

〔 連 載 〕

# 流量計測の歴史

< 4 . 計測技術の芽生え >

榊オーバル 小川 胖  
Yutaka Ogawa

## 1 . 天才の時代

前号では近代技術の先駆者レオナルド・ダ・ヴィンチについて、少し詳しく記したが、その時代のものか、後世に描かれたものか判らないが、若かりし頃の彼の肖像画があるので、写真1に示す。ベレー帽風の帽子を被ったダ・ビンチである。



写真1 若き日のレオナルド・ダ・ヴィンチ

さて時代が17世紀に移るが、「この時代は近代科学が完全に成立した輝かしい世紀であったが、技術史においては産業革命に至る過渡期の時代であり、創造的発明は見られず、自然科学の研究が必要とした実験用機械器具の進歩改良に終始したのである。」と湯浅光朝氏は述べているが、私はこの時代は計測技術の芽生えた時代ではないかと思うのである。

この世紀の前半は、ガリレイ（望遠鏡、天文対話、力学対話）ケプラー（惑星運動）デカルト（解析幾何、運動学）ハーヴィー（血液循環）トリチェリ（真空）パスカル（大気の圧力）と後世によく知られた蒼蒼たるメンバーが現れる、まさに「天才の時代」であった。この中で流体計測の歴史に、著しく影響を

与えたトリチェリとパスカルを中心にそのエピソードについて記してみたい。彼等の研究は圧力に関するものであるが、流量計測には欠かせない状態量であるが所以である。

## 2 . 流体の計測

トリチェリ（Evangelista Torricelli、伊、1608～47）は才能のある若きイタリアの貴族であった（写真2）

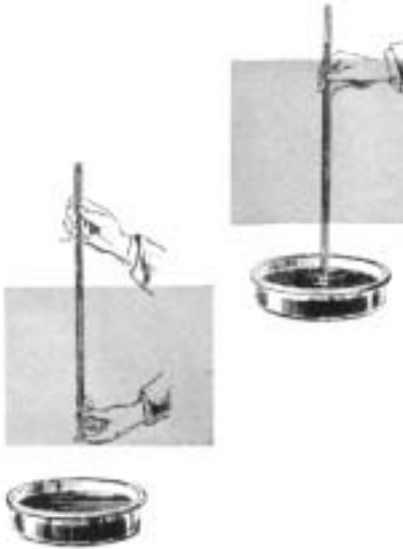


写真2 トリチェリの肖像

彼はガリレオに少しの間師事し、特にガリレオが「ポンプは吸込み高さが9m以上になると吸い上げられない」としたことに関心を覚えた。

この問題について、彼は唯一常温で液体である金属の水銀で実験を始めた。というのは、水銀は水よりも13倍も重いので、大気圧柱が水よりも1/13の高さにしかならないであろうと考えた。そこで長さが2ヤード（約1.8m）のガラス管に水銀を満たし、入口を指で押さえながら、水銀で満たされた皿に垂直に立てて浸した。するとガラス管の上部が空間となり、水銀の柱の高さは約30インチ（760mm）を示したのであ

る。この動作を再現すると第1図のようになる。これが気圧計発明の歴史的瞬間なのである。



第1図 トリチェリの大気圧実験

しかしこの気圧計は毎日にふらふらと安定しなかった。彼は、これは空気の圧力が変化しているからで、それを正確に計測しているのではとしたが、残念ながらこれを証明することなしに39歳の若さで早死してしまった。水銀入りガラス柱が気圧計になることを証明したのは、パスカル(Blaise Pascal、仏、1623～62)である。パスカルはトリチェリの実験にいたく興味を持った。時は1648年9月であった。その頃彼はパリに居たが、義弟のペリエ(F. Perier)にAuvergneの標高1,465mのピユイ・ド・ドーム山(Puy-de-Dome)に案内してもらい、実験を行った。義弟は気圧計を何ヶ所かの高さの異なる傾斜に置いた。もしト



写真3 パスカルの肖像

リチェリの理論が正しければ、高所ほど圧力が低いため水銀柱は低くなるはずである。結果はまさにその通りであった。この時、ペリエは「我々は驚きと喜びとで興奮してしまった。」と述べている。

パスカルはさらに「静止している流体においては、圧力はすべての方向に等しく伝えられる」という「パスカルの原理」を発見したのである。

同じ頃の1652年にゲーリック(Otto von Guericke、独、1602～86)は空気ポンプを発明している。彼は30年戦争の恐怖の真最中に生きた若者であった。1631年に失業して故郷のマグデブルグから離れるが、帰郷後市長にまでなった人物である。

最初の空気ポンプは大樽を水で満たし、ポンプで水抜きしようとしたが、漏れが生じ失敗に終わった。次に銅製の球殻の中の空気を、ポンプで抜こうとしたが、球が大気圧により座屈して壊れてしまったという。しかし、終にかなりの真空度の空気ポンプを完成した(第2図参照)。彼が行った実験で一番有名なのは、「マグデブルグの半球」である。これは二つの半球殻を注意深く一つに合わせ内部の空気を抜き真空にした。半球の両端をそれぞれ8頭の馬で反対側に引張らせたが、引き離せなかったという。いかに真空が強いのか、否、大気圧による力がいかに強いかを示す実験であった。その後中に空気を入れると二つの半球は簡単に引き離されたという。その実験の様子を写真4に示す。



第2図 空気ポンプ

写真5は円筒と平板の組合せで出来た空気ポンプを真空にして人力で引き離そうとしている別の実験風景画である。

ボイル(Robert Boyle、英、1627～91)は化学者に分類されているが、いわゆる「ボイル・シャルルの法則」で特に気体流体に関し著名な実績を残している。彼は片端が閉止しているU形のマノメータを用いて空気の弾性を発見した。開放端から水銀を注いでいくと閉止端側の空気のボリュームが圧縮されるのを目視し、計測した。これにより次の有名な式を導入した。即ち気体の圧力と温度をそれぞれ $P$ 、 $T$ 、体積を $V$ で表し、ガス定数を $R$ とすると

$$PV = RT$$

が成立つというものの原点である。



写真4 「マグデブルグの半球」実験

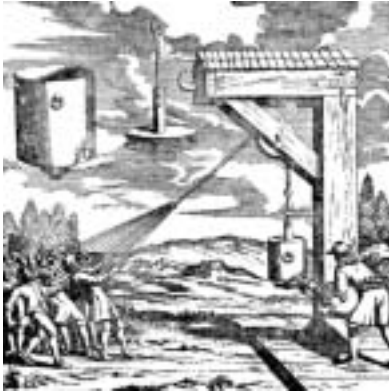


写真5 空気の圧力の実験(ゲーリック)



写真6 ボイルの肖像

### 3. アカデミーの創設

今でこそ科学、技術の研究は電話、ファクシミリ、E-メールなどの情報機器の発達と航空機など交通機関の発達により、あっという間に世界を駆け巡ってしまう。しかし前近代の研究者、技術者は研究や実験を夫々独自にやらざるを得なかったが、お互いの技術を共有する組織としてアカデミーの創設が考えられた。古代ではギリシャ・アテネのアカデミーが有名だが、中世に入ってから1560年にナポリに創設された

*Secretorum Naturae* (自然の秘密結社の意) が最初のものであった。しかしマジックと「黒い技術」の疑いがかかれ、間もなく解散してしまった。次にデラ・ポルタとガリレオとそのメンバーによって *Accademia dei Lincei* (おおやまねこの科学の意) が1603年にローマに創設されたが、これは敬意が払われ存在意義のある近代的なものと考えられていた。最も重要なのは、*Accademia del Cimento* (実験のアカデミーの意) が二人の兄弟によって1651年に創設されたことである。ガリレオのもとで勉強していた二人の兄弟は国内外の科学者を招き彼らの実験装置を使わせ、実験に参加させた。この *Invisible college* (透明大学の意か?) の精神の主演を演じたのは、ガリレオの二人の弟子トリチェリと著名な数学者ピンセンツォ・ビビアニの二人であった。

*Accademia del Cimento* で使用されていた計器を写真7に示すが左の二つが温度計で右のものはハイドロメータ(今の基準体積計であろう)である。



写真7 *Accademia del Cimento* で使用された計器

### 4. ニュートン力学形成の意義

17世紀後半に入るとボイル、フック、ニュートン、ライプニッツ及びホイヘンスなど近代科学の基礎を築いた科学者が続々登場するが、17世紀最大の収穫は



写真8 ニュートンの肖像画



第3図 ライブニッツの手紙

なんといってもニュートンの「プリンシピア」(1687年)の出版であろう。

後世ヘッセン教授はニュートンの「プリンシピア」の内容が、この時代の経済及び技術の要求から生じた物理的課題と一致することを指摘している。ヘッセンは当時の3つの顕著な部門 - 交通、工業及び軍事 - における諸問題を次のように列挙している。

- (1) 水上運輸について
  - ① 船の積載能力と速度との増加
  - ② 船の浮揚力の改良、その安全率、航続力の増加と操縦の簡易化
  - ③ 航海中の船の位置、磁差、潮時の決定法
  - ④ 国内水路の完成及びそれと海との連絡、運河と水門の建設
- (2) 鉱山業について
  - ① 非常な深坑からの鉱石の引揚げ
  - ② 坑内の通風手段
  - ③ 排水及び導出装置、ポンプの問題
  - ④ 溶鉱炉の改良
  - ⑤ 転機及び裁断機による鉱石の仕上げ等
- (3) 軍事技術について
  - ① 発射されたときに火砲の内部に起る作用の研究とその改善
  - ② 火砲の最小重量とその安全度との関係
  - ③ 適切な照準方法
  - ④ 真空弾道の問題
  - ⑤ 空気弾道
  - ⑥ 弾丸の空気抵抗
  - ⑦ 弾道からの弾丸の偏倚

以上を一覧して、当時の技術社会が自然科学に要求した問題は基本的に力学的な問題であり、ガリレイの

「力学対話」やニュートンの「プリンシピア」がこの世紀で非常に有用であったのである。

また上記諸問題中(1)の①②、(2)の②③、(3)の④⑤⑥⑦は流体力学及び流体技術の問題であり、これらの学問発展への需要の素地が出来上がっていたと言えるのである。

またニュートンとライブニッツによる微積分法の発明は以後の科学技術問題解明の手段として大いに役立っていることは周知のとおりである。

第3図のライブニッツの手紙に書かれた積分記号に注目したい。

最後に、トリチェリとパスカルは39歳という若さで早世している。もし長生きしていればどんなにより優れた発明、発見をしていたであろうかと惜しむのは筆者だけであろうか。

<参考文献>  
 (1) 湯浅光朝：「科学文化史年表」, 中央公論社  
 (2) "Popular Science" volume1, 2, 3, Grolier  
 (3) 細井 豊：「流れの力学(上)」, 東京電機大学出版局

【筆者紹介】

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