

物理学と力学のツールの性格～「AI 時代」の物理教育とは

京都大学名誉教授, 佐藤文隆

E-mail sato2007@gmail.com

筆者は「元気な物理学」の時代（概略 1955–65 年）を経験したが、そこには計算機革命を主導するなど、「開かれた学問」のマインドに満ちていた。電子は素粒子であると同時にコンピュータする存在でもある。自然は人間の概念世界のなかに描かれるものである。力学の物理教育では実在とツールの関係の考察が必要であり、量子力学の解釈問題はこの点に関わっている。ツールは他の学問に波及する威力を持つ。

キーワード：AI 時代，物理教育，計算機革命，電子発見，ボーア・アインシュタイン論争

1. 教育のジレンマ：過去と未来の非対称

過去の教訓を未来に伝えるのが教育である。人類のながい歴史の中で「教育」という職業が尊敬を集めていたのはこの行いに需要があり、強く求められていたからである。「教育」が指導層養成に限られていた近代以前では教授する知識の内容は「古典」にあったが、「教育」が国民全体に拡大し学校制度が登場するに連れて、より「現代」的知識の教授が求められるようになった。社会での「教育」機能が学校以外になくなったことと社会変化のスピードアップがある。このために、過去と未来は非対称なのに「過去の人が未来を教える」という時間差をめぐるジレンマを、教育者は抱えることになる。

コンピュータ時代前に高等教育までを受け、その後の ICT 革命を経験した者としてこのジレンマの怖ろしさを感じる。教育者は「このジレンマ」に対峙する職業だと自覚して、未来の予測に漠然とでも意識する必要があると思う。学校教育は「入門」だから変わらないとも言えるが、生活環境が激変するなかでの生徒は不変でない「時代の生徒」であるから、「入門」教育の中身も変わらざるを得ない。

すると常識的だが、ICT 社会に浸った生徒と AI 化が進むといわれている将来が与件となる。スマホの爆発的受容熱から見ても、この大勢は平均的にはその通りであると思う。教育一般はさておき、学校教育は平均を相手にすべきである（天才は放って置けばいい）。「AI 時代」という呼び方が適当かどうかは分からないし別名でもいいが、生徒たちが近未来に生きる時代はそういうグローバルな風が吹き荒れる時代が一旦登場するのは確かであろう。

2. 私の体験：「計算機」革命と物理学

これまでの ICT 革命の歴史を見ると物理学の研究がその推進役であった。原爆シミュレーション計算，大学計算機センター，シミュレーション映画，CERN で Web，高エネ実験での高速回路，ビッグデータ，bitnet，光ファイバー，Phys. Rev. オンラインジャーナル，などなど，学界で見ても大学で見ても物理学者が先頭を切って情報化時代を切り拓いてきた。また 1950 年代に，DNA が物理学の実験室で発見されたように，当時の物理学は生物物理学を生み出すなど，物理帝国主義と言われたように越境して拡大した。情報科学という分野が存在しなかった時代に，物理学者や数学者が切り拓いたのだ。この「元気な物理」の歴史は，自分の初期の体験からしても実感があつた。「物理学

者は未来のことに対する専門家である」(武谷三男「物理学は世界をどう変えたか」(毎日新聞社, 1961年)という言辭が輝いていた。ここでは「技術」「世界観(新宗教革命)」「研究制度」「経営・行政」まで話が及ぶ。これは物理学を学ぶことのマインドに関わる大事なことである。未来のためにも、あの「元気な物理」は何だったのか?、もっと語られていいと思う。[ちなみに筆者の履歴は1938年山形県生まれ、1960年京大理卒、1974年京大教授となり2001年退職、2014年まで甲南大学だが、ここでいう「物理学の絶頂期」とは1955-65年頃]

3. 物理学の開放的性格

こんなことを言えば、「学問も教育も、現場は、最早、そんな時代でない!!」、後の世代からは単なる年寄りの「郷愁」と受け取られるようだが、あの「元気さ」は、当時の内外情勢だけでなく、物理学という学問の本質に備わる性格に関係すると思うからである。こういう問題意識のもとで、すこし迂遠かもしれないが、関係する幾つかのトピックスを論ずる。

現在のように確立した分野の情報科学は物理学とは離れた存在と思いがちだが、数理的手法は重なっており、ツールとしても近い存在である。二十世紀後半で拡大した素粒子や宇宙のビッグサイエンスは、ハイテク検出器が吐き出すビッグデータの解析法としてAIが必須の存在であった。素粒子や宇宙という「対象」がAIのような「ツール」を生み出し、一步遅れてAI「ツール」が医療や社会システムなどの新たな「対象」に拡大する動きが時代の活気を形成している。この「対象」と「ツール」の交錯する歴史を認識する必要がある。

数理的「ツール」でみるなら、理科の「物化生地」の中で、「物」を学んだ学生が人材供給源になるのは当然であったのである。「物化生地」を「対象」の区分にするのは改めるべきである。また半導体センサーが生み出すデジタル・データが情報処理を可能にしたのであり、それは「数式」で法則を語る物理学の「ツール」の継承なのだ。あの「元気な物理」が「対象」

を超えて威力を発揮した底力にはこの「ツール」をもとにした開放的性格があった。さらに遡れば、ニュートンの「自然哲学の数学的原理(プリンキピア)」の精神である。数学は理論ではない、物事に対処する「ツール」なのである。「重力波検出でのデータ解析」と「路上映像データでの犯人割り出し」は同じ技術であるように、皆ニュートンの末裔なのである。「未来」に気を使うべき教育者に必要なことは「過去・現在・未来」と繋がる動向に関心を持つことである。

4. 「電子とはなにか?」

「自動車を動かすのは何か?」、「コンピュータを動かすのは何か?」への応答は自明でない。前者には電子、OS、人間、などがあり、後者にも石油、エンジン、人間、などがある。「応答」は時代とともに変化する。登場した初期では「石油」「電子」が動かしていると答えた。そして目は「電子とは何であるか?」に向き「電子のことは電子に聞け」という「対象」没入型になり、人間社会から疎遠になった。「動かす」のは「人間」だという視点が弱かったので「電子」で勝者の日本産業はITでは躓いたのだ。電子は人間社会と多様に関わっており、それは「電子に聞いても分かるものではない」のである。こうしたことは学問とは何か?知識とは何か?に関わることであり、まさに未来をよむ教育の課題である。

英国ケンブリッジ市街の一角に「1897年、この地の旧キャベンディッシュ実験所においてJ.J.トムソンが電子を発見した、それはその後最初の素粒子と認識され、化学結合、エレクトロニクス、コンピューティングの基礎となった」と書かれた観光案内の看板がある。「コンピューティング」での電子の働きは素粒子・電子に聞いても分からない、人間がコンピュータする電子に育てたのである。人間が電子の中身を膨らましているのである。

5. 反復可能実験法則のツール

私は「宇宙がビッグバンで始まったなどという知識は二束三文の値打ちもない、大事なのはなぜそう考えられているかを理解することだ」とよく言っている。理系学問の中での物理学の特性は法則が有する普遍性を実験での確証を経て明らかにし、未知の対象に拡大することである。だから反復実験可能な対象・現象とそうでない自然史のような対象・現象は違ったものである。確証されたスグレモノのツール（道具）の所持者として宇宙解明に挑むのであって、「宇宙に物理法則を探る」は本来の物理学ではない。人間の学問の中で鍛えられた確実な「ツール」の保持者として生命や宇宙へ挑戦しているのである。だから「ツール」がビッグバンをどう導いたかが重要なのである。

ここに生命や宇宙という自然は決して「物化生地」の理科で覆える存在でないと考える。そこはいろんなプレイヤーの舞台である。自然という存在は物質の普遍性を担っているだけの存在ではない。その前提の上で、物理は「物質の普遍性を使いこなす職人」として自然に向き合っているのである。この自信を持って何処にも出かけていくマインドが大切なのであり、「自信」の根拠は反復可能実験法則の強固さにある。

6. 力学の概念はツール

物理学的考察の基本は力学の概念である。ここで概念と実在の関係は自明ではないことに想いを致す必要がある。「メカニクス」を「力の学=力学」と翻訳したのは誤訳といえる。「メカ」は「仕組み」に近い。思考を飛ばすために、いくつか例を考えよう。

A: 「ソクラテスは死ぬ」 = 「ソクラテスは人間である」 + 「人間は死ぬ」と分解することで個別事実記述が学問記述（「人間は死ぬ」）に変わる。注意すべきは、この飛躍で登場する「人間」という抽象概念である。個人でない「人間」など存在しないが便利な道具（抽象概念）である。

B: 電荷には最小値がありデジタル量であり、連続関数の電荷密度などは人工的に作られた概念であるが、マックスウエル方程式には登場する。

C: “見える”運動は位置の時間的変動である。そこに“見えない”「力」を導入して力学という学問が成立する。因果律のために「力」を持ち込んだといえる（拙著『科学者、あたりまえを疑う』青土社、第8章「力をぬくマッハ力学」を参照）。

A, B, Cの「人間」「密度」「力」といった概念は「便利なツール（道具）」であると言われると反発を持つ人も多いただろう。しかし「力」も量子力学にいくとなくなる。ともかく、こうした概念も決して存在が人間に語ってくれたものではないのである。

自然科学では、「自然のことは自然に聞いてそれに従へ」として、概念と実在の関係を深く考えない。拙著『職業としての科学』（岩波新書）でも論じたが、科学の巨大な制度の中では、存立基盤を考察する学問論が劣化してくる。

7. 傍観者と参加者

物理学の根拠も自明でないことは量子力学が提起している。ボーア・アインシュタイン論争は、当面「黙って計算しろ」で、封印されたまま、マイクロ世界の目もくらむ豊かさを明らかにした。そして半世紀経た1980年代から、「ボーア論争」の実験が可能になり、「黙って計算しろ」で置き去りにしてきた難問が再浮上し、21世紀に入ったあたりから量子コンピュータなど、エンタングルメントが主題化している。この成功は逆に従来の科学観を揺さぶっている（拙著『佐藤文隆先生の量子論』講談社ブルーバックス）。

量子力学の解釈に関連してジョン・ホイラーが図1のような議論をしている。科学者は自然の「傍観者」なのか自然への「参加者」なのか？参加者は「自然に聞くのではなく、自ら自然に参加する」。素朴実在論では図2(a)のように傍観者として自然が発信するシグナルを聞き取ろうとする姿勢になる。これに対して参加者では図2(b)のように自然に問いかける姿勢になる。人間が自然に聞きただすのである。聞きただすからにはこちら側に問いかける枠組みを持っていないなければならない。物理学ではそれは数理的な「ツール」である。それを自然に持ち込んで自己流で自然の把握に乗り込んでいくのである。それが実験であり、

予測はあたりもハズレもあるが、修正しながら真実に接近するのである。また、予測の枠組みは数学原理の合理性に従うもので勝手気ままなものでなく立派な道具である。

図1 傍観者と参加者

(図1-3は全て拙著『佐藤文隆先生の量子論』講談社ブルーバックスより引用)。

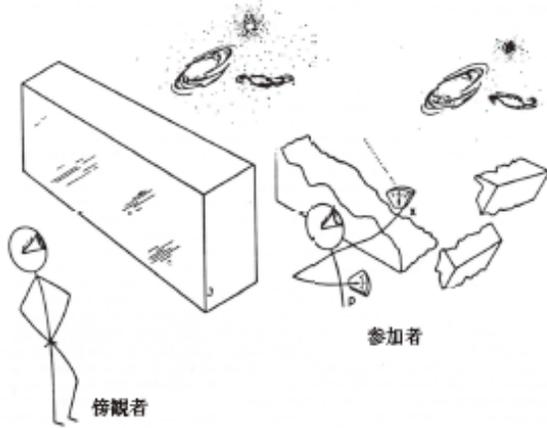


図0-2 ホイラーが描いた傍観者と参加者のイメージ
(出典：J.A.Wheeler "Beyond the Black Hole", In Some Strangeness in the Proportion, A Centennial Symposium to Celebrate the Achievements of Albert Einstein, ed. by H. Wodf, ADDISON-WESLEY, 1980.)

8. 「五感人間」と「文化人間」

学問に登場する概念は道具であり「スグレモノ」だけが生き残る。こういふと「実在でないのか？」と不安になる。そこで「実在とは何か？」となるが、ここで「第三の実在」に気づくことが大事である。「第一」は外界自然、「第二」は身体自然。「第三」は人類共有の文化遺産であり、それを備えたのが文化人間。「第三」も「第一」と「第二」と同じく実在である。ここにエコ・自然愛好とサイエンスの微妙な分水嶺もあり、きわめて現代的課題でもある。「五感人間」は第一の世界に浸り、「文化人間」は第一の世界へ乗り出していく(拙著『科学と人間』(青土社)第二章「学校教育での科学」の議論を参照)。

図3の「五感人間」から「文化人間」への推移は農業や産業の革命、印刷、電信、放送、TVとならぶICTやAIへの流れ、などなどの知識の集積が産み出した

ものである。「人間」「密度」「力」のような概念を發明し、数理で確実な合理化を進めてきたのは物理である。物理は「モノ」を超えた学問であるというマインドが教育では大事であると考ええる。

図2 認識ベクトルの方向

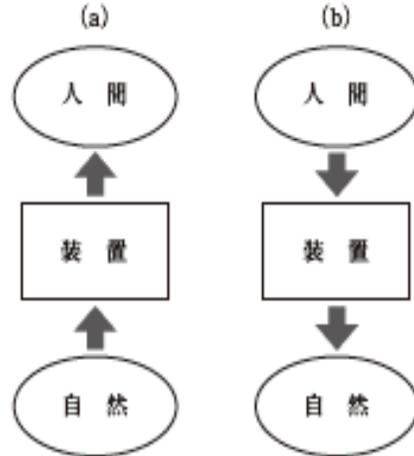


図0-3 自然と人間の関係 自然から人間に違するか？ 人間が自然にとりに行くのか？

図3 「文化人間」育成が教育

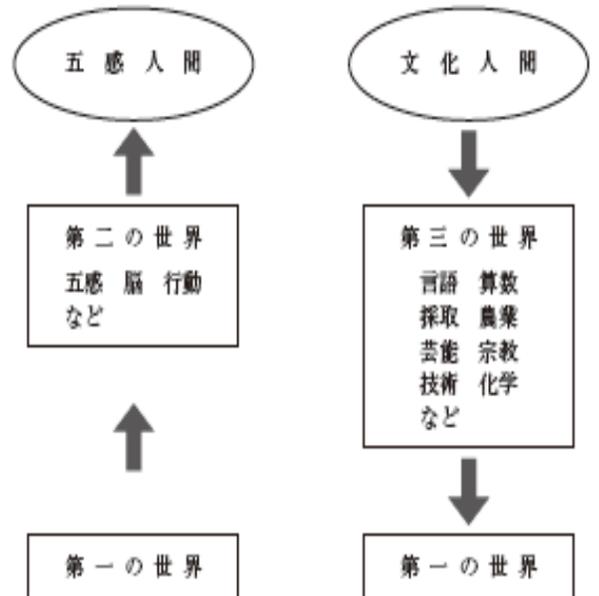


図0-5 文化人間は「第三の世界」を持っており、(ミクロ+マクロ)の自然はこの「第三の世界」を挟んで認識されているとも言える。