

## Bの1 「mechanics=力学」での「力」の登場と退場

### 力：中核への登場と退場

Max Jammer ” Concepts of Force” (1957年, Dover版 1999年, 翻訳書 マックス・ヤンマー「力の概念」、高橋毅・大槻義彦訳、講談社、1979年)という本がある。古代からニュートンを経て20世紀半ばでの歴史を論じている。ニュートン個人の考えはどうであったにせよ、ニュートン力学の整備で物理学での「力」は完成したと常識的には考えられている。しかしこの本のユニークなところはニュートン力学での「力」の登場の後に19世紀末に古典力学内での「力」の退場の試みがあった歴史に焦点を当てていることである。そこに登場するのがヘルツやマッハである。これについてはこの「力学から力を抜く」ブログで順次具体的に紹介していくことになる。

### ニュートン以後

ヤンマーに沿ってニュートン古典力学以後の経過を概観しておく（「連載20」の一部とほぼ同一である）。

惑星の速度が太陽からの距離で異なるという関係の考察でKeplerは初めて距離で弱まる地上的な意味合いの力を数学で定量的に扱おうとした。ニュートンはこの数学路線で惑星や月の運行の法則を説明する力学の一般則を見出した。これを受けてBoscovich, Kant, Spencerらはこの力が運動を決定する原因であるとする自然哲学的見解に拡大した。この見解が広く流布した背景には、この課題とは無関係に、因果関係を力の行使で理解する伝統的性向と親和的であったことが挙げられる。この啓蒙主義の時代、天や神の摂理を追い出して空白となった自然の動因として、伝統社会で馴染んでいる力を力学に滑り込ませたと言える。因果性のこの世俗化も、科学による新時代到来を啓蒙する一助となった。

ところが、力学理論の進展によって力は中核の位置から退場させられていった。一つは最初の力である重力の存在論をめぐるKeill, Berkeley, Maupertuis, Hume, dAlambertらによる哲学的批判の議論である。もう一つ、18世紀終わりから、フランスを中心とする数学を得意とする啓蒙主義者が天体の三体問題といった複雑な力学問題の解法という動機もあって、次々とニュートン力学の数理的な一般化を行ったことがある。一般化とは多変数の一般曲線座標での運動法則の書き直しである。これら解析力学と呼ばれる数理理論の誕生

は、力を中核とする原因結果の因果性による運動の見方に代わって、相互作用している多体系の状態の推移というシステム論的な見方を生み出した。

これら哲学と数理の二つの進展を踏まえ、19世紀後半にMach, Kirchhoff, Hertzらによって、力を力学の中心的位置から退位させる力学の再編が進められた。

#### 基本量か派生量か

Hertzらは力学とは時間、空間、質量という物理量の関係性を扱う理論であるとする観点で概念整理を行った。この数理理論では、力は一義的概念である加速度と質量の積という二義的な派生量であり、このよく登場する派生量に与えられた用語に過ぎないと喝破した。幾つかの物体(質量)のある空間配置 $X$ でその内の質量の一つ $m$ の加速度を $a$ とすると $ma=F(X)$ の関係で運動が決まる。この $m$ と $a$ の積が数理演算上に頻繁に登場するので、便利さのために「力」という用語が使われている、というのである。

こう言われると物理学者の少なくない人々は「そんな持って回った言い方をせず、直感に馴染む力を力学の中核にしたらいいじゃない！」と怒り出すかもしれない。確かにマクロな物体の運動や平衡を力を中心に据えて考えることは人間の思考・行動にも親和的である。現在でも高校で初めて数式で物理を学ぶ際には、力を中核とする思考の訓練を徹底的に仕込むのが普通である。正に力は高校物理の主演である。

#### 解析力学数理の存在論とは

だから電磁波や光電効果の発見などで知られる物理学の達人であるあのヘルツが「力学から力を抜く」ことになぜ精力を傾けたのか？ これもこのブログの課題の一つである。

当時、こうした傾向が登場することになる背景には、19世紀に入ってから「力学」の解析力学への進展がある。解析力学という数理理論の存在論的位置づけが絡んでいる。現在、数理統計理論は広範な科学の道具になっているが、多くの人はその使用において有効である道具—ツールであると思っている。だから、これの存在論的論議などはおこらない。それに対して、自然自体に数理的秩序を見ようとする精神性の濃厚な物理学では現実と数理の関係は単純ではない。

解析力学では力よりはエネルギーが一義的なものとして登場する。エネルギーの方が存在論的には一義的な気にもなる。しかし両者は数式で結びついているのだからどちらでも語る事ができ、解析力学は単なる技巧上の書き換えだとも見なせる。歴史的には力からエネルギー派生したのだが、解析力学での概念構成上は逆にエネルギーから力が派生する。しかしこの差は単に数理的明快さに対する感性の差であり現実に関わる事ではないと言うこともできる。単なる趣味の問題だともいえる。

### 量子力学以後から見た解析力学

しかし「力学から力を抜く」課題は単純な趣味の問題では断じてないである。物理学はニュートン以来300年以上も進展を続けている。対象もそれを語る言葉も大きく変貌した。一般理論の進展を列記すれば電磁気学、熱力学、相対論、量子力学、場の量子論などである。人間の感覚にふれるマクロな現象の背景には分子から素粒子にいたるミクロの存在も発見され、同じ存在をマクロにもミクロにも視点（検出・観測）を変えて捉えることが出来るようになった。化学や生理もこの配下にはいった。

この目眩く進展にも関わらず、貫かれているのは力学と統計・情報学の併用であり、そのうち時間・空間・質量（同じ意味でエネルギー）を扱うのが力学である。しかしこれは解析力学のことであって力を中核とする力学ではない。力学と熱力学をつなぐ統計力学でも、ミクロの存在を記述する量子力学と古典力学をつなぐ概念でも、カウンターパートは解析力学された力学である。そして「量子」でも「古典」でも、力を原因とする因果律ではなく、解析力学の見方が導入するシステムの状態数や状態の時間推移などを記述する。人間に親和的な力を中核にした見方はここでは全く通用しないのである。

それにしてもヘルツらの古典力学に関する議論が忘れ去られたのは、その後のミクロ世界に達した物理学の大拡張であったろう。「理論的整備」などは次々と登場する「珍物」の多彩さに沸く活況にかき消されていった、ともいえるだろう。「珍物」たちをようやく家畜化しつつあるこの21世紀初頭で、「力学から力を抜く」を考えてみようというのである。

### Bの1 終わり