

〔 連 載 〕

# 流量計測の歴史

&lt; 1 . 古代オリエント &gt;

榎オーバル 小川 胖  
Yutaka Ogawa

今回よりシリーズで「流量計測の歴史」について執筆するように依頼されました。期間は多分1年以上になるとは思いますが、図書館で調査しても、なかなか流量計測の歴史に関する文献は稀有な状況で、どれほどの事が書けるか今から心配ですが、今までに私が執筆したものに肉付けして、内容を豊富にしたいと考えております。

英語のFlow measurementは日本語では正確には「流れの計測」となりますが、慣用語句の「流量計測」を使わせてもらいます。本来流量はFlow rateで流量計をイメージしますが、本稿はなるべく広義の「流れの計測の歴史」について記していきたいと思っております。

読者の皆様も、もし「流れの計測の歴史」に興味のある資料がございましたら、是非取り入れたいと思っておりますので、日本工業出版なり、私なりにお送りいただきたく、お願い申し上げます。

まず始めに人間を含む生物にとって重要な水と人類の関わり合いのあたりから述べてみたいと思っております

## 1 . 古代オリエント

### (1) 水位計の起源

人類の歴史を辿ってみると、原始時代には、生きるために狩猟による食料の確保と川や湖からの飲料水の確保が必要であった。そのうち農耕による植物性食料を採るようになると、灌漑（かんがい）が重要なものになってくる。日本のように水の豊富な国では水の確保はそれほど困難ではなかったであろうが、雨季と乾季が交互に来るアフリカ大陸では洪水による水との戦いとともに貯水技術の進歩発展があったであろうし、砂漠地域や乾燥地域では飲料水や灌漑用の水を遠くから運ぶ技術が発展したであろうことは想像に難くない。

エジプトのナイル河流域は降雨がないのにひじょう

に肥沃な土地のひとつとして特異な地方である。ヘロドトスが述べたように、まさに「ナイルの賜物」である。アケン・アラン王は「あなたは下界にナイルを創造したもう。そしてあなたの意志によって、エジプトの民に生気を与えるため、ナイルをもたらししたもう」と太陽神を讃えている。歴代のファラオは灌漑と農耕の保護者であり、推進者であった。第12王朝のアメネムヘト1世（前2000年頃）は「私は、穀物を育て、穀物の神ネベルを愛した。ナイルはどこ流域でも、私を迎えてくれた。私の治世中、飢えに泣き、渴に苦しむものはだれ一人いなかった。」と公言している。

しかしナイル河は前1874年の大洪水に見るように時として、人命、作物、家畜に甚大な損害を与えた。このためナイル河の岸壁や川沿いに立つ神殿の外壁には水位を看視記録するための液面計が少なくとも20個川沿いに間隔を置いて、つけられていた。今も港湾などで使われているニロメータ（ナイル ニイロ ニロ）の語源となっているものである。このニロメータは、文字の発明や記録保存の能力をもつようになったのとほとんど同じくらい古くからあったにちがいないといわれている。

洪水の最高水位は毎年宮殿と神殿の文書に記録され、エジプトの諸王の公式の年代記には、ナイル河の水位の数々の記録が残っている。今でもナイル河にはニロメータが設置されており、これらの記録との比較から、今日のナイル河は5,000年間の水によって運ばれた堆積沈泥により水位が6メートル高くなったのが分かるという。このようにして紀元前3000年までの間に、メソポタミアとエジプトにおいては、農業革命の結果各種の技術が興った。まず運河と人口灌漑があり、動力としての水や動物を使う水車やスキの発明があった。メンフィスの遺跡からは紀元前2500年頃の神殿に引かれた400メートルの銅製水道管が発掘され

ている。これは銅の打出しで口径4センチ、管壁の厚さ1ミリのものである。またここでは紀元前1900年頃の陶土管の暗渠もみられる。

写真1はクレタのクノッソス宮殿で出土された同時代の土器製導水管であるが、管はしだいに細まり、接合箇所を防水するため、環管が接合剤で固められている。管にみえる取手には綱を穴に通して、張力により管と管がさらに密着するような工夫もこらしている。

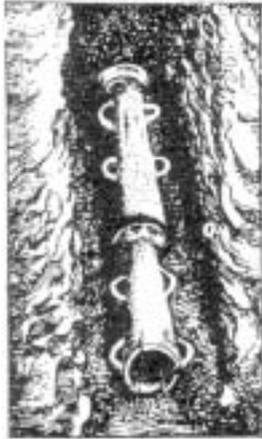
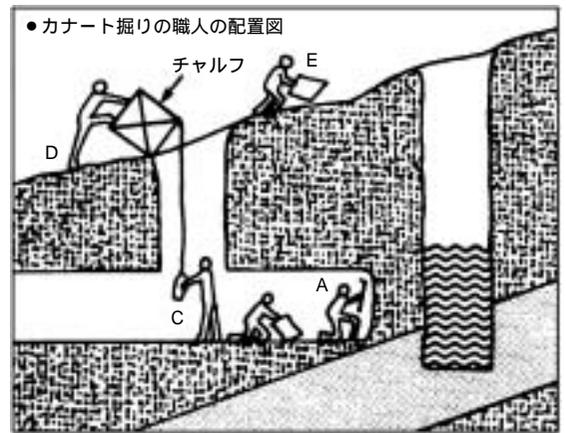


写真1 クノッソス宮殿の土器製導水管

第2図はカナートを掘削する職人の配置図を示すものである。



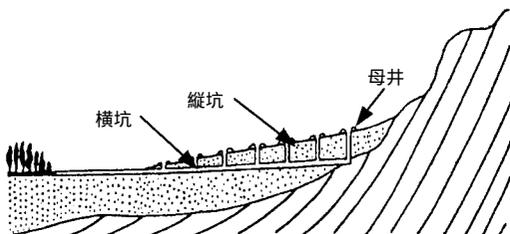
- カナート掘りの職人の配置図
- A = コラング・ダール（ツルハシで土を掘る。掘削方向や水路傾斜の決定も行なう）
- B = ゲル・バンド（土砂を集め、革袋に詰める）
- C = ラーシェ・キャシュ（革袋を豎坑の下へ運び、チャルフに結び付ける）
- D = チャルフ・キャシュ（チャルフを操作し、革袋を引き上げる）
- E = ダルヴ・ギール（革袋の土砂を捨て、空袋をチャルフに結び付ける）

第2図 カナート掘りの職人の配置図

## (2) 水道の起源

水道の起源はすでに古代にひろく流布していた地下水道すなわち「カナート (qanaats)」で、発生地はアルメニアであろうといわれている。カナートはベルシャのカイメネス王朝時代（前6世紀～前331年）にはすでにひろく用いられていた。第1図はイランの現代のカナートを図示したものである。カナートとは長い傾斜したトンネルのことで水源から乾燥地帯へ塩分のない冷たい水を送るシステムである。図に示すように約45mごとに垂直な縦坑をつくり、トンネルを掘る人々に空気を送り、掘った岩屑を始末した。

イラン高原に掘削されたカナートは横坑の長さが5～10km、縦坑の深さが数十メートルで、人がかがんで歩けるほどの暗渠である。中には全長70km、縦坑の最深部で300mに達する大規模カナートも存在する。

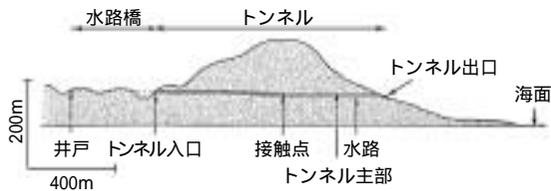


第1図 イラン地域の現代のカナート

カナートはイラン高原で急速に普及した後、西アジア、アラビア半島に伝わり、そしてギリシャにも水路掘削技術が伝わった。またイスラム世界の拡大とともに、カナートは北アフリカに伝播してリビア、アルジェリア、チュニジアで掘削され、やがてモロッコ、カナリア諸島を経てヨーロッパにも及び、スペイン、ドイツのバイエルン地方やワイマール地方、チェコスロバキアのボヘミア地方でも確認されているほか、中南米のメキシコ、ペルー、チリに存在する地下水路は、スペイン人によってもたらされたという説もある。一方、アフガニスタン、パキスタン、北インド地方、そして中央アジアロシアに近い共和国にも存在している。中国では漢代に陝西省澄県で井渠（せいきょ）が掘られたと史記の「河渠書」に記されているが、これもシルクロードを経て東方へ伝わったものと考えられる。日本にも、三重県と岐阜県にまたがり「マンボ」と呼ばれる地下灌漑路があるが、韓国に現存する「萬能汰（まんすんぼ）と発音が酷似していることから、中国から朝鮮半島を経て伝わったカナート技術がベースとなっていると考えられる。こうしてカナートは世界に拡がりそれぞれの土地で農業、工業そして文化を大きく育ててきたので、世界の文化の源泉と言えるかもしれない。

(3) ギリシャ・ローマの水路橋

前述したようにカナートはギリシャ・ローマ世界にも伝わっているが、古代ギリシャの第2の型は石でささえられた管路で水源からトンネルを通過して最短路で敷設したもので、最古の例は、サモスの水路橋で、前6世紀のものらしい。ヘロドトスはこれをギリシャの三大工事のひとつだとみなした。サモスのトンネルの長さはまさに1,000m以上で両側から掘り始め出会い部で5mほどづれたため、最後は鋭く曲げねばならなかったという。第3図はサモスの水路橋を示すものである。

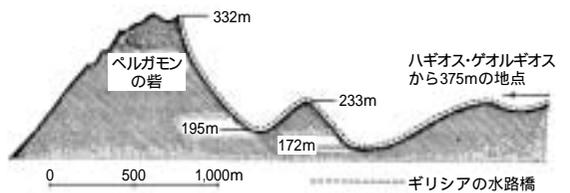


第3図 サモスの水路橋の断面図

小アジアで、ギリシャ人は大胆なあたらしいひとつの水力仕掛け、すなわちサイフォンを導入した。これは水源の重力による位置のエネルギーを利用したもので、費用のかかるトンネル工事が避けられた。前180年頃建設されたベルガモンの水路橋は、このようなサイフォン使用の典型的な例である(第4図参照)。

給水は山岳(高さ1,174m)の水源から、ヘッドを利用して都市の東にあたるハギオス・ゲオルギオス(高さ375m)にある二つの貯水槽に導かれた。そこから二つの谷(高さ172mと195m)とそのあいだに挟まれた峰を越えて、砦(高さ332m)に導かれた。従って低い方の谷ではヘッド差によって20気圧の圧力がかかったので、管は金属製であったと思われる。第5図はこうした水路から末端においてシャワーを浴びているギリシャ婦人たちの絵である。

ローマの王政は西暦前753年から前510年まで続いたとされるが、その王政末期の前520年ころ「クローカー・マクシマ」と呼ばれる下水道が建設された。しかし、上水道の誕生までは、さらに約200年の歳月が流れる。ローマの水路橋は、その壮麗なアーチのためひろく知られてい



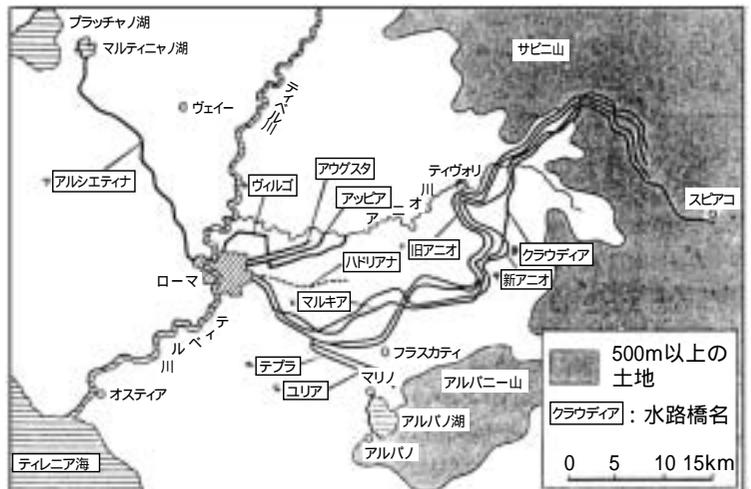
第4図 ベルガモンの水路橋



第5図 シャワーを浴びているギリシャ婦人たち(黒絵のつぼから)

る。ローマがイタリア半島を完全統一した前3世紀半ばから100年の間に世界初の本格水道「アッピア水道」を始め4本の上水道を持った。アッピア水道は前300年頃盲目の監察官兼技師であったアッピウス・クラウディウスが建設したものであった。

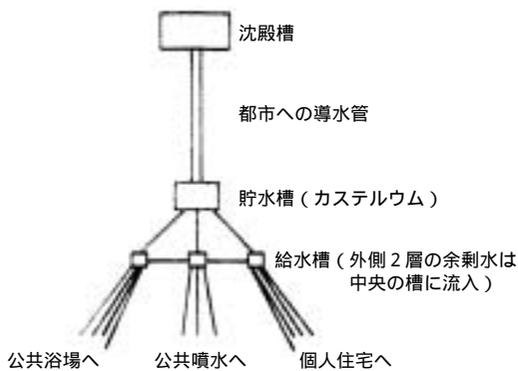
さらに「ローマの平和」が謳われた1世紀初頭には、ローマの人口は50万人にも膨れ上がり、この時代の3本とその後の4本を合わせ計11本の水道が完成している。第6図はその11本の水路橋の路線を示す地図である。



第6図 ローマの水路橋の路線地図



写真2 新アニオ水路橋の廃墟



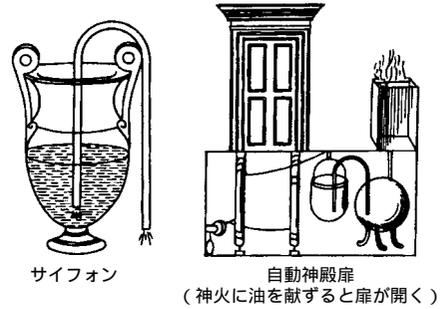
第7図 ローマの給水システム

写真2はローマ水路橋のひとつである新アニオ水路橋の廃墟である。

これらの水路橋からの水は第7図に示すように末端まで供給されている。ローマ水道はどのくらいの水量を供給していたのだろうか。この点については、フロンティヌス時代の科学者ヘロンが正しい測定法を提案している。それまでの流量は流れの断面積で決定するとしていたが、ヘロンはそれに流れの速度が関連していることを始めて指摘し、これを測定要素に採り入れている。流速をどうやって測定したかはさだかでないが、ヘロンによって計測されたローマ水道の送水量は、99万 $m^3$ /日であったというが、当時のローマの人口を100万人と仮定した場合、一人当たりの送水量は約1,000 $l$ になる。これを現代の一人当たりの送水量と比較すると、かなり多すぎるように思われるが、多分ローマ水道が常時流し放しであったためと予測される。

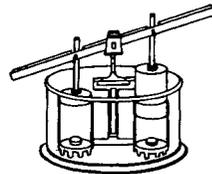
## 2. 万能技師ヘロン

先にのべたように、どうも流量の概念をはじめて提



サイフォン

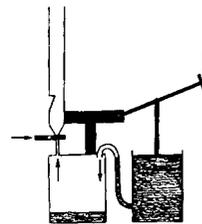
自動神殿扉  
(神火に油を献ずると扉が開く)



消火ポンプ



蒸気反動タービン



水力オルガン

第8図 ヘロンにより発明された流体器械

唱したのはヘロンであったようであるが、「数多いギリシャ時代の技術者のうちでもヘロンほどのすぐれた開発能力をもち、広範囲で多機種の器械や装置を創造した人はいないであろう。同時代や前近代においてヘロンと匹敵する人をあげるとすれば、レオナルド・ダ・ビンチと東洋では曲尺を発明した中国周代の魯班であろう」と小泉袈裟勝氏は述べている。ヘロンは機械技術でも天才的であったが、彼の開発した多くの器械や装置の主要な特色は気体や熱気の性質を承知し、これを利用したことであろう。ダンネマンの「大自然科学史」による彼の流体の性状を利用した発明を図示すると第8図に示すようなものがある。しかしこれらの器械について述べるのが本意ではないので省略したいが、前述の水路に応用したのがサイフォンの原理である。

### <参考文献>

- (1) 平田 寛「技術の歴史(4),(5)」筑摩書房
- (2) 小泉袈裟勝「古代の流体技術」オーバルニュース281号
- (3) Specialty No.8「流れの歴史」：オーバル

(筆者紹介はP.95参照)