

ISSE 物理

# I. 粒子の物理学

物理カリキュラム 2 年度

## はじめに

物理学とは、すべての自然現象を物体の配置または移動と考え、その時見出される法則性を可能な限り普遍化することによって成立して来た学問です。つまり、「どの物体が、どの場所に、どの時刻に存在するか」という問いに対応して、質量  $M$ 、長さ  $L$ 、時間  $T$  の 3 量が基本的な物理量となります。この単元 I-1-2 で学ぶディメンションの考え方が示すように、他のあらゆる物理量はそれらの 3 量の組み合わせとして、例えば、力は  $[MLT^{-2}]$ 、エネルギーは  $[ML^2T^{-2}]$  というように、表すことができます。20 世紀になって、従来の物理学は急速に拡大され、新しい体系も成立したのですが、 $[M]$ 、 $[L]$ 、 $[T]$  以外の独立したディメンションは追加されなかったのです。

物理学の基礎となる理論体系は「熱力学」、「量子力学」というように、「力学」の名が付けられるのですが、この単元では、最初に成立した目に見える世界 ( $M$ 、 $L$ 、 $T$  が日常生活で取り扱う程度の大きさの程度となる場合) の物体の運動に関する力学、今では「古典力学」と呼ばれている分野の勉強をします。

学習に当たって注意すべき事柄を、初めに述べておきましょう。まず「力学」では「力学の力(リキ)、すなわち、力(チカラ)とは何であるか。」が大変難解なのです。これは、力の概念が古典ギリシャの自然哲学から現代物理学に至るまで、さまざまに変遷を重ね続けていることにもよるのでしょう。基礎理論の裏付けもなしに、最新の力についての解釈を知識として覚え込むことは、もちろん、ここでなすべきことではありません。また反対に、この概念が身体的な感覚から発して如何に形成されたかを調べる。あるいは、ガリレイの考えた複数の力、さらに、ニュートンの分類した 3 種の力等々について、これらを意義あるものとして捉えるにせよ、誤った考え方として批判するにせよ、詳細に検討することは科学史の勉強としては意味があっても、これが力学を学ぶ最良の方策とは思えません。ここで強調したいことは「力」という用語を力学で習ったとき、その用語が背負っている歴史的遺産を私たちは知らず知らず受け継いでしまうという点なのです。それは「力」にせよ「仕事」等の他の力学的用語にせよ、その同じ用語が日常的にも使われるようになった歴史はより古く、過去に解釈されていた意味内容をも今なお保持されていることによります。「力」は人の能力とか疲労感を伴うものとして、「仕事」のようなエネルギー概念とも混用されて来ました。現代人も「力」は人や物体が保有するという印象を捨て切れずにいます。力学を学ぶ際に「力持ちが力を出す。」というイメージは持たないでほしいのですが、日常会話としては少しもおかしくありません。「重さ」は重力のような物体外の力によって生じるものですが、「重い物質」という言い方が示すように、私たちは重さを物質内部から追い出せずにいる訳です。そういった意味で私たちは、歴史を勉強する以前から歴史という霧に囲まれているのですが、さて、これからの学習によって、この厚い霧の晴れ

問からのぞく「力」についてははっきりした実像をどのように推論を立てそこから見定めて行くのか、何よりもその思考方法を学んで欲しいのです。

次に留意すべきことは、ある結論が正しいことを主張するための方法が、自然科学では2通りあるということです。一つは少数の原理から数学的にこの結論を導くことで、これが「力学」です。もう一つは実験や観測によってこの結論を示すことで、こちらは「現象論」と呼ばれています。ここで「力学」の論理展開の方向と「現象論」の展開の方向はアベコバだということも指摘しておきましょう。さらに、このカリキュラムでは、同時並行に数学の単元 II-A で微分、II-B で積分を習うので、前者の方向は積分的、後者の方向は微分的であると付け加えておきましょう。この単元の学習者は、既に「運動学」を学んで来ているので、横軸に時刻をとった

[加速度のグラフ] → [速度のグラフ] → [位置のグラフ]

の作成の方法を知っているはずで、この操作が定積分に当たり、反対に、

[位置のグラフ] → [速度のグラフ] → [加速度のグラフ]

の作成の操作が微分係数に当たります。しかし、ここまでではまだ「力学」とはなっていません。この単元の主役は「ニュートンの運動方程式」です。これから学ぶ「運動方程式」を通して、物体の運動の原因が「力」であること「力」が与えられることによって、他の量ではなく、まず「加速度」が定まるのが力学の出発点であることを理解して下さい。一方、物体の運動を現象論の立場で考えるならば、まず初めに測定され得るのは時々刻々の物体の位置です。すなわち、

[力学的に定まった加速度] ⇔ [現象論的に定まった位置]

の左から右へ至る筋道が次々と積分することで、右から左へ至る筋道が次々と微分することという論理展開の方向性の交差が自然科学の本質なのです。この所は、少し勉強してからまた考えてみてもよいでしょう。

木星の衛星についての観測や落下物体に関する実験などの話から、観測・実験に基礎を置く本物の物理学を始めたのはガリレイが最初であることはよく知られていますが、彼はまた

「物体の運動は数学的法則に従う。」

と主張して、本物の力学を切り開いた最初の人でもあったのです。科学の理論は絶えず実際の現象からのチェックを受けなければ存立し得ないということを忘れてはいけませんが、一方、数学を避けていたら物理学の本質に触れることは決してできません。

# 目次

<b>1</b>	<b>運動法則</b>	<b>5</b>
1-1	ガリレイの相対性原理	5
	粒子	5
	慣性系	6
	ガリレイの相対性原理	7
	加速度	9
	ニュートンの運動の第 1 法則	11
1-2	ニュートンの運動方程式	12
	運動量	12
	運動方程式	12
	質量	13
	不変性	16
	運動方程式の積分形	17
	ヘルムホルツの方法	18
1-3	運動量保存則	23
	力学系	23
	質量中心	24
	運動量保存則	26
	ニュートンの運動の第 3 法則	28
<b>2</b>	<b>力の法則</b>	<b>32</b>
2-1	相互作用の性質	32
	弾性衝突	32
	ポテンシャル	35
	保存力	37
2-2	自然界の 4 つの基本力	40
	重力の法則	40
	ク - ロンの法則	45
	古典力学の適用限界	49
2-3	現象論的な力	52
	現象論的な力	52
	垂直抗力	53
	摩擦の法則	56

張力 . . . . .	59
ラグランジュの方法 . . . . .	60
フックの法則 . . . . .	72