

# ヒトの歩行の表現

宮城県仙台第三高等学校

私たちはヒトの歩行をテーマに研究を行っている。私たちはやじろべえ型の歩行器を用いて研究を行っており、ヒトの歩行に類似した歩行器とヒトの歩行の相違点に着目し、歩行器の改善によってよりヒトの歩行を表現することができる考えた。歩行器がヒトとは異なりある程度の歩行ののちに転倒すること、転倒する際には歩行器の底面に通常よりも大きな圧力がかかっていることに着目し、圧力センサとArduinoを用いて圧力を計測し転倒する際の圧力の基準を求めた。今後は圧力の値をもとにモータを動作させて歩行器の調整を行う予定である。また、これらの実験を通してヒトの歩行の「フィードバックループ」という仕組みも再現することが可能であると考えている。

## 1 背景

私たちヒトは意識して歩いているのだろうか。私たちはあくまで歩行の開始の命令を下すだけで、そのあと歩いているときには特に何も意識していない。しかし、ずっと同じように歩いているのかと言われたらそれもまた違う。私たちは無意識のうちに足の振り幅やタイミングを調整し、バランスを保って転ばないように歩行を修正している。その修正を実現しているのはCPGを利用して行われるフィードバックの仕組みだ。そもそもCPGとは中枢パターン発生器という神経回路網のことである。CPGは私たちが歩行や呼吸などの運動をする際に開始の命令があると停止の命令があるまでその運動を繰り返す仕組みで、私たちはそれによって歩行を継続している。そして、足の裏を中心とした感覚器官が地面の凹凸や滑り具合といった刺激を感知し、中枢神経へ信号を送る。中枢神経はそれを受け取って次の足の挙動の指示を出し、CPGによって止まらずに歩行の修正が行われる。このようにボトムアップ的な感覚の伝達と、トップダウン的な指示の伝達がCPGによって

連続的に行われる仕組みをフィードバックループという（図1）。



図1.ヒトのフィードバックループの模式図

そして私たちの歩行はある種の振り子運動のように行われている。

足を振り上げて下ろし、下ろしたタイミングでもう片方の足が振り上げられる。宮城県仙台第三高等学校55回生の研究によってヒトの歩行を単純なモデルとして再現する一例が示された（図2、3）。2枚の金属板がそれぞれ左右の脚、棒がバランスを保ち左右の脚を連結する骨盤としての役割をしている。このモデルは立体的な構造をしており、やじろべえ型

の歩行器として斜面を下る（図4）。単純化されていながらも本質的にヒトの歩行と類似した運動を示すこの歩行器によって複雑なヒトの歩行の仕組みをシンプルに理解することができることが明らかになった。しかし、この歩行器はある程度坂道を下るものの、歩き続けることはなく、いずれ転倒によって歩行を停止してしまう（図5）。私たちは、ヒトは修正によって歩行を継続するのにに対し歩行器は転倒によって歩行が中断されるところが歩行器によるヒトの歩行の再現における不十分な点であるとして着目し、より正確にヒトの歩行を再現するために歩行器が歩行の修正を行うことのできるシステムの構築を目指した。

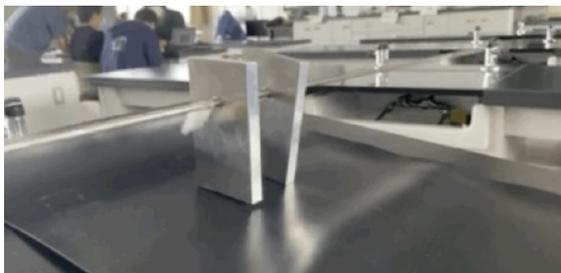


図2.55回生が制作したやじろべえ型歩行器

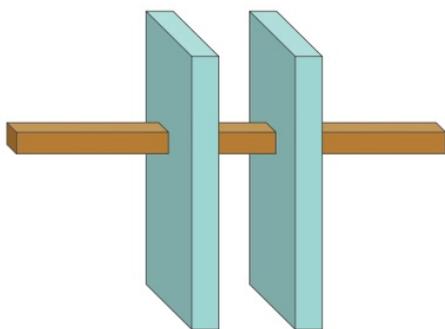


図3.歩行器の模式図

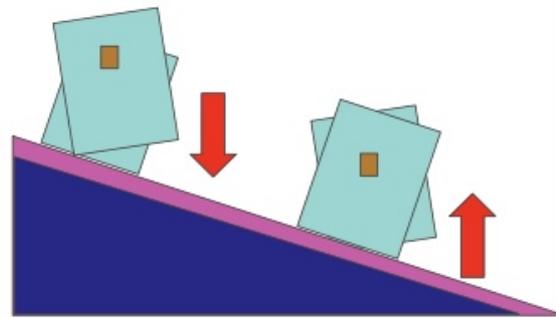


図4.歩行器の歩行のしくみ

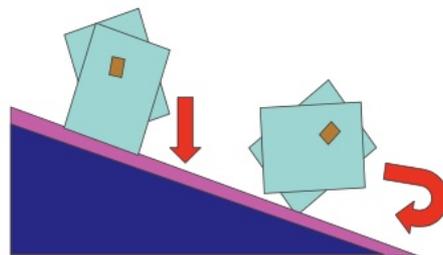


図5.歩行器の転倒の様子

## 2 材料と方法

まず第一に歩行器の歩行の挙動を観察し、転倒する様子を確認した。約6度の傾斜にゴム製のマットを敷き摩擦を増大させた。

歩行器は棒の片方を持ち上げることで、持ち上げた側の金属板が自由になり重力によって前方に振り上がることで歩行を開始する。歩行開始の際の棒の傾きは角度は12.5度で固定した。

観察の結果から、転倒する際には歩行器の挙動が不安定になることがわかった。具体的には歩行時に振り上がる方の脚（以下、遊脚とする）が大きく振り上がり過ぎた結果、歩行時に接地していた脚（以下、立脚とする）が次に振り上がったときにその反動で振り上がりが小さくなり、歩行のリズムが崩れて転倒してしまう。

私たちは転倒する際の観察結果から、歩行器の底面の圧力に注目し、転倒する際には通

常の歩行時よりも大きな圧力が底面にかかっているのではないかと仮説を立てた。そこで、圧力の値を測定し、転倒する際の圧力の値の平均値を求め、基準を定めることで転倒の定量的な定義づけをすることを試みた。

圧力を測定する実験では以下の用具を使用した。

- ・ゴムマット
- ・Arduino
- ・圧力センサ
- ・コンピュータ（結果記録用）

Arduinoとはマイコンボードの一種で、プログラミングを行ったりアクチュエータやセンサ、モータと接続することでコンピュータのような働きをする装置のことである。Arduinoには以下のようなプログラミングを行った。

```

-----
int val = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  val = analogRead(0);
  Serial.println(val);
  delay(50);
}
-----

```

そしてArduinoと圧力センサ、コンピュータを接続して（図6）、歩行器の底面部分をヒトの脚に見立て、後方部分にセンサを取り付けた（図7）。

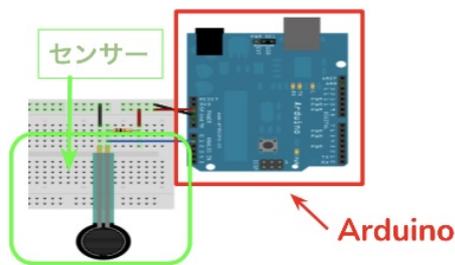


図6.Arduinoと圧力センサの接続の仕方

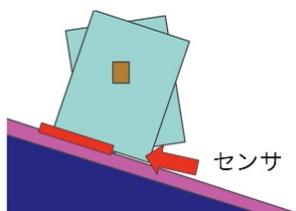


図7.歩行器に取り付けたセンサ

### 3 結果と考察

圧力測定の実験から以下のような結果が得られた。

	歩行前	歩行時	転倒時
1回目	686	750	1015
2回目	617	785	750
3回目	615	686	754
4回目	450	700	530
平均	592	730	762

単位がないのはセンサ内の電圧変換の仕組みを現在調査中であるためである。

数値の値が大きい方が圧力の値が大きいことを示している。

この結果から、仮説通り転倒する際には通常よりも強い圧力が底面にかかっている傾向があるという結果が得られた。しかし2回目と4回目の試行では転倒時の圧力が歩行時の圧力を下回っている。これはArduinoの個数の都合上、片方の金属板にのみ圧力センサを設置したために、転倒する際にセンサを設置していないほうの金属板で転倒したために圧力の値が低くなったと考えられる。

このことから、今後は転倒のパターン分けを行い、どちらの金属板が最後に接地していたのか、どのように転倒したのかをによって結果を分類することでより正確な値を求めることを考えている。

また、先の実験として圧力の値の基準をもとにモータを用いて歩幅の調整を行う実験を構想している。先ほど述べたように遊脚の大きな振り上がりによって次の遊脚の振れ幅が小さくなることで歩幅が小さくなり、バランスを崩して転倒してしまうことから、歩行器にサーボモータを取り付けることで小さくなった歩幅をモータによって増幅させることで歩行の継続をすることができると考えてい

る。モータには以下のようなプログラミングを行う。

```
-----  
#include <VarSpeedServo.h>  
VarSpeedServo servoL,servoR;  
void setup() {  
  *servoL.attach(8);  
  servoR.attach(9);*  
  servoL.write(90,100,true);  
  servoR.write(90,100,true);  
  Serial.begin(9600);  
}  
void loop() {  
  servoL.write(90,100,true);  
  servoL.write(30,250,true);  
  delay(50);  
  servoR.write(90,100,true);  
  servoR.write(150,250,true);  
  delay(50);  
}  
-----
```

米印で囲んだ部分は圧力センサの結果を受けて変数を設定する部分である。

#### 4. 今後の展望

今後の展望は大別して3つある。

1つ目は先程述べたように転倒のパターン分けをし、転倒の種類によって圧力の基準を分類しモータを作動させたいと考えている。

2つ目は実験の平面への応用である。今回実験で用いた歩行器は平面での歩行が不可能であった。しかしヒトは斜面よりも平面での歩行のほうが多いので、歩行器にさらなるモータを取り付けて平面でも歩行ができるようにしたいと考えている。

3つ目はリハビリテーション分野への応用である。現在でも自力での歩行が困難な人に対して歩行を補助する装置は存在するものの、歩行におけるすべての動作を補助するために高価で重いものが多い。しかし、フィードバックループを生かした仕組みを用いた装置であれば地面の凹凸によって脚の挙動を変化させるなど最低限の装置で補助することができる。

これらの実験を通してヒトの歩行におけるフィードバックによる修正という仕組みを再現することで、ヒトの歩行をより正確かつ簡

単に表現しながら仕組みの理解と応用を目標に研究を行っている。

#### 5 参考文献

・月城慶一、山本澄子、江義、子原秀三

『観察による歩行分析』2005年6月 医学書院出版

・CPG (Central Pattern Generator)がリズムミカルな歩行を作り出している／

Rehabilitation Plus

閲覧日2021年7月

<https://rehaplus.ip/neuroreha/2020/06/29/2745/>

・完全非理系がArduinoと圧力センサーを使って猫のもぐもぐタイムを記録してみる

／MONSTERDIVE

閲覧日2021年7月

<https://www.monster-dive.com/blog/web-system/20180629001792.php>

・乙武氏、ロボット義足で歩く。ソニー「OTOTAKEPROJECT」／Impress Watch

閲覧日2021年8月

<https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1354318.html>

・圧力センサで遊ぼう

閲覧日2021年7月

<http://ikoba.net/prototypina/arduino/pressure-practice.htm>