崩壊するものであり、全体としては規則正しい法則に従うのである。

この様子をわかりやすく社会現象における交通事故にたとえれば次のようになる。交通事故によって個々の人が死ぬのは最初から決まっているのではなく、車社会と人との確率的関連に依存する。誰が死ぬかは前もって予言することはできないが、個々の偶然の事故の統計として全体を巨視的にみるならば、ある統計的規則正しさが見出され、全体の死亡者数は車社会に急激な変化が起こらないかぎり予言さえ可能である。ミクロの世界

における個々の偶然の積み重なりはマクロの世界における必然的規則性を与え、状態に変化がないかぎり集団が大きければ大きいほどこの必然性は強固になっていくであろう。

同様に水面に一滴のインクを落した場合を考えてみよう。インクの個々の粒子は水中でまったくでたらめなランダム運動をするからミクロの視点で眺めるなら何ら規則的な挙動は見出せない。しかし、粒子の総計としての全体を巨視的に捉えるならば、インクの拡散していく挙動は次のような微分方程式に従うことが知られている。

$$\frac{\partial U}{\partial t} = c \nabla^2 U \quad (c \text{ は定数})$$

ここで、 $U$  はインクの濃度、 $\nabla^2$  はラプラシアンである。

このように個々の粒子の挙動はランダムで何ら規則性がないにもかかわらず、全体としての挙動は明確な運動方程式で表わされるのである。更に注目すべきことは個々の粒子の運動は可逆的であるに反し、全体としての運動法則は不可逆である。なぜならば個々の粒子は逆もどりすることも可能であるが、我々の経験によればいったん拡散して水を染めたインクは決して逆にもとのように一滴のインクに凝集してくることはない<sup>10)</sup>。即ち、自然過程において全体としての巨視的運動法則は不可逆性を含有し、ある一方に進むだけで決して逆もどりすることはないということが鉄則である。

個々のミクロ的挙動は定式化できなくとも、全体としてのマクロ的挙動は定式化できることが多いが、それだからといってミクロ分析が無意味であることにはならない。個々の意志の総和が全体の意志を決めている以上、たとえ法則化できなくとも、個々の意志の方向の解明が全体の意志の方向を予測するうえで重要だろう。個々の行動を決める駆動力と全体の方向との関連の解明こそが、ミクロとマクロの断層を連結するカギであろう。

社会科学の場合はもちろん全体は単に個々の集合である以上の意味—それは組織によって生じていると考えられるが—を持っているが、この点については第2部で論じることにしよう。

## おわりに

自然科学に関する方法は細かい点について議論の余地があるにしてもすでにほぼ確立された段階であり、本論文において科学とは何かという問題に正面から取り組み、従来曖昧にされていた科学とその方法に明確な定義を与えた。現象の観測—認識—理論仮説—再現—検証の過程を通じ、理論の構築がどのようになされるかを体系的に解析した。また、理論における構成要素の本質を検討し、この中で自然科学の法則が客観的かつ強固である理由を、構成要素の非人間性に求めた。

さらに、自然科学の立場を3つの視角から考察し、それらの概観と相互の関連を追求した。特に立場Ⅲでは、自然科学においても対象の観測認識を通じて、人間と対象との間に不可避的な相互作用が生じ、そのために抑制不可能な不確定性が生じることを示した。

最後に、巨視的方法と微子的方法について論じた。この中で個々のミクロ的挙動と全体のマクロ的挙動を考察し、両者の挙動は必ずしも一致する運動法則とはならず、相反するような関係もあることを示唆した。

自然科学は対象において人間の入る余地が少なく、また理論の構成要素が非人間的である故に、方法論的には社会科学に比較してその基盤は強固でかつ一般的であり、混乱している社会科学の再構築に何らかの光をなげかけるものと期待している。

### 註および参考文献

1. J. Lindsay, "The History of Science", Cohen & West Ltd., London, 1951.
2. 科学の誕生の過程は宗教との闘いの歴史でもあった (A.D. White, "The Warfare of Science", 1878, 森島恒雄訳『科学と宗教との闘争』, 岩波新書, 昭和43年)。
3. H. Poincaré の思想集第一巻, "La Science et l'Hypothèse" (河野伊三郎訳『科学と仮説』, 岩波文庫, 昭和12年)
4. A. Einstein and L. Infeld, "The Evolution of Physics" (石原純訳『物理学はいかにして創られたか』, 岩波新書, 昭和14年)
5. 経済学者が「科学とはくり反す性格があるもの」(1)

とか「相互依存のくり返しうるパターン」(2・3)

とか漠然といていることは、我々の定義の再現性に関することであろう。(1) S. Harrod, "Sociology, Morals and Mystery", Macmillan Press Ltd., 19

71. (2) E. Negal, "The Structure of Science",

Harcourt, Brace and World, New York, 1961.

(3) R.L. Heilbroner, "Between Capitalism and Socialism", Random House, Inc., New York, 1970.

6. J. M. Keynes, "The General Theory of Employment, Interest and Money", Macmillan and Co., 1936 (塩野谷九十九訳「雇用・利子および貨幣の一般理論」) 東洋経済新報社, 昭和30年)

7. G. Myrdal, "Against the Stream", Random House, Inc., New York, 1972 (加藤寛他訳『反主流の経済学』ダイヤモンド社, 昭和50年)

8. このことに関し興味ある話題が中谷宇吉郎著の『科学の方法』(岩波新書, 昭和33年) に載っている。

9. この例がマーシャル、ピグーに代表される正統派学者の「セイの法則」に対する認識である。ハンセンが適切に述べているように、セイの法則は確かに19世紀以前の自由市場経済にはある程度妥当していたが、資本主義が進化した20世紀以後はまったく正当性を欠いていたのである<sup>(1)</sup>。

- (1) A. H. Hansen, "A Guide to Keynes", McGraw-Hill, Inc., 1953.

10. この点に関し平易に解説したものは、宇沢弘文著の『近代経済学の再検討』(岩波新書, 昭和52年), より解析的な議論は P. A. Samuelson の "Foundation of Economic Analysis" (Tuttle Co. Inc., 1947) や J. Hicks の "Value and Capital" (Clarendon Press, 1939) などになされている。

11. 例えば内田芳明著の『ヴェーバーとマルクス』(岩波書店, 昭和47年) に次のような記述がある。『……マルクスの依拠した18, 19世紀の自然科学の「法則」や「必然」の範疇は今日の自然科学ではそのままではもはや通用していない。……この点についてはかの「不確定性原理」の提唱者ハイゼンベルグやカルナップその他の学者の手近にある概説書を見れば直ちに分かることである。……』しかし、この議論は見当違いであり、マルクスの運動法則の必然性と不確定性原理は直接結びつくような問題ではない。

尚、不確定性原理の詳しい解説は W. Heisenberg の "The Physical Principle of the Quantum

Theory” (University of Chicago Press, 1930) などを参照せよ。

12. 光による電子の散乱はコンプトン散乱と呼ばれる現象としてよく知られる。

13. 小谷正夫, 梅沢博正『量子力学』裳華房昭和34年。

14. J. von Neuman, “Die Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik”, Springer Verlag, Berlin, 1932 (井上健他訳『量子力学の数学的基礎』みすず書房, 昭和32年),

15. 情報量は Shannon によって

$$I = k \log W \quad (k \text{ は比例定数, } W \text{ は情報確率})$$

と定義され, 情報工学の基礎になっている。一方, エントロピーは統計熱力学から導かれる概念であり,

$$S = -k \log W$$

と表わされ, これは系の無秩序の尺度とみなされる。上の2つの式から形式的に,

$$\Delta I = -\Delta S$$

となる。この式は情報量の獲得はエントロピーの代償の上に成り立ち, 逆に情報量の喪失はエントロピーの増大を意味している。換言すれば, 情報量は負のエントロピーである(N. Wiener, “Cybernetics”, 2nd Edition, M. I. T. Press, Cambridge, 1961)。

16. この不可逆性は拡散方程式の  $t$  に  $-t$  を入れると, 拡散方程式は

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -c \nabla^2 U$$

となり, 符号が変わり運動方程式が保存しないことを意味する。