

# 巨石運搬

—古代人はどのようにして巨石を動かしたのか?—

理事 柳原輝明

## ■はじめに

過去、山添村の神野山における巨石の実態を調査する中で、我々は少なくとも4千年の昔に天空の星を地上に再現するという人達がいたことを確信した。しかし、小は数トンから大は数百トンもの巨石を、今のような重機などの機械力なしで動かせるはずが無いという多数の意見にその確信も揺らいだ。このうへは、人力のみで、しかも古代に存在したであろう材料を使って巨石が運搬できる事を証明するしかないと思うに至った。

そのとき、第一に思い浮かんだのは「修羅」である。藤井寺の三つ塚古墳発掘のときにその周濠の底から二股に分かれた巨大な自然木が発掘された。その形状から、石棺の運搬に使われたものと言う事がわかった。藤井寺市では、それを証明すべく、そのレプリカを作成し、石棺を載せて運搬するという実験を行った。1978年の事

である。また、近くは江戸時代築城の際の石垣運搬の絵図に、修羅に巨石を積み大勢の人がそれを曳いていく姿が残されている。これにより、古代（少なくとも古墳時代までは）の巨石運搬の技術は修羅に依っていたことは間違いがない。

当初、この修羅を使って巨石が



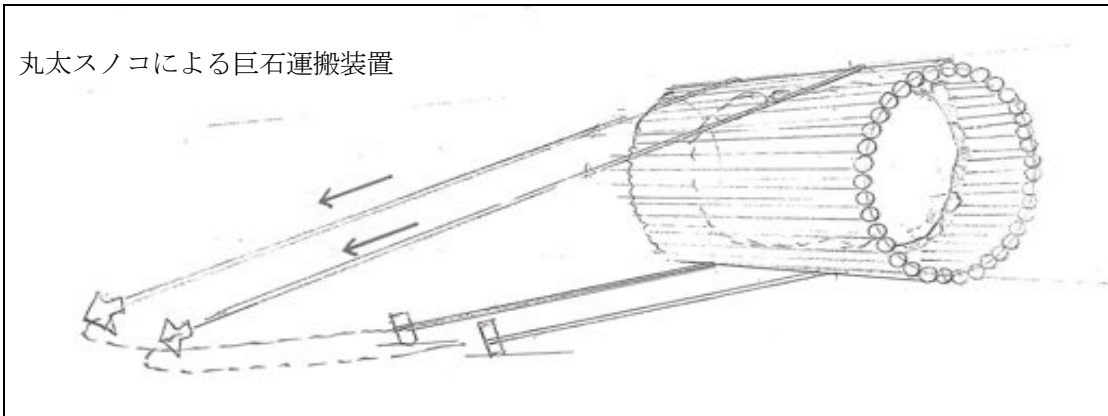
1978年実験に使われた修羅レプリカ

運搬できる事を証明したいと考えた。修羅の实物を検分した中で、修羅は石棺のような整形の切り石の運搬には適しているが、形の不ぞろいな自然石の運搬には適していないように思えた。理由は、修羅の幅である。現物を見るとその幅は1m前後で、その安定を考えると石の大きさは1.0〜1.5mが限度である。仮にその石の縦方向が3mとすれば、その石の重さは20トン程度であろう。これでは我々の言う巨石の範疇では中クラスである。より大きな磐を運搬する方法を考える必要に迫られた。

そこで、古代に簡単に手に入る材料で、しかもそう多くない人数で運搬できる手法を編み出す必要があった。このとき、縄文時代においても人類

の知恵は現代の我々と同じ程度発達しているという事と、さまざま  
な日常生活の中で重いものを動か  
すときの知恵を蓄積しているとい  
う事を前提にした。即ち、筒状  
の丸いものは四角いものより少  
人数で動かせる事や、片方を固定  
したロープでもう片方を曳けばそ  
の中にある物体は少人数で動かせる  
事を体験から知っているという事  
である。言い換えれば、転がり摩  
擦はすべり摩擦に比べはるかに小  
さいことと、滑車の原理を体験的  
に知っていたという事が前提であ  
る。

以上をもとに図のような装置を  
考えた。即ち、巨石を丸太で作  
ったスノコで巻き、それを蔦で編  
んだロープで引つ張るとい装置で  
ある。この装置で実際に巨石が動  
かせるのかどうかを実験を通じて  
明らかにしていこうと考えた。



### 1. 第1段階実験

\*\*\*年\*月\*日

— 丸太スノコの場合、人間一人  
の力でどのくらい重さの物が  
曳けるのかを明らかにする —

直径60cm、幅1mの運動場

整備用のローラーを用意した。

重量は、0.3×0.3×3.

1.4×2.5 (比重)

≒706kg



このローラーは二人で曳くこと  
が可能である。このローラーを  
写真のようにロープで曳くと一人  
で、軽々と動かす事ができた。  
滑車の原理で、本来二人で動か  
すものを一人で動かせるという事  
は二分の一の力で曳けると言うこ  
とである。

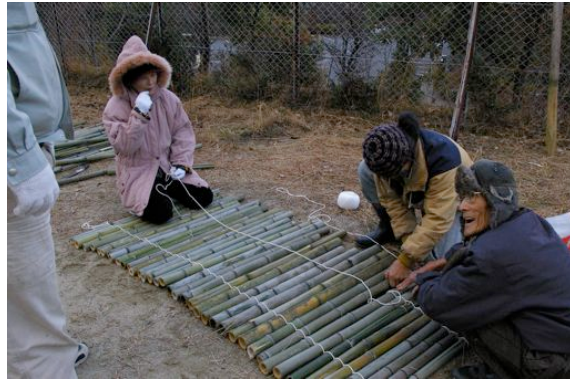
即ち、転がり摩擦で滑車の原理  
を使えば少なくとも一人の人間の  
曳く力は約700kgといえる。

これは一般の人の曳く力40kg

の約1.7倍である。

次に、ローラーにスノコを巻いたとき、ローラーだけのときのよ  
うに一人で動かせるかどうかの実  
験を行った。

スノコは、今回は丸竹をロープ



で編んで作った。

ローラーをスノコに乗せるとき、  
丸竹の高さ4cmの高さを越える  
為には3人の力を必要とした。

ここから、スノコの上面の高さ

と地面の高さを同じにしておく必  
要があることがわかった。



スノコの4cmの高さを越えるのに3人の力が必要



スノコを巻きつけた状態でも一人の力で動いた



ローラーにスノコを巻きつけた状態

スノコを巻きつけた状態での引  
つ張り実験の結果、一人で十分曳  
くことが可能であるとの結論を得  
た。

■ 実験から判明した事

第1段階として不整形な自然石  
でなく整形なローラーを利用した  
実験であるが、以下のような実験  
結果を得た。

- ①スノコをまいた円筒状のものを滑車の原理を利用すれば一人で700kgの曳く力を出しうる。実に1.7人力の力を発揮できる事がわかった。
- ②動滑車の場合ロープの片方を固定する必要があると考えていたが、ローラーの重さでロープが固定され、片方を固定する必要が無い事がわかった。
- ③スノコにローラーを乗せるとき

3人の力が必要となった。このことから、スノコの下の地面を掘り下げローラーと同じ高さにする必要があるという事及び、実際の時には梃子等の補助的な力が有効であることがわかった。

#### ■ 実験まとめ

藤井寺市での修羅の人力牽引結果では、14tの生駒石を積載した場合、地曳きでは300人の人手で3.32m動いたそうである。木馬道を利用した場合引き手300人で0.8〜1.4m動いた。400人にした場合1.6m動き、木馬道にサラダオイルを塗布した場合300人で一気に41.6m動いたということである。コロ使用の場合曳き手36人で15秒間、10m動いた。但しこの場合コロの移動のために20人程度の人員が必要とされた。

この実験結果から、80tの巨石を修羅で運搬するときの曳き手の人数を計算している。それによ

ると地曳きの場合1,400人、コロとコロレールを使った場合250人程度、雑木を横木に敷き木とした場合で500人程度と試算している。

ちなみに、今回の我々の実験装置で諸条件を無視して、単純に一人当たりの曳く力で重量を割ると(80t÷0.7t≒114人)となる。安全を見ても150〜200人で80tの巨石を運搬可能ないように思える。

これは、修羅による巨石運搬の地曳の場合の1/7、雑木と横木を敷き木にした場合の1/2の人数で運搬可能である。コロとコロレールを使った場合に比べても、その8割程度の人数で済むことが判明した。

## 2. 第2段階 巨石を「スノコ」に乗せる

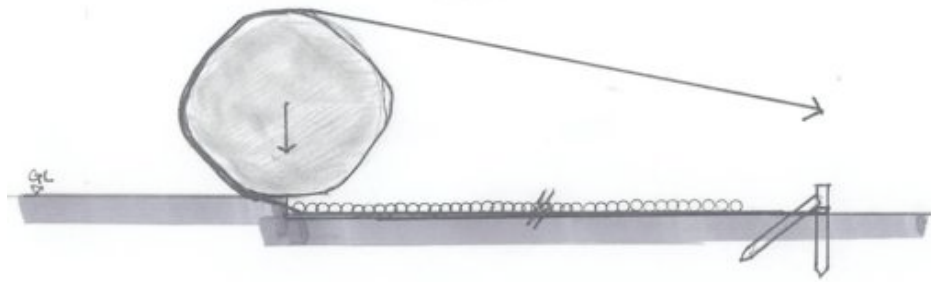
第1段階実験で「スノコ」にローラーを載せるのにロープによる回転運動で転がしても3倍の人力を要した。ローラーと「スノコ」の間の高低差をなくし、同一の高さにすれば理論上は平面上のローラーを動滑車の要領で引くのと変わりが無いので、一人の力で「スノコ」の上に乗せることが可能である。

では、自然石の場合は如何であろうか。ローラーと同じくロープをかけて動滑車のように曳く方式を考える。このとき、ローラーと異なり、不整形であるからローラーと同じように行かないことは自明である。しかしこの場合も後方より力を加えて押す場合に比べて明らかに小さな力で動かす事は可能である。それがどの程度の力で動かす事が出来るかを実験すれば明らかになると思われるが、現時点でそこまでの実験が出来ていな

い。そのため、ここではある一定の仮定の下、計算で「スノコ」に巨石を乗せるときの力を算定してみる。

① 巨石と「スノコ」とを同一の高さにする。即ち、巨石の下部を掘り下げ、巨石が転がる寸前のところまで掘り進む。

② 予め「スノコ」の下に敷いた



ロープを巨石の下をくぐらせて、  
図のように磐に架けロープを引っ  
張る。

この場合、ローラーでの実験から

円形に近いものでは700kg／  
1人を引けるが、自然石の場合は  
その形状からかなりの抵抗がある  
ことは予測される。それでも3倍  
の力を出せば曳けるのではないか  
と予測している。即ち、230kg  
／1人の力で動かせるのではな  
いかと考えている。

仮に80トンの巨石を「スノコ」  
に乗せる場合、約350人の人手  
が必要であると計算できる。

なお、最初の転がりのところで  
巨大な力が必要であるので、補助  
的に後方より梃子により押し出す  
力を加える事も有効であろう。

### 3. 第3段階 スノコを円筒 状に巻くこと及びスノコと路 面の耐力

(1) 巨石を丸太の「スノコ」  
にまく(限りなく円筒状にする)

第1段階実験において「スノコ」  
状のもので巨石を円筒状にまけば

一人当たり約700kgの曳く力  
を発揮できる事がわかった。但し、  
この実験ではもともと円形のもの  
を「スノコ」に包んだため、その  
形状は円筒形になるのは当然であ  
る。不整形な自然石の巨石を「ス  
ノコ」に包んで円筒形に出来るか  
どうか疑問として挙げられた。

そこで、「スノコ」と巨石の間  
の生じる隙間を何でどのように埋  
めるかである。土を詰める案や小  
石を詰める案などがあつたが、円  
筒の端部分に何か蓋のようなもの  
がないと巨石の重みではじき出さ  
れる事が予測され、また端を区切  
る蓋状のものを何で作り、それを  
どのように固定するかで暗礁に乗  
り上げた。

あるとき、隙間に木の楔を打ち  
込んだら如何だろうかと言う考え  
が浮かんだ。木の枝であれば数c  
mから十数cmまで様々な大きさ  
のものが選べ、巨石との隙間を比  
較的簡単に埋めることが出来る。

しかも、打ち込む位置によって「ス  
ノコ」を限りなく円筒形に近付け

ることが可能である。しかも、巨  
石の重みにより楔同士が圧着され、  
より堅固になること、そして圧着  
により変形すれば、あとから木の  
枝を打ち込む事によりその形状を  
維持していけるものと思われる。

以上を図にすれば、以下の図の  
ようになる。

#### ①横断面の形状

磐と「スノコ」の不整形な隙間に、  
両端部から木の枝を打ち込んでゆ  
く。

「スノコ」が円筒形になるよう木  
の枝を打ち込んでゆく。

「スノコ」と磐の間に極力隙間の  
無い様、即ち、磐の重量が出来る  
だけ均等に「スノコ」に接するよ  
うにする。

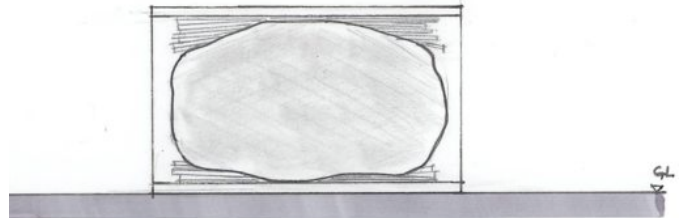


②たて断面の形状

隙間に木の枝を打ち込んだ状態である。

可能な限り断面が円形になるよう木の枝を 打ち込んでゆく。

回転運動と、磐の重力によって変形したところにさらに木の枝を打ち込み円形に修正する。これらの作業をしつつ、磐を転がしてゆく。



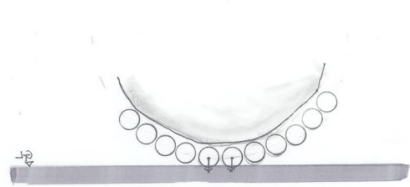
(2) スノコの耐力

巨石の重さでスノコの丸太が折れるのではないかという指摘がある。これについては、巨石の重量が均等に分散させる事と、地面とスノコとの接地部分を均等に接地させる事で解決できる。

仮に80tの巨石をスノコに乗せたとき、スノコと巨石、スノ

コと地面との接地面積が問題である。スノコと巨石の間に詰められた木の枝によりスノコの丸太にある程度均等に重力が分散されるものと仮定する。スノコと巨石、スノコと地面との設置面積は20cm直径の丸太1本にかかるとして、その接地、接触面積を丸太直径の1/4とすれば5cm×300cm=1,500cm<sup>2</sup>、80,000kg÷1,500cm<sup>2</sup>≒53kg。スノコの丸太の単位面積あたり約53kgの重量がかかることになる。これは木材の圧縮強度として充分耐えうる。ちなみに杉の圧縮応力は200〜250kg/cm<sup>2</sup>である。

(3) 運搬する路面の状況



丸太と接地面の図

古墳時代、修羅による運搬のために路面を版築（土を着き固める工法）によって硬く平らにしておく技術が既に存在していた。中国ではさらに古い時代に版築工法は知られていたといわれる。では、日本の縄文時代においてはどうかといわれると、現時点ではその技術が知られていたかどうかは定かではないが、人間の知恵、工夫と言うものが古代においても同様とすれば、縄文時代においても地面を平らに硬く整形する

技術は取得していたのではないかと想像できる。したがって、巨石運搬の道路は版築により平らにかつ圧縮に耐えうる路面にしていたと考えられる。

この場合でも、巨石の重量によりスノコは若干沈む事になるが、かえってこの方が丸太の接地面積が増え、しかも、スノコの丸太に巨石の重量を均一に分散できるよさがある。

#### 4. 第4段階 巨石を曳く

##### (1) 張力に耐えるロープの確保

仮に80tの巨石を曳く場合、既に述べたように、計算によれば114人で済むことになる。しかし、実験では完全な円筒型であり、重量による路面のめり込みも小さい。それらの条件を割り引けば4割から8割り増しの人数、即ち150人から200人程度で引くことは可能と考えている。ただし、

この人数はまったくの想定の数値であり、実験結果によって確かめたものでない。そのため、予想値よりさらに多くの人手が必要かもしれないし、もっと少ない人数で済むかもしれない。これについては今後の実験結果に待つものとし、ここでは、150人から200人の人数で巨石を転がして引く場合の方法を検討しておく。

80tの巨石(花崗岩)の比重は2.6t/立方m、長さ4.5mの岩の場合その直径は3mである。

これをスノコに巻いた場合、円筒形の大きさは直径が3m程度、長さは5m程度のものになると思われる。スノコの両端部から75cmのところから50cm間隔でロープを掛けると8本掛ける事が出来る。仮に200人の人数で曳く事を考えると1本のロープに25人の人数が取りつくことになる。このときロープにかかる張力は25×40kgで1000kg、即

ち1tの張力が発生する。

ちなみに、化学繊維のロープで直径14mmのものは破断強度が1.8tといわれている。したがって、14mmのロープを利用すれば充分巨石を曳くことが出来る。

ところで、当然縄文時代において現代のように、細く強度のあるロープは存在していない。縄文時代においてロープに替わる素材(細く、柔軟性があつてなおかつ強度のあるものという条件を満たすもの)を探すと、それは森の中に無尽蔵に存在していた。葛である。

葛の引張強度は、実験結果が無いので「杉」の強度試験で判断する。杉の引張強度は900kg/㎡である。葛は杉に比べ明らかに引張りに強い材料である事は経験的にわかっている。仮に杉と同じ程度だとしても直径16mm(断面積約2㎡)であれば1.8tの張力に耐える事が



葛橋

出来ると考えられる。即ち、森で取れる葛を断面積の2㎡以上のものか、あるいは細いものであれば数本よりあわせることにより、古代においても巨石を曳くのに充分な「ロープ」を確保できる事がわかる。

## (2) 運搬

以上からの試算で、平坦地を運搬する場合200人程度の人数で80tの巨石を運搬できる事がわかった。この場合でも、巨石の運搬方向をコントロールする技術が必要である。幸い、数本のロープで曳く事になるので、右に曲がる場合は左側のロープを強く曳けば良い事がわかる。左に曲がる場合はその反対である。むしろまっすぐに運搬するほうが難しいと考えている。まっすぐに運搬するためには、スノコに架けているすべてのロープに均等な力が加わるようにする事が重要である。

上り坂の場合は、当然のこと人数を増やす事により対応できる。むしろこの場合逆走する危険が伴う事が考えられる。そのため、巨石の後部に移動するたびに逆送を防ぐためのストパー(2〜30cm程度の岩)を後部に順次置いていく事で逆送は防げるものと考えられる。

下り坂を運搬するときは、転がり落ちないように、坂の上からロープで引っ張りながら緩やかに移動させる事が必要である。上り坂の運搬に比べ下り坂の運搬の方がはるかに危険が予測できるため、より多くの人手が必要と予測できる。

## 5. まとめ

古代において巨石運搬が可能であったことを証明するため山添いわくら文化研究会の有志で実験を始めた。実験の第一段階で700kgのスノコ状に巻いたローラーを一人の力で動かせる事が証明された。一般に言われる1人あたりの曳く力40kgの実に17倍の牽引力である。これだけで、計算上は80tの巨石を運搬するのに114人で運べる事がわかった。実際には様々なマイナス条件が生じるものと考えても150人から200人程度で運搬できると予測できた。

しかし、現実には不整形な磐丸太で編んだスノコで円筒状に包む事や、それを曳くロープの存在、更には路面の状況など実験によって一つ一つ確かめないと確たることは言えない。第2段階以降は実際の実験結果ではなく仮定によるものである。今後、これらをも一つ実験で確かめていき、その結果として80tの巨石を200人程度で運搬できれば、古代のイワクラのいくつかは人工的に運搬してその場所に据え付けられたのだという事が出来るであろう。

今回の報告は、一部の実験結果からの答えと、いくつかの仮定を含めて80tの巨石運搬の可能性を検討したものであり、今後、更なる実験の積み重ねにより、間違いなく古代の道具でかつ人力で巨石が運搬できるのだという事が証明できるものと信じている。

## お願い

この論文は、第一段階は実験の結果得られた結果であるので、そこから得られた答えに異論を挟む余地はないと思えます。しかし第二段階以降については、実験に基づかない机上の予測に過ぎません。仮定のおき方や計算結果に重大な過ちを犯しているかもしれない。会員諸兄の忌憚のないご意見をお寄せ下さい。

間違いの指摘、批判大いに結構です。お待ちしております。

了

## 参考文献

修羅―その大いなる遺産 古墳・飛鳥を運ぶ―大阪府立 近つ飛鳥博物館