

1880年代から1890年代の欧米の物理学教科書における
運動の第二法則・力の公式・力の絶対単位の関係

On the treatment of the Second law of motion, a formula of force and the absolute unit of force
within Physics Textbooks in Western from the 1880s to the 1890s

○市毛幸太郎¹, 雨宮高久²

*Koutarou Ichige¹, Takahisa Amemiya²

Abstract: There are differences about the Second law of Motion, a formula of force (equation of motion) and the absolute system of force in Western physics textbooks published from the 1880s to the 1890s. The explanation of the Second law of motion within these textbooks can be classified into two patterns as follows: (1) direction of force and (2) relationship of force, mass and acceleration.

1. 背景と目的

ニュートン I. Newton (1642-1727) が 1687 年に刊行した『自然哲学の数学的諸原理(プリンキピア)』^[1]は、古典力学を体系化した最初の大著として知られている。ところが『プリンキピア』では、運動の第二法則が「運動の変化は加えられた動力に比例し、かつその力が働いた直線の方向に沿って行われる」と説明されており、これを現在理解されている「運動の第二法則」=「運動方程式 $m\vec{a} = \vec{F}$ 」と解釈することは難しい。『プリンキピア』における運動の第二法則については、科学史家の中でもさまざまな解釈が発表されてきており、現在でもニュートンの手稿の解読は科学史研究の対象となっている^[2]。一方、運動の第二法則が運動方程式と解釈された年代と背景に関する研究も行われている。直近で学術誌に掲載された先行研究としては、例えば『日本物理学会誌』に掲載された塚本浩司の研究が挙げられる^[3]。塚本は英国の物理学教科書における運動の第二法則の変遷を調査し、トムソン W. Thomson とテイト P.G. Tait が 1867 年に刊行した *Treatise on Natural Philosophy* が現在の認識である「運動の第二法則」=「運動方程式」の形を普及させた物理学教科書であると論じている。このほか、当研究室の先行研究からは、日本では 1892(明治 25)年に刊行された酒井佐保著『酒井物理学教科書』を境に、運動の第二法則に力の公式(現在の運動方程式)が組み込まれ始めたことが判明している^[4]。また、酒井が教科書を執筆する際に参考にした教科書を明らかにするべく、1880年代から1890年代の欧米の物理学教科書を比較した。その結果、上記トムソンとテイトの物理学教科書が刊行された 1867 年以降の教科書で、運動の第二法則と力の公式の説明や関係には統一性が見られなかった^[5]。そこで本発表では、計 12 冊の欧米の物理学教科書における運動の第二法則と力の公式、そして力の絶対単位の関係について調査し、内容を比較した結果を報告する。

2. 調査対象

今回調査した教科書を表に示す。なお、調査対象とした教科書は High School および College などで使用されたもので、酒井の教科書が刊行された 1892 年前後に刊行されたものを任意に選出した。

Table 1. The author, title and publication year of physics textbooks

Author	Textbook title	publication year
N. Arnott	<i>Elements of Physics or Natural Philosophy seventh edition</i>	1880
C. Cooley	<i>The new Text-book of Physics an Elementary Course in Natural Philosophy designed for use in High schools and Academies</i>	1880
A. P. Deschanel	<i>Elementary Treatise on Natural Philosophy fifth edition</i>	1880
A. P. Gage	<i>Elements of Physics for high school and academies first edition</i>	1882
J. D. Everett	<i>Elementary Text-book of Physics second edition</i>	1883
C. F. Brackett & W. A. Anthony	<i>Elementary Text-book of Physics fourth edition</i>	1888
A. P. Gage	<i>Introduction to Physical Science</i>	1890
J. D. Quackenbos	<i>Appleton's School Physics embracing the results of the most recent researches in the several departments of natural philosophy</i>	1891
D. Olmsted	<i>An introduction to Natural Philosophy designed as a Text-book in Physics for the use of students in college fourth edition</i>	1891
F. W. Merchant & C. Fessenden	<i>High School Physical Science Part I / Supplement to High School Physical Science</i>	1895/1899
E. L. Nichols & W. S. Franklin	<i>The Elements of Physics A College Text-Book</i>	1896

3. 各教科書における運動の第二法則・力の公式・力の絶対単位「ダイン」の比較

3-1. 力の公式と運動の第二法則の関係性

今回調査した教科書における運動の第二法則は、すべてニュートンが提唱した運動の法則として説明されていた。つ

1: 日大理工・院(前)・物理 2: 日大理工・教員・物理

まり、前述した『プリンキピア』における運動の第二法則が前提とされている。ただし、その説明の記述を確認すると、大きく3種類に分類できる。それは、(1)力の合成と分解を論じるために「力の向き」に焦点をあてたもの(Arnott(1880), Cooley(1880), Deschanel(1880), Gage(1882), Olmsted(1891)), (2)「運動の変化」を「運動量の時間変化」と見なして、「力・質量・加速度の関係(力の公式)」を論じたもの(Everett(1883), Gage(1890), Quackenbos(1891), Merchantら(1895), Nicholsら(1896)), (3)その両方を取り扱ったもの(Brackettら(1888))である。ただし、仮に(1)の場合であっても、力の公式が運動の第二法則とは無関係に説明されている教科書も発見できた(Cooley(1880), Gage(1882), Olmsted(1891))。つまり、トムソンとテイトの教科書が刊行された後にも、運動の第二法則が $F = ma$ と見なされていない教科書が存在していたことになる。ただし、ほとんどの教科書は上記(2)に該当し、運動の第二法則を「力・質量・加速度の関係」の裏付けとして位置づけている。換言すれば、 $Ft = mv$ や $F = ma$ という関係を、実験などに基づいて説明した前後で、第二法則を「運動量の時間変化が力に比例する」と解釈していた(Brackettら(1888), Gage(1890), Quackenbos(1891), Merchantら(1895))。そこには、ニュートンと『プリンキピア』という「古典力学の権威」を、力の公式の根拠としていた様子がうかがえる。他方で、NicholsとFranklinの教科書では運動の第二法則は「実際は力の定義」であるとされ、 $F = m\dot{v}$ という公式が紹介されていた。

3-2. 絶対単位「ダイン」と力の公式の関係性

$Ft = mv$ や $F = ma$ という公式が紹介されている教科書は、今回調査した教科書の中では8冊あったが(Cooley(1880), Gage(1882, 1890), Brackettら(1888), Quackenbos(1891), Olmsted(1891), Nicholsら(1896), Merchantら(1899)), そのうちの7冊で力の絶対単位について解説があった。例えばQuackenbosの教科書では、運動の第二法則を踏まえて $ma \propto F$ という関係が述べられた後、力の絶対単位である「dyne」と、力の公式 $F = ma$ が合わせて導入されている。その一方で、Everettの教科書では「地表全体で重力が一定ではないため、ある程度は不確定である」が、商業目的には不自由がないという理由から、教科書全体が重力単位系で論じられており、「絶対単位」は一切登場しない。だが、運動の第二法則をみると、「同じ物体に2倍の力を加えれば2倍の加速度が生み出され、同じ力を2倍の大きさの物体に与えればその半分の加速度が得られる」とあり、力と加速度の比例関係および質量と加速度の反比例関係があることが分かる。ただし、この関係が等式で論じられることはなく、絶対単位を取り扱わないほとんどの教科書では、「力・質量・加速度の関係」が比例・反比例の関係のみで取り扱われていた。なお、例外として、Colleyの教科書では絶対単位系の説明はなかったが、「力・質量・加速度の関係」が等式として紹介されている。ただし、説明の中では「瞬間的な力」を $f = m \times v$ として論じ、「一定の力」を測定する場合には v を加速度に置き換える指示がなされていた。

4. まとめと今後の課題

今回調査した12冊の教科書は一番古いもので1880年に出版されたものであったが、運動の第二法則の記述には統一性がなかった。また、現在のような「運動の第二法則」=「 $F = ma$ 」という説明のものはNicholsとFranklinの教科書1冊のみであり、トムソンとテイトの教科書にある運動の第二法則と力の公式に関する説明が、同年代には完全に普及していなかったということが分かる。また、運動の第二法則と力の公式の関係に注目すると、運動の第二法則の解釈として力の公式が紹介されているものと、実験や経験によって力の公式が導出され、式の信憑性を持たせるものとして運動の第二法則が紹介されるものがあった。この2つは1883年と1888年に境界があるように思われる。ただし、今回の調査では教科書のレベルや著者の経歴による記述の違いまでには注目できていない。そのため、今後は教科書のレベルや著者の経歴にも焦点を向けて、運動の第二法則と運動方程式の関係の変遷を明らかにしたい。

5. 文献

- [1] アイザック・ニュートン著、中野猿人訳：『プリンシピア 自然哲学の数学的諸原理』講談社、1977年。
- [2] 有賀暢迪：「ニュートンの運動の第2法則 –『プリンキピア』の基本原理解の二つの解釈–」科学哲学科学史研究 No.14, pp.49-68, 2020年。
- [3] 塚本浩司：「運動の第2法則はいつから運動方程式となったか？—19世紀英国の物理学教科書に見る力学概念の変遷」日本物理学会誌 Vol.75, No.9, pp.584-586, 2020年。
- [4] 雨宮高久、田中啓介、植松英穂：「明治・大正・昭和時代の物理学教科書における力の単位・計量・概念」計量史研究 Vol.36, No.1, pp.23-35, 2014年。
- [5] 市毛幸太郎、雨宮高久：「1880年代から1890年代の教科書における運動の第二法則の日本と欧米の比較」(O-21), 令和元年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp.1056-1057, 2019年。