

ヒグス粒子発見の意義

それは新たな発展の始まり

自然の奥深さと科学の可能性を探る

2013. 1. 12.

菅野礼司

1. はじめに：宇宙・物質の根源に関する画期的な発見

その存在の検証が長年待ち望まれてきたヒグス粒子と認定できる新粒子がついに発見されたと、ジュネーブにあるCERN（欧州合同原子核研究所）が2012年7月4日に発表した。実験に用いられた加速器はLHC（Large Hadron Collider）と呼ばれる陽子ビームを正面衝突させる装置である。

ヒグス粒子の存在については、長い間理論的な議論が続き、加速器による検証が試みられてきた。素粒子の世界で働く相互作用（力）は、現在のところ自然界の最も基礎的なものである。その基礎的力には4種（強い力、電磁気力、弱い力、重力）があるが、それら4種の力は根源において唯一つに統一されていたとするのが「相互作用の統一理論」である。その統一力が宇宙誕生の初期に現在のような4種に分岐したと想定されている。その分岐の機構においてヒグス粒子が要の役割を果たしたとみなされていた。

科学者の情熱：なぜここまで追究するか

素粒子の世界での基礎的相互作用（力）に関する統一理論は、自然の仕組みに関するこれまでのイメージを転換させる画期的なものである。ヒグス粒子はその統一理論において要となる重要なものであり、しかも物質の質量を生む根源的役割もする。それゆえ、ヒグス粒子の存否は素粒子の標準理論にとって死活の鍵ともいえる問題であるばかりでなく、宇宙誕生の根幹にかかわる重要なものである。だから、ヒグス粒子の存在を追究するために、物理学者は情熱を注いできたわけである。宇宙の誕生とその仕組みに関する根本的な問いは、科学者、いや人類の夢であり、その探究にはロマンがある。

だが、ヒグス粒子の質量が理論的に予言できないことや、その崩壊の仕方（モード）が多岐にわたり複雑であるために、その発見が遅れていた。このことは、ヒグス粒子発見の実験はいかに難しいものであるかを示している。

ヒグス粒子の発見は、素粒子理論にとって画期的なものであるがゆえに、莫大な研究費を投じ、数千人の科学者を動員して長年追究してきたわけである。それだけに、ヒグス粒子のこの発見に携わってきた研究者たちの喜びは一入であろう。

2. 相互作用の統一理論とは

昔、アインシュタインが電磁気力と重力を一つに纏める「統一場の理論」を提唱したが、成功しなかった。その後、場の量子論に基づいて、別の発想による相互作用の統一理論が提唱された。

基礎的4種の相互作用（強い力、電磁気力、弱い力、重力）は根元的には唯一つであったという「相互作用の統一理論」とは何か、その理論のなかでヒグス粒子がどのような役

割を演ずるのか、その説明から始めよう。

(注)4種相互作用の「強い力」は核力やクォークを結合する最強の力、「電磁気力」は電気・磁気力、「弱い力」は原子核のベータ崩壊やニュートリノに働く力、「重力」は万有引力として知られる最も弱い力である。

宇宙生成のとき、素粒子の4つの基礎的相互作用は区別なくただ一つの対称的な形式であった。だが、宇宙創生期にその統一相互作用の対称性が破れて強、電磁、弱の相互作用と重力に分岐したというのが、相互作用の統一理論である。その分岐の時間は宇宙誕生後、ほぼ 10^{-11} 秒以内と推定されている。

これら4種相互作用は、みなその性質がかなり異なっているから、それ以前の素粒子論では、それら異種相互作用を別々に追究し解明してきた。統一するというより、むしろ何種類の相互作用があるかを追究していた。一時期、第5の力の存在が問題になったこともある。それゆえ、1960年代に始まった、この統一理論は相互作用に関する観点を逆転させたという点で、自然観の転換であった。

宇宙生成期の高温・高圧の火の玉が大爆発した「ビッグバン」以後、宇宙は膨張して温度が急速に下がり始めた。その膨張過程で、一つに統一されていた相互作用の対称的が、次々に破れて4種に分岐したとみなされている。その統一相互作用の対称性が破れて分岐するときに、ヒグス粒子が不可欠な役割をする。その分岐の機構を組み立てるために、スカラー粒子（スピン0の粒子：これがヒグス粒子）の存在を仮定して、それを理論的に示したのがイギリスのP. ヒグスである（1964）。

3. ヒグス粒子発見の実験

実験装置：加速器LHCとそのエネルギー

CERNにあるLHCは陽子と陽子を正面衝突させる加速器である。加速器は円周約27kmの地下のトンネルに設置されている。1009年から本格稼働。

(CERN加速器の写真)

陽子・陽子が衝突するときの重心系でのエネルギーは8TeV (TeV: 10^{12} 電子ボルト) である。陽子質量は約1GeV (GeV: 10^9 電子ボルト) のエネルギーに相当するから、その8000倍である。

(相対性理論の質量とエネルギーの関係: $E=mc^2$)

実験グループとスタッフ

世界の素粒子論研究者が集まり延べ約3000人。日本から110人がATLASグループに参加した(中心メンバーは東大の小林富雄教授、浅井祥仁準教授など)。

陽子同士の衝突により発生する粒子を測定する検出器ATLASとCMSを用いた2組の実験グループが独立に測定し、同時に発見した。

日本の技術が貢献：ATLAS検出装置の建設、加速器の精密機器製作、コンピュータに

よるデータ解析。

(ATLASの写真)

ヒグス粒子の性質：

生成；陽子中のクォークからでたグルーオンにより作られる t クォーク対から発生。

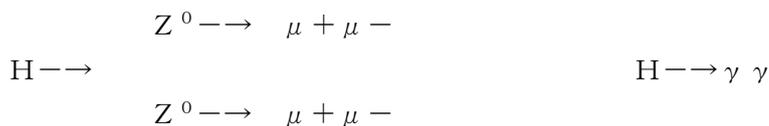
質量；発見されたヒグス粒子の質量は約 $126 \text{ GeV}/c^2$ (陽子質量の126倍) である。

ヒグス粒子の平均寿命；不安定で、約 10^{-23} 秒で崩壊する。

崩壊モード； $Z^0 Z^0$ 、 $W^+ W^-$ 、 $\gamma \gamma$ 、 q -反 q 、など多岐。

検出法；ヒグス粒子が崩壊してできる粒子は、 γ 線を除き、すべての粒子は不安定で、直ちに崩壊するから、検出器で捉えるのはそれらが崩壊した孫粒子である。

今度の実験で捉えた粒子は2組の μ 粒子対、および γ 線対である。



ATLASによる実験データ：横軸はエネルギー（質量）、縦軸はイベント数

実験データのグラフ

ヒグス粒子の同定

陽子-陽子衝突によりいろいろな種類の粒子が多数発生し、飛び出してくる。そのなかで、2組の μ 対を検出し、それらのエネルギー・運動量を測定して保存則を満たす組だけを取り出す。その合計のエネルギーが同じ組の数を図のようにプロットする。その数がバックグラウンドより高い所があれば、そこに不安定粒子があることを示している。図では 125 GeV の所に山がある。その山がバックグラウンドよりも高いほど、粒子の存在確率が高い。 $\gamma \gamma$ に付いても同様にする。

4. 自然の仕組み：統一理論の基礎にヒグス粒子

統一相互作用の対称性の破れ、：真空の相転移

ヒグス場(粒子)には、荷電 ϕ^+ と中性 ϕ^0 の2成分がある。宇宙初期の超高温状態のときはヒグス粒子 (ϕ^0) のポテンシャルは(図 a)のように、 ϕ^0 の存在しない状態 ($\phi=0$ の原点) がエネルギーが最低の真空であった。宇宙膨張で温度が低下すると、2つのヒグス場の一方の ϕ^0 のポテンシャルが(図b)のように変形したとすると、最低エネルギーは、原点ではなく、横軸 $\phi^0 = \pm v$ の所になる。すると、真空は新たに最低エネルギー状態となった $\phi^0 = \pm v$ の所に移る。どちらに移動するかは確率的偶然で決まる。いま、真空が $\phi^0 =$

vに移動したとしよう。ということは、真空は空 ($\phi = 0$) ではなく、至る所 ϕ^0 が凝縮して「密度vだけ詰まった状態」ということになる。これを真空の相転移という。

(ちなみに、真空を埋めることのできる場合は、スピンや電荷などの物理量を持たないものだけである。それゆえ、荷電ヒグス場 ϕ^+ は電荷のために真空を埋めることはできない。)

この現象は、外から何の作用をせずに、ヒグス場 ϕ^0 が自発的に凝縮を起こして真空が相転移し対称性が破れたことを意味する。このように外からの作用によるのではなく、内部機構による対称性の破れを、自発的対称性の破れという。vの値はヒグス場の凝縮度であり、真空の対称性の破れの程度を表す量である。vをヒグス場の真空期待値という。

自発的対称性の破れの機構を理論的に示したのは南部である(ノーベル賞授賞)。

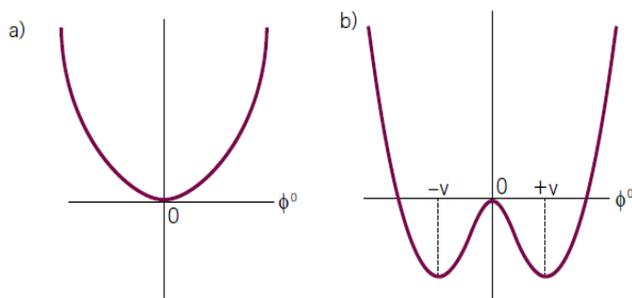


図. ヒグス場による真空の相転移：真空の対称性の破れ
(横軸はヒグス場の強度、縦軸はヒグス場のポテンシャル)

宇宙を構成している基本粒子とゲージ場

宇宙を構成している基本的物質はクォークと軽粒子であるとみなされている。

6種のクォークと軽粒子：(注)スピンはすべて $1/2$ (単位は $h/2\pi$)

第1世代 u, d (3色) ; e, ν_e

第2世代 c, s (3色) ; μ , ν_μ

第3世代 t, b (3色) ; τ , ν_τ

これら基本粒子間に働く4種の相互作用を媒介するものは、ゲージ場と呼ばれる粒子である(場の量子論では、場と粒子は同じ)。

強い力：色ゲージ場 (8種)	グルーオン g、	スピン1、
電磁力：電磁場	光子 γ 、	スピン1、
弱い力：弱ボゾン	W^\pm, Z^0	スピン1、
重力：重力場	重力子 G	スピン2、

宇宙生成期には、これら物質粒子とゲージ場はすべて質量0であり、しかもそれぞれのグループに属する粒子は質的にも区別なく同等であった、つまり物質粒子グループとゲージ場グループとは、それぞれ一括りの同質(対称的)なものであったとみなされている。

物質の属性を識別するのは、それぞれの相互作用である(相互作用が無ければ、物質の存在も性質も認識できない)。たとえば、ある粒子が電気を有しているか否かを知るの

は電磁気力(電磁場)による。相互作用を媒介するゲージ場が完全対称(区別なく同等)であれば、相互作用も完全対称的であるから、物質粒子も区別が付き完全に対称的である。

ただし、重力場は特殊なので、まず強、電磁、弱相互作用の統一理論が提唱された。それを大統一理論GUT(Grand Unified Theory)という。そのGUTはクォークと軽粒子を一括りに同一視しするのである。

相互作用の対称性の破れを引き起こすヒグス場

このヒグス場の凝縮によって真空の対称性が破れる(真空の相転移)とき、同時に統一相互作用の対称性も破れて、分岐が起こる。GUTでは、統一相互作用(3種)のうち、まず強い力が分岐独立し、最後に電磁気力と弱い力が分岐した。つまり、2段階の分岐を経て、3種相互作用が別々の力になったとみなされている。それゆえ、ヒグス粒子は少なくとも2種類存在するはずである。

この分岐の機構には、ヒグス場が決定的に重要な役割を演じている。ヒグス場 ϕ^0 の凝縮による真空の相転移が起こることで、質量0のゲージ場の中の弱ボゾン(W, Z)が質量をえることで、その対称性が破れ分岐が起こる。

対称性の段階的破れ:

超対称性理論(4種相互作用の統一) → 大統一理論GUT(強、電磁、弱力) → 弱電統一理論(弱、電磁力) → 電磁力と弱力

理論展開の歴史的な流れは、まず最初にGUTの一部である「弱電統一理論」に関するワインバーガー-サラム-グラشوウ理論が提唱された(1967)。次に強い相互作用を包含する大統一理論へ進んだ。重力は3種の力と異質であり、超対称性理論はまだできてない。そのモデルとして超紐(superstring)理論が有力視されているが、まだ未完成である。

5. 質量の成因: 物質粒子の質量を生んだヒグス粒子

「相互作用の統一理論」が提唱されてから、素粒子の世界を理解する観点が大きく変わった。この観点は宇宙成生と宇宙進化の本質に関わることであり、自然観の転換であった。

物質の質量の起源もその一つである。統一相互作用の分岐の過程でヒグス場が重要な役割を演じ、一部のゲージ場と物質粒子に質量を与えるのである。

ヒグス場は物質場(クォーク、軽粒子)と相互作用(湯川型相互作用)をする。その相互作用により、真空に縮退したヒグス場が物質場に質量を与える。つまり、物質粒子が真空中を運動するときに、ヒグス粒子がまとわり付いて粒子を動きにくくするわけである。ということは、物質粒子の質量の起源は真空を埋めたヒグス場の粘性抵抗のようなものである。

物質粒子の種類によってその質量は異なる。クォークのt、b、s、c、u、d、および軽粒子の τ 、 μ 、e、 ν はみな質量が異なる。その質量値は物質場とヒグス場の相互作用の強さfとヒグス場の真空期待値vの積fvに比例する。そのfvが粘性の強さである。

クォークは軽粒子よりも f の値が大きいため質量が大なのである。

ちなみに、標準理論を構成する粒子は物質粒子 6、軽粒子 6、ゲージ粒子 4、計 16 種類とヒグス粒子 2 種である。

6. 発見の意義と今後の課題

発見の意義

今度発見された新粒子が本当にヒグス粒子 $H^0 (\phi^0)$ であることが確定すれば、これで標準理論の基礎となる粒子は揃ったことになり、この理論は確かなものと認められるであろう。

- ・ヒグス場の質量は理論では予言できなかった。125 GeV という値は標準理論をさらに精密に上げるために重要なデータとなる。そこから新たな問題が見つかるかも知れない。たとえば、「標準理論からのずれ」など。

- ・物質の質量の起源はこれまで理論的に説明できなかった。真空中に縮退したヒグス粒子によるという説明は、以前からの観点と全く異質のものである。それは物質観の変更でもある。

- ・この発見を出発点として新たな分野への第一歩が踏み出されるだろう。次の問題は、重力まで入れた全統一理論の完成である。それは暗黒物質にも関連している可能性がある。その理論ができたなら素晴らしいことである。

その全統一理論の対称性は、スピン 1/2 とスピン 0 の粒子を同一視した超対称性といわれるものである。その超対称性理論によれば、すでに発見されているすべての物質場とゲージ場の相棒として、パートナー粒子（既知粒子とスピンの異なる）が存在することになる。つまり、粒子の種類が現在知られているものの 2 倍になる。

超対称性理論のモデルとして、超紐 (superstring) 理論があるが、未完成、かつ問題が多く否定的意見もある。

- ・標準理論の完成は、それを土台として次の新たな理論への糸口になるかも知れない。

だが、残されたいくつかの問題もある。

残された問題

1) 標準理論では、対称性の破れは少なくとも 2 段階あるので、もう一種のヒグス粒子を発見する必要がある。もう一種のヒグス粒子を探索すると同時に、今度発見された 125 GeV ヒグス粒子の性質を吟味して、どちらの段階のヒグス粒子かを吟味して決めなければならない。陽子同士の衝突で生成したのであるから、グルーオンにより生成された可能性が高い。すると、第一段階の強い相互作用の分岐に関わるものではないかと思う。だが、同定には崩壊モードも関係するから、慎重な吟味が必要である。

これらヒグス粒子の検証実験には、電子-陽電子衝突による実験の方がよい。陽子同士の衝突では余分な粒子が沢山発生するから、必要なデータを選び出すのが大変である。その点、電子-陽電子衝突では余分な粒子の発生が少ないので、データは綺麗にできるからである。

2) 物質質量の大きさを与える (ヒグス場と物質場の) 相互作用の強さ f を決める原理がない。また、ヒグス場は最初から (虚) 質量を有すると仮定されているが、その質量の由来が不明である、さらに、ゲージ理論の枠内に納まらない (はみ出した) ヒグス場の身分を明らかにすることが必要である。標準理論はまだすっきりとした理論形式になっていない。このことは標準理論が不完全であることを示す。

3) 等価原理の不思議：ここで問題になるのは、物質の質量に関する等価原理である。物質の質量には2種類ある、慣性質量と重力質量。

ヒグス場の粘性抵抗によって生ずる質量は「慣性質量」である。それに対して重力を生み、かつ受け止める「重力質量 (重さ)」がある。この2種の質量は、性質も由来も別ものとみなされている。それにもかかわらず「慣性質量」と「重力質量」とが等価 (大きさが同じ) であるというのが「等価原理」であり、それは一般相対性理論の基礎原理となっている。

(重い鉄球も軽い羽毛も真空中では同じ加速度で落下するのはこの原理のため。)

この異質の2種の質量が同等であるという等価原理は、いかにして成り立つのか？この根拠を解明することが大きな課題である。重力場を含めた相互作用の統一理論が完成すればこの問題は解決するか、少なくとも解明の手掛かりはえられるだろう。

4) 相互作用の自発的対称性の破れは南部理論による。相互作用の自発的対称性の破れによって、質量0のスカラー粒子 (スピン0) が創生される。これを南部-ゴールドストーン粒子という。ヒグス場はその一種とみなされるが、質量の起源など未解決のものがある。

5) 対称性はなぜ破れるのか：宇宙の創生期の自然界では、すべての存在は一つに統一され対称的、すべての粒子質量はゼロであるとみなされている。それが宇宙初期のビッグバン以後、温度降下とともに対称性が破れて、いろいろな性質が現れたと想定されている。その対称性の破れにより自然の多様性が生じた。自然界の複雑な仕組み (物質の多様性、階層性など) はその対称性の破れの結果である。元の対称性を保ったままならば、何の変哲もない一様な宇宙のままである。

では、なぜその対称性が破れたのであろうか。その理由はまだ分からない。

6) ビッグバン以前の状態は？ 無から有は生じない。

「プランク領域」の内部は現代物理学の対象外である。

7. 科学の可能性と限界：科学は不完全だが無限に進歩

人類が自然の仕組みを理解できるということは大変不思議なことである。

人類は、宇宙進化の過程で、物質自身の能力により自然に発生したものであることは今や疑いない。また、人間の記憶や思考なども高度に組織化された物質系の機能の一形態であることも、やがて解明されるであろう。

自然の一部である人間の営為は、自然科学も含めて、全て自然現象の一環である。すると、”自然科学とは自然自体が人類を通して自らを解明する自己反映 (自己認識) 活動”ということになる。それゆえ、自然科学を単に人間の側からの自然認識としてのみ捉える

のではなく、自然の側から見た「自然の自己反映（認識）」という観点から捉え直すべきであるというのが、かねてからの私の主張である。

科学の不完全性

自然の自己反映という科学観に立てば、自然科学の理論は自然が自らについて述べる「自己言及型」の論理となる。すると、ゲーデルの不完全性定理の制約を受けざるを得ない。述語論理におけるゲーデルの不完全性定理によると、矛盾のない理論体系は不完全であり、説明できない現象や真偽が定まらない決定不能命題が必ず存在する（例：嘘つきパラドックス「私は嘘つきである」）。それらの問題を解明するために、仮説を加えて新理論を造ることができる、科学理論の進歩・発展もその例である。だが、その新理論も無矛盾な体系である限り、また新たに説明不可能な現象や決定不能命題が現れる。この過程は永久に繰り返されるから、自然科学は原理的に不完全であって、人間は自然を完全に知り尽くすことはできないことになる。ちょうど人間が人間自らを完全に解明できないだろうように。このことは同時に、科学には終わりはなく、実在の自然に無限に近づくが永遠に到達できないことを意味する。たとえば、科学理論の基礎原理は説明も直接実証もできない仮定であるが、その原理を説明するためには新たに高次の原理を必要とするように、この過程は尽きることはない。

また、ゲーデルの不完全性定理の帰結として、無矛盾な論理体系は自らの完全性をその内部で証明できない。したがって、自然自体は自己完結的な存在であったとしても、自己完結的な自然科学の理論体系は不可能である。よって、自然科学理論の検証には自然に問いかける実験・観察が永遠に不可欠なのである。

物理学理論の進歩：新たな原理に基づき次々に進歩・発展

アリストテレス自然学—近代物理学（ニュートン力学、電磁気学など）—相対性理論—量子力学—場の量子論—・・・？

物質の階層：階層は無限に続くのか？ 究極を求めて

？—宇宙—超銀河—銀河団—銀河—恒星系—地球（惑星）—マクロ物質—分子・原子—素粒子—クォーク—・・・？

西洋的自然観と自然科学

このように人類は自然の原理を知り尽くすことはできない。だが、西洋では、全知全能の絶対神の創造した自然は論理整然とした斉一的なものであるから、その仕組みを知り尽くすことができると信じて追究した。「機械論的自然観」（デカルト）と「原子論的自然観」に基づく例外を許さない「絶対的自然法則」という概念が生まれ、その上に西欧の近代科学は築かれた。この自然哲学の基礎には「神—人間—自然」というキリスト教の階層的自然観があると思う。それに対して、多神教（八百万の神）の東洋には、人間も自然の一部であると考え、自然を知り尽くせるという思想は生まれなかった。

17世紀以降、西欧における近代科学の成立によって人間は「神」を必要としない論理を獲得した。19世紀の終わりに、ロンドン王立（科学）協会で、ケルビン卿は「物理学は自然の原理を掴んだ。今後はそれを用いて自然現象を説明するだけだ」と誇らしげに講

演じた。

だが、科学者のその誇りは幻想であった。20世紀にアインシュタインの相対性理論とマイクロ世界の量子力学の誕生により、科学者は科学の不完全さを思い知らされた。そして、科学的認識とは何かを改めて考察し、科学の限界に気づいた。

20世紀、現代物理学の誕生に伴い、原子論的自然観は「階層的自然観」へと、機械論的自然観は「進化的自然観」へと転換した。この自然観は、物質の存在様式はマイクロからマクロまで階層をなし、すべてのものは発展進化するというものである。

「相互作用の統一理論」は宇宙の仕組みは斉一であり、根元は「一」という自然観に基づくといえるだろう。この統一理論が完成すれば、自然の原理を知り尽くしたことになる（物理の終焉）という科学者がいた。これも西欧的発想であろう。

中国の道家（老荘）の思想に「道（世界の根元）は一を生じ、一は二を生じ、二は三を生じ、三は万物を生ず」というのがある。これは「気→陰陽→五行→万物」という中国自然観の元になった。だが、この発展の過程と機構を追究せず、思弁的レベルのままで止まった。西欧的な統一自然観とは異質である。

ヒッグス粒子は宇宙の多様性を生み出し、物質に質量を与えた「万能の粒子」という意味で「神の粒子」と言われたりもする。しかし、ヒッグス粒子が活躍する場として、すでに物質粒子とゲージ場があることを念頭に置くべきである。それは「全能の創造主」ではないから、キリスト教の「神」ではない。「残された問題」で述べたように、ヒッグス粒子の発見により、新たな問題が現れた。また、ヒッグス粒子の出自・身分についての解明が必要である。自然は無限に奥深く、科学的探究は尽きることはない。

8. 科学とは何か：科学は精神文明の一翼

昔、自然科学は自然哲学であった

東洋・西洋ともに、古代科学の中心的課題と自然観は「宇宙観、物質観、生命観」であった。これらは現代科学にも引き継がれている。

近代科学以前の自然科学は「自然哲学」、またはその一部であった。そして、宗教的自然観に強く支配されていた。17世紀に実証科学として合理的理論体系の近代科学が生まれ、哲学や宗教から独立していった。

自然科学の論理にはそれを築いた文明の基礎にある自然観が反映している。逆に、科学の進歩が自然観の転換をもたらしてきた。科学的自然観と自然科学の発展の相互関係を理解することは、科学研究ばかりでなく科学教育にとっても大切なことである。日本の科学教育ではこれが欠けている。

科学の存在意義：社会的機能

科学には二重の意義がある。一つには自然認識を深めることによって精神文明への寄与である。科学は自然観、哲学、人生観の形成に不可欠であり、科学的自然観を通して自然界における人類の地位を認識する。それゆえ、科学は人文・社会学、芸術、宗教と並んで精神文化の一つである。二つめは技術を通しての物質文明への寄与である。科学を技術に応用し生産力とすることで、物質的な豊かさをもたらし、また自然の脅威から身を守る。

このように科学は文化の一翼として二つの社会的機能（上部構造と下部構造への寄与）を有する。

現代では、社会的機能の面で宗教と科学の地位が昔と逆転し、科学・技術は政治・経済を動かすまでになった。それにつれて、科学・技術は政治と直結し、政治の支配を直接受けるようになった。しかし反面で、人文・社会学や倫理の面が置き去りにされて、科学・技術のみ突出して進歩・発展した。その歪みの結果、便利さや物質的豊かさといった物質文明のみ追う傾向が強くなり、多くの弊害が発生している。また、大量破壊兵器の開発や公害・環境問題などにより、人類自滅の危機さえ招きかねない。近年、科学・技術のあり方と存在意義が問い直されるようになった。

現代では技術的側面のみがクローズアップされ、「科学＝技術」であるかのように錯覚されている（日本ではその傾向が強い）。科学と技術は別ものである。精神文明と物質文明とのバランスある発展を求めるためにも、思想としての科学の復権を主張したい。

参考文献：

「科学とは何か」について、詳しく説明する時間的余裕がないので、次の拙著を参考にしてください。

1. 『科学は自然をどう語ってきたか－科学の論理と自然観』
（ミネルヴァ書房1999年）
2. 『科学はこうして発展した－科学革命の論理』（せせらぎ出版2002年）
3. 『物理学とは何かを理解するために』（吉岡書店2012年）