

優良賞

古代人の運搬技術を考える その2 ～ 巨石をいかにして運ぶか ～

千葉市立花園中学校
3年 森若 真都

1 研究の動機

昨年の科学研究論文にて、私はピラミッド建造時代の巨石運搬技術について研究と考察を行った。昨年の研究では、巨石と地面との摩擦抵抗に着目し、路面状態の変化、荷台やコロの利用等を変化させた実験を行うことで、各条件における巨石を引くために必要な力の比較を行った。結果として、コロを利用する方法が最も効率的に運搬出来ることを導いた。本年の研究では、昨年の結果を振り返り、更に効率的に運搬出来る手法がないか研究を行った。理科の授業で滑車による仕事の効率化を学んだこともあり、滑車の利用による巨石運搬の効率化が可能ではないかと考え研究のテーマとした。

2 研究の内容と方法

巨石に見立てた鉄アレイを傾斜に沿って引き上げる。その際、引き上げるための紐は定滑車、動滑車を經由して運搬台と引手をつなげている。(図1：実験装置全体) 引く際の力はバネを用いて計測する。引手の紐端にバネを取り付け、引く際にバネが伸びた量と、予め計測していたバネの伸び量1mmあたりの荷重をかけて力とした。実験装置は、ピラミッド建造時の状態を想像して決定したものである。(図2：ピラミッド工事現場想像図)

図1：

実験装置全体

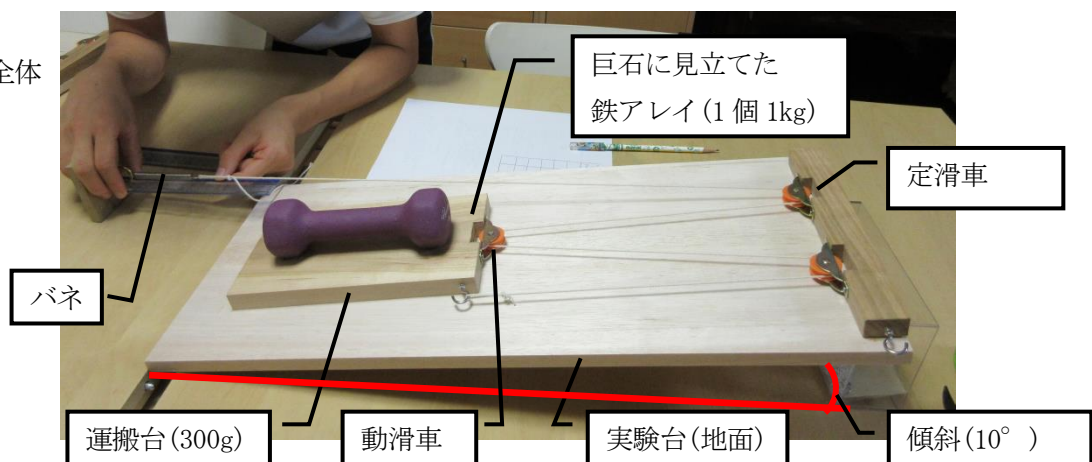
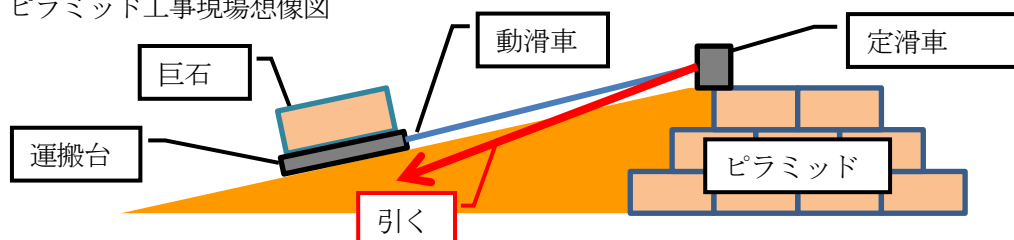


図2：ピラミッド工事現場想像図



実験では、定滑車と動滑車の数、引く側と反対の紐端を固定する位置、紐の片側を引く場合と両側を引く場合の要素について組合せを変更して計測を行った。また、各条件にて鉄アレイ（巨石）の重さを1kg（1000g）と2kg（2000g）の2種類行い、重さによって引く力がおよそ比例することを確認し、実験条件が適切であることも確認することとした。

(1) 実験構成1：定滑車1個と動滑車1個の組合せ 図3

運搬台に固定された紐を、動滑車を通して定滑車につなぎ、定滑車を通した紐を引く力を計測する。

(2) 実験構成2：定滑車1個と動滑車1個の組合せ 図4

定滑車と動滑車を、紐をクロスさせて接続。定滑車1個と動滑車1個の組合せでも運搬の効率化が可能か検証する。

(3) 実験構成3：定滑車2個と動滑車1個の組合せ 図5

紐の片端は運搬台に固定。もう一方の紐端を引き巨石を動かす。

(4) 実験構成4：定滑車2個と動滑車1個の組合せ 図6

紐の両端で巨石を引く。左右のバランスが良く引き易いと考えた。

(5) 実験構成5：定滑車3個と動滑車2個の組合せ 図7

紐の片端を実験台に固定。3個の定滑車の内1個は滑車として機能していないと考える。

(6) 実験構成6：定滑車3個と動滑車2個の組合せ 図8

紐の片端を運搬台に固定。片方で紐を引く。3個の定滑車は全て機能していると考え。

(7) 実験構成7：定滑車3個と動滑車2個の組合せ 図9

紐の両端で運搬台を引く。左右のバランスが良く引き易いと考え。滑車の効果を得ながら、大人数で引くにはバランスが良い配置

表1：実験構成一覧

図3:構成1	図4:構成2	図5:構成3	図6:構成4	図7:構成5	図8:構成6	図9:構成7

3 研究の成果とまとめ、考察

(1) まとめ

滑車は物体を引く（持ち上げる）等の仕事において、引く力の低減効果を持つ。（右グラフ）

① 実験全体を通して、滑車の数および滑車を経由して連動する紐の本数に応じて、引く力の低減効果が発揮される。

② 引く側と反対の紐端を運搬台に固定するか、実験台（地面等）

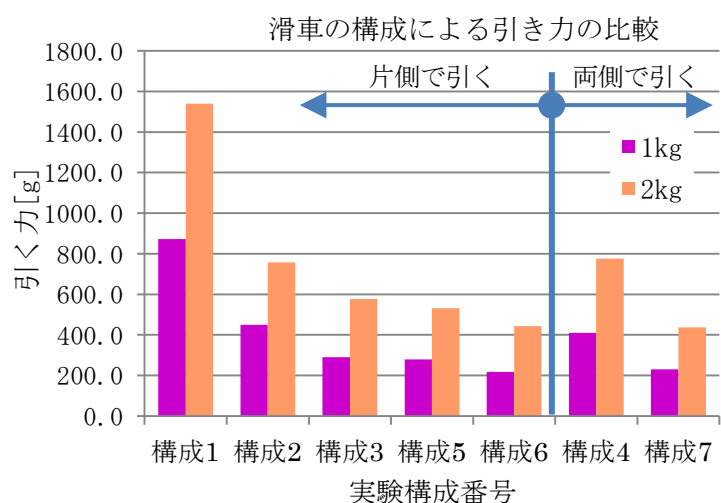


表2：実験結果一覧

実験 番号	錘 kg	滑車の数		引く紐 の本数	実験構 成番号	バネの 伸び	引く力
		運搬台 (動滑車)	実験台 (定滑車)			mm	
1	1	1	1	1	1	113.3	872.4
2	2	1	1	1	1	200.0	1540.0
3	1	1	1	1	2	58.3	448.9
4	2	1	1	1	2	98.3	757.2
5	1	1	2	1	3	37.7	290.0
6	2	1	2	1	3	75.0	577.5
7	1	2	3	1	5	36.3	279.8
8	2	2	3	1	5	69.0	531.3
9	1	2	3	1	6	28.3	218.2
10	2	2	3	1	6	57.7	444.0
11	1	1	2	2	4	53.3	410.7
12	2	1	2	2	4	100.8	776.4
13	1	2	3	2	7	30.0	231.0
14	2	2	3	2	7	56.8	437.6

$$\text{引く力} = \text{バネの伸び量} \times 7.7 \text{ g/mm}$$

に固定するかによって、滑車を経由して連動する紐の本数に差が出ることがわかり、その違いによって引く力の低減効果に差が出ることがわかった。

(2) 考察

今回の研究結果から、巨石の運搬に滑車を用いる事で、1/4以下の力で巨石を引くことができることがわかった。昨年のコロを用いた運搬の効率化技術と組み合わせれば、巨石の運搬という人の力では実現しそうでない作業も可能になると考えられる。クフ王のピラミッドに使われた2.5トンの巨石を引く力が1/4に出来たとすると、一人一人が50kgのものを引けるとした場合、2.5tの巨石を引くのに必要な人数は、12.5人(13人)となる。

4 追加実験による検証とまとめ

(1) 現代における滑車の活用について

エレベーターは人の乗る箱の反対側に錘があり、滑車を通してワイヤーで繋がっている。(図10) 錘はエレベーターに人が乗った際に釣り合い、少しの力でエレベーターを上下させる。

(2) 実験方法

ピラミッドの頂上に穴を開け、頂上に滑車を設置。巨石を引く紐を頂上の滑車を経由させてピラミッドの穴の下へ降ろし、紐端に錘をぶらさげる。(図11)

(3) 結果

2kgの巨石を引く際、錘1kgを吊り下げ、引いた力と吊り下げた錘重量の合算は実験2と同じとなった。引く力の一部を錘で代用することが可能と確認できた。錘は小さなものを多数でも代用できる。古代人は、我々の想像よりずっと容易に巨石は運搬していたのかもしれない。

表3：エレベーター実験結果

実験 番号	錘 kg	滑車の数		引く紐 の本数	実験 構成 番号	バネの 伸び	引く力
		運搬台 (動滑車)	実験台 (定滑車)			mm	
2	2	1	1	1	1	200.0	1540.0
E2	2	—	—	1	図11	66.7	513.6

図10：エレベーター

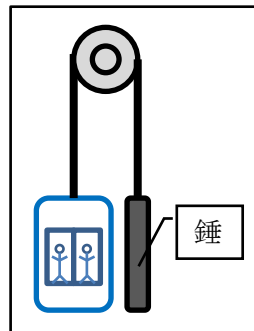


図11：エレベーター構造をピラミッドに活用



5 所感

疑問に対し何故だろうと繰り返し考えてみると、思いもしない発見を得られることがある。調べる、考える、手を動かす、まとめる、大変だがやりがいがあった。

6 指導と助言

巨大なピラミッドを建設するための古代人の運搬技術に興味をもち、昨年度の研究である巨石と地面の摩擦抵抗に加えて、学校の授業で学習した「滑車」に注目して研究をすすめている。モデルを使って細かくデータを取り、運搬技術について考察している点が評価できる。

(指導教諭 栗原 尊紀)