

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 7 . 百花繚乱の19世紀 >

(株)オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . 19世紀科学技術文明の百花繚乱

さていよいよ時代は19世紀へと入る。この時代は産業技術面から見れば「蒸気の世紀」であるが、20世紀の「電気の世紀」へと移るための、科学的、技術的素地が急激に出来上がっていく時代である。フランス大革命の最中のメートル法の制定とエコール・ポリテクニクの創立は、つづく世紀への大きな遺産であった。メートル法は1790年に決定し、パリを通る子午線長の4,000万分の1を1メートルとしたことに始まる。エコール・ポリテクニクは砲工学校又は工芸学校として1794年に創立された。ナポレオンに言わせれば「黄金の卵を産む牝鶏(めんどり)」の養成所であった。19世紀最初の四半紀には、ラプラス、ラグランジュ、カルノー、フーリエなど有名な数学者、物理学者が、教官を勤め、彼らの教育により優秀な科学者や技術者を生み出している。

次の四半紀には自然弁証法のエンゲルス、電気エネルギー発生の基本原理を発見したファラデー、モールス信号で有名なモールスが活躍し始める。後半の四半紀に入るとダーウィンが「種の起源」、メンデルが「遺伝の法則」を発表し、生物学の発展に寄与している。さらに有機化学の父リービヒが現れ、現在の有機化合物の素地を築いた。ニュートン以来最も重要な概念「場」の理論が登場し、マクスウェルが「電磁気学」を完成した。さて最後の四半紀に入ると米国のエディソンは炭素線電球を発明した。また医学が急激な勢いで動き出し、コッホは、結核菌とコレラ菌を発見し、その他にも腸チフス菌、ジフテリア菌などが続々発見され、日本の志賀潔も1897年に赤痢菌を発見している。

19世紀前半にはエコール・ポリテクニク出身の優秀な科学者の大群を擁し、世界的優位を誇っていたフランス科学は、その技術面において、遅れをとり、1880

年代には後進国アメリカ、ドイツに追い越されてしまうのである。

世界工業における主要国の地位を比較すると、
1860年代英、仏、米、独
の順であったものが

1900年代米、独、英、仏
となってしまう。

技術面で見ると、内燃機関が進歩し、ダイムラー(独)が自動車用ガソリン機関を製作し、1883年にはじめての自動車の運転に成功する。化学工業技術面では19世紀初期には、石炭ガスによるガス灯がロンドン、パリ、ウィーン、ベルリンの順に燈り、1859年にアメリカ、ペンシルベニアで油田が発掘され、石油工業が勃興した。ガス及び石油の生産や売買には、その量をリアルタイムで表示する計器、即ち流量計が要求されるようになるのである。

2 . 19世紀の発明、発見

そこで19世紀の発明、発見の中で後世の流量計測に大きく影響したものについて挙げてみよう。

(1) 実験屋ファラデー

熱エネルギーと並んで19世紀科学文明に巨大な推進力を与えたのは電気エネルギーである。

この電気エネルギー利用の基本原理を確立したのがファラデー(Michael Faraday、英1791~1867)である。

彼は1791年に貧乏な鍛冶職人の子に生まれた。若いころ製本屋の見習工に出されたが、本に接することができ、科学に対して非常に興味をいだいた。

製本屋の主人は彼に読書することをすすめ、科学の講義を聴きにいくことを許してくれた。彼はその頃英国で最も名高い化学者のハンフリー・デービーの講義が最も楽しく、ノートを丹念に取り、家にもどって注



写真1 ファラデーの肖像画

意深く清書して図表を作って書き添えたりした。ファラデーはそのノートを送り、是非研究室の助手になりたいと申し入れた。デイビーは彼のノートに目を見はり、助手のポストがあいたらすぐ、ファラデーを助手として採用した。22歳の時で、写真2はデイビーに仕えて実験するファラデーの絵である。



写真2 ハンフリー・デイビーに仕えて実験するファラデー

デイビーも色々な発明、発見をしているが、最も偉大な発見は「マイケル・ファラデーを見つけた出したことである」と言われている。ファラデーは1831年に電磁誘導現象を発見した。これを基に磁石とコイルによって構成された発電機を発明し、これを回して電気を連続的に発生させることに成功した(写真3参照)。現代社会は最もその恩恵を被っているのである。更に、電磁誘導の原理は現在非常に多く使用されている電磁流量計の源でもある。これについては次のようなエピソードがある。彼は電磁誘導現象を用いてテム

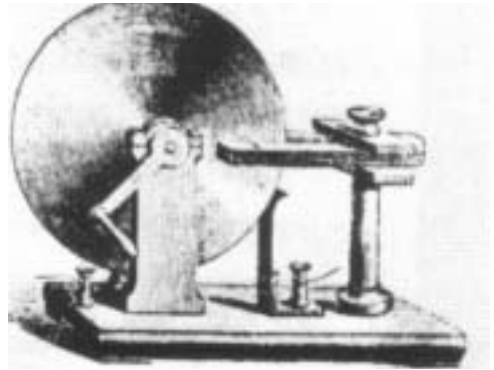


写真3 ファラデーの発明した発電機

ズ川の流れを測定しようと試みた。彼はウオータル橋から960フィート(296.2m)の長さの銅線をつりおろし、先端に水中に十分浸されるような金属板を取り付けたもう一つの銅線を下ろした。1832年王立協会に提出したレポートによれば、電流計に変動があることが分かった。しかし色々な試みを行った3日後にこの企画をギブアップしなければならなかった。実際のところ川床が流れの信号をバラバラにしてしまい、信号は外乱のために大きく振れるため、結局初期の目的を達することができなかった。しかし幸いなことに、彼は長生きをしたため、1851年にウォルストンが運河の潮位を誘導電位測定で成功したことを耳にすることができた。

ところで気体を始めて液化したのもファラデーなのである。彼はブーメランのような形に曲げた強化ガラスの一端に、加熱すると気体を発生しやすい物質を入れて密封した。ガラス管を熱湯につけると管内に気体が充満し、圧力が増加する。反対側の端を氷を詰めたビーカの中に入れると、気体は高压で低温状態に置か



写真4 ファラデーが実験したテムズ川

れるため液化が進行した。こうして1823年に塩素の液化に成功している。彼はその他にも数種類の気体の液化を行った。電磁気学にとどまらず、流体力学や熱力学まで幅広く実験を行い、成果を上げており、まさに実験屋の面目躍如たるものがあつた。彼は終生ニュートンのようには数学を駆使できなかったが、電磁場のような「場」の理論を実験により導きだしたのである。

20世紀にアインシュタインは特殊相対性理論を確立したが、やはり数学が苦手な、あまり高等数学を使用していなかった。アインシュタインの書斎の壁にはファラデーの肖像画が掲げられていたという。

(2) コリオリの力

1835年に、フランスの技術者コリオリ (Gaspard Gustave de Coriolis、仏、1792 ~ 1843) は、ニュートンの第2法則を回転座標系で解くと、運動する質点には遠心力と「コリオリの力」という見かけの力が働くことを見出した。これが現在最新の「真の質量流量計」といわれているコリオリ流量計の原理となるものである。顕著な例として、写真5に示すように地球は左から右へ回転しているために、地球上で発生する暴風は、北半球では左巻き、南半球では右巻きの渦巻きになるのは、このコリオリの力によるものなのである。

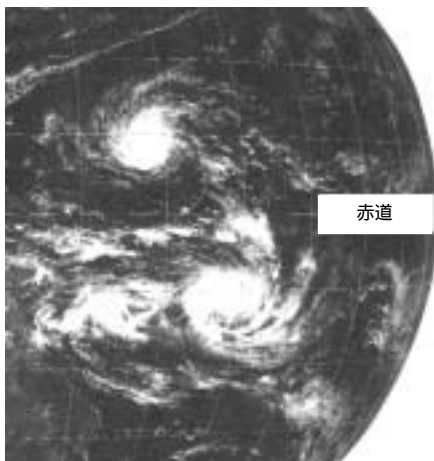


写真5 地球上の暴風圏の渦巻き方向

(3) ドップラー効果

蒸気機関車が登場すると、人間はいままで気が付かなかった面白い現象を体験するようになった。それは機関車が近づいてくると、警笛音が高くなり、遠ざかるときは音が低く聞こえる現象である。

オーストリアの物理学者ドップラー (Christian Johann Doppler、1803 ~ 1853) は「音波も音源と一



写真6 ドップラーの肖像画

緒に運動する場合、音源が人間に近づいてくるときは耳に届く音波の間隔が短くなり(周波数が高くなり)音色は高くなる。反対に音源が遠ざかるときは音波の間隔が長くなり(周波数が低くなり)したがって音色が低くなる。」と説明した。1842年、ドップラーはこうした解釈に自信をもつと、その2年後、実験により自説の検証を行った。2日間にわたり、屋根も壁もない貨車を、速度を変化させながら、機関車に引かせ、貨車の上で奏でるトランペットの音を、地上の音感の優れた音楽隊に聞かせ、速度によりその音色がどのように変化するかを記録してもらった。多分Cの音が機関車の速度によりC に変わったとか、C になったとか記録したのであろう。こうしてドップラーは自説の正しさを実証したのである。ドップラー効果は数年後天文学で重要な役割を果たすことになる。また現在のドップラー式超音波流量計の原理でもある。

(4) 絶対零度

1699年にアモントンが気体の体積を温度とともに減少させる実験を行って以来、液体の温度は無限に減少していくという説もあったが、後にケルヴィン男爵となるトムソン (William Thomson、英、1824 ~ 1907) は1848年に-273 (現在では-273.15) が絶対零度であるとし、絶対零度を零点とする新しい温度目盛を設定することを提唱した。

従ってこの絶対温度単位はケルヴィンの頭文字をとってKで表されるようになった。気体の体積は絶対温度の比によって膨張・収縮をするため、気体の体積計測には重要である。

(5) マッハ数

オーストリアの哲学者でもある物理学者マッハ

(Ernst Mach, 1838 ~ 1916) は1866年に硬い物体と空気がお互いに対して高速で運動を行うとき、引き起こされる現象について研究を発表した。空気分子が運動できる速度は、音が空気を伝わる速度である。ある物体が空気中を高速で運動するとき、空気分子は、もはや自然にはその物体に追従できず、その物体によって脇へ押しやられ、空気分子が進みたいと思っている速度より速くなり、新しい状況を生み出す。たとえば、超音速運動は空気を圧縮し、それが膨張するとき衝撃音を発する。その最も良い例として、雷鳴は、稲妻の熱が空気を音速より速く膨張させるために起こる衝撃音なのである。皮の鞭のピシッという音も空気が音速より速くなるために生ずるといふ。現在マッハの榮譽を讃えて音速に等しい速度をマッハ1、2倍の速度をマッハ2というようにいふ。私が中学生の頃、マッハに関する映画を見た。飛行士達がジェット機を上空から降下させ、マッハ1を突破することに挑戦する筋書きのもので、無残にもそのまま地面に激突死する同志の悲劇を乗り越え、初めてマッハ1を突破する画面を、固唾を呑んで見たことを思い出す。マッハ1を越えるときに「振動！振動！」と飛行士が叫んだ声が今でも耳に残っている。



写真7 マッハの肖像

(6) レイノルズ数

イギリスが生んだ偉大な流体力学者レイノルズ (Osborne Reynolds, 1842 ~ 1912) は実験家としての卓越した才能を発揮して流体力学で最も基本的概念を与えた。カレッジ (後のマンチェスター大学) で教鞭をとり、当初は電磁気学、熱力学など物理学、工学の広い分野にわたって研究を行っていたが、1874年頃から流体工学の研究を始め、その後有名な管内の流れについて層流、乱流の観察実験を行って、相似則を確



写真8 レイノルズの肖像

立した。それは流体中を運動する物体の速度を V 、物体の代表長さを D 、流体の動粘性係数を ν とすると、

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \dots(1)$$

で示す無次元数で、その流動状態を表すことができるというものである。Reをレイノルズ数と呼び、層流か乱流かを決定づける値であり、流体解析には重要なパラメータである。現在の流量計測においても、特に推測式流量計 (差圧式、タービン式、カルマン渦式など) では欠かせないパラメータである。

このように19世紀にして、いよいよ本格的な流量計測の素地が出来あがったのである。

お詫び

2004年1月号「流量計測の歴史3」の53ページで聖徳太子による「大化の改新」とありますが、読者の方からのご指摘があり、中大兄皇子による「大化の改新」の誤りでしたので、訂正するとともに、お詫び申し上げます。

<参考文献>

- (1) 湯浅光朝：「科学文化史年表」, 中央公論社
- (2) アイザック・アシモフ：「アシモフの科学者伝」, 小学館
- (3) アイザック・アシモフ：「科学と発見の年表」, 丸善
- (4) 細井 豊：「教養・流れの力学 (上)」, 東京電機大学出版部
- (5) 平田 寛：「図説科学・技術の歴史」
- (6) E. A. Spenser：石川重次訳, 「流量標準 過去と現在」, 英国国立技術研究所
- (7) "Popular Science" Vol.5, Grolier

【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