

前近代日本の水車と工業生産*

南 亮 進

工業の発展は機械力の利用と深い関連をもって
いる。ランダース(D. S. Landes)によれば、「工業
化の歴史は動力の歴史」¹⁾なのである。そうだと
すれば動力利用の歴史の研究によって、工業生産
の規模や技術の発達度を明らかにすることができ
よう。最近イギリスとアメリカにおいて動力史の
研究が盛んになっているが、そこでもそうした問
題意識が根底にあるのではないだろうか²⁾。

ところで日本の歴史を工業化という観点から見
ると、それは3つの局面に分かれる。第1は在来
技術しか存在しなかった局面で、徳川末期前の期
間がこれに当る。これを前近代と呼ぶ。第2は近
代技術が導入され近代産業の育成が進んだ局面で、
徳川末期から明治中期——1880年代中頃——ま
での期間である。その局面は工業化の準備期であ
る。第3は本格的な工業化の局面で、1880年代
中頃から今日までの100年間を含む。その間に各

種の近代技術が定着し近代産業が発展した。その
結果経済成長率は次第に上昇した³⁾。

筆者は別の所で第3の局面をとりあげ、そこで
の工業化を動力革命(水車から蒸気機関へ、そし
て電動機への変化)との関係において分析した⁴⁾。
なぜなら工業化は単に製造業の量的成長のみなら
ず、家内工業から大規模工場生産への転換という
質的变化を含んでいるからである。本稿では、第
1の局面を取り上げ、その局面における工業動力
の普及状況を分析する。このことによって、当時
の工業生産や産業技術の実態を知る手掛りをうる
こと、したがって1880年代中葉以降の工業化の
初期条件を明らかにすることが期待される⁵⁾。

この分析では、農村における精米・製粉も重要
な対象として含まれる。農村のこの活動は通常は
農業生産として取り扱われるが、本質的には工業
の生産活動とことなるところがないからである。

第1の局面、すなわち前近代社会における動力

* この論文の執筆に当たっては、下記の水車研究
家の方々からのヒヤリングに負うところが大きい。青
木国夫国立科学博物館工学部長、伏井猛朗大阪府南河
内郡千早赤阪村教育委員会委員、前田清志玉川大学工
学部助教授、末尾至行関西大学文学部教授(アルファ
ベット順)。また一橋大学産業技術研究会における筆
者の報告に対する会員の皆様からのコメントも有益で
あった。記して厚くお礼を申し上げたい。

1) David S. Landes, "Technological Change
and Development in Western Europe, 1750-1914,"
in H. J. Habakkuk and M. Postan (eds.), *The Indus-
trial Revolutions and After: Incomes, Population
and Technological Change* (1), London, 1965, p. 521.

2) イギリスについてはたとえば Richard L. Hills,
Power in the Industrial Revolution, Manchester
University Press, Manchester, 1970; G. N. von
Tunzelmann, *Steam Power and British Industriali-
zation to 1860*, Clarendon Press, Oxford, 1978. アメ
リカについては Louis C. Hunter, *A History of Indus-
trial Power in the United States, 1780-1930*, Vol. 1,
Waterpower in the Century of the Steam Engine, Uni-
versity Press of Virginia, Charlottesville, 1979.

3) この期間区分は大川一司とヘンリー・ロソフス
キー(Henry Rosovsky)のそれに近い。両氏は明治維
新(1868年)から1885年までを過渡期とし、1886-
1905年を初期の近代経済成長、1906年以降を近代経
済成長とした。「日本における経済成長の百年」W. W.
ロックウッド編(大来佐武郎訳)『日本経済近代化の百
年』(W. W. Lockwood (ed.), *The State and Economic
Enterprise in Japan*, Princeton University Press,
Princeton, 1965), 日本経済新聞社, 1966年, 38ペ
ージ。工業化と近代経済成長とは事実上同一の現象と
みてよいであろう。

4) 南亮進『動力革命と技術進歩——戦前期製造業
の分析』東洋経済新報社, 1976年。Ryoshin Mina-
mi, "Mechanical Power in the Industrialization of
Japan," *Journal of Economic History*, Vol. 37, Dec.
1977.

5) 第2の局面についての簡単な展望は Ryoshin
Minami, *Water Wheels in the Preindustrial Economy
of Japan*, Discussion Paper Series, No. 7, Institute
of Economic Research, Hitotsubashi University,
Dec. 1978 で試みた。

は、人力を別にすれば、事実上水車のみであった。動物力と風力の利用は、わが国ではきわめて限られたものでしかなかったのである⁶⁾。I では前史として水車の伝来と消滅、および江戸時代初期における水車の再登場について述べる。II では農村水車の実態を展望する。III では農村水車の普及度を評価しその要因を分析する。IV では工業水車の利用の実態とその要因について論ずる。V では、水車とそれに付随した伝導機(トランスミッション)の技術を分析する。VI では以上でえられた結論を整理し、その含意について論ずる。すなわち農村水車と工業水車の普及度から、当時の工業の発達状態を推論しようというのである。

I 前 史

多くの技術がそうであるように、水車の技術も中国から伝来したものであった。すなわち『日本書記』によると、わが国最初の水車は610(推古天皇18)年、高麗から帰化した僧侶曇徴^{どんちよう}が作ったものであった。一節に「曇徴は五経^{みづりす}を知れり、またよく彩色および紙墨を作り、あわせて礪磑^{れいぎ}を造る。けだし礪磑を造ること、この時に始まるか⁷⁾とある。礪磑とは水車つき精米機である。また同書には、670(天智天皇9)年の項に「ことし、水碓^{みずうす}を造りて冶鉄^{かねわか}す⁸⁾とある。これはいうまで

もなく冶金である⁹⁾。また718(養老2)年の養老律令職員令主税寮の条に「米を作るを礪と云い、麵を作るを碓と日¹⁰⁾とある。水車利用の精米・製粉機のことである。したがって礪磑は、610年より少なくとも8世紀初頭までは存在したことは確実である。しかしそれはひろく普及することなく、次第に消滅したと考えられる。実際臼用水車の利用はその後の国史には見られない¹¹⁾。これは中国におけるように粉食が主体でなく、米の保存と輸送はもみのままで行なわれ、脱穀粉碎は必要に応じて搗くだけでしたからである¹²⁾。

しかしこの間にも灌漑用水車は利用されていた。前述の養老令雑令の取水漑田の条には、礪磑(精米・製粉機)の利用は公私の灌漑を妨害しないときに限って許可すべきである、と書かれている¹³⁾。精米・製粉より灌漑が優先されたのである。また832(淳和天皇の天長9)年の大納言良岑安世の奏言に、水田には水車による灌漑が必要であると述べられており、天皇はこれにもとづいて天下に勅して水車を作らせたという。安世の考案になる水車は、宇治附近の農民によって発明され利用されていたものであった。『徒然草』の一節に現われる淀の水車もこれと同類のものである¹⁴⁾。

臼用水車がふたたび現われるのは江戸初期である。上野国高崎宿では元禄(1688-1703年)の末、

8) 同上、374ページ。

9) これは水車で「ふいご」を動かして送風し、鉄をとかしたものと考えられる(三枝博音『三枝博音著作集』第10巻、中央公論社、1973年、104-105ページ)。一方田村栄太郎のように、鉄鉱石の粉碎に水車が使用されたとする説もある(『日本工業文化史』科学主義工業社、1943年、727ページ)。薩摩藩の曾占春の著作『成形図説』(1831年)でも、槌打ちも行なっていると記している(明治前日本科学史刊行会、7ページ)。

10) 黒板勝美編『新訂増補 国史大系 第二部2 令義解』吉川弘文館、1951年、43ページ。田村栄太郎はこれを大宝律令の条としている(727ページ)。これは誤解であろう。

11) 田村栄太郎、728ページ。もっとも東大寺造立供養記には、1195(建久6)年水車によって多量の米をついたという記事がある(明治前日本科学史刊行会、2ページ)。

12) 明治前日本科学史刊行会、2ページ。

13) 黒板勝美、335ページ。

14) 田村栄太郎、728-730ページ。

6) 畜力の工業生産への利用は、製糖以外にはほとんどみられない。18世紀末の琉球と奄美大島では、甘蔗を圧搾し汁をしぼり出すのに牛が用いられた。すなわち搾車(2つのシリンダーを回してその間に挟まれた甘蔗を圧搾する機構)を牛で動かした。1883年には奄美大島で6,574頭の牛力による搾車があった。因みに水車によるものは552台であった。靱搦や脱穀への畜力の利用は、1902(明治35)年岡山県の奥山鹿吉の発明によってはじめて可能となり、その後岡山県、九州、四国などの地域で普及した。このような畜力利用の未発達は、第1に労働力が豊富であることと第2に土地が狭く人口が多いため、家畜の飼育が難しいという事情によるものであろう。一方風力は、特定の地域で灌漑や精米に多少用いられたに過ぎない。これには台風の定期的襲来という、他国とはことなつた気象条件が作用しているのであろう(明治前日本科学史刊行会編『明治前日本機械技術史』日本学術振興会、1973年、17,88-90ページ)。

7) 『日本書紀』下 日本古典文学大系68、岩波書店、1965年、194ページ。

佐渡の相川鉾山の隣接地の山田に元禄年間に、それぞれこの種の水車が設けられ、また下野佐野の市郎右衛門は1726(享保11)年、淀の水車を見て白用水車を作ったという¹⁵⁾。また一説によると、白用水車は南蛮・中国との貿易が盛んであった時代に、ふたたび中国から直接伝来したか、『農政全書』¹⁶⁾『天工開物』¹⁷⁾その他の農業技術書によって会得されたともいう¹⁸⁾。享保頃には関西東海道にはどこにもあったようで、尾州藩の水車税の徴収は1720(享保5)年に始まっている¹⁹⁾。

II 農村水車

精米水車

水車動力の利用は穀物の調整に始まり、それを中心として普及した。その中でも精米が重要である。いうまでもなく米は脱殻、^{もみすり}粳摺、精米という3つの加工段階をへて消費者の手にわたる²⁰⁾。脱殻とは米をその穂からとることであるが、これは古代には堅白と堅杵で「舂く」ことによって成された。すなわち米は稲穂のままで分配・貯蔵され、必要に応じてそのまま調整された。そこでは脱穀、脱稃、それにある程度の精白とが、同時に行なわれたのである。この「舂く」という脱穀方法から1世紀頃には「^す扱く」という方法に変わる²¹⁾。元禄年間には「センバ扱き」が発明され、この作業の能率を高めた。粳摺とは粳殻をとりのぞいて玄米をうる作業である。これは前述のように、古代では、堅白と堅杵によって「舂く」ことによって

行なわれた。これが1世紀頃木臼によって「⁺摺る」方法に変わり、木臼は徳川中期には土臼へと変わる。かつてはこの玄米をそのまま食したのであるが、次第に玄米の精白が行なわれるようになった。すなわち徳川初期には、一般人は玄米かせいぜい半白米を食していたが、元禄・享保を分岐として白米が常食となった。精米は古代には堅白と堅杵によって行なわれ、17世紀の初めから次第に踏臼へと変わる。踏臼の普及は、水車臼の登場の前提条件であった。

米の調整の3段階のうち人間以外の力がひろく利用されたのは、精白だけである。中国では粳摺の段階でも、土臼の畜力・水力による運転が行なわれた。しかしわが国ではこれが登場したのは明治に入ってからである。「馬土臼」は1887年頃熊本県に見られ、「水力士臼」は1881年の農談会で2,3の報告があるにとどまっている。さて精白における水車の利用は、踏臼にかわるものとして登場した。踏臼は、支点で支えられた長い柄の端を足で踏んで杵を上げ、足をはずせば、杵の上にとりつけられた重みによって杵が落下して白をつくという構造であった。水車臼は足の力を水車の力にかえたものである。縦型水車の中央を貫く長いシャフトの端にラッグ(lug, 突起)がつけられており、シャフトが回転すると、ラッグが杵の柄の先端を押し下げて杵を上を持ち上げ、さらに回転すると、突起が柄の先端からはずれて杵が重力によって落下するのである。シャフトを十分に長くとりラッグを一定の間隔で複数個つければ、複数個の精米臼を同時に駆動することができた²²⁾。精米能力はまちまちであるが、1887(明治20)年の井口在屋による東海道の水車の調査によると、静

15) 同上, 731 ページ。

16) 中国明の農学者徐光啓の著作(1639年)。中国古今の農学の集大成である。

17) 中国明の学者宋応星の産業技術書(1637年)。

18) 明治前日本科学史刊行会, 3 ページ。

19) 田村栄太郎, 731 ページ。

20) 精米の技術史については農業発達史調査会編『日本農業発達史——明治以降における』第2巻, 中央公論社, 1954年, 19-96 ページによる。

21) 「扱く」という脱穀方法は、ほとんどわが国に限定されている。世界共通の方法は米麦にかかわらず、「打つ」ことである。たとえば中国の『天工開物』でも稲は「打つ」ことによって脱穀されている。わが国で「打つ」脱穀方法が普及しなかったのは、わが国の水稲がジャポニカ系統で脱粒性が難であるためである(日本農業発達史調査会, 22-23 ページ)。

22) 現在の東京都の大沢村野川に保存されている下射式水車は、1808(文化5)年より1968(昭和43)年まで稼動し続けたが、落差65センチの水流で10馬力を出し、杵10本と挽臼1個を動かした(奥村正二『火繩銃から黒船まで——江戸時代技術史』岩波新書750, 岩波書店, 1970年, 179-180 ページ)。これは当時の水車としては群をぬいて大型のものであった。また『農政全書』の挿し絵と、『ペルリ提督日本及び支那遠征記』第1巻のスケッチに描かれている下射式水車は、4本の杵を動かしている(明治前日本科学史刊行会, 3, 5 ページ)。

岡県の水車は6馬力程度で1時間に1石の米を精白した。また杵は1分間に45-60回上下し、臼は1斗2,3升入りのものが使用されていた²³⁾。また丸山清康の研究によると、北関東の水車は1分間に10-15回転し、1回転ごとに杵が4回づつ上下するというから、杵の往復運動は1分間に40-60回となり、井口の調査結果と一致する。また1臼には2斗前後の玄米をいれ、20-24時間で精米したという²⁴⁾。

ここで「そおず」(僧都、僧布豆)または「ばったん」「ばったり」と呼ばれる、1種の水力精米機に触れておくのが適当であろう。これはきわめて簡単な機構によって水力の利用をはかったものである。いま踏臼の柄の先端(足で踏みつける部分)に小さな箱をとりつける。これに水を流しこめば、水の重さによって柄は押し下げられ杵はね上がる。柄が下がると箱から水がこぼれて杵が落下する。すなわちこの機構は、水車臼よりもより踏臼に近いものであった。当然精米能力は水車には及ばない。静岡県のおおずは、臼の容量は6升、落下杵数は毎分12回、玄米を5時間で精白したという²⁵⁾。

製粉水車

小麦は硬い皮が胚乳部にくい込んでいるため、これをとり出して分離するには細かく粉碎する必要がある。これは精米よりも大きなエネルギーを要する²⁶⁾。このためヨーロッパや中国の一部では、早くから水車製粉が行なわれていた。しかしわが国では粉食は付随的なものにすぎず、したがって製粉用水車の普及は精米水車にはるかに及ばな

かった²⁷⁾。しかし小麦が作られ製粉が行なわれた二毛作地帯、とくに麵業地帯では、水車の利用は増加した。たとえば兵庫県の加古川流域のそうめん製造業は、加古川に仕掛けられた多くの水車によって小麦を製粉し、そうめんの原料とした²⁸⁾。

III 農村水車の普及度とその要因

精米水車

精米水車は7世紀初頭伝来し、その後あまり利用されず間もなく亡びてしまった。これは精白の必要があまりなかったためであった。こうして消滅した水車は江戸初期に復活し、元禄の末頃から白米を食することが普及するにつれて増加した。しかしその精白は今日の精白とはことなり、せいぜい半搗米であったと思われる。半搗米なら人力で十分に間に合ったのである。わが国の精米水車の普及度を評価する際には、この事実が決定的に重要である²⁹⁾。

またわが国の米は玄米のまま貯蔵したり、または消費地へ輸送し、必要に応じて精白するのが常である。したがって都市における精米量は莫大なものとなり、水車動力に対する潜在的需要はきわめて大きい。実際に水車を掛ける水の流れは少ないのである。このような精米需要の地域的分布と水力の地域的分布の不一致も、国全体としての精米水車の普及を妨げた要因としてあげられよう。

都市における精米の実状を、大消費地江戸を例にとってみることにしよう。江戸の米は大阪などから主として海路で輸送された。市中には米搗業があつて杵をもって各家を搗いて廻り、あるいはその業者の家でも搗いた。しかし江戸末期になると、人口増加による米の消費量の増加によって、人力では間に合わなくなり、水力利用による大量の精米が必要となってきた。しかし市中の河川に

23) 吉田光邦『機械』法政大学出版局、1974年、21-22ページ。

24) 丸山清康「農村水車の技術史——北関東における」『科学史研究』第37号、1956年、1-3月、5ページ。

25) 日本農業発達史調査会、97ページ。「そおず」は『農政全書』および『成形図説』の挿し絵に描かれており、またベリー提督は『日本遠征記』の中で、伊豆川に仕掛けられた「そおず」に珍奇の眼をむけ、そのスケッチを残している。これら3つの図は明治前日本科学史刊行会、2,5,6ページに再録されている。

26) みわしげを『石臼の謎——産業考古学への道』産業技術センター、1975年(初版)、1977(新装版)、226ページ。

27) 奈良県の『水車調』には556台の水車が収録されているが、そのうち米搗水車は専用が296台、兼用が97台、合計393台にのぼる。これに次いで製粉水車が多数を占め、専用38台、兼用63台、合計101台を数えた(末尾至行『水力開発=利用の歴史地理』大明堂、1980年、89ページ)。

28) 吉田光邦、11ページ。

29) 吉田光邦、10-11ページ。

は十分な落差がないので水車を掛けるわけにいかず、近効農村の水車が利用されることになる。目黒川・三田用水・品川用水のある目黒がその代表的なもので、この水車は明治から大正にかけても引き続き利用されたという³⁰⁾。これによると江戸の精米は主として人力で行なわれたこと、水車の利用は江戸末期以降であることがわかる。江戸末期以降でも、水車精米の依存度はどの程度であったか不明である。おそらくかなりの分量の精米は、依然として人力に依存していたのではないかと推察される。

製粉水車

製粉水車の普及は、精米水車にくらべて格段に小さかったことには疑う余地がない。これはわが国の主食が粉食でないことの当然の結果であり、粉食が主で製粉需要の大きい欧米とは著しい対照をなしていた。

ヨーロッパにおける水車製粉の歴史は、古く紀元前100-50年にさかのぼるとされる。しかしそれが本格的に普及したのは、奴隷制度の崩壊によって労働力が払底してからであった。事実4世紀半ば、ローマ市民が彼らの食糧調達を水車動力に求め始めたことを示す資料が存在している。水車製粉の普及は、当然独立の製粉業の発達を伴った。この傾向を助長した2つの要因がある。第1に封建領主が製粉作業を独占し、小作人に対して彼らの水車場の利用を強制するということが起こった。これは小作人の激しい反対を招いたが、大型水車と製粉業の企業化を促進した。第2は都市の発達による製粉需要の増大である。水車場は都市の橋の畔に設置され、ヨーロッパの河川の多くには浮遊式水車が現われた³¹⁾。

アメリカの水車技術は移民によってヨーロッパから持ち込まれて以来、豊富な水量と水車に適した地形によって水車はニュー・イングランドを中心にひろく普及した³²⁾。要するに産業革命以前の

日本と西欧との間には、農村水車の普及度にかなり大きな格差があったと言える。

農業水利の影響

農村水車の未発達の原因としては、しばしば農業水利との相剋があげられる。水稻を中心とする農業にとって水利は死活の問題で、それが精米・製粉水車の普及をはばんだというのである。さきに引用した、「水車の利用は、公私の灌漑を妨害しないときに限定されるべき」という養老令の条項は、すでにその頃水車と水利との相剋があったことを示している。また吉田光邦によると、大阪府南河内郡では1744(延享元)年にはじめて水車が設置されたが、この際水車の持主は村の庄屋などに一札を入れ、5月節の10日前から秋の彼岸10日過ぎまでは水車の水口に錠をかけ、三郷役人から封印を受けることになっていた。宝暦年間(1751-1763年)4台の水車が増設され、水車業者と農民との争いは深刻となり、水車小屋の取り払いをめぐって訴訟がくりかえされた。ようやく1764(宝暦14)年、水車は向う5ヵ年の間に取り払うという裁定が成立したが、水車と灌漑水利との相剋はその後もながく続き、現代にまで及んだという。そのため水車はもっとも水量の多い春から夏にかけて稼働できず、稼働が許される冬の間は水量が少ないため、水車精米は独立した事業とはなりにくく、農業活動との分離は進行しなかった³³⁾。

アメリカはこれと対照的である。そこでの水車所有者と農夫との争いは、水車を仕掛けるためのダムの水が、雨期に川の両岸を侵すことによるものであった。しかし製粉水車や製材水車は村の人々の生活に欠かせない存在として公けに認められており、上記のような係争についても、地方政府は水車所有者の立場を尊重する法律を制定した³⁴⁾。

しかしわが国における農業水利の発達は、一方では農村水車の発達をうながしたとも言える。水利が発達し水の流れが村のすみずみまでいきわたることによって、水車を掛ける場所は飛躍的に増加したからである。農業水利の水車に対する影響

30) 目黒区教育会『目黒区誌——教育資料として』1953年、75-76ページ。

31) アッシャー(富成喜馬平訳)『機械発明史』岩波書店、1940年(A. P. Usher, *A. History of Mechanical Inventions*, New York, 1929), 192-203ページ。

32) Hunter, Chap. 1.

33) 吉田光邦、9-10ページ。

34) Hunter, pp. 28-36, 148-151.

については、このようにプラスとマイナスの両面があるのであって、いちがいにマイナスの効果だけを強調することはできない³⁵⁾。

IV 工業用水車

酒 造 業

水車の製造業における利用は、だいたい18世紀から始まったと言える。しかしその利用は徳川末期以前では、ごく簡単な製造活動に限られていた。

酒造業は明治以前からマニファクチュアー型経営(工場制手工業)が行なわれた例外的な産業の1つである³⁶⁾。これが通常マニファクチュアーとみなされるのは、多数の労働者を一ヶ所に集め、分業にもとづく生産が行なわれたためである。労働は2つに大別される。酒造労働と米踏労働がそれである。酒造労働は、特殊な経験と技術を要する熟練労働者である。これは醸造の特異性のために機械化は困難であった。米踏労働は、玄米の精白を担当する労働者である。わが国の酒造業は18世紀初めまで、これらの労働力による精白が行なわれていた。米踏は酒造労働とほぼ同一量の労働力を要し、しかも比較的単純な労働過程で構成されているため、酒造業の経営努力は精米の機械化による米踏労働の節約に向けられたのである。この技術革新に成功したのがほかならぬ灘五郎、とりわけ灘目の酒造業であった。灘目は、六甲断層から急傾斜して海に入るいわゆる瀑布線に位置しており、水車の利用には絶好の条件にあった。灘目の水車は享保3(1718)年少なくとも4台、1788(天明8)年40台、1810(文化7)年には66台の水車の存在が記録されている。水車の利用の効果は絶大であった。労働費用が節減され、酒の生産量が増加したばかりではない。酒の質が飛躍的に向上したのである。酒質の改善に一時期を画したのは魚崎の山邑太郎左衛門であった。彼は酒米を三昼三夜水車にかけ、精白をきわめて、はじめ

て灘の銘酒をつくったのである。このような高度の精白は、一定の速度と強さをもつて72時間連続する水車精米によってはじめて可能であり、米踏労働の限界をこえている。速度と強さの点で、足踏精米はある程度以上の精白は不可能である。杵の上下数1分間50-60回の水車(1臼の米量は約1斗)によると、舂米最上白は50時間以上、掛米は40時間内外を要したという。酒質の向上によって灘の酒は江戸で名声を博し、他産地の酒を圧倒するのである。

製油・製糖・製陶

油しぼりにも水車の利用がみられる³⁷⁾。江戸時代の製油は摂津・河内・和泉などで行なわれ、大阪はその中心であった³⁸⁾。水車は、菜種や棉実の粉末化(炒った種を粉にする)の過程に導入された。これは「水車しぼり」または灘地区で行なわれたので「灘油」と呼ばれた。とくに有名なのは摂津の灘目両組で、1つは享保年間(1716-1735年)に起こった摂津菟原郡水車新田(現在神戸市灘区大土平町)で、1782(天明2)年以後は25台の水車が存在し、もう1つは武庫・菟原・八部の3郡で、1770(明和7)年には56台が設置された。これら両者が灘目両組と称せられたものである。とくに水車新田の方は、マニファクチュアー生産の形態を示していたとされている。水車の能率は人力の約2倍であった。大蔵永常の『製油録』によると、搾り手1人、添槌1人、親司1人、下働き2人計5人で種子3石6斗をしぼったが、人力では2石であったという。粉にされた菜種は「搾」または「長木」と呼ばれる圧搾機でしぼって油をとるが³⁹⁾、この行程は人力で行なわれ、畜力や水車

37) 製油の水車については明治前日本科学史刊行会、9-10ページによる。

38) この地方で製油業が発達したのは、四国地方の菜種を瀬戸内海の舟運を利用して買入れることができたからである(吉田光邦、11ページ)。

39) 「搾」は斜面の原理を応用したもので、楔を打ち込んで圧力を加える装置である。「長木」は、てこの原理を応用しておしをかけて圧力を加えるものである。いずれも簡単な器具であり、砂糖しぼりに用いられた「搾車」のような機械的要素をもつものは、油しぼりには現われなかった。またヨーロッパとの比較でいうと、わが国の製油の「搾」「長木」はヨーロッパ

35) この点は新保博教授のご教示に負う。

36) 酒造業については河村盛一「酒造マニファクチュアと水車」『神戸外大論叢』第2巻第5号、1952年2月、23-36ページによる。

の利用はみられなかった⁴⁰⁾。

製糖すなわち甘蔗しぼりも、水車動力の工業への利用の数少ない例の1つである⁴¹⁾。はじめ甘蔗は人力によって動かされる石臼によってひかれ、溢出する液汁を採取して砂糖を作った。この方法では1日に消化される甘蔗は135-136貫であった。石臼はやがて「搾車」と呼ばれる機械にかわる。これは平賀源内が『天工開物』の図をもとに彼の『物類品隲』(1763年)に描いた方法で、回転する2つのシリンダーの間に甘蔗をはさんでしめつけ搾汁するものである。このシリンダーは牛馬によって回転された。これによって甘蔗の1日の消化量は、250-1000貫へと増加した。1717(享保2)年奄美大島の田畑佐文仁は、牛馬にかわって水車を用い、能率はさらに倍加した。すなわち畜力では黒糖の1日の生産高が1挺であったが、水車動力によって1日2挺に増加した。シリンダーははじめ木製であったが、1808(天化5)年には鉄輪車が登場している。

陶磁器の製造では、原料の粉碎に水車が用いられた例がある⁴²⁾。岩国地方錦川に浮かべられた船に臼をおき、それを水車で回わして陶土を粉碎した。船の側面に設けられた水車は、水流によって回転するのである。これは享和(1801-1803年)のはじめのことである。また有田ではそうずを利用して、磁器の原料の亜土を粉碎したことが、1767(明和4)年の資料に記されている。有田と並ぶ瀬戸でも同様であった。1803(享和3)年には32の水車が存在していた。瀬戸の水車はそうずでは

なく、普通の水車であった。

鉱石の粉碎に水車を利用したものに佐渡の金山がある。文化年間(1804-1817年)に設けられた水車は9本の杵を動かし、人間が鉄槌で粉碎するよりはるかに細粉とすることができた。

総合的評価

以上で展望した水車の利用は、いずれも原料(菜種・甘蔗・土・鉱石)を粉碎するかつぶすという点で共通していた。これ以外の水車の利用は、製糸業に若干の例が見られるにすぎない⁴³⁾。寛政末より享和にかけて(1800年前後)足利地方の織物が最盛期をむかえるが、その原料の絹糸に撚りをかける作業(撚糸)に水車が利用された。また上州では、碓永郡藤塚村の沼賀茂一郎が1859(安政6)年座操器を連結し、これを水車で動かした。しかし1861(文久元)年洪水で流失し廃業した。

この点ヨーロッパではどうか。製粉に限定されていた水車が工業用に利用され始めたのは中世である。すなわちラシャの掲き晒し(縮絨)は11世紀に出現して13世紀に普及し、鍛冶用水力ハンマーと水力ふいごは11,12世紀、製紙用木材粉碎機は13世紀、鉱石粉碎機は14世紀までに開発された。また製材、刃物の研磨は13世紀、針金の引き伸し、色素原料のすりつぶし旋盤の運転に水車が利用されたのは14世紀である⁴⁴⁾。また木材生産の盛んであった17-19世紀のアメリカでは、水車動力による製材所が各所に建設され、村落の中心をなしていた⁴⁵⁾。1840年には22,661台の製粉水車に対して、31,650台の製材水車が存在した⁴⁶⁾。

このような工業水車の普及におけるわが国の遅れは、いかなる要因によるのであろうか。第1に農業水利との関係があげられる。すでに述べたように、水車業が公益的なものとして保護されたア

パのオリブやぶどうの圧搾に用いられたネジ式圧搾機にあたる。このネジ式圧搾機は便利で強大であり、その技術的水準は「搾」「長木」をはるかに上回っている。グーテンベルクの印刷機がここから生まれたことは、あまりにも有名である(明治前日本科学史刊行会、92-93ページ)。ここにも、ヨーロッパに比較して日本の当時の工業技術が立ち遅れていたことの例証がある。

40) 大矢真一『日本の産業技術——鯨捕りから反射炉まで』三省堂、1971年、77ページ。

41) 製糖業については日本工学会『明治工業史 化学工業篇』明治工業史発行所、1925年、777-778ページおよび明治前日本科学史刊行会、84-92ページによる。

42) 陶業および鉱石の水車利用については吉田光邦、15-21ページによる。

43) 明治前日本科学史刊行会、12-13ページ。

44) S. リリー(伊藤新一・小林秋男・鎮目恭夫訳)『人類と機械の歴史 増補版』岩波書店、1968年(Samuel Lilley, *Men, Machines and History*, revised and enlarged edition, International Publishers, New York, 1965), 55-56ページ。

45) Hunter, pp. 15-21.

46) Hunter, Table 2 (p. 38).

メリカと比べると、わが国の水車は農業水利との関係においては不利な条件にあった。しかしこの要因は、徳川末期以降の水車利用の増加を説明できない。なぜなら農業水利との相剋は、徳川末期以降でも依然として存在していたはずだからである。またすでに述べたように、農業水利は農村水車の利用を促進する効果もあわせ持っていたことも考えられる。

第2は、水車動力を製造業に利用する技術が未発達だったという事実である。徳川末期以前の製造業における水車利用は、きわめて簡単な作業に限定され、複雑な伝導装置を必要とする作業——たとえば製糸・紡織・製材——にはほとんど水車が利用されなかったという事実は、この説明がある程度正しいことを物語っている。しかし水車技術の発達と水車利用とは相互依存の関係にあり、水車技術の未発達は水車利用の未発達の結果でもあるのである。水車利用がもっと進めば、水車技術はさらに進歩したことであろう。

第3の、そして決定的に重要だと思われる要因は、その頃の製造業では、機械力に対する大きな需要が存在しなかったということである。製造業生産の大部分は農家の副業として零細な規模で行なわれ、機械力を導入しようという動機は存在しなかった。機械力の導入は、大量生産を前提としてはじめて可能なものであり、大量生産を目的としないならば、機械力を用いる必要はないのである。この点でわが国の経験は、水車動力に依存したマニュファクチュアー経営が一般的であった産業革命前のヨーロッパと、明らかにことになっていた。また安価な家族労働力をふんだんに利用出来るという事情も、機械力に対する需要を小さなものにしたと思われる。この事実を説明するためには、日本とアメリカの製材業を比較するのが最善であろう。両国は木材を豊富に生産し、建築物はすべて木材で作られた。しかし製材水車は日本ではまったく見られず、アメリカで著しい発達を見た。新開国アメリカでは労働力がきわめて不足していたことが、この基本的な理由であろう。

V 水車の技術

水 車

水車には、水輪が水面に対して水平に設置されている原始的な水平水車(horizontal wheel)と、垂直に据付けられている垂直水車(vertical wheel)とがある。ヨーロッパの水車は水平水車から始まっている。すなわちギリシャ式またはノルウェー式と呼ばれているのがそれである。これは車軸が垂直であるから、製粉用臼(軸が垂直である)に直結するだけで利用できたためである⁴⁷⁾。中国の『農政全書』にもこの挿し絵がのっている⁴⁸⁾。しかしわが国ではこの式の水車が利用されたという証拠はほとんどない⁴⁹⁾。これはわが国の水車利用は精米を主たる目的としており、精米は杵の上下によって行なわれるが、これに水平水車を利用するためには複雑な伝導装置が必要となるためであろう。これに反して垂直水車の回転は、ごく簡単な装置で杵の上下運動に変えられる。

垂直水車には上射式(over shot wheel)下射式(under shot wheel)、その中間の中射式(breast wheel)とがある⁵⁰⁾。上射式は、樋などによって水を導いて水輪の上から水を落とし、もっぱら水の重力を利用するもので、60~70%の効率を示す。しかしこれは水の落差が十分にある場所に限られる。下射式は、水輪の1部を流水にひたし、流水の衝撃で水輪を回転するもので、効率は20~40%程度にすぎない。しかし流量が豊かな場合にはこれで十分な力を出せるし、落差の小さい平坦地でも利用できるメリットをもっている。中

47) 西山武一「王禎農書・水車考」『農村研究』第36号、1973年、3月、7ページ。

48) この図は同上、8ページに収録されている。

49) わずかに葛飾北齊の『北齊漫画』(1815年)に、この型の水車が描かれている(黒岩俊郎・玉置正義・前田清志編『日本の水車』ダイヤモンド社、1980年、の巻頭に掲載)。

50) 水平水車、垂直水車のメカニズムの差異、および上射式、下射式、中射式水車の差異は、チャールズ・シンガーその他編(高木純一その他訳)『技術の歴史』第4巻(Charles Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall, and Trevor I. Williams(eds.), *A History of Technology*, Oxford University Press, London, 1958), 筑摩書房、1963年、523ページの図解で明瞭である。

射式はこれらの中間の性格をもつ⁵¹⁾。

これら3種の水車が普及したことは、日本も欧米も変わらない。どの程度の落差がえられるかという地形の条件が、水車の種類の選択をきめたと思われる。

ヨーロッパでは下射式は上射式より長い歴史を持っている。下射式は紀元前から使用されていたが、上射式が登場するのはかなりおくれる。しかしアルル近くのバルブガルでは、2-3世紀に大規模な製粉工場が建設され、そこでは8個の上射式水車が用いられた。また5世紀のアテネのアゴラ(集会広場)には、2台の上射式水車が製粉作業をしていたという⁵²⁾。もっとも上射式水車の優秀さが明瞭に認識されるようになったのは、ようやく18世紀の中葉か末期のこととされている⁵³⁾。この点で画期的な貢献をしたのはイギリスのスミートン(John Smeaton, 1752-1759年)であった。彼は実験によって各種水車の効率を調べ、上射式が下射式より優秀であることを、1759年の王立学会(Royal Society)に提出した論文の中で結論したのである。彼はその理由として2つあげている。第1はいうまでもなく、上射式では水の重力を利用出来る点である。第2は、流水が下射式水車の水輪を打ったときに生ずる水の攪乱運動としぶきによる力の損失が、上射式ではないことである⁵⁴⁾。水車の効率に関するこのような科学研究は、わが国では行なわれたことがない。

わが国の水車の生産は、車大工と呼ばれる人々によって行なわれた。その技術の実態は、北関東についての丸山清康の研究によって明らかである⁵⁵⁾。それによると、車大工は親方から受けついで技術と経験に頼り、客観的な計算をもとにして設計図を描くということはない。まず現場で水量

を測る。水流の中、厚さ、流速を測るのだが、これは空徳利の流れにほおり込み、あらかじめ岸につけた目印の間を流れる時間を測る。時計のない時代には脈膊で代用された。水量がわかると、親方から学んだ知識と経験とによって、水輪の直径と杵数を判断するのである。その際水輪の回転が1分間10-15回位になるように設計する。材料はすべて木材である。水に浸される部分には水に強い松や杉の赤味を使い、心棒は樺のように堅い木が使われる。各部分は木栓でかたく締め、釘は使わない。歯車は樺か榿を使う。このような水車の生産方法は、基本的には江戸時代を通じて(おそらくは明治以降にも)変わりがなかったであろう。

伝導装置

水車の技術に関しては、それに付随する技術——伝導装置——に触れなければならない。まず精米、鋳石や陶土の紛砕などでは、杵を上下に動かすだけであり、これは車軸に突起をつけておくだけで可能である。製粉や製油における菜種の紛末化では臼を回転させるから、車軸の水平の回転を垂直の回転(これで臼を動かす)に変換しなければならない。したがってそこでは歯車装置が必要となるのである。『農政全書』の水車製粉にもこの簡単な装置がみられる⁵⁶⁾。また奄美大島の「搾車」(畜力と水力による)でも、縦位置の2つのシリンダーを回転させるために、2つの大きな歯車が90°の角度で交わるように設置されている⁵⁷⁾。

一般の工業用には、さらに高度な装置が必要とされる。車軸の回転運動を、車軸と平行に据付けられたシャフトに伝達し、しかも車軸の回転速度を変えるためには、大きさの異なる2枚の歯車の組み合わせや、大きさの違う2つのプーレイとそれらを連結するベルトの組み合わせが必要となる。この方式の機構は、刃物の研磨機、旋盤などの工作機械の運転に必要なものであるが、これらの機械はヨーロッパではすでに13, 14世紀に普及したことはすでに述べた。わが国では、これらの機械の水力運転の例はまったくない。原始的な工作機械

51) 丸山清康, 5ページ。スミートンの実験によれば上射式水車の最大効率は約63%で、下射式のそれは約22%である(チャールズ・シンガー, 第7巻, 167ページ)。

52) 平田寛『失われた動力文化』岩波新書985, 岩波書店, 1976年, 139, 143ページ。

53) アツシャー, 502-503ページ。

54) Hills, p. 98.

55) 丸山清康, 6ページ。

56) 明治前日本科学史刊行会, 4ページの写真をみよ。

57) 同上, 12ページの写真参照。

である「ろくろ」には、大きさのことなる2つのプーレイとベルトが使われているが、人力によって運転された。「大車仕掛」のろくろがそれである。しかしそれを水車動力で動かす試みは、ようやく1887(明治20)年頃のことにはすぎない⁵⁸⁾。

もう1つの伝導装置は、車軸の回転運動を往復運動に変換するもので、これはクランク(crank)、カム(cam)によってなされる。往復運動を必要とする機械としては、製材機械(のこぎり)、「ふいご」などがある。これらの機械の水車運転は、ヨーロッパでは11-13世紀に普及した。わが国では機械製材の様子を描いた錦絵が残っており、三枝博音によると、これは水車から動力をえたらしいという⁵⁹⁾。しかしこの正確な年代は不明であるし、水車による機械製材は例外的なものであったと思われる。水力ふいごによる冶金は、すでに記したように、670年に行なわれたという記録がある。これが事実だとすれば、驚くべきことと言わねばならない。しかしこれは実験的なものにすぎず、事実この方式の冶金は普及することがなかった。奥村正二によると、出雲の「たたら」の送風は人力で行なわれ、水車が利用され始めたのは明治20年代(1887-1896年)であった⁶⁰⁾。もっとも『鉄山必要記事』は18世紀後半の薩摩で水車で鞆を動かしたという事実を記しているし⁶¹⁾、19世紀中葉以降の南部藩では、からくり師中野勘左衛門が発明した水車送風によるたたら生産が行なわれたという⁶²⁾。しかし水車送風は一般的だったとは言えない。水車技術の未発達と安価な労働力の存在、それにクランク、カムの技術的問題が、水力ふいごが普及しなかった理由としてあげられよう⁶³⁾。

58) 同上, 269 ページ。

59) 三枝博音, 212 ページ。

60) 奥村正二『小判・生糸・和鉄——続江戸時代技術史』岩波新書 863, 岩波書店, 1973 年, 138 ページ。

61) 明治前日本科学史刊行会, 183 ページ。

62) 岡田広吉「岩手県戸呂町小学校所蔵の水車式製鉄法の模型について」『日本鉱業会誌』1978 年, 8 月, 49 ページ。

63) 明治前日本科学史刊行会, 183 ページ。なお中国の『王禎農書』(1313 年)によると、後漢(西暦 25-220 年)の杜詩は水力ふいごを使って農具を鑄造した。しかし水力ふいごはその後消滅している(西川武一,

VI 結論と含意

以上でえられた主な結論は次の通りである。

(1) わが国の水車は主として精米用として普及した。しかし当時の精米は半搗米程度であったことが、精米水車の十分な普及をはばんだ。

(2) 粉食が付随的なものであるため、製粉水車の発達は精米水車にはるかに及ばなかった。またこれは、農村水車が西欧に比べて発達しなかった理由の1つとなった。

(3) その他の工業における水車の利用は少なく、マニファクチュアー経営のみられた例外的な産業(酒造・製油・捻糸など)に限定された。

(4) 水車の効果を高めようとする科学研究や実験が行なわれたことはなく、生産技術は徳川時代を通じて変わりがなかった。

(5) 精米の伝導装置はごく簡単なもので、製粉はこれよりも複雑な装置をもち、その他工業の水車利用には、さらに高度な装置(歯車・プーレイとベルト・クランク)を必要とする。すなわちわが国では複雑な伝導装置をもつ水車ほど発達しなかったものであり、このことはわが国の伝導装置の技術水準が全体として低かったことを示している。

これらの結論はいくつかの重要な含意をもつ。第1は(1)(2)の含意である。農村水車の未発達は、水車技術の未発達をもたらし、そのことを通じて水車の工業への利用をはばんだ。大きな製粉需要を背景に製粉水車が発達し、水車技術が進歩し、水車の工業への利用が技術的に容易であったと思われる欧米諸国とは、対照的であったと言えよう。

第2は(3)の含意である。これは当時の工業が未発達で、水車という機械動力を必要とするまでにはいたっていなかったことを示す。水車動力に依存したマニファクチュアーが農村を中心に発達し、産業革命の基盤をつくったヨーロッパの経験(16世紀中頃から18世紀の70年代まで)と対照的である。もしもわが国の工業が十分に発達し、マニファクチュアーが普及していたならば、水

10 ページ)。日本と中国は同じ道をたどったのである。

車動力への需要は大きくなり、穀物調整用水車の転用⁶⁴⁾や水車の新設によって、工業用水車は増加しえたはずである。現にマニファクチュアー経営のみられた酒造業・製油業などで水車が利用されているのである。くりかえせば、マニファクチュアー経営が一般化しなかったことが、工業用水車の普及をみなかった基本的な要因であろう。同じことを別の面からみれば、わが国で工業用水車の発達が遅れたことから、当時まだマニファクチュアーが一般化していなかったことを推察することができるのである。

第3は産業技術の水準についての含意である。水車とくに比較的高度な伝導装置をそなえた工業用水車は、車輛・時計と並んで、前近代社会における「機械」の代表的なものである。ヨーロッパにおいては馬車は鉄道以前の重要な運送機関として発達した。たとえば産業革命前のイギリスでは、増大した石炭の運搬には主として馬車が使用された。その結果17-18世紀の主要都市はもとより農村においても、馬車の製造、修理にたずさわる職人がひろく分布していた。しかし日本では馬車はほとんど使用されなかった。運送用の馬の使用は、馬の背に荷をつけて運ぶ「駄馬」ととどまっていた⁶⁵⁾。これは、わが国が湿潤地帯で土地がすぐ泥濘と化すること、太平洋岸、日本海岸に向かって流れる無数の河川が道路をいたるところで切断していることが、車の利用を不便にしていたためであった⁶⁶⁾。また時計生産はヨーロッパではルネッサンス期以来の太洋航海術の刺激によって、マニファクチュアーとしてひろく発達した。わが国

の時計は1830年代をピークに庶民にもある程度普及したというから、時計産業はまったくなかった訳ではない。進んだところでは部分的に分業形態による生産が行なわれていたし、技術も幕末には、田中久重にみるようにながりの水準を示していた。しかし生産の規模と技術とは、同時代のヨーロッパとくらべてはるかに遅れていた。この1つの理由としては、鎖国のために航海術や高度な天文学の発達がみられず、正確な時刻に対する要求がなかったことがあげられる。時計の基本原理と機構は、ほとんど進歩がみられず、動力装置は旧式な重錘式で、ゼンマイ式は数えるほどしかなく、调速も冠形脱進機によるものであった。田中の「万年時計」は日本の時計技術の最高傑作であるが、脱進機の部分はそっくり外国製であった。それは工業製品というより、むしろ工芸品として評価されるべきものであった⁶⁷⁾。

代表的な「機械」である水車(および伝導装置)、車輛・時計のわが国における未発達は、そのまま当時の機械産業の未発達を物語っている。より重要なことは、この事実がその後の産業革命または、近代経済成長に与えた影響である。ヨーロッパでは、水車・車輛・時計の生産が近代機械工業の母体となったといわれている。時計は機械的機構のもっとも集約化された構成物で、人類の「からくり」の才の集大成であった。時計師はそのからくりの技術をベースとして、水車大工の協力をえて蒸気機関など近代的機械の製造に進出した。産業革命期の初期の機械の発明者と機械工の多くは、ここで養成された。すなわち時計師の職場は機械技術の学校の役割をもっていた。たとえばケイ(John Kay 飛び杼)、アークライト(Richard Arkwright, 水力紡織)、ハーグリーブス(James Hargreaves, ジュニー紡機)、フルトン(Robert Fulton, 汽船)、スティーヴンソン(George Stephenson, 汽車)などは時計師の経験のある程度もっていたという⁶⁸⁾。マンフォード(Lewis Mumford)に

64) 農業用水車の工業目的への転用の実例は、明治期には多い。有名な長野県諏訪地方の水車製糸と、愛知県のガラ紡がそれである。すなわち前者については、須坂で精米・製油用水車を転用して製糸が始まり(1875年)、岡谷では天竜川ぞいの灌漑用水車を利用して製糸が始まった(末尾至行, 304-306ページ)。後者については、額田郡常盤村付近で精米・製油用水車を転用して「山のガラ紡」が始まっている(1877-79年)(玉城肇『総論』上『現代日本産業発達史』第29巻, 現代日本産業発達史研究会, 1967年, 313-314ページ)。

65) 角山栄「エネルギー革命と経済発展」『季刊現代経済』第20号, 1975年冬季, 82ページ。

66) 吉田光邦, 94ページ。

67) 今津健治『近代技術の先駆者——東芝創立者田中久重の生涯』角川新書183, 角川書店, 1964年, 43-45, 66-69ページ。

68) 同上, 52-53ページ。

よれば、「蒸気機関でなく時計こそ近代の産業時代の鍵となる機械である」⁶⁹⁾。わが国にこの例を求めれば、前述の田中があげられる。彼は明治期に東芝を設立し、電信機など多くの電機機械の製造を手掛けたのである。しかしこれは数少ない例の1つである。明治日本は、徳川時代から多くの遺産をうけついで産業革命もしくは近代経済成長を始めたが、機械産業に関する限りその遺産は、ヨーロッパ諸国が産業革命前から継承した遺産にくらべると、はるかに小さなものであった。機械

産業は、幕末から明治にかけて導入された外国技術という外からの援助によって、はじめて発展をみるのである。その発達は、その他の工業——とくに繊維産業——にくらべてはるかに遅かった。このことは外国機械工業の輸出圧力のみならず、徳川時代における発達の遅れにも起因していると思われる。もっとも、まがりなりにも徳川時代にある程度の水車と時計の生産が行なわれ、からくりの技術と機械工作の技術を習得した一群の職工が存在したことは、その後の導入技術を根づかせた要因の1つであることは指摘しておかなければならない。このことは、現在の発展途上国と近代経済成長開始当時の日本との比較について重要である。

(一橋大学経済研究所)

69) ルイス・マンフォード(生田勉訳)『技術と文明』美術出版社、1972年(Lewis Mumford, *Technics and Civilization*, Harcourt, Brace and Company, New York, 1934) 27 ページ。

農 業 経 済 研 究 第 52 卷 第 3 号 (発売中)

《論 文》

澤 田 裕: 肉類需要における代替関係の計測

——ロッテルダム・モデルによる接近——

佐 藤 豊 信: 農産物の品質水準決定に関する経済理論分析

——青果物産地を対象として——

長 南 史 男: 農業開発過程における灌漑投資プロジェクト

——戦前石狩平野の開発——

加 藤 辰 夫: 借地料現象と理論的地代

——水田借地料水準の形成をめぐる——

B5判・48頁・定価 1000 円 日本農業経済学会編集・発行/岩波書店発売