

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 2 . 古代の流体技術 >

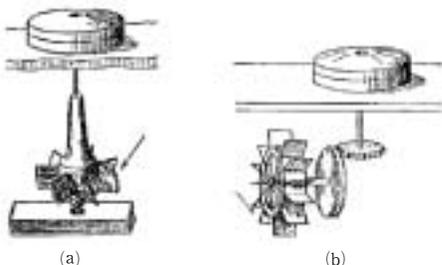
榎オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . 水車の出現

古代では水車が出現するまでは、人間が唯一の原動力であり、ピラミッドなど巨大遺跡も人力に頼って建設されたい。水車は紀元前1世紀頃に出現した。テッサロニカのアンティパテルという人物が水車の出現に関し次のような詩を残している。「ひくことをやめよ、水車場ではたらく女たちよ。にわとりが鳴いて夜明けを知らせても、ゆっくり眠れ。デメテル女神がニンフたちに命じて、おんみらの手仕事をさせたもうたからである。ニンフたちは、車輪のいただきに飛び下りて、その心棒をまわすと、心棒は、回転する輻(や)とともに、重くてくぼんだニシリアの石臼をまわす。」ほとぼしる水の勢いをニンフたちと擬人化して表現している。

このように現在知られている最古の水車は、穀物を製粉するものであった。最も原始的な水車はノルウェー型水車とよばれているギリシャ形式のものである。第1図はその原理を示すものであるが、第1図(a)は羽根が水平方向に回る「水平型」水車であり、軸の上端は上部の石臼に固定されている。少量の急流が、斜水溝から羽根にかかる。第1図(b)は羽根が垂直方向に回る「垂直型」水車である。回転力は伝動装置(歯車)によって石臼に伝えられた。

この紀元前1世紀に遡る水車がその後のペルトン水



第1図 ノルウェー水車(ギリシャ形式)

車やフランス水車の原点になっており、またタービン流量計の原理の原点にもなっているのである。

最近私が仕事でオランダのドイツ国境に近いRuurloの町に行き、夕食に誘われたレストランで、現物の製粉用の水車を見ることができた。その光景を写真1に示すが、第1図(b)に示す形のものであり、写真2のように立派な伝動装置(木製歯車)で石臼を回転させていた。



写真1 オランダの町に残る水車



写真2 石臼に回転を伝達する木製歯車

ノルウェー型水車は次第に広まり、3～4世紀までには、アイルランドと中国にも達した。紀元のはじめまでにデンマークで知られ建設され、その後の数世紀で急速な広まりをみせ、中世後期で非常にその数を増した。

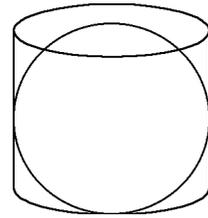
2. ピタゴラス学徒

ピタゴラスの後を継いだピタゴラス学徒は数学のほかに機械装置を作るのにも長けていた。

その中でもシラクサのアルキメデス（紀元前287～212）は古代のすべての機械学者のうちの最大人物であり、数学者の最大人物の一人であるといわれている。流体力学の観点から見ると彼が「浮力の原理」を発見したことがまず挙げられる。これには次のようなエピソードが残されている。

アルキメデスはシラクサ王ヒエロン1世から、錬金技師に作らせた黄金の王冠に銀が混ざっていないか確かめよう命令された。彼はある日公衆浴場に入りながら、この問題を考えていた。おそらく湯船につかったときに湯があふれるのにヒントを得たのであろう。彼はその解法を発見して「見つけた！」と叫びながら浴場を飛び出し裸のまま街中を走ったという。その解法とは、王冠と同じ重さの純金のかたまりと純銀のかたまりを満水の容器に入れ、それぞれ溢れる水の量を測り、王冠を入れた時溢れる水の量とを比較する方法であった。純金の密度は 19.3g/cm^3 であるのに対し純銀の密度は 10.5g/cm^3 であるので、純銀のかたまりを入れた時の方が純金のかたまりを入れた時よりも倍近く水が溢れるはずである。王冠を入れた時に溢れる水の量が純金のかたまりを入れた時より多かった場合、王冠には銀が混ざっていることになる。さてこの解法によって、錬金技師の運命はどうなったことであろうか？

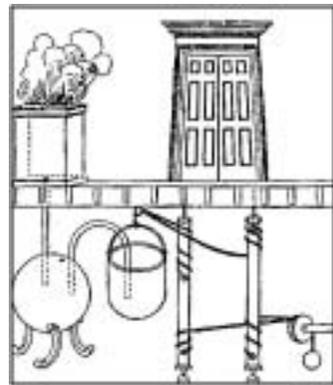
アルキメデスははこの原理にも精通しており、ローマ軍がシラクサに攻め込んで来たときに、大型の投石機で敵船を撃破したり、大型の鉄製のかぎで敵船を持ち上げたりしてローマ軍を大いに苦しめた。しかし彼が路上で幾何図形を見ながら研究に没頭しているとき、ローマ兵が抜き身の剣を持って近寄ってきた。「君、わしの図形に近寄らないでくれ」と言ったため、哀れにも兵士に刺し殺されてしまった。これを悼んで、ローマ將軍マルケッスルは彼の科学上の数々の業績と才能を認めていたので、ひどく哀しみ、墓をたてその墓にアルキメデスの命題「球の体積はそれに外接する円柱の $2/3$ である」という図形を刻みこんだ



第2図 アルキメデス命題の図形

（第2図参照）

アルキメデスとねじの発明者と目されるアルキタスの後継者たちが、とくにアレクサンドリアにあらわれた。クテシビオスは空気の弾性を発見し、圧縮空気をつかう武器や吸い上げポンプと押し上げポンプを発明したようである。クテシビオスの後継者が2003年11月号で記したヘロンである。ヘロンは空気の弾性を利用して第3図のような興味のある装置を作った。



第3図 ヘロンの神殿扉開閉装置

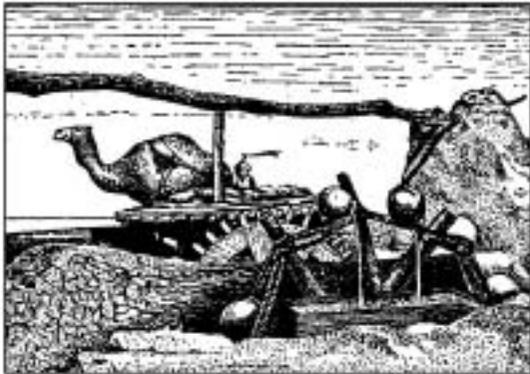
この原理を説明すると、祭壇の上に火がともされると、祭壇内の空気が熱せられて膨張し下部にある容器内に流れ込み、中の水が押されて隣のバケツにうつり、バケツが重みで下がって2本の鋼製の軸を回転させ、扉を開く。そのさい、左端の釣り合い錘は上がる。多分下の仕掛けは見えないようにしていたであろうから、この装置を始めて見た人々は自動的に開く扉を神の仕業か、あるいは魔法と思ってびっくりしたことであろう。これはれっきとした流体機械である。

3. 揚水技術

さて話は変わって、2003年11月号では灌漑や水道の発達史について述べたが、これには揚水技術が必要となってくる。

はねつるべのような簡単で不連続な揚水方法から機械的な揚水の進歩は、ギリシャ人の2つの発明 - 歯のついた車とねじ - の応用によって達せられた。

歯のついた車輪の発明もアルキメデスだとされているが、この歯車を人間や動物がまわす水平型の水車に掛けることによって、つぼのついた垂直の水車を回転させたものが、「ペルシャ水車」すなわち“サキヤ”である。第4図はラクダでまわす近代の“サキヤ”



第4図 ラクダで廻す近代の“サキヤ”

(つぼ車)でナイル川の水を揚げているところであるが、構造がきわめて粗雑であるところから古代のものが未だにそのまま残っているものと思われる。

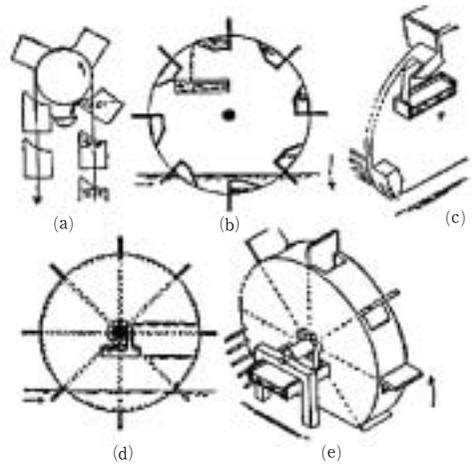
第5図はアバメア出土のモザイクから撮ったもので2世紀頃のローマの揚水用すくい車であるが、紀元50年ころのヴィトルヴィウスが記述した揚水機械の3つの型を第6図のように示した。



第5図 ローマの揚水用すくい車

(a)が滑車バケツ方式、(b)(c)が「すくい車」、(d)(e)が8つに仕切った「鼓輪水車」で水かきが川の流れによって揚水車を回転させるものである。

エジプトでは回転仕掛けはヘレニズム時代に徐々に

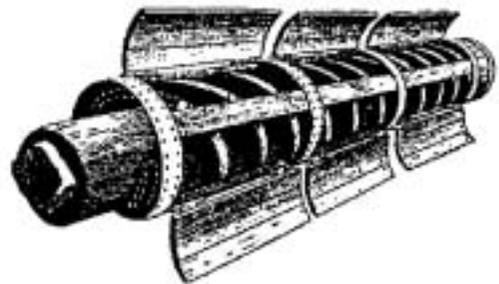


第6図 古代揚水機械3つの形

はいつてきた。“サキヤ”のことは紀元前2世紀に始めて記述されている。ローマ時代までに、エジプトでは“サキヤ”にかわって“鼓輪水車”が現れ始めたが、この水車は菜園を灌漑したり、塩田の塩を溶かしたりするために、足踏み車でまわして水を豊富に供給した。

ねじの発明はアルキタス（紀元前400年頃）に帰せられているが、最古のはっきりした報告はアルキメデスの揚水ねじであり、ディオロドス（紀元前1世紀）によれば、蛇のように長い機械によってナイル川の三角洲が灌漑されたという。

第7図はスペインのソティエルの一鉱山から出土した、オーク材のアルキメデスのねじ揚水車である。車軸の直径は61cmであり、螺旋状のねじ山が5cmほどである。



第7図 アルキメデスのねじ型揚水車

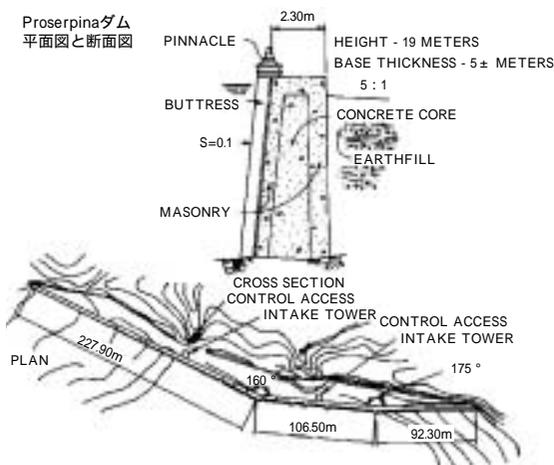
アルキメデスは「浮力の原理」の発見者で有名であるが、このように流体機械発明の元祖であるともいえるよう。

4. ダムの歴史

給水のための貯水池として古代人はダムを考案した。古代のダム発祥の地は定かではないが、現存する世界最古の遺跡としてはエジプトのSadd el-kafaraダムがあげられる。クフ王の治世（紀元前2900～2877）に作られたといわれているが、最大欠陥として余水路がなかったことである。集中豪雨を受ける地域でありながら、57万 m^3 の貯水容量しかなく、完成後間もなくダム中央部が決壊したらしい。一方バビロニアとアッシリア地方の灌漑はチグリス・ユーフラテス流域において紀元前2100年頃に大きく進歩した。バクダットの北、サマラの南チグリス川にあるMardukと呼ばれる古いダムは、チグリス川を横断する大きなアースダムで、川水面を12mも上昇させ、大量の取水に役立ったとされる。

西暦100年を過ぎた頃、スペインに素晴らしいダムが誕生し始める。巨大なローマ人遺跡と呼ばれるメリダの町付近にある、高さ19m、長さ427mに及ぶProserpinaダムである。この図面を第8図に示す。

ローマ人が造った最大のダムであり、現在使用されている最古のダムCormalboダムもこの頃に建造されたものの一つである。



第8図 proserpinaダム図面

てきた高度に発達した文明が破壊され、貴重な文献が失われたからだといわれている。ヨーロッパでは7世紀半ば、ヘロンなど古代の技師達が活躍した中心地のアレキサンドリアが十字軍により陥落され、この頃から中世暗黒時代に入り15世紀まで続くわけだが、反対に東洋の中国ではこの間に度量衡が非常に進歩した。流れに関する事業として、春秋時代から漢代（紀元前8世紀頃～西暦3世紀頃）にかけて大運河が建設され、隋代（西暦6世紀）にはその距離が2,400kmにまで達した。隋の煬帝は、これらの水路をつけかえたり、全体的に河道を拡大整理して、黄河と淮水を南北に結ぶ通済渠や黄河から北京郊外へ達する氷済渠など、江南の穀倉地帯と中央をつなぐ輸送の大動脈を作り上げている。さらに元（13、14世紀）から明（14～17世紀）の時代になり、首都が北京に移されると、南北を一直線に横断する水路が新たに作られた。これが今でも使われている世界最長1,800kmの大運河である。流体器械では冶金技術として「ふいご」が使用されていたし、漢代（～3世紀）にはピストンを前後させて送風する箱型のもの、すなわち「排」が使われだし、中国、日本で最近まで使われていた。これには人力で動かすタイプのほか、水力によって大量に送風できる「水排」も開発された。漢代における大量の鑄鉄精錬はこの水排によって可能となったのである。

水稻を主食としてきた日本では、水に対する技術が早くから発達していた。「風土記」や「古事記」の中には「高樋」と呼ばれるサイフォンに似たものが現れている。

ここまで古代の特に水にかかわる技術の歴史について述べてみた。次号からは中世から近代への流れに関する歴史へと移っていききたい。

<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：「偉大であった、東洋の流体技術」オーバル, SPECIALTY No.2, 1988
- (3) “FLUID CULTURE”, オーバル SPECIALTY No.9, 1990
- (4) 朝倉活彦：「世界人物逸話辞典」, 角川書店
- (5) 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

5. ヨーロッパ暗黒時代と中国の科学の発展

さて古代オリエントで花開いた科学は中世15世紀のレオナルド・ダ・ビンチが登場するまでさしたる変化もなく、従って流体に関する歴史的な発見や発明もない時代が過ぎていく。これは4世紀よりゲルマン民族の大移動があり、ギリシャ、ローマと続い