

【2018年4月版】

入門講義 科学の歴史 第3回

## 科学革命の時代～ニュートンと「新しい」科学～

有賀暢迪 mail@ariga-kagakushi.info

### ■概要

17世紀のヨーロッパは、時に「科学革命」の時代とよばれる。この時期には、機械論哲学とよばれる新しい考え方が登場し、アリストテレス的な自然観とルネサンスの魔術的自然観の両方が退けられた。またそれと並行して、数学と実験が科学的探究の方法として重要な地位を占めるようになった。こうした新しいスタイルの科学研究の大部分は大学の外側で生まれ、科学の発展や社会の向上を目的とした協会やアカデミーが組織された。これらの「新しい」科学の成果は、18世紀になると一般向けの書籍や雑誌を通じて広く知られるようになり、「ニュートン主義」が流行した。

### ■科学革命——「新しい」科学の登場

#### ○ガリレオの数学的運動論

- ・アルキメデスから運動の科学へ
  - ・「幾何学的—軍事的コンパス」の製造・販売
  - ・斜面を使った実験
- ・落下運動の規則（『新科学論議』1638年）
  - ・落下運動の規則……落下距離は時間の2乗に比例する
  - ・投射体のパラボラ軌道……運動の合成の考え方によって証明

#### ○デカルトと機械論哲学

- ・『方法序説および三試論』（屈折光学・幾何学・気象学）（1637年）
  - 光の屈折とレンズの作用、解析幾何
- ・『哲学の原理』（1644年）
  - 自然の3法則……慣性の原理と衝突の規則
  - 渦動仮説……宇宙は微細な粒子で満たされ、それらが惑星を運ぶ
- ・機械論哲学……自然を一種の機械として捉える
  - 全体は部品（粒子）から構成；形や大きさと運動だけが重要
  - アリストテレス的な質は二次的；魔術的な作用の否定

## 人間に適用したさいの難問……心身二元論

### ○器具と実験——例：真空の問題

- ・アリストテレスもデカルトも、真空の存在を否定していた
- ・トリチェッリの実験とパスカルによる検討（1640年代）  
水銀柱の高さが標高や天候によって変化する → 気圧計の発明
- ・ボイルとフックの実験  
空気ポンプを製作し（1658年）、実験の成果を出版（1660年）  
→ 実験結果の解釈をめぐる論争

## ■ニュートンの著作とその反響

### ○ニュートンの光学

- ・「奇跡の年」（1665-6年）  
流率法（微積分）の発明／万有引力の着想／プリズムの実験
- ・「光と色の新理論」（1672年）から『光学』（1704年）へ  
白色光（太陽光）が異なる色の混合であることを実験的に示す  
光の粒子説の立場（速度の違いが屈折率の違いを生むと考えた）

### ○ニュートンの宇宙論

- ・『自然哲学の数学的諸原理』（通称『プリンキピア』、1687年）  
ハレーの来訪（1684年）を機に、考えを発展させてまとめる  
地上の物体も天の惑星も同一の法則に支配されることの証明
- ・運動の3法則と万有引力の法則  
古代ギリシア以来の幾何学による議論（ただし微積分の発想もある）  
デカルトの渦動論を暗に批判
- ・理論を裏付ける豊富な観察・実験データ  
世界各地での潮の満ち引き、振り子の周期など

### ○万有引力をめぐる論争

- ・万有引力に対する批判……「隠れた質」／原因が明らかでない  
→ 引力の存在が経験的に示されれば十分、と回答
- ・地球の形状をめぐる論争（1730年代）

極方向に伸びている（デカルト派） vs つぶれている（ニュートン派）

→ 詳しい測地研究の結果、後者が正しいと判明

- ・ 以上のような話題について、一般読者向けの解説が多く書かれる

例：ヴォルテール『哲学書簡』（1734年）

→ 「ニュートン主義」の流行

## ■啓蒙の時代の科学

### ○啓蒙主義とその時代

- ・ 理性と経験によって自然の真理を認識し、人間社会の向上をめざす
- ・ 『百科全書』本文 17 巻・図版 11 巻（1751-72 年刊）
- ・ 雑誌メディアの発達；科学上の話題も多く取り上げられる

### ○科学協会と科学アカデミー

- ・ ロンドン王立協会（ロイヤル・ソサエティ）
  - 1662 年、国王より勅許；基本的には民間団体
  - バイコンの思想を实践……組織的な観察・実験の収集
  - 例：フック『ミクログラフィア』（1665 年）
  - 『哲学紀要』（*Philosophical Transactions*）の編集・出版
- ・ パリ王立科学アカデミー（アカデミー・ロワヤル・デ・シアンス）
  - 1666 年、宰相コルベールにより設立；王権と直接結びついた組織
  - 選ばれた少数の会員；会合での研究発表
  - 紀要（論文集）の編集・出版
  - 「数学」（数理科学）と「自然学」（観察・実験科学）の部門
- ・ 類似した組織が、18 世紀を通じて各地に作られる
  - 学者たちのネットワーク形成

## ■付録：「科学革命」(The Scientific Revolution) の解釈について

### ○バターフィールド『近代科学の誕生』(1957年)

「……したがって、それ[科学革命]はキリスト教の出現以来他に例を見ない目覚ましい出来事なのであって、これに比べれば、あのルネサンスや宗教改革も、中世キリスト教世界における挿話的な事件、内輪の交代劇にすぎなくなってしまうのである。／それは、物理的宇宙の図式と人間生活そのものの構成を一新するとともに、形而上学の領域においても、思考習慣の性格を一変させた。こうして、この革命は、近代世界と近代精神の眞の生みの親として大きく浮かび上ってきたため、ヨーロッパ史における従来の時代区分は時代錯誤となり、邪魔者となってしまった……」(邦訳14頁)

### ○シェイピン(1996年)

「『科学革命』というようなものはなかった、これが本書の主張である」(邦訳9頁)

### ○ヘンリー(2002年)

「科学革命という概念が指している根本的変化は、間違いなく起きたのである」(邦訳2頁)；  
「そもそも科学革命においてはいったい何が起きたのだろうか。ひとこと言えば、中世において数学的・科学的、そして実践的ないしは実験的な学問や技芸からは距離を保つ傾向にあった自然哲学が、科学革命においてはこれらの異なった種類の自然研究と融合し、結果としてわれわれの考えるような科学にはるかに近いものが生まれた、と要約できるだろう」(邦訳7頁)

## ■詳しく学びたい人のための読書案内

※原則として、日本語で書かれた本で、かつ、できるだけ新しいものに限定している

17 世紀の科学革命は科学史研究の古典的なテーマで、関連する本も多数ある。ただし、科学革命に対する科学史家の考え方は過去半世紀ほどのあいだに大きく変わってきたので、本を選ぶ際には注意する必要がある。古いところでは、バターフィールド『近代科学の誕生（上・下）』（講談社学術文庫、1978 年）、村上陽一郎『西欧近代科学』（新曜社、1971 年；新装版 2002 年）、カーニイ『科学革命の時代』（平凡社、1983 年）などが挙げられる。これらに対して大きく異なる見方を示した問題作が、シェイピン『科学革命とは何だったのか』（白水社、1998 年）である。それより後に書かれた本では、ヘンリー『一七世紀科学革命』（岩波書店、2005 年）、ディア『知識と経験の革命』（みすず書房、2012 年）、プリンチペ『科学革命』（丸善サイエンス・パレット、2014 年）がある。これから初めて勉強しようという人には、最後のプリンチペの本をまず読み、続いてディアの本に進むことを勧めたい。

ガリレオからニュートンに至る運動論（力学）の展開については、古い本だが、吉仲正和『力学的世界の創造』（中公新書、1979 年）または『力学はいかにして創られたか』（玉川大学出版部、1988 年）が入りやすいかもしれない。ウェストフォール『近代科学の形成』（みすず書房、1980 年）は、17 世紀の力学と機械論哲学に関する古典的な概説である。

ガリレオが行った落下運動の研究については、伊東俊太郎『人類の知的遺産 ガリレオ』（講談社、1985 年）が詳しく、原典の部分訳も収められている。高橋憲一『ガリレオの迷宮』（共立出版、2006 年）は、これを読み通せる人間は国内に数えるほどしかいないと思うが、ガリレオの運動論に関する最新かつ最高峰の研究書の一つ。デカルトに関しては、小林道夫『デカルト入門』（ちくま新書、2006 年）が最良の入口で、そこから同じ著者の『デカルトの自然哲学』（岩波書店、1996 年）に進むとよい。ニュートンの『プリンキピア』に関しては、吉田忠編『ニュートン自然哲学の系譜』（平凡社、1987 年）の中にいくつか関連する解説があるほか、山本義隆『古典力学の形成』（日本評論社、1997 年）の最初のほうで詳しく扱われている。要点だけを手短かに知りたい方は、池田嘉郎ほか編『名著で読む世界史 120』（山川出版社）所収の筆者（有賀暢迪）による解説（2016 年）を見ていただきたい。

17～18 世紀のさまざまな実験器具に関しては、ヴァイグル『近代の小道具たち』（青土社、1990 年）をまず勧める。塚原東吾編『科学機器の歴史』（日本評論社、2015 年）は、機器自体の歴史というよりも、機器が生み出され、使用された社会・文化状況に焦点を当てている。シェイピン & シャッフアー『リヴァイアサンと空気ポンプ』（名古屋大学出版会、2016 年）は、ボイルの実験を従来と異なる角度から分析した研究書として非常に有名な本だが、いきなり読むには難易

度が高すぎるので、少なくとも前掲のシェイピンの本（『科学革命とは何だったのか』）を先に読むべきである。また、真空に関するパスカルの実験をめぐるのは、小柳公代『パスカルの隠し絵』（中公新書、1999年）が興味深い議論を行っている。

この時代における科学研究の社会的活動としての側面については、古川安『増訂版 科学の社会史』（南窓社、2000年）に該当する章があるほか、17世紀の状況は、金子務『オルデンバーグ』（中公叢書、2005年）でも立ち入って書かれている。イギリスでの展開に関しては、ハンター『イギリス科学革命』（南窓社、1999年）がさらに詳しい。大野誠『ジェントルマンと科学』（山川出版社世界史リブレット、1998年）は、イギリスで新しい科学の登場・普及を担ったジェントルマン階層について説明している。他方、フランスを始めとする18世紀の科学アカデミーの解説としては、市川浩編『科学の参謀本部』（北海道大学出版会）所収の隠岐さや香「科学アカデミーとは何か」（2016年）が最良の概観である。

啓蒙の時代の科学については、単行本では適当な入門書・概説書が無く、前掲の古川の本（『増訂版 科学の社会史』）から入るのが良いように思う。村上陽一郎『近代科学と聖俗革命』（新曜社、新版2002年）は、この時代に科学が脱キリスト教化したという観点から書かれているが、それほど単純な話でないことには注意が必要。「啓蒙主義」については多様な見方や考え方があり、例として、ポーター『啓蒙主義』（岩波書店、2004年）やイム・ホーフ『啓蒙のヨーロッパ』（平凡社、1998年）を挙げておく。『百科全書』については、ブルースト『百科全書』（岩波書店、1979年）が古典的な概説書。鷺見洋一『『百科全書』と世界図絵』（岩波書店、2009年）は18世紀フランスの科学文化を広く扱っており、かつ読みやすい。