



力学史を問い直す ニュートン力学の成立をめぐる

有賀暢迪

日本学術振興会特別研究員

・ 京都大学大学院文学研究科博士後期課程

2009/11/12

京都大学大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
Global COE「普遍性と創発性から紡ぐ次世代物理学」セミナー

前置き

- 科学史の多様性
 - 学説、理論
 - 科学研究の「制度」
 - 思想的側面（方法論、自然観、etc.）
 - 文化一般との影響関係
 - など
- 講演者の立場：
 - 各時代・地域にあった科学を「復元」する
 - 主な対象：18世紀のヨーロッパにおける力学

ごく短い物理学の歴史(1)

- 1930頃：現代物理学の確立
 - 量子力学の確立、さらなる展開へ
- 1900-20s：移行期
 - 前期量子論、相対論
 - アインシュタイン、ボーア、etc.
- 1870頃：古典物理学の確立
 - 熱力学、電磁気学；エネルギー概念
 - [英] マクスウェル、トムソン（ケルヴィン卿）
 - [独] クラウジウス、ボルツマン、ヘルムホルツ、etc.

ごく短い物理学の歴史(2)

- 19世紀前半：数学的実験物理学の誕生
 - 電流、熱、光など
 - [仏] ラプラス、ポアソン、フレネル、etc.
- 18世紀：「数学」と「実験哲学」の時代
 - 「数学」の一分野としての力学
 - 実験は数学（微積分）とあまり結びつかない
- 17世紀：「科学革命」の時代
 - 「物理学」というより「自然哲学」
 - ガリレオ、デカルト、ニュートン、etc.

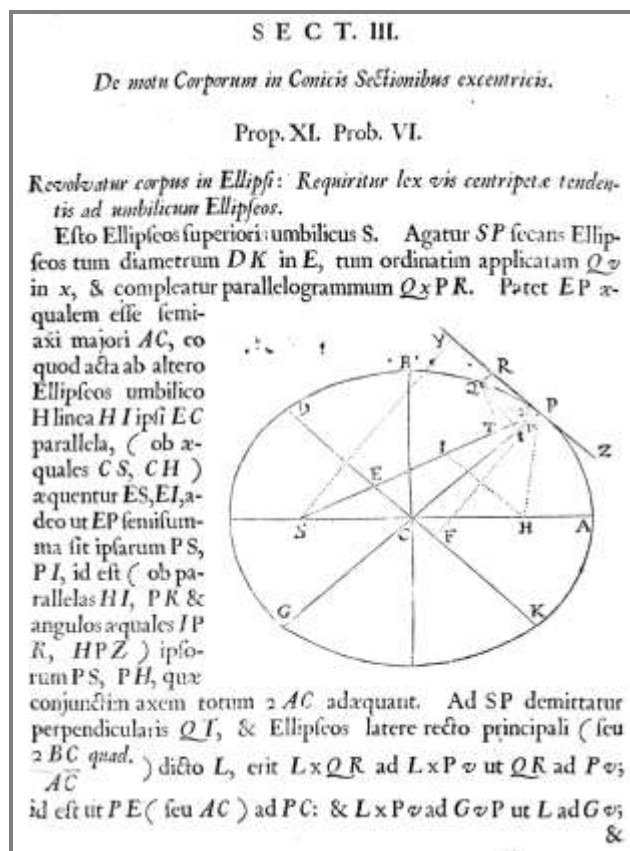
「ニュートン力学」の誤解(1)

- 教科書の没歴史性
- 例：ラグランジュの『解析力学』(1788)
 - 今日「解析力学」として学ばれるもの：
 - ラグランジアン → ラグランジュ方程式
 - ラグランジュ自身の方法：
 - 仮想仕事の原理 + ダランベールの原理

「ニュートン力学」についても同様

「ニュートン力学」の誤解(2)

- 『自然哲学の数学的諸原理』
通称『プリンキピア』(1687)



- 微分方程式は出てこない
- 幾何学+極限操作

ニュートンは
運動方程式を書いていない

18世紀力学史のあらまし（1）

- 古典力学の整備
 - 『プリンキピア』（1687）～『解析力学』（1788）
 - 「大陸の数学者たち」の活躍
 - ベルヌーイー族、オイラー、ダランベール、etc.
- 注意！
 - 「大陸の数学者たち」は、ニュートンの運動の法則を特に重視しない
 - ニュートンの名前が力学の基礎と結び付けられるようになるのは19世紀中ごろ

18世紀力学史のあらまし（2）

- 力学の2つの変革

- 解析化

- 微積分によって力学の問題を解く
- 力学を通じて微積分自体も整備される：
 - ex. 弦の振動と偏微分方程式

- 体系化

- あらゆる問題に適用できる普遍的な原理の探求
- ダランベールの原理、最小作用の原理、活力の保存（≡ 力学的エネルギー保存則）などが登場

18世紀力学史のあらまし（3）

- 最大の功労者としてのオイラー
 - 経歴（1707-83）：
 - バーゼル大学でヨハン・ベルヌーイに学ぶ
 - ペテルブルクとベルリンの科学アカデミーで活躍
- 力学への貢献
 - 『力学』（1736）
 - 副題「解析的に提示された運動の科学」
 - ニュートン力学の確立
 - 「運動方程式さえあれば十分」（1750）
 - 天体力学、剛体・流体の力学、etc.
 - 著書・論文の3割が力学関係



18世紀力学史のあらまし（4）

- 18世紀力学の頂点としての『解析力学』
 - 解析化：代数操作のみ
 - 図版なし（読みにくい！）
 - 体系化：仮想仕事の原理
 - 静力学と動力学の統合
 - ←オイラーからの影響



226 MÉCANIQUE ANALITIQUE.

9. De cette manière la formule générale du mouvement $r + \Delta = 0$ (art. 2) sera transformée en celle-ci,

$$\pi \delta \xi + \psi \delta \eta + \phi \delta \varphi + \&c = 0,$$

dans laquelle on aura

$$\pi = d. \frac{\partial T}{\partial d\xi} - \frac{\partial T}{\partial \xi} + \frac{\partial V}{\partial \xi}$$

$$\psi = d. \frac{\partial T}{\partial d\eta} - \frac{\partial T}{\partial \eta} + \frac{\partial V}{\partial \eta}$$

$$\phi = d. \frac{\partial T}{\partial d\varphi} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} + \frac{\partial V}{\partial \varphi}$$

&c,

en supposant

$$T = S \left(\frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2} \right) m, V = S \Pi m,$$

$$\&c \ d\Pi = P dp + Q dq + R dr + \&c.$$

Si donc dans le choix des nouvelles variables $\xi, \eta, \varphi, \&c$, on a eu égard aux équations de condition données par la nature du système proposé, en sorte que ces variables soient maintenant tout-à-fait indépendantes les unes des autres, & que par conséquent leurs variations $\delta \xi, \delta \eta, \delta \varphi, \&c$, demeurent absolument indéterminées, on aura sur le champ les équations particulières $\pi = 0, \psi = 0, \phi = 0, \&c$, lesquelles serviront à déterminer le mouvement du système; puisque ces équations sont en même nombre que les variables $\xi, \eta, \varphi, \&c$, d'où dépend la position du système à chaque instant.

Mais quoiqu'on puisse toujours ramener la question à cet état, puisqu'il ne s'agit que d'éliminer par les équations de condition, autant de variables qu'elles permettent de le faire, & de prendre ensuite pour $\xi, \eta, \varphi, \&c$, les variables

18世紀力学史のあらまし（5）

- ニュートン力学の成立
 - ニュートンの力学 ≠ ニュートン力学
 - オイラーによってニュートン力学が確立したと見なすことができる
 - より詳しくは...
 - 山本義隆『古典力学の形成』（1997）
 - 中澤聡「ニュートンは運動方程式 $F=ma$ を書いたのだろうか？」『科学の真理は永遠に不変なのだろうか』（2009）所収

.....これで話は全部なのか？

18世紀における「力」の問題 (1)

- 『プリンキピア』での「力」の定義
 - 「定義4：**込められた力**とは、物体の静止または一様でまっすぐな運動の状態を変えるために、それに対して及ぼされる作用である」
 - 今日の外力に相当
 - 「定義3：物質の**内在的な力**とは抵抗能力であり、それによって各々の物体は、それ自体である限りにおいて、その静止または一様でまっすぐな運動の状態にあり続ける」
 - 今日の慣性に相当、「**慣性力**」とも呼ばれる

18世紀における「力」の問題 (2)

- 「慣性力」？
 - 物体に内在し、運動状態を保持する原因
 - 「**運動物体の力**」という表現も用いられた
 - 今日のニュートン力学から見れば「誤った」概念
- 力学史にとって重要？ — YES !
 - 力学の解析化・体系化に貢献した「大陸の数学者たち」もやはり、「運動物体の力」について語っている
 - 当時にとっては自然な発想

18世紀における「力」の問題 (3)

- 18世紀前半の「活力論争」
 - 「『力』は質量と速度 (mv) に比例するのか、質量と速度の二乗 (mv^2) に比例するのか」
 - 「外力」ではなく「運動物体の力」を定量化する試み
 - 実験的には衝撃の大きさから測定
 - 「活力」 (mv^2)
 - 今日の運動エネルギーにつながる
 - ライプニッツが提唱し、ヨハン・ベルヌーイをはじめ、少なからぬ支持者を獲得
 - → オイラーへの影響は？

18世紀における「力」の問題 (4)

- オイラーも青年時代には活力説を支持
 - おそらくヨハン・ベルヌーイの影響
 - ベルヌーイは、オイラーが『力学』（1736）で活力説を援護してくれるものと期待していた
- 後には物体に内在する力を否定
 - 活力論争の問題設定そのものが無効に
 - → 慣性と力（外力）の力学

→ この間、オイラーに何が？

目下取り組んでいること

- オイラーを中心に、「力」という観点から18世紀の力学史を読み直す
 - どう役に立つか？
 - 今日なら当たり前に見えることが意外と自明ではない
 - → 現在を考え直してみるための素材に

—ご清聴ありがとうございました。