

知的生産の技術としての装置作り(1)

三石博行(金蘭女子短期大学助教授)

## 自然現象の解釈装置

### 装置作りの思い出

#### 装置を作るための仮説

ずいぶん昔の話だが、大学3回生の後期の終わりが近づいて、卒論のために研究室を選ぶことになった。統計熱力学に魅せられていた私は、物理化学研究室を選んだ。卒論を書くに当って、自分のテーマとその研究の方法について簡単に纏めて、当時、物理化学の第一線で溶液物性論を研究しておられた高木定夫先生に相談に行った。当時、先生は、熱量計(カロリメーター)を改良しながら、混合溶液で生じる微量熱や体積を測定し、発生したエンタルピーやエンタルピーを求めながら、溶液の分子構造を研究していた。

私は、溶液の分子間相互作用について興味を持っていた。特に水素結合について知りたかった。一般に融点や沸点は分子の大きさに比例すると考えられている。例えば、メタンの分子量は約16グラムで、融点はマイナス184度で沸点はマイナス164度で、エタンの分子量は30で融点がマイナス172度で沸点がマイナス93度である。しかし、水は分子量が約18であるが、融点は0度で沸点が100度である。その理由は、水分子では、水

分子の酸素原子は電子を多く持ち、その反対に水素原子は電子が少ないために、水分子の酸素と別の分子の水素との間には弱い静電引力が働くことになる。この弱い分子間結合を水素結合という。水は分子が網の目状に緩やかに結合していて、ちょうど、幾つかの分子が緩やかに繋がっている分子の集まりの状態を作ることになるために、見掛けの分子量よりも現実は大きくなると考えられている。

大量に水が存在する地球は太陽系の中での位置、つまり太陽から受ける熱量による地球の温度との関係によって、殆どの水は液体状態になっている。しかも、地球は水の融点と沸点で必要な多量の熱量を使い、太陽からの熱を受け生じる最高温度と最低温度の差を、低く抑えて動く熱機関として機能している。このことが、地球に生命体を進化させた大きな理由ではないかと、当時流行っていたオパーリンの生命の起源について友と議論しながら、水の役割について語り合っていた。

また、分子間相互作用という現象に魅かれていた。理論的には物質は分子という単位で分解できる。ドルトンの現代原子論をもとにして発展した化学では分子が物性を決定する最小単位である。しかし、分子間相互作用によって物性が変化を受けると言うのは、今で言うデジタル的な、つまり非連続的な物性を決定している原子論的考え方に對して、連続的に物性の変化が存在していることを示しているようでもあった。当時は、ポリウオーターと呼ばれる、高い沸点を示す水が紹介されたりしており(その後それは間違っていたと言われたが)、分子間相互作用は魅力的な課題だった。特に、有機電子論などで、電子雲の極性という直感的な考えかた(量子化学の

理論に基づいているのだが）は、非常におもしろかった。

分子と分子の間にある相互作用を緩やかな電子密度の重なりで表現するのは、既にそれまでの化学の基本的な方法論である分析化学の原子論を越えた新しい化学の世界観、つまり量子統計力学的分子モデルによるものである。当然、化学分析方法も電子軌道の構造や分子を構成している原子の運動エネルギー状態を前提にするスペクトル分析に変わっていた。分子間相互作用の解明もその方向で発展していた。

#### 装置作りの毎日

卒論のテーマは、水素結合を持たない溶液に水素結合をもっている溶液、例えばシクロヘキサランにシクロヘキサノールを溶かしながら、凝固点効果を測定して、理想溶液の状態で予測される値とのずれから、溶かした溶液の分子間に働く水素結合の影響を調べるといった内容のものであった。しかし、この私の実験の仮説も、シクロヘキサラン分子やシクロヘキサノール分子のシグマ結合しているアルキル結合分子間に生じるファンデアワールス力を考えていない、全く、不十分なものであった。だが、それも当時大学三回生の私の能力を精一杯展開して、考えついた研究テーマであった。

高木先生は立派な教育者でもあった。私の生かじりな熱力学の知識や熱力学への思いを、最後まで聞かれてから、先生の考えを話された。もう昔の話でよくは記憶していないのだが、シクロヘキサノールの水酸基のダイポールモーメントが電場に影響されるため、液体から結晶状態への相転移の過程で、固体分子の結晶配

列に何らかの影響が生じる可能性がある。電場をかけた場合とそうでない場合の二つの系で、凝固点効果を測定すると、その影響を温度差から調べることができるかもしれない。

つまり、ダイポールモーメントのずれによって分子構造は変化する。そこで、分子構造の変化によって凝固点効果の温度が変化すると考えられる。その凝固点効果の温度差から、分子間相互作用の変化を示すことができる。電場をかけて凝固点効果を測定することで、分子間の相互作用の影響を測定できるのではないか。しかも、そのデータを他の熱力的な測定、例えばカロリメータで二つの液を混合して生じる熱を測定することで、さらに精密に分子間相互作用の変化を理解し、それによる分子構造の姿を解明することができるという内容のものであった。

卒業論文研究に取りかかってから毎日が装置作りだった。研究室に泊まり込みで、夏休みも、毎日研究室で、実験装置作りに精を出した。凝固点効果測定用のガラス容器装置を、少ない研究室の研究費で外注して作ってもらった。まず、すべての溶液に、電場がかかるように、電極を容器の中に作る必要があった。また、実験装置内部に均一の電場をかけるために工夫しなければならなかった。そこで、溶液に電場をかけるために、電極をガラス容器の表面に作ることにした。銀鏡反応でガラス面に銀膜を作り、それに銅メッキをして、そしてその上にニッケルメッキをし、ガラスの表面に電極面を作った。この電極を思い付き、装置以外のガラス容器で何回かテストして、そのテストに成功した後には、本物の装置で電極を作った。電極が出来たときはうれしかった。ガラス面に密着した電極作りが終わると、次は、溶液の入ったガラス容器をゆっくりと冷やすための装置を作らなければなら

かった。高い冷却装置を買う研究費など全く無い。そこで、電気屋さんから中古の冷蔵庫などの家電製品をもらって来た。それをリヤカーで運び、解体して、その部品を取り出し、改造して、冷却装置を作った。そして、冷却装置付きの保温装置を作った。その装置の中で一定の冷温状態を作るために、ドライアイスを入れる魔法瓶の容器を取り付けた。魔法瓶の容器の中に実験装、つまり凝固点効果測定用のガラス容器装置を入れた。

色々工夫をこらしてやっと冷却装置ができた。大工仕事や電気工作の毎日、やっと凝固点効果測定の実験装置が出来た時は、すでに10月になっていた。ドライアイスで非常に低い温度を保ちながら、つまり冷温状態の変化を抑えた環境で、凝固点効果測定の実験が可能になった。

はじめに予測していたデータを出して、それを理論的に解釈して、水素結合の効果を論じる卒業論文が終わるのだろうか、不安だった。シクロヘキサノールやシクロヘキサンの実験試薬の精製に取りかかった。純粋な物質を、精溜塔を使って取り出すために数日の徹夜作業が続く。500ccの溶液からわずかな量の試薬が精溜された。その試薬の純度を、ガスクロマトグラフィやスペクトル分析でチェックし、ようやく本題の実験をはじめたのが、11月の終わりだったと思う。

#### 貴重なネガティブデータを目の前にして

実験のデータは惨澹たるものであった。私が理論的にイメージした結果とはまったく想像も出来ないデータが出てきた。想像もしなかった凝固点効果の現象が現われた。その原因を知りたかつ

た。それで、フェノールとシクロヘキサン系でも実験をした。しかし、現われてくる凝固点効果のデータも予想を超えたものだった。つまり、現実の現象は私の理解を遙かに越えていた。その理由を知りたかつたが、当時の私には理解することはできなかった。現実の世界が、一生懸命私が作った装置のお礼として、その姿を教えてくれたのだが、それを新しい世界として受け止めることも、また、そこから科学の理論が展開することも、理解することができなかつた。

現実の世界が理論を超えて教えてくれたネガティブデータの意味を理解することは出来なかつた。また、その能力もなかつた。それは結局、私の未熟な科学研究に対する理解であり、解釈として理論があることを知らなかつたためでもあつた。科学認識の浅さの結果だつた。

その貴重なネガティブデータを目の前にして、ただ、絶望的な気持ちに苛まれていたのが現実の姿であつた。科学研究を楽しむには余りにも未熟だつた。絶望的な気分です卒業発表の日を迎えることになつたことが、いつまでも私の記憶に残っている。

しかし、その後、特に知的生産について考える時、学部卒論研究で、仮に飛躍した仮説や不十分な装置作りであつたとしても、分子間相互作用を研究するために、凝固点効果を精密に測定する実験装置を作つた経験は、貴重なものだつた、と思うようになった。

## 自然科学理論と実験装置の関係

## 調査項目（変数）を取り出すための装置

自然は非常に多くに要素の相互作用によってつくられている複雑な世界である。そこで、観測装置によって、相互に作用をしている要素をできる限り減らし、より単純な相互作用系の現象を取り出そうとする。装置中での現象は、選ばれた幾つかの要素を変数にすることによって表現することができる。それらの変数を取り出して、その量的な関係を求めることから、自然科学の理論が展開する。

例えば、カロリメーターは溶媒に溶剤が混入する時の微量の発熱現象や体積変化を調べる装置である。その装置は、微妙な発熱や吸熱現象を観察するための装置の精度を上げるために、高精度の恒温槽が要求される。反応槽とその環境との間に生じる熱の出入りという自然の相互作用を遮断するには、反応槽とその環境が一定温度であり続ける必要がある。この状態を恒温状態と呼んでいる。高い所から低い所に熱が流れるという自然現象を介入させないことで、溶解によって生じる反応槽での熱の収支を単純に求めることが出来るのである。

そこで、非常に精度の高い測定を可能にするために恒温槽を改良したり、反応熱量を測定する機器を改良したり、混合する溶液の純度を上げる精製法を見つけたり、ともかく、実験室では、できる限りその自然現象を精密に観測する作業がなされる。自然現象と呼ばれる相互作用によって作り出されている複雑な系の要素

群から、幾つかの調査項目（変数）を取り出すための装置が、実験装置と呼ばれるものである。

つまり、新しい現象に出会うために科学者は実験装置の開発を試みる。理論的な背景を前提にして、そこから仮定される現象を取り出すために、装置の開発や改良を試みるのである。

## 測定対象と測定手段の関係

自然の観察対象が五感をもとにした時代では、実験装置の改良は、顕微鏡の倍率を上げ、よく観察対象がよく見えるようにすることである。古典的な観測行為、つまり知覚による観測では、観測や実験の装置の改良は、よく見えるようにとか聞こえるようにと言ったように、感覚器官を補助し、知覚的観察能力や精度を上げることであった。

知覚によって観察する場合、観察データは直接知覚的に測定されるものである。距離や長さを計る単位は、ミリ、センチメートル、メートルやキロメートルで示される。それらの単位で表現される長さは知覚的に理解できる。そして、顕微鏡や望遠鏡の発達で、視覚的に測定できる範囲は、10分の1ミリから惑星の大きさまでに広がった。

しかし、知覚的に直接観測できない世界を測定できるようになっている。機器を使って測定する場合でも、視覚的に小さいものから大きいものまでの長さの単位は連続している。知覚的に直接観測できる世界の延長線上に、装置によって測定される長さの単位が用いられる。ミクロな世界の長さ、視覚的に直接測定した長さとの区別は、量的な関係でしかない。

しかし、最近の先端素材工学で用いられているナノ、つまり千分の一ミクロンの長さ、の世界を、知覚的に直接観測できる世界の延長線上に考えることはできない。例えば、ミクロの世界では、重力の影響が無視できる。しかし、その反面、他の物質との分子的な相互作用が効いてくる。知覚的に直接測定できた世界では想像もつかない自然の相互作用の影響を受けていることになる。

また、観測対象が視覚能力を超える微視的な世界になると、測定は機器を使わなければならない。知覚的に測定できない世界、つまり、マクロな世界の観測の常識を、機器観測によって測定している世界に、そのまま適用して考えることはできなくなる。

例えば、走査電子顕微鏡 (SEM) は、試料に電子線を照射する。そして、試料表面から発生する2次電子線を、細く絞られた入射電子ビームで検出する。その入射電子ビームで検出によって得られた結果によって、間接的に試料の表面形態を映し出すことになる。つまり、電子線照射によって生じる2次電子線を測定して、観察対象の表面形態の構造を解析する装置である。電子顕微鏡で得られた試料の表面の形は、2次電子線の電子の波長で見ている姿である。

言い換えると、観測装置が感覚器官の能力を超えた世界で機能するとき、その観測は理論的裏付け、ここでは電子線を照射に対して発生する2次電子線の量に関する理論で成り立つことになる。一般に、機器を使って量子世界を観測する場合、観測機器のエネルギーレベルを無視して観測対象を測定することは不可能であるという原理がある。例えば、電子の位置を測定するためには、電磁波(運動量の大きい粒子)を照射する。電子にぶつかった電磁波は、跳ね返ってくるので、その跳ね返りの方向から電子の位置

がわかることになる。そこで、もっと正確に電子の位置と知ろうとして、運動量の大きい電磁波を当てると、照射した電磁波のエネルギーが強いため、観測対象の電子の運動量に影響を与えることになる。その結果、電子は異なる運動量を取るようになる。観測対象の正確な測定は出来なくなるのである。

逆に粒子の運動量を正確に測定しようとする、測定対象の電子の運動量に影響しないように考えて、エネルギーの弱い電磁波を照射する。エネルギーの弱い電磁波、つまり波長の長い電磁波を使う必要がある。長い波長の弱いエネルギーの電磁波は、電子にちゃんとぶつからないため、観測対象の電子の位置がはつきりしなくなる。弱いエネルギーの電磁波では観測対象の運動量はよくわかるが、その位置は正確につまめなくなる。

このように量子力学での観測問題では、運動量と位置は同時に計れない。そして、運動量と位置の誤差の積が、プランク定数を越えることができないとされている。これが、有名なハイゼンベルグの不確定性原理と言われるものである。

ミクロ世界の観測では、測定対象の測定項目(電子の位置)が測定方法の測定手段(照射電子の運動量)と密接に関係している。その関係がハイゼンベルグの不確定性原理で言われるようなミクロ世界のあり方を示している。

試料に電子線を当て、分子の組織像、原子の格子像または原子像を観察することができる走査電子顕微鏡(SEM)や透過型電子顕微鏡(TEM)にして、不確定性原理で示されたミクロ世界の観測電子の位置と照射電子の運動量との関係を前提に作られているのである。

つまり、観測対象の要素である調査項目(変数)と観測装置の出力

項目(変数)との相互関係は、すでに理論的に導き出されている。その二つの変数間の関係(理論)を前提にして、観測対象の変数を導く作業を測定と呼んでいる。つまり、装置の変数を変化させながら、観測対象の変数の変化を観察するのである。

このように、ミクロ世界を測定する間接的な測定方法は、測定対象の変数と測定装置の変数に関する理論が前提となっている。

ミクロ世界の観測データをマクロ世界の言語情報へ変換する装置

現代科学は観測問題を抜きには語れない。観測問題を語る時に、必ずといってよいほど登場する有名な話が「シュレーディンガーの猫」である。この話は、簡単に言うと、猫が生きているか死んでいるかという視覚的に理解できる情報を通じて、放射性元素があることを(視覚的には観測できない情報)理解するという内容のものである。

有毒な放射能物質があれば猫は死ぬ。つまり猫が死んだということで、放射能があることが理解出来る。箱のなかに入った猫が生きているか、それとも死んでいるかという状態が、「シュレーディンガーの猫」の装置の示す結果である。放射能の存在の有無がその実験結果の解釈としてある。

「シュレーディンガーの猫」の例が示唆することは、微視的世界は、巨視的世界の解釈を通じて、間接的に認識することができることである。言い換えると、放射能の測定を検出することは人間の知覚では直接は出来ない。知覚的に直接観測できた自然現象と違い、知覚出来ない自然現象は、「シュレーディンガーの猫」の装置という機器によって間接的に観測する以外に方法はないので

ある。

量子状態の測定には、観測対象側と観測者側を分ける切断点がある。つまり、放射能の検出の情報を、猫が生きているか死んでいるかという視覚的な情報に、変換する機能が、観測装置に設置されている。この変換器がなければ、ミクロ世界の観察は不可能である。

ミクロ世界の測定は、人間が認知するための検出器を備えてはじめて可能になる。放射能同位元素が多いという情報を、視覚的に理解できるマクロ情報に変換する装置のからくりは、機器分析全体で言えることである。

例えば、GMカウンタは、放射能測定装置として、現在良く使われている。その装置でβ線の量が正確に測定できる。その装置の原理を簡単に説明すると、まず、β線が計数管のガス分子と衝突することによって電離現象(ガス分子イオン化)が生じる。さらに、電離現象から生じるガス分子イオンを強い電場の中におくことで、電子がネズミ算式に発生する電子ナダレの現象を起す。この電子を計数回路によって電圧パルスとしてさらに増幅し、β線を計量する。

しかし、β線がガス分子と衝突することによって引き起こす電離現象は、人間の感覚で、直接に捉えることはできない。そこで、高エネルギー粒子によって生じる気体分子のラジカル反応、つまりラジカルイオン物質(ミクロ世界の情報)を音量や計量計の動き(マクロ世界の情報)に変換する装置を考える。

GMカウンタを簡単にし、携帯用にしたものがサーベイメーターで、ウランの探査や放射線の有無を調べる装置として使われている。測定結果を現場で感覚的に感じるように、電離作用によつ

て生ずる電流を、電氣的に増幅させるといふ操作を加えてスピーカーにつなぎ、放射線を耳で聞くことができるようにした。1個の放射線でスピーカーが1分間に出す音を1カウンントとして、カウンント数で放射線の量を言い表している。携帯用のサーベイメーターを持ち込むことで、放射線をどこでも簡単に、測定できるようにになった。また、測定も、計量的なデータだけでなく、その装置の発生する音で、聴覚的に且つ感覺的に測定を可能にした。

つまり、微視的世界を探究する科学実験装置は、原子や分子の反応(相互作用)を通じて生み出される情報を、マクロ世界の情報に変換する装置である。その意味で、現代物理学の観測は、科学実験装置という変換装置による間接的な観測である。

また、増幅器とよばれるマイクロ世界の情報の変換装置によって、知覚的な情報に換える。その知覚的情報を計量化し、言語情報に変換する。マイクロ世界の情報量はマクロ世界の情報量に変換される。電子や光子の量子エネルギー量は数学の言語で表現できる情報に変換される。つまり、マイクロ世界のシグナル情報をマクロ世界のシンボル情報へ変換する装置によって、現代物理学の観測は可能になっている。

「シュレーディンガーの猫」やサーベイメーターの話から、現代の自然科学系の実験装置は、理論を前提にして、作られていることが分かる。観測されたデータは、実験装置の中で知覚的な情報として、変換されたものであることが分かる。

言い換えると、微視的世界の自然現象に関する理論があり、それらの現象を取り出すための装置が作られる。しかし、その装置から作り出された自然現象は、増幅器を通じて、大きな電気や磁気エネルギー量に変換され、そのエネルギーを使って運動エネ

ルギーに変換され、視覚的や聴覚的なマクロ情報として表現されるのである。つまり、装置はマイクロ世界の観測データをマクロ世界の表象や言語情報へ変換する道具であると言える。

### 実験装置のデザインと役割

装置は新しい現象との出合いを作る

今日の自然科学や工学系の研究で使われている実験装置は、科学理論がなければ設計することも開発することも出来ない。先の例から次のことが言える。つまり、 $\beta$ 線がガス分子との衝突によって引き起こされる電離現象や、電子ナダレ現象によるガス増幅で発生する電子の量が、理論的に解明されているので、GM計数管は開発できたのである。

また、装置の改良によって可能になった実験から、新しい科学理論が開発することもある。例えば、マックスプランクが発見した黒体放射の理論について、その例を挙げる事ができる。

19世紀後半、工業の発展していたドイツでは製鉄を重視していたため、良質の鉄を生産するために安定した高温の状態の溶鉱炉が必要だった。溶鉱炉の温度は溶鉱炉の発する光で測定することができた。溶鉱炉の温度を測る装置の改良で、高温での鉄の発光スペクトルの観測が可能になった。

例えば、最も低い温度のとき、鉄は真っ黒く見えるが、次第に温度が高くなるにつれて、赤い色から青白い色へと変わる。つまり、熱せられた鉄の発光スペクトルと温度との関係から、鉄の温

度が測定できるのである。この鉄の温度を測定する装置を基にして、鉄の温度をさらに高温にしていくと、鉄は低い温度の時のように、真っ黒に見えてくるのである。つまり、装置を改良し、より高温で、鉄の発光スペクトルを観測できる実験が可能になることによつて、黒体放射スペクトルが発見されたのである。

装置の改良による測定精度の向上や測定範囲の拡大によつて、黒体放射という新しい現象が発見された。また、それまでの物理学理論の延長上で、プランクは、黒体放射を解釈した。しかし、この解釈から、光の非連続性という新しい現実が理解されていくのである。プランクの意図を超えて、プランクの示した式についての解釈は、その後、現代物理学のパラダイムである量子論を、展開していくのである。

言い換えると、生産技術の開発や経営工学的な利益向上の目的であつたとしても、実験装置や生産工程の改良によつて導かれた新しい自然の現象によつて、その解釈を巡つて、伝統的な理論が否定され、新しい理論が開示されることもある。

#### 間接的観測装置と論理実証性

直接的に観測できない巨大な自然現象は、観測装置を作り出すことも、また観測装置で間接的にその系を測定することもできない。こうした仮説を証明する方法として、理論的に仮定された副次的な物理現象を観測することによつて、証明する方法が取られている。

例えば、フリードマンによつて、一般相対性理論の一つの解として、ビッグバン理論が理論的に導かれた。しかし、この宇宙膨

張の理論は、天体物理学の仮説として展開されたのではなく、寧ろ、素粒子物理学や核反応論の理論的な仮説として提案された。つまり、1929年にアメリカの天文学者ハッブルは、宇宙膨張を初めて観測したが、それがビッグバン理論となつたのではない。ビッグバン説は、ジョージガモフが、宇宙にある元素の起源を説明するためのモデルとして持ち出したものであつた。

さらに、2000年に、欧州素粒子物理学研究所において、スーパー陽子シンクロトロンと呼ばれる重イオン加速器が開発され、その装置を使つて、ビッグバン理論で予測されていた「クォーク・グルーオン・プラズマ」の状態を再現する実験が成功したことによつて、ビッグバン理論の証明はなされた。言い換えると、素粒子物理学研究用の装置の開発と、その実験によつて、ビッグバン理論の仮説の正しさが、間接的に証明されたのである。

確かに、宇宙の発生に関する理論であるビッグバン理論の仮説を証明するために、宇宙の発生や膨張を観測する装置を開発することは到底出来ない。また、この理論を実証するための観測は無限に近い時間が必要とするので、宇宙観測からこの現象を見つけ出すことも可能であるとは限らない。

ビッグバン理論は、ハッブルの宇宙膨張現象の観測から推察されたのではない。また、巨大な望遠鏡の開発によつて、ビッグバンの瞬間を観測して、その理論を証明したのでもない。素粒子物理学の視点から、その理論が間違いないことを証明する方法が取られたのである。元素の発生のメカニズムを解明するための仮説としてのビッグバン理論が、スーパー陽子シンクロトロンによつて、間違いないことが証明されたのである。

言い換えると、ビッグバン理論が示すような宇宙誕生の現象を



観察することによって、その理論が正しいと証明なされたの訳ではない。重イオン加速器での実験によって、このビッグバン理論の仮説から導かれる物理現象が証明されたのである。その上で、このビッグバン理論の仮説は誤っていないと論拠づけたのである。つまり、その論拠は間接的なものである。このビッグバン理論の仮説から導かれる物理状態の存在を、重イオン加速器での実験で確認して、その背景となるビッグバン理論が間違っていないことを証明したのである。

これまでの伝統的な自然観測を証明する実証主義の方法では、ビッグバンの現象を説明するためには直接的に観測や実験で証明しなければならない。しかし、現象の証明が論理的に正しいならば、その科学的な推察は成立するという証明方法は、伝統的な実証主義の方法ではなく、20世紀に起こった論理実証的な方法である。

この方法論は、自然現象を実験的に再現して実証し、仮説が正しいという論理ではなく、ビッグバンの自然現象を構成する要素、「クオーク・グルーオン・プラズマ」の状態、を証明できる限り、この命題、つまりビッグバン理論は否定できないと考える。

帰納的に原理を見つけ出す方法の代表的な方法である統計学では、仮説の正しさを検定する方法がある。これを統計学の検定問題というが、例えば、「第一種の過誤」とよばれる真の仮説を過って破棄する誤りの確率に関する議論では、仮定された命題が誤りであると証明できない限り、その命題を破棄することはできないという論理が成り立っている。

もともと確率の世界とは、現象を構成する要素(変数)間の計量的関係を、統計的に推論する考え方である。この論法では、論

理的に仮説を論証したり批判したりすることはしない。そこで、帰無仮説を破棄する確率を出すことによって、統計的に推論する。仮説を破棄すべき確率が前提になって、現象の説明はなされる。これが統計学の検定方法を貫く帰納的な検証論理である。

現代科学では、宇宙物理学のように、その現象を実験室の中で、実験装置を使って再現可能なデータとして取り出すことのできない系を、取り扱っている。そこで、その現象を解釈する理論が正しいことを証明するために、論理的に実証する方法が取られる。

その場合、仮説を説明できる事実がある以上、この仮説は否定できないと考えるのである。つまり、その仮説を否定する事実がない限り、その仮説は存続できることになる。

言い換えると、「クオーク・グルーオン・プラズマ」の状態が証明されることは、ビッグバンの自然現象を構成する説明が成立することを意味する。そこで、ビッグバン理論が間違っているという証明がなされない限り、ビッグバン理論の仮説は否定できないことになる。

#### シグナル記号で構成された世界の解釈装置

現代の科学では、科学理論と観測装置は切り離せない。つまり、科学理論は装置によって実証される。同時に、装置は科学理論によって構築される。装置は、理論的に可能な仮説を前提にして改良される。理論は装置化することで、それに基づく現象を再現することができると、言い換えると、理論は装置化することで点検され展開する。理論と装置の二つ関係は相補的であり、この関係を認識するとき、現代の科学認識が形成された。

この装置化と理論化の認識論的な問題は、プログラムとデザインのあり方を示している。言い換えると、装置は、理論で確認している自然の反応や運動の過程をプログラムした設計図をもとに組み立てられた機器とよばれる構造物である。また、理論は、装置で再現できる自然の反応や運動の過程を構成する要素間の関係を表現した言語から成り立つ運動方程式や化学式とよばれる文脈である。

装置の構造は理論を実証する装置の機能を向上させるために改良される。また、装置の機能を満たすために、装置に新しい構造を付け加えることが装置の開発である。そして、合理的な装置の構造が、効果的な装置の機能を導くことになる。言い換えると、装置の形は理論の外化した構造物であり、理論は、装置化された自然の要素と要素の相互関係として表現された装置の機能が言語化されたものである。このように、今西錦治が「生物の世界」で示した機能と構造の相互関係が、科学認識に於ける装置と理論の関係にも適用できるようにも思える。

装置の機能と構造のデザインは、化学、物理や情報機器と呼ばれるもので作られている。そこで、観測や実験装置は、吉田民人が「人工物プログラム科学」の定義の中で示す「人工物」である。人工物のデザインは自然言語によって作られている。勿論、数学も言語である。例えば、装置の設計は、その外形から機能まで、化学、物理学、情報科学、数学、人間工学、安全工学、経営学や美学として語られる科学言語、デザイン、技術や経営や安全の論理によって、計算され設計されている。吉田民人の人工物プログラム科学の定義に従い、自然言語をシンボルによる言語と解釈することにしよう。そして、吉田民人の用語を用いて、実験装置の

構造はシンボル言語によってデザインされていると考える。また、装置の機能は、シンボルプログラムによって作られていると解釈する。

しかし、自然現象は自然言語によって作られている訳ではない。しかし、近代科学を生み出した偉大な思想家の言うように「自然は数学のことばで書かれている」訳でない。この近代科学を母のことは、自然哲学の公理の呪縛、から解放されるために、科学を解釈学と考える認識論が開かれた。自然現象の解釈行為は人間の行為である。科学はその意味で文化的な産物である。この解釈学的科学認識論は、自然現象がシンボルプログラム（象徴学という言語）によって構成されているのでなく、その解釈がシンボルプログラムから成り立っていると言っているのである。

古代から発展した自然学の伝統、つまり自然哲学、自然神学や自然科学の流れの中で、一貫している思想は、自然現象には規則性があるという考えである。それが、基本元素による世界構成、神の摂理によって創造された世界から数学のことばによって書かれた世界に至るまで、自然科学の思想には、自然現象を支配する法則の存在に関する信念がある。従って、現代の科学が、素粒子から遣伝子まで、規則性（法則）があると考えるのは、極めて伝統的な、自然認識のあり方であると気付くのである。

さて、自然言語をシンボル（象徴的）言語と定義した吉田の「人工物プログラム科学」の定義に戻って、自然現象を構成している規則性を表現する言語を、ここではシグナル言語と解釈する。このシグナル言語とは、勿論、自然言語つまりシンボル言語化して表現することができない情報形態を意味する。

例えば、自然現象は、空間にも上下とか左右の正極性がある。

また、時間にも過去と未来の二極性で表現できる。物理現象も同じである。例えば、熱にも吸熱と発熱や、電気にもプラスとマイナスとか、磁場にもN極とS極とか、また電子のスピンにも二つの方向とか、素粒子でも陰電子と陽電子とか、それらは二つの対照的な性質をもとにして成立している世界で表現されている。

このような二極性を示す世界（これも解釈された世界であるが）を表現するために、ブール代数の表現がある。その「ある」と「ない」との数学的表現で、自然界の現象を構成する情報世界を表現することが出来る。表現された以上、それは言語的表現である。その表現された世界の前提に、前に示したような二つに異なる性質の要素から成り立つ世界がある。

そしてそれらの世界を構成している物理現象が、例えば電気のプラスとマイナスのように、相反する物理的性質（情報）によって成り立つ。その相反する物理的性質によって自然現象は形成される。そこで、この自然現象を構成している二極分離する情報をシグナル記号と呼ぶ。自然現象はこのシグナル記号によって文脈化されている。つまりそのことを自然現象のシグナル情報の形態と呼ぶ。例えば、コンピュータで処理した文書情報は、電子情報となる。そして、四酸化鉄（黒さび）をまぶしたテープの上で、磁性を帯びた分子とそうでない分子の組み合わせになる。つまり、磁場を帯びた部分をそうでない部分のシグナル記号による情報として記憶されるのである。その情報をそのまま取り出しても、それは、磁場の現象に過ぎない。

このシグナル記号の形態は、あくまでも仮定された自然界の規則性を表現した姿である。それを証明するには、シグナル記号が作り出す情報の構成（文法や文脈）を解釈するための変換が必要

である。変換とは人間のことばに変えることである。その変換の道具が装置である。

すでに、実験装置をミクロ世界の観測データをマクロ世界の言語情報へ変換する道具として解釈したのだが、実験装置は、観察対象の情報構造であるシグナル情報を取り出し、それらの情報量と情報パターンを変換機器で増幅し、知覚的に測量可能な情報と姿に換えるのである。最終的には測量計に、認知可能な言語形態、つまりシンボル情報化した情報量と情報パターンとして表現するのである。

科学観測装置は社会や文化の産物である。つまり人工物である。それらの人工物を構成しデザインする言語の構造は、文化記号として登録されている情報の構造、シンボル情報による表現である。観測装置は、科学技術と呼ばれる人間行為で機能し、自然現象の情報構造を文化記号の情報構造に変換する機能を持つ人工物である。シグナル情報で構成された世界の解釈道具としての科学実験装置を考えることができる。

また、観測装置から取り出された化学反応や磁気や電気の情報であるシグナル情報を、観測データと呼ばれるのシンボル情報へ変換する。変換された数字情報から量的規則性を見つけ出す言語作業を、理論化と呼んでいる。この変換のプログラムを科学的論理と呼んでいる。このプログラムの構造を分析する作業が科学認識論である。

三石博行プロフィール：近畿大学理工学部卒業、京都大学理学部研究員、フランス・ストラスブルグ人文科学大学院博士課程修了、哲学博士（新規）、金蘭女子短期大学生活科学科助教。