

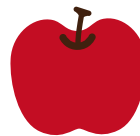
$$ma = F$$

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

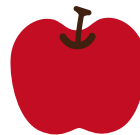


# 高校物理を振り返る 力学編

anmitsu48



*universal gravitation*



## まえがき

学部時代に高校物理のことを振り返ることになったことがこのノートの作成のきっかけであった。本ノートは私が東大合格を目指して河合塾で予備校生活を送っている際に作成した物理のノートをベースとしている。当時（2016 年度）、ノートの作成にあたり参考にしたのは、駿台の山本義隆先生が書かれた『新・物理入門』[1]、ウェブサイト「高校物理の備忘録」(<https://physnotes.jp>) [2] と、河合塾のテキストと授業ノートである。このノートは浪人生であるにもかかわらず、受験勉強をほったらかして作ったノートで、基本的には高校で習う数学で理解可能な物理の理論だけがただ書かれているノートであった。基本的には『新・物理入門』を自学自習し、その内容を整理したものである。ただ入試で高得点を取るためのテクニックを習得するのではなく、物理学の本質を（高校数学のレベルで理解可能な範囲は）理解するのが重要であるという考えの下で作成した。実際は受験勉強からの逃避が主な目的であったが。

そのノートを 2018 年春から、大学で習ったことや、アルバイトで貯めたお金で買ったその他の物理の参考書（本ノート作成にあたり参考にした書籍は後述の「参考文献」に記す。）を参考に加筆・修正して、本ノートを作成した。ただ自分の気の向くままに書き続けているため、いまだに完成はしていない。

さて、本ノートの流れだが、色々と考えた結果、河合塾の『物理のエッセンス』[3]<sup>(1)</sup>の流れをベースとすることにする（ただし、剛体に関する記述は一番最後とする）。また、本ノートでは高校の数学 3 の内容の理解を前提として論を展開する。そのため、「必要に応じて」ではなく「必要であるため」、高校の物理の教科書では使用されない微分・積分を適宜利用する。微分・積分を使用するのは、私自身も微分・積分の導入により近いが進んだためである<sup>(2)</sup>。「微積分物理」だから高校物理の

---

(1) 『物理のエッセンス』は受験勉強を始めた段階で最初に手をつける物理の参考書としては適切なレベルであると思われる。上位大学を目指す受験生なら、『物理のエッセンス』レベルの内容は秋の模試までにはある程度は理解できているのが望ましい。しかし、実際はそうではないということ、本ノートの作成中に痛感している。

(2) 私の高校時代の 3 年生の時の物理の先生（佐藤先生）は必要ところで微分や積分を用いて授業を行っていた。浪人時代の杉山先生の授業も、高校物理では「微積分物理」と呼ばれる方法で授業をしていた。高校 2 年生の時の物理基礎の授業の担当教員は、佐藤先生ではなかった。その先生は、頑張って微分や積分を避けようとしていて、私は、イマイチ教科書の内容、受験に役立つテクニックを完璧に理解できなかった。私の卒業した高校は公立高校で、数 2 の微積分は 2 学期

力学を理解できたのかどうかはわからない。ただ、間違いなく微分・積分の考えの導入は、私にプラスの影響を与えて、私の物理の理解を促進させたと思っている。

本ノートには高校物理で習う内容、または高校物理の知識だけで考えることが可能な発展的な内容しか載せないつもりである。教科書や参考書とは違い、力学分野の内容の本質を中心に記すことを目指し、うわべだけのことはできるだけ記さないように努めた。力学の本質を論じるうえで必要な数学のうち、高校の数学 3 までに習う内容は何の断りもなく利用する。それより高度な数学、大学で習う数学については高校の数学 3 をベースに導入の議論をしっかりと記述してから利用する。微分積分や行列、微分方程式など高校物理の教科書では出てこないような数学を利用した議論を展開していくが、本論あるいは付録部分に詳細な説明を載せるので、適宜参照して頂ければ内容を理解できると考えている。

本ノートのタイトルは「高校物理を振り返る」であるが、高校物理の教科書のレベルを遥かに逸脱するレベルの議論を展開する。このようなノートの作成を通して、高校レベルの力学を自分なりに再構成することができ、そして物理の面白さを感じることができた。読者の方も本ノートを読み、物理の面白さを少しでも理解できると幸いである。

anmitsu48

2022 年 8 月 21 日

---

の後半から扱った。そのため、物理基礎の授業で先生が微分積分を使うことはなかった。

# 目次

まえがき	i
第 1 章 運動の記述	1
1.1 座標系	1
1.1.1 質点	2
1.1.2 1 次元の場合	3
1.1.3 2 次元の場合	3
1.1.4 3 次元の場合	4
1.1.5 位置ベクトル	4
1.2 速度と加速度	4
1.3 等加速度直線運動	4
1.4 落体の運動	4
1.5 放物運動	4
1.6 相対運動	4
参考文献	5



# 第 1 章

## 運動の記述

第 1 章では力学で一番重要な運動の記述法について考える。「力学は運動方程式が全て!!」と教える先生は多いかもしれない。しかし、運動方程式を導入するより前に運動自体をどのように記述するかが重要になる。そこで、第 1 章では、今後の議論の基盤となる、座標系、速度、加速度の概念を導入し、簡単な運動について位置や速度、加速度の時間変化を追跡する方法を示す。

### 1.1 座標系

物体の運動を考えるためには、物体の位置をどう記述するかを決める必要がある。



図 1.1 Google Map で「国会議事堂」と検索した結果（検索日：2022/8/20）

地球上の位置を表現する際は緯度と経度が利用される。Google Map で「国会議事堂」と検索し、国会議事堂の位置を右クリックすると、国会議事堂の位置の緯度と経度が図 1.1 のように表示される。図 1.1 では国会議事堂の緯度は（北緯）35.67603 度で、経度は（東経）139.74478 度であると表示されている。

この 35 度や 139 度という値は地球上のどこかを 0 度としたときの値である。位置を定義するには位置の基準が必要となり、その基準として**原点 O** が導入される。そして、原点 O に対し、各点がどのような位置にあるかを、1 次元的な問題を考える際は 1 つの値、2 次元的な問題を考える際は 2 つの値、3 次元的な問題を考える際は 3 つの値を用いて記述する。

### 1.1.1 質点

1.1.1 節では文献 [4] の記述に基づいて「質点」という概念を説明する。力学において物体の運動を記述する際、その位置の表現方法として最も単純なものが**質点**による表現である。この質点の考えでは、物体の形状や大きさを無視してある一点に物体の力学的な特性（質量など）が集中していると考ええる。

基本的に高校物理の力学分野に出てくる題材は大きさをもつ。ただ、物体の形が時間的に変化しない場合には代表点の位置を把握すれば物体の位置の変化を追跡するには十分である。この点については、大きさをもった物体を質点の集まりとみなした場合に、その重心はその物体の全質量に等しい質量をもつ質点の運動と等価であることを示せることが保証してくれる。この性質は剛体の部分の話で再度紹介する。

また、対象とする系の大きさに比べて、物体の大きさが十分小さい場合には質点とみなすことは適切といえる。高校物理の力学分野では万有引力や天体の運動の話が登場する。天体の大きさは何千キロのサイズであるが、太陽の周りの交点などを考える場合は、その交点が起こる空間のスケールはこの天体の大きさよりも十分大きいので、天体自身を点（質点）とみなすことは適切といえる。

以上の理由からこの後の議論では物体は質点とみなして議論を進める。

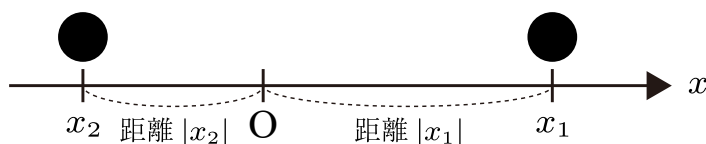


図 1.2 1次元上の物体の位置の表現方法

### 1.1.2 1次元の場合

1次元的な運動は直線上の運動である。直線上の位置の記述は数直線の考えを適用することができる。適当な位置に原点を設定し、その後で正の方向を設定すれば、図 1.2 のように、1次元座標系の設定ができる。原点に対して正の方向に  $x_1 (> 0)$  で表される点があるとき、その点と原点の距離は  $|x_1| = x_1$  である。逆に、原点に対して正の方向に  $x_2 (< 0)$  で表される点があるとき、その点と原点の距離は  $|x_2| = -x_2$  である。このように原点からの距離を用いることで1次元的な運動をする物体の位置を表すことができる。

### 1.1.3 2次元の場合

2次元的な運動は平面上の運動である。平面上の位置の記述には2つの量が必要となる。適当な位置に原点を設定した後に原点で直交する2軸（この2軸を  $x$  軸と  $y$  軸とする）を設定する。2軸を使った位置の記述方法としては次の2つの方法がある。

- 直交座標系による表現：原点から  $x, y$  それぞれの方向にどれだけ移動した位置であるかを基に位置を表す。
- 極座標系による表現：ある点の原点からの距離と、原点とその点を結ぶベクトル（位置ベクトル）とある1つの軸がなす角度の2つの量を利用して位置を表す。



#### 1.1.4 3次元の場合

#### 1.1.5 位置ベクトル

### 1.2 速度と加速度

### 1.3 等加速度直線運動

### 1.4 落体の運動

### 1.5 放物運動

### 1.6 相対運動

## 参考文献

- [1] 山本義隆『新・物理入門（駿台受験シリーズ）増補改訂版』（駿台文庫）
- [2] 「高校物理の備忘録」<https://physnotes.jp>
- [3] 浜島清利『物理のエッセンス 力学・波動 四訂版（河合塾シリーズ）』（河合出版）
- [4] 山内恭彦『一般力学 増訂第 3 版』（岩波書店）