

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

Comparison of the Second Law of Motion in Physics Textbooks between Japan and Western in the 1880s to 1890s

○市毛幸太朗¹, 雨宮高久²*Koutaro Ichige¹, Takahisa Amemiya²

Abstract: In Japanese physics textbooks issued at the Meiji era, Sukeyasu Sakai's physics textbook explain the detailed concept of the Second Law of Motion and the absolute unit of Force (Dyne). Compare with Western physics textbooks, the explanation of the Second Law of Motion is different between Sakai's and Western. Sakai used several physics textbooks as a reference when writing his textbook.

1. はじめに

現在、「運動の第二法則」は実質的にニュートンの運動方程式 $m\vec{a} = \vec{F}$ のことを指すと理解されているが^[1], 明治時代初期の物理学教科書において、運動の第二法則は力が物体に単数または複数働く場合に力がもたらす効果が同じであることを示したものと捉えられ、「數力の作用」や「衆力ノ作用」という名称がつけられていた。それが1890(明治23)年頃の教科書から、記述が徐々に変化していくことになる。特に、1892(明治25)年に刊行された酒井佐保著『酒井物理学教科書』^[2]では、「運動の第二法則」は「一定時間に生ずる運動量の變更は力に比例し、その力の方向に起こる」と説明され、その中で「力の絶対単位」であるCGS単位系の「ダイン」が導入されていた。酒井は教科書の序文で、米国の教育者アルフレッド・ゲージ A.P.Gage(1836-1903)の教科書の順序に準拠したと述べている。そこで、ゲージが書いた教科書 *Introduction to Physical Science*(1886年)^[3]を確認したところ、運動の第二法則に関する説明の順序には類似性が確認できたものの、説明の記述自体には細かな違いが見られた。例えば、酒井の教科書では「運動の第二法則」が「一定時間に生ずる運動量の變更は力に比例しその力の方向に起こる」と論じられているのに対して、ゲージの教科書では「運動量の変化は力が作用する方向にあり、その強度と作用する時間に比例する」となっていた。このことから、酒井は教科書を執筆する際に、ゲージの教科書以外の同時期の物理学教科書も参考にした可能性があることが判明した^[4]。

以上を踏まえて、本発表では酒井やゲージと同時期の欧米の物理学教科書であるジョン・カッケンボス J.D.Quackenbos 著 *SCHOOL PHYSICS*^[5], エヴェレット J.D.Everett 著 *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*^[6], ブラケット C.F.Brackett とアンソニー W.A.Anthony の共著 *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*^[7]の3冊における「運動の第二法則」や「力の単位」の説明を調査し、『酒井物理学教科書』との共通点や相違点について考察する。

2. 欧米の教科書での運動の第2法則

2-1. J.D.Quackenbos : *SCHOOL PHYSICS*

片山淳吉が日本で最初の物理学教科書である『物理階梯』(1872(明治5)年)を執筆する際に参考にしたとされる教科書のひとつとして、ジョージ・カッケンボス G.P.Quackenbos が著した教科書 *Natural Philosophy*(1870年)がある^[8]。ジョージ・カッケンボスの息子であるジョン・カッケンボスも1891年に物理学教科書 *SCHOOL PHYSICS* を出版している。*SCHOOL PHYSICS* において、運動の第二法則は「運動の変化は加えられた力に比例し、力が作用する直線の方に発生する」と説明されている。J.D.カッケンボスは「力の効果の方向と量に関する普遍的な経験は、ニュートンの運動の第二法則の中で述べられている」として、『自然哲学の数学的諸原理(プリンキピア)』^[9]で運動の3法則を論じたニュートン I.Newton の名前を挙げている。また、この説明に加えて「この(運動の第2)法則での『運動の変化』は、特定の質量の物体に対する力の作用によって生成される加速度と質量の積を意味している」と述べており、(力の作用)=(質量)×(加速度)という関係が読み取れる。また、同書では運動の第二法則が説明されている章の中で、力の絶対単位である「ダイン」が説明されている。そこでは「力の単位—C.G.S.において—は、1グラムの質量で毎秒1センチメートルの加速度を生成できる力である」という説明のもと、力の公式として $F = Ma$ という式が計算例と共に紹介されていた。

2-2. J.D.Everett : *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*

英国クイーンズ大学ベルファストの教授であったエヴェレットは1877年に *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS* を刊行している。今回は同書の1883年版を調査した。*ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS* では「地表全てで重力が同じではないため、ある程度不確定であるが、商業的目的には十分である」という理由から、重力単位による議論が

1 : 日大理工・院(前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理

展開されており、「ダイン」に関する説明は一切登場しない。一方、運動の第二法則については「ニュートンの第二法則は、物体に作用する力によって生じる運動の変化に関係している」とある。また、「静止していた物体に大きさと方向の両方が一定の力が作用するとき、その物体は絶えず増加する速度で直線的に動く。それ(物体)が動く直線は力の方向と同じであり、その速度は運動が持続した時間に比例して増加する」という等加速度運動の説明が登場する。さらに、「質量(物質の量)」についての説明が以下のように書かれている：

・・・加速度の大きさは、一部は力に依存し、一部は物体(body)に依存する。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加速度が得られる。与えられた物質中の物質の量(The quantity of matter in a body)は、力と加速度を知ることから決定することができる。・・・物体は、等しい力で作用したときに等しい加速度を受けると「質量が等しい」と言える。

同教科書では「ダイン」が用いられていないため、「質量」と「加速度」、「力」のあいだの関係は明確に記載されていないものの、上記3つの物理量のあいだの関係は論じられていた。

2-3. C.F.Brackett・W.A.Anthony : *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*

米国のコーネル大学教授アンソニーとニュージャージー大学教授ブラケットによって書かれた教科書 *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS* の1888年版も調査した。同書では「実用的な力の単位はダインである」という理由から、力の単位には絶対単位が早々に採用されている。また第二法則の中に「方程式 $F = ma$ で表される関係は、ガリレオによって落下物体の法則として初めて示された」という説明があり、その後ニュートンの運動の法則として「法則-2.運動の変化は加えられた外力に比例し、力が作用する直線の方に発生する」が登場する。さらに第二法則については詳しく書かれており、「この第二法則は第一に力の測定が従う命題を示し、第二に運動の変化と力の方向の同一性を示している」という説明のあと、この中で使われている「運動」という言葉が「運動量」と同じ意味であることが指摘されている。なお、この第一については力の式、すなわち $F = ma$ を導出するために利用され、第二は物体に対し複数の力が作用する可能性について言及しており、力の平行四辺形を導くのに利用されていた。またこの教科書では、力と質量、加速度の関係について、「何らかの加速度で物体が動いている場合、物体に作用する力は物体の質量と加速度の積によって完全に表現される」と述べられていて、この記述から(力)=(質量) \times (加速度)という関係が示されていた。

3. まとめと考察、今後の課題

今回調査した3冊の教科書は運動の第二法則を説明する際、ニュートンの運動の3法則のひとつとして紹介していた。そのうち、カッケンボスとエヴェレットは第二法則を「運動の変化」と表現しているが、ブラケットとアンソニーは「運動」を「運動量」のことでありと補足している。なお、ブラケットとアンソニーの教科書における運動の第二法則の説明、つまり運動の第二法則を「力と質量、加速度の関係」と「単数と複数の力の効果」に分けて論じている点は、酒井の教科書と類似していた。酒井も運動の第二法則の「其一」を「運動量の変更」とし、「其二」を「数力の作用」として説明している。しかし、酒井の教科書では運動の第二法則の中で「ダイン」が紹介されているのに対して、ブラケットとアンソニーの教科書では絶対単位の記述が教科書の序盤で登場している。このことから、酒井は教科書を書くにあたって、ブラケットとアンソニーの教科書も参考にした可能性が考えられる。しかし記述内容が完全に一致はしていないことから、酒井は多数の教科書の内容を踏まえて、教科書を執筆したと推察される。今後も調査を継続し、国内の教科書における運動の第二法則の変遷を明らかにしたい。

4. 文献

- [1] 『改定版物理学辞典縮刷版』培風館, p. 143, 2002年.
- [2] 酒井佐保：『酒井物理学教科書』富山房, 1892年.
- [3] A.P. Gage : *Introduction to Physical Science*, Ginn & Co., 1886.
- [4] 市毛幸太郎, 雨宮高久：「アルフレッド・ゲージの物理学教科書における力の測定と運動方程式の関係について」(12pB21-1), 日本物理学会 2019年秋季大会概要集, p. 2830, 2019年.
- [5] J.D. Quackenbos : *SCHOOL PHYSICS*, AMERICAN BOOK COMPANY, 1891.
- [6] J.D. Everett : *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*, BLACKIE & SON, 1883.
- [7] C.F. Brackett, W.A. Anthony : *ELEMENTARY TEXT-BOOK OF PHYSICS*, JOHN WILEY & SONS, 1888.
- [8] 岡本正志：「『物理階梯』の編者片山淳吉の生涯」科学史研究 Vol.24, No.154, pp. 84-94, 1985年.
- [9] 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.