

# 漢代の機械

橋 本 敬 造

漢代には、さまざまな複雑な機構をもった装置が出現しはじめた。そうした諸機械については、すでに多くの人びとによって指摘され、それらの構造については、ある程度まで明らかにされてきた。「ある程度まで」という限定がつくのは、文獻學的にも、考古學的にも、たどることができない構造をもつ機械が存在するからである。文獻上の記述は、ある種の構造を示唆し、その機械のもつ効率を相對的に示してくれるに止まるのである。また、考古學に見ても、多くの場合、複雑な機構は考古遺物に描かれてはおらず、發掘等によって明確にできることは、まれである。しかしながら、ここにおいては、さまざまな文獻と文物のなかから、たとえば、後漢時代の張衡が制作したとされる科學機械——渾天儀、地震計、里程計、指南車など——、かれより前の杜詩の機械——水力式フイゴ——などの出現を可能とした前提を考察することによって、多くの論文、專著が示唆するような當時の機械の構造上の基礎的要素に注意して、それらの出現の必然性を考えてみることにしたい。だから、ここでの議論は、明白な史料によってある機械を復原したり、その構造を證明したりするのでは決してなくて、あくまで傍證的考察を行なうということにとどまるものである。はじめに、最近のものに限って、二、三の文獻を紹介しておこう。概觀的なものには、荊三林の書物があるが、いまの目的にとっては、王振鐸が指南車について行なった諸論文<sup>(1)</sup>や、張衡の地震計についての諸研究<sup>(2)</sup>が役立つであろう。機械技術の發達と機械の構造學的考察を行なった劉仙洲の二冊の本は、方法論的<sup>(3)</sup>にたいへん有益である。かれの方法は、きわめて體系的に中國全史における諸機械を、その機構の解明を行ないながら論じている。これ

よりも前に出た楊寬の冶金術にかんする歴史的考察の論著、および『文物』掲載の諸論文も、フイゴの機構を論じる際には有益である。<sup>(5)</sup>その他織物技術にかんして、織機の構造を説明した論文も多い。<sup>(6)</sup>また、それらを総合的に論じたものとして、J・ニードムの大著をあげることができる。<sup>(7)</sup>さらに、吉田光邦著『中國科學技術論集』は、中國の技術の傳統を明らかにしたものである。<sup>(8)</sup>また、簞内清著『中國古代の科學』等も、當時の科學技術を理解しやすく論じたものである。<sup>(9)</sup>以下に論じる、漢代のさまざまな分野の機械技術の問題には、これらの研究が利用されている。

この小論のあつかう時代的な範圍は、當然のことながら、前後兩漢時代と、必要に應じて三國時代と晉代、および關連のある問題については、南北朝までに限定される。しかしながら、それより後の史料、とくに宋代のもの、および元代・明代の圖解書などは、兩漢時代の原型的な機械の構造を示唆してくれるものが多いので、適宜利用することにした。<sup>(10)</sup>

最初に、畫像石に描かれたり、明器として残されている簡單ではあるが、複雑な機構を構成する場合に重要な、もつとも基本的な器具、裝置について、以下に列擧しながら論を進める。

### 一、單純機械とその原理

○はねつるべ　まずあげなければならないものは、桔槔、すなわち「はねつるべ」である。この畫像は、武梁祠をはじめ、多くの畫像石に見られる。その代表的なものを圖一にあげておく。これは、てこの原理を利用して、井戸水をあげたり、灌漑を行なったりするものである。てこの原理を利用するという觀點からして、權衡、すなわち天秤も、やはり早くから見られた器具である。これは、たとえば、湖南省長沙左家公山出土の戰國時代の木製のさおばかりと銅製の分銅に代表される(圖二)。<sup>(1)</sup>同様に、戰國時代の前四世紀に出現した弩のひきがねについても、同様の作用が利用されたことがわかる。<sup>(2)</sup>弩の場合と同じく、やや複雑な組合せを行なって、てこの作用が用いられたものとして、織機がある(圖三)。この構造の研究および復原圖は、最



圖1 はねつるべ 武梁祠畫象石 (『漢代畫像全集』初編)

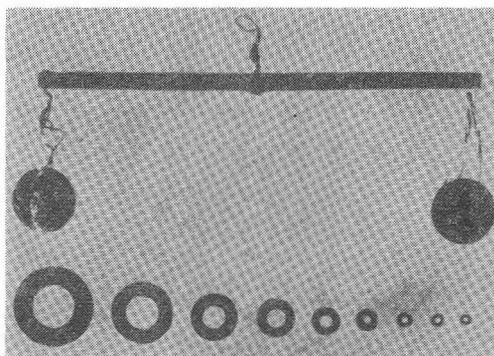


圖2 天秤(權衡)圖 長沙左家公山出土戰國木衡銅權 (『全國基建工程中出土文物圖錄』)

近の夏鼐等の論文に見られる<sup>(3)</sup>。これなどは、少なくとも三つ以上の個所に、桔槔およびその變形されたものが見られる。圖三における馬頭がその一つであり、踏み木の力をこれに傳導する連結棒がもう一つである。さらに當然のことながら、長短二本の踏み木は、支點の位置が異なつたてこにすぎない。

○てこの原理 これらのでこの利用については、その原理、作用にかんする考察をも含んで、早くから文獻に登場してくる。『呂氏春秋』には、よく知られた黃鐘の律管の記事がある。「むかし黃帝は、伶倫に命じて……嶰谿の谷から竹を取つてこさせ、……黃鐘の律管をつくつた」さらに、度量衡にかんしては「度量鈞衡……を同しくし、權槩を正す<sup>(4)</sup>」とある。こうした記事は、『呂氏春秋』が成立した春秋戰國時代には、廣く天秤が使用され、その作用原理が理解されていたことを示す記事である。『莊子』外篇、胠篋第十には、「之が權衡を為りて以つて之を稱る」、あるいは「斗を拞ぎ衡を折りて民は争わざらん」といった文章があり、『孟子』「梁惠王章句」上にも「權<sup>はか</sup>りて、然る後に輕重を知る」という記事がある。また、『墨經』「經

說」上、下は、この原理を説明したものとして有名である。そこから、いくつかの文章を引用する<sup>(5)</sup>。まず力と重さの概念を説いたものに、「經說篇」上、  
 經二一 力は、身體がそれによつて動くことである。  
 說二一 力。重さのことである。下から重いものをもち舉げるのは、力を働かすことである。<sup>(6)</sup>  
 がある。次に天秤の作用原理を説明した、「經說篇」下によれば、

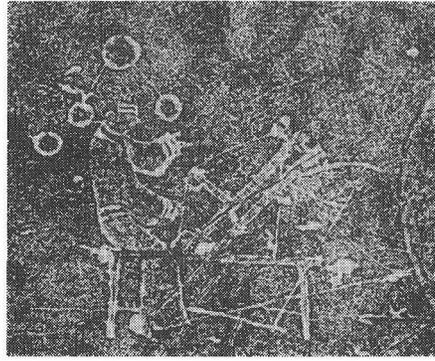


圖3 a 孝堂山畫像石の織女と機織圖 (前出小南論文参照)

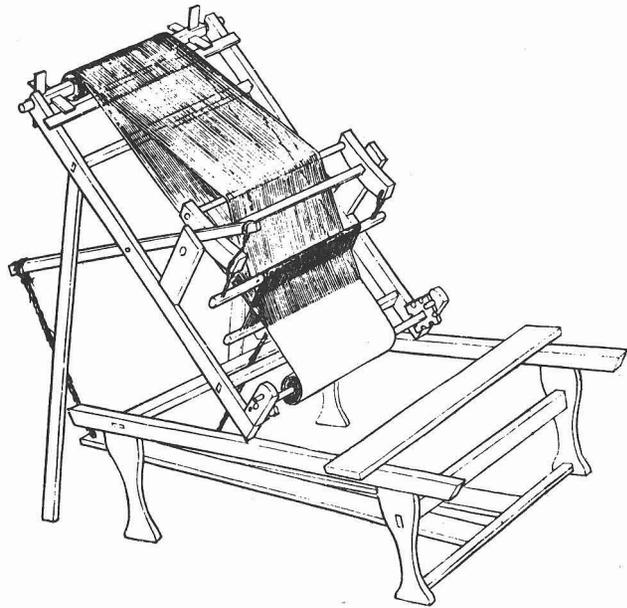


圖3 b 漢代織機復原圖 (夏鼐『考古』1972年第2期所收論文圖13)

經二八 挈(物をつるす)と收(ひき下ろす)とは相反する。理由は薄にある。

説二八 (前略)。天秤で物をつるすばあい、支點からの距離が長くて重ければ下がり、反対に距離が短くて軽ければ上る。一方が上るにつれて、他方はいよいよ下がる。つり下げたひもが垂直で、權と物體の重さが同じであれば、そのさおは水平になる。一方を引き下ろすと、他方が上がるにつれて、一方はいよいよ下がり、權と重さはバランスを失って、上ったものは落ちてしまう。(8)(後略)

とあり、天秤の力學的な概念を明確に得ることができ。『墨經』における力學的諸原理の説明は、單にて、この場合にとどまらないが、ここではそれだけにとどめておく。この成立の年代は、墨翟の死後をかなり下るといふ時間的なずれはあるものの、

經二六 衡(天秤)は、必ず釣合いがとれる。理由は得にある。

説二六 重さを一方に加えると、必ず下がる。權(分銅)と物體の重さが釣合つて、平衡となる。本(支點と物體との距離)は、標(支點と權の距離)より短かい。双方に同じ重さを加えると、標は必ず下がる。標には、權が得られる(加わる)からである。

さきにあげたような戦國の木衡・銅權の原理は、この天秤の改良とあいまって確立した。力學的觀念がその他の概念とともに漢代技術の先驅として、先秦時代に存在していたという説明するために、いくぶん冗長な記述を行なったが、次に桔槔について考えてみる。桔槔、すなわちはねつるべの働きの理解をめぐって、今日的な意味での機械的な觀念が早くから確立したと思われる。『莊子』外篇は、はねつるべをもつとも早く記載したものの一つである。<sup>(9)</sup> 天地篇第十二には、次のように書かれている。<sup>(10)</sup>

子貢はいった。「こんな仕掛道具(械)を御存知ですか。一日に百ものうねに水をやれる道具です。勞力はひじょうに少なくて、能率は大きい。ご老人、ひとつ使ってみる氣はありませんか」……(老人は)「どんな仕掛だね」とたずねた。「木に穴をあけて仕掛けるのです。後を重くし前は軽くします。水を汲みあげると流れるようによどみなく、またたくまに一面水びたしようになります。この仕掛道具の名は、はねつるべ(耨)です」<sup>(11)</sup>

これは、揚水、灌漑用のはねつるべの構造と作用、効果を説明したものである。同じく、天運篇第十四には、顔淵と師金との問答があげられている。

きみは、あの桔槔、すなわちはねつるべ、というものを知っているはずだ。はねつるべは手で引っぱればつるべが下がり、手を放せば上がる。それはすべて人の引っぱるがままに任せて、自分から人を引っぱろうとはしない。だからただ、無心にさがりさがりして、人から咎めだてされることもないのだ。<sup>(12)</sup>

後者の引用文の個所には、はねつるべ||桔槔という熟語が見られる。人力によって作用する桔槔をうまく論じている。前者(天地篇)の引用の個所のあとには、つづいて次のような老人の言葉があり、仕掛けによって効果を生じさせる機械的な觀念を比喩的に述べている。

わたしの師匠は、こんなことをおっしゃった。仕掛道具(機械)が作られると、必ずたくらみごと(機事)が行なわれるようになる。たくらみごとが行なわれると、必ず知巧を弄するたくらみ心(機心)が胸中に起ってくる。<sup>(13)</sup>

機械という熟語がもつとも早く出現する用例であるが、それは、てこの作用を行なう、はねつるべにたいして用いられた。

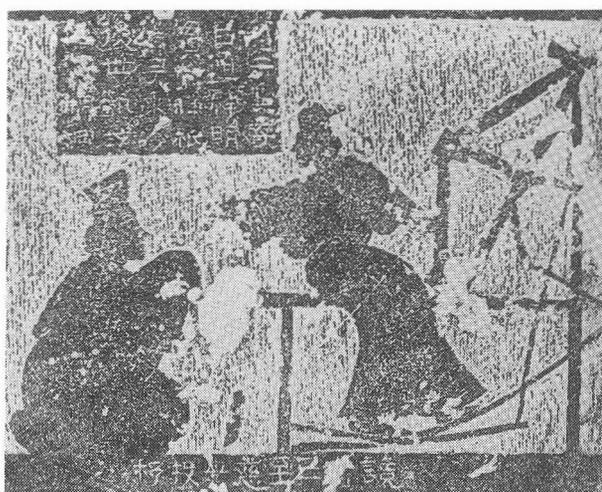


圖4 曾參の母の織機圖 (武梁祠畫像石)

しかし、この用法が、きわめて近代的な語感をもっていることは拒めないであろう。力學的な作用を行なうという意味での機構 $\parallel$ 機械の理解は、この頃にははねつるべとともに廣くゆきわたっていたと見ることができ(15)。日月が運行を行なう場合に自動的に運動が行なわれるようにした装置があるという意味において、同じく、天運篇には、

(日月は)なにか大きななからくり仕掛(機械)があつて、止むを得ず動いているのであろうか、それともおのずから動き出して(運轉)、自分の力では止まることができないのであろうか。(16)

とある。この「機械」は、いわゆる機關を想起させる。こうした用語が、特に『莊子』には、(反機械主義の立場から)機械的觀念との結びつきから見た場合に適切に用いられていることがわかるのである。これらの概念は、兩漢時代以後の機械技術の前提として考慮に入れておかなければならない。また『莊子』の文章とも關係してくるが、機械という名稱が効率の高い働きをなす用具という觀點から論じられている點にも注意しなければならぬ。『韓非子』卷二五には、「舟車機械を利用してわずかな人力によって大きな効果をあげる(と、歳入は多くなる)」(難二篇第三十七)と述べられているのである。『墨子』備穴篇には、フイゴに用いられたはねつるべ(頡臯、橋)の記述があるが、それについては、後にゆずる。

○機の概念 さて、「機」という概念は、中國の機械装置を考える上での中心的主題をなすものであったということが出来る。ところが、『釋名』にも論じられているように、弩のひきがねの仕掛全體を意味するのが、この「機」であった(17)。『說文』には、「發を主とするものは、これを機という」とある。巧みな機械仕掛のようであるからであり、また扉の蝶番(樞機)の開閉

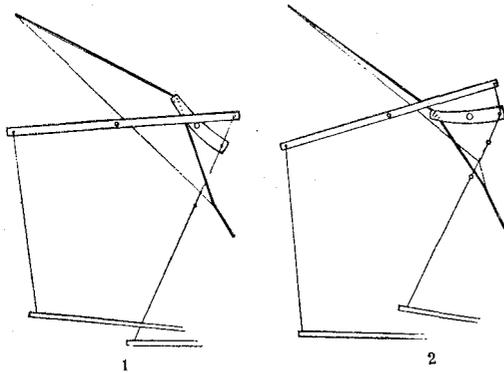


図5 織機運動圖（夏鼎論文〔1972〕圖12より）

がきちんきちんに行く（亦言門戸之樞機開闔有節也）という意味から、そう言われたのである。この樞機という用語について言えば、樞と機を分離して『易經』繫辭上には使用されている。そこには、「言行は、君子にとって、扉のくるる（樞）、弩のひきがね（機）のように大切なものである。このひきがね（樞機）の發射する瞬間が、未來における名譽と恥辱のわかれ目を支配する」（言行君子之樞機。樞機之發。榮辱之主也）（譯は、新訂『朝日古典選』1、本田濟譯による）とある。また、後漢時代の張衡の機械などには、かけはね式の装置を指すものとして、機が現われてくる。したがって、ある機構の起動装置を意味するものとして機を考えこことができるのである。この意味における機については、後にさらに用例を擧げる必要がおこってくる。一方、この機は、機を意味するものとして、多くの文獻に登場してくる。

○機を意味する「機」よく知られているものには、孟子の母が「機杼を斷つた」（『列女傳』一には、「その織を斷つた」とある）という故事があるが、『戰國策』には、蘇秦が困窮して洛陽に歸ってきたときに、「妻は絰を下りず、嫂はかれのために炊がなかつた」という記事が見える。これらには、機という表現はない。こうした織機は、『淮南子』によれば、「黃帝のときに源がある」とされているように、西周のときには原型が存在していたとすることができ（19）。しかも、後代の史料が次のように書くように、構造および、當然ながらこの作用が組合されていたこと、がわかる。

すなわち、織機の構造を示唆し、また機という用語を使用しているものとしては、曾參の故事を書いた『史記』「列傳」第十一「樗里子甘茂傳」がある。

（むかし曾參が魯にいたとき、同姓同名の者が人を殺した。ある者が、參の母に「曾參が人を殺した」と言った。母は平然として織りつづけた。しばらくすると、さらに一人がきて、「曾參は人を殺した」と告げた。母は杼を投げだし、機を下り、牆を越えて走り出した。）<sup>(20)</sup>

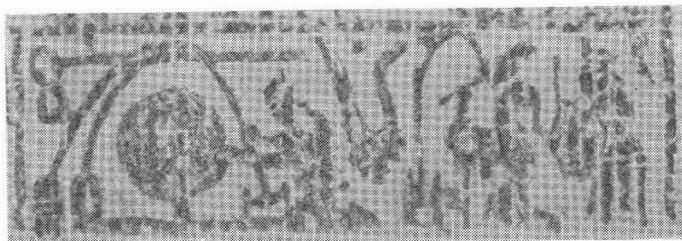


圖6 濰縣畫象石圖にみえる紡錘（圖の下方）（『文物』1963年第3期）

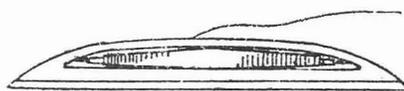


圖7 杼の復原圖（宋伯胤・黎忠義『文物』1963年第3期所收論文より）

畫象石には、この故事を刻んだものがある（圖四）。後の『列子』「湯問篇」には、紀昌の故事が記述されている。そこに、

紀昌は飛衛に射を學んだ。飛衛はこう教えた。「おまえはまず瞬かないということを得得してから、射ることを言うべきだ」と。紀昌は歸つて、妻の機の下にあおむきになて、目をこらして牽梃を見た。二年の後、錐のさが眼角にたおれてきても、瞬かなかつた。<sup>(21)</sup>

ここでの牽梃は、踏み木のことである。『列子』の史料は別にしても、戦國の織機は、すでにあげた漢の武梁祠の石刻に見えるような構造だということがわかり、てこの原理を應用して組合せたものということが理解できる。さきにあげたように、夏竦らは、いくつかの畫象石圖にもとづいて、この織機の復元を行なつた（圖五）。<sup>(22)</sup>

以上、はねつるべという原型的な機械をめぐって、秦漢以前の力學的・機械的作用原理の確立という観点から、いくらかの考察をした。はねつるべが中國の機械技術の一つのモチーフであつたとすれば、もう一つは車である。

車は、漢代にはいろいろな型式のものが、廣い用途をもつて出現した。たとえば山東省濰縣畫象石（圖六）には、緯車が織機とともに描かれている。その下方には、よこ糸をまきとっている紡錘が見える。それは、杼に復元圖（圖七）のようにはじめこまれたに違いない。これも回轉を利用した、いわば車である。馬車などに早くから用いられていた典型的な車輪は、ここでは、あつかわない。<sup>(23)</sup> 力學的に見て興味あるものを取りあげよう。

○滑車 まず、四川省成都に出土した例をあげる。深井戸から鹽水を汲みあげている様子を描いた揚子山出土の畫象磚がある（圖九a）。あるいは、曹王墓畫象石にも滑車に綱をかけて、物を引上げる様子を描いた圖像がある（圖九b）。また徐州十里

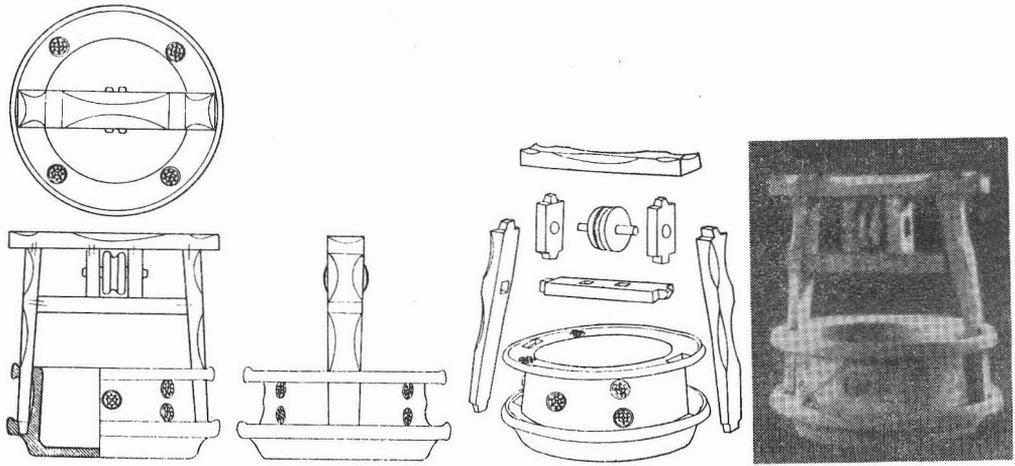


圖8 a—b 徐州十里鋪漢墓の井戸の明器に使用された滑車 (『考古』1966年第2期)

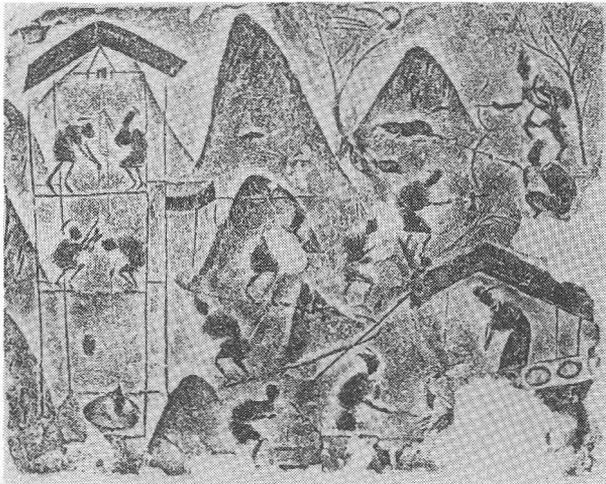


圖9 a 四川省鹽井圖にみえる滑車 (R. C. Rudolph: *Han Tomb Art of West China*, 1951 より)

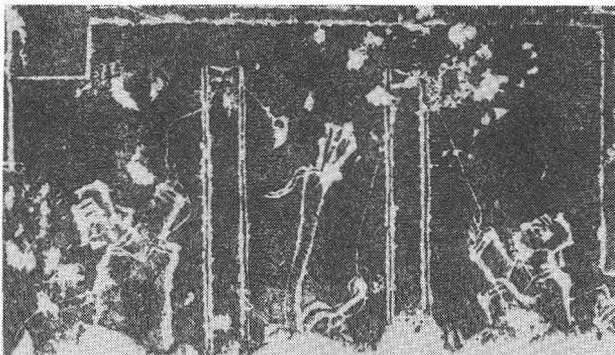


圖9 b 滑車を使用した圖 (『漢代畫象全集』2編 曹王墓畫象)

舗出土の井戸の模型がある。井架の部分に取り付けられたのは、滑車である(圖八)。こうした滑車を生みだす原型となるものに、山東省出土の畫像石に見られるように、滑車の部分には車がなく、物を引揚げるために運動の方向を変えるだけの装置があった(圖十)。

○クランク・輪軸 また、方向を変えるだけではなくて、たとえば穀物選別用の颯とらみのように回轉柄、すなわちクランクと結びついたものがあつた。この扇車については、明器が多く發掘されている。最近出土したものには、河南省濟源縣の

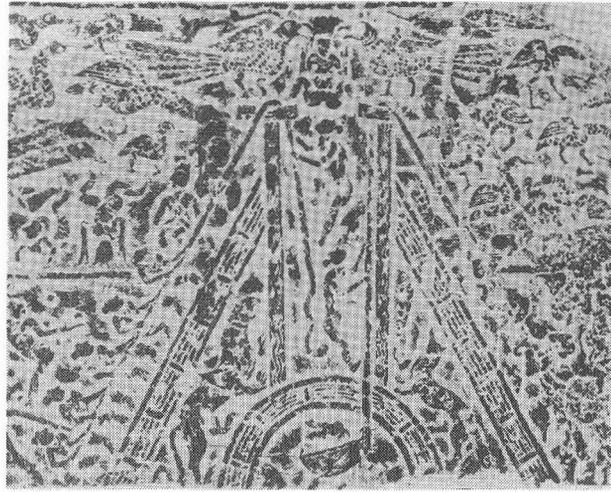


圖10 滑車が使用されていない例『漢代畫像全集』初編)

前漢末期の墳墓中の陶器模型がある<sup>(24)</sup>。それを圖にあげておく(圖十二)。

さきにあげた緯車(圖七参照)は、漢代に存在したが、糸ぐり用のいわゆる紡車は、まだ存在しなかつた<sup>(25)</sup>。後には、この扇車と同じ作用原理が紡車に用いられる。回轉柄のところが、全く同様の意匠になっている。クランクの原理を使つたこうした回轉柄をたてにすれば、早くから存在した臼、すなわちひき臼となる。逆に、扇車の回轉柄のような考案は、ひき臼から發展したものである。

ところで、滑車による運動の方向の變換だけでなく、より大きな力を得るための工夫もあつた。たとえば、「轆轤」、すなわち輪軸がそれである。漢代には、おそらくこの單轆轤が存在していたと思われる。なぜなら、魏の明帝(二二七—二三九)の時代に、凌雲臺が建造されたときは、これが使用されたとされているからである。これには、後代の圖解に示されているように、回轉柄が重要な意味をもっている(圖二二)。その仕組みと作用原理は、ちようど扇車と同じである(圖二二)。それは、後代の圖解に示されているように、回轉柄が重要な意味をもっている(圖二二)。その仕組みと作用原理は、ちようど扇車と同じである(圖二二)。

ある。唐の張懷瓘の『書斷』、および王僧虔の『名書錄』に書かれているように、韋誕は、轆轤によってつり下げられたかごに乗って、凌雲臺の巨大な題傍を書いたという記事がある<sup>(26)</sup>。こうした轆轤の改良については、陸翽の『鄴中記』の鳳詔の記述によっても見ることが出来る。後趙(二三三—三四八)のとき、石季龍が皇后と「觀臺の上において、五色紙に詔書を書いて、鳳凰の口の中にくつつけた。鳳凰が詔を銜えおわると、侍人は數百丈の緋繩を放つた。轆轤は回轉して、鳳凰は飛び下りた。これを鳳詔という」<sup>(27)</sup>

○齒車 同じ車であっても、リムに齒をつけた齒輪は、とくに後漢時代の機械技術のなかで重要な役目を果すようになったと思われる。それは連動式の機械の出現にとっては、きわめて大切な位置を占めるからである。これについては後に述べる。

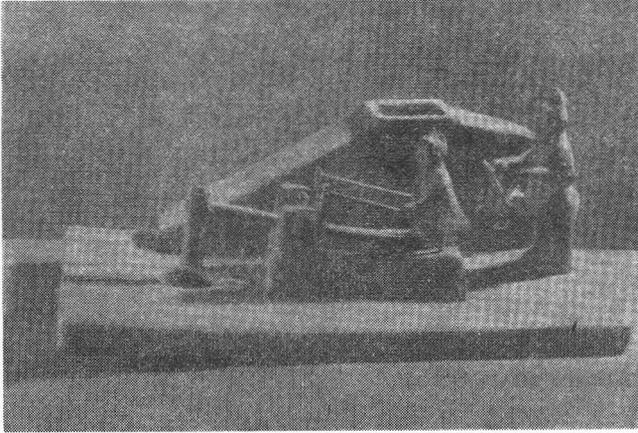


圖11 陶製の扇車と碓の模型 (圖は『文物』1973年第2期より)



圖12 『天工開物』の輪軸圖

しかし、この歯車がどのような用途をもって、いつごろ出現したかについては、はっきりしたことは言えない。劉仙洲は、前漢はじめかそれ以前の山西省永濟縣薛家崖出土の齒輪をあげている。<sup>(28)</sup> また羅振玉は、前漢初期の齒輪の土範をあげている。容庚は、これについて論じているが、この十六の歯をもつ輪の鑄型によって、車輪を制作したあと、四角の軸をさし込んで、これがともに回轉するようにしたものだという。さらに、この外にも、保定城南壁陽城村出土の齒輪の土範があり、また陝西省長安縣紅應村の漢墓から出土した後漢のものもある。<sup>(29)</sup> このように回轉方向を變換する齒車が秦漢時代以後に存在していたことは明らかである。この他にも、機械を構成する諸要素について、驅動ベルトの先驅となったつなとか、あるいはチェーン・ベ

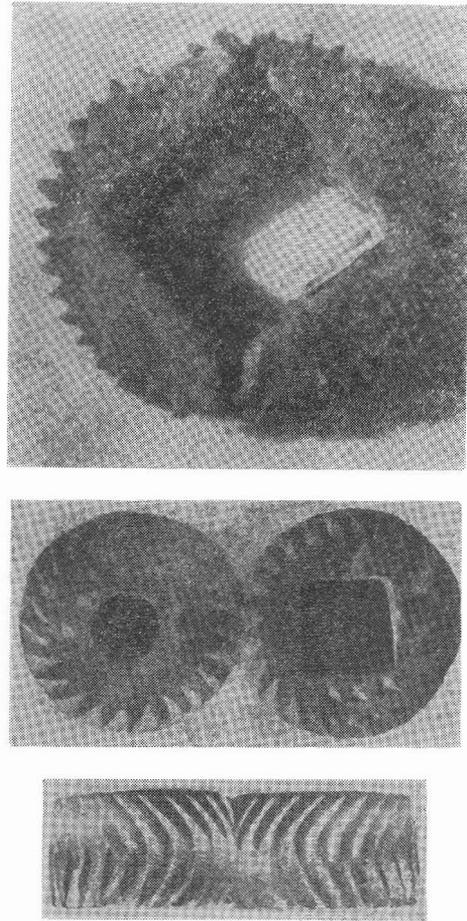


圖13 齒輪圖 (a. 山西省博物館藏の前漢のもの。b. 後漢はじめのもの。c. bを横からみたもの。圖はいずれも劉仙洲[1962]より)

ルトに類するものなどが漢代に使用される。それについては、以下にのべる複雑な機械のなかにおいて指摘することにしたい。

## 二、連動式機械

○織機 すでにあげた織機は、この作用が三個所に用いられていた。こ

れはてこの組合せのみによる機械である。さらに、前漢には花機の祖型が現われた。『西京雜記』には、漢代にあらわれたと思われるさまざまな機械・装置についての記述があり、陳寶光の妻が傳えていたという綾を織る技術のことが書かれている。

霍光(B・C・八六―七四以後の人)の妻は、淳于衍に蒲桃錦(にしき)二十四匹と散花綾二十五匹をおくった。綾(あや織の絹)は鉅鹿の陳寶光の妻から出たものであった。寶光の妻はその法を傳えていた。霍は、召し出してやしきにまねき入れ、綾を織らせた。機は一二〇罽を用いるものであった。六十日で一疋を織りあげた。萬錢に匹敵するものであった<sup>(1)</sup>。

ここに、一二〇罽という、この綾機の構造を暗示する表現がある。これによれば、罽(罽、罽)が一二〇個あって、それによって綜を引きあげることになる。しかし、『三國志』「魏書」二九、方伎傳には、傅玄の次のような文章が斐松之の割注に見られる。それは、後漢から魏のときに生きていた、すぐれた技術者の馬鈞がこうした古い綾織を改良したと云うことのできる文献的證據である。すなわち、

かれは綾織を改良したいと考えた。……古い綾機は、五十の綜のあるものは、五十の躡があり、六十の綜のものは、六十

滕县宏道院汉画像石鼓风机复原图

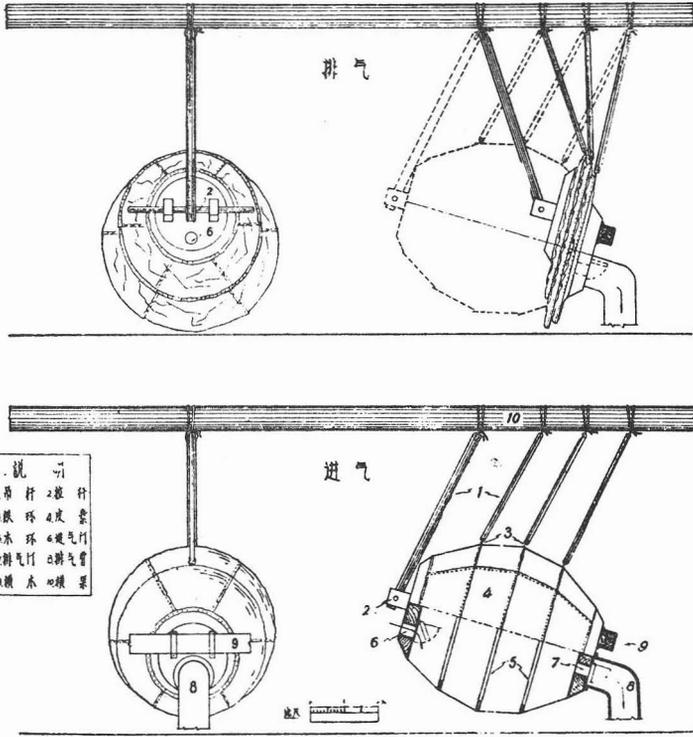


圖14 山東省滕縣出土的鼓風畫像 (b),  
および王振鐸 (1959) の復元圖 (a)

の躡があった。(馬鈞)先生は、それが効率が変わるく、多くの日をついやしすぎると考えて、十二の躡のものを作った<sup>(2)</sup>。すばらしい模様が、しぜんと織られてゆくようだったという評言がこの引用文の後につづく。この場合は、經糸を引きあげる綜は、てこの應用によると思われる躡によって、數本まとめて引きあげるように工夫されたことになる<sup>(3)</sup>。これをもって、魏晉以降に普及しはじめることになる絹機は、馬鈞によって完成されたと言えることができる。こうして綾機、ないしは花機は、その祖型の出現したB・C・一世紀の前漢末期から三國のときまでに、ひじょうな發展を見せたのである<sup>(4)</sup>。

○水排 さて前後兩漢の境界上に生きた杜詩の名前は、水排の出現と結びついている。冶金用のフイゴについては、早くから文献にあらわれた。革囊(囊)と管(管)から成りたつこうした送風用のフイゴは、橐籥とよばれた。

『老子道德經』は、それを宇宙空間にたとえて、

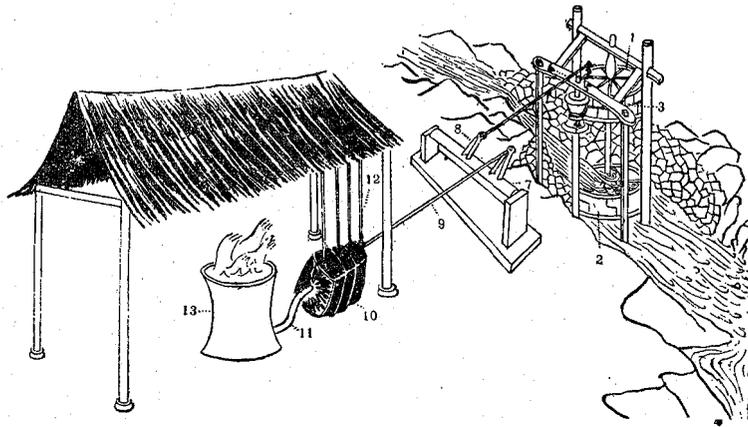
天地の間、それな  
お橐籥のごときか。  
虚にして屈せず、  
動いていよいよ出  
ず。<sup>(5)</sup>

と述べている。また  
『墨子』第六十二篇六  
篇は、

竈には四つのフイゴ(囊)を使用する。穴の中で(敵に)遭遇すると、はねつるべ(韻鼻)でフイゴをつき、速くフイゴを動かして敵をくすべる。<sup>(6)</sup>

また、同じところには、

フイゴ(鑪囊)を備える。フイゴ(囊)は牛皮でつくり、鑪には二つの甌があり、ハネツルベ(橋)によって百十回フイゴをつく。<sup>(7)</sup>



と書く。これらによって、當時のフイゴの構造はほぼ見當がつく。また『管子』揆度篇にも、「鑪囊」の記述がある。漢代の文献には、『淮南子』本經訓、齊俗訓、「論衡」虚知篇などに、「鼓囊」、「鑪囊」などの用語とともに、フイゴの作用の説明が見られる。一方、漢代の治鐵用のフイゴの送風部分の構造は、王振鐸が復元した<sup>(8)</sup>(圖一四a)。それは、山東省滕縣出土の畫象にもとづくものであった(圖一四b)。

ところが、杜詩の「水排」とは、水力によるフイゴである。排は囊と同じである。『後漢書』六十一杜詩傳は、次のように書く。

(建武)七年、南陽太守にうつつた。節約を好むたちで、政治は清廉公平であつて、よこしまなものを誅して威嚴を立てた。計略を善くし、民役のことをおもんばかって、水排を造作し、鑄て農器をつくつた。用力は少なく、効果は多かつた。百姓はこれを便利とした。<sup>(9)</sup>

これがさきの「囊」とどのように結びつけられたかが問題になる。この問題にかんして水力を動力とした記事は、他にも後漢時代の文献に見られる。

○水春・水碓 たとえば、桓譚の『新論』は、水春、すなわち水碓といわれる水

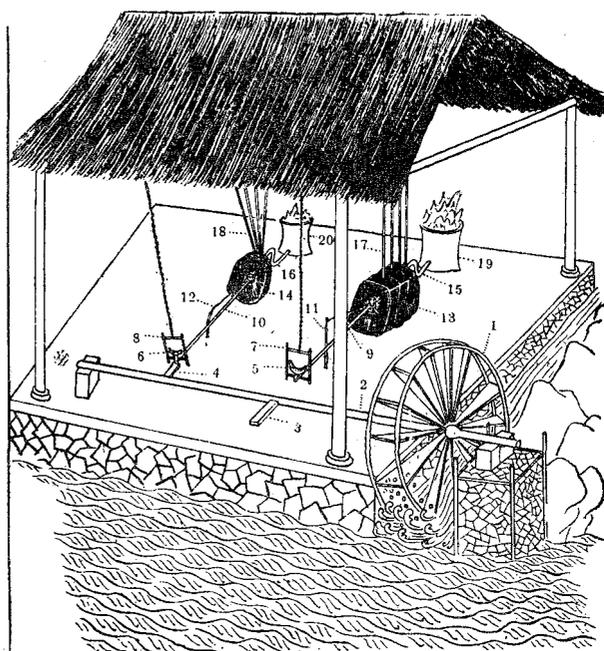


圖15 a—b 李崇州の水排の二つの復原圖 (a. 垂直式水車を使用したもの。b. 水平式水車を使用したもの)

車とかけはね式(すなわち機)のつき臼とが結合された機。關をあげ  
る。水力利用は、後に述べるように『洛陽伽藍記』景明寺の項に  
は、正光年間(五二〇—二四)のいろいろな水力による作業機械が  
あげられていることから、後漢以後の五〇〇年の間にひじょうに  
多方面に發展することになる。杜詩は、そうした水力利用におけ  
る一連の展開線の先端に位置することになる。さて、杜詩の水排  
であるが、同じく水排を作った三國の魏の人、南陽堵陽出身の韓  
暨の傳を、『三國志』「魏書」で讀めば、

……むかし、鐵を冶するために馬排を作った。一度、鑛石を  
熟するたびに、馬百頭を用いた。さらに人排を作った。これ  
も功力をついやした。そこで暨は長流によって動かす水排を  
つくった。その利益を計ってみると、以前のものの三倍であ

った。

とある。この兩者の水排に關連があるかどうかが問題である。送風装置は、瓣のついた皮囊で作ったものであり、畫像石圖に見えるようなものである。一方、動力装置は、後者の文章によれば、畜力・人力を水力に置換し、また「長流によった」ものであったから、後の王禎『農書』に圖解されたような水平式水車を利用していたと言ふことができよう。しかし、前者については、人力を水力に置き換えたという記述しかないのである。したがって、垂直式の水車が水平式のものかは、明らかにすることはできない。李崇州は、王振鐸が復元した送風装置と、元代の『農書』の「農器圖譜」に描かれた水平式水車の水排(臥輪水排)、および垂直式(立輪)水車の説明にもとづく思考圖を結びつけて(『農書』に圖解はない)、二様式の圖を示している(圖

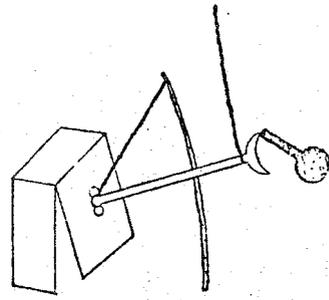


圖16 三日月型の作用を受ける装置 (楊寛『文物』1959年第3期所收論文より)

桓譚の『新論』は、次のように書く。

宓犧の杵舂は、萬民をすくうものであった。後人が仕掛け(巧)を加え、それによって、力を擴大するようになり、身體の重さを借りて碓をふむようになって、利益は杵舂の十倍になった。さらにまた、機關を設け、驢・騾・牛・馬の力を用い、および水力をつかって、うすをつく(舂)ようになった。その効率<sup>(12)</sup>は百倍になった。

つき白は、まず體重を利用する踏み臼になり(圖十一参照)、それから畜力による臼、および水力による水舂、すなわち水碓に變遷した。この場合に重要な工夫は、「機關を設けた」ことであつた。機關というのは、いうまでもなく、かけはずし装置のことである。『太平御覽』は、後漢の孔融の「肉刑論」の「賢者の制するところ、あるいは聖人を踰ゆ。水碓の巧は、斲木掘地に勝る<sup>(13)</sup>」という文章を引用している。『後漢書』卷一一九、西羌傳は、「水舂(＝水碓)・河漕は、用功は省少にして、軍糧は饒足<sup>(14)</sup>」と述べ、水碓の効率の高いことを説く。宋代の『事物紀原』は、「晉の杜預は連機<sup>(15)</sup>の碓を作り、水をかりてこれを轉ず<sup>(16)</sup>」と書く。連機碓を杜預の名前と結びつけている。『世說新語』儉嗇篇には、「司徒の王戎は、すでに貴にしてかつ富めり。區宅・僮牧・膏田・水碓の屬は、洛下に比ぶるなし<sup>(17)</sup>」とある。王戎の水碓は『晉書』卷四三、王戎傳にも見える。また、『南齊書』卷七二、祖沖之傳は、「東游苑に、水碓・磨を造る。武帝親しく自ら臨視せり<sup>(18)</sup>」と書き、水磨が出現してくる。

十五 a、b)。前者の特徴は、いわゆる攀耳、すなわちエクセントリック・ラッグを機構に組み込んだものとしており、後者の特徴は、機關、すなわちかけねと、それを受ける三日月型の特殊な装置を採用していることである(圖十六)。ただし、韓暨の水排においても、攀耳が採用されていたかどうかは疑問であり、もつと簡単な構造をした、たとえば扇車の回轉柄のような、クランクに長いシャフトを連結させて皮囊を押すような仕組であつた可能性がある。後者について言えば、杜詩と同時代の後漢に、水力によるかけね式のつき白が出現してくるから、そちらの展開の方も同時に考察してみる必要がある。

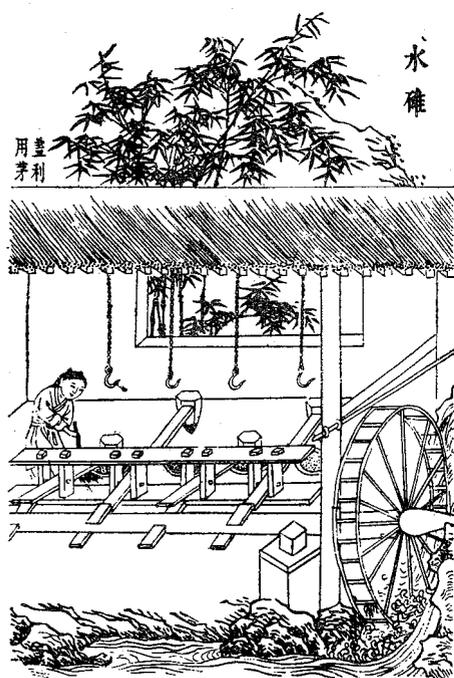


圖17 連機碓（『天工開物』より）

『北魏書』第六六、崔亮傳によれば、「亮、雍州にありて、杜預の傳を讀み、すすめて八磨をつくる。その實用に濟するあるを嘉みし、ついに民に教えて、碾をつくる。僕射となるにおよびて、張方橋の東において穀水を堰き、水碾磨を數十區に造ることを奏す。その利は十倍せり。國、用いてこれを便とす<sup>18)</sup>」とある。ひき臼が水力によって回轉されるようになったことを示す文獻である。

以上の文獻によれば、杜預のときには、かけはずし装置をつらねたつき臼があつたことになる。動力源としては、機構上からして當然のことながら、垂直式水車が前用されたことになる。心軸にかけはねを取りつけ、それが力點を下方におろし、この作用によってつき臼が上がる。こうした連機の碓に先立って、水車に單一の機を設けた連動式のつき臼が後漢に存在した。桓譚あるいは孔融のときの水碓がそれである。ただし、桓譚の『新論』のつき臼は、蓄力と水力とが置換できるものであつた。

○水磨 さて祖冲之傳の水磨、および崔亮傳の八磨は、水碓とは本質的に異なるものである。この磨の發達線は、ひき臼の變遷のなかで考えなくてはならない。この種の水力装置があらわれてくるのは、比較のおそく、五世紀後半のことになるが、

それ以後には、たとえば、前記の『洛陽伽藍記』景明寺の頃によれば、さまざまな臼に水力が利用されたことがわかる。すなわち、「正光年中（五二〇—二四）に至り……、磑・磑・春・簸は、みな水功を用う<sup>19)</sup>」と書かれているのである。また、杜預の連機の碓と、崔亮の八磨とは、傳文が關連させて書くのとは違って、機構的なつながりを見いだすことは困難である。ひき臼が作業を行なう回轉面は、水平になっている。一方、水碓の水車は、垂直になっている。この一方の動力装置と、他方の作業装置を結びつけるためには、一つには齒車によって垂直から水平に動力を傳達しなければ

ばならない。別の方法によるとすれば、動力用の水車そのものを水平にしてしまつて、水車の軸によつて、力を上方の回轉式の臼に傳達する方式が考えられる。事實、この二方式が後代の書には圖解されている。前者については、元代の王禎の『農書』に見える水轉連磨(圖十八參照)をあげることができ、後者については、明代の宋應星の『天工開物』から水磨(圖一九參照)、また『農書』からは水碾をあげることができる。中國に特徴的な水車の方式は水平式のそれであり、<sup>(20)</sup>『農書』、『天工開物』、徐光啓の『農政全書』等に描かれたさまざまな水力機械の動力装置には、確かに水平式水車が多數みられる。隋唐時代に先立つ二〇〇年前頃に、こうした水平式水車が廣く磨、碾などに適用されだしたと考えることができよう。しかし、水平式水車は、すでに三國時代からくり利用されたと考えられる。すでに述べた馬鈞にかんする傅玄の文章の別の個所に、次のような水力による百戲についての一節がある。

水轉連磨

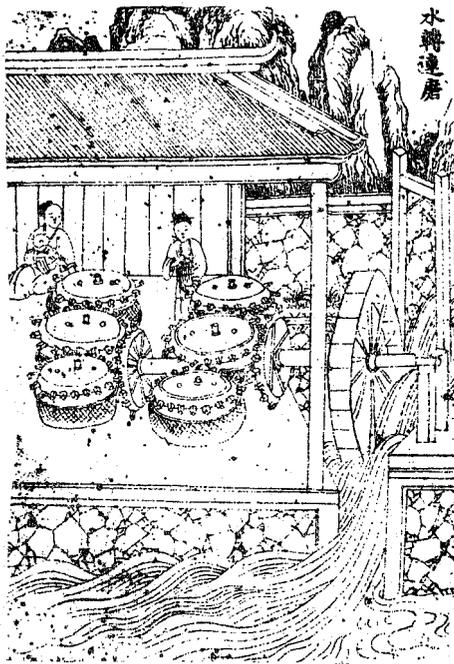


圖18 王禎『農書』「農器圖譜」の水轉連磨

大木をもつて構を彫り、その形を輪のようにする。これを平地にとりつけ、地下に潜らせて水によつて發動させる。あるいは、女が音楽をかなでたり舞いをしていいる人形をとりつけ、また木の人形に鼓を撃つたり籥を吹いたりさせる。山岳を作り、木の人に跳丸、擲劍をさせたり、縁繩(大づな)に倒立させたりした。自由自在に出入させ、百官が役所に行き、春や磨が働き、鬪雞がなされたりするようにした。かわつたしかけが、いっばいなされていた。<sup>(21)</sup>

このからくりの舞臺の下に、水平式の水車が設けられていて水で回轉する仕組になっていたと、この冒頭の部分(以大木彫磨。使其形若輪。平地施之。潛以水發焉)を讀むことは、無理であろうか。もつとも、この頃に回轉面の變換を含む齒輪の組合せによる動力傳達の装置があつたとしても、別に不思議ではない。その理由とし

# 水磨

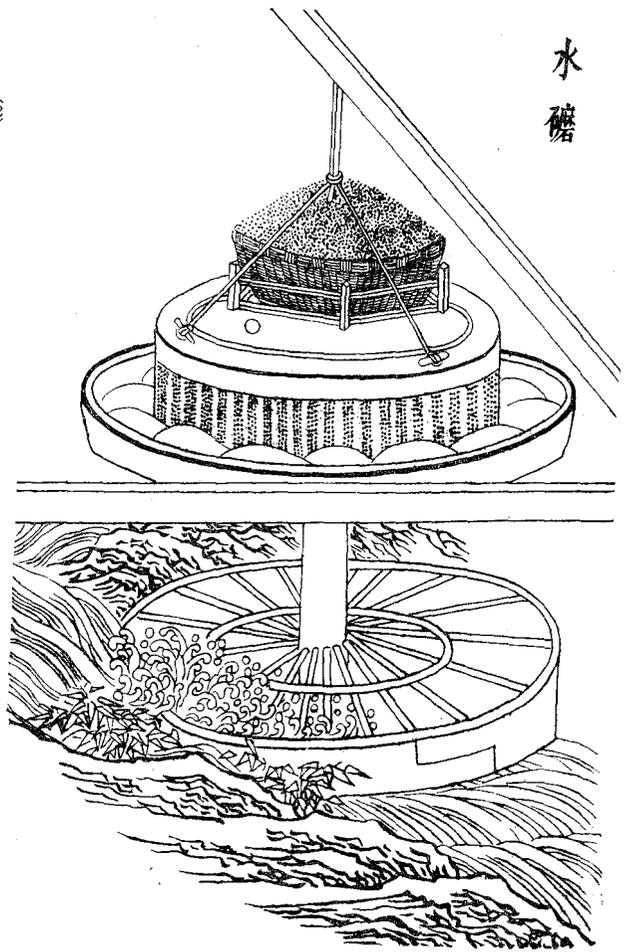


圖19 『天工開物』水磨圖

にふるえた<sup>(22)</sup>」と書かれている。扇車と同じ回轉柄(クランク)によって、人力で作動すれば、すべての輪は、連続して回轉する。連続という記述は、齒車による連動装置とも取れる。あるいは、単に同じ回轉軸上に七輪が取り付けられていて、回轉するものであったかもしれない。ところで、桓譚『新論』に言う碓は、人力を畜力および水力に置換したものであったから水平式の車輪を用いたと考えた方がしぜんかもしれない。

さて「杜預に歸せられた」八磨について、文献を補強しておけば、稽含の「八磨賦」をあげることができる。嚴可均の『全晉文』六十五卷には、『太平御覽』七六二卷を引用して、「外兄劉景宣、磨の奇巧を作る。よりにてこれを賦にしていう。『方木矩峙し、圓質規旋す。下靜なること坤に似、上動なること乾に似たり。巨輪を内に建て、八部相い連なる』<sup>(23)</sup>とある。王禎は

て、後漢中期の張衡の科學機械(記里鼓車などのなかには、齒車系が使用されていたと考えることができるからである。張衡にかんしては後に述べる。また同じころに、丁緩の七輪扇というものがあつた。この丁緩の七輪扇の仕組みがどのようなものであつたかは、不明である。ただ、『西京雜記』から引用すれば、「長安の巧工、丁緩(緩)は……また七輪の大扇を作つた。いずれもみな、さしわたしは一丈であり、それぞれ連続していた。一人がこれを回轉させると、滿堂は、さむさが

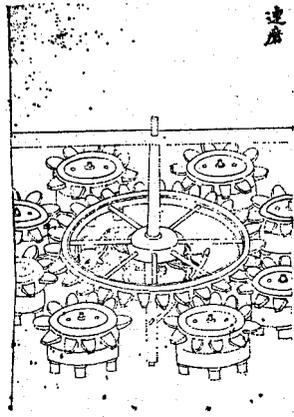


圖20 蓄力連磨（『農書』圖より）

これを復元した。『農書』「農器圖譜」には、圖二〇のような連磨が描かれている。稽舎の賦にあるように、確かに中央に巨輪が設けられている。その巨輪は、『農書』によれば一頭の牛が曳いてこれを回轉させる。この輪は、齒車によって他の八つの磨につらなっているという。これらのひき臼が作動するためには、『農書』の解釋のようにつらなっているという。これらのが自然であろう。こうした齒車系による連磨が、晉代に連動式の齒車系と考えるのが自然であろう。こうした齒車系による連磨が、晉代の終りまで（四一九年）には存在していたことになる。<sup>24</sup> 動力としての蓄力は水力におきかえやすい構造になっていることは注意すべき点である。この動力の可換性のゆえに、水排の場合に、動力輪は水平式水車とし、それにクランクのついた傳達輪を連動させ、シャフトによって送風機を押すという構造も考えられるのである。

○龍骨車 工業機械の水碓、農業機械の水碓、水磨、水碾などの他に、灌漑用の機械装置が、やはり後漢のころから發達してきた。いわゆる翻車は、紀元後一〇〇年前後に、畢嵐によって考案されたとされている。『後漢書』一〇八卷張讓傳には、「靈帝のとき（一六六―一八七）、……（張）讓……および畢嵐……十二人は、すべて中常侍となった。……畢嵐に銅人を鑄造させた。……また翻車・渴鳥を作らせ、橋の西方にとりつけさせて、南北郊路に水をまいた。百姓が道に水をまく費用を省いた」と書かれている。翻車には、唐の李章懷の注が付せられていて、「翻車は機・車を設けて、もって水を引く」とあり、また、「渴鳥は、曲筒をつくり、氣をもつて水を上に引く」とある。機とは、いうまでもなく、かけはね様のものであるから、人が上に乗って踏む、踏み板である。あるいは、揚水筒のついたチェーンをかんで引きあげる車輪の外縁に設けられた齒である。『農書』などに圖解された龍骨車がこれにあたる（圖二参照）。チェーン状の筒を連ねたものが、水を吸み上げる。また渴鳥とというのは、サイフォンである。さて翻車については、やはり馬鈞の名が結びついている。傅玄は、「（馬鈞は）京都にいた。城内に園をつくれる土地があった。水がないのが残念だと思ひ、そこで翻車を作った。兒童にこれを回轉させると、灌漑水は、自然にかけられて、入ったり出たりした。それは、普通より百倍も巧妙なものであった」と書く。この翻車には、車と機と動

力傳導ベルト、ないしはチェーンが用いられたことがわかる。

### 三、科學機械

漢代における機械技術を考える場合に特徴的なことは、かなり複雑な構造のものが、とくに後漢に出現してくることである。しかも、それは、ある特定の人物をめぐってあらわれる。杜詩はそうであり、張衡がそうである。ところが、この兩者の性格のあいだには、晉代の杜預と南北朝期の祖冲之とのあいだにみられるような相異がある。三國時代の馬鈞は、それらとは、また異なる範疇の人物である。後漢の丁緩などに近い性格をもつ、發明家タイプの技術者である。張衡、祖冲之は、いずれも天文學者であり、數學者であった。また、科學機械も作った。ここでは、張衡の機械について簡単に紹介しておこう。



圖21 龍骨車圖（『農書』より）

○地震計 かれの機械のうちでもっとも有名なものは地震計である。これについては多くの人びとが言及した。<sup>(1)</sup> 器の内部に懸垂ないし倒立振り子（ $\parallel$ 都柱）と機（ひきがねのような装置）がくりこまれ、都柱と機の間には、作用を伝えるシャフト（道）がある。地震のときは、八方を向いた龍が口にくわえた丸を落し、下の蟾蜍がこれを受けて音を發し、どの方角に地震が起ったかを知らせる装置である（圖二三参照）。機と關<sup>かん</sup>が利用されている點は、別に目新しくはないが、恐らくは倒立振り子が用いられた<sup>(2)</sup>ということは、きわめて注目すべきことである。

○渾天儀 かれの渾天儀も有名である。<sup>(3)</sup> 觀測器械として張衡が製作した渾天儀については、どのような構造になっているかは、

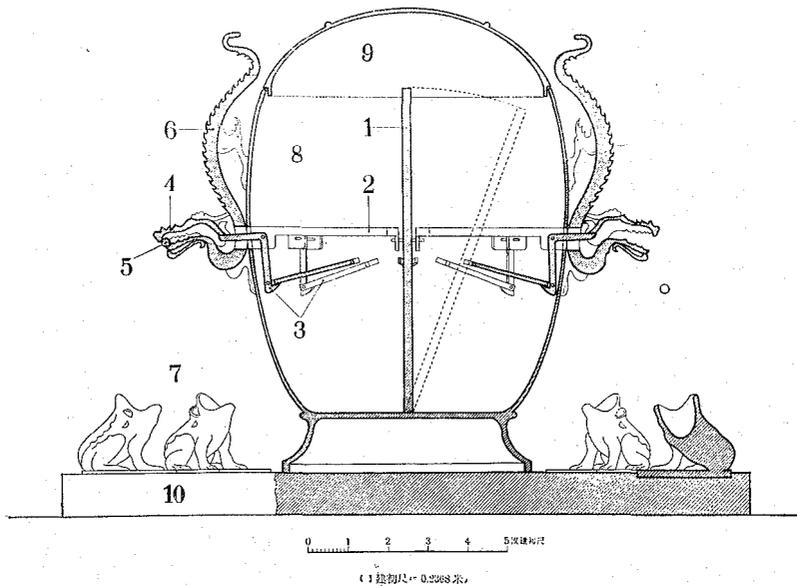


圖22 候風地動儀 (=地震計) 復元圖。圖中の1という番號は都柱, 2は道(8本)である(王振鐸『文物』1963年第2-5期所收論文より)

直接にはわからないが、後代の史料がそれを暗示してくれる。また、かれは別に渾象を製作した<sup>(4)</sup>。『晉書』天文志によれば、これは自動式の天球儀、いわばプラネタリウムである。天象と應ずる天球の回轉は、密室内の漏水によって運轉される。宋代の蘇頌の『新儀象法要』には、開封に建立された機械仕掛けの大天文時計塔のことが記述されている。これは、渾儀と渾象を合せた、水運儀象臺である。この書物によれば、時計の脱進装置を含めた構造のことが詳細に論じられている<sup>(5)</sup>。水車の動力を天秤式の脱進装置によって減速する。また齒車系によって、回轉速度が落されていく。この渾象、すなわち水力式の自動天球儀は、すでに唐代の一行、梁令瓚が製作した。宋代のものは、この遺制によるとされている。齒車系が、この唐代の機械には使用されていたということは多くの人が指摘する<sup>(6)</sup>。しかし、それに先立つ諸機械においてはどうかであったか。

『宋書』天文志一は、渾天儀について鄭玄の説を引用して、「動運を機となし、正を持するを衡となす。みな玉をもってこれをつくる<sup>(7)</sup>」と書く。いうまでもなく、『書經』舜典の「旋機玉衡」の機と衡の解釋である。しかし、晉代および南北朝期につくられた渾儀は、水流の調整に天秤式の器具が用いられ、運轉機構ないし運動傳達には、さきに述べたように用語によって表現される装置が使用されていたと考えることができる。したがって、この機が何をさすかははっきりしないが、この時代になれば、あるいは齒車仕掛けを示唆している可能性がある。鄭玄は張衡よりいくらか早い同時代人であった。したがって、さかの

ぼって、『晉書』天文志に述べる、張衡が用いた渾象というのものもあるいは、同じような構造であったかもしれない。吉田氏は、『隋書』經籍志の水飾圖二〇卷、水飾一卷に記された水飾について、『大業拾遺記』の煬帝のときの記述にもとづいて、この木製人形のからくりについて言及した。この水力利用のからくりの動力が動輪、すなわち水車であり、運動は齒車によって傳達されるとすれば（そうでなければ、ベルトかチェーンである）。三國の馬鈞の作ったからくりはもちろんのこと、それに先行する張衡の渾儀は、同じようなメカニズムをもっていたと推察できる。そうであれば、水車と齒輪との結合は、張衡のころにはじまると言えよう。しかし、この齒車系を論じるためには、張衡が製作したとされている他の二つの機械を考慮に入れる必要がある。

○指南車と記里鼓車—その文獻 『後漢書』張衡傳に、「參輪可使自轉」と書かれ、この割注には、傅玄の「張衡、能令三輪獨轉」という文章が引用されている。清の沈欽韓は、王應麟の説を引いて、これは記里鼓車だという（『後漢書』集解本）。ところが『西京雜記』には、「漢朝輿駕祠甘泉汾陰。備千乘萬騎。太僕執轡。大將軍陪乘。名爲大駕。司南車。駕四（駕四とは四頭の馬でひくこと）。中道。辟惡車。駕四。中道。記道車。駕四。中道」とある。『晉書』卷二十五輿服志は、「記里鼓車。駕四。形制如司南。其中有木人。執槌向鼓。行一里則打一槌」、「司南車一名指南車。駕四馬。其下制如樓三級。四角金龍銜羽葆。刻木爲仙人。衣羽衣。立車上。車雖回運。而手常南指」と書く。こうした史料のほかに、後漢に司南車、記里車が存在したことを明らかにするものは多い。沈約の『宋書』卷一八禮志五は、指南車は漢の張衡、はじめてまた創造せり」と書いて、張衡と指南車を結びつける。さらに、『宋史』卷一四九輿服志は、「漢の張衡、魏の馬鈞、繼ぎてこれを作る」という。『晉書』に言う記里鼓車、指南車は、かなり完備したものである。後漢の機構が馬鈞によって改良されたとすることができる。馬鈞については、『三國志』「魏書」卷二九杜夔傳の裴松之の注に傅玄の文章があり、馬鈞は、高堂隆らとの論争において、むかしから指南車があつたと答え、明帝の詔に應じて製作したと書かれている。傅玄の言うのと同じように、『宋書』卷十八禮志は、後漢の張衡がはじめてまた創造し、明帝の青龍年間（三三一—三三〇）に馬鈞が改めて製作したと述べ、さらに姚興が令狐生に造らせた指南車は、安帝の義熙十三年（四一七年）に武帝が長安を平げたときに、かれが手に入れたと書く。その様子については、

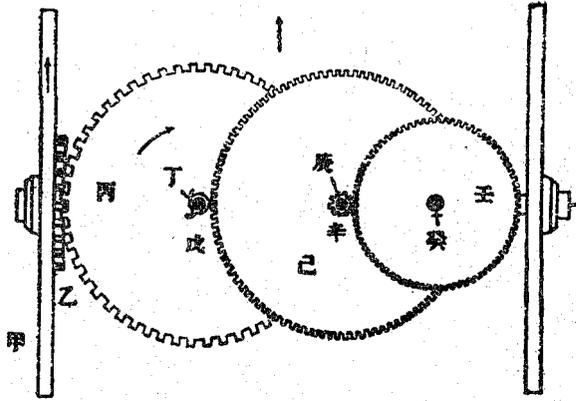


圖23 盧道隆の記里鼓車の機構圖 (劉仙洲の本[1962]96ページ)

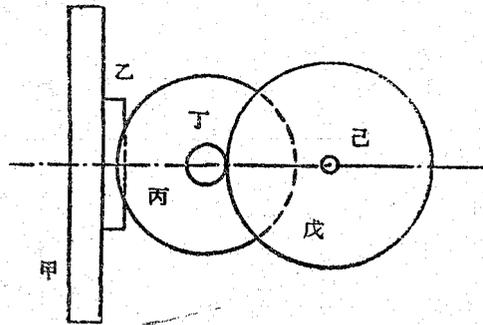


圖24 吳德仁の記里鼓車の機構圖 (劉仙洲の本97ページ)

馬鈞——(令狐生)——祖冲之という一連の人物によって考案、改良された。

記里鼓車についても、同じくいくつかの引用を行なっておく。晉の崔豹の『古今注』卷一によれば、「大章車は、道里を識る手段である。また記里車という。(漢の)西京に起つたものである。車 upper を二層とし、どちらにも木人をおく。一里行けば下層で鼓を撃ち、十里行けば、上層で鐃を撃つ。尙方故事にこの車を作る法がある」とあり、また『宋書』卷十一禮志五に、「記里車は、由來するところは詳らかにされていない。これも、高祖が三秦を平定して獲得したものである。方式は(制)指南(車)に似ており、車上に鼓がある。車が一里進むごとに、木人は一槌を撃つ」とある。『南齊書』卷十七輿服志は、「記里鼓車の方式(制)は、指南に似ている。車上に華蓋子を取りつけて襟衣を漆塗りで描く。鼓をうつ仕掛け(機)は、すべて内部にある」と、その形状を記している。

「その制は鼓車のごとし。木人をして車上に手をあげ南を指さしむ。車、廻轉するといえども、指すところは移らず」と『宋書』禮志にある。さらに、『南齊書』卷五十二祖冲之傳によれば、「初め宋の武、關中を平げて、姚興の指南車を得る。外形あるも機巧なし。行くたびごとに、人をして内にこれを轉ぜしむ。昇明中(四七七―四七九)太祖、政を輔け、冲をして古法を追修せしむ。冲之、銅機を改造す。圓轉して究まらず、しかも方を可どること一のごとし。馬鈞以來、いまだあらざるなり」とある。これ以後の文獻には、指南車のことを書いたものが多数ある。ともかく、張衡——

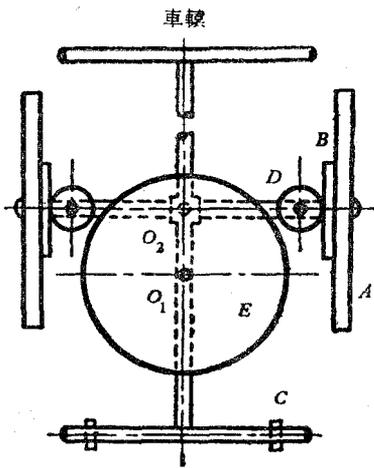


圖25 指南車の機構 (劉仙洲の本 (1962) 圖113)

○指南車と記里鼓車——その構造 下って『宋史』卷一四九輿服志には、記里鼓車、指南車の構造が詳しく述べられており、それによって復原された模型は、中國歴史博物館に陣列されている<sup>(14)</sup>。車輪の回轉運動は、齒車系によって傳達され、これらの齒車の齒數によって進んだ距離がわかる。また、指南車の場合には、車上の人形が南の一方方向を指しつづけるようになっていいる。これらの祖型、ないしは原型として、さきの一連の人物と結びついた装置にまで遡ってゆくことができよう。なぜなら、『晉書』輿服志の記事にあるような機械の説明によれば、『宋史』の記述に見える機構と、何らかの構造上の密接なつながりがないければ、機能するはずがないものだからである。ところが、それよりもさらに早い張衡の「參輪」は、自動的に回轉するようなものであった。この三輪は、指南車ないしは記里鼓車の原型とされる。なぜか。まず記里鼓車の構造を『宋史』によって考察して、張蔭麟は、そこに記述された盧道隆と吳德仁の記里鼓車の製作法を論じた<sup>(15)</sup>(圖二三、圖二四)。前者は車輪(立輪18)——下平輪54(旋風輪3)——中平輪100(小平輪10)——上平輪100、後者は車輪(立輪20)——平輪60(立輪3)——大平輪100となつていいる(數字は齒の數、『宋史』輿服志による)。前者は、車輪を除外すれば、三つの齒輪があり、後者は車輪を含めば三輪である。次に、王振鐸が復元した指南車の構造圖を示しておく。その構造は、『宋史』「輿服志」の燕肅の指南車の記事によれば、簡單には車輪(附足立子輪24)——(左右)小平輪12——大平輪48となる。やはり三輪である(圖二五參照)。

漢代に機械としての指南車が存在したかどうかについては、多くの文獻には張衡によって製作されたことになっており、決定的な證據を缺くとはいへ、王振鐸等が證明しているように<sup>(16)</sup>、後漢には、すでに存在していたとするのが通説となつていいる。『三國志』魏書卷三「明帝紀」の裴注が、「博士の馬鈞に司南車、水轉百戲……を造らせた。漢の西京の制のように整備されていた<sup>(17)</sup>」という『魏略』を引用しているのも、『三國志』方伎傳の注の文章とともに、有力な證據となつていいる。こうしたことから、張衡傳の「參輪」に限って考えれば、指南

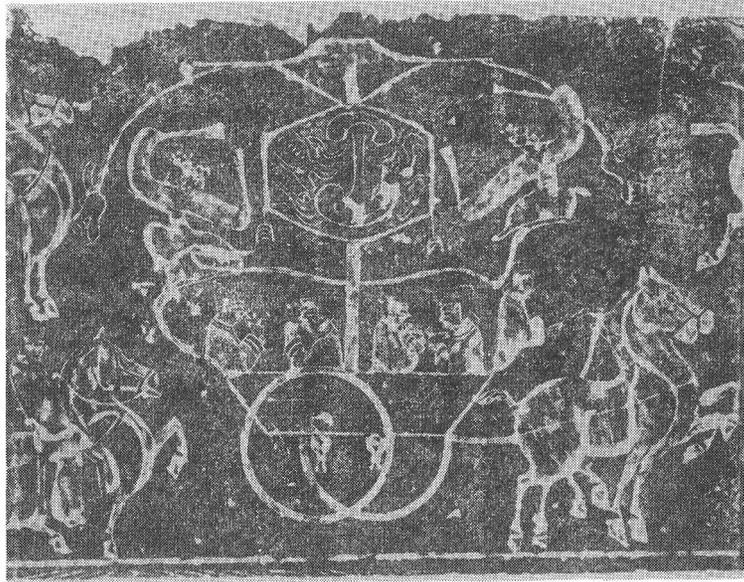


圖26 畫像石にみえる鼓車(漢孝堂山畫像石)。(關野貞『支那山東省における漢代墳墓の表飾附圖』より)

車、記里車のいずれとも考えられる。しかし、構造上から見れば、記里車とする方がしぜんである。

それにかんしては説明が必要である。なぜなら、それは、張衡がすぐれた数学者であったことと直接に結びつく發明であったからである。つまり、それは、かれが圓周率の値をかなり正確に計算したことが關係がある。記里鼓車は、前記の文獻によれば、一里ごとに車上の人形が太鼓を打ち、十里ごとに階下の人形が鐺を撃つものであった。『宋史』輿服志の記述にある盧道隆の機械の各輪の齒數からすれば(圖二三参照)、もし車輪が、したがって、それとともにまわる附足立輪が一〇〇回轉したときには、己輪は、齒の數を考慮に入れれば、

$$100(\text{回}) \times \frac{18}{54} \times \frac{3}{100} = 1(\text{回})$$

によって一周する(すなわち、一里進んだことになる)。また己軸、すなわち立軸が一〇回轉したとき、すなわち十里進んだときは、上平輪は、

$$10(\text{回}) \times \frac{10}{100} = 1(\text{回})$$

という關係によって一周して、鐺を撃つ仕掛けが働らく。

呉徳仁の機械も同様にして(圖二四参照)、車輪が進んで一〇〇回轉すれば、己軸は一回轉して、バチを撥つ仕掛けが働らく。記里鼓車に、鼓という字がついているのは、圖二六のように、一里の距離ごとに鼓車の太鼓がうたれるものであったことによる。

このようにして、進んだ距離と擊鼓との對應を正確に行なうためには、圓周率の値を考慮に入れなければならない。すなわち、



圖27 一輪車 (a. 武梁祠畫象 b. 兩城山畫象)

車輪の一〇〇回轉がなるべく正確に一里に對應するものでなければならなかった。當時の車輪の半径については、吉田論文にその考察があり、<sup>(18)</sup>また『周禮考工記』においては、吉田および林論文によれば、三十三寸であるが、<sup>(19)</sup>盧道隆の場合をあげれば、直径が六尺となっている。かりに圓周率を三とすれば、一周につき十八尺、一〇〇回轉すれば一八〇〇尺である。一方、一里は三〇〇歩、一步は六尺とすれば、一里は一八〇〇尺である。數値は正確とは言えないが、記里鼓車の構造は理解することができる。さて、張衡は、圓周率の値として、 $316 \sqrt{2} \approx 318$ を算出した。<sup>(20)</sup>約三・二とすれば、一里を三〇〇歩として、車輪の直径は五・六尺となる。標準的な直径よりいくぶん小さな値になる。記里鼓車は、標準より小さな直径の車輪が使われていたか、齒數の數が後代のものとは異なっていたのであろう。

他方、指南車を考えよう。車輪の回轉の中心は、圖二五のO<sub>2</sub>にある。『宋史』に言う各輪の齒數によれば、方向を一八〇度かえたとき、すなわち人形の指す方向が車體にかんして反對になったときは（大平輪が半回轉、すなわちこの齒數が二四のとき）、車輪は一回轉し、また、方向を三六〇度かえてもとの状態にかえたときは、車輪は二回轉する。この場合は、車の方向の回轉のみにかかわり、圓周率の方はとくに考慮に入れる必要はない。

清代の考證學者の言うとおり、張衡傳に書かれた「參輪」に限って考えれば、それは記里鼓車である可能性は、かなり有力なものといわねばならない。

○一輪車・船・兵器 以上のような科學機械のほかにも、機械の技術という概念に

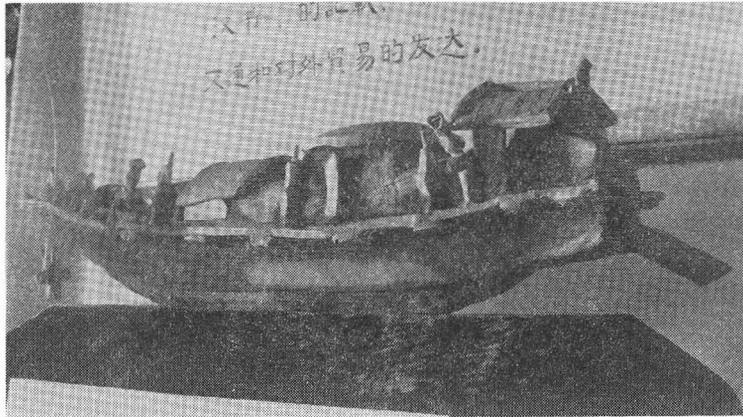


圖28 廣東博物館藏の船模型（林巳奈夫氏1973年3月撮影）

含まれるものは多い。たとえば、てこと車という二つの原理の組合せとして重要なものに、獨輪車がある。獨輪車、すなわち手押し一輪車は、董永の故事を描いた武梁祠畫象がその代表的なものである<sup>(21)</sup>。また、兩城山畫象石にも構造をわかりやすく描いたものがある（圖二七a、b）。これは、漢代には鹿車とよばれた<sup>(22)</sup>。劉仙洲は、一輪車が前漢の末期に創造されたとした<sup>(23)</sup>。干寶の『搜神記』卷一に、「漢の董永は、千乘（山東省）の人である。子供のころ母を亡くし、父と住んで畑仕事に精を出し、父を鹿車にのせ、自分はそのあとについて行った<sup>(24)</sup>」と書く。ところが王重民等編の『敦煌變文集』卷八は、句道興の『搜神記』を引く。「むかし劉向（紀元前七七一前六〇）は、『孝子圖』に言う。董永というものがいた。千乘の人であった。小さなときにその母を失ない、獨りで老父を養った。家は貧しく、困苦していた。農月（農繁期）になると、輓車を推して父を田頭の樹蔭の下に運び、人に備われて農作業をした。老父を養ってじゆうぶんに孝行した。……」<sup>(25)</sup>後者は輓車となっている。容庚は、武梁祠の一輪車を鹿車とし、<sup>(26)</sup>瞿中溶は、さらに、鹿は、鹿盧の意味であり、つまり輓轡のことだと言う。漢代に一輪車があったという有力な證據を提供する。

<sup>(28)</sup>した。長沙からでた漢代の船、廣東博物館の明器からも、これらの様子がよくうかがえる（圖二八）。鏡の圖柄などを含む、畫象にもよく描かれている。兵器の弩も、三國時代の馬鈞が、回轉連發式の車輪式の發石車を考案し、<sup>(29)</sup>諸葛亮も『武備志』に圖解され、『天工開物』に言及されているような連發式の弩を考案したとされている（圖二九）。農業機械についても、漢代にはいくらかの進展が見られた。<sup>(31)</sup>しかし、漢代の機械についてこれ以上、述べることは不必要であろう。

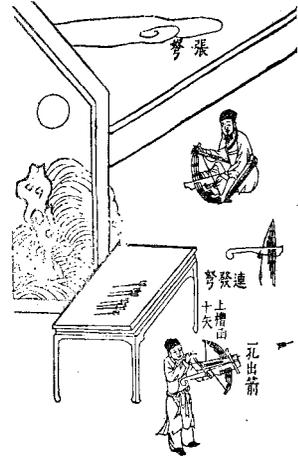


圖29 諸葛弩 (『天工開物』より)

この小論は、漢代の機械をなるべく原理的構造から把握してみようとするものであった。機械の諸要素としては、てこと車、クランクと齒車などが重要なものとしてあがってきた。水力を利用した機械は、後漢の中國に登場した。それを保障するものとして、機械の構造の要素的側面から考察する必要がでてきた。明器、畫象等の考古學的資料、および種種の文獻學的史料を簡單ではあるが、一應あげ

てみた。それによって後漢時代は、こうした機構の出現の可能性があつたときであることがわかつた。また、杜詩、張衡をめぐってそれらが出現したことは注目すべきである。張衡の科學的目的をもつた機械が、三國の馬鈞、晉代の杜預など、あるいはもつと下って南北朝期の祖冲之の農業工業などの産業機械の考案が實現する上での豫備實驗的、試作的位置を占めたことは、とくに注目すべき點である。張衡は、祖冲之などとともにすぐれた科學者であつた。かれは杜詩や杜預のような學者官僚ではあつたが、技術者というよりは、科學者であつた。他方、馬鈞は發明家としてすぐれた業績を残した。かれは、しかし、科學者としての性格にとぼしい。こうした科學者・技術者の性格の問題は、ここで論じる必要はないであろうが、社會的需要在機械の發明を生む上での重要な要因であつたことを示唆する。

はじめに左のような漢代の機械技術の前提條件を、力學の原理的な觀點からいくらか論じ、また簡単な機械をあげ、機構が必ずしも明らかではない後漢以後の注目すべき諸機械について、宋・元・明などの文獻によって構造が明白なものへのつながりを考えてみた。要するに、小論はいくらか機械技術的觀點から漢代の装置を考察したにとどまる。

註

(1) 荆三林 中國生產工具發達簡史 山東人民出版社 一九五五年十二月。

(2) 王振鐸 指南車記里鼓車之考證及模型 史學集刊第三期 民國二十六年四月。

同 司南指南針與羅經盤 中國考古學報第三册 民國三十六年

- 十二月。  
新しいところでは、
- (3) 王振鐸 張衡候風地動儀の復原研究 文物 一九六三年第二期(總第一四八號)、同(續)同第四期、同(續完)、同第五期。  
劉仙洲 中國機械工程發明史(第一編) 科學出版社 一九六二年五月。
- (4) 同 中國古代農業機械發明史 同 一九六三年六月。  
楊寬 中國古代冶鐵鼓風爐和水力冶鐵鼓風爐的發明 李光壁・錢君曄編 中國科學技術發明和科學技術人物論集 三聯書店 一九五五年十二月。  
同 戰國史 上海 一九五五年。
- (6) たとえば、  
太田英藏 古代中國の機械技術 史林 第三十四卷一・二合併號 一九五一年二月。  
宋伯胤・黎忠義 從漢畫象石探索漢代織機構造 文物 一九六二年第三期。  
夏鼐 我國古代蠶・桑・絲・綢的歷史 考古 一九七二年第二期。  
I. Needham; *Science and Civilisation in China*, Vol. 4 (in 4 Parts), Cambridge, 1962-.
- (7) 吉田光邦 中國科學技術史論集 N H K 出版局 一九七二年十月。  
(9) 戴內清 中國古代の科學 角川新書 昭和三九年二月。  
(10) 使用したものとしては、『宋史』輿服志、元の王楙『農書』、明の宋應星『天工開物』、徐光啓『農政全書』などをあげることができる。
- 1  
(1) 楊寬 『戰國史』圖版二〇。劉仙洲、『中國機械工程發明史』一六ページの寫眞。また、  
高至喜 湖南楚墓中出土の天平與法馬 考古 一九七二年第四期 圖一、一九七二。  
(2) 吉田光邦 弓と弩 東洋史研究 十二 一九五三。
- 高至喜 記長沙・常德出土弩機的戰國墓——兼談有關弩機・弓矢的幾個問題 文物 一九六四年第六期 一九六四。  
林巳奈夫 中國殷周時代の武器 京都大學人文科學研究所研究報告 第八章 一九七二年二月。
- (3) 夏鼐 既出論文。  
(4) 前者は、『呂氏春秋』五卷五月紀に、「昔黃帝令伶倫(作爲律。伶倫自大夏之西。乃之阮隄之陰。)取竹於嶰谿之谷。(以生空竅厚鈞者。斷兩節間。其長三寸九分。而吹之以)爲黃鐘之管」とあり、後者は、同五卷二月紀に、「日夜分。則)同度量鈞衡(石角斗桶)正槩權」とある。同じような内容については、『漢書』律曆志上參照。  
力學の原理を明らかにしたものとして、  
(5) 洪震寰 『墨經』力學綜述 科學史集刊 第七期 科學出版社 一九六四年七月。  
錢寶宗 『墨經』力學今釋 科學史集刊 第八期 科學出版社 一九六五年九月。
- (6) 譯文は、戴內清譯『墨子』 中國古典文學全集五 平凡社によるところが多し。  
(7) 『墨經』上 經二一 力。刑之所以奮也。 說二一(力)重之謂。下與重。奮也。  
(8) 同 下 經二六 負而不撓。說在勝。說二六(負)衡木加重焉。而不撓。極勝重也。右校交繩。無加焉而撓。極不勝重也。衡加重於其一旁。必捶。權重相若也。相衡則本短標長。兩加焉。重相若。則標必下。標得權也。  
經二八 挈與收假。說在薄。 說二八 ……挈。長重者下。短輕者上。上者愈得。下下者愈亡。繩直權重相若。則正矣。收。上者愈喪。下者愈得。上者權重盡。則遂。……。
- (9) 劉仙洲 一九六二 一七ページ。  
(10) 譯文は、福永光司譯『莊子』外篇 朝日古典選によるところが大きい。

- (11) 子貢曰。有械於此。一日浸百畦。用力甚寡。而見功多。夫子不欲乎。  
 (爲圃者叩而視之曰)。奈何。曰。鑿木爲機。後重前輕。挈水若抽。數如沃湯。其名爲榘。
- (12) 且子獨不見夫桔槔者乎。引之則俯。舍之則仰。彼人之所引。非引人也。故俯仰而不得罪於人。
- (13) 吾聞之吾師。有機械者。必有機事。有機事者。必有機心。有機心存於胷中。
- (14) 機については、後に述べるが、たとえば『説文』には、「主發謂之機」とある。また、械は、『説文』に、「械、桎梏也。……一曰。械、器之總名。一曰。械、治也。一曰。有所盛曰器。無所盛曰械」とあり、『史記』「律書」に、「其於兵械尤所重」正義曰「内成曰器。外成曰械。械、謂弓・矢・戈・矛・戈・戟」とある。
- (15) 意者其有機械而不得已邪。意者其運轉而不能自止邪。
- (16) 舟車機械之利。用力少。致功大(則入多)。
- (17) 林 前掲書三〇一三〇二ページ。
- (18) 妻不下紕。嫂不爲炊(『戰國策』秦上)。
- (19) 荆三林 前掲書 四七ページ。
- (20) 『史記』列傳第十一「昔曾參之處費。魯人有與曾參同姓名者。殺人。人告其母曰。曾參殺人」其母織自若也。頃之。一人又告之曰。曾參殺人。其母投杼下機。險牆而走。
- (21) 紀昌學射於飛衛。飛衛曰。爾先學不瞬。而後可言射矣。昌歸。偃臥其妻之機下。以目承牽艇。二年之後。雖錐末倒皆不瞬也。
- 『列子』の成立年代は、後漢より後に下るから、引用文獻としては適切ではない。
- (22) 夏竦 前掲論文。
- (23) 吉田光邦 周禮考工記の一考察 林巳奈夫 周禮考工記の車制いづれも『東方學報』京都三〇(特輯號)『中國古代科學技術史の研究』一九五九年十二月 所收論文に詳しい。
- (24) 最初の發表は、『光明日報』一九七二年三月二十六日に見られる。

- (25) 劉仙洲の本(一九六二)八六ページの紡車畫像は、模造である(林氏のコメント)。
- (26) 王僧虔の『名書錄』の方は、劉仙洲(一九六二年)二〇ページ註(1)の引用による。
- (27) 石季龍與皇后在觀上爲詔。書五色紙。著鳳口中。鳳既銜詔。侍人放數百丈緋繩。轉轆回轉鳳飛下。謂之鳳詔。(鳳凰以木作之。五色漆畫。脚皆用金)。(陸翹『鄴中記』)。
- (28) 山西省博物館所藏。劉仙洲(一九六二)九二ページ參照。
- (29) 羅振玉は、『雪堂所藏古器物圖説』に、「古機輪土範一。有文字曰東二。以書勢考之。乃西漢之物」と書く。
- (30) 容庚は、『金文續編』に、「羅振玉『雪堂所藏古器物圖』。著錄齒輪範一。銘文爲東口。範以陶制。出齒十六。作斜倚形。中有方楔突起。因此知輪鑄成後必受貫于方軸之上。軸與輪必有連轉之運動。考其銘文。篆法嚴正。故爲漢物無疑」と書く。
- (31) 西漢齒輪範。沈陽博物館藏。
- (32) 東漢初年齒輪。陝西省博物館藏。
- (1) 霍光妻遺孀于衍蒲桃錦二十四疋。散花綾二十五疋。綾出鉅鹿陳寶光妻。寶光妻傳其法。霍顯召入其第。使作之。機用一二〇罽。六十日成一疋。匹達萬錢(『西京雜記』卷一)。
- (2) 『三國志』魏書二九、方伎、杜夔傳、裴松之注「(時有扶風馬鈞。巧思絕世。傳玄序之曰。……爲博士居貧)乃思綾機之變。(不言而世人知其巧矣)。舊綾機五十綜者。五十躡。六十綜者六十躡。先生患其喪功費日。乃以十二躡。(其奇文異變。因感而作者。猶自然之成形。陰陽之無窮。此輪扁之對。不可以言言者。又焉可以言校也)。夏竦によれば、躡は、必ずしも足で踏むふみぎではなくて、提花機の綫束をひきあげるものを指す、という(『考古學報』一九六三年第一期六五頁)。
- (4) 太田英藏 前掲論文參照。

- (5) 天地之間。其猶橐籥乎。虛而不屈。動而愈出。〔老子道德經〕虛用。
- (6) 『墨子』「備穴篇」などは、漢代の偽作と考えられているようであるが、以下に引用するところは、楊寬の前掲論文七六ページによつて、戦國後期のものとしておく。「甯用四囊。穴且遇。以頤臯。〔桔槔〕衝之。疾鼓囊熏之」〔墨子〕第六二備穴篇。
- (7) 具鐘囊。囊以牛皮。鐘有兩。以槁。〔桔槔〕鼓之百十。……」
- (8) 王振鐸 漢代冶鐵鼓風機的復元 文物參考資料 一九五九年第五期。(建武)七年。遷南陽太守。性節儉而政治清平。以誅暴立威。善於計略。省愛民役。造作水排。鑄爲農器。用力少。見功多。百姓便之。〔後漢書〕卷六一 杜詩傳。
- (10) (後遷樂陵太守。徙監治謁者。) 舊時治作馬排。(割注)蒲排反。爲排以吹炭。每一熟石用馬百匹。更作人排。又費功力。暨乃因長流爲水排。計其利益。三倍於前。〔三國志〕魏書卷一四韓暨傳。
- (11) 李崇州 古代科學發明水力冶鐵鼓風機「水排」及其復原 文物參考資料 一九五九年 第五期。
- (12) 宓犧之杵舂。萬民以濟。及後人加巧。因延力借身重以踐碓。而利十倍杵舂。又復設機關。用驢・驟・牛・馬。及役水而舂。其利乃百倍。賢者所制。或諭聖人。水碓之巧。勝手斲木掘地。〔太平御覽〕卷七六二。
- (13) 水春河漕。用功省少。軍糧饒足。
- (14) 晉杜預作連機之碓。藉水轉之。(高承「事物紀原」卷九、劉仙洲の本「一九六二」六六ページ参照)。「太平御覽」第七百六十二には、「晉諸公讚曰。征南杜預。作連機碓」とある。
- (16) 司徒王戎既貴且富。區宅・僮牧・膏田・水碓之屬。洛下無比。また、『晉書』卷四十三の王戎の傳は、「……性好興利。應收八方園田。水碓周徧天下。積實聚錢。不知紀極」と書く。王禎『農書』卷二十には、「杜預作連機碓。……王隱晉書曰。石崇有水碓三十區。今人造作水輪。輪軸長可數尺。列貫橫木。相交如滾檜之制。水激輪轉。則軸間橫木間打所排碓稍。一起一落舂之。卽連機碓也」と書く。

- (17) ……于東游苑。造水碓・磨。武帝親自覽視。
- (18) 亮在雍州讀杜預傳。見爲八磨。嘉其有濟實用。遂教民爲碓。及爲僕射。奏于張方橋東堰穀水造水碾磨數十區。其利十倍。國用便之。なお崔亮は、五〇〇年ごろの人物。
- (19) 至正光年中。……磳磳舂簸。皆用水功。
- (20) J. Needham の事實を「たこえび」"Science and Civilization in China" Vol. 4, Part 2, Section 27, Cambridge, 1965 に於いて指摘している。
- (21) 以大木彫構。使其形若輪。平地施之。潛以水發焉。設爲女樂舞象。至令木人。擊鼓吹簫。作山岳。使木人跳丸擲劍。緣組倒立。出入自在。百官行署。舂磨鬪雞。變巧百端。(此三異也)。「三國志」魏書二十九卷 杜襲傳注。
- (22) 長安巧工丁緩者……又作七輪扇。連七輪。大皆徑丈。相連續。一人運之。滿堂寒顛。〔西京雜記〕一。
- (23) 外兄劉景宣作磨奇巧。因賦之云。方木矩峙。圓質規旋。下靜似坤。上動似乾。巨輪內建。八部相連。
- (24) 荆三林 前掲書 五七ページ。
- (25) 靈帝時。……(張)讓……及軍風……十二人。皆爲中常侍。……令畢嵐鑄銅人。……又作翻車・渴烏。施於橋西。用灑南北郊路。以省百姓灑道之費。(注) 翻車設機關以引水。渴烏爲曲筒以氣水。水上也。
- (26) 居京都。城內有地。可以爲園。患無水以灌之。乃作翻車。令童兒轉之。而灌水自覆。更入更出。其巧百倍於常。(此二異也)。「三國志」魏書二九方伎傳注。
- (1) たこえび  
John Milne; Earthquake and Other Earth Movement 1883.  
王振鐸 漢張衡候風地動儀造法之推測 燕京學報 二〇期 一九三六。

- A. Inamura; Tyoko and his Seimoscope, *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, Vol. 16, No. 231, 1939.
- 李善邦 賈氏地震儀原理及設計製造經過 地球物理專刊 第三號  
地質調査所 一九四五。
- Joseph Needham; *Science and Civilisation in China*, Vol. 3, Section 24, 1962.
- 王振鐸 張衡候風地動儀的復元研究 文物 一九六三年第二期、第四期、第五期。
- (2) 今村恒明 前掲論文。
- (3) 吉田光邦 渾儀と渾象 東方學報 京都 二五 一九五四年。
- (4) 吉田 (一九五四) 論文。
- (5) Needham, J., Wang Ling & Price, J. de S.; *Heavenly Clockwork; the Great Astronomical Clocks of Medieval China*, Cambridge, 1960 參照。
- (6) 吉田 (一九五四) Needham et al (1960) 參照。
- (7) 鄭玄說。動運爲機。持正爲衡。皆以玉爲之。(沈約『宋書』志第十三「天文志」一)。
- (8) 吉田論文 (一九五四)。  
其制如鼓車。設木人于車上。舉手指南。車雖廻轉。所指不移。(『宋書』卷十八禮志五)。
- (9) 初宋武平關中。得姚興指南車。有外形而無機巧。每行使人于內轉之。昇明中。太祖輔政。使冲之追修古法。冲之改造銅機。圓轉不究。而司方如一。馬鈞以來。未有也。
- (10) 大章車。所以識道里也。起於西京。亦曰記里車。車上爲一層。皆有木人。行一里。下層擊鼓。行十里。上層擊錫。尙方故事。有作車瀾。記里車。未詳所由來。亦高祖定三秦所獲。制如指南。其上有鼓。車行一里。木人輒擊一槌。
- (11) 記里鼓車。制如指南。上施華蓋子。縹衣漆畫。鼓機皆在內。
- (12) 劉仙洲 (一九六二) 九七ページ、圖一一〇。
- (13) 張蔭麟 盧道隆・吳德仁記里鼓車之造法 清華大學學報 第二卷第二期 一九二五。
- (14) 王振鐸 『史學集刊』所收論文。  
使博士馬鈞作司南車、水轉百戲。……備如漢西京之制。
- (15) 吉田論文 (一九五九) 參照。
- (16) 林および吉田論文 (一九五九) 參照。
- (17) 張衡のこの値については、頼家度『張衡』(一九五六、上海) 三六ページ參照。
- (18) 劉仙洲の本 (一九六三) 參照。
- (19) 劉仙洲 我國獨輪車的創始時期應上推到西漢晚年 文物 一九六四年第六期。
- (20) 史樹青 有關漢代獨輪車的幾個問題 文物 一九六四年第六期。  
劉仙洲 有關我國古代農業機械發明史的幾項新資料 農業機械學報 第七卷第三期 一九六四年八月 (この雜誌は、天野博士の教示による)。
- (21) 「鹿車」の記事は、たとえば『後漢書』趙熹傳、杜林傳、儒行傳、獨行傳、烈女傳、『三國志』魏書司馬芝傳、『風俗通』などに見える。また『三國志』蜀書諸葛亮傳に、諸葛亮が兵糧を木牛で運んだと書かれている。かれは、軍事技術者として有名であり、連弩、木牛・流馬を作った。
- (22) 劉仙洲 文物 (一九六四一六) 所收論文。
- (23) 漢董永。千乘人。少偏孤。與父居。肆力田畝。鹿車載自隨。
- (24) 昔劉向『孝子圖』曰。有董永者。千乘人也。小失其母。獨養老父。家貧困苦。至于農月。與(以)轆車推父于田頭樹青下。與人客作。供養不闕(人民文學出版社刊。一九五七年八月)。
- (25) 容庚は、董永の故事の畫象について、「一人坐鹿車。左手扶鳩杖。石手直前者。董永父也。車後倚一樹。有小機攀援欲上。左一人向左立。回首顧其父。左有一器。以右手執其蓋者。董永也。其上一人橫空者爲織女」(『漢武梁祠畫象錄』)と書く。

- (27) 瞿中溶 漢武梁祠畫象考 卷五。
- (28) こうした問題については、  
Needham, J.; *Science and Civilization in China*, Vol. 4, Part 3,  
29. Nautical Technology, 1971.  
にまとめられている。
- (29) 『三國志』「魏書」卷二九方伎傳の割注には、「以機鼓輪爲常」と
- (30) この問題については、吉田前掲書、第十二章、明代の兵器、四五七  
ページに論じられている。そこには、諸葛亮は一時に十矢を連發し  
うるとされている。『武備志』にこの構造が述べられている。
- (31) たとえば、荆三林、劉仙洲の著書を見よ。また、天野元之助『中國  
農業史研究』（一九六二年八月）も参考になる。

(この研究は昭和四七年度文部省科學研究費「漢代文物の考古學的研究」によるものである)