

はしがき

本書は、初等的な物理学(高校レベルの物理)の理論的な側面を明確に記述することにより、物理学の本質的な理解をはかると同時に、内容豊富な問題演習を通して確実な実力を養成することを目的としている。読者としては次のような人を想定している。

1. 高校物理に飽き足りない人

物理は数少ない原理から自然の本質を理解しようとする学問であると思っていたのに、高校で習う物理が天下り的で面白くないと不満をもっている高校生も多いだろう。高校物理の教科書は、分量的な制約と数学的な制約のために、自然の本質について必ずしも十分な説明がなされていない。本書では、物理学が数少ない基本原理からどのように論理的に構成され、自然現象の神秘を解き明かしていくかを、わかりやすく説明する。その際、高校で習う微積分はどしどし使う。高校で習わない微積分についても、必要なものは、簡単な説明を付けた上で使うつもりである。本来物理学と微積分は切っても切り離せない関係にある。古典力学の基礎を築いたニュートンは、力学法則の発見と同時に微積分法を創造したのである。とはいっても、物理にとって数学はあくまで道具であり、物理現象の本質が数学にあるのではない。自然現象を物理として理解してもらうことが本書の目的である。本書を読むことによって、物理に対する興味を倍加し、その虜になってもらえればと思う。

2. 東大等最難関大学に合格する物理の実力をつけたいと考えている人

物理の実力は、どんなによく書かれた解説を読んだりあるいは講義を聞いても、それだけでは身につかない。自ら自然現象を考察し、その本質を解き明かそうと努力することによって実力はつくのである。この現象はどういうことなのかと、昼夜を問わず考えを巡らせ奮闘することが重要である。このようなプロセスなしにどのような創造も発見も生まれない。初等物理学におけるこうした訓練用の問題は、大学入試問題などの中に多く見出すことができる。本書では、そのような目的でこれらの問題を扱う。

以上のような物理学の論理的(理論的)な理解とその問題演習を通して、物理の虜になると同時に、確かな実力をつけ、その結果として東大等の難関大学に合格することを願っている。

2014年4月

杉山忠男

「三訂版」の特徴と本書の構成

「理論物理への道標 三訂版」では、「改訂版」の方針を受け継ぎながらも、理論編に例題を多くし、読者が理解しやすくなるように努めた。さらに、演習編に、興味深い問題の追加などを行った。

◎理論編

本文では、それぞれの分野の基礎理論を解説している。そこには、高校物理で普通に習う内容は当然含まれるが、それだけではなく、物理学の本質にかかわる部分について、掘り下げた説明をしている。特に、「理論物理セミナー」は本書の特徴をなすものの1つであり、物理的に興味深い内容を、高校生にわかるように噛み砕いて説明したつもりである。ここで説明されている事柄は、高校生向けの他の参考書などにはほとんど見られないものであり、また、大学生向けの書籍においても丁寧には説明されていないものが多いと思う。じっくりと読み、理解を深めて欲しい。その際、必ず紙と鉛筆をもち、式などをチェックしながら読み進めてもらいたい。単に文や式を目で追うだけでは、その内容を理解したことにはならない。

「Topics」では、物理学の話題を解説した。ここでは、数式的あるいは論理的な厳密さは必ずしも追求していない。物理の面白さを実感してもらえればよい。

◎演習編

一部に創作問題を含むが、問題はほとんど難関大学の入試問題の過去問である。思考力を要するものばかりであり、公式を当てはめるだけで解けるような問題は除かれている。また、入試としての重要問題であっても、問題集などに典型問題としてしばしば取り上げられている問題は少なくした。代わりに、入試にはそれ程多く登場するわけではないが、物理学の本質に根ざした問題をなるべく取り上げた。

最後に、「Appendix(付録) A」で、ベクトル積(ベクトルの外積)や微積分について簡単な解説をした。これらの数学は、高校課程で必ずしも習うものではないが、理論編では、いろいろなところで使われている。本書を読む中で、必要に応じて参照してもらいたい。

本書で用いる記号法

本書では、いろいろなところで、時間微分とベクトルについて、簡略化した次の記号法を用いる。ある物理量 q の時間 t での1階微分および2階微分を、それぞれ、

$$\dot{q} = \frac{dq}{dt}, \quad \ddot{q} = \frac{d^2q}{dt^2}$$

のように、上にドット(\cdot)あるいは2ドット($\ddot{\cdot}$)を付けて表す。例えば、位置 x 、速度 v 、加速度 a の間の関係式を、

$$v = \dot{x}, \quad a = \dot{v} = \ddot{x}$$

と書く。

また、ベクトル \vec{a} を a のように、太字で表す。したがって、位置ベクトル \vec{x} は x 、速度ベクトル \vec{v} は v 、加速度ベクトル \vec{a} は a などと表す。

ただし、入試問題ではこれらの記号法は使われないので、本書でも、問題の中では、これらの記号法を多用することはしない。これらの記号法は、通常大学課程でよく使われるものである。

物理学とは、一言でいうと、自然現象をより少ない基本原理をもとに論理的に説明し、自然の本質を明らかにしようとする学問である。

1. 自然科学における物理学の役割

自然を対象とする科学には、物理学の他に、化学、生物学、地学(地球物理学)、天文学などがある。それらの中で、物理学はどのような役割をはたしているのであろうか。

高校課程で学ぶ物理学の分野は、力学(ニュートン力学)、熱学、電磁気学と原子物理学の初歩である。その他、波動についても学ぶが、光以外の波は力学の、光は電磁気学の応用分野とみなすこともできる。力学、電磁気学、熱学といった各分野の物理学によって、目に見える自然現象はほとんど理解できるであろう。

自然科学の各分野の中で、地球物理学と天文学は、物理学から直接派生した学問分野と考えられる。

では、化学はどうであろうか。化学を原子に基づいた化学反応を扱う学問と考え、原子の性質(運動法則や電磁気的な性質)を知らなければならぬ。原子レベルの性質は量子力学によって理解できる。量子力学は現代物理学の最も重要な1分野である。こう考えると、化学の基礎は物理学であるということができようであろう。

生物学はどうか。生命科学やバイオテクノロジーなどの発展は目覚ましく、いまや自然科学の中で生物学はその花形のように見える。最近の生物学の発展の基礎は、分子生物学にある。この学問は生命現象を分子論(化学)的に理解しようとするものである。先に述べたように、化学の基礎は物理学であったのであるから、生物学もさらに基本へ戻って考察すれば、物理学へたどりつくであろう。実際、直接物理学を生物学に当てはめて考えようとする生物物理学といった学問分野も、広く認知され始めている。また、物理学の成果をそのまま生物学に適用するというのではないが、物理学の考え方を生物学に用いた研究が、最近多く見られるようになった。例えば、最近話題になった研究分野に、人間の記憶のメカニズム(神経回路網の性質)などを、理論物理学で発展した手法を用いて解明しようとするものがある。

こう見てくると、物理学はあらゆる自然科学の基礎になっていることがわかるであろう。

2. 物理学の論理性

物理学は単にいろいろな自然現象をあるがままに見て、個々の現象をばらばらに扱う学問ではない。いろいろな現象に共通する基本的な原理は何かを見出(帰納)し、その原理をもとに、多くの現象を説明(演繹)し

§3 運動の法則と力のつり合い

物体の運動については、古くギリシャ時代から考察されていたが、近代的な運動の法則は、ガリレオとニュートンによって打ち立てられた。ギリシャ時代のアリストテレスは、運動には、自然運動と強制運動の2種類があり、物体がその本性にしたがってひとりでに行う運動が自然運動であり、本性に逆らって外部からの作用で行う運動が強制運動であると主張した。また、自然現象の考察に数学を適用することを否定し、実験を行わなかった。このようなアリストテレス流の考えは、ギリシャ時代から中世まで2000年近く人々の観念を支配した。このような考えからの脱却は、コペルニクスに始まり、ガリレオに引き継がれ、ニュートンによって運動の3法則として確立された。

以下に述べる運動の3法則は、力学現象を考察するとき出発点にとる法則であり、**基本原理**と呼ば

れる。そして、これらの法則がなぜ成り立つのかは問わない。これらの法則が妥当性をもつかどうかは、これらを用いて自然現象がどの程度説明できるかによって判断される。運動の3法則を用いて考察する力学を**ニュートン力学**という。もし、これらの法則を用いてどうしても説明できない力学現象が見出されたら、新たな基本原理を探ることになり、ニュートン力学とは異なる新たな力学がつけられる。そのようなものとして、**相対論**や**量子力学**がある。光速に近いような速い速度で動く物体の運動は、ニュートン力学で考察することはできず、相対論が必要になる。また、原子のようなミクロな現象を考察する場合にも、ニュートン力学を用いることはできず、量子力学を用いなければならない。相対論や量子論では、運動の3法則を基本原理とはしていない。

3.1 慣性の法則(運動の第1法則)

「外部から力がはたらかないか、はたらいでもその合力が0であれば、静止している物体はいつまでも静止し続け、運動している物体はいつまでも等速直線運動を続ける」

これが**慣性の法則**であり、ニュートンの運動の第1法則である。しかしこの法則には注釈が必要である。なぜなら、次第に速さが増している電車に乗っている人が見れば、力のはたらいしていない物体の速さは遅くなり、逆に、速さの遅くなっている電車に乗っている人が見れば、その物体の速さは速くなる。すなわち、見ている人(座標系)によって物体の運動形態は異なる。そこで、慣性の法則が成り立つ座標系を**慣性系**と呼ぶことにする。

▷ 慣性系とは

それでは、どのような座標系が慣性系とみなされるのであろうか。

地面は慣性系のよい近似になっている。実際、地面に固定された水平かつなめらかな机上でビリヤードのボールをはじいた場合、ボールはどこまでも等速直線運動をするように見える。しかし、地面は厳密には慣性系ではない。地球は自転しながら太陽のまわりを公転している。したがって、ビリヤードのボールは外部からはたらく力の合力が0であるように見えても、回転系ではたらく遠心力やコリオリの力(§4参照)が作用し、ボールは等速直線運動