

創作想像力を育てる一般教育物理

—^{アナロジー}類比による理科・文科橋渡しの試み—

中 川 益 夫

一般教育物理学に出てくる物理的諸概念を、類比 (Analogy) によって、日常的・人間的なイメージしやすいとえ (Model) に置きかえてみる。

この試みは、部分的には従来より行われてきたところであるが、より総合的に構築することにより、人文系社会系の人たちとの思考・討論上の橋渡し、ひいては想像力を育てる補助線としても役立ちうるのではないか。本論は、そのための第一段階である。

1. 定義とアナロジーの成立例

物理学、一般に、もっと広く科学において比喩 (モデル) を用いて説明ないし解釈・理解する類比 (アナロジー) の方法が大きな役割を果たしている。現に、多くの科学者がそう感じている。

しかし、これまでのところ、モデル(を使うアナロジー)が科学の不可欠の部分であることを科学論は否定してきた。つまり、モデルは理論発見のための“心理的な”補助手段にすぎず、ひとたび理論が創られ確立すると、忘れてよいものだと考えられてきたのである。——あたかもビル建設の場合の足場のように。

しかし、モデル (を使うアナロジー) は、科学理論の理解にとって、実際の扱われ方以上に本質的なものではなからうか。

最近、そういう主張の盛り込まれた成書も出てきた¹⁾し、これをめぐる近代の賛否両論はP.デュエム²⁾とN.R.キャンベル³⁾にまでさかのぼるようである。

ケンブリッジ大学科学哲学教授であるヘッセ女史は、モデルのない理論は拡張されず、新しい現象への予測力がないと論陣を張り、科学を静止した、できあがった構造としてではなく、発展する動的な活動として把える必要があると強調する。また、科学におけるモデル (を使うアナロジー) の働きは、文学等

における隠喩（メタファー）の発見的・認知的機能に対応するとする女史の主張は、科学を文学や日常言語における修辞法（レトリック）と結びつけて理解する必要性を示唆して興味深いものがある。

筆者も、永年にわたって、この構想を練ってきたところであり、一般教育物理学（実験も含む）に於いて一部試みてきた経験もふまえ、ここに試論の形で広く提起して、多くの関心ある方々の御教示・御協力をあおぎたいと考え、この小論を発表することとした次第である。

さて、比喩といい、モデルといい、類比ないしアナロジーなどという語が、通常は多義的に使われているので、使用している人々の間で、一定イメージの混乱がありうる。そこで、まずはじめに用語の意味定義をチェックしておきたい。

念のため、モデルとアナロジーのちがいはアナロジーとは、原物とモデルの間の関係を指すのであって、つまり、原物と原物に類比のものとの関係である。尚、ここに原物とは、問題にしようとしている対象で、具体的な実態でもよいし、抽象的な概念でもよい。要するに、類似しているとされている一方の〈もの〉が、モデルである。

ところで、何が類似しているかによって、アナロジーには二種類を区別する必要がある。その一つは現物のもつ諸性質の間にある「関係」が類似ないし同型である場合、これを形式的アナロジーないし関係のアナロジーと呼ぶことにする。あと一つは、現物のもつ「性質」とモデルのもつ「性質」とが類似している場合であり、これを実質的アナロジーないし性質のアナロジーと呼ぶことにする。

アナロジーの関係は“類似”の関係であって、“同一”の関係ではない。そこで記号を使って表示する場合、直接的な“ $=$ ”（等号）ではなく、“ \propto ”（比例関係）をアナロジーに使用するのが適当であろうと思われる。

ヘッセは、この上、更に、アナロジーの関係における類似を、同等と差異とに分け、同等の部分肯定的アナロジー、差異のある部分を否定的アナロジーと呼び、更に或時点で、同等か差異があるのかまだ明らかでない部分を中立的アナロジーと呼んで区別している。

予想される混乱をさけるために、なお言及しておかなければならないことは、モデルが何に対するモデルかによって、モデルの方を二つに区分する必要があることである。一つは公理系（ないしは形式的な演繹体系）を満たす一組の実体を指してモデルという語が用いられる場合で（これを公理系モデルと呼ぶことにする）、主として数学や論理学における使われ方である。例えば、ユークリッドの公理系に対する一つのモデルが平面幾何図形である。この意味で、モデルは公理系に対する一つの「解釈」とも言える。

もう一つは、原物を縮小または拡大したスケール・モデルのような複製物、類似物を指して用いられる場合（以後、必要な場合、これを単に模型と呼ぶことにする）で、例として、原子模型、結晶模型などがある。この場合には、原物とモデルとの間には部分的にしか対応がないわけだが、実験研究では、普通この意味のモデルが使われる。しかし、この場合でも、もし対応を方程式や模式図などで表現することが出来るなら、第一の意味で一つの公理系のモデルになる。例えば、機械の振動とそれを模した電気発振回路とは同じ振動方程式で記述されるし、水の波、光の波は同型の波動方程式で記述される。従って、実際は二つの間に画然たる一線は引きがたく、科学理論におけるモデルは、おおむねこの両方の、つまり公理系とスケールモデル（模型）の両方の意味を合わせもつと考えられている。

定義の最後として、モデルが、或対象を研究するために参照される他の分野の対象を指して用いられる場合と、同じ分野の研究対象についての理論の内部につくられたものを指す場合とがあり、ヘッセは前者をモデル₂、後者をモデル₁と呼んでいる。モデル₁の方は、研究の進展とともに変容していくにしても、理論から切り離すことができないという点が科学理論においてモデルが不可欠であるという主張の有力な根拠とされている。この事情は、図1の例で¹⁾、或程度察知できるであろう。

研究対象	モデル ₂	モデル ₁
原子	惑星系	ボーア・モデル
気体	ビリヤード系	気体分子
光	水の波	光の波
原子核	電気力	核力
社会	生物進化	社会進化
生物	社会的競争	自然選択
電	流	電流

図一 モデルの諸例
 （文献1より引用）

以上、前置きが長くなったが、物理学へのアナロジーの適用例として、はじめに、中学理科・高校物理でよく引用される電気と流体との間のアナロジーを復習してみよう(図2参照)。

電気の方を問題にしようとする事物(原物)とすれば、流体の方がモデルで、ヘッセによればモデル₂である。図2のように、すこぶる良いアナロジー

〈電気〉	:	〈流体〉
*電荷	Q	: 流体の量(体積) V
*電流	I	: 流量 Q
*電位(差)	ϕ	: 水位(差) h
*電圧(起電力) V'	:	水圧 ρgh
*電気抵抗	R	: (流れにくさ)
*伝導度(1/R)	:	パイプの断面積 S
*電気容量	C	: 容器の断面積 S
*電気力線	:	川の流れ
*等電位線	:	等高線

図-2 電気と流体とのアナロジー

(以下、短縮して類比と書くこともある)が成り立ち、電荷は流体の量(体積)と類比される。流体の質量の方が一見良さそうだが、それは中立的アナロジーにとどまるだろう。

電流は流体の流量と常識的にもいい類比が成立し、ふんだんに使われている。電位(または電位差)は水位(または水位差)とよい類比が成り立つから、小・中学生向けにも効果がある。 $Q/\phi = C$ (電気容量)の関係は $V/h = S$ (容器の底面積)と類比が成り立ち、これは形式的ないし関係的アナロジーの一例ともなっている。

電圧(或いは起電力)は水位とではなく、水圧 ρgh との類比の方が良さそうである。

電気抵抗の逆数(1/R)は水道管などパイプの断面積(S)と類比され、 $S = S_1 + S_2$ から $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ の関係が比較的スムーズに理解されよう。(もっとも、 $[1/R = 1/(R_1 + R_2)]$ と短絡される可能性もなしとしない)。

電気容量という概念は、初心者(そしてまた文科系の人には)わかりにくいものの一つにちがいないが、流体の容器の断面積(底面積)に類比されると考えていたぶければ良い。コンデンサーの直列・並列接続の場合についても、抵抗の場合と同様の(正確には逆の)類比が成立するのだが、ここでは省略しておこう。

電気力線というのは、電場(或いは電界とも呼ぶ)つまり、電気的な作用が及んでいる場所(field)で、正の電荷が受ける力(或場所に置かれた時、その場

所で押し動かされようとする力の方向と大きさ)を表わす線の集まりを指すのだが、これは山頂から流れ下る川の流れと類比できる。等電位線は地図でおなじみの等高線、天気図での等圧線などと類比できる。電気力線が等電位線と直交することは、川の流れと等高線とがほぼ直交する様子から、大筋理解できるであろうと思われる。

以上のアナロジーを意識するだけでも、“にが手”の物理に、多少とも親近感が出てくるのではないか。それどころか、今、世界中が探し求めている高温超伝導の理論などが、案外、流体（特に粘性抵抗ゼロの完全流体）モデルとのアナロジーから見通しが開けてくるかも知れないのである。

2. 一般教育物理への導入

さて、一般教育物理に移ろう。使用するテキストにもよるが、古典力学、波動、電磁気、量子力学（含、原子物理）、物性……といった順序であるとして、この順に以下の記述を進めるが、順序は今は重要なのではない。

物理学では、力の概念の把握が最も基本的であると考えられている。小中高の理科ないし物理ででてくるのは主として巨視的な力である重力（あるいは万有引力）と電磁気的な力（クーロン力など）で、いずれも遠距離力として作用する力である。これ以外では、物体の接触面で作用しあう圧力や抵抗、物体内の接触面で作用しあう圧力や抗力、物体内の各部分が互いに力を及ぼしあう応力（張力^{ちようりょく}など）が主なものである。

ところで、大学一般教育では、力を、二つまたはそれ以上の物体が相互に力を及ぼし合う相互作用として理解することが求められる。特にこの用語は、分子、原子、素粒子などの粒子間の作用に対して使われることが多い。相互作用のために使われているエネルギーを相互作用エネルギーといい、相互作用が強いほど相互作用エネルギーは大きくなる。

現在、自然界には四つの基本的な相互作用が存在することが知られており、宇宙のすべての物理的、化学的諸現象は、すべてこの四種類の相互作用の現れであるとみなされている（図3参照）。

これら相互作用を、類比によりモデルを使って表現すれば、例えば下記のと

うに表すことが出来るのではないか。但し、図3の中の電磁相互作用は、便宜上、静電気的な力と磁気的な力の二つに分けて表示した。類比的の根拠について、以下順次概要を説明する。

相互作用	強さ	力の作用範囲
重力(万有引力)相互作用	$\approx 10^{-39}$	無限大($1/r^2$ 法則)
電磁相互作用	$\approx 10^{-2}$	無限大($1/r^2$ 法則)
強い相互作用	1	短い($\sim 10^{-15}$ m)
弱い相互作用	$\approx 10^{-10}$	短い($\sim 10^{-15}$ m)

図-3 自然界の基本的相互作用 (文献4)より引用)

例 結合力(相互作用)

- 万有引力.....血縁関係
- 静電引力.....異性間力
- 磁気力.....主義・主張
- 強い相互作用.....交換力
- 弱い相互作用.....崩壊

万有引力は質量を有するすべての物体間に働く引力であって、文字通り引力として作用し、不思議なことに反撥力というものはない。これと類似のモデルとしては血縁関係(血のつながり)が考えられる。万有引力の場合の物体間の距離に相当するものは、親族関係の近さを表わす尺度としての親等(或いは等親)であろう。親等の二乗に反比例して弱まるものかどうかの問題は残るが、一般的には、距離が開くと共に弱まるのも実感として肯定されよう。万有、つまりすべての人間に敷衍できるかどうかについても(人類がすべてアダムとイヴの末裔であるとしても)筆者は掘り下げて考察したことはないので確かなことは解らないが、このアナロジーは、万有引力の起源のなぞを考える時のヒントになるかも知れないのだ。というのは、血縁関係には距離としての等親並びに時間(年代、歴史)の要素が変数(ヴァリアブル)ないし補助変数(パラメーター)として入っているのに対し、万有引力の中には、時間が陽には入っていない(瞬達力として)。しかし、最近では、重力波の考えの導入で理論の改革が進行中のようである。

次に静電引力は、普通、異性間に働く力として類比的されることが多い。距離にも或程度関係することは理解できる。同性間に反撥力が働くというのも(つ

むじを曲げない範囲で）一般には肯定されている。磁気力も同様であるが、これまでのところ、単独の正負の磁荷（いわゆるモノポール）は未だ認められていないから、筆者は、ひとまず静電気力と区別して、主義・主張と類比させてみた。主義には必ず（といていい程）アンチ主義が伴い（これを前提とするとも言える。例えばDarwinismとanti-Darwinism）、一対として存在する点を考慮に入れたからである。

2個の素粒子が 10^{-15} m程度の距離に近づくとときに働く強い相互作用は、湯川博士の中間子による核力（原子核構成粒子の結合力）の説明のために導入された最初の理論であった。原子核を構成している陽子と中性子を結びつける力は、引力でも電磁気的な力でも説明できず、中間子がやりとり（交換）されることによって結合が生ずるとした画期的な理論であったのである。

広いグラウンドの中でてんでばらばらに遊んでいるように見える子供たちの中で、ボールをやりとり（キャッチボール）している一対は、特別な結合力で結ばれているとみる。ボールの投げ合える範囲は、あまり遠くてはいけな。サインを交わしながらカーブやシュートを投げあっているペアは、また独特の結合状態にあると見えるだろう。素粒子論でも類似の状態が実在するという。興奮状態（励起状態）すら理論の中にとり入れられている。ボールの替わりに、手紙のやりとり（文通）でも特別な結びつきが出来るという類比は成り立つ。

弱い相互作用は、主として β 崩壊の諸現象を通じて明らかにされてきた。図3からも判る通り、核力（強い相互作用）や電磁気的な相互作用より、著しく弱い。中性子が陽子に（ $n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$ ）、陽子が中性子に（ $p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$ ）と変換するに際し、 β 線と ν （ニュートリノ、 $\bar{\nu}$ は反ニュートリノ）を放出するとして、E. フェルミはエネルギー保存則を満たす理論（仮説）を組み立てた。多量の熱を出して健康人から病人に「崩壊」していくなどという類比は敬遠されるかも知れないが、梅の実を干して梅干しに、野菜を料理してお惣菜に……などは「変換」であり、広い意味の「崩壊」である。特に、物が腐敗して「変質」していく場合に弱い相互作用：崩壊がよくあてはまるのではないか。

さて、次の波動については、音の波（弾性波）、水の波（表面波）、光の波（電磁波）などの間に成り立つ類比がヘッセの文献中に、具体例としてかなり

^{ひんぱん}頻繁に引用されているので、今回ここでは割愛させていただく。

電磁気については、下記のような一例を示すにとどめるが、電束密度と電場ないし電界の間に、磁束密度と磁場ないし磁界の間に、ヘッセの定義に従うとモデル₁の形で類比が成立し、電束密度^{みつど}と磁束密度^{みつど}、電場と磁場、電界^じと磁界の間にもモデル₂の形の類比が成立するといえる。

$$\begin{aligned} * \text{電束密度 } D &= \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E \quad (\text{電場 } \text{電界}) \\ &\quad \text{誘電率} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * \text{磁束密度 } B &= \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad (\text{磁場 } \text{磁界}) \\ &\quad \text{透過率} \end{aligned}$$

さて、原子物理学のうち、特に前期量子論と呼ばれる段階で、原子の組立に関する理論が出てくる。パウリの原理を中心として、三つの量子数が見事に組み合わさり、原子内の電子が“理路整然”と配置されてゆく。一種、厳しゆくな自然の理法を感じるところでもある。

多数の電子を持つ原子内での電子状態を決めるに際しては、パウリの排他原理 (Pauli exclusion principle) の支配を受けなければならない。この原理によれば、3個の量子数 n, l, m_l により決められる或量子状態は、2個までの電子により占められるが、それ以上は入りえないのだという。3個の量子数とは、次の通りである。

主量子数 (principal quantum number)

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

角運動量量子数 (angular momentum quantum number)

$$l = 0, 1, 2, \dots (n-1)$$

磁気量子数 (magnetic quantum number)

$$m_l = l, (l-1), \dots - (l-1), -l$$

こうして一般に主量子数 n に対応する電子殻は、 $2 \times n^2$ 個以上の電子は収容できない。事実、原子がこの規則に厳然と従って組み立てられている様子は、表1に示す通りである。

さて、この電子配列には、どのような類比が適用できるだろうか。このままで理解できるのだから、あえてモデルは不要との意見もあろう。しかし、表1自体、原子内電子の配列状態を示す一つのモデル（ヘッセのいう、公理系モデルであり、かつモデル₁）であり、モデル₂で類比するなら、座席指定のようなものが浮かんでこよう。筆者は大家族構成の家の中の部屋割り（或いは住みわけ）を思いつくのである。

まず、前史として、単身生活の状態が $n = 1, l = 0$ （1 s 状態）つまり水素原子の電子配列に相当し、一室1人である。結婚して2人まで一つの部屋に住むことが出来るとする。子供が出来ると（幼児期は別として）別の部屋で生活し（2 s の1個、Liの電子配列まで）、そしてその子供が父親（父一）となって結婚し（2 s の2個、Beまで）、その子供が2 p 軌道（部屋に相当）に順次入る。p 部屋は6人まで収容可能というわけである。祖父の息子（父二、父三、……）が同様に同じ「家」の中で共同生活するものとする、順次、K棟、L棟、M棟に「収容」されてゆくが、原子番号19番^{カリウム}Kまでくると、M棟に孫や子をつめる先に、N棟を建てて、父三を住ませる方が「経済的？」というような事情で、収容の仕方に「異変」が起こるのが見られる。

この理由は、「生活状態」ともいえる波動関数の精密な計算の結果、量子力学の力によって厳密に説明できるのだが、類比で、「家庭の事情」から判るような気がしていただけるのではないか。

記号 s, p, d, f……は、歴史的に原子スペクトルの実験観測結果から s : sharp, p : principal, d : diffuse, f : fundamental と名付けられたという事情があるが、s : set（或いはペア）、p : play（子供の遊び部屋）、d : diffuse（散らかし部屋）、f : fly（蠅のように飛び廻る部屋）……といった比喩に置きかえると、イメージを助けてくれるかも知れない。

ところで、この部屋割り（住みわけ）の規則から、元素の周期律（周期機構）が出てくるのだが、これは元素の覚え方も含めたイメージ化の一例とし

創作想像力を育てる一般教育物理
——類比（アナロジー）による理科・文科橋渡しの試み——

て、末尾に附録として掲げることとする。

尚、最外殻電子（フロンティア電子）が原子と原子の化学結合に際して重要な役割を果たすことが知られている（福井理論他）が、これは、子供同士のつきあいが、往々にして家庭と家庭の結びつきの役割をつとめることに類比できるのではないか。但し、エネルギーのやりとりも含めた収支決算等詳細は他日を期し、今回はこれ以上は立ち入らない。

さて、物性の分野では、が然、類比の使用可能性が増大してくる。それというのは、物理的（というか物性的）な応用が盛んに行われ、多数の事例と事例の多様化が起こってくるために、使われる概念の総量が増加してくることに起因するのではないかと思われる。

原子の化学結合の形をもととして、固体は金属結合、イオン結合、原子価結合（共有結合）、Van der Waals結合、それに水素結合の五種類に分類される。水素結合を別にすれば、固体と人間の集団（かたまり）との間に類比が成り立ち、下に筆者によるモデルを示す。

金属結合	原始（母権制）社会
イオン結合	新婚社会
共有結合	旧婚社会
ファンデヴァールス結合	義理・人情（封建）社会

金属は原始（母権制）社会に、即ち、母親というイオンのまわりにフリーの電子（父親相当）が動き廻って、一つの大きな集団が形成されている社会に似ている。電子の海に正イオンの島があると表現されることもある。カーボウイに囲われている牛の群れのイメージも通用しよう。

他方、NaCl（岩塩）など、イオン結晶は正負イオンの規則正しい配列によって出来ているが、これを新婚家庭の集合、また、共有結合による固体（ダイヤモンド、Si、Geなど半導体）は、共有「財産」を媒介とした結合力が主要となっている固まりと考える。「旧婚」のイメージは多義的であるが、財産でもよい、或いは子供、ないしは成熟した愛情でもよい、とにかく「共有物」を想定

していただければ、言わんとするところは「了^{りょう}」とされるのではないか。

ファン・デア・ワールス力による固体は、固体アルゴンやナフタリンなど有機結晶に見られるが、結合力が分子（ないし原子）間距離 r の $1/r^7$ 程度であるため、ごく近接した分子間にしか作用しないのが特徴である。義理・人情は距離とは関係ないとの反論もあろうが、スキミングといったほどの意味で理解しておいていただければ幸いである。

尚、水素結合に関しては、水素イオンの浮気にもとづく結合とのアナロジーが提起されており、上に一括して表示するとすれば、水素結合……………不倫社会といった一行を付け加えれば良いであろうが、集団としてまとまるかどうか、筆者には確信がない。

次に、絶縁体のうち、誘電体と呼ばれる物質の場合に話を移そう。

絶縁体を電場の中に置くと、正電荷は電場（ E 、ベクトル）の方向に、負電荷は反対方向に微小な位置変化を起こし、物質を構成している要素（原子分子或いはイオン）は電気双極子モーメント $p = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) E$ （ ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r は物質の比誘電率）をもつようになる。この現象を誘電分極（或いは単に分極）と呼ぶ、誘電分極が起こる物質を誘電体という。

誘電分極は次の3つの原因によって生ずる。

- (1) 永久双極子モーメントをもつ分子（極性分子）または基（ラジカル）が電場の下で配向する配向分極。
 - (2) 電子殻が原子核に対しても変位する電子分極。
 - (3) イオン結晶において、正イオンが負イオンに対して変位するイオン分極。
- さて、これらに対しては、下に示すような類比が考えられる。

（固体の分極）	：	（こころ）
*配向分極（ P_o ）	：	親心
*電子分極（ P_e ）	：	好奇心（エッ？）
*イオン分極（ P_i ）	：	恋愛心

親心には、親が両手に子供と手をつないで歩いている様子（子供の両側に二親がいて手をつないでいるのも良い）から想像されたい。好奇心は、心が右か左に動くことによる心の働きに類似できるのではないか。恋愛心は、前記二つよりもっと大きな心の動き、特に異性間に働く強烈な恋心にたとえることが出来る。実際、電子分極よりイオン分極の方はかなり強いのである。

尚、Po, Pe, Piは、親心、エッ？ 愛のローマ字の頭をとった。単なる語呂合わせであるが、好奇心の強い人ならば、一度目にしたら忘れることがないにちがいないという効果をねらって命名した。

誘電体と同様、磁性体についても良い類比が成り立ち、これを下に示した。

（永久磁気双極子の起因）

- *電子の軌道角運動量 : 仲間意識（つきあい）
- *電子のスピン角運動量 : 個性
- *核のスピン核運動量 : 親の考え

そればかりか、（強）誘電体と（強）磁性体との間にも類比が成立する。

ヘッセの表現法を用いれば、

$$\frac{\text{電気双極子}}{\text{誘電体}} = \frac{\text{磁気双極子}}{\text{磁性体}}$$

筆者の表現法では

電気双極子 : 磁気双極子 = 誘電体 : 磁性体

となるが、いずれの表現法でも、内容に変わりはない。その結果、強誘電体の個々の特性と強磁性体の個々の特性の間にも、1対1の美事な類比が成立することになる。

すなわち、誘電体のところどころの動きをモデルに使った延長線上で考えれば、強誘電体は詩人（のころ）に、強磁性体は主義者（のころ）に類比

できる点が興味深いといえよう。もっとも、強い心という点で両者は共通しているが（量的側面）、心の動く内容には差異がある（質的側面）わけだが、それはともかく、下に示すように、殆ど全面的に類比が成立する好例といえるであろう。

*強誘電体：詩人＝強磁性体：主義者

- | | |
|-------------|-------------|
| ・自発分極 | ：自発磁化 |
| ・キュリー温度 | ：キュリー温度 |
| ・キュリーワイスの法則 | ：キュリーワイスの法則 |
| ・転移温度 | ：転移温度 |
| ・履歴現象 | ：履歴現象 |

3 類比の働き——創作想像力を育てる——

自然は多様でありながら、同時に統一している。その自然の無機物質系が累層構造累層構造を形成しつつ、単純な運動形態からより複雑な運動形態へと発展している（一次系列）。同様に、この無機物質から出発して、一次系列から枝分かれを生じ、生物（有機物系）よりなる累層系列（二次系列）が形成されて発展していった。

他方、地球上での人類の出現により、人間社会が形成され、生物一般とはまたちがった別の質の系列（三次系列）がつくられたと見ることができよう。この人間の集団生活が進んでくると、人間相互間のコミュニケーションの必要が生じ、その手段としての言語（ことばと文字・記号）が発展した。この言語界の体系を三次系列から枝分かれした四次系列として位置づける。

そこで筆者は1987年、これら無機界、有機界、人間社会並びに言語界の相当レベルの各累層間に、主要な特質に関して強い類比が成立することを提唱した⁵⁾。

一例として、図4に示す如く、無機界での分子集合体（高分子）が有機界での細胞に類比され、更に人間社会における経営体（事業を営むところ）にも、言語界における文にも類比されている⁶⁾。文の基本要素である主語と述語は、

限定と限定されたものの内容、状態または動きである。これは細胞膜と細胞核に類比されうる。細胞は大学（より一般的に言えば経営体）と類比されることは、清水博士⁷⁾が主張されてきたところで、さしずめ、細胞膜が敷地（境界）に、細胞（内の核などの組織）は、大学の施設・組織に相当しよう。

無 機	有 機	社 会	言 語	類比点
島 宇 宙	: 生 物 集 団	: 世 界	: 図 書 館	集団運動
星 団	: 種	: 国 家 群	: 作 品 集	集 合
天 体	: 個 体	: 国 家	: 作 品 (本)	成 長
巨視的物体	: 器 官	: 地 域 社 会	: 文 章	混 合
分子集合体	: 細 胞	: 経 営 体	: 文	構造単位 増 殖
分 子	: 蛋 白 質	: 家 族	: 単 語 (記号)	機能単位 形 質
原 子	: ア ミ ノ 酸	: 人 間	: 文 字	周 期 律
原 子 核	: 低 分 子 炭 水 化 物	: 食 物	: 線	代 謝
素 粒 子	: 炭 素	: 水	: 「点」	「基本」 物質
一次系列	二次系列	三次系列	四次系列	特 質

図-4 累層系列と類比

最近、フィールズ賞の広中平祐博士の著書⁸⁾の中で、^{いんねん}因縁の新解釈に接し（因は内的条件、^{えん}縁は外的条件をあらわすとされる）、ヘッセ流の表示で、次のような類比の成立を思いついた。

$$\frac{\text{細胞膜}}{\text{細胞 (核)}} = \frac{\text{敷地 (境界)}}{\text{経営 (組織)}} = \frac{\text{主語}}{\text{述語}} = \frac{\text{縁}}{\text{因}}$$

尚、他のレベルの累層間^{らいそう}に成立する類比の詳細については、文献5)を参照されたい。

以上の例から筆者の言いたいことは、類比によって想像力を拡張し、創造力を産み育てる原動力に出来るのではないかということである。

実際、広中博士は『学問の発見』の中で、この有効性を強調されているし、古くはノーベル賞の湯川博士も⁹⁾、「人間のいろいろな知能・頭の働かせ方のおかげで、誰でもそういう能力をもっておって、しかも創造的な働きと一番つながりがありそうに思われるのは、類推（アナロジー）という働きであります」と述べられている。

もちろん、科学的創造力のみならず筆者は限定して考えているのではないことも強調しておきたい。

想像力とは、「実際には経験のない事物、現象などを頭の中におもい描くこと。根拠のある推測や、現実からかけはなれた空想をもいうことがある。心理学では、現在の知覚にあたえられていない事象を心におもい描くことにいい、過去の経験を再生する再生想像と、過去の経験を材料にして新しい心像を創造する創作想像とに分ける」（小学館『国語大辞典』）と簡明な説明にある通り、この類比、特に一般教育で活用しうる類比の効用の一つに、創作想像力を育てることがあると考えるのである。

筆者はSF（空想科学小説）を引きあいに出すつもりはない（娯楽であろうから）。そうではなく、人文社会系の人々が、類比によって、（一般教育物理学に限らず）自然科学上の諸概念を咀嚼し、応用し、学問上の構想展開に役立ててゆくことが出来るのではないか。逆に、人文・社会科学上の概念・用語からの類比が、自然科学系の真理探究に役立っている点は、湯川博士、広中博士等の著書の力を借りるまでもないことと信じている。

村瀬裕也氏は、且^かって『ヒューマニゼーションの学問性』という論文¹⁰⁾の中で、一般には高度で難解な理論や学説を、レベルをあまり落とすことなく、ヒューマニゼーション（人間性附与、もっとくだいて、生活用語化と訳しても

よいと筆者は考えている）をほどこして、普及・展開・発展をはかることの意義を論じた。啓蒙という用語には古いカビが附着しているようなので使わないことにするが、啓蒙の英語名のenlightment, 或いはeducation, instruction, illuminationなどの用語からも（humanisation或いはhumanizationと上記の用語の間に多少のニュアンスの差があるにしても）、すべて教育者、特に大学教授の役目でなければならないのではないか。

一時期、ヒューマニゼーションの学問性の意味するところがわかりにくいとの意見も聞かれたが、筆者は至極正当な論として受けとめ、その今日的意義に感銘すら覚えた。村瀬論文の主旨をくみ、今回、一般教育物理学に出てくる諸概念の類比によるモデルを提起して、大方の参考に供したいと考えた。構想に二十数年という長い年月をかけたとは言え、まだ端緒についたばかりなので、意のあるところを汲んでいただき、各分野からの御教示、御批判を切に望んでやまない。

尚、特に附録として末尾につけた周期律表の「読みかえ」については、いろは四十八文字の「色は匂へど散りぬるを、わが世たれぞ常ならむ……」の場合のような格調にははるかに及ばないが、筆者のヒューマニゼーションの意図を読みとっていただけるなら、望外の幸せである。

終わりに、文書や口頭による討論・教示等を通じて、筆者の着想の発展展開にご協力いただいた各位に、心より御礼を申し上げたい。

参考文献

- 1) M. ヘッセ、高田紀代志訳『科学・モデル・アナロジー』（培風館、1986）
- 2) P.Duhem, La Theorie physique (Paris, 1914)のち、The Aim and Structure of Physical Theory (Princeton, 1954)と改題。
- 3) N.R.Campbell, Physics, the Elements (Cambridge, 1920)のち、Foundations of Scienceという題で復刊。
- 4) 物理学辞典編集委員会編『物理学辞典』（培風館、1984）
- 5) 中川益夫 香川大学一般教育研究 第32号, 1頁 (1987)

- 6) 文献5)の中では、文と文章を明確に区別せずに使っていたが、柴田昭二氏の御教示により、今回の図4のように改めた。ここに記して感謝の意を表したい。
- 7) 清水 博 科学 第41巻12号, 657頁 (岩波書店, 1971)

〈附 録〉

Periodic Table of the Elements (元素の周期表) 参考資料

Group a 第一群 I a	Group a 第二群 II a	Group a 第三群 III a	Group a 第四群 IV a	Group a 第五群 V a	Group a 第六群 VI a	Group a 第七群 VII a	Group 第八群 VIII	Group 第九群 IX	Group 第十群 X	Group 第十一群 XI	Group 第十二群 XII
1006 H ₁ (水素) 水											
★+ 69.4 Li ₃ (リチウム) リー	★+90.1 Be ₄ (ベリリウム) ベ										
★+ 22.99 Na ₁₁ (ナトリウム) な	★+ 24.31 Mg ₁₂ (マグネシウム) まぐさ						Transition Elements 遷移元素				
★+ 39.10 K ₁₉ (カリウム) 借り	★+ 40.1 Ca ₂₀ (カルシウム) 貸し	★+ 44.96 Sc ₂₁ (スカンジウム) 好かん	★+47.90 Ti ₂₂ (チタニウム) チ	★+50.94 V ₂₃ (ヴァナジウム) ヴィ	★+52.00 Cr ₂₄ (クロム) クロ	★+54.94 Mn ₂₅ (マンガン) マン	★+55.85 Fe ₂₆ (鉄) 徹	★+58.93 Co ₂₇ (コバルト) 子			
★+ 85.47 Rb ₃₇ (ルビジウム) ルビー	★+ 87.62 Sr ₃₈ (ストロンチウム) する	★+ 88.91 Y ₃₉ (イットリウム) Yの	★+ 91.22 Zr ₄₀ (ジルコニウム) じり貧	★+ 92.91 Nb ₄₁ (ニオブ) 女房	★+95.94 Mo ₄₂ (モリブデン) も	★+ 98.91 Tc ₄₃ テク	★+101.07 Ru ₄₄ る	★+102.91 Rh ₄₅ 路地裏			
★+132.91 Cs ₅₅ (セシウム) 世襲の	★+137.34 Ba ₅₆ (バリウム) ばら	★+138.91 La ₅₇ (ランタム) ラン	★+148.49 Hf ₇₂ (ハフニウム) 羽振りの田圃	★+180.95 Ta ₇₃ (タンタル) の田圃	★+183.85 W ₇₄ (タングステン) を売	★+186.2 Re ₇₅ (レニウム) れず	★+190.2 Os ₇₆ (オスミウム) 押し	★+192.22 Ir ₇₇ (イリジウム) 入れに			
223 Fr ₈₇ (フランシウム)	226.03 Ra ₈₈ (ラジウム)	227 Ac ₈₉ (アクチニウム)	Key (手引き) Compounds (化合物) Alloys → (合金) Symbol → (記号) ★+ 63.55 Cu ₂₉ (銅) Atomic Weight (原子量) Atomic Number (原子番号)								
推理泣く	べま りぐ れか		(W (タングステン) を を売 としたのは、 英語名の Wolfram (ウォルフラム, フル フラム) に由来する。)								
ル ビ ラ セ ン シ ス メ 人	す ば ら し い 母										

創作想像力を育てる一般教育物理
 ——類比（アナロジー）による理科・文科橋渡しの試み——

- 8) 広中平祐『学問の発見』（佼成出版社，1982）
- 9) 湯川秀樹『創造的人間』（筑摩書房，1960）
- 10) 村瀬裕也 香川大学一般教育研究 第31巻，95頁（1987）

Group b 第一群 I b	Group b 第二群 II b	Group b 第三群 III b	Group b 第四群 IV b	Group b 第五群 V b	Group b 第六群 VI b	Group b 第七群 VII b	Inert gases 不活性ガス	
							4003 He ₂ (ヘリウムガス) 辺の	
		+	+	14.01 N ₇ (窒素) の	16.00 O ₈ (酸素) お	19.00 F ₉ (弗素) ふ	20 18 Ne ₁₀ (ネオンガス) ね	
		★+	+	+	+	35.45 Cl ₁₇ 塩素 苦勞	39.95 Ar ₁₈ (アルゴンガス) 有り	
★+	★+	★+	★+	+	+	+	79.90 Br ₃₅ (ブロミン) 広で	83.80 Kr ₃₆ (クリプトンガス) 来る
★+	★+	+	★+	+	★+	+	+	131.30 Xe ₅₄ (クセノンガス)
★+	★+	+	+	★+	+	209 Po ₈₄ (ポロニウム)	210 At ₈₅ (アスタチン)	222 Rn ₈₆ (ラドンガス)
	銅銀金の表彰台	会えんカードじゃひどすぎる	ボロのあるのがインテリイ	炭珪元気で錫なりに	日本の明日アンチモンビ	オーエスセンター店舗なし	ふくろう愁訴愛あてに	変ねアリ来るクセラドン