

童話「おおきなかぶ」の物理的考察

福岡県立鞍手高等学校理数科

厚 諒 河野 純祈 谷 陸登

鶴田 剛己 岡田 有紀 豊田 雅美

この研究は、かぶにかかる力の角度を変えることによって、最適な角度を見つけ、かぶをより効率的に抜く条件を調べました。その結果 30 度が最も抜けやすく、また、土の含水量を変えて抜けやすさを調べたが、含水量を増やしても抜けにくくなるという結果が得られた。実際の物理の計算式を用いて理論値を出すと 33 度という結果が得られた。これは実験で得られた結果と近いので今回のモデル実験はおおよそ正しいと言える。

1. はじめに

誰もが読んだことのあるだろう「大きなかぶ」を抜く場面では、どのような力が働いているか実際にその大きさのかぶを抜くことは可能なのか疑問に思いました。

2. 材料と方法

- ・定滑車
- ・おもり(20g, 30g, 50g)
- ・分度器, 定規
- ・土(グラウンド)
- ・紙粘土(模型かぶの材料)

3. 実験

3-1. 実験①【角度の変化】

図1の角度 θ を変え、重りを徐々に増やし何gでカブの模型が抜けるかを測る。測定方法は図1のようにする。

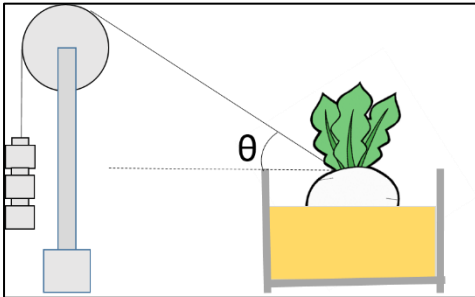


図 1

仮説 45° が抜けやすい。

ぶら下げた重りの質量 単位【g】

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
0°	490	480	450	460	470	470
10°	400	380	370	380	380	382
20°	340	340	380	360	320	348
30°	300	350	330	330	310	324
35°	350	420	430	440	420	412
40°	390	390	440	410	380	402
45°	400	460	440	440	420	432

実験結果 30° が抜けやすい。

3-2. 実験②【土の水分の変化】

童話「大きなかぶ」では天気の記事はなかったが、雨上がりの抜けやすいと考え、実験①で得た最も抜けやすい角度 30° に固定し、土の水分量を変化させることで、抜けやすさを計測した。

仮説 水分が多くなればなるほど抜けやすい

ぶら下げた重りの質量 単位【g】

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
100ml	460	500	540	450	450	480
200ml	550	450	440	500	540	496
300ml	530	500	520	470	550	514
400ml	550	500	530	580	550	542
600ml	650	550	550	550	500	560
800ml	700	600	750	650	700	680
1000ml	550	600	600	650	600	600
1500ml	690	650	600	700	700	668
2000ml	500	260	450	450	440	420

実験結果 加える水が 2000 ml を超えると抜けやすくなるが、それまでは抜けにくい。

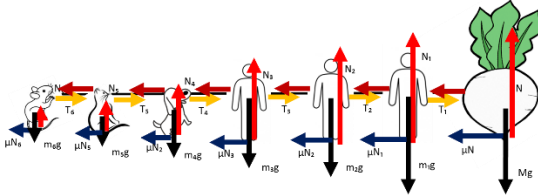
4. 結果

実験① 30° が最も抜けやすい。

実験② 2000 mlまで抜けにくい、それ以降からは抜けやすくなる。

5. 考察

かぶが抜けた時の力の図示



これらを物体ごとに式を立てると

ネズミ

$$N_6 = m_6g$$

$$T_6 = \mu N_6$$

猫

$$N_5 = m_5g$$

$$T_5 = \mu m_5g + T_6$$

$$= \mu m_5g + \mu m_6g$$

犬

$$N_4 = m_4g$$

$$T_4 = \mu m_4g + T_5$$

$$= \mu m_4g + \mu m_5g + \mu m_6g$$

孫

$$N_3 = m_3g$$

$$T_3 = \mu m_3g + T_4$$

$$= \mu m_3g + \mu m_4g + \mu m_5g + \mu m_6g$$

おばあさん

$$N_2 = m_2g$$

$$T_2 = \mu m_2g + T_3$$

$$= \mu m_2g + \mu m_3g + \mu m_4g + \mu m_5g + \mu m_6g$$

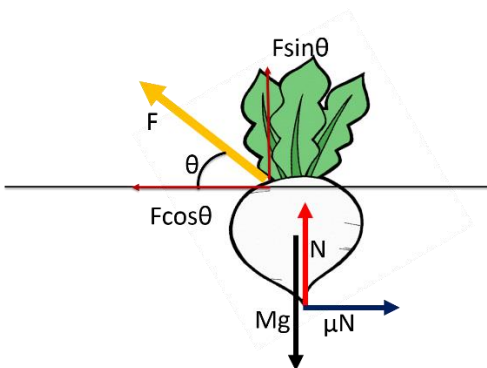
おじいさん

$$N_1 = m_1g$$

$$T_1 = \mu m_1g + T_2$$

$$= \mu m_1g + \mu m_2g + \mu m_3g + \mu m_4g + \mu m_5g + \mu m_6g$$

また、かぶにはたらく力は下図のように仮定すると



$$\begin{cases} F\sin\theta + N = Mg \sim ① \\ F\cos\theta = \mu N \sim ② \end{cases}$$

これを解いて

$$F = \mu Mg / (\mu\sin\theta + \cos\theta)$$

$$\mu\sin\theta + \cos\theta = \sqrt{\mu^2 + 1} \sin(\theta + \alpha)$$

$$\mu \doteq 0.55 \text{より}$$

$$\alpha \doteq 57^\circ$$

$$\mu\sin\theta + \cos\theta = \sqrt{\mu^2 + 1} \sin(\theta + 57^\circ)$$

0° < θ < 90° の範囲で

θ = 33° のとき μsinθ + cosθ は最大値をとる。

よってこの時 F の値は最小となる。

$$F = \mu Mg / (\sqrt{\mu^2 + 1} \sin(\theta + 57^\circ))$$

この式に

$$\mu = 0.5515789, M = 683.28, g = 9.8 \text{を代入して}$$

$$F = 3230.60$$

実験②の結果から、水を加える前と、加えた後での摩擦係数は

$$\mu N = mg$$

$$\mu Mg = mg$$

$$\mu = m/M \text{より}$$

$$m = 470, M = 475$$

水有り

$$\mu = 0.9894736$$

θ = 0° のとき

$$\mu N = mg$$

$$\mu Mg = mg$$

$$\mu = m/M \text{より}$$

$$m = 262, M = 475$$

水無し

$$\mu = 0.5515789$$

上記のようになり、水を加えた方が摩擦係数が大きくなっている。また、土に水を含ませた際に、ぴったりとくっついて、大気圧でくっついており、水分が増えると余分な水がでてきてかぶを土から浮かせて抜くために必要な力が減少し 2000ml から抜けやすくなったのではないかな。

6. 結論

・実験①から 33° が最も抜けやすく、実験②から水を加えても抜けやすくなることはなかった。

・実際に絵本のかぶを抜くには 465,912N の力が必要でかぶを抜く人は前にいくほど大きな力がかかりそれに耐えうる強靱な肉体が必要となる。

今後の展望

・かぶだけではなく雑草や他の農作物を抜く際にも 33° という角度が利用できるのか考える。

・今回の実験では 2L(降水量 23ml)までを調べたが、これ以上の水を加えた際に抜きやすくなるのか確かめたい。