

□ 少し coffee break として、物理学について考えてみよう。ただし、今回の内容はきわめて trivial な内容（哲学的な内容を含む）なので、物理に興味がある人以外はスルーしても何ら熊手先生の授業に支障はない（ハズ…）。

1.1 科学史のコナー

運動に関する法則は、古代ギリシャ時代から議論されてきた。有史以来もっとも早い自然哲学者である Thales^{*1}や Demokritos^{*2}の思想は、後に Aristoteles^{*3}に引き継がれ、ひとまず体系化された。この時代、科学は**自然哲学**と呼ばれていた。Aristoteles の思想も極めて経験主義的で、自然学への数学の導入には否定的だったと言われている。このような考え方は、およそ 2000 年もの間、人々の自然観に大きな影響を与え続けた。この伝統的な見方から脱却した先駆者が Copernicus^{*4}であり、その思想は Galilei^{*5}に受け継がれた。最終的に Newton^{*6}がまとめあげた運動の三法則を**基本原理**として力学現象を考察する理論体系を、Newton 力学（古典力学）という。この力学体系は長らく自然界を説明する普遍的な理論と考えられていたが、20 世紀初頭には**量子論**と**相対論**の登場によって、その限界が明らかにされた。^{*7}

1.2 物理学の構造

1.2.1 このコラムで言いたかったこと

皆さんは、今後教科書で様々な数式に出会うだろう。本科目の物理まで履修するなら、その

数はもうべらぼうだ^{*8}。そんなとき、「基本法則は何か?」「この式は何を意味しているのか?」という視点で、頭の中を整理してほしい。これは物理学の本質に迫る思考法なのだ。教科書を目を皿のようにして暗記してもいいが、せっかく時間をかけてこんな（七面倒くさい!?!）教科書を勉強するなら、少しは頭を悩ませてみるのをおすすめしたい。

1.2.2 物理学の考え方

Newton による運動の三法則は：

1. 慣性の法則
2. $m\vec{a} = \vec{F}$
3. 作用・反作用の法則

これらは 1.1 でも述べたように、Newton 力学における**基本原理**である。その意味を考えてみよう。一体全体どういうことなんだろう？

物理学とは、数学を使って自然界の基本法則を探る学問だ。仮に、あらゆる条件での観測データがすでに網羅された巨大データベースが存在すれば、物理学など不要だろう。条件を入力すれば結果がわかるのだから。でも現実が違う。未知の現象は今も存在する。不思議な運動をする物体に出くわしたとして、その正体を探るのに、天地開闢からのデータを全部用意するなんて、まず無理だ。

けれど、たとえばその物体の位置が $x = 3t$ のように時間に比例しているとわかれば、未来の動きも、一万年と二千年前の動きも、八千年過ぎた後だって計算できるじゃないか！だから物理学者は、自然を統べるシンプルな方程式を追い求める。それをよすがとし、未来を予言し、過去を突き止める力を手にできると信じている。Newton 力学において、その役を担うのが運動の三法則なのだ。

この三法則を知っていれば、あとはそれをもとに他の多くの数式が導ける。つまり、三法則は Newton 力学における**道具箱**なのだ。教科書に現れる無数の式は、その応用に過ぎない。

^{*1} タレス：紀元前 625 年頃～紀元前 546 年。ギリシャの植民都市ミレトスの自然哲学者。

^{*2} デモクリトス：紀元前 460 年頃～紀元前 370 年頃。古代における原子論の創始者の一人。

^{*3} アリストテレス：紀元前 384 年～紀元前 322 年。近代科学が成立するまで、ヨーロッパにおける自然観の基礎を築いた。

^{*4} コペルニクス：1473 年～1543 年。地動説を唱え、近代科学の出発点を築いた。

^{*5} ガリレイ：1564 年～1642 年。観測と実験に基づく近代科学の方法論を確立した。

^{*6} ニュートン：1643 年～1727 年。運動の三法則と万有引力の法則を定式化し、古典力学の体系を完成させた。

^{*7} 「物理学史 I」 広重徹（培風館）、「理論物理学への道標」 杉山忠男（河合出版）などによった。

^{*8} 物理学科に進学すれば、もはや笑うしかないほどの数式の嵐に出会うだろう。

そう考えよう。

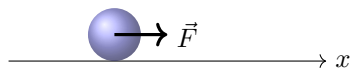
さて、ここで問いたい。「その仮定（運動の三法則が基本原理）は、本当に正しいのか？」——その答えは……**わからない**。乱暴に言えば、「正しいかは知らないけれど、信じてみたら自然現象を説明できた」ので、多分正しい、という程度だ。^{*9}

ただし、1.1に述べたとおり、Newton 力学も完全ではない。ミクロな世界や光速に近い世界では破綻する。そのときは新たな理論（量子論や相対論）が必要となる。つまり、物理学の理論はつねに**現実による検証**にさらされており、破れた理論は捨てられる——それが科学の宿命なのだ（図（1.1）参照）。

1.2.3 因果律について

$2 = 4/2$ は正しい。なぜかといえば、数として 2 と $4/2$ は等しいからである。それ以上でもそれ以下でもない。しかし運動方程式 $m\vec{a} = \vec{F}$ は全く異なった構造を持った式である。この式は、右辺から左辺へ読み、「**物体に力が加わったことで、物体に質量に応じた加速度が生じる**」と読む（数式を和訳する）。これを因果関係を表す法則という意味で因果律と呼んでいる。この「原因結果関係」を把握することは、物理にとってとても重要なことだ。

(i) 質点 m に力 \vec{F} が働く（原因）



(ii) 加速度 $\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$ が生じる（結果）

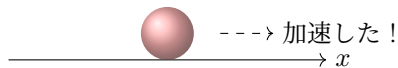


図 1.2 因果関係の模式図（通常 $k = 1$ となるような単位をとる）

例えば、中学校で習った Ohm の法則

$$IR = V$$

にもその構造がみられる。

□ Ohm の法則を**和訳**し、因果関係をあぶり出してみよ。

1.3 理系向けの発展事項（自習）

1.3.1 力のつりあいについて、細かいこと

図 1.3において、小球が静止しているとき、力のつりあいは $F_l = F_r$ である。

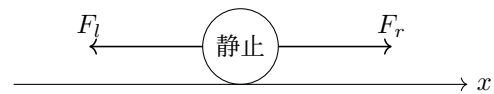


図 1.3 球に働く力がつりあっている

ところで、この系の運動方程式を書き下すと、

$$m \underbrace{\frac{\Delta v}{\Delta t}}_0 = F_r - F_l$$

となり、同じ式を得る。実は、力のつりあいの式は運動方程式において、 $a = 0$ の特別な場合だったのである。従って、運動方程式とことさらに区別する必要はない。

1.3.2 慣性の法則について細かいこと

慣性の法則によれば、**物体に働く合力が $\vec{0}$ であるとき、物体は加速しない**。しかしこれは、運動方程式

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \sum_i \vec{F}_i \quad (1.1)$$

において、 $\sum_i \vec{F}_i = 0$ の特別な場合に過ぎず、あえて Newton 力学の基本原則に明記する必要はないように思えてこないか？

詳しくは本科目の物理で学ぶのだが、運動方程式が式 (1.1) の形で成り立つ座標系を**慣性系**という。慣性系は、一つあれば、Galilei 変換という変換によって無数に作ることができる。実は、慣性の法則は、この宇宙には一つ以上必ず慣性系が存在するという要請ないしは宣言なのである。これにより、我々はいつでも式 (1.1) を使うのに適切な座標をとれるのだ。

^{*9} 実験結果と一致する限り、“暫定的に信じるに値する”という合理的態度である。といってもいいかもしれない。

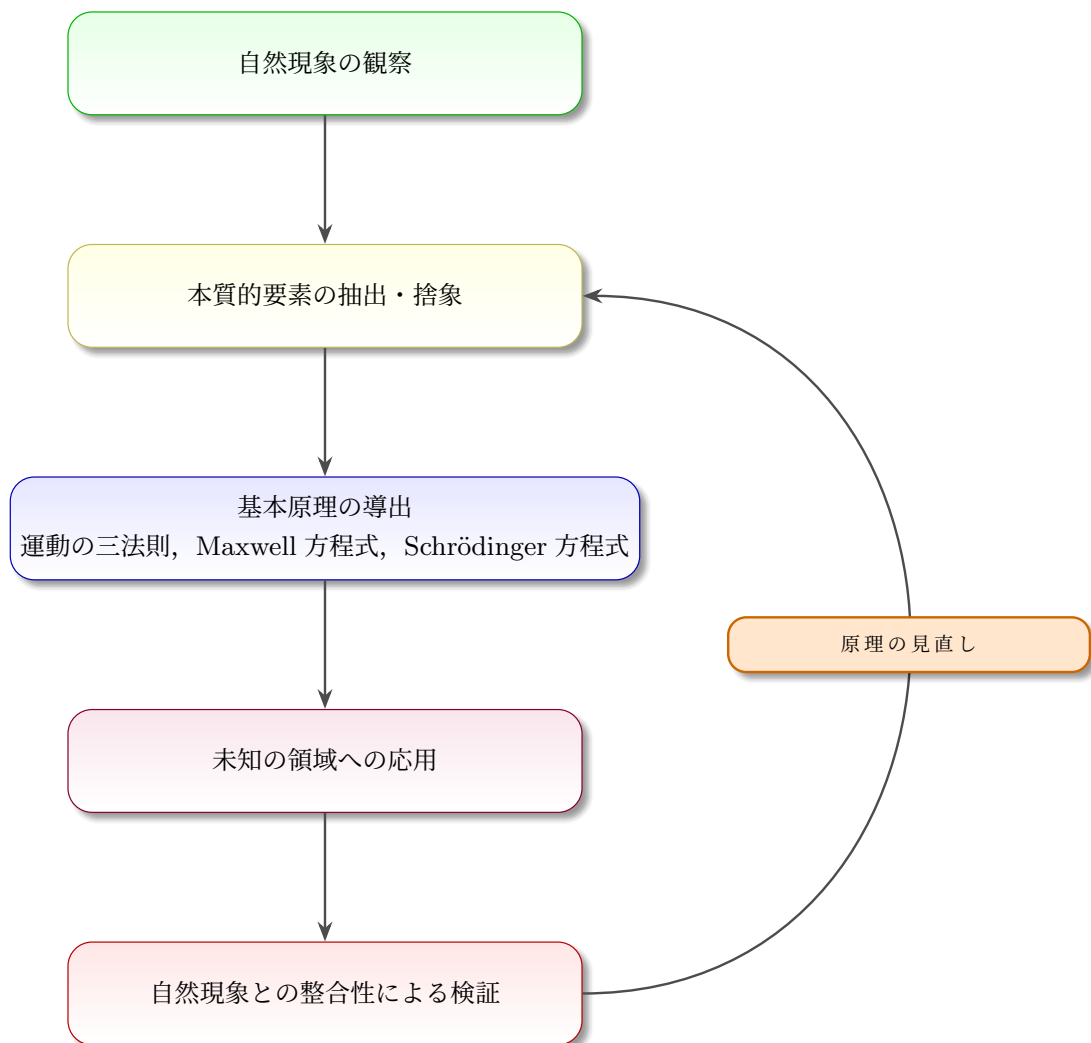


図 1.1 物理学の理論的構造