

力学史を問い直す：「機械学」と「運動論」の関係をめぐって

有賀暢迪¹

1. はじめに

・報告者の専門：物理学史・数理科学史、特に18世紀のヨーロッパにおける力学の展開

●そもそも力学（英 mechanics, 羅 mechanica）とは

- ・物体の運動とつりあいを数学的に論じる学問（動力学・静力学）
- ・物理学の基本 / 工学（土木、建築、機械など）への応用

●なぜ力学の歴史が重要か

- ・近代科学の自然観（自然現象を構成要素の運動に還元）の中核として（17世紀～）
- ・数学（特に微積分）を用いた自然現象の分析の先駆けとして（18世紀～）

→ 自然科学（特に物理学）のモデルに

●今日の報告の流れ

一般に、力学の歴史というと、「運動論」（動力学）に重点を置いて語られることが多い（2節）。ところが「力学」（mechanica）という言葉は元々、「運動論」ではなく「機械学」（静力学）という意味であった（3節）。このことを念頭に置くと、18世紀の力学についても新しい見方が出来るのではないか（4節）。

2. 力学の近代史：「運動論」の歴史として

一般に力学の歴史が語られるときには、「運動論」の歴史として述べられる傾向にある。ここでは、17世紀と18世紀のヨーロッパにおける力学＝「運動論」の発展を、ポイントを絞って紹介する。

| | 17世紀 | 18世紀 |
|-------|-------------------|--------------------|
| 時代 | 科学革命の時代 | 啓蒙の時代 |
| 主な人物 | ガリレオ、デカルト、ニュートン | オイラー、ラグランジュ |
| 数学 | 幾何学（比例論） | 解析学・代数学（微積分※） |
| 現象・問題 | 落下、衝突、振り子、惑星の公転など | 引力（中心力）、惑星の自転、振動など |
| 特徴・成果 | 個々の法則の発見 | 一般原理の探求、理論の体系化 |

※17世紀末にライプニッツ（Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716）が発明し、18世紀を通じてヨーロッパ大陸の数学者たちのあいだで広く使われるようになった。

¹ 日本学術振興会特別研究員 DC・京都大学大学院文学研究科博士後期課程
ariga.nobumichi@gmail.com

●ガリレオ (Galileo Galilei, 1564-1642, 伊)

- ・『新科学論議』(1638)の中で物体の落下運動について議論
- ・落下法則 (落下距離は時間の二乗に比例する)、投射体の描く軌道が放物線であること、など
- ・総じて、アリストテレスの運動論に対する批判

●デカルト (René Descartes, 1596-1650, 仏)

- ・『哲学の原理』(1644)の中で自然法則 (=運動の法則) について論じる
- ・慣性の法則、衝突の法則 (ただし経験と合わないことがやがて判明)
- ・いわゆる機械論哲学の基礎を打ち立てる

●ニュートン (Isaac Newton, 1642-1727, 英)

- ・『自然哲学の数学的諸原理』(1687, 通称『プリンキピア』)で、万有引力による天体の運動を議論
- ・運動の三法則、万有引力の法則、惑星運動に関するケプラーの三法則の導出
- ・地上の運動と天体の運動を等しく議論し、アリストテレスの自然観 (天と地の区別) を解消

●オイラー (Leonhard Euler, 1717-1783, スイス生まれ、ペテルブルクとベルリンで活動)

- ・一連の著書と論文で、今日「ニュートン力学」と呼ばれているものを事実上打ち立てる
- ・解析化: 力学の基礎として運動方程式 ($F=ma$ に相当する微分方程式) を採用
- ・体系化: 天体の運動や剛体・流体の運動を同じ原理・手法に基づいて論じた

●ラグランジュ (Joseph Louis Lagrange, 1736-1813, イタリア生まれ、ベルリンとパリで活動)

- ・『解析力学』(1788)で古典力学が一つの頂点に達する
- ・解析化: 図を一切使わず、代数的な操作だけで力学のさまざまな問題を解く
- ・体系化: 静力学と動力学を同じ原理から出発して扱った

※その後、19世紀における発展としては例えば次の事柄があるが、今回は割愛する。

- ・仕事とエネルギーの概念の導入
- ・回転座標系など、非慣性系の力学の発展
- ・ハミルトンやヤコビによる数学的理論形式の整備

3. 力学史の何が問題か: "mechanica"の変遷

「力学」(mechanica)という言葉の意味自体、実は17世紀のあいだに大きく変化している。それは概ね、「機械学」(静力学)から「運動論」(動力学)へ、とまとめられる。

| | 16-17世紀 | 18世紀以降 |
|---------|------------|-------------|
| つりあい | 機械学 | 静力学 |
| 運動 | (位置)運動 [論] | 動力学、(狭義の)力学 |
| つりあい+運動 | [なし] | (広義の)力学 |

●ガリレオ『新科学論議』再訪

- ・正式な書名：『機械学と位置運動という二つの新しい科学に関する論議と数学的証明』
- ・落下運動を含む「位置運動」は、「機械学＝力学」（*mecanica*）には含まれていない
- ・この本で論じられている「機械学」の問題：梁の挫屈（工学的・静力学的問題）

●16世紀のイタリアにおける"mechanica"＝「機械学」

- ・アリストテレス的な「機械学」の理解：
 - ・自然に逆らって実用的な何かをするための術（cf. 自然学）
 - ・単純機械（てこ（天秤）、滑車、輪軸、くさび、ねじ）や斜面など、つりあいの理論（静力学）
- ・関連する古典の復興と研究：
 - ・擬アリストテレス『機械学の諸問題』
 - ・アルキメデス『平板の平衡について』『浮体について』など
- ・ダル＝モンテ『機械の書』（1577）、ガリレオ『機械学』（1600前後）などの著作が書かれる

●デカルトにおける"mechanica"の反転

- ・自然＝機械のアナロジー、時計のメタファー（機械論哲学）
 - ・「機械」の新たな理解：
 - ・部分から構成された全体；パーツの動きが機械の本質（メカニズム）
 - ※「反自然の術」が「自然理解の鍵」に
- 機械の理論（静力学）としての"mechanica"が、運動についての科学として読み替えられる

●"mechanica"＝「運動論」の定着

- ・ニュートンは、自著（1687）の表題を"mechanica"とするのは時期尚早と感じた
 - ・しかし概ね18世紀初頭には、"mechanica"＝「運動論」が定着
 - ・ヴァリニョン『新しい力学、あるいは静力学』（1725）：
 - ・力の合成・分解について詳細に論じた最初の著作（ただし1687年に要約版が出ている）
 - ・「力学」（*mechanique*）は運動の科学とした上で、機械も対象になるとされている（論理の逆転）
- 18世紀には、単に「力学」と言えば数学的な運動の科学を意味するようになった

●「機械学」はどこに行ったのか

- ・土木、治水などの分野を中心に、「機械学」（静力学）は依然重要であったと思われる
 - ・オイラーを始め、18世紀の数学者たちも工学的・静力学的問題を論じていないわけではない
 - ・エコール＝ポリテクニクの設立（仏、18世紀末）：高度な数学と「機械学」が再接触？
- 現代の工学諸分野につながる発展

力学の歴史を考える上では、「運動論」（動力学）の伝統だけでなく「機械学」（工学あるいは静力学）の伝統も視野に入れておくべきではないか。

4. 18世紀力学史研究への含意

「機械学」としての力学への注目は、工学の歴史や技術史の立場からはもちろん重要だが、報告者が関心を持っているような理論史あるいは思想史にとっても有意義であると思われる。

a. 純粋な理論史研究の立場から見た場合、静力学は盲点

- ・力の合成・分解が18世紀前半には新しいものであったという事実
- 18世紀の学者たちが静力学の理論をどのように理解していたのか、意外なほど不明

b. ラグランジュ『解析力学』の歴史的意義についての再考

- ・静力学と動力学を同じ原理から出発して扱った（※）
- 「機械学」と「運動論」が歴史上初めて統一された、ということになるのではないか

※オイラーからラグランジュへ（報告者の研究成果）

- ・静力学と動力学の統一、という『解析力学』のモチーフは、すでにオイラーの論考の中に見出される。
（最小作用の原理：動力学の原理として語られるが、オイラーは静力学での役割も重視）
- ・ラグランジュは実際、こうしたオイラーの著作を研究することから出発している

●まとめ

もともと「機械学」（静力学）と「運動論」（動力学）は別の学問分野であるにもかかわらず、「力学」（mechanica）という言葉を通じて両者は結び付いてきた。この結び付きはラグランジュの『解析力学』によって実質的なものになったと考えられるが、そこに至るまでにはどのようなプロセスがあったのか。この問題は、力学の歴史を「運動論」の歴史として語っている限り、答えることができない。必要なのはむしろ、「機械学」と「運動論」の関わりの歴史として、力学の歴史を捉えることではないか。