

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 6 . 産業革命からフランス大革命へ >

（株）オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . ニュートンとフック及び ライプニッツとの確執

アイザック・ニュートン (Isaac Newton [英], 1642 ~ 1727) は20世紀にアインシュタインが出現するまでの最高の物理学者とされている。彼はエジソンやアインシュタインがそうであったように、少年時代にはさほど才能の際立ったところのない、普通の少年であったという。21歳のときヨーロッパではペストが大流行し、彼は一時故郷に避難していた。このときリンゴ畑でリンゴが落ちるのを見てかの有名な「万有引力」を発見したといわれている。しかしこれについては、「フックの法則」で有名なフック (Robert Hooke [英], 1635 ~ 1703) から「自分が先に発見してニュートンに手紙を書いたのではないが、貴殿はこれにヒントを得たのであるからこの事実を認めて著作に発表せよ」とクレームがついた。またライプニッツ (G. Wilhelm Leibniz [独], 1646 ~ 1716) から微積分は自分が先であるという丁重な手紙が届いたが、ニュートンはこれを無視したため、これより彼らの後継者も含め100年以上も訴訟が続いた。これはイギリスと

ドイツの国際紛争であり、両国の学术交流がストップしてしまったという。微積分に関してはニュートンには物的証拠がなくどうも不利であった。しかし争っていたフックの方はニュートンの実力を認めていたのであるか、王立協会の重鎮であるフックの応援もあってニュートンは1687年に「プリンキピア」を発表したのである。プリンキピアは、

第1巻 ニュートンの力学体系、万有引力から
ケプラーの3法則の誘導

第2巻 粘性媒体内における物体の運動と流体力学

第3巻 宇宙体系の議論で、太陽や惑星の質量決定、月の運動に見られる不規則性

の3巻から成っていた。

第1巻には万有引力の他にニュートン力学でも最も有名な第1法則の「外部からの影響を受けない場合は、質点は静止又は等速運動を継続する」と、第2法則の「質点の加速度は外力に比例し、外力の方向に起こる。」が述べられている。第1法則で最もよい例は、人工衛星が一定の速度で地球の周りを回り続けることである。第2法則は外力を F 、質点の質量を m 、加速度を a で表すと、かの有名な式が導かれる。

$$F = ma \quad \dots(1)$$

である。

また第2巻では流体力学において、顕著な功績を残している。それは「粘性のために生ずるせん断応力は流れの速度勾配に正比例する」という、いわゆる「ニュートンの粘性法則」であり流体力学の基本事項の一つとなっている。従ってこの法則に従う流体を「ニュートン流体」というようになった。我々が日常生活で慣れ親しんでいる水、空気あるいは石油はこれに属する流体であり、流体力学を研究する学者や技術者は、ニュートン流体が相似則が成り立つために、例えば船や飛行機の実験に、小さな模型を作り水又は空気を

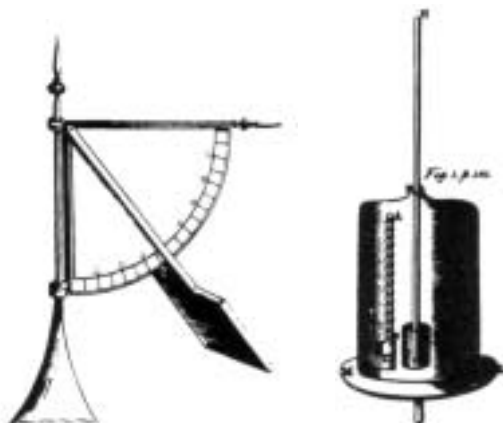


写真1 微積分発明のライプニッツ

いて研究することが出来るのである。フック自身も「流れの計測」には有意義な業績を残しており、第1図の風速計、水銀気圧計がそれである。また、Dr E. A. Spencerは開渠流量計についても彼が1683年に発表したとしている。この他にも自在継ぎ手とかレンズみがき器など特殊な計器や器具を考案している。このため工学系の技術者に分類されていると思いきや、生物の研究で最も功績が大きい生物学者であったのである。17世紀後半にしてやっと、流体計測に携わる技術者が待望の流れを計測する計器「風速計」が出現したのである。フックの風速計は、流速が増えるとターゲット板が上がり風圧を受ける面積が小さくなるので、風速表示は当然等間隔目盛りではなかったであろう。またニュートンにより粘性という概念が生み出されたのも流体計測に携わる人にとって特記すべきことである。でも残念ながらニュートンは発明の先陣争いに疲れ果てたのか、人嫌いになり、晩年は錬金技術に凝ったそうである。



写真2 フックの肖像画



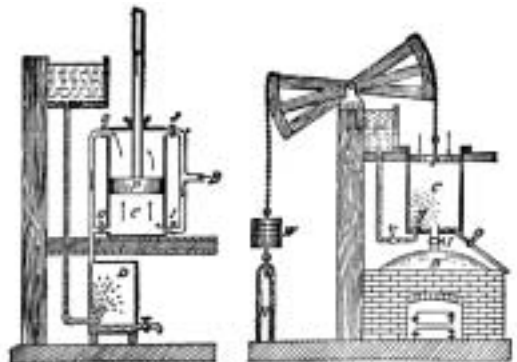
第1図 フックの計器(左:風速計、右:水銀気圧計)

2. 中国・清時代の治水

この頃の中国に目を転じると、1662年に永明王が没して明が滅び、康熙帝が中国最後の朝廷である清朝の初代帝位に着いた。康熙、雍正、乾隆時代には農業生産を非常に重要視し、この百年余りの間に、河の治水は無論、水利の開発、利用に関して見るべき効果を挙げた。この方面で突出した貢献者は康熙帝(1662~1722)に仕えた陳潢であった。彼は洪水を的確に制御するために、「測水法」を発明した。即ち河水の横断面積に流速を乗じて、水の流量を計算した。陳潢の言によれば「その法とは、まず水門の広さを測り、1秒で如何ほど流れるかを測り、一昼夜分を累積すれば、流量が計算できる」と述べているのである。「流量計測の歴史1」で述べたように、流量の概念を最初に導き出したのは、150年頃に古代ギリシャのヘロンであったが、歴史を紐解いてみると、実際に流量の概念を社会に役立てたのは、陳潢が最初であったといえよう。私は思うのである。何故この時代にヨーロッパで発展してきた水車の回転数から水の流量に結びつける概念が生まれなかったのであろうかと。多分「今日は水車の回転が速いから水量が多い。」くらいのアバウトな概念に終わっていたのであろうかと。流量計発明の機会はいくらでもあったはずである。

3. 産業革命時代へ

さて17世紀後半から18世紀前半に入るとニューコムからワットまでの蒸気機関の改良により、ヨーロッパは英国を中心とした産業革命の時代へと急速に進展していくわけである。蒸気機関を完成して産業革命の直接の引き金になった人こそ、ジェームス・ワット(James Watt [英] 1736~1819)である。ここで蒸気機関のルーツを遡ってみると、これもやはり「流量計測の歴史1」の第7図に記したヘロンの蒸気反動タ



第2図 ワット(左)とニューコム(右)の蒸気機関



写真3 ダニエル・ベルヌーイの肖像画

ーピンなのである。小泉袈裟勝氏が述べたように、ヘロンは時代を1,700年も先取りしたまさに稀有の天才だったのである。さて蒸気機関もれっきとした流体機械ではあるが、きりがないので熱機関あるいは熱力学の問題として「流れの計測の歴史」では深入りしないことにする。ご存知のように、蒸気機関は急速に前号で述べた水車及び風車などによる古典動力に取って変わっていく。

流体力学は、スイスのバーゼルベルヌーイ学派によってその基礎が築かれた。ダニエル・ベルヌーイは(Daniel Bernoulli [スイス] 1700 ~ 1782)は「ベルヌーイの定理」という流体力学で重要な定理のもととなるエネルギー原理を1738年に提示した。これに基づき1758年にオイラーは「流体の位置エネルギー、運動エネルギー、及び圧力エネルギーの3項の和が一定」という関係式を確立した。

ピトー(Henri de Pitot, 仏、1695 ~ 1771)はベルヌーイの定理に先立つこと6年前の1732年に「ピトー管」の名で有名な流速計を開発し、この年にセーヌ河で流速の計測を行っている。これはベルヌーイの定理に基づいて流速を検出する方式のもので、今でも流体力学の研究に大学や研究所で使われているものである。

4. フランス大革命時代へ

時代が18世紀後半に入ると、イギリスの産業革命のあとに続いて、アメリカ独立宣言(1776年)、フランス大革命(1789年)と激しく変化する世の中へと推移していく。科学界でも、窒素、酸素の発見に続き、ラヴォアジエが1789年に出版した「化学要論」は近代化学の基礎を系統的に述べるものとして、ニュートンの「プリンシピア」、ダーウインの「種の起源」に匹敵するものであり、彼が近代化学の父と讃えられる所以である。この中において元素概念の明確な規定と科学的元素表が提示された。1780年にガルバーニが動物電気を発見し、1799年にヴォルタによる電池の発

見がありここにきてやっと電気の息吹が始まる。フランス大革命は1789年7月14日に専制主義と封建制を象徴するといわれた牢獄バステュークが民衆によって占領され破壊されたときに始まる。1792年にはフランス共和制が公布されレイ16世が処刑され、その後ギロチン断頭台による処刑が次々に行われる恐怖時代へと突入していく。ヴェルサイユ宮殿を訪れると、マリー・アントワネットの美しい肖像画に魅せられるが、その王女は、哀れにも1793年10月14日に断頭台にのぼり処刑されるのである(写真4)。読者は薄気味悪い断頭台の話が何故出てくるのか不思議に思われるであろう。しかし恐怖政治は科学者の身にも及ぶのである。フランスで主に用いられていた長さの単位は、メートル法成立まではピエ・ド・ロワ(Pied de Roi, 約0.325m)であった。1790年にタレーランは新しい単位系を作ることを国民議会に提案した。パリ科学学士院もこの計画に賛同し、委員会を設けて検討を開始した。その委員は前出のラヴォアジエ(Antoine Laurent Lavoisier[仏] 1743 ~ 1794)、ラグランジュ、ラプラスなど後世に名を残す錚々たるメンバーで構成されていた。ラヴォアジエは水の密度測定を担当していた。その大部分の仕事は1793年8月に終わっていたが、彼は徴税請負人であったがゆえに、同年11月に投獄されたのち、1794年5月8日に断頭台で霧と消えてしまうのである。

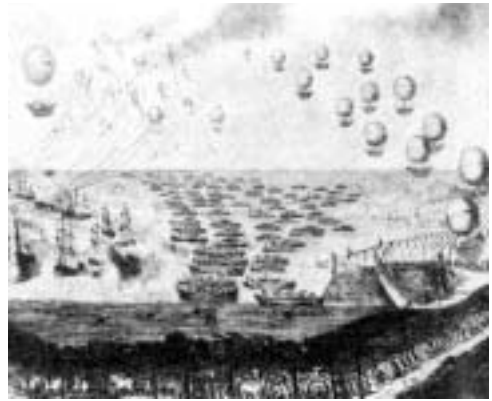
ラヴォアジエは獄中から護衛つきで実験室に通い、実験が完了するや処刑された。ラグランジュは「この首を落とすのには一瞬で足りるが、百年かかってこんな首はできまい。」と友人に嘆いていたという。ラヴォアジエの後継者が発表した4の水の密度は現在最も正確とされている1dm³の水の質量0.999972kgに非常に近い値であった。



写真4 断頭台のマリー・アントワネット



写真5 近代化学の父ラヴォアジェとその妻



第3図 ナポレオンの英国上陸作戦

写真5は仲睦まじいラヴォアジェ夫妻の絵であるが、マリー夫人は金髪青眼で非常な美貌の持ち主であり、「陽気で賢明で科学的な貴婦人」として実験室にサロンに終生かわらぬ内助の妻として、夫の仕事を助けた。しかし無残にもギロチン台はそれを絶ってしまったのである。この時期、シャルル(仏)は1787年に気体膨脹に関するシャルルの法則を示した。現在「ボイル・シャルルの法則」といわれているものである。彼は1783年に水素気球を発明している。8月24日彼は市民の見守るなかで水素気球を飛ばしたが空中爆発をおこし失敗した。そこで失敗の原因を究明し、気球が上空に行くと膨張し過ぎるときにガスが逃げないように改良し、再度12月1日にヴェルサイユ広場で気球を飛ばし大成功をおさめている。さてフランスのギロチン断頭台による恐怖時代はロベスピエールの刺殺とともに去り、英雄ナポレオンに引継がれて行く。先にも述べたヴォルタによる電池の発明は電気の世界に初めて灯をつけたといえよう。現代の科学工学をリードする電気電子技術の幕開けとなる。ナポレオンは1796年にイタリア遠征より凱旋し、ヴォルタの電池の実験を供覧して彼に伯爵の荣誉と年金を与えたの



写真6 1783年12月1日にあげた水素気球

である。第3図はナポレオンが計画した19世紀はじめの英国との戦いに、空からはフランスで発達した気球、海上からは船、地下はトンネルを掘って、海峡を渡ろうとする英国上陸作戦であるが実現せず、トラファルガルの戦いでネルソン率いる英国海軍に完敗する運命となる。湯浅光朝氏はナポレオン時代を次のように評している。「18世紀後半から19世紀初頭にかけてのナポレオン時代は、科学史上最も生彩に富んだ浪漫的時代であった。ニュートン物理学の完成によって絶頂に達した機械的世界観の展開は18世紀啓蒙時代を生んだが、既知の理知、伝統の領域をはるかに越えた未知の広大な世界があることが分かってきた。即ち機械的自然観から脱皮、前進を意味し、ニュートンの原理をもってしても解釈し得ない新現象が次々と発見されていった。18世紀末を境として、社会機構は高度資本主義時代に移行し、自然科学は前代未聞の発展をとげていく。」と。

<参考文献>

- (1) 湯浅光朝：「科学文化史年表」，中央公論社
- (2) 平田 寛：「図説科学・技術の歴史」(上)，朝倉書店
- (3) 細井 豊：「教養・流れの力学」，東京電機大学出版部
- (4) アイザック・アシモフ，「アシモフの科学者伝」，小学館
- (5) 丘 光明：加島淳一郎訳，「中国古代度量衡(3)」，日本計量士学会
- (6) E. A. Spencer：石川重次訳，「流量標準 過去と現在」，英国国立技術研究所
- (7) 河野健二：「フランス革命」，河出書房新社
- (8) 小泉袈裟勝：「度量衡の歴史」，中央計量検定所

【筆者紹介】

小川 胖
 (株)オーバーレ 技術顧問
 〒236-8645 横浜市金沢区福浦1-9-5
 TEL：045-785-7259