

物質科学専門部会報告書骨子案

II] 基本方針

他の専門部会が、抽象化された概念（数理、人間科学）や物質システム（生命、技術）を扱い、あるいは実験によって証明することが困難（宇宙・地球）な現象を扱うことが多々あるのに対して、物質科学部会では「具体的で認識しやすい物質の科学」のリテラシーを考える。物質科学の体系の独立性に注意しつつ、物質科学の科学全体の「基礎」としての役割も考慮して、物質科学の全体を俯瞰する。特に生命、宇宙・地球、環境、技術との接点の多い分野なので、重複を避け連携をはかる必要があると考えている。報告書作成に当たっては、下記の点に留意する。

1. 物質とエネルギーの観点を重視する。物質は固有のエネルギーをもち、資源・エネルギーの根源である。様々なエネルギーの担い手は物質である。
2. 生活実感に結びついた物質・現象を選択し、物質科学が現代の生活の基礎にあることを説明する。科学の体系、科学的認識とその獲得、科学をする思考とプロセス、先端科学技術の到達度などについて記述したい。物質およびエネルギー利用の歴史についても触れる。
3. 現実的生活の中での物質科学リテラシーの一側面として、似非科学、科学者の実像などについても（コラム欄において）触れる。
4. 日本人独自の物質観に留意する。これらは産業及び都市化の拡大によって失われかけているが、Sustainableな価値観の復活で生まれ返ろうとしている。
 - 1) 物質循環と生命の輪廻転生思想、無常観。
 - 2) 「もったいない」思想（転用・使い回し・カスケード利用）。
 - 3) 文化と文明が混然一体となっている。
 - 4) 自然界の全てのものにそれぞれの神が宿る（vs. 西欧の全能の神の意思）。
5. 日本（文化）の特徴をもった素材を使いたい。例えば、「身の回りで利用される物質」の中では、紙や木などの物質を通じて伝統的考え方について物質科学の視点から記述する。その他の物質系として、塗料（漆、朱）、接着剤（膠、糊、布海苔）、セラミックス（陶磁器）、住（木材、竹、わら、檜膚、紙、漆喰、床下を風が抜けていく作り）、食（発酵食品、糠味噌）、衣料（和服の仕立て縫製、染色）、扇子、葦簀、風鈴 他。
6. コニカル・スパイラルなイメージ図で示すように、スパイラルアップの記述体系とする。

III] 目次案

- 1 序論：物質とエネルギー—豊かな市民生活を送るための物質科学リテラシー
 - 1.1 文明を支える物質
 - 1.2 エネルギーと我々の生活

- 1.3 身近な技術と物質・材料
- 2 自然の現象
 - 2.1 自然の原理、法則
 - 2.2 物質の変化の原理とエネルギー
 - 2.3 身の回りで利用している現象
- 3 自然の物質と人工物質
 - 3.1 物質の始まり
 - 3.2 物質の大きさと単位
 - 3.3 物質の階層性
 - 3.4 物質の機能（物性）
 - 3.4.1 物質の成り立ち
 - 3.4.2 電気的性質（電気伝導）
 - 3.4.4 磁氣的性質（磁性体）
 - 3.4.5 誘電的性質（誘電体）
- 4 物質と生活
 - 4.1 物質系としての生命体
 - 4.2 生命と健康を支える物質
 - 4.3 日常の生活を支える物質
 - 4.4 情報社会を支える物質
 - 4.5 未来を開く物質
 - 4.5.1 ナノテクノロジー
 - 4.5.2 バイオテクノロジー
 - 4.6 環境と物質
 - 4.6.1 環境と安全性
 - 4.6.2 地球温暖化
- 5 物質とエネルギー
 - 5.1 豊かな生活を支えるエネルギー
 - 5.2 エネルギー資源と物質
 - 5.2.1 化石燃料
 - 5.2.2 バイオ燃料
 - 5.2.3 クリーンエネルギー
 - 5.2.4 エネルギー（燃料）電池
 - 5.2.5 原子力エネルギー
 - 5.2.6 核融合エネルギー
 - 5.3 未来のエネルギー

6 観測、測定、モデル（科学をする思考とプロセス）

6.1 モチベーション、観測、測定、発見

6.2 測定機器

6.3 データ解析（数学・数式、モデル・仮説）

6.4 実験室での再現とシミュレーション

6.5 発表、記録、評価

7 コラム

「似非科学」、「五感の科学」、「科学者とはどんな人」、「粒子性、波動性、場」

「粒子、電磁波、相互作用」、「原子描像と連続体描像」 など

[III] 内容骨子案

1 序論：物質とエネルギー—豊かな市民生活を送るための物質科学リテラシー

1.1 文明を支える物質

石器文明に始まり現代に至るまで、自然由来であるか人工物であるかを問わず、物質は身の回りにおいて人間の生存・文化・社会・経済活動の基盤となり、文明を支えてきた。今後、人類がいかに賢く、無駄をせずに（再利用を考慮しつつ）物質を利用するかが、豊かで安全な生活を営む上で重要になる。

1.2 エネルギーと我々の生活

一つの形態のエネルギーが無くなるときにはそれと等しい量の別の形態のエネルギーが生まれる。エネルギー変換には熱の出入りが伴う。エネルギーの補給なく永久に動き続ける「永久機関」は存在し得ない。またあるエネルギーを全て熱に変えてしまうことは簡単だが、熱を全部他のエネルギーに変えることはできない。

長い時間をかけて地下に蓄えられた石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料を短期間に大量に使うことにより、蓄積された炭素が二酸化炭素として放出され、地球環境が急激に変化する事態に直面している。

どのような形のエネルギーに依存しているかは国により異なる。1970年代には日本は一次エネルギーの70%以上を石油に依存していた。2004年度には（エネルギー白書2006によれば）、石油依存度は約48%（石炭21%、天然ガス14%、でこれらを加えると化石燃料の合計は約83%）となっており、また全体の11%は原子力である。（その他は水力4%、新エネルギー・地熱3%となっている。）

1.3 身近な技術と物質・材料

人間の歴史は我々の周りの物質とエネルギーを利用することにより発達してきた。石、鉄や銅、陶磁器あるいは顔料など、建材としての木材や竹、或いは植物繊維を利用した衣料や紙などいくらかでもあげることができる。伝統的材料はまた、現代の

無機質な生活の中で、我々の生活に潤いを与えるものである。

2 自然の現象

2.1 自然の原理、法則

物質の世界は全て自然の法則に従っている。物体の力学的運動はニュートンの運動の法則（古典力学の法則）に従う。物質は、電子と原子核からなる原子によって構成されている。 $10^{-10}\sim 10^{-9}\text{m}$ の長さの世界である。この長さの世界では、粒子の運動は量子力学の法則に支配されている。一方、巨大な天体の運動や宇宙の運動法則は相対性理論に従う。また原子核反応では、アインシュタインの関係式 $E = mc^2$ に従って物質とエネルギーが相互に転換され、巨大なエネルギーが放出される。

2.2 物質の変化の原理とエネルギー

物質は温度と圧力に応じて、固体、液体、気体という異なる状態（相）をとり、この変化（相転移）は不連続的に起こる。化学変化では、酸と塩基の反応、水の電気分解、石油の燃焼のように、物質が別の物質に変化する。

熱の移動の現象は熱力学のエネルギー保存法則に従う。仕事として取出すことのできるエネルギー量に関して、物質構造の規則正しさを表すエントロピーの概念が必要である。これは情報科学における情報量という概念に利用されている。また、物質科学の学問である熱力学、統計力学は、生物進化、経済現象、政治現象の理解にも応用されている。

2.3 身の回りで利用している現象

我々は物質の性質を機能として利用し、あるいは物質を通じて様々な物理、化学現象を利用している。例えば電気冷蔵庫は、気化という現象（気化熱）を利用している。現在、多くの工業製品に組み込まれ、またロボットの眼や触覚に用いられるセンサーやアクチュエーターも、材料物性の変化を巧みに機能として利用したものである。

3 自然の物質と人工物質

3.1 物質の始まり

宇宙は開闢以来膨張を続けており、これをさかのぼると初期宇宙の高温・高密度の時代に到達する。ヘリウムの大半は宇宙開闢以来1秒（温度百億度）から3分ほどまでに陽子と中性子を原料として作られたものである。陽子と中性子はさらに初期のより高温であった時代に作られた。他の多くの元素は太陽のような恒星の中での核融合反応によって水素とヘリウム原子を原料として作られたものである。元素が宇宙空間に遍在しているのは星の終末期の大爆発（超新星爆発）によってそれまでに核融合した元素がばら撒かれたからである。

3.2 物質の大きさと単位

原子は原子核とそのまわりを運動しているいくつかの電子からなる複合粒子である。水素原子の場合には電子の軌道半径は 0.053 nm ($0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$) 程の大きさである。電子はこれ以上分割できない素粒子で、負の電荷を持つ。原子核は核子と呼ばれる正の電荷を持つ陽子および電氣的に中性な中性子からできていて、およそ 10^{-15} m の広がりがある。陽子と中性子の質量はほぼ等しく、電子の質量の約 1840 倍である。中性子と陽子の数の和を質量数、陽子の数を原子番号という。通常、陽子の数と周囲の電子の数は一致するので、原子は全体として電気を帯びていない（中性原子）。電子が中性原子からはぎ取られたもの、あるいは余分に付け加わったものがイオンである。これらの全ての粒子は波動性を示し、波動と考えられた光も光子と呼ばれる粒子性を示す。

原子を表すのに、元素記号を用いる。たとえば炭素は C、酸素は O、水素は H などと書く。原子の質量を表すために、原子量を用いる。これは質量数 12 の炭素原子 (^{12}C と書く) 1 個の質量を 12 とする相対的な無次元量である。また分子の質量を表すためには分子量が用いられる。これは原子量と同じく、 ^{12}C 原子 1 個の質量を 12 としてそれに対して分子の質量を相対的にあらわした無次元量である。

3.3 物質の階層性

物質を構成要素に分解すると、分子、原子、原子核、核子、素粒子、と階層的に小さくなっていく。これはより高いエネルギーの現象を見ることにも対応する。

水素分子は水素原子 2 個から、水分子は水素原子 2 個と酸素原子 1 個からなる。分子には簡単な構造のものから、多数の分子が結合した巨大な分子である高分子、さらにその中でも大きなタンパク質分子まであり、たいへん変化に富んでいる。分子の結合機構、固体の凝集機構には色々なものがある。金属の凝集機構は「金属結合」といい、イオンの間を自由に動き回る自由電子が全体の結合を担っている。シリコンなどの結晶の凝集機構、炭化水素分子の結合機構は、「共有結合」であり、複数原子の間で同じ電子を共有している。食塩（塩化ナトリウム）では陽イオンのナトリウムと陰イオンの塩素の間に静電的引力が働く「イオン結合」が、凝集機構である。水素結合、ファンデルワールス結合は生体物質の構造と機能を定める重要な機構である。

天然に存在する高分子物質の多くは生物体の中で作られ、多糖類、タンパク質、DNAなどがその例である。人工的な高分子物質の代表例は石炭や石油を原料とするプラスチック類や合成繊維などであり、天然高分子の欠点を補う物質として広く利用されている。

3.4 物質の機能（物性）

3.4.1 物質の成り立ち

原子の種類は全部で 100 余りに過ぎないが、これらが組み合わせられて集合すると、その組み合わせや構造によって様々な性質をもった物質ができ、その種類は無数にあ

る。自然のあるいは人間が作り出した物質の多様な性質は人類の日常生活に役立っている。

3.4.2 電気的性質（電気伝導）

物質は、電気的性質で見ると、金属、半導体、絶縁体に分けられる。金属は電気や熱をよく伝え、光を反射する。機械的には強度が強く展延性に富む。これらの性質は自由に動き回ることの出来る自由電子の存在によっている。自由電子がなく、電気を伝えない物質が絶縁体である。

半導体も絶縁体である。しかし半導体の場合には、不純物元素を添加することにより、自由に動き回る電子（自由電子）または電子の抜けた状態である正孔をごく僅かに導入することができ、これらが電気伝導性を与える。天下不純物濃度により自由電子や正孔の数を制御することができる。我々の便利な生活を支える電子デバイスには、半導体が広く素材として用いられている。

3.4.4 磁氣的性質（磁性体）

磁場を加えると磁気を帯びる性質が特に大きい物質が磁性体である。磁性体の性質は個々の原子（電子）が磁石としての性質をもつためである。強磁性体では磁場を加えないでも原子の磁石が一方向に揃っていて、磁石に引きつけられる性質をもつ。強磁性体は非常に多くの目的に応用されている。

3.4.5 誘電的性質（誘電体）

電場を加えると電気を帯びる性質が特に大きい物質が誘電体である。物質はプラスの電荷をもった原子核とマイナスの電荷をもった電子から構成され、全体としては中性を保っているが、電場によってそれらの電荷がそれぞれ逆方向に移動すると電気分極が起こる。強誘電体は、電場の中に置かなくてもそれ自身が電気分極を示す。

4 物質と生活

4.1 物質系としての生命体

生命体は、それ自身は物質である。生物の組織は、ほとんどが炭素、酸素、水素、窒素の4つの元素で構成され、その中で様々な生命活動が行われている。生命活動のためには細胞の隅々までエネルギー補給しなくてはならない。動物、植物、菌類、原生生物を含む真核生物中のエネルギー保存および利用には必ずアデノシン三リン酸（Adenosine Triphosphate=ATP）が関与している。

4.2 生命と健康を支える物質

タンパク質、糖質、脂質はエネルギー源、生体構成物質として生命を支える重要な物質である。特に、タンパク質と糖質（でんぷん）は生体高分子であるが故の特徴ある構造と機能をもつ。生体反応の触媒が酵素である。酵母（酒）、細菌（納豆）、かび（味噌、醤油）など微生物が関わる反応を利用して発酵食品が製造される。一方、病

気の原因となる微生物に対しては化学療法が発展してきた。医薬品や酵素の反応など生体反応では、受容体への基質特異性の概念が重要である。細胞認識においては糖質も重要な役割を担っている。また遺伝情報の伝達には巧妙な特異的相互作用（塩基対）が働いている。

4.3 日常の生活を支える物質・材料

人間の利用意図が反映される物質を材料と呼ぶ。天然に存在するこれらの原料は他の物質や元素との反応物、或いは種々の他の物質との混合物として得られ、純化や機械的な成形を経てその材料特性が活用されてきた。衣と住の分野においては有機材料が主流を占めている。食に供される素材はほとんど全て生物起源である。近代科学技術の発展により、純化と成形の適用範囲が飛躍的に拡大し、また物質変換の科学技術が開発された。その結果、日常生活を支える材料は極めて多様化され、高密度・高精度化されている。近年 Sustainable Development が世界的な関心事となり、効果的・効率的な物質変換と機能発現を実現している生物機能の活用が注目されている。

4.4 情報社会を支える物質・材料

パソコン、携帯電話などの IT 機器のみならず多くの工業製品には、コンピューターが組み込まれている。情報処理装置にはシリコンを母材とするトランジスタ回路が大規模に集積され、また情報記録媒体には磁気ディスクが用いられている。情報伝送には半導体レーザーからの光パルス信号とそれを伝える光ファイバーのシステムが用いられている。電池の発達も IT 技術を日常生活に生かすために欠かすことができない。新人工物質、新材料プロセスにはリスクを伴う可能性があり、またリサイクルを考えた材料開発は重要である。

4.5 未来を開く物質・材料

4.5.1 ナノテクノロジー

現在のパソコンの機能（演算速度と記憶容量）は、建物の一つの階を占有した初期のスーパーコンピューターよりはるかに優れている。このように情報処理の高速化と大容量化は、情報処理を行う個々の素子（トランジスタなど）を数 10 ナノメートル ($1\text{nm}=10^{-9}\text{ m}$) 以下の大きさにすることを要求し、ナノテクノロジーと呼ばれる分野を切り開いてきた。ナノテクノロジーは、ナノメートルサイズを原子や分子から作り出す技術、元の物質を小さくしていったナノメートルサイズを得る技術、微小な領域の構造を制御する技術など様々で、扱われる物質も金属、半導体、有機物質、生体物質など多種多様である。

4.5.2 バイオテクノロジー

生体物質は、無生物にはない優れた機能をもっている。これらの生体物質の機能を利用するバイオテクノロジー技術が急速に発展しつつある。また遺伝子を操作して

これまでにない生体を作り出す技術は遺伝子工学として、食品や医薬品などの分野への応用が研究されている。これらの技術は人類にとって非常に有用なものであると同時に、リスクを伴うことが指摘されている。

4.6 環境と物質

4.6.1 環境と安全性

科学技術の利用に当たっては、エネルギー・環境・経済原理の間のバランスに配慮するなど、生態系を包括する視点が不可欠である。エネルギー源の正確な理解、生態系のなかでのエネルギー消費と環境負荷の関係・炭素の循環サイクル・窒素の循環サイクル・食物連鎖・リスク評価などといった相互関係を Sustainable Technology の観点で理解し、認識する必要がある。食品の安全性、住環境の安全性、医薬品・健康維持関連物質に関わる安全性などに関する正しい理解が重要である。環境保全のための市民の役割の重要性も認識する必要がある。

4.6.2 地球温暖化

電磁波で放射される太陽エネルギーの一部は、地球表面で反射され、再び宇宙空間に放射される。残りは、地球上の固体や液体、気体の物質に作用して、さまざまな物理的変化や化学変化、生物的变化、及び、気象現象や地学的変化を引き起こすエネルギー源となる。地球に大気が存在しなければ地上付近の温度は -20°C くらいになると計算される。大気が地上付近で温められるのに加えて、赤外線として地球から宇宙に放射されるエネルギーの一部を吸収するため、地上付近は生命活動に適した温度に保たれている。大気による地球表面からの放射エネルギーの吸収を温室効果と呼ぶ。しかし温室効果が強まると、大気の温度が上昇し地球の温暖化を進めることになる。特に水蒸気、二酸化炭素は、大気を構成する気体のうちでも量が多く、重要である。大気中の二酸化炭素濃度は、産業革命以後、それまでの変化に比して急激に上昇しているが、これは、化石燃料の大量消費など人為的な活動が主な原因と考えられている。

二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、代替フロン（ハイドロフルオロカーボン類 HFC、パーフルオロカーボン類 PFC）、六フッ化硫黄は、人間活動により排出され温室効果への影響の大きいため、温室効果ガスとして削減が定められている（1997年京都議定書、1998年制定「地球温暖化対策の推進に関する法律」）。

5 物質とエネルギー

5.1 豊かな生活を支えるエネルギー

地球上で利用することのできるエネルギーの源は、核融合反応の結果である太陽エネルギーと、地球深部での核分裂反応などによる地球内部エネルギー（地熱）である。これらのエネルギー利用を効率的に行うのは困難であり、一次エネルギーの約

30%は途中で熱として地球上に拡散しているため、必ず代償としての環境破壊を伴う。日本は現在、世界中で消費するエネルギーのうちの約5%を消費する（アメリカ合衆国、中国、ロシアに次ぐ）世界で第4位のエネルギー消費大国である。一方でGDPあたりのエネルギー消費という観点からは、極端に効率の良いエネルギー消費「模範国」という側面を持っている。このようなエネルギー消費の量および効率の偏在も深刻な問題である。

5.2 エネルギー資源と物質

5.2.1 化石燃料

化石燃料は太古に、光合成により二酸化炭素から生じた炭素を主な構成元素とする物質である。したがっていったんそれらを二酸化炭素として大気中に排出すると、再び固定化するのが困難となる。石炭は産業革命を支え、近代化学工業の基礎を担った。石油は分留されたのち、各種の燃料として用いられる。石油はまたプラスチックなど化学工業製品の原料となっている。石油の埋蔵量には限りがあり、エネルギーとして使い尽くすのではなく、再利用可能な化学製品の原料としても利用することが重要である。

5.2.2 バイオ燃料

栽培植物を原料とするバイオエタノールなどの燃料の開発が発展している。地下に蓄積されていた炭素を開放するのではなく、大気中の二酸化炭素を固定化したものであることが重要で、再生可能(循環型)エネルギーと呼ばれ、地球環境に配慮した燃料と考えられている。一方で、食料としてのとうもろこしなどを燃料に転換することによる食糧危機の可能性が指摘されている。

5.2.3 クリーンエネルギー

太陽電池、水素エネルギー、地熱発電、風力発電などは、環境を大きく乱すことがないことから、クリーンエネルギーと呼ばれ、急速に技術開発が進められている。太陽電池では、半導体中で光のエネルギーが、電子と正孔を作り出し、これを電流として取り出す。水素は燃やしても水しかできないのでやはりクリーンなエネルギーである。しかし現在のところ水素の製造は、石油の分解によるのが最も経済効率が高いなどの問題がある。

5.2.4 エネルギー（燃料）電池

イオン化しやすい傾向が異なる物質を結びつけるとその間に電子が流れる。この酸化・還元反応によって発生する化学エネルギーを電気エネルギーに変換（放電）する仕組みを電池という。また、放電と逆方向に電流を流すと、電気エネルギーを化学エネルギーとして電池内に蓄積（充電）しておくことも可能である。

5.2.5 原子力エネルギー

原子力発電では、原子炉内での核分裂反応で発生する熱エネルギーにより水を沸

騰させて取り出し、蒸気タービンを回して電気エネルギーに変換する。核燃料物質（ウラン、プルトニウムなど）は、核分裂性物質の量、形状、中性子に対する条件が整うと、核分裂の連鎖反応を起こす。核分裂による連鎖反応が継続している状態を臨界状態という。中性子を吸収しやすいほう素、カドミウムを含んだ物質からできている制御棒を用いて中性子数を制御し、連鎖反応を制御する。

日本では、原子力平和利用 3 原則、「公開」、「民主」、「自主」が定められている。日本のような地震国における原子炉の安全性に対する危惧も大きい。化石燃料に比べて温室効果ガスを排出しないという意味で、原子力利用を止めることは難しい。原子力エネルギーの利用には、原子炉の安全性の確保とともに、核分裂反応の際に生じる高レベルの放射性廃棄物の処理という難問がある。また核燃料資源の埋蔵量は有限であり、原子力エネルギーも無限ではあり得ない。

5.2.6 核融合エネルギー

2つの原子核が十分近づくと、原子核の間に引力として働く核力が静電的斥力に打ち勝って融合し、新しい原子核が生まれることがある。これを核融合反応という。重水素や三重水素の場合には、核融合反応によって全質量がわずかに減少し、大きなエネルギーが発生する。このような核融合反応の燃料になる水は地球上に実際上無限に存在するので、夢のエネルギーといわれる。太陽からのエネルギーも太陽での核融合反応により発生しているものである。核融合反応を地球上で起こさせるために、高い温度の重水素ガスを安定して長い時間閉じ込める技術の開発に努力しているが、実際に反応を起こすまでには至っていない。

5.3 未来のエネルギー

地球環境に配慮した快適な日常生活を維持するためには、将来も化石燃料に大部分を依存することはできない。小規模の水力発電や、クリーンエネルギー、バイオ燃料を含めて、エネルギー利用の多様性を目指すと同時に、「節約」をエネルギー利用に当たっての必須事項としていかななくてはならない。

6 観測、測定、モデル（科学をする思考とプロセス）

6.1 モチベーション、観測、測定、発見

人間は、自らを知るために、また自らを取り巻く世界や自然を知るために様々な観察をする。科学技術の成果として生み出された技術機器を用いて、観測や観察の範囲や精度を飛躍的に進展させてきた。測定技術の進歩は、加工・制御技術の飛躍的進歩も伴った。原子の大きさのレベルの精密さで物質を加工・制御する微細加工技術によって、超高集積回路(LSI)が作成されている。原子時計は、1年間の誤差が百万分の1秒以下に相当する超精密な時計であるが、これを搭載した人工衛星を用いた測量を利用する全地球測位システム(GPS)は、地球表面での位置を1メートル以下の精

度で検出することができるようになり、カーナビなどに使われている。

6.2 測定機器

音や電磁波など自然界で使われている信号の範囲は非常に広いものである。科学と技術は自然が発する広大な信号を検出する方法として、さまざまな測定機器を開発してきた。ハッブル宇宙望遠鏡や電波望遠鏡により広大な宇宙空間の探索と宇宙観の拡大が可能になった。電子顕微鏡、トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡などによって、サブミクロンの生物の世界や原子スケールの物質の世界が拓け、生命観も大きく変化しつつある。

6.3 データ解析（数学・数式、モデル・仮説）

数学・数式は自然科学と技術を記述するための、あいまいさの無い、共通言語である。自然の観察に基づきモデルが作られ、自然や社会現象を理解するための仮想的な構造（作業仮説）として提示される。同時に、モデルに基づいて予想、予測をすることができる。モデルは、自然科学を進めるためおよび産業・技術開発のための有効で強力な過程であり、様々な検証と予測能力の確認を経て自然そのものの構造として受け入れられる。

6.4 実験室での再現とシミュレーション

自然科学および工学の基本は、同じ条件で同じ手順に従えば、必ず同じ現象が起き、同じ結果が得られることである。科学技術の実験や試料製作過程では、人為的に制御できない要因で「誤差」が混入する。誤差には、現象が本質的に持っている（熱的、量子的）揺らぎと、測定精度による誤差（測定誤差）などがある。

巨大実験による無駄を節減し、あるいは観ることのできない現象をシミュレーションによって観る、などの要求が高くなっている。シミュレーションによって「発見」された現象は決して少なくない。

6.5 発表、記録、評価

科学技術の研究では、産業面ではすぐに全てを発表することはできないとしても、基本的には公開原則は守られなくてはならない。記録のない実験は、客観的に行われた実験とはみなされず、科学技術としての価値を認められない。専門研究者同士による評価のプロセス（ピアレビュー）がなくてはならない。

7 コラム

「似非科学」、「五感の科学」、「科学者とはどんな人」、「粒子性、波動性、場」

「粒子、電磁波、相互作用」、「原子描像と連続体描像」 など

① 物質科学リテラシー最終報告書のイメージ

2007/09/04

