

受動歩行の特性を探る

2年3組 梶原 孝一

2年3組 岸田 有生

2年3組 口羽 匠

指導者 教諭 田中 善久

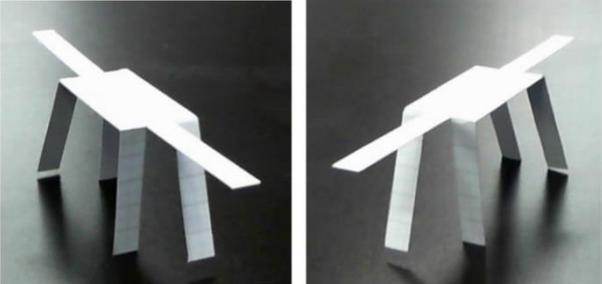
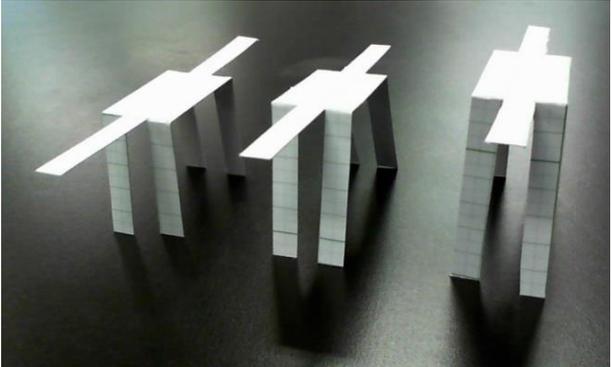
1 課題設定の理由

受動歩行とは、外部からの動力を必要としない歩行形態である。受動歩行は、重力による位置エネルギーを運動エネルギーに変換することで、物体の移動を可能にする。したがって、電気エネルギーを力学的エネルギーに変換する行程を必要としない。つまり、バッテリーもモーターも不要で、省エネルギーを目指すシステムとして魅力的である。また、ロボット開発において、動物、特に人間に近い歩行形態を実現するためには、受動歩行の特性に利用できる点が多く存在すると思える。近年、開発されている二足歩行ロボットのほとんどには、モーターが利用されているが、モーターを利用する場合でもエネルギーの有効利用の考え方を取り込み、省エネルギーに寄与することが求められる。

そこで、私たちは、斜面を下る簡単な受動歩行の模型を作製し、受動歩行の特性について調べてみる。

2 仮説

次の二つの仮説を立てて、実験を行った。

【仮説 1】	【仮説 2】
<p>図1のように、左脚が前になる模型では右に曲がりながら斜面を下る。逆に、右脚が前になる模型では左に曲がりながら斜面を下る。</p>  <p>図1 左脚が前になる模型（左）と 右脚が前になる模型（右）</p>	<p>図2のように、脚の長さが異なる模型で、脚が長いほど歩幅が大きくなり、歩行の速さも大きくなる。</p>  <p>図2 脚の長さが異なる模型</p>

3 実験の方法

(1) 【仮説 1】の検証方法

ア 厚紙 (30mm×150mm) を使って、図1のように模型を作製する。模型の展開図は、図3のとおりである。

イ 木板で斜面を設置する。傾斜角 θ は図4のように測定して $\theta = 11.0^\circ$ とする。

$$\tan \theta = 19.4 / 100.0 = 0.194$$

とすることで傾斜角 θ を算出する。

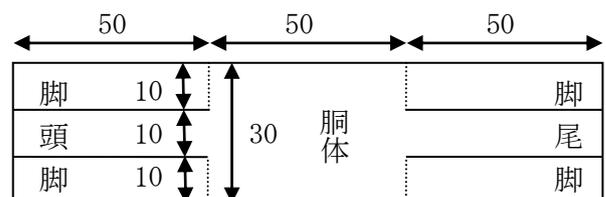


図3 模型の展開図 (単位 mm)

※実線は切り取り線、点線は山折り線である。

ウ 左脚が前になる模型が、一定の速さで斜面を下るときの歩行のようすを動画で撮影する。

エ 片足が着地してから、その足が再び着地するまでの時間を1周期とする。そして、動画処理ソフトを用いて、撮影した動画を模型の歩行2周期分だけにトリミングし、その動画を1秒間あたり30コマの静止画に分割する。よって、ある静止画の状態から次の静止画の状態までに要する時間、つまり、静止画1コマ分の時間を0.033…sと見なす。なお、撮影した動画のファイル形式を、フリーソフトウェア「GOM Encorder」を用いて、MPEG4形式からAVI形式に変換する。その後、フリーソフトウェアの「AVI2JPG」を用いて、コマ送り再生や静止画への分割の機能を活用して、歩行のようすを詳しく解析する。

オ 動画をコマ送り再生しながら、模型の歩行のようすを観察する。さらに、歩行2周期分の動画を分割した、図5のような静止画の総枚数を数える。そして、それらの静止画について、次の三つの状態に分類し、それぞれの状態に該当する静止画の枚数を数える。また、その状態になっている時間に換算する。

- ・前脚が右足のみ着地している。
- ・前脚が両足とも着地している。
- ・前脚が左足のみ着地している。

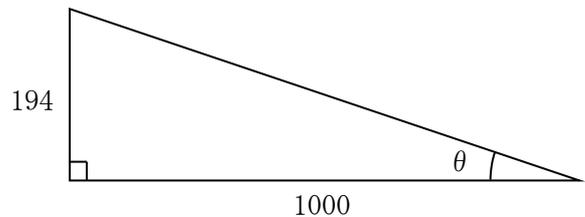


図4 傾斜角 $\theta = 11.0^\circ$ (単位 mm)

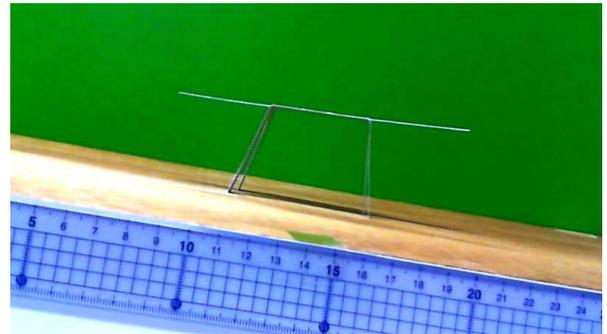


図5 静止画

カ 左脚が前になる模型、右脚が前になる模型について、それぞれ5回分の結果が得られるように、上記のウ～オをくり返す。

(2) 【仮説2】の検証方法

ア 厚紙 (30mm×150～170mm) を使って、図2のように模型を作製する。脚の長さが4.5cm, 5.0cm, 5.5cm, 6.0cm, 6.5cm, 7.0cmのものを作製し、左脚が前にあることや、胴体の大きさなど、脚の長さ以外の条件はそろえておく。

イ それぞれの模型について、(1)のイ～オをくり返す。

ウ それぞれの模型について、5.00 s の時間における歩行距離を計測し、歩行の速さ [cm/s] を算出する。

4 結果と考察

(1) 【仮説1】の結果

ア 模型の歩行のようす

- 前脚については、右脚と左脚を交互に一定のテンポで踏み出しながら、後ろ脚については、両足を斜面に触れさせたまま引きずるようにして、模型は斜面を下る。
- 前脚が右足のみ着地しているとき、模型はやや右に傾き、左脚が振り子のように進行方向に振り出される。逆に、前脚が左足のみ着地しているとき、模型はやや左に傾き、右脚が振り出される。
- 左脚が前にある模型では、左脚が振り出す歩幅のほうが右脚より大きいことが観察され、模型は右に曲がりながら斜面を下る。逆に、右脚が前にある模型では、右脚が振り出す歩幅のほうが左脚より大きいことも観察される。

イ 歩行2周期分の静止画の分類

5回分の実験の結果として、歩行2周期分の静止画を、3の(1)のオの方法に従って分類し、表1にまとめた。

表1 歩行2周期分の静止画の枚数（時間）とその分類

左脚が前になる模型				
実験回数 〔回〕	歩行2周期分の静止画 の総枚数 ()内は時間	前脚が右足のみ着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間	前脚が両足とも着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間	前脚が左足のみ着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間
1	9枚	4枚	1枚	4枚
2	9枚	5枚	1枚	3枚
3	12枚	6枚	2枚	4枚
4	9枚	4枚	2枚	3枚
5	6枚	3枚	1枚	2枚
平均	9.0枚 (0.300 s)	4.4枚 (0.147 s)	1.4枚 (0.047 s)	3.2枚 (0.106 s)
右脚が前になる模型				
実験回数 〔回〕	歩行2周期分の静止画 の総枚数 ()内は時間	前脚が右足のみ着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間	前脚が両足とも着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間	前脚が左足のみ着地し ている状態の静止画の 枚数 ()内は時間
1	10枚	4枚	2枚	4枚
2	6枚	2枚	0枚	4枚
3	10枚	4枚	1枚	5枚
4	10枚	3枚	3枚	4枚
5	11枚	4枚	2枚	5枚
平均	9.4枚 (0.313 s)	3.4枚 (0.113 s)	1.6枚 (0.053 s)	4.4枚 (0.147 s)

(2) 【仮説1】の考察

表1を分析し、図6のグラフにまとめた。

左脚が前になる模型では、左脚を振り出す時間のほうが右脚を振り出す時間より14%長い。また、右脚が前になる模型でも右脚を振り出す時間のほうが左脚を振り出す時間より11%長い。

よって、脚の長さを5.0cmに条件をそろえているので、振り出す時間が長いほど、歩幅が大きくなる相関関係があると考え、模型は、左脚が前になると右に、右脚が前になると左に曲がりながら斜面を下ることが分かる。

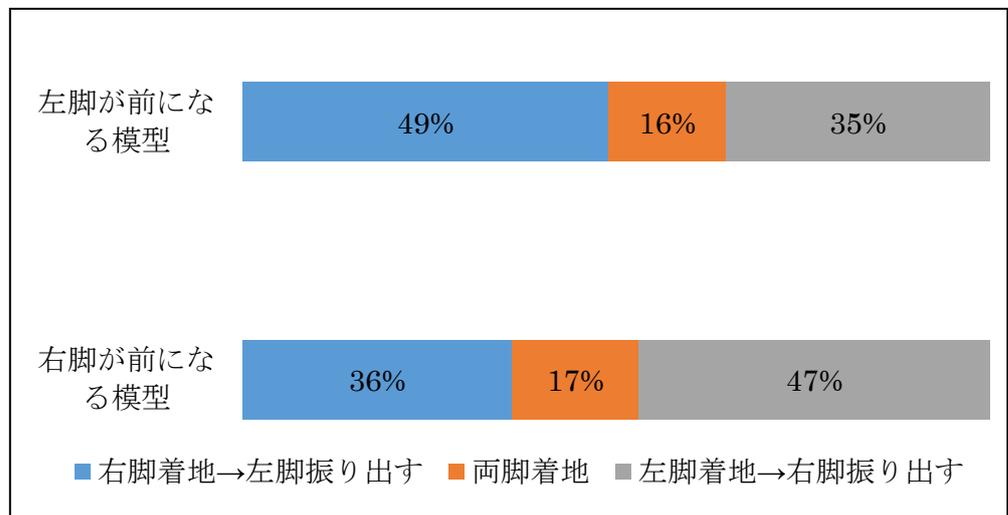


図6 左脚が前になる模型と右脚が前になる模型の前脚について、右脚着地、両脚着地、左脚着地の各時間の割合

(3) 【仮説2】の結果

脚の長さが異なる模型において、歩行2周期分の静止画を、3の(1)のオの方法に従って分類し、表2にまとめた。

また、脚の長さが異なる模型において、5.00 sの時間における歩行距離を計測し、歩行の速さ〔cm/s〕を算出し、表3にまとめた。

表2 歩行2周期分の静止画の枚数（時間）とその分類

※左脚が前になる模型を用いた。脚の長さ4.0cm、7.5cmの模型は歩行しなかった。

脚の長さ [cm]	歩行2周期分の静止画の総枚数	前脚が右足のみ着地している状態の静止画の枚数	前脚が両足とも着地している状態の静止画の枚数	前脚が左足のみ着地している状態の静止画の枚数
4.5	8枚	4枚	1枚	3枚
5.0	10枚	5枚	1枚	4枚
5.5	12枚	6枚	2枚	4枚
6.0	14枚	7枚	1枚	6枚
6.5	15枚	8枚	2枚	5枚
7.0	13枚	7枚	1枚	5枚

表3 模型の脚の長さとの歩行の速さ

脚の長さ [cm]	5.00 sの時間の歩行距離 [cm]						歩行の速さ [cm/s]
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均	
4.5	12.6	13.7	13.4	11.2	11.2	12.4	2.48
5.0	16.7	17.6	18.2	17.8	19.6	18.0	3.60
5.5	14.2	15.2	14.8	15.2	14.8	14.8	2.97
6.0	20.8	16.0	20.0	15.2	20.0	18.4	3.68
6.5	27.1	26.8	27.2	26.8	28.2	27.2	5.44
7.0	26.5	32.3	29.8	30.4	31.6	30.1	6.02

(4) 【仮説2】の考察

まず、表3の歩行2周期分の静止画の総枚数より、模型の脚が長いほど、歩行2周期分、つまり、4歩進む時間が長くなることが分かる。ただし、脚が長くなるにつれ、歩行の安定感を失っ

ていく。脚の長さ7.0cmの模型での4歩進む時間が、脚の長さ6.5cmのときより短くなったことから、脚が短いほど、歩行のピッチが速くなる特性は、本実験では、模型の脚の長さが4.5cmから6.5cmまでで成立する。

次に、表3の模型の脚の長さとの歩行の速さの関係を、図7のグラフにまとめた。模型の脚が長いほど、歩行の速さも3次関数のように大きくなり、脚の長さが5.0 cmのときに歩行の速さが極大値となると分かった。

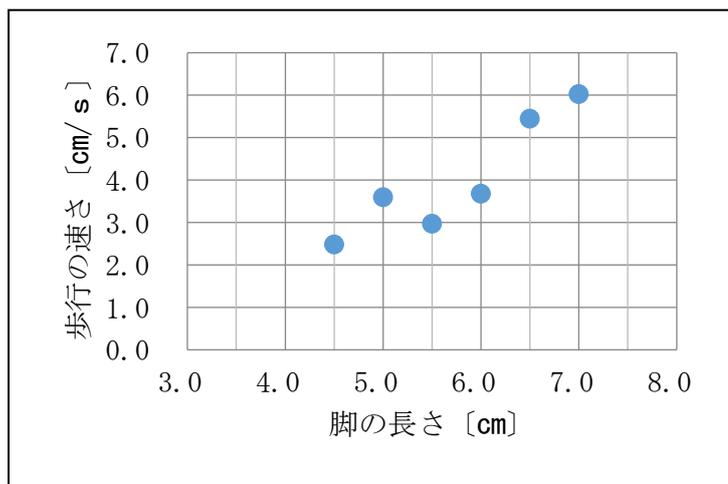


図7 模型の脚の長さとの歩行の速さの関係

ここで、模型の脚の長さを4.5cmから6.5cmまでの場合に限定する。歩行の速さは、次のようにして求めることができる。

$$(\text{歩行の速さ}) = \{ (\text{歩幅}) \times (4 \text{ 歩分}) \} / (4 \text{ 歩進む時間})$$

模型の脚が長いほど、4歩進む時間は長くなり、かつ、歩行の速さは3次関数のように大きくなるので、歩行の速さと同様の3次関数の傾向を含んで歩幅も大きくなると分かった。

5 まとめと課題

- 模型は、左脚が前になると右に、右脚が前になると左に曲がりながら斜面を下る。
- 模型の脚が長いほど、歩行のピッチが遅くなる。
- 模型の脚が長いほど、歩行の速さも3次関数のように大きくなる。そして、脚の長さが5.0 cmのときに歩行の速さが極大値となる。
- 模型の脚が長いほど、歩行の速さと同様の3次関数の傾向を含んで歩幅も大きくなる。
- 安定性と移動性のバランスを重視した歩行の最適な条件を探ることを課題とする。