

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 9 . 流量計開発の歴史 I >

(株)オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . 流量計開発の歴史

流量計開発のルーツを探ると、計測技術、Vol.31、No.12「流量計測の歴史 - 1 . 古代オリエント - 」で述べたように数千年前にナイル河の流量を水位計（二口メータ）で計測したことに始まるとされている。また流量計測の概念は、古代ローマでヘロン（ギリシア、前130～75）が流量は「流速×流路の断面積」であると提案し、ローマ水道の1日の送水量を99万 m^3 と計算したことに始まったとされている。しかし流速をどうやって計測したかは、筆者の調べた範囲では定かではない。

流速を計算するには時計が必要である。古代では日時計が使われていたが、紀元前245年にアレキサンドリアのクテシビウス（ギリシア）が水時計を発明した。紀元前159年にはローマのスキューピオ・ナースィーカがこの水時計をローマに輸入している。従ってヘロンの時代に、ローマで多分一定の距離の水路（L）に木の葉のように軽いトレーサを流し、水時計で要した時間（t）を測り流速（L/t）を計算することは可能であったであろう。ギリシア人のヘロンがわざわざ水路で2,000kmほど離れたローマまで行ってローマ水道の1日の送水量を計測したというのではなく、ローマの技師がヘロンの理論を適用して計算したというのが正しいのではないだろうか？

かつてNEL（英国国立技術研究所）の流量計測の大御所であり、今は亡きスペンサー博士（英、E. A. Spencer）は古代流量計測技術について、次のように述べている。

「プラトンやアリストテレスのような哲学者の理論は、記述的であって、現実的に発展してきたローマ文化とは対照的で、彼等の計算というのはごく単純なものであった。それに比べ、上水道の建設時代に示されたローマの技術者の才能は、たとえ彼等の流体力学に

関する理論的な知識が体系的でなかったにせよ、重要なものであった。紀元前1世紀のヘロンは1639年にイタリアのカスティリが一般理論として体系的に確立されるはるか以前に流速と断面積から通過流量を求めることを考えついていたのである。だから、ギリシア人が理論化してローマ人がそれを体系化したといえるであろう。

ローマ皇帝の権威によって農業灌漑用水が進展し、すべての大都市では水の供給システムが確立したのである。ローマについて言えば1世紀末、セクスタス・ジュリアス・フロンティヌスという技術者がその概要を書き残している。水道管から連続的に流れてくる水の代金は、パイプサイズが供給水量の測定用ゲージとして用いられていたが、不正を生じやすかったので、個別の供給管の中に真鍮製のチューブを差し込む方式におきかえられた。長さが1フィート（約25cm）でたくさんの5分割面積に分けられた構造のものである（筆者：抵抗素子で一定流量が流れるように工夫したものと考えられる）

これは最初の流量計測標準ということができる。

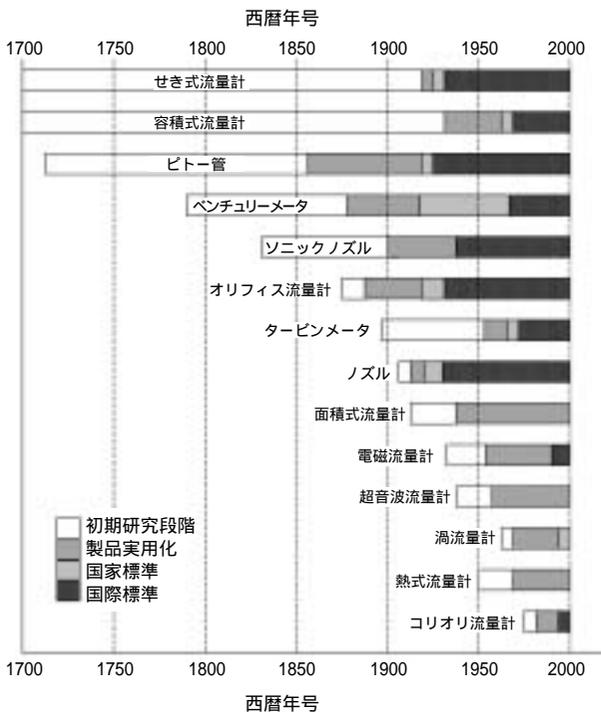
17世紀後半、フランスのマリオットは排水量の測定器として五角形に似たポーズ（pauze）を発明した。彼は異なったヘッドで用いられるときの1インチの開口部を持ったポーズからの流量を測定し、これを表にした。この理論付けは約50年後の1738年にベルヌーイによってようやく確立される。

マリオットは開渠における流速は底部に近づくにつれ遅くなることを示した。彼は互いに（フレキシブルに）つながっている複数のフロートをおある深さごとに置いてこれを実証した。また流れ計は開渠流量用として1683年にフックによって発表されており、18世紀末まで有効に用いられてきたように、開渠流量測定は管内流量測定よりずっと早く進んでいた。18世紀に英

国で各家庭に供給されるガス料金は、実際の消費量というよりは、住宅の中のガスランプの数で決められ、給水量は住宅の大きさに決めてきたのである。最初的气体メータは1815年に製作されるようになったのである。水道メータに至っては、英国は水資源が豊富なため未だにごく限られた地域でしか使用されていない...

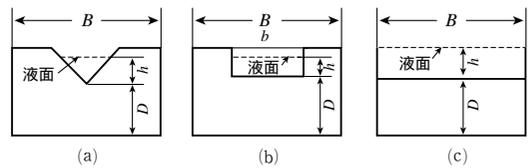
第1表はスペンサー博士が作成した流量計開発の歴史である。表は初期研究開発段階、製品実用化、国家標準、国際規格と分けてあるが、国家標準については英国における国家標準であって、日本における国家標準ではないことを付記する。

第1表 流量計開発の歴史



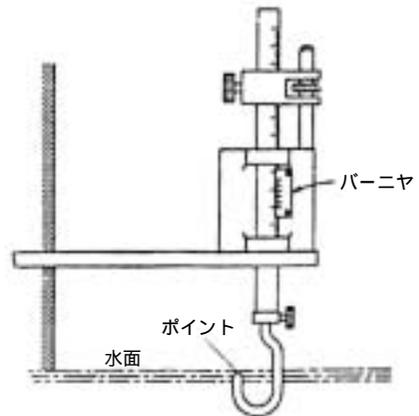
(1) せき式流量計

スペンサー博士によると初期研究段階での最初の流量計はせき式流量計ということになる。現在のせき式流量計は第1図に示すように流れの少ないときは(a)のように三角せきが用いられ、流れの多いときは(b)、(c)のような四角せきや、全幅せきが用いられる。図中のアルファベットで示す寸法によって流量が計算されるが、液面までの高さ h 如何によって流量が変化することになる。このため水位 h が重要なパラメータとなる。ボストンのホイデンによって1840年に第2図に示



第1図 せき式流量計の原理図

すようなフックゲージが考案された。これは液面下から上に向けて針を持ち上げていき、液面に突き出る瞬間に表面張力の瞬間の変化によって、光の波となって広がるのを捕らえるようにしたものである。現在のJISにおいて水頭 h の測定は厳密には第2図のようなフックゲージやフロートゲージで、あるいはスケール付のガラス管で水頭の1/150の精度で読むことが規定されているが、工業計測上は通常、各種レベル計により連続的に計測を行い、規定されている流量式により流量演算を行うのが一般的となっている。

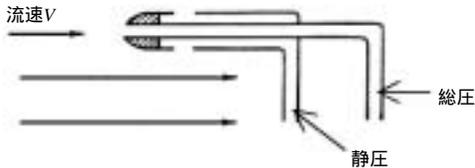


第2図 フックゲージの例

(2) ピトー管

小泉袈裟勝氏の調査によれば、R. S. Medlock 著の "The historical development of flow metering" に流量計開発の歴史が詳しく記述されているようであるが、それによるとやはり、最初の流量計測装置は1728年のピトーによるピトー管である。これは最初船のスピードを測る装置として考案したが、残念なことにこの装置の形がどんなものであったかは、分かっていない。しかしピトーの作ったものには動圧孔に漏斗形の入り口を取り付けてあったため流れを乱し、精度が出なかった。現在の形に改良したのは英国の物理学者ヘンリー・ダルシーであった。

第3図にそのピトー管の原理を示すが、流れの中に総圧孔と静圧孔を有した装置を置き、総圧 (P_1) と静圧 (P_2) を測定し総圧から静圧を引いて動圧 (P) を得る。これより流速 V が次式にて得られる方式のものである。



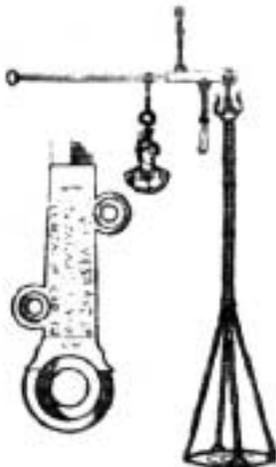
第3図 ピトー管の原理図

$$V = k \sqrt{\frac{2P}{r}} \quad \dots(1)$$

ここで、 r : 流体密度、 k : 修正係数である

(3) ラヴォアジエのガス計量器

天秤は古代から古い歴史をもっており、第4図はポンペイで発見された竿ばかりである。従って少なくともローマ時代には現実にそれが使われていたと思われる。それ以来古今東西を問わず、天秤は品物の売り買いに使用されてきたのである。計測技術 Vol.32、No.5 「流量計測の歴史 - 6 . 産業革命からフランス大革命へ - 」で述べたようにフランスの偉大な化学者ラヴォアジエは無残にも断頭台の露と消えてしまったのであるが、彼は度量衡の国際標準に傾倒した一人であった。その頃フランスでは精密天秤がフォルタンやムニエによって盛んに作られており、1kgの桁の秤量を



第4図 ローマばかり

1mgの精度で行えるように設計されていた。ラヴォアジエは水素の工業的製法を目途として1783年に第5図に示すような「ガス計量器」をムニエに依頼して製作している。このガス計量器を用いて気体の密度を測定したのである。



第5図 ムニエが製作したラヴォアジエの「ガス計量器」

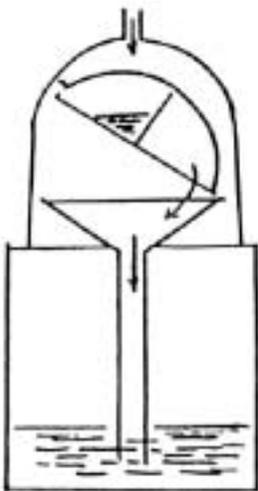
(4) 容積式流量計

歴史的に容積式流量計として始めて登場するのはクレッグによる1815年の湿式ガスメータであった。英国では都市ガス事業が18世紀末に勃興し、1792年に英国グラスゴー市における石炭乾溜燈用ガスの供給が始まった。サミエル・クレッグ (Samuel Clegg、英、1781 ~ 1861) はこうしたガス事業に携わりガス装置を請負、製作したりしていた。1815年その装置の中には湿式ガスメータも組み込んでいた。しかしそれは機構的に複雑でバルブ機構の欠点もありうまくいかなかった。1819年に湿式ガスメータはクレッグの養子であったジョン・マラムによって大きく改造される。第6図がそれである。内側に1つの室と外側に4つの室を持った水かき車があり、車が回転することによってガスは内側から入り、外側の室につながる出口管に押し出される仕組みになっていた。

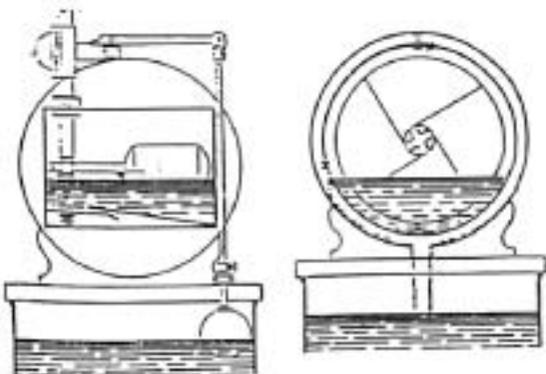
この原理に基づくものは精度が高いため、今までガスメータ検定用基準器として用いられてきたものである。商用の水道メータが設計・製作されたのは1820年であり、ガスメータに遅れること5年であった。水はガスより安かったからなのであろう。しかし1820年から1850年の間に水道メータに関する特許が13件登



第6図 ジョン・マラムの湿式ガスメータ



第7図 クロスレーのバケットメータ



第8図 パーキンソンメータ

録され、さらに1850年から51年のわずか1年の間に61の特許が加わったことから水道メータが急速に普及したことが分かる。この期間に現れたメータは大方向の種類に分類される。

- (a) 柵式またはバケット式
- (b) ゲート式
- (c) ピストン式
- (d) 推測式(タービンと翼車式)

さて最初に水道メータとして設計されたものは、多分1825年に作られた第7図に示すクロスレー(Samuel Crossley)のバケットメータであろう。これは後にミードによって再開発されたものである。このメータは隔壁で二つに仕切られた回転バケツから構成されており一つのバケツがオーバフローを始めると、もう一つのバケツが満たされ始め、回転モーメントがかかり、満杯となったバケツが傾いて中の水を水槽に落とし込む原理のものである。2番目に古く19世紀中期のものとしてよく知られているものが、第8図に示す湿式ガスメータの機構を応用したパーキンソンメータである。給水タンクは一定のレベルになるように調整され、4つに仕切られた回転ドラムの各々に連続して水が入るようになってい。これによりドラムは自由に回転して水を水槽に排出する仕組みになっていた。しかしこれらの流量計は圧力のかかる水道には不適當であるという欠点があった。これに代わる流量計については次号で述べることにする。

<参考文献>

- (1) 湯浅光朝:「科学文化史年表」,中央公論社
- (2) E. A. Spencer:石川重次訳,「流量標準 過去と現在」,NEL
- (3) 小泉袈裟勝:「度量衡の歴史」,工業技術院中央計量検定所
- (4) 小泉袈裟勝:「流量計の発達にはいくつものドラマがある」,オーバル,Specialty No.2,1988,4月
- (5) 小泉袈裟勝:「商用メータが語る、実用化への軌跡」,オーバル,Specialty No.3,1988,10月
- (6) チャールズ・シンガー:「技術の歴史8」,筑摩書房
- (7) 松代正三:「改定 流量」,コロナ社

【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