

石臼の目について

江戸ソバリエ・ルシック

三浦謙一

1. はじめに

臼の発祥は紀元前数十世紀頃のサドルカーン（鞍状の石板の上で石塊を往復させ摺り合わせる方式）と考えられており、古代エジプトのピラミッドや墳墓からの出土品に数多く見られる。私がルーブル美術館で調査したところ、粉を挽いている小さな土の人形が陳列してあった。（図1）また以前に調査したドイツのウルム市にある「パンの歴史博物館」でもサドルカーンが陳列されていた。（図2）ロータリーカーンと呼ばれる回転式の石臼が出現したのは、さらに時代を経て紀元前8世紀の西アジア地方であり、その後西と東に伝播したと考えられている【1, 2】。元来小麦を主食とするすべての文明にとって砕粉は不可欠な技術であり、ギリシャ・ローマをはじめ数多くの文明も石臼無しには存在し得なかったであろうことは容易に想像できる。例としてポンペイ遺跡に現存する特異な形状を持った回転式石臼を図3に示す。一方、日本には610年に高句麗から伝えられたという巨大な石臼が大宰府の観世音寺に現存するが（図4、【1】）、一般に農具として普及するのはその後一千年近くもの年月を経た江戸中期頃からである。このこと自体不思議なことであるが、その間の進歩とはどんなものであったかは非常に興味がそそられる。

2. 石臼の要件

石臼の構造例（断面図）と代表的な目のパターンを図5に示す。石臼の要件としては以下が考えられよう。

- (1) 丸抜き（脱穀したソバの実）を臼の中心部に近い「もの入れ」（上臼にあいている穴）から周辺部に向って、流れ作業的に滞りなく輸送しながら順次細かな粉へと製粉していき、最後に周辺部で細粉化して排出する
- (2) その際の発熱を極力抑え、そば粉の風味を損ねないようにする

要件(1)については石臼の形状と目の刻み方が非常に重要な役割を果たす。すなわち丸抜きが入ってきた時点では粒が大きいのを上臼の「含み」（面が凹状になっていて隙間がある）で受けて上臼が浮かないようにし、徐々に外側に向かって排出すると同時に上下臼の摺り合わせによって粉を挽くというまことに巧妙な構造である。さらに粉をスムーズに移動せしめるには目の刻みパターンが重要となる。要件(2)については臼の形状もさることながら臼の材質が大きなファクタであろう。（例：安山岩 vs. 花崗岩）。もちろん溝があることによる放熱効果もあろうし、臼の回転速度も重要であろう。

本稿では次節以降において要件(1)のうち特に目のパターンについて論を進める。なお石臼によっては下臼を凸面状に仕上げたものもありこれは重力により外側への排出を促進しようと試みていると想像されるが、ポンペイ式の縦型のものとは異なり重力の影響は

僅少であり、実用的観点からは全く意味が無いように思われる。

3. 臼の目の種類

3.1 直線からなる目（直線目）

現在でも臼の目（以下溝と呼ぶ）はほとんどの場合直線の組み合わせで成り立っている（図5）。中心から放射状に出ている比較的太い溝は主溝、そこから斜めに複数本派生している溝は副溝と呼ばれる。このパターンはローマ時代の出土品でもすでに見いだされているものであり、数千年の時を経ても変わっていないというのは不思議な気がする。実際には国内でも地域、歴史的背景、挽く穀物の種類によってさまざまな種類のパターンがあるようで、文献【1, 2】によれば関西は8分割が多く、関東は6分割が多いという。私が知人の協力を得て調べた範囲では関東の臼はすべて6分割であったが（図6 - 図9）一例だけ岡崎の臼は8分割であった（図10）。通常上臼と下臼には同じパターンが描かれており、上臼を裏返しに置くことによって二面の溝のパターンが対称的に交差するようになっている。

溝が直線の組み合わせであるのは、多分石工が作業をしやすいというのが大きな理由であろう。その一方では、上臼と下臼の溝の交点がそこにある粉を外側に向かって押し出すものと考え、直線同士では交点が移動する速度にムラが出ることになり、必ずしも最良ではなさそうである。このことは故三輪茂雄氏も指摘している【2】。以下にさらに詳しく考察する。

3.2 直線からなる溝の交点の速度の解析

今、上臼の回転数を ω とする時（左回り）、上下臼の対称な溝のパターンの交点は、下臼が右に $\omega/2$ 、上臼が左に $\omega/2$ で回っている時と同じ動きをする。ということはその場合には交点は半径方向の直線上しか動かないことになるので、結局交点の動きを調べるのは与えられた溝のパターンと半径方向の直線との交点の動きを調べるのと同等になり、議論は非常に簡単になる。図11に主溝と副溝（複数本）の交差角が45度（8分割）であるような「目」についての解析結果を示すが、これを見て明らかのように交点の速度は半径上の位置、あるいはどの副溝かによってまちまちである。

4. 曲線からなる目（曲線目）に関する考察

それでは溝がなめらかな曲線であったらどうなるか、その場合のメリットは何かについて、いくつかの例によってさらに考察を進めよう。

4.1 祖谷の石臼の例

文献【1, 2】は祖谷の石臼の溝が曲線になっていることを指摘している。（図12）ただしそのパターンのモチベーションは定かではない。第一、曲線の曲る方向が逆である。実際このようなパターンを2枚の透明なシートで作り、一枚を裏返して重ねて反時計方向に回してみると、明らかに交点が中心に向かって逆行する部分があることが判明した。した

がって実用的な機能としては疑問があり、単にデザインの妙味だけではないかとも推察される。

4.2 等角曲線

これは文献【2】で紹介されているものであり(図13)、故三輪茂雄氏は交叉角が一定となる(この場合90度)曲線は指数関数で表せる曲線であると述べているが、その明らかなメリットについては言及していない。この曲線は通常は「等角螺旋」、あるいは「対数螺旋」と呼ばれているものである。等角螺旋は任意の交叉角について作図可能であるが、特に交叉角が常に90度である場合は、押し出される粉にかかる力は常に下臼の溝の接線方向(粉の進行方向)になるため、溝の側面との摩擦が少なく発熱が軽減されるといったメリットがあるのかもしれない。等角曲線の場合交点の速度は一定ではなく、外側に行くにしたがって指数関数的に速くなる。

4.3 等速曲線の存在について

大分前置きが長くなってしまったが、これまでの考察をふまえると、もし粉が石臼の中心から周辺部に向かって一定の速度で移動するような溝の曲線が与えられれば、石臼の流れ作業的な原理から見て非常にメリットがあるものと考えられる。そこで問題は「本当に等速曲線なるものが存在しうるのか」である。私は解析幾何学的手法を用いて解を求めることができた。その証明は省略するが結果は驚くほど単純で、極座標表示で $r(\theta) = c \sin(\theta)$ となる。すなわち臼の中心と、半径を臼の外側まで延長した直線上の任意の一点とを結んだ線分を直径とする円弧に他ならないということである(図14)。それが求める曲線であることは、初等幾何学によって「同一の円上において等しい長さの円弧が張る円周角も相等しい」という事実から容易に示すことができる。つまり臼の中心から引いた直線が等速回転した時に円弧との交点も円弧上を等速で動くのである。

これは私が独自に導き出した新事実であると確信する。

5. 結語

本稿では、石臼の溝のパターンに着目してさまざまな考察を行った。けだし、二千年以上の歴史を持つ回転式石臼の作りがほとんど変わっていないということ自体が意外なことであり、さまざま工夫があっても良かったのではと考える。特に私が考察した溝のパターンは江戸時代の和算家なら容易に導き出せていた類の話である。無論、石工の作業という観点からは曲線は直線より困難を伴うであろうことは容易に想像がつくが、今日では先進的な加工技術もいろいろ存在することであり、ここで述べたような試みがなされても良いのではないかと考える次第である。ちなみに文献【2】174ページには西洋の小麦製粉用の石臼には曲線目のものもあると記述されているので、このあたりの調査をさらに進めてみるのも無駄なことではあるまい。

以上

後記

この小論を提出した後に行った調査により、驚いたことに 16 世紀ないし 18 世紀のドイツの技術書【3, 4】に、円弧に近いと思われる曲線目が示されていることを発見した(図 15、図 16)。他にも米国などの文献に曲線目が使われているとの記述がある。この小論での考察があながち空論では無いことが判明したのはうれしい限りである。(2010 年 12 月)

参考文献

- 【1】 三輪茂雄 著 「石臼の謎」産業技術センター(1975)
- 【2】 三輪茂雄 著 「臼」 法制大学出版局(1978)
- 【3】 J. Reynolds, Windmills & Watermills, Hugh Evelyn London (1970)
- 【4】 J. Storck and W.D.Teague, Flour for Man's Bread, Univ. Minn Press (1952)

図



図 1 . サドルカーン
エジプト古代王朝
(ルーブル美術館にて筆者撮影)



図 2 . サドルカーン
(ウルム市パンの歴史博物館にて筆者撮影)



図 3 ポンペイの石臼 (BC200-AD79)
(ポンペイ遺跡にて筆者撮影)



図 4 . 大宰府観世音寺の石臼 (天平年間)
(直径 : 約 1 m、8 分画 6 溝。筆者撮影)

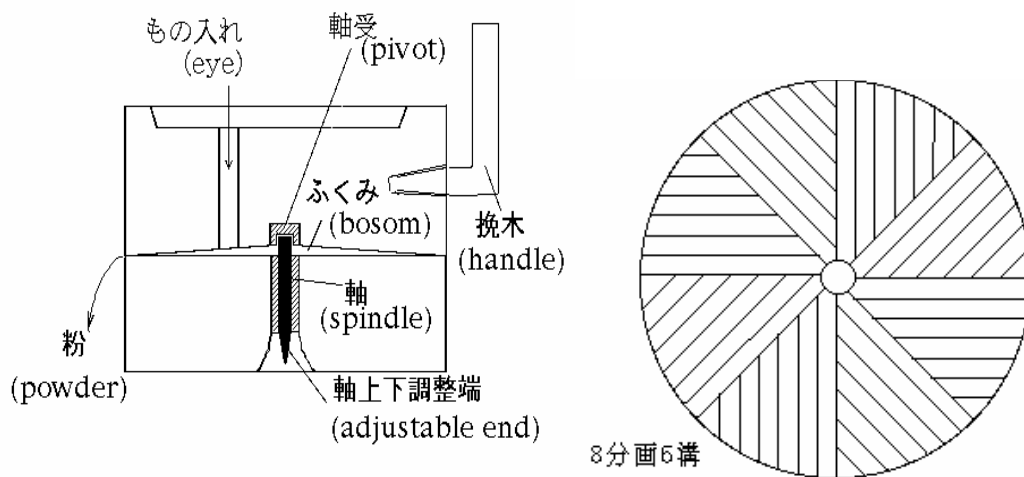


図5 . 石臼の構造と代表的な溝のパターン

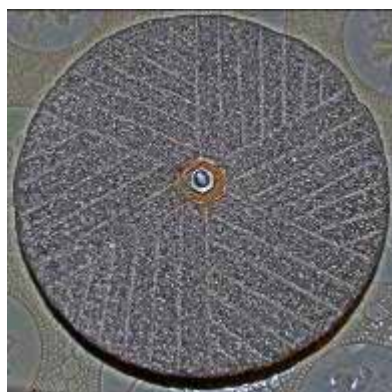


図6 . 宮川家所蔵の石臼
6分画6溝 (筆者撮影)



図7 . 橋本家所蔵の石臼(その1)
6分画2溝 (筆者撮影)



図8 . 橋本家所蔵の石臼(その2)
6分画5溝 (筆者撮影)



図9 . 橋本家所蔵の石臼(その3)
6分画6溝 (筆者撮影)



図10 奥田家所蔵の石臼
8分画13溝 (筆者撮影)



図12 祖谷の曲線目【2】
下石が右巻きの曲線になっている。

交点の速度 (任意スケール)

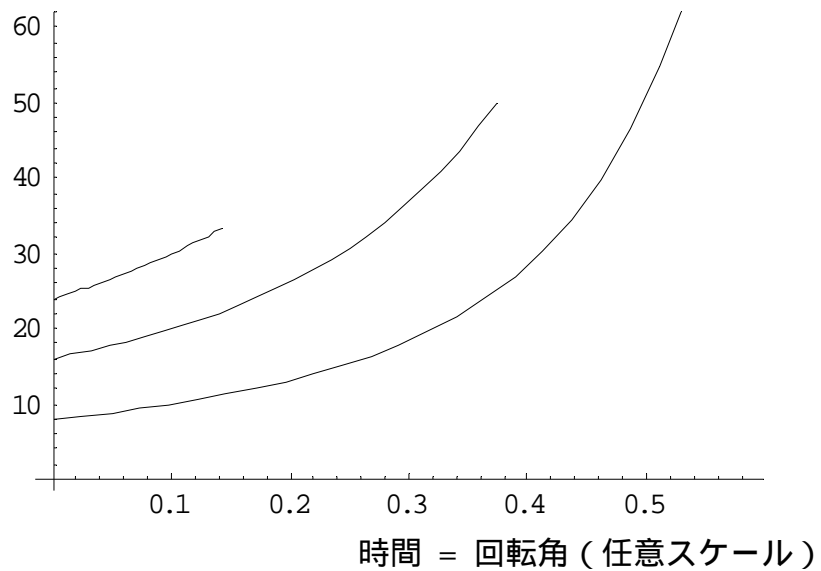
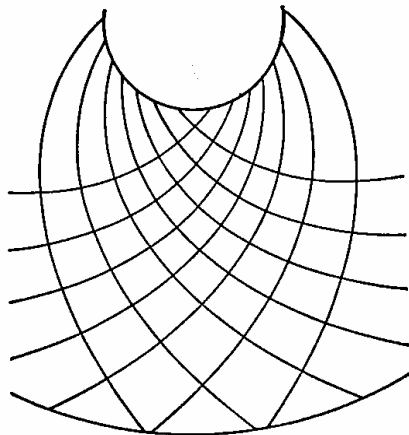


図11 直線目の溝の交点の速度
8分画の場合の副溝の位置による違いを示す。
上側のグラフほど外側に近い副溝に対応する。
(数学ソフト Mathematica により計算)



図IV-38 交叉角一定のパターン

図 13 等角螺旋による曲線目【 2 】
 交差角 90 度の場合。周辺に向かうにしたがい交点の間隔が（したがって速度も）指数関数的に長くなっているのがわかる。

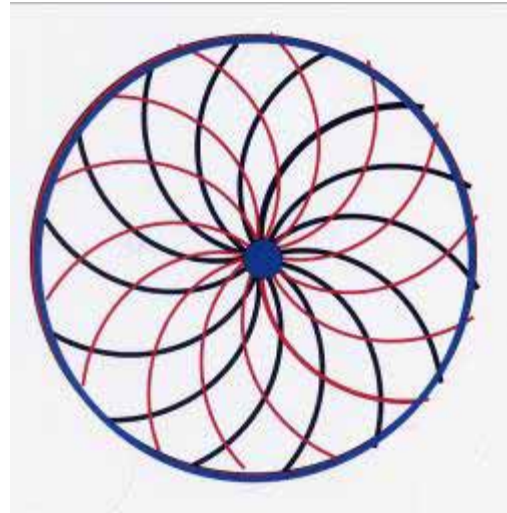


図 14 等速曲線による曲線目（三浦作図）
 一本の円弧上の交点の間隔が一定であるのがわかる。一方交叉角は周辺に向かうにしたがって大きくなっている。



図 15 16 世紀後期のドイツの水車用臼【 3 】
 (Jan de Strada, Kunstliche Abrisse Allerhand Wasser-Wind-Ross- und Handt Muhlen 1617 よりの引用)

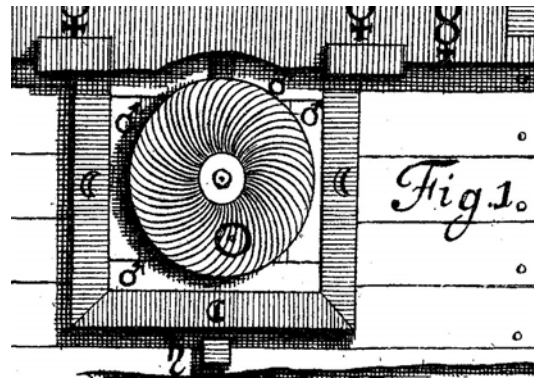


図 16 18 世紀のドイツの技術書より【 4 】
 (Jacob Leopold, Theatrum Machinarum Molarium (1735)よりの引用)