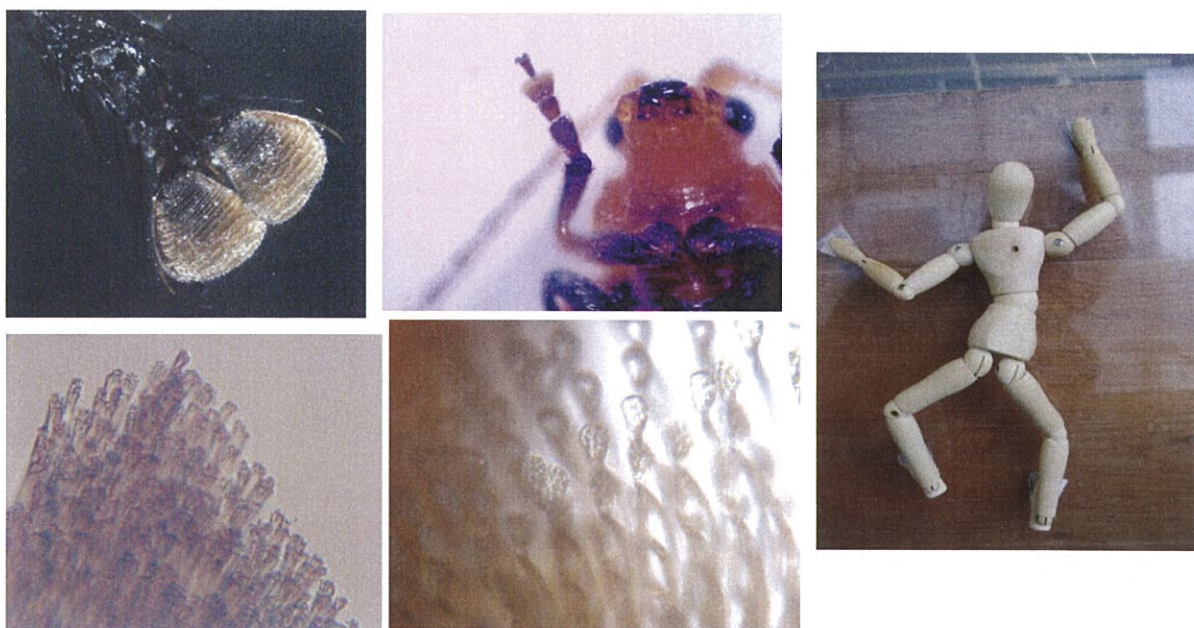


## 研究テーマ

壁を登る動物の足のつくりの応用

## ヒトの力で壁を登る



八丈町立三原中学校 サイエンス部

3年 沖山 颯斗

3年 浦木 勇瑠

3年 西村 泰雅

2年 山下慎太郎

# 1. 研究の動機・目的

2011年、原発の事故の様子から壁を登るロボットは作れないかと考え、2011年から三原中学校サイエンス部では壁を登る動物の研究を行っている。

今までの研究で、壁を登る動物には接着面があり、足の構造がバツタなどの肉球タイプと甲虫などの密毛タイプに分けられることがわかった。また、壁を登る動物の足裏は、三角形で、引く位置、角度によって粘着力が変わることが実験結果からわかり、このことを利用して虫たちが壁を登っていることを解明した。壁を登れる足運びと重心の位置を調べると、重心が低ければ低いほど粘着力が大きくなり、登りやすいことがわかった。

サイエンス部員の会話の中で、映画などでビルを登るシーンがあるけど、本当にヒトは壁を登れるのかということが話題になった。これまでの壁を登る動物の研究で見つけたことを利用(応用)すれば、実際に壁を登れるのではないかと考えた。

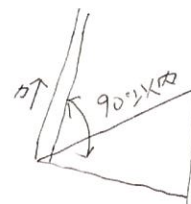
「壁を登る動物の研究」の成果(わかったこと)

- ・壁を登る動物の足裏には、肉球や密毛の接着面がある。
- ・壁を登る動物の足裏の粘着力は、約1～2N/c㎡である。
- ・足裏面積と粘着力は比例関係にある。
- ・壁を登る動物は、三角形の接着面端の角度を変えることで大きい力で壁にくっつき、はがすときは小さい力ではがしスムーズに壁を登っている。

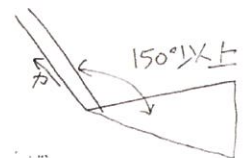


「三角点粘着の原理」

粘着のある接着面が三角形で、三角形の角度の小さい端の点(三角点)から、90°より小さい向きに引くと粘着力は小さく、150°より大きい角度の向きに引くと、大きな粘着力となる。



はがれやすい↑



はがれにくい↑

- ・重心が壁に近いほど(低いほど)壁への粘着力は大きくなる。

研究の目的

壁を登る動物の足のつくり、しくみを利用してヒトが壁を登れるか調べる。

# I. ヒトが壁を登れる条件調べ

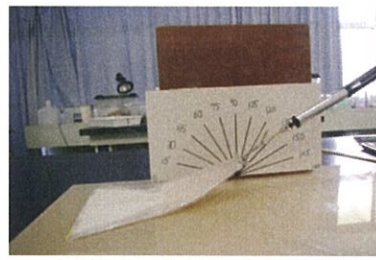
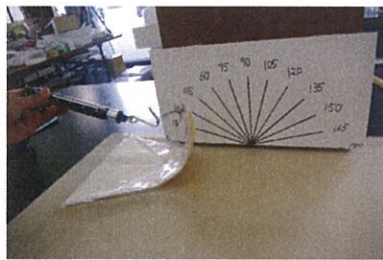
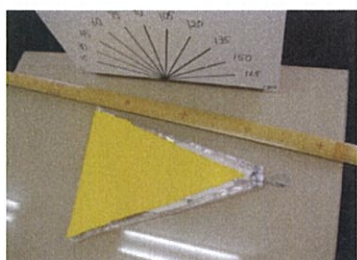
今までの研究では、体重の軽い動物(10g以下)を対象とした実験であったので、体重50kgほどのヒトを対象とした大きい力の場合ではどうなるのか調べた。

## 研究方法

(1) 広い面積でも三角点粘着の原理は成り立つか。

### ○引く角度の違いによる粘着力の変化の測定

長二等辺三角形のポリエチレンに付箋をはりつけ、端に針金を取りつけ引けるようにする。アクリル板に貼り付け15°ずつ角度を変え、はがれるときのばねばかりの値を測る。3回ずつ測定し平均値を測定値とする。同じように粘着面が強力粘着テープでも調べる。



(2) 粘着面積と粘着力の関係調べ

### ○接着面の面積とはがす力(粘着力)との関係を調べる実験

前記で用いた長二等辺三角形のポリエチレンに取り付けた付箋を垂直のアクリル板に貼り付け、下からバネばかりで引っ張り、はがれる瞬間の値を読み取る。接着する面積を小さくしていき、はがれる力(粘着力)の変化を調べる。100Nを超えた場合は、10Kgの砂袋を下げで測定する。同じ実験を3回繰り返し、その平均の値を測定結果とする。

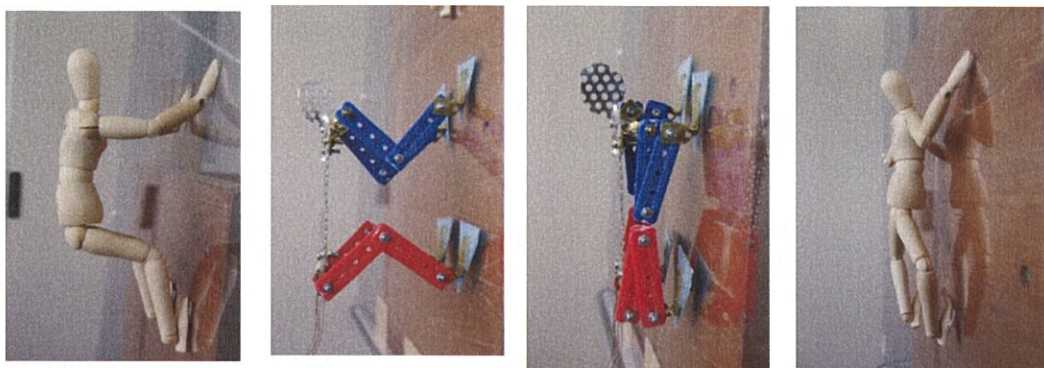


(3) 壁を登るヒトの重心の高さと粘着力の関係調べ

### ○ヒト型モデルを使い、重心の位置と粘着力の関係調べる実験

足先に付箋を貼ったヒト型モデルをアクリル板にくっつけ、ばねばかりで下へ垂直に引き、はがれたときの値を粘着力とする。

足幅を固定し、重心の位置を 2 cm ずつ下げて（壁に近づけて）粘着力の変化を測定する。それぞれの粘着力を 5 回測定し平均を求める。

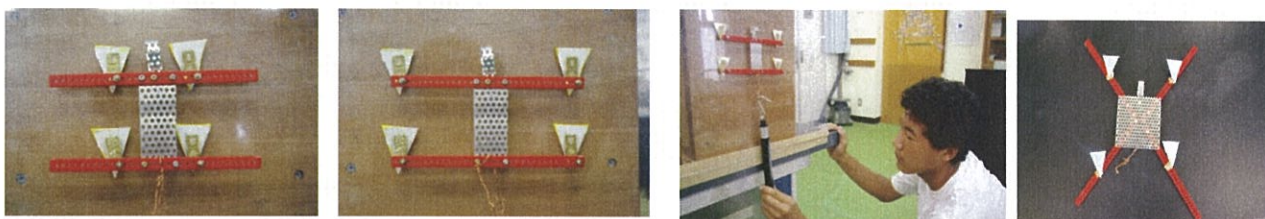


#### (4) 壁を登るヒトの足幅と粘着力の関係調べ

○モデルを使い、手幅・足幅と粘着力の関係を調べる。

手足の幅を真横へ広げたときの粘着力の変化

重心の位置を固定し、中心から足先までの長さを真横の方向に変え、粘着力を調べる。同様の実験を 5 回行い粘着力の平均を求める。



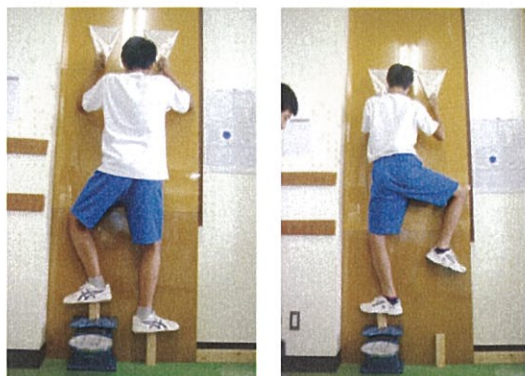
○壁を登るときの人の足幅（大の字形）と粘着力の関係を調べる実験

モデルの足をXのような形にして4本の手足の先が正方形になるようにする。

足の先から 1 cm ずつ中央に縮めて測定する。5 回測定しその平均を粘着力とする。

#### (5) ヒトが壁を登るときの各手足にかかる力調べ

○壁を登るときの左足（右足）にかかる力測定



左写真のように壁につけた体重計の上に角材を置き、左足を乗せる。両手を壁に固定した状態で右足を上へ持ち上げたときの左足にかかる力を体重計の値から求める。

同じように左足を持ち上げたときの右足にかかる力を測定する。



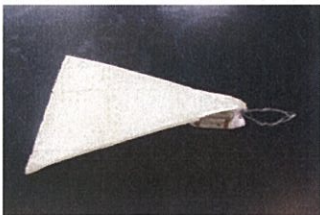
### ○壁を登るときの右手（左手）にかかる力測定



左写真のように壁に両足をくっつけた状態で、右手に体重計に乗せてある棒を持つ。左手を持ち上げるときの右手にかかる力を体重計の値から求める。

同じように右手を持ち上げたときの左手にかかる力を測定する。

### (6) はがす回数による粘着力の変化(低下)を調べる



壁登りに使う右図の三角粘着面(330cm<sup>2</sup>)に強力粘着テープを貼る。粘着面を垂直なアクリル板にくっつける。

100Nの砂袋をつるし、500Nの力まで耐えられるか確かめる。



### (7) ヒトが壁を登るときの各手足のはがす力調べ

○右足のつま先部分にひもをかけてバネばかりとつなぐ。壁に登る姿勢をとり、後方へ右足でバネばかりのひもを引っ張りバネばかりの値を測定する。同じように左足でも行う。



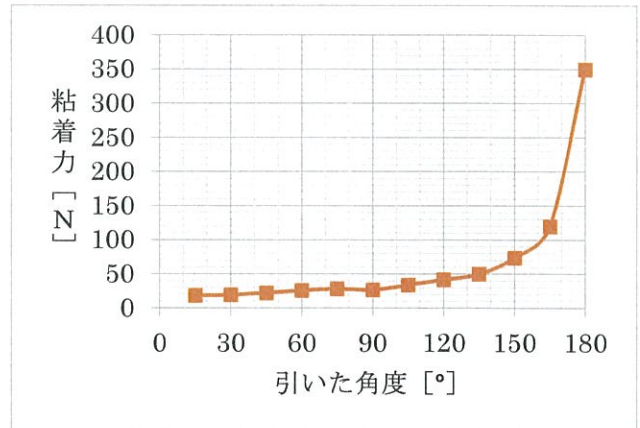
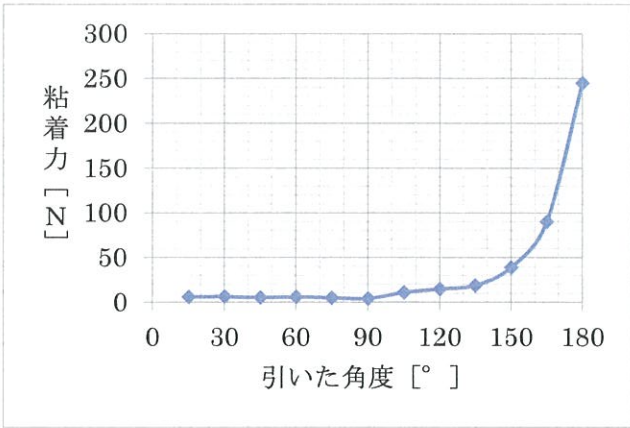
○バネばかりにひもをかけて、壁を登る姿勢のまま右手でひもを引っ張りバネばかりの値を測定する。同じように左手でも行う。



# 結果 (1)引いた角度と粘着力の関係調べ

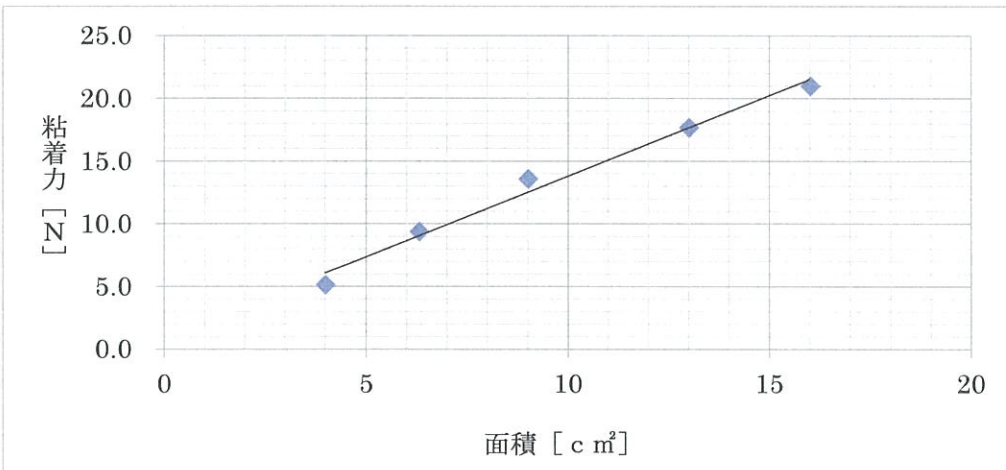
付箋 面積  $268 \text{ cm}^2$

強力両面テープ 面積  $268 \text{ cm}^2$

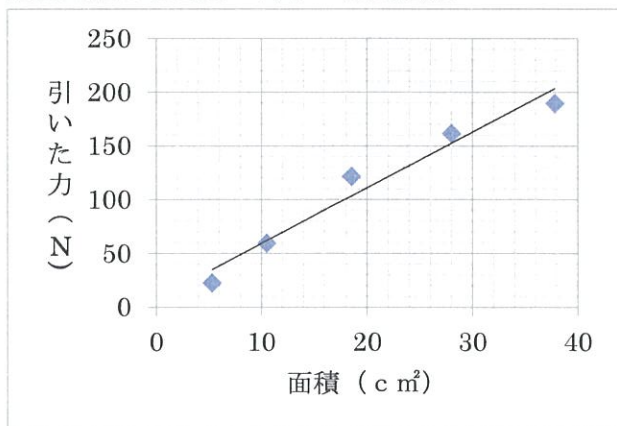


# (2)接着面積と粘着力の関係調べ

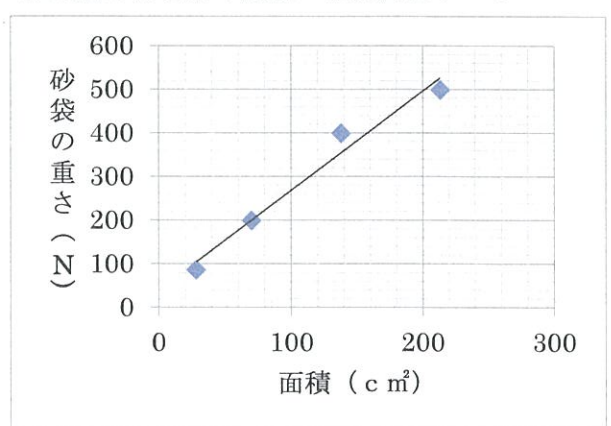
接着面の面積とはがす力(粘着力)との関係



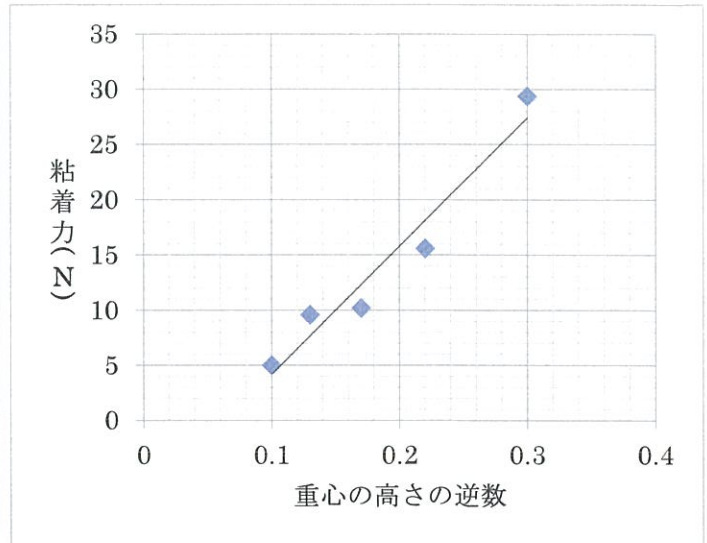
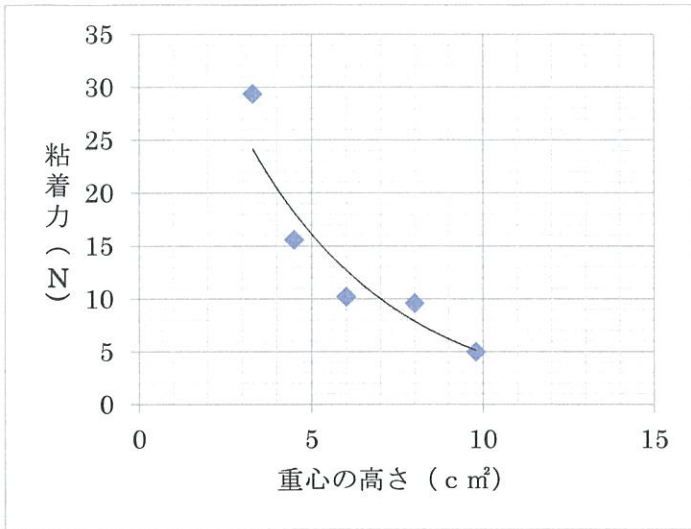
粘着面積と粘着力の関係 付箋紙粘



粘着面積と粘着力の関係 強力両面テープ



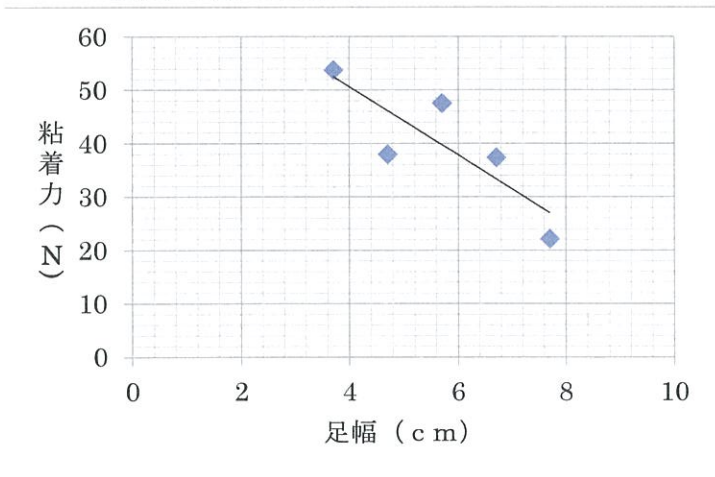
### (3) 壁を登る重心の高さと粘着力の関係調べ



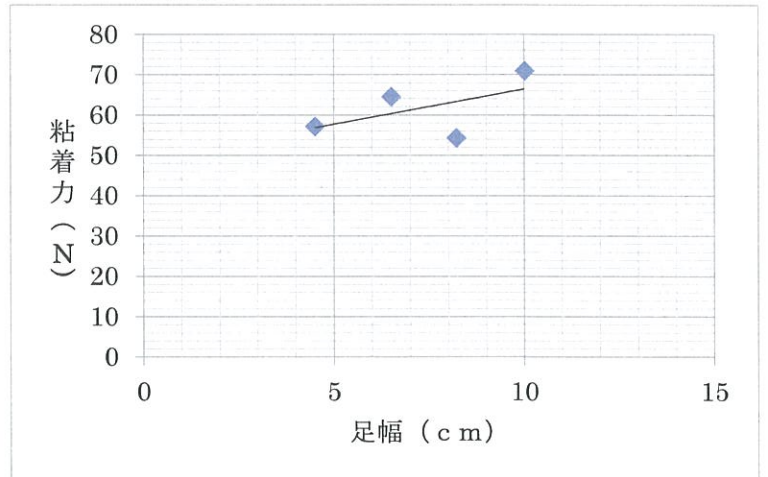
重心が低ければ低いほど粘着力が上がる。重心と粘着力は反比例の関係である

### (4) 中心からの足幅と粘着力の関係

真横へ伸ばした場合



正方形に伸ばした場合



足幅が狭い方が粘着力は大きい

足幅が広い方がやや粘着力は大きくなる

### (5) ヒトが壁を登るときの手足にかかる力調べ

○壁に張り付いているときの各手足にかかる力

	体重 [N]	右手にか かる力 [N]	左手にか かる力 [N]	右足にか かる力 [N]	右足にか かる力 [N]
A 君	600	55	90	300	255
B 君	533	30	50	250	225
C 君	595	35	50	290	260
D 君	600	100	95	210	185

○左足をあげるとき、右足にかかる力

	A 君	B 君	C 君	D 君
右足にかかる力[N]	365	345	370	325

○右足をあげるとき、左足にかかる力

	A 君	B 君	C 君	D 君
左足にかかる力[N]	320	395	355	350

○左手をあげるとき、右手にかかる力

	A 君	B 君	C 君	D 君
右手にかかる力[N]	100	70	160	200

○右手をあげるとき、左手にかかる力

	A 君	B 君	C 君	D 君
左手にかかる力[N]	100	70	160	200

(6) はがす回数による粘着力の変化(低下)を調べ

表 はがした回数とつるすことができた砂袋の重量、90°の向きではがせた力

はがした回数 [回]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
砂袋の重量 [N]	500	500	500	500	500	400	500	500	500	450	500	350
90°ではがす力 [N]	60	64	59	54	67	53	57	52	56	—	57	—

面積330cm<sup>2</sup>の強力粘着面では、10回ほどはがしてくっつけても500Nを超える粘着力を保つことができる。

500と書いてあるものは、500N以上を示す。

(7) 人のはがす力調べ

	右手	左手	右足	左足
A 君	72 N	55 N	60 N	65 N
B 君	69 N	57 N	63 N	38 N
C 君	47 N	52 N	85 N	64 N

体重が60kgの人でも足にかかる力は400N以下、実験で使った、三角形の粘着面を使えば体を支えきれぬ。90°で引けば、粘着面を簡単にはがせる。これで壁を登ることができる。

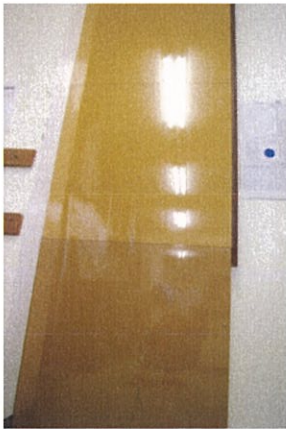


## II 壁を登れるか調べる

### (3 mの亚克力板壁を登れるか挑戦する)

#### 準備

今までの「壁を登る動物の研究」では、動物が垂直な亚克力板を登る方法で調べていたので、同じように亚克力板の壁をつくり実験する。



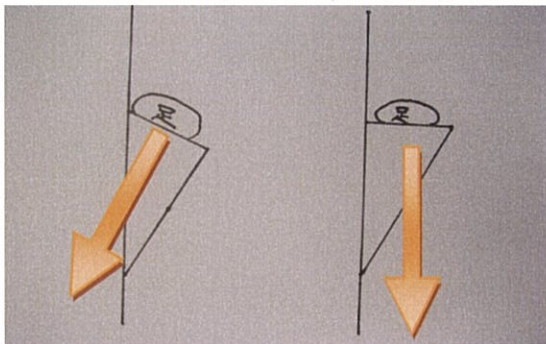
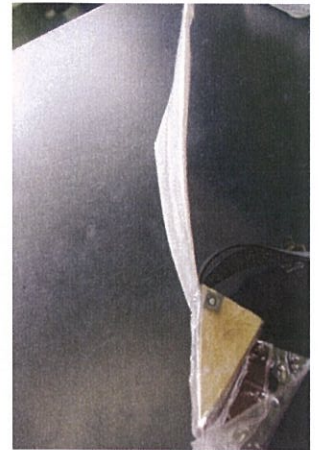
理科室の後ろの壁に6 cm角材を固定し、2 cm厚のベニヤ版を取り付ける。その表面に5 mm厚の亚克力板を木工ねじで固定する。  
幅1 m、高さ3 mの亚克力板の壁を作成する。

○足の三角形の粘着板を作成

足を置く位置が三角粘着の3分の1のところにあるので

剥がすときに壁からの足の位置までの距離が短いため剥がしやすいと考えた。

足を置く場所を、斜めにする事で力が壁のほうにかかり、粘着力が上がる。平らだと力が壁から離れたところに加わるので剥がれやすくなる。



力が壁側にかかり粘着力もあがって、さらに剥がしやすく、とても登りやすい。



○手で持つ三角形の粘着板を作成



強度をたかめて腕の力がかかりやすいように改造した。

手をかける木をねじでとめて強度をたかめた。

結果 登りやすかった。

手を横からかけることによって力が入りやすくなった。登れた。

## まとめ・考察・結論

引く角度の違いによる粘着力の変化の測定は、角度が $180^\circ$ になると粘着力が大幅(劇的)に大きくなる。 $90^\circ$ の角度では、小さい粘着力ではがしやすい。このことから壁を登るときに、力は真下( $180^\circ$ )にかかるようにして、はがすときは $90^\circ$ で引くと小さい力ではがれるということが確認できた。

粘着面積と粘着力の関係調べでは、粘着力は粘着面積が大きければ大きいほど粘着力も大きくなっている。粘着力と粘着面積は比例することがわかった。

長二等辺三角形で、体重 $500\text{N}$ の粘着力を保つには、両面粘着テープでは、 $200\text{cm}^2$ の面積が必要である。

壁を登るヒトの重心の高さと粘着力の関係調べでは、重心が低ければ低いほど粘着力は大きくなり、重心と粘着力は反比例することがわかった。壁を登るときは、できるだけ体を壁に近づけるように(くっつけて)登ればよい。

壁を登るヒトの足幅と粘着力の関係調べでは足幅を真横に伸ばしたとき足幅が狭いほど粘着力が大きくなっている。手は体から横へ伸ばさず、そのまま上へ持って行くようにすればよい。足幅を正方形に伸ばしたときは粘着力の変化しなかった。このことから登るときは足幅を広げないでなるべく狭くして登るとよい。

ヒトが壁を登るときの各手足にかかる力調べでは、体重 $600\text{N}$ の人は、手には $200$ とあまり力がかからないが、足には $400\text{N}$ ほどの強い力がかかることがわかった。手の粘着面積はせまくてよいが、足を支えるには面積を広くしなければいけない。 $500\text{N}$ には耐えられるように粘着面積は $300\text{cm}^2$ にはなるようにするとよい。

はがす回数による粘着力の変化(低下)調べでは、粘着面積は $330\text{cm}^2$ での粘着力は10回まで $500\text{N}$ 以上保つことができる。このことから登るときは各手足10回以上は剥がし、くっつけることができる。これらの条件を満たす登り方を考え、モデル人形で確認した。



できるだけ体を壁に近づけるように(くっつけて)登る。

壁を登る動物の足のつくりや重心移動を模倣し

て、三角形の粘着板を作成し、壁のぼりに挑戦した。登るときは重心を低くして(壁にくっつけて)中心からの足幅をなるべく狭くして真下に力がかかるようにすると登れることが確かめられた。 $3\text{m}$ の亚克力板の壁を実際に登ることができた。壁を登る動物の足のつくりを応用すれば、ヒトの力で壁を登ることができると結論付けた。



## 感想・課題

映画のスパイダーマンは、手足の粘着力だけでビルの壁を登っていますが、体重600Nの人は、片足に500Nほどの粘着力が必要になります。くっつけた手足を剥がすときは、500Nの力が必要になりとてもたいへんです。この研究でスパイダーマンの方法では、絶対に通常の間人は壁を登ることができないことがわかりました。

また、ある映画で静電気を使って高いビルのガラスを登るシーンを見たことがあります。幸い静電気でメモした紙をくっつける製品が今年売り出されていたので試してみました。この静電気で紙類は、くっつくのですがアクリル板やガラスはまったくくっつきませんでした。静電気を使っての壁登りも難しいことがわかりました。

すいすいと壁を登るヤモリや昆虫たちが使っている三角点粘着の方法を模倣して行った今回の実験で粘着テープを使って実際に登ることができました。このような方法で壁を登った例は、見たことも聞いたこともなくインターネットで検索してもできません。私たちは、今回の方法で壁を登ったことは、日本初、世界初ではないかと自負しています。粘着テープは、粘着力が落ちてしまうので、今開発されているヤモリテープを使ったりしてもっとスムーズに高いところまで登れる方法を考案したいです。