

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2012

課題番号：20500873

研究課題名（和文）18世紀における流体力学の理論的発展に関する歴史的研究

 研究課題名（英文） Historical Study on the Theoretical Development of Fluid  
Mechanics in the Eighteenth Century

研究代表者

伊藤 和行 (ITO KAZUYUKI)

京都大学・大学院文学研究科・教授

研究者番号：60273421

研究成果の概要（和文）：

本研究では、18世紀における力学の発展過程を、流体力学の誕生を中心に考察した。古典力学は17世紀に誕生したと言われるが、力学の二つの基本的なアプローチである、運動方程式と保存量（エネルギー、運動量、角運動量）が登場したのは18世紀のことである。流体などの運動の問題解法における両者の方法は統一的には扱われていないこと、そして両者の発展には、座標系や多変数関数の微積分の登場が密接に関わっていたことを検討した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, I have considered the development process of mechanics in the Eighteenth century, particularly the birth of fluid mechanics. Although classical mechanics is said to appear in the Seventeenth century, it is the Eighteenth century that its two basic approaches – equation of motion and conserved quantities (energy, momentum, and angular momentum) have appeared. I have examined that these approaches haven't been treated integrally in solving the problems on motions of body such as fluid, and that their developments have had close relations with the appearance of coordinate system and calculus of multivariable functions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：西欧近代科学史

科研費の分科・細目：科学社会学・科学技術史，科学社会学・科学技術史

キーワード：力学史，流体力学，エネルギー，運動方程式，活力，ベルヌーイ，オイラー，ラグランジュ

## 1. 研究開始当初の背景

古典力学史は、科学史研究の中でもっと

も歴史が古く、19世紀にはヒューエルの『帰納科学の歴史』（1837）やマッハの『力学の

発達』(1883)がすでに現われている。しかし研究の多くは、ガリレオやニュートンといった17世紀科学革命を担った科学者に関するものが圧倒的に多く、18世紀に関する研究は1980年代まで遅れていたと言えよう。その背景には古典力学はニュートンの『プリンキピア』によってその基礎が築かれ、それ以後の発展はその単なる精緻化とみなされていたことが挙げられる。申請者自身、ガリレオの運動論を力学史研究の出発点に据え、ホイヘンスやニュートンの力学へと研究を進めたが、その中で彼らの力学は我々のものとは大きく異なる性格のものであることに気づき、18世紀へと研究対象を広げてきた。実際この研究の展開は1990年以降の18世紀力学史の興隆に導かれたものである。

前回の補助金を受けた研究「18世紀における古典力学の体系化に関する歴史的研究」(基盤研究(C)、課題番号:14580004,2002-2005)では、オイラーにおける運動方程式の定式化の過程を1730年代から1760年代まで辿った。その研究成果を踏まえ、今回の研究では、運動方程式と保存量という二つの力学の基本的アプローチがどのような関係にあったのかという問題を中心に検討することを考え、研究領域を質点の運動から、18世紀力学の特色である質点系の力学、とくに流体の力学へと広げて検討することを意図した。

## 2. 研究の目的

18世紀力学史研究は、オイラーの力学の研究者であるトゥルーズデルによる先駆的研究を除けば、ほとんどが1980年以降に現われている。それらは18世紀力学の特色として次の点を明らかにしている。第一に、18世紀における力学は、ニュートンが幾何学的技法によって展開した理論を単に解析的にしただけでなく、運動方程式の成立過程では、力学の基本的な解法が大きく展開している。第二に、研究対象が、質点の運動から、質点系すなわち、剛体や流体、そして振動弦の運動などに広がっている。第三に、保存量による解法、すなわち運動エネルギーや運動量、角運動量の保存則が導入されている。

以上のような近年の研究を踏まえ、本研究では保存則がもっともよく用いられ、惑星の運動理論や剛体の運動、弦の振動とともに、18世紀力学における中心的な研究対象だった流体力学を主要な研究対象とする。18世紀において流体力学は力学の中でもっとも大きな変貌を遂げた分野であった。ヨハンとダニエルのベルヌーイ親子による「ベルヌーイの法則」の発見、そして流体に関する「オイラーの運動方程式」、「ラグランジュの運動方程式」の定式化によって、17世紀にほと

んど見るべきものがなかった領域が解析的科学として姿を現わしたのである。しかし流体力学の誕生に関する歴史的研究は、惑星運動に代表される質点の運動や剛体の運動に関する研究と比べてまだ非常に少ないのが現状である。

本研究では、流体力学を中心に、保存則(「活力」すなわち運動エネルギー、運動量、角運動量)による研究方法の発展を辿るとともに、運動方程式による研究方法との相互関係、さらには力学の基本原則がどのように捉えられていたのかを解明することを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究の研究方法としては、18世紀における力学に関する一次史料の読解を中心とするきわめてオーソドクスのものであって、その点においては独創的なものではないと考えている。しかし前回の研究「18世紀における古典力学の体系化に関する歴史的研究」において、オイラーを中心に18世紀の力学著作を読解して、当時の研究者の発想法についてある程度の知識を得ており、それを基盤として読解を進めることによって、より彼らの発想に迫ることができるものと考えた。また申請者は17世紀力学史研究を出発点としており、随時、ガリレオ、ホイヘンス、ニュートンらの著作を参照することによって、18世紀とりわけ前半に活躍したベルヌーイ親子やオイラーといった研究者たちの学問的背景を踏まえて、彼らの研究を歴史的に理解することを試みている。

具体的な考察対象としては、ヨハン・ベルヌーイ、ダニエル・ベルヌーイ、マクローリン、クレーロー、オイラー、ラグランジュらの流体力学を中心とした力学に関わる論文および著作が挙げられる。

## 4. 研究成果

本研究の成果としては、以下の4つの点にまとめられる。

### (1) 「ベルヌーイの定理」と18世紀流体力学における位置付け

「ベルヌーイの定理」は、流体力学において最初に定式化された基本法則として知られるが、発見者のベルヌーイ親子における導出方法を比較検討することによって、運動方程式による方法と、保存量を用いる方法とが併存していた18世紀前半の研究状況を考察した。息子ダニエル・ベルヌーイが「活力」(運動エネルギー)の保存を用いるという当時一般的な手法を用いていたのに対し、父ヨハン・ベルヌーイは「活力」の概念を用いた

間接的な方法によってではなく、力学の基本法則すなわち運動方程式から直接、流体の運動に関する理論を導くことを試みている。ここでは「活力」の保存則と運動方程式が同一の問題に適用されており、両者がどのように当時の研究者にとって捉えられていたのかを知る上で重要な事例が提示された。

#### (2) 運動方程式の定式化と座標概念

1740年代後半のオイラーによる運動方程式の定式化は座標概念の成立と密接な関係を持っていた。空間に固定された直交座標の概念を本格的に導入されたのは、クレローの地球の形態に関する流体の平衡をめぐる静力学的な考察においてである。その際には、同時に多変数関数の微分、とりわけ全微分概念が未熟な形ではあるが登場し、静力学的平衡の考察と密接な関係を持っていることが明らかになった。オイラーによる運動方程式の定式化は、このクレローの試みとほぼ同時期であるが、どのような影響関係があったのかという問題が今後の問題である。18世紀力学の特徴が質点系の力学であることを考えるとき、多変数関数の微積分の発展過程の検討は力学史にとっても重要な課題と考えられる。

#### (3) 17世紀力学の影響

18世紀力学は、流体力学も含めて、ニュートンの『プリンキピア』を出発点としていたが、同時に、重力下の運動に関してはガリレオも大きな影響を与えていたことが指摘される。たとえばダニエル・ベルヌーイは運動方程式を基本原理と考えたが、それを「ガリレイの原理」と呼んでいたことを指摘した。ガリレオ力学の影響は「活力」の保存則と、加速運動の数学的理論化という二つの側面においてあったことは、ラグランジュが『解析力学』の中で述べているが、具体的な事例に基づいて検討中である。ニュートンだけでなく、ガリレオやホイヘンスを含む17世紀力学の影響について総合的な考察が求められる。

#### (4) 力学の二つのアプローチと今後の課題

オイラーが1740年代後半における運動方程式の定式化は、様々な分野に共通する一般的な解法を築くプログラムと捉えられ、流体力学における「オイラーの方程式」もその一環だった。ラグランジュも、このオイラーのプログラムに倣いつつも、仮想変位の方法や速度ポテンシャルの導入によって、保存量の基づく新たな方法を提出している。運動方程式と保存量という二つのアプローチは、オイラーとラグランジュという二人のプログラムの基盤となったが、両者を統合的に捉える視点は18世紀には見いだすことができない。

オイラーに関して言えば、彼は運動方程式を基礎としつつも、エネルギー積分の先駆と言われる方法を用いている一方で、決して「活力」という言葉を用いず、その方法を保存量の概念に結びつけなかったことが指摘される。両アプローチの歴史的な位置付けに関しては、エネルギーおよびポテンシャルの概念が成立した19世紀力学の視点からの考察が必要であると考えられる。本研究では、主として17世紀力学の影響という観点から考察を行なったが、今後の課題としては19世紀力学との関係という視点からの研究が挙げられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 伊藤和行, Turesdellと18世紀力学史. 科学哲学科学史研究, 7, 2013, 49-65, 査読無  
(<http://hdl.handle.net/2433/173333>)
- ② 伊藤和行, 18世紀前半の力学における「座標概念」, 科学哲学科学史研究, 6, 2012, 91-102, 査読無  
(<http://hdl.handle.net/2433/153494>)
- ③ Kazuyuki Ito, Galileo's Principle of Descending Motion along Inclined Planes, *Historia Scientiarum*, 21, 2011, 93-102, 査読有
- ③ 伊藤和行, 18世紀前半における力学の発展と流体力学の誕生, 京都大学数理解析研究所講究録, 1-15, 2011, 査読無  
(<http://hdl.handle.net/2433/171109>)
- ⑤ 伊藤和行, ヨハン・ベルヌーイ『水力学』における運動方程式, 科学哲学科学史研究, 4, 115-126, 2010, 査読無  
(<http://hdl.handle.net/2433/108691>)

[学会発表] (計7件)

- ① 伊藤和行, 18世紀力学におけるガリレオ, 日本物理学会2012年秋季大会, 2012年9月18日, 横浜国立大学
- ② 伊藤和行, レオンハルト・オイラーにおける「活力」概念, 日本物理学会2010年秋季大会, 2011年9月22日, 富山大学

- ③ 伊藤和行, 18世紀前半の力学における「座標」概念, 日本科学史学会年会, 2011年5月28日, 東京大学
- ④ 伊藤和行, ダニエル・ベルヌーイとレオンハルト・オイラー—力学の基本原理をめぐって—, 日本物理学会2010年秋季大会, 2010年9月25日, 大阪府立大学
- ⑤ 伊藤和行, 18世紀前半における力学の発展と流体力学の誕, RIMS 研究集会「オイラー方程式の数理: 力学と変分原理250年」, 2010年7月12日, 京都大学数理解析研究所
- ⑥ 伊藤和行, ダニエル・ベルヌーイにおける「力学の原理」, 日本科学史学会年会, 2010年5月29日, 東京海洋大学
- ⑦ 伊藤和行, ヨハン・ベルヌーイ『水力学』における運動方程式, 日本科学史学会年会, 2009年5月24日, 九州大学

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 和行 (ITO KAZUUKI)

研究者番号: 60373421