

物理学的方法論から見たフリーソフト運動と Linux

広島市立大学情報科学部 寺内 衛

1. 物理学という『文化』

文化は、創造者と受容者との相互作用により維持発展させられるものである。創造者の再生産を創造者自身が行なわなければ文化の伝承が途切れてしまう。さらに、その文化を正に理解することが可能な受容者の育成は創造者以外には行なえない。過去の歴史を見る限り、正当な受容者が存在しない文化は遠からず廃れてしまう。均整・調和という言葉で代表されるような立体的なギリシャ彫刻が、稚拙なローマ彫刻へと変質し、やがて、極端に大きな顔や不自然にねじれた姿勢といった無秩序性が全面に押し出された平板な中世キリスト教宗教画に置き換えられてしまったことは歴史的事実である。

現代物理学の根幹をなす**量子力学**は、その概念が確立されてから既に 70 年以上が経過したが、その有する意義の正当な理解は、(主として)物理学者側の怠慢から、一般には浸透していない。添付資料1に示されているように、17世紀後半に確立した **Newton 力学**は、キリスト教的世界観(自然を“人間に対峙する存在”と見なす世界観←絶対者である神と人間との対立関係の転化したもの)より派生した**決定論に基づく自然理解のための手法**であり、19 世紀後半に確立した古典電磁気学もまた決定論的世界観をサポートしている。ところが、量子力学は、「**物質は波動性と粒子性を同時に有する (duality)**」「**(Newton 力学に基づく決定論的方程式を解くために不可欠な) 粒子の位置とその運動量とを同時に正確に測定することは不可能である (不確定性原理)**」という、旧来の決定論的世界観を完全に覆す新しい自然観を呈示した(その発展の端緒が、産業的要請に基づいて発展した技術に由来する、という特徴にも留意するべきと思う)。真の意味での“コペルニクス的転換”である。この **duality は“自然の多様性”を、不確定性原理は“ものごとの相対性”**を、それぞれ端的に表わしている。

現代の物理学は、添付資料2に示した分類表より明らかなように、量子力学・統計物理学・電磁気学をベースに、“物質を構成する基本粒子の探求”を行なう分野と、“物質の(巨視的)性質の探求”を行なう分野とに大別される。それぞれの物理学の分野に、各種産業が各々対応していることに留意されたい。すなわち、現代物理学という学問体系の直接の受容者は、実は「産業界＝技術」なのである。つまり、「技術を介在させる」ことによってのみ、現代物理学は最終受容者である一般市民に影響を与えていることになる。このような、物理学と最終受容者との乖離は、自然に関する知識量の指数関数的増大によってもたらされたものであり、人間個々人が処理しうる知識量が有限なために生じた自発的階層構造である。なお、Big Bang 理論を媒介とした宇宙物理学・素粒子物理学・天文学の相互連関、及び、素粒子物理学と軍事産業との関係に留意されたい。

現代物理学を考える上で忘れてはならないことは、Newton 力学にしろ、量子力学にしろ、ある種の特徴的な大きさを有する系に対してのみ適用可能な近似解を与えるに過ぎない、という事実である。自然そのものは、(いろいろな大きさにおいて特徴的な構造を示す場合が多いものの)その大きさは連続的に変化しており、どこにも本質的な不連続は見られない。ところが、現在我々が有している物理学は、およそ1オングストローム (10^{-10}m) 以下の大きさを有する物体に係る事象を記述するために用いられる量子力学とおよそ 10^6m 以上の大きさを有する物体に係る事象を記述するために用いられる Newton 力学とに厳然と峻別されており、その間を統一的に接続する理論はない。17世紀末に成立した Newton 力学がその当時には未知であった極微の世界の記述ができないことはもちろんであるが、Newton 力学の限界を克服すべく創り上げられた**量子**

力学を、Newton 力学によって支配される世界に外挿することもまた不可能なのである。自然界に存在する四つの力(重力・電磁気力・強い相互作用・弱い相互作用)を統一的に記述しようとする大統一理論(GUTS; Grand Unified TheorieS)は未だ成功を収めておらず、既に確立したと考えられている電弱統一理論(Weinberg-Salam の理論)であっても、その適用範囲(すなわち、その理論によって予測されるような現象が発生する範囲)は高エネルギーニュートリノ反応の実験においてのみ実現可能であるような(あるいは、宇宙開闢直後のような)、非常にエネルギー密度の高い範囲のみ、と極めて限定されているのである。同様の議論は、系を構成する粒子数に関しても当てはまる。すなわち、いずれの記述を用いようとも三体問題は厳密には解けないのである。我々が実際に知覚できるような巨視的な大きさを有する物質に関しては、統計物理学の導入した統計性を利用して、平均的に現れることが期待される“期待値”を記述できるだけである(但し、このような平均操作によって与えられる期待値が、我々の知覚に非常によく合致した結論を導き出していることにも留意しなければならない)。

以上に述べたような自然観は、残念ながら、これまでに拝読させていただいた経済学関連のどの文献にも現れてこない。経済学を御専門とされている諸先生方の論文に現れるのは、今回、拝読させていただいた草間先生の論文に見られる『自然は、人間の背後に奥深くそれ自体として存在しており、...、その自然を生産は立脚基盤としている。』¹⁾という視角だけである(さらには、『従って自然の支配という意味での一般的生産力』²⁾という表現すら存在し、受け入れられている)。すなわち、**20 世紀後半の日本において著わされた、経済学の視角から科学技術を論じた論文の前提が、17世紀末の Newton の時代と同じく、『人間に対峙する存在としての自然』というキリスト教的世界観に依然として支配されている**のである。このような対立概念に支配された人間が自然に対してどのような影響を与えてきたか、また、その帰結として自然からどのようなしっぺ返しを食うことになっているか、は、昨今の数多くの環境問題を想起すればあまりにも明瞭である³⁾。

これまでに述べてきたような状況を総括すれば次のようになる：“物理学は文化であり”、“文化は最終受容者と共に存在している”という前提をまず認識した上で、**現代の物理学者が本来負うべき本質的な社会的責任**を考えると、それは、原子力の無節操な解放手段を与えてしまったことに存在するのではなく、

- 1) 「技術」の介在を利用しすぎて、物理学という文化の創造者(物理学者)から最終受容者(一般市民)への働きかけ(“**正当な受容者の育成**”)を怠ったこと
- 2) 「**物理学の限界**」(“物理学の記述は本質的に自然現象の単なる近似に過ぎない”)に関する言及を敢えて行なわなかったこと
- 3) 「**不確定性原理**」「**duality (物質が粒子性と波動性とを同時に有していること)**」という概念の持つ意義(すなわち、**真実の相対性、多面性**)を伝えきれていないこと

の三点により存在する。特に、物理学がその対象とすることがようやく可能になってきた「**生物**」の**多様性**を考慮したとき、“人間存在そのものをも本質的に内包している自然”を理解せず、“単に人間に対峙する存在としての自然(←絶対者としての神の存在を暗黙のうちに仮定している西欧的世界観)”としてしか自然を見なしてこなかったことの“極めて重いつけ”を現在払わされることになっている、という事実を改めて直視しなければならないと考える。

(注記)

寺内個人が、これまでに受けてきた科学者(物理学専攻者)としてのトレーニングに基づき、対象を分析する際に明確に意識している姿勢は次の通りである：

- 1) 現実の事象をありのままに観察する(必ず一次資料へ立ち戻る)
- 2) それらを貫く法則性を発見し、モデル化する
- 3) そのモデルを他の類似事象によって検証する
- 4) その検証されたモデルから将来に起こるべき事象を予測する
- 5) (可能であれば) 実験を行なうことによってさらに検証し、モデルを推敲する

これまでのところ、この姿勢を「DRAM 価格トレンド分析」⁴⁾・「Intel / Microsoft の事業戦略分析」⁵⁾・「Linux Community の将来像」⁶⁾などの、現実の社会現象に対して適用してきている。特に、上記2) 及び3) での“モデル化(仮説の提出)→仮説の検証”という段階を非常に重視しており、現実を説明できないような仮説は棄却すべき、という態度を貫いている。以下、本小論においても、この姿勢に依る。

2. Linux とフリーソフトウェア運動

昨今では、Linux に対する関心が極めて高くなっており、ポスト冷戦研究会においても、その発足時(1999年9月)の南先生の御講演⁷⁾において“Linux”の有するその社会的意義が明確に指摘されている。さらに、ポスト冷戦研究会ホームページの掲示板に掲載していただいている原田先生の御論考⁸⁾など、社会科学的な見地からの分析も既になされている。そのような状況で私自身が敢えて小論を述べさせていただくこと理由は、以下の問いに実証的に答えるためである：

- Q1. なぜ、IBM のような営利企業が Linux Community を後押しするのか？
- Q2. なぜ、Microsoft の盟友と目されてきた Intel までもが Linux 対応を謳うのか？
- Q3. なぜ、安価な Slackware のような distribution ではなく、パッケージとして高額な Red Hat 系(rpm 形式)の Linux が広まるのか？
- Q4. なぜ、Linux 上の商用アプリケーションは全て rpm 形式なのか？

これらの問いに答えられる論考は、これまでのところ、(拙稿⁶⁾を除いて)存在していないと考える。

これらの問いに答える前に、まず、前提として

ソフトウェアの生産性は極めて低い

という事実を認識していただきたい。ソフトウェアというものは、そのソフトウェアが実行される環境において、そのソフトウェアが本来目的とする操作(仕様)を、その環境において利用可能な資源のみを活用して実行するための手続きを記述したものである。いわば、問題解決のための手順書である。この手順書は、本来目的とする操作をコンピュータ上での限られた個数の命令の組(instruction code set)から選択された命令群のみで実現するために、複数の階層に亘る論理的な思考によって、目的とする操作自体を利用可能なコンピュータ言語上の個々の単一の命令にまで break down(最小の構成要素にまで分解)したものである。また、通常、仕様(目的)を実現するための方法が唯一つであることは、(殆どの場合に)証明されていない。従って、**仕様を instruction code レベルにまで変換するための普遍的かつ明確なアルゴリズムは存在しない**。すなわち、仕様を入力するとその仕様を実現するようなプログラムを自動生成するようなプログラムは存在しない。従って、個々のプログラム毎にケースバイケースの対応を行なうことはまさに必然となるのである。つまり、ソフトウェアの生産性は本質的に低い、ということになる。

このようなソフトウェアの持つ本性に関しては、(特に)UNIX プログラマの間では(明文化されていないものの)はっきりと認識されており、プログラミングに関して次のような言葉が述べられている⁹⁾：

○Good programmers write great software; great programmers “steal” great software.

○Good programmers write good code; great programmers “borrow” good code.

(いずれも、優良なソフトウェアを真似ることによって優良なソフトウェアは作られる、ということ)

○Choose Portability over Efficiency. (portability; 移植性、可搬性)

○Make Every Program a Filter. (filter; (UNIX の)標準入力から入力データを受け取り、それにある処理を施して標準出力に出力するプログラム)

(プログラムをフィルタとして作成しておけば、入力データそのものが変わっても同一方針でのデータの加工修正を行なう場合には、そのプログラム本体は無修正で利用することが可能である。すなわち、そのプログラムの再利用性が向上する。従って、全体としてのプログラム生産効率を向上させるためには、全てのプログラムをフィルタとして作成せよ、ということ)

以下、前記四つの問いに対する筆者自身の回答を記す：

A1. これまでのように Microsoft に牛耳られることなく、solution provider としての IBM 自身がこれまでに蓄積したノウハウを最大限に活かすことができるから。

端的に述べれば、**技術力があり(すなわち、プログラムが作成できる)、提案力がある IBM のような solution provider にとっては、フリーソフトの隆盛こそ、またとない絶好の機会**である。これは、知識・ノウハウの既集積分がそのまま利潤を生み出す／Microsoft (さらには Intel) の呪縛を逃れて IBM 自身がやりたいようにやることができる(しかも、**検証コストがかからずに！⁶⁾**)／**クロスプラットフォームへの展開が容易**(Linux 自体は、kernel など極僅かな部分を除いて CPU の種類に依らずに動作させることが可能であり、従って、CPU 依存性を有する部分のみ自社開発すれば、PC というセグメントのみならずその上位(ワークステーション、サーバ)及び下位(ネットワークアプライアンス)の全体を同一の user interface(UI)で統一的に支配可能)という理由による。最後の理由について付言すれば、これは、過去のメインフレーム全盛時の“垂直統合”と全く同じ発想である(IBM 自身は、以前にも PC 向け OS/2 という OS を使ってこの垂直統合の復活を試みた一汎用機以下の全てで Workplace Shell を採用して UI の統一を図ったが、Microsoft が Windows95 の API を公開しなかったために失敗している)。このようなハードウェアの機種依存性をなくすことによる“垂直統合”は、かつて Sun Microsystems が Java というプログラミング言語のみを用いて試みたが挫折している。その理由は、Java が基本的に機種依存性を Java コンパイラという Sun Microsystems のみが開発してリリースしているプログラムで隠蔽しようとしたためである。**Linux はハードウェア依存部分をも誰もが修正可能な形で公開している。**

A2. Microsoft の OS の対応を待つことなく、自社開発の CPU の性能を全て引き出させるような OS 及びアプリケーションを作成することが可能になるから。

拙稿⁴⁾で指摘したように、Microsoft の OS は、それがリリースされた時点における Intel 製 CPU の性能を最大限に引き出すようには作られていない(このことは、前述したソフトウェアの生産性の低さと多分に関連している)。従って、自社製の CPU の利点をより大きく示したい Intel にとっては、その利点を自らより顕著に示せるような OS を作り上げることは非常に大きな利点である(Microsoft による新規 OS のリリースを待つまでもなく、自社製 CPU を売り込める)。

A3. 結局、**初心者**は、自助努力を行なう前に**安易な道を選んでしまう**から。

A4. **大多数のユーザ**は、ソースコードが添付されていて、その内容を閲覧したり、自らに合わせて修正したりすることが可能なフリーソフトよりも、インストールが容易ですぐに使えるパッケージソフトを希望しているから。

これらに関しては、拙稿⁶⁾76頁を参照していただきたい。

Linuxと並んで社会科学的視角からの論考がなされている Napster⁸⁾に関連した、

○資本(Bertelsmann AG—BMGの親会社—)による Napster の包摂¹⁰⁾をどのように考えるか？

という問いに対する筆者自身の回答は次のようなものである：

これは、『既存の資本による、当該資本を利するような方向へのフリーソフトコミュニティの誘導が可能であること』⁶⁾の証明であって、このような包摂を行なうことによって、①ゼロから同種のものを開発する場合に比べてそのコストを極端に低減することが可能である、②そのようなソフトウェアの利用が自社のビジネスモデルとして成立するか？に関して費用をかけて予めリサーチする必要がなく、このことに係るコストも低減できる (de facto standardとして十分に広まるのを見極めてから一気に取り込める)、という、既存の資本にとっての明確な利点が存在しているために生じた現象である。同様に、

○なぜ、IBM が音楽配信ソフトウェア¹¹⁾を開発するのか？

という問いに対しては、上記 Napster の包摂というビジネスモデルの先例を確認した IBM が、その持てるノウハウを結集して solution provider としての活動に打って出てきた、という理由付けをすることができる (このソフトウェアには予め課金の仕組みが盛り込んであり、明確に既存の資本寄りである)。

ネットワーク化の進展に伴い、データ交換の容易さは今後ますます増大するであろう。このような状況では、**全ての人に対してあらゆる情報にアクセスする機会が (原理的には) 等しく与えられることになるため、個々人の能力による優劣が極めて明確になってしまう。**かかる状況下で銘記すべきことは、前掲の Gancarz 氏による著作に見られる

○Programs do not create data – people do.

という言葉¹²⁾であろう。各個々人の自立的な成長無くしては「一般的・科学的労働」に携わることは不可能である (拙稿⁶⁾76頁を参照)。

上記論点をさらに敷衍すれば、各個々人が、今後、“**To be computer literate from the start.**” (最初からコンピュータを扱えること) が要求される自助努力のフリーソフトの世界¹³⁾に予め十分な学習 (←当然ある程度以上の“初期投資”が必要である) を行なった上で飛び込んでいくか、あるいは、**初心者**を易しく導いてくれる **user interface** を備えた有償 OS を購入するか、いずれかの選択を迫られることは必至である。この観点から導き出される結論は、

Microsoft (より正確には、Microsoft と同様に初心者をターゲットにした OS ・“パッケージソフト”を製造販売する企業) は永遠に不滅です

となる。これは、「人間は生来怠け者である」という真実 (この真実を看過したために経済的な低迷を余儀なくされた国家が続出したことは20世紀の歴史における真実である) に基づいているため、必ずや成就される預言である (反証できる者はいるのだろうか) — 但し、“パッケージ”の中身は、明らかに変質している (例えば、フリーの Linux を収録した CD-ROM に、利用方法などについてのサポート権を付けたものも“パッケージソフト”である) ことには留意すべきではある一。

上記視点を考慮すれば、“Microsoft の OS は公共財だ”などという安易な Microsoft 批判は如何に的外れであるかが明確であろう。我々は、user-friendly(?)な user interface を備え、Linux とは相異なった次元での usability を有する Microsoft 社や Apple Computer 社の商用 OS を利用するとき、あるいは、それらの OS 上で機能する有償の“パッケージソフト”を利用するとき、その usability に対して正当な対価を払っているに過ぎないのである。

(余談：翻訳文の限界)

上に引用した Gancarz 氏の著作では、“NIH (Not Invented Here) syndrome”という言葉がよく使われている。この言葉は、過去のソフトウェア資産の再利用を試みずに毎回新たにソースコードを書こうとする態度という意味で用いられているために、翻訳文では“独自技術症候群”という言葉が当ててあり、内容的には非常に正確なのであるが、NIH syndrome と書いた場合の含意が残念ながら伝わらない(御承知のとおり、NIH は National Institute of Health の略なので、それに呼応して syndrome という言葉が選ばれている)。また、喧伝されている『伽藍とバザール』¹⁴⁾の第二部の項目に“放縦な理論と純潔な実践”というものがあるが、原文では“Promiscuous Theory, Puritan Practice”である(翻訳では、自由を求めてアメリカという新大陸に渡った Puritan という語のイメージが全く失われている)。基本的に、翻訳文では、読者と著者との間に翻訳者という“フィルタ”が介在するため、原著者の真意が伝わるとは限らない。特に問題なのが、“非常にこなれた訳文で一読してその意味するところに矛盾がない”場合である。Gancarz 氏の著作の訳本¹⁵⁾がまさにこの例である。

3. 経済学と物理学

個人的な意見では、経済学は「粗視化」(細部の事項を切り捨ててその本質を抽象化し抽出する)という手法に依拠しているように思われる。このことは、恐らく『資本論』についても当てはまる。実は、この手法は、“対象を具に観察し、個々の現象を抽象化してその本質であるところの法則性を見つけだす”という物理学本来の姿勢と全く同一である。この方法論には何ら疑義はない。重要なことは、『資本論』が著わされた当時では、マルクス自身が努力をすればその当時の(マルクスが考察の対象にした)各種工業機械の動作原理までも理解することが可能であったはずであるという点である。

現代では、科学及び技術がマルクスの時代とは比べものにならないほどに発展(すなわち、知識量が指数関数的に増大)しており、**技術そのものがその当時のものから完全に変質している**。前述したように、現在では**最先端科学(物理学)**そのものが一般市民に直接受容されることは殆ど無くなり、**必ずその途中で技術を介する形態**になっている。しかも、この、本来科学(物理学)を break down して社会に還元するための手段である、中間に位置するはずの技術ですら、一人の人間がその全てを理解することが非常に困難な状況になっている(最先端科学全般を遍く理解することはほとんど不可能であろう)。このような状況下で、マルクスと全く同じ手法を適用すること、すなわち、**経済学のみ立場から社会現象を記述しようと試みることは、果たして原理的に可能なのであろうか?** 若輩者の妄言ではあるが、21世紀において著わされるべき『資本論』は、20世紀における科学／技術の変質に対応すべく、科学者・技術者・経済学者の共著となるべきだと思っている。

参考文献

- 1) 草間俊夫、「『科学＝技術革命』の展開」、『危機における現代経済の諸相』[柿崎繁・草間俊夫・増田壽男編、八朔社、1992年5月] 第11章―矢吹先生より御教示いただきました―。
- 2) 都留重人、「『社会的個体の発展』が不可避になる二一世紀」、『経済』[新日本出版社、2000年10月]、12～13頁―後藤先生より御教示いただきました―。
- 3) J.D.バナル著の『歴史における科学』(鎮目泰夫訳、みすず書房、1966年)には、“自然の改造”などという小見出し(800頁)すらあり、「同時にまた**自然の改造**も、生物科学や地理科学のさしめす道にそって、おそらくは**原子力も含めた重機械力**を利用して行なわれるだろう。こうやって世界のあらゆる河川の流域の**支配**が可能となり、洪水・渇水・破壊的な土壌浸蝕はなくなり、耕作と牧畜の面積はひろくひろがるだろう。」などという**とんでもない考え方**が表明されている。この書籍は、類似の書物が無いために広く読まれた、というお話を承っているが、このような書籍が社会科学を御専攻されている諸先生方に与えた悪影響は計り知れない、と筆者は考えている。
- 4) 寺内 衛、「ソフトウエアによる DRAM 支配」、『政経研究』[政治経済研究所、1999年11月] 第73号、73～80頁。
- 5) 寺内 衛、「PCバブル」、『政経研究』[政治経済研究所、2000年3月] 第74号、71～80頁。
- 6) 寺内 衛、「Linux Community の変容可能性」、『政経研究』[政治経済研究所、2001年3月] 第76号、67～78頁。
- 7) 南 克巳、ポスト冷戦研究会第1回会合配付資料(1999. 9. 25) 第一部「問題把握」及び第二部「論点抽出」参照 (<http://www.fdev.ce.hiroshima-cu.ac.jp/~keizai/>より、過去の講演資料の頁を参照)。
- 8) 原田國雄、「冷戦略史」(2000年11月15日)、ポスト冷戦研究会ホームページ 第一掲示板(討論の広場) (<http://www.fdev.ce.hiroshima-cu.ac.jp/~keizai/>)。
- 9) M.Gancarz, “The UNIX Philosophy,” (1995 Butterworth-Heinemann), p.2, p.68, p.4, p.5.
- 10) 2000.10.31 4:49p.m. ET 付け CNN 配信記事 (<http://cnfn.cnn.com/2000/10/31/bizbuzz/napster/>)。
- 11) 2001.1.22 7:30a.m. ET 付け CNN 配信記事 (http://cnfn.cnn.com/2001/01/22/technology/ibm_music/)。
- 12) M.Gancarz, 前掲書、p.98.
- 13) 同上、p.xvii.
- 14) E.S.レイモンド、『伽藍とバザール』(山形浩生訳、光芒社、1999年)―後藤先生より御教示いただきました―。
- 15) M.ガンカルズ、『UNIX という考え方』(芳尾 桂監訳、オーム社、2001年)。

⑦

~ BC400 デモクリトス (原子論) — 哲学 (理念)

~ B.C. 250 アルキメデス (静力学; この原理, 浮力の原理) — 機械学
釣り合い
技術!!

1543 コペルニクス (地動説の提唱)

1604 ガリレイ (落体の法則; 動力学)

1609 ケプラー (惑星の楕円軌道, 面積速度一定)

(実証科学)
実験科学の
始まり1687 ニュートン (万有引力, 運動方程式) — 時間に関する
2階常微分方程式

古典物理学的世界観 (キリスト教的決定論に基づく世界観) の完成

ツールは微分積分学

初期値を与えればそれ以降の
時間発展が一意的に決まる

1785-89 クーロン (磁気・電気のクーロンの法則)

1799 ボルタ (ボルタ電池)

1820 エルステッド (電流の磁気作用) ←

アンペール (アンペールの法則; 同上) ←

1826 オーム (オームの法則; $V = RI$) ←

1831 ファラデー (電磁誘導)

1834 レンツ (レンツの法則; 同上)

1849 フィゾー (地上での光速測定)

力の種類: 到達距離

重力: 無限大?

電磁力: 無限大

弱い相互作用: $\lesssim 2 \times 10^{-18} m$ 強い相互作用: $\lesssim 1 \times 10^{-15} m$

参考

1861 マクスウェル (電磁場の方程式 → 光の電磁波説)

ニュートン力学 (古典力学) に
対応する古典電磁気学の完成ニュートン方程式と同様に,
初期値を与えればあとは一意に決まる
決定論的方程式

1885 バルマー (水素スペクトルの公式)

1887 ヘルツ (光電効果)

1897 トムソン (電子の存在確認)

1879 シュテファン (輻射の法則)

1893 ウィーン (同上)

1900 プランク (輻射理論, 用量子)

エネルギーのやりとりは離散的

1905 アインシュタイン (光量子仮説) ←

振動数 ν の光は $E = h\nu$ のエネルギーを有する

光量子 (光子) の集まりである

産業が科学を飛躍させた
好例 (19世紀末のドイツ)

1911 ラザフォード (原子核の存在)

1913 ボーア (原子構造の量子論) — 前期量子論

1923 ド・ブロイ (物質波の概念); "波動性" と "粒子性" を同時に有する

duality

1925 ハイゼンベルク (行列力学)

1926 シレディング (波動力学); 波動関数の2乗の絶対値が 存在確率 を表す

1927 ハイゼンベルク (不確定性原理); 位置と速度は同時に正確には決定できない

量子力学の誕生

決定論的世界観の崩壊

ニュートンの運動方程式を解くために
不可欠の初期値注) 決定論 $\Leftrightarrow$ "絶対者としての神" の存在

キリスト教に則した価値基準が支配する西欧において,

それを否定することができた, という事実注目すべき — 自然 という対象の
存在による[各年代は 理科年表 1998年度版
(国立天文台編, 丸善) による]☆ 但し, 自然は人間に対峙する
ものではなく, 人間を内包する!!↑
不確定性原理

②

古典力学 → 天文学 → 物理学 → 数学

< 理学的 >

現代物理学分類表

共通認識

1. エネルギーが低い状態

安定な状態

2. 系の時間発展は
系がより安定化する
方向にのみ向かう

< 工学的 >

宇宙の寿命: ~ 140 億年 $= 1.4 \times 10^{10}$ 年

1 光年: 0.946×10^{16} m

cf. 真空中の光速: 3×10^8 m/s

原子の大きさ: $\leq 1 \times 10^{-10}$ m

原子核の大きさ: $< 1 \times 10^{-14}$ m

cf. 核子の到達距離 $\leq 1 \times 10^{-15}$ m

素粒子の大きさ: $< 1 \times 10^{-17}$ m

cf. 弱い相互作用の到達距離 $\leq 2 \times 10^{-18}$ m

電子の静止質量: 9.1×10^{-31} kg

陽子の " : 1.67×10^{-27} kg

不確定性関係: $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2}$ $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2}$
 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s

ド・ブロイ波長 $\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow \lambda \sim 10^{-15}$ m $\Leftrightarrow p \approx 1200$ MeV/c

1 eV (電子ボルト) $= 1.602 \times 10^{-19}$ J ($\Leftarrow e = 1.602 \times 10^{-19}$ C)

< 対応する産業 >

宇宙産業・軍事産業

高エネルギー加速器: 超高電場・超高磁場・
超高真空 という極限状況下で
機能する超高精度実験装置が
不可欠 例: CERN の LEP は
一周 26.66 km

冷戦終結

☆ 1990 年代以降の新造はほとんどない
eg. Superconducting Super Collider (SSC) は
1994 に建造中止が決まった

物理学と生物学

× 線構造解析法

"古典生物学" (従前の遺伝学における知識)

(遺伝子は細胞核内の染色体上にある)

DNA 二重らせん構造の解明 (1953 ワatson, Crick)

鉄屋丸 元々は物理屋さん

セントラルドグマ:
(1958 Crick)

遺伝情報は、基本的に、

DNA

転写

RNA

翻訳

タンパクの合成

という向きに伝達される

☆ 逆転写も起こることが明らかになっている (レトロウイルスなど)

RNA

→ DNA

合成

RNA

→

タンパク

合成

← RNA 型腫瘍ウイルス (DNA を持たない)

各種物理計測手法 (物理的素養を有する研究者の増加)

eg. シーケンサー / DNA チップ / マイクロアレイ

— 遺伝情報収集手段 —

パッチクランプ / 蛍光ラベリング

— 生理機能解明手段 —

情報処理

⇔

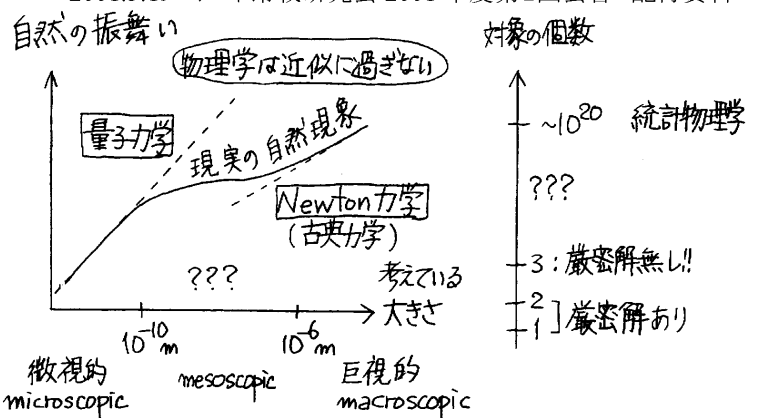
Bioinformatics

(暗号技術)

大量データの迅速処理が必須!

バイオテクノロジー

各種リンゴの重点投入



量子力学 $\leq 10^{-10}$ m
統計物理学 $\geq 10^{20}$ 個
電磁気学

アヴォガドロ数 (12g の ^{12}C 中に
含まれる原子数): 6.02×10^{23}
Si の密度: 2.33 g/cm^3 (25°C)
" の原子量: 28.09

物性
物理学

$\geq 10^{10}$ m
 $\sim 10^{20}$ 個

化学
物理学

$> 10^{-10}$ m

生物学
物理学

$\geq 10^{-9}$ m

DNA 二重らせん:

半径 $10 \text{ \AA}$ ($= 1 \times 10^{-9}$ m)
ヌクレオチド残基間隔: $3.4 \text{ \AA}$
らせん中心から
糖-リン酸主鎖の
リン原子間の距離
らせんのピッチ: $34 \text{ \AA}$

物理学: empirical science
(実験) 事実 → 定式化
粗視化 (抽象化)

☆ 古典力学から直接派生した 構造力学・材料力学が
現在の日常生活において依然としてその重要性を失なつ
ていないことに注意すること!