

## 「物理の第一歩 —自然のしくみを楽しむために—」 刊行に寄せて

「自然のしくみを楽しむために」という副題を付けた本シリーズ「物理の第一歩」の基本的なコンセプトは、「基本法則の理解から自然のしくみが見えてくる」です。

自然科学の中で物理学がもっている使命は、すべての自然現象に通じる基本的な法則を求めることです。物理学以外の科学・技術の分野では、物理法則に加えて、その分野に特徴的な経験則も使いながら、現在の物理学では扱わない範囲まで踏み込んで研究を進めます。例えば、化学は物質の多様性とその変化についての探究を幅広く担い、生命科学は生命現象の探究を幅広く担い、工学の諸分野は生活を豊かにするための工夫を幅広く担っています。自然現象は複雑ですから、その解明にはこのように多くの分野の協力が必要なのです。

物理学は上に述べたような役割の故に、自らを制限している面があります。しかし、その制限はすべてに共通の法則を求めるに由来しますから、狭いようで実は広大です。大事なことは、現在の物理法則のみではまだ解明が難しい現象の中でさえ、すでに確立されている物理の基本法則は必ず成り立つことです。そのため、物理学はすべての科学や技術を理解する基礎となっており、他の科学や工学の応用においてそれを無視すると、開発に時間がかかったり、手痛い失敗に陥ったりすることになります。身のまわりのいわゆる日常現象においても、物理の基礎に基づいた理解を求ることで、見通しのきく説明ができ、適切な応用も可能になります。

時折、物理法則は単純すぎて現実世界では成り立っていないのではないかという意見を耳にすることがあります。応用例が示される際、単純化や理想化した条件を課すことが多いため、このような印象があるのかもしれません。しかし、例題や演習では、計算を通して概念をより詳しく理解するために条件が单

iv 刊行に寄せて

純化されているに過ぎません。物理法則は常に正しく、自然現象であれ、人工物の機能であれ、対象物についての十分な情報があれば、物理法則だけで説明できる現象が現実世界には数多くあります。

本シリーズは、大学初年級の物理学コースの教科書や自習用に使われることを期待していますが、一般に、物理をよりよく理解したい方々、仕事上のニーズから物理学の基礎を学び直したいと欲する方々にとっても役に立つものになることも目指しています。そのために、各巻の最初の書き出し部分の敷居を低くするよう、著者にお願いしました。また、正しい内容をできるだけわかりやすく記述することに多大な力を注いでいただきました。体系的で丁寧な記述によって、きちんと積み上げて学習すれば物理は難しくないことがご理解いただけると思います。

本シリーズを読後も保存いただきて、将来、基本法則や論理の流れに疑問がわいたときに、再度開いて利用していただければ望外の喜びです。

東京大学名誉教授  
兵頭俊夫

## まえがき

平成 28 年（2016 年）6 月 8 日、梅雨入り間もない頃に研究室の電話が鳴った。出ると、本シリーズの監修者である兵頭俊夫氏で、用件は本書の執筆依頼であった。筆不精のため少し迷ったが、専門とする力学をまとめる良い機会であると考え、その場で受諾した。そして、執筆を完了するまで 3 年ほどの時間を要することを申し添えた。

それから 5 年半の歳月があつという間に流れ、ようやく本書を上梓するに至った。予想を上回る時間である。本書の概要は最初の 2 年半で書き終えていたのだが、兵頭氏の監修によって想像を超える編集作業の年月が加わったのである。

その監修は正確な内容と分かりやすい記述を目指した、まるで学術論文の仕上げの議論のようで、私にとっては大変高い壁となった。対面とオンラインの会議を通して受けた意見やアドバイスを私なりに検討して、内容、文章表現、章立て等を編集するというやり取りを 20 回近く行った。その結果、実に 3 年もの月日が流れたのだ。東京の大手町で夏（7 月 16 日）に開催された本シリーズの全体編集会議において、兵頭氏より執筆者に向けて「監修者というより共同執筆者と考えてください」という発言があったが、まさにその通りの状況となった。

さらに、原稿をまとめる最終段階では本シリーズの他の著者の方々からも貴重なコメントが寄せられ、私自身大いに学びながら取り組むことができた。大変ありがたく思う次第である。

本書の主題である力学は、物体の運動を明らかにする物理学である。例えば、放物線とは地上付近で物体を投げたときにその物体が描く軌跡だ。これが数学的に 2 次関数で表現できることは力学を学べば理解できるのである。力学は惑星や天体の運動を説明したり予測したりすることもできる。わずかな運動の法

vi まえがき

則を適用することによって物体の動きを論理的に予測でき、またそれは実際に観測できるのである。力学は科学の典型的な体系であり、難解な数学は不要なので、科学の方法論を学ぶためにも最初に学ぶべき物理学であると思える。力学は、まさに「物理の第一歩」にふさわしい物理学である。

力学は、熱力学や電磁気学同様、古典物理学に分類される。現代物理学と呼ばれる相対性理論と量子力学が作られる 200 年以上前の 17 世紀後半、力学はニュートンによって完成され、今も有効な理論である。古典物理学なので、力学ではもはや研究することがないかのように思いがちだが、実はそうでない。例えば、水平面上を速く回転するゆで卵が立ち上がる運動を力学的に説明できたのは、21 世紀に入ってからである。いまだに解明されていない力学上の問題も数多く残されていると思われる。

本書は、そんな力学の入門書である。力学のすべてを網羅しているわけではないが、力学を俯瞰できる内容にしたつもりである。読者が本書を読んで力学を楽しめるようになれば、本書の目標は達成される。

本書は 9 つの「章」、「付録 A」、「付録 B」、「章末問題略解」、そして「索引」によって構成されている。各章の最後には関連するコラムを記載したので気楽に読んでいただきたい。また、章末にはその章の内容に関する問題を厳選して 3 題のみ掲載した。内容の理解を深めるために、まずは「章末問題略解」を見ずに自分で考えて解いてほしい。なお、各章はやはり第 1 章から順に読み進めることが望ましいが、「付録」については本文に関連する部分を必要に応じて参考すればよい。不明な用語などは「索引」を利用して確認できる。

ここで各章と付録の概要を説明しよう。まず、「第 1 章 運動を表現する数学」では、次章以降の準備として、座標系、ベクトル、そして微分や積分を説明している。次の「第 2 章 運動法則」では、力学の基礎法則であるニュートンの 3 法則を解説し、落下運動の例を紹介している。続く「第 3 章 仕事とエネルギー」では、仕事、運動エネルギー、ポテンシャルエネルギーを定義し、力学的エネルギー保存則を導いている。そして「第 4 章 角運動量」では、角運動量を定義して平面運動を例に理解を深め、角運動量が従う方程式を導出している。さらに「第 5 章 様々な運動」では、前章までの知識をもとに、落下、振動、そして衝突という物体の典型的運動を考察している。次の「第 6 章 異なる座標系で觀

測される運動」では、加速度運動をしている座標系での運動方程式と慣性力を導出している。そして「第7章 2体問題と惑星の運動」では、相互作用する二つの物体（質点）の運動をとりあげ、惑星の運動を例として考察している。次の「第8章 質点系の力学」では、複数の質点が行う運動の取り扱いを解説している。最後の「第9章 剛体の力学」では、第8章を基礎に、形や大きさが無視できない硬い物体の力学を説明している。そして、「付録A」では、基本的な数学的知識と定数係数をもつ2階常微分方程式の解法を説明している。また、「付録B」では、第9章で用いる連続体剛体の物理量について解説している。

第8章ではシグマ記号が、第9章では積分が多用されるため、とたんに難しく感じられるかもしれないが、根気よく読み込み、例題等によって一般論を理解していただきたい。特に第9章は力学の「花」といってよい身近な物体の力学である。そして、「付録B」に記載したその一般論の補足は、独自な内容であり、本書の特徴となっているかもしれない。

本書の内容について、兵頭俊夫氏は言うまでもなく、久世宏明氏、立川真樹氏、吉田鉄平氏から多くの貴重なコメントを授かった。そして、共立出版株式会社の吉村修司氏は、最初から最後まで根気の要る編集作業を丁寧かつ効率よく進めてくださった。また、同社の島田誠氏は本書を含めたシリーズを企画され、大越隆道氏には本書の総まとめにご尽力いただいた。末筆ながら、この場を借りて謝意を表する。

令和3年（2021年）12月  
下村 裕