

# 柔軟生物の歩容解析とロボットによる再現

徳島県立脇町高等学校

## 1. 動機・目的

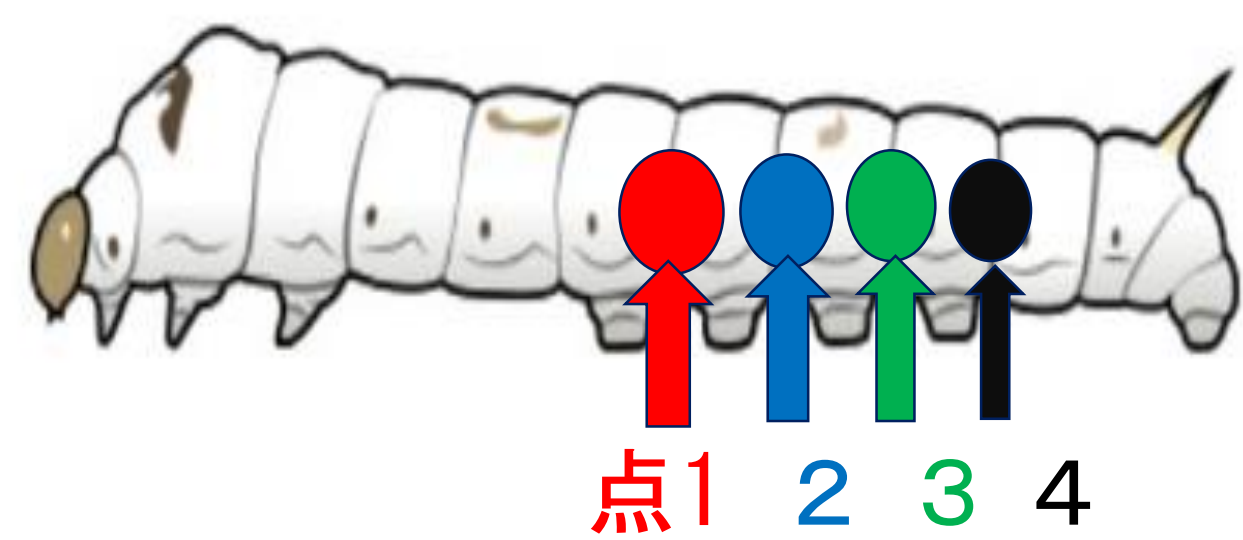
柔軟生物の歩容解析とロボットによる再現を目的に研究を行った。きっかけは東京大学におけるIoT技術に関するセミナーで、生き物から仕組みや形を抽出してロボットを作るというアプローチを知り、実際に柔軟生物を模したソフトロボットを動かしたことである。そこで体が単純な繰り返し構造でできており、移動環境への対応性に優れるミミズやカイコなどの柔軟生物を模倣し、人の手の届かない場所に安易にアクセスできるソフトロボットによる再現を試みた。

## 2. 歩容解析

カイコ・ミミズ・シャクトリムシを研究対象とする。それぞれの生物の動きを撮影した動画をフォーム分析ソフト(kinovea)を用いて解析する。

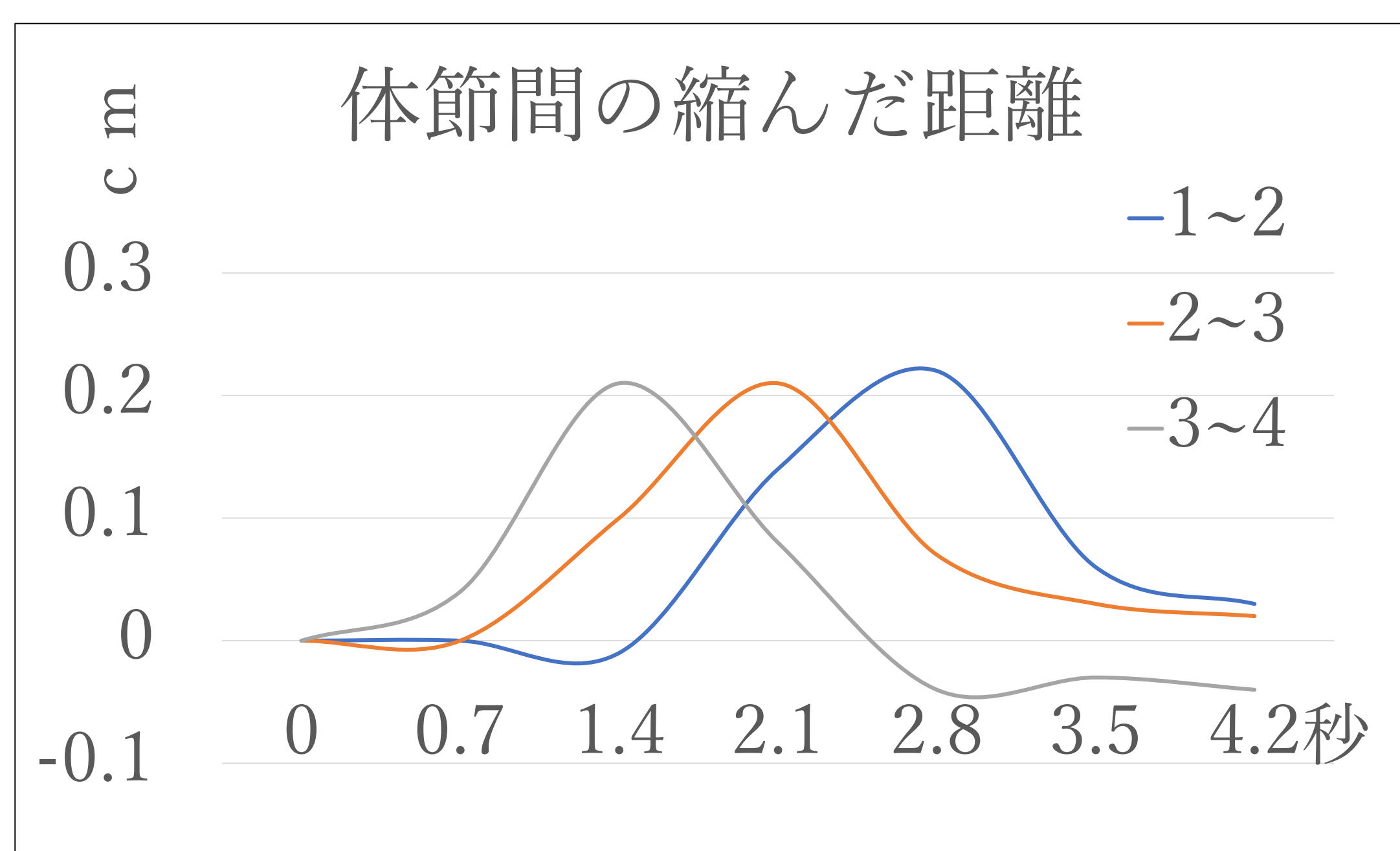
### (I) カイコ

右図のように点をとる。点同士の距離を体節間の距離とする。



<横の動き>

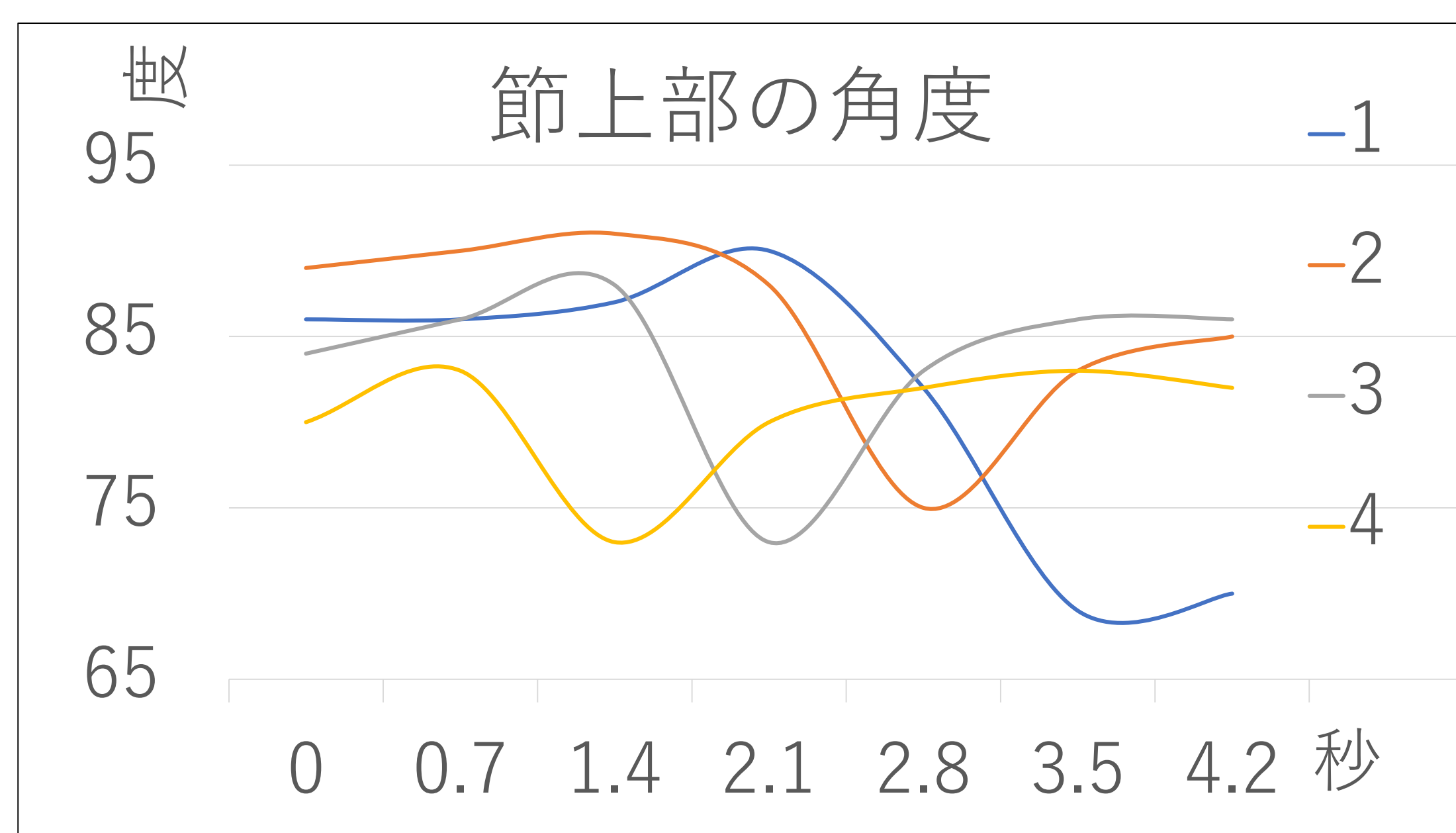
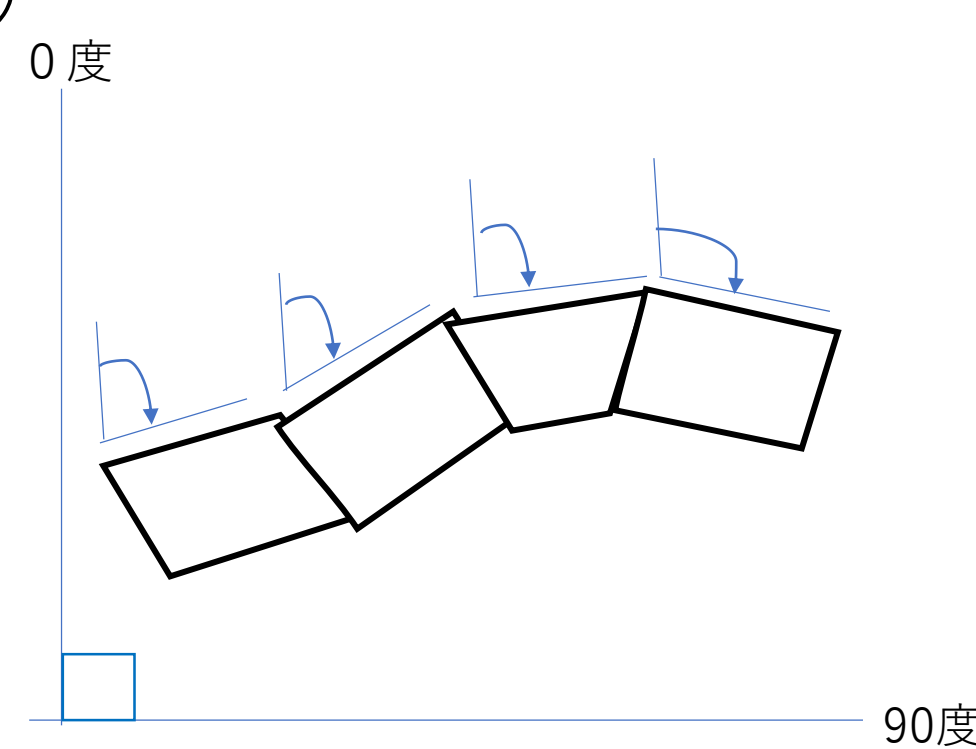
静止している状態を基準とし、ある時刻での体節間の縮んだ距離を計測する。



グラフ①

<縦の動き>

床と垂直な角度を基準とし、右図のように節上部との角度を計測する。



グラフ②

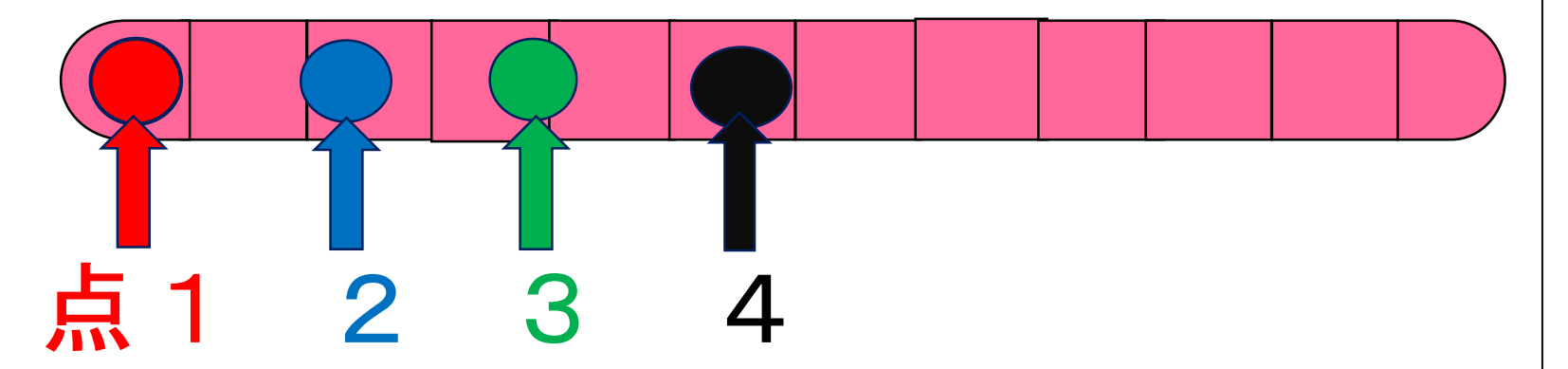
グラフ①②から、ある節の縮みと同時にその節の角度の変化が見られる。

グラフ①から、以下の二点の特徴が見られる。

- ・後方から前方へ順番に伝わっている
  - ・伸縮の時間間隔は体節間でほぼ同じ
- 複数のグラフをとった結果歩行に周期性が見られる

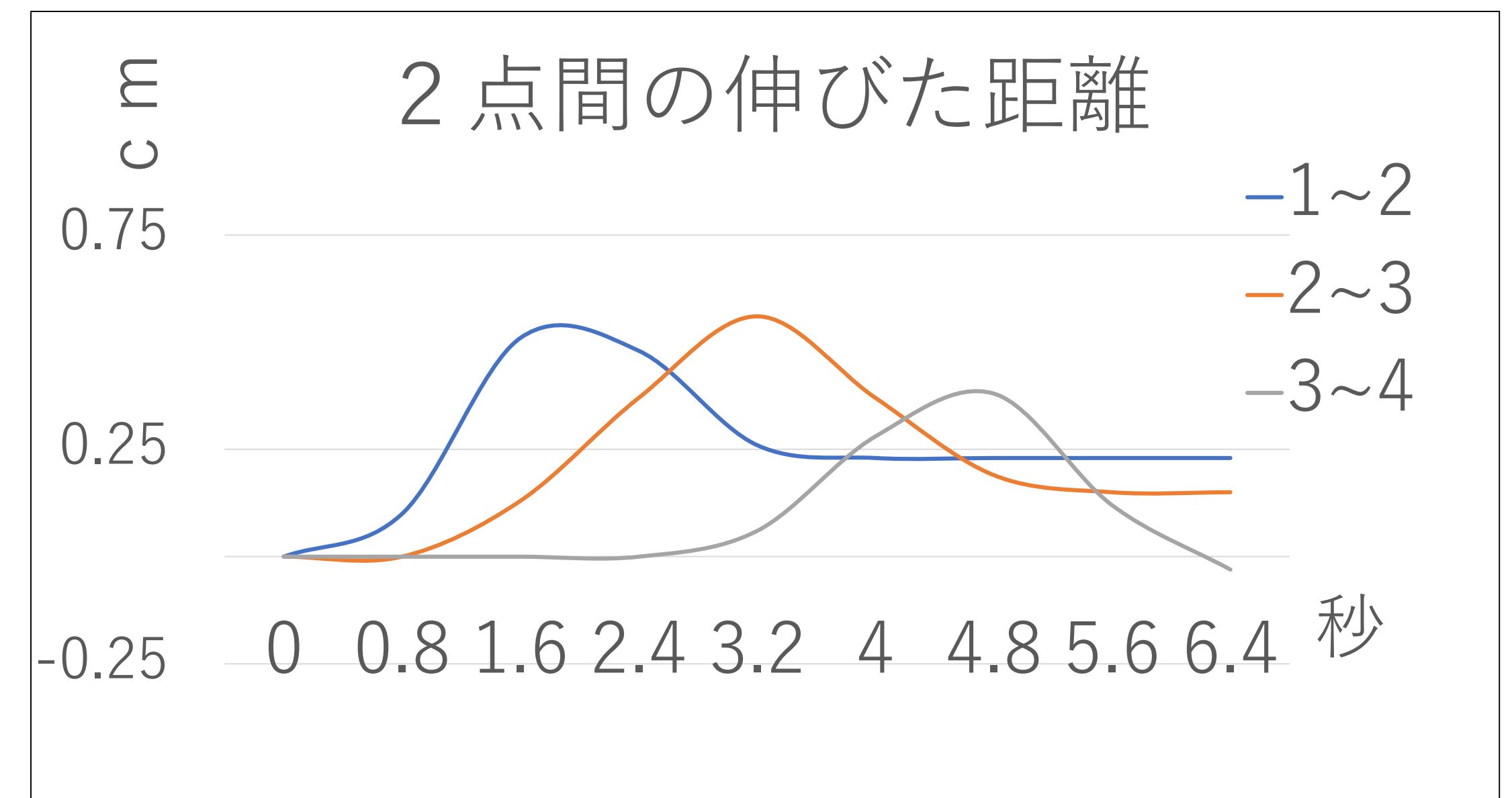
### (II) ミミズ

右図のように点をとる。



<横の動き>

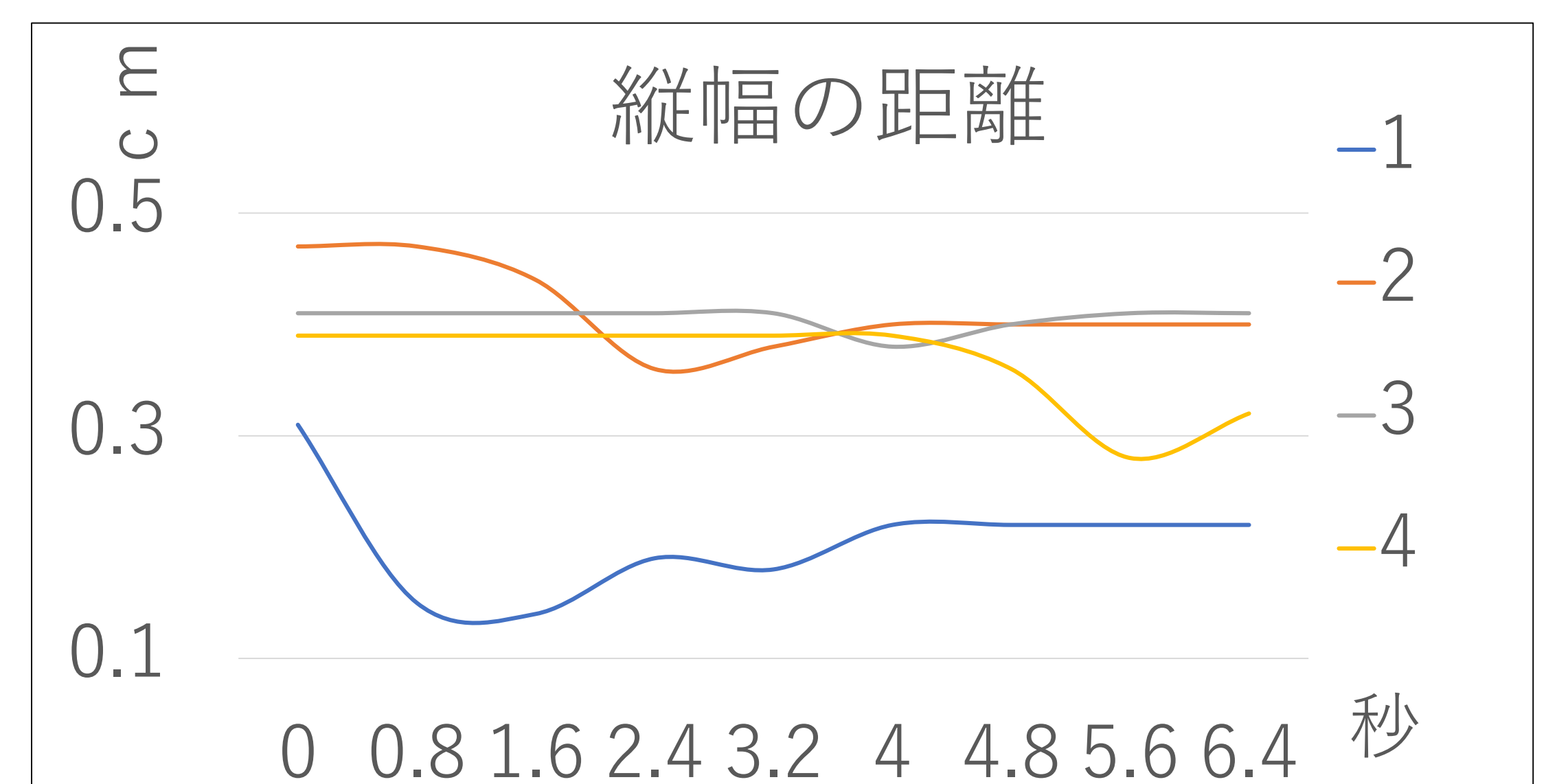
静止している状態を基準としてある時刻での2点間の伸びた距離を計測する。



グラフ③

<縦の動き>

横の動きの計測と同時刻での節上部と下部の間の長さを計測する。



グラフ④

グラフ③④から、ある節の縦の長さが縮んでいるときにその体節間が伸びていることが分かる。

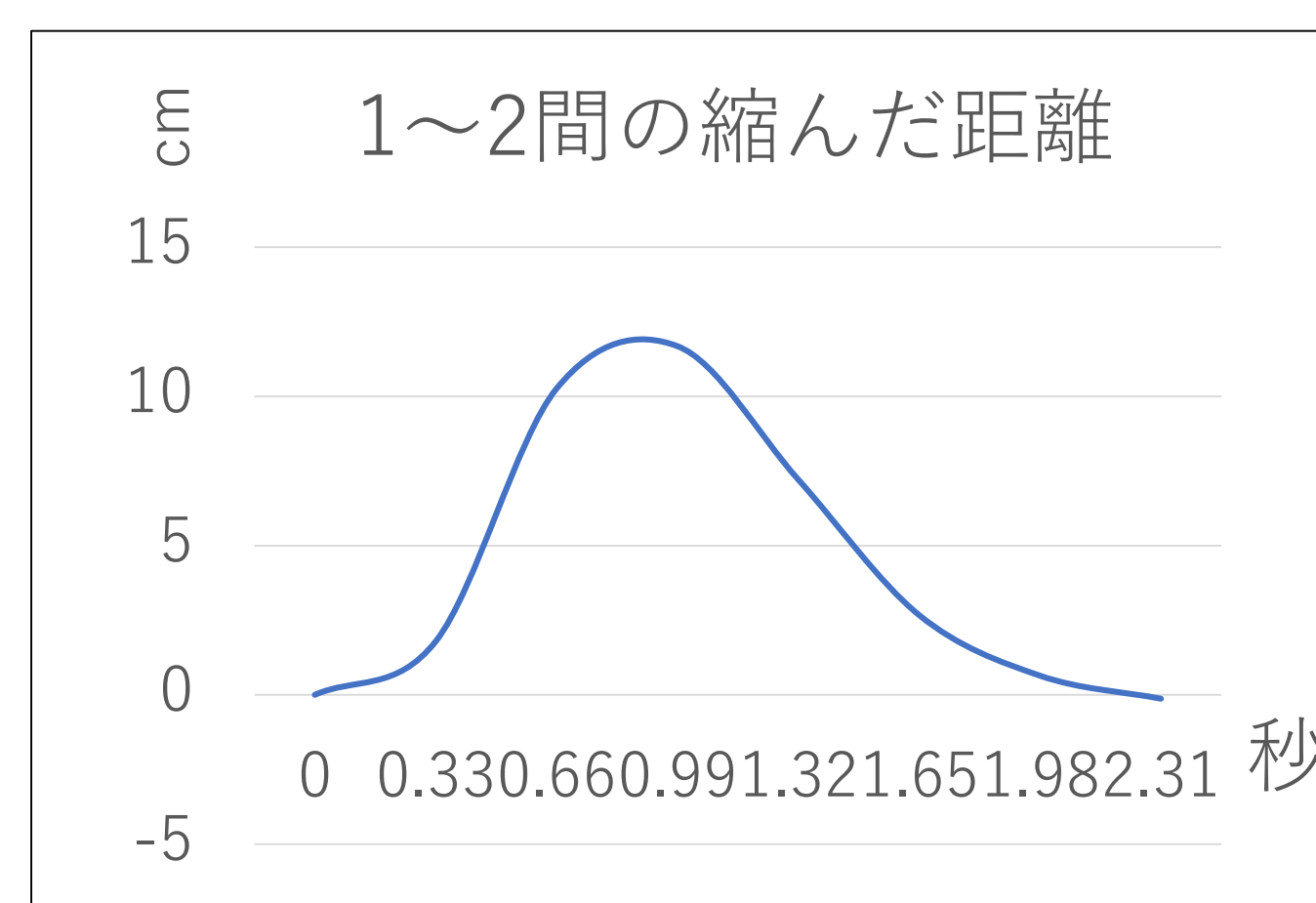
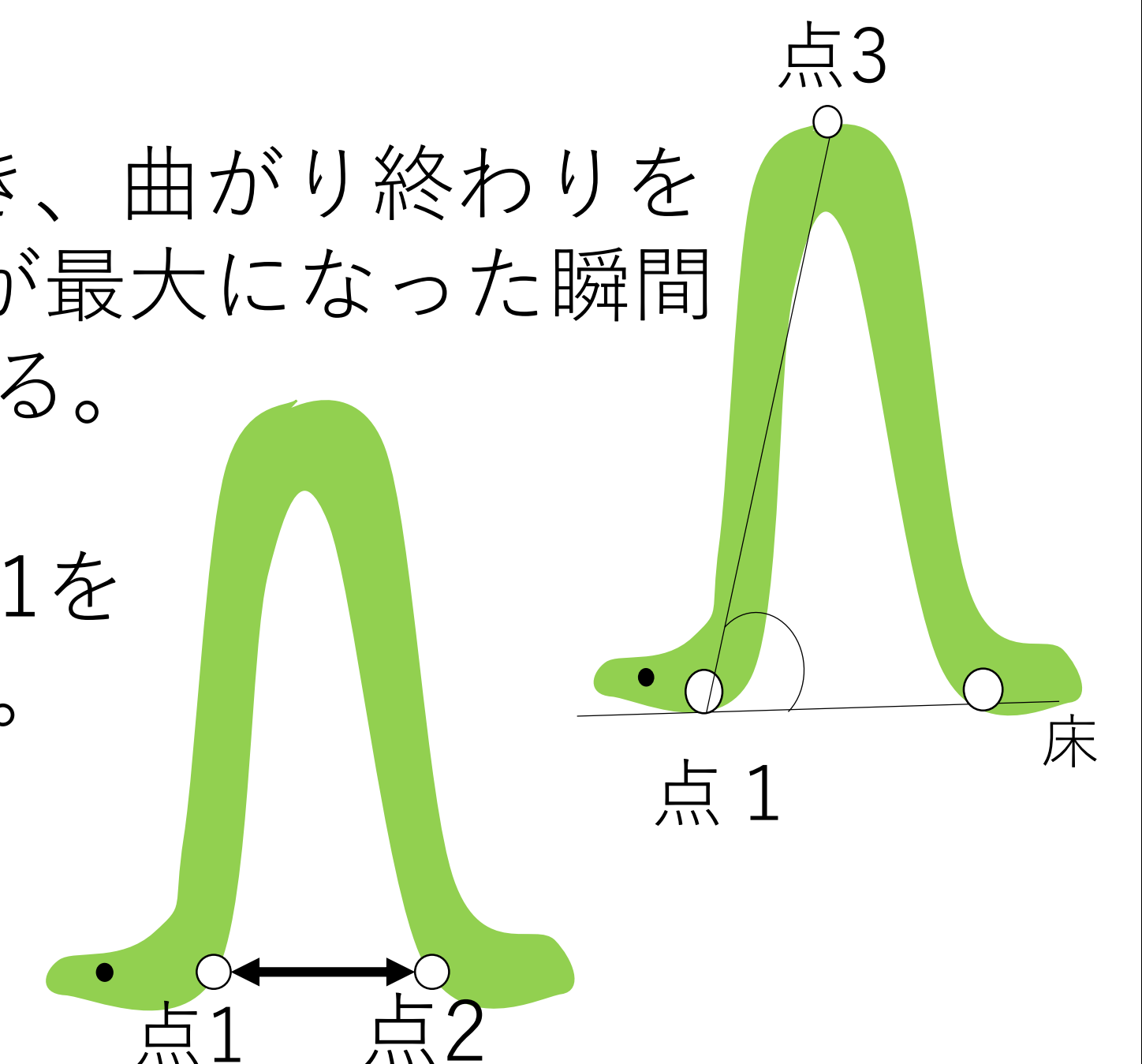
グラフ③から、以下の二点の特徴が見られる。

- ・前方から後方へ順番に伝わっている
  - ・伸縮の時間間隔は体節間でほぼ同じ
- 複数のグラフをとった結果歩行に周期性が見られる

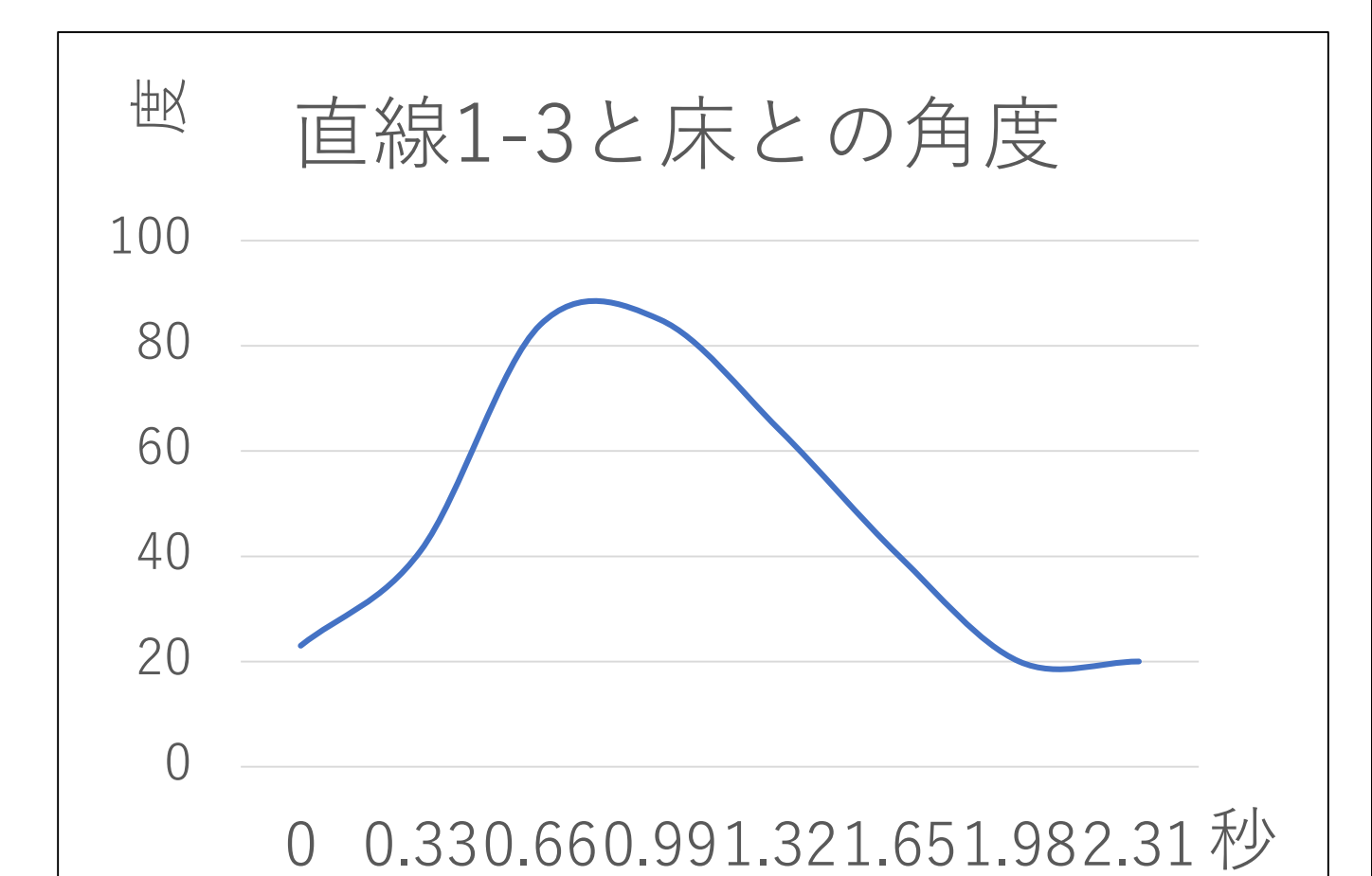
### (III) シャクトリムシ

曲がり始めを点1として置き、曲がり終わりを点2と置く。点1~2間の距離が最大になった瞬間を基準とし、縮んだ距離を測る。

最高点を点3として点3と点1を結んだ直線と床との角度を測る。



グラフ⑤



グラフ⑥

- ・縮むと同時に屈曲している
- ・複数のグラフをとった結果歩行に周期性が見られる



### 3. ソフトロボットによる再現

#### (I) カイコ

紙を媒体として、まずはカイコの横軸でみた歩容（体の長手軸方向の長さを収縮させる縦走筋の仕組み）をSMAをアクチュエータとして再現する。

##### (1) 機体について

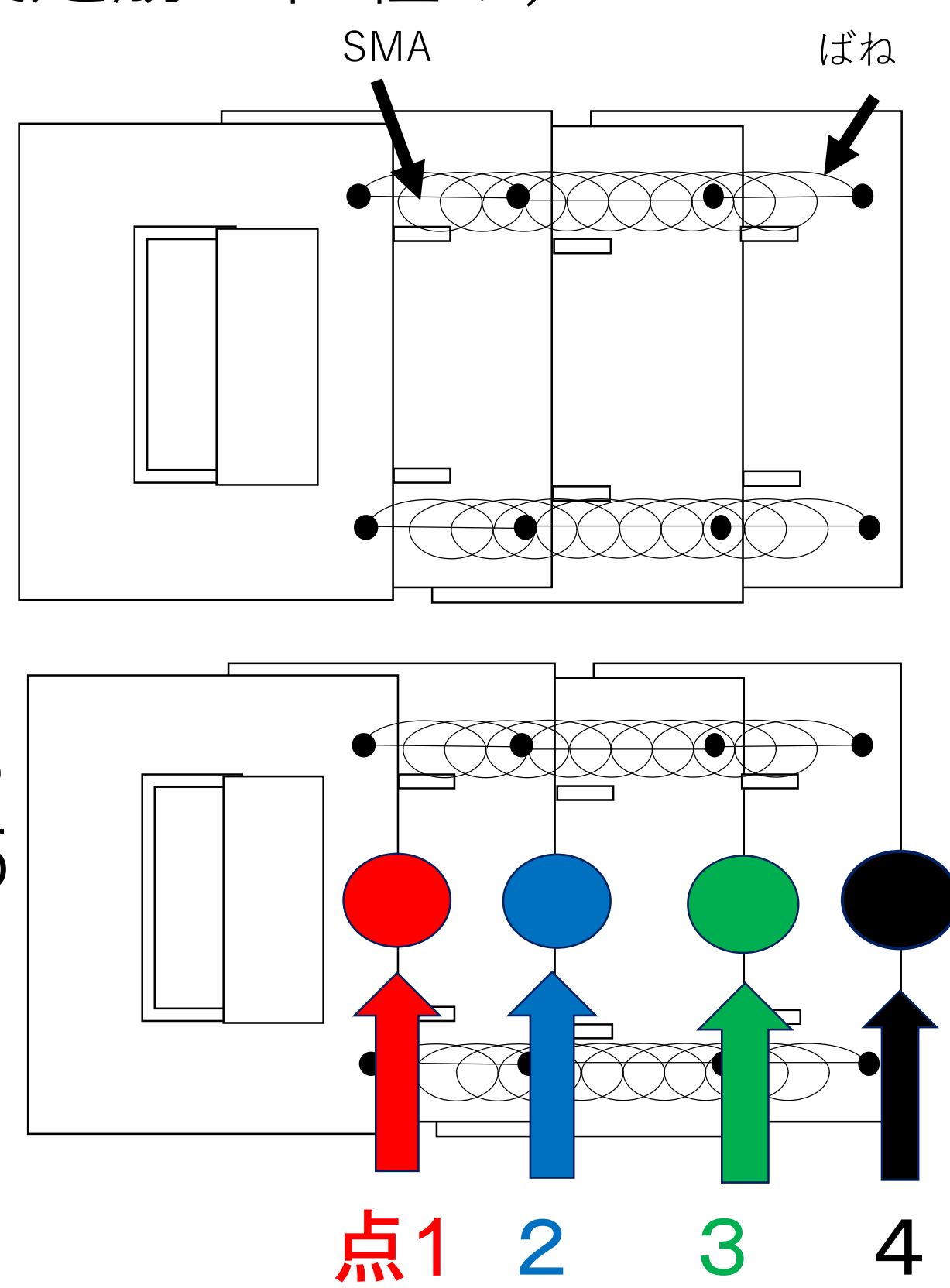
SMAの復元力を補うためばねを使用し、丸めて円筒状にした。

##### (2) 歩容解析

右図のように点をとる。

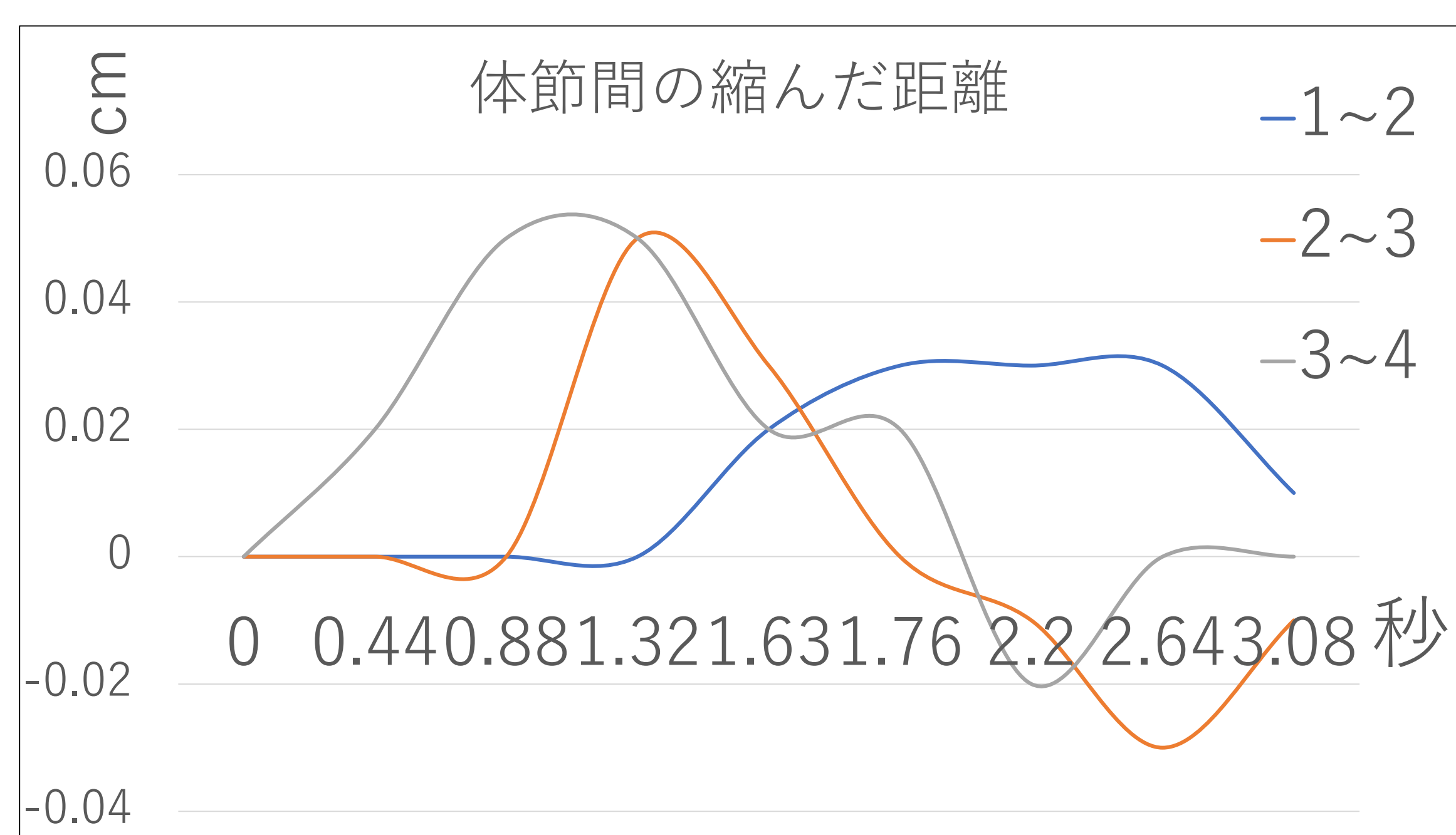
##### (3) SMAに対する命令

点4から点1へ順にそれぞれのSMAに電圧0.5Vを1秒間時間差0.5秒でかけ、歩行の一周を2秒間とする。



#### <横の動き>

カイコと同様に計測する



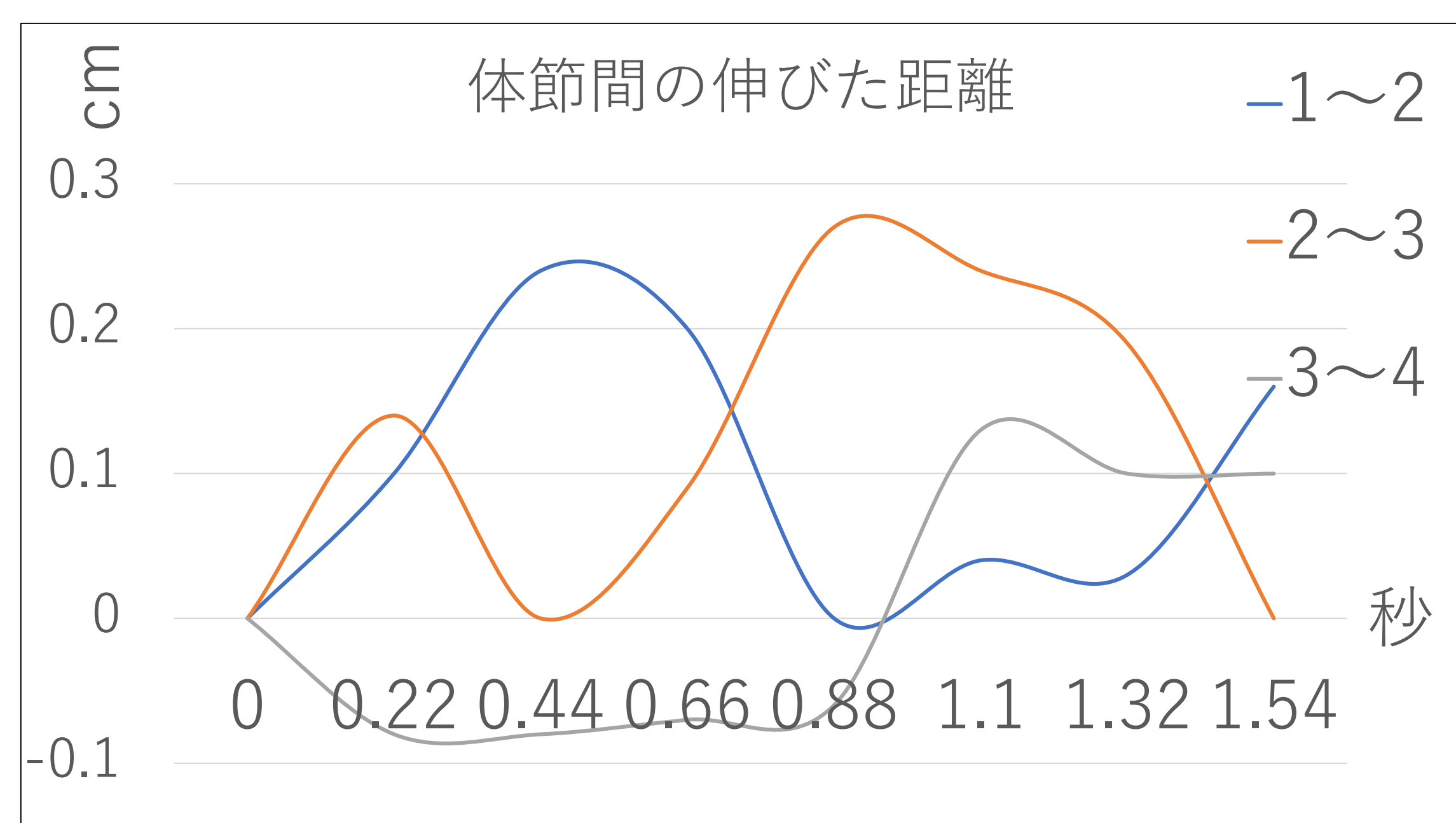
グラフ⑦

グラフ①との条件は一致する。

相違点：ある体節が収縮が最大になった瞬間に次の体節が収縮運動を始めるとい動作を繰り返している。

#### (II) ミミズ

カイコ再現時の機体を用いて、SMAに対する命令を点1から点4に送る。1～2の縮みが最大になった瞬間を0秒とする。



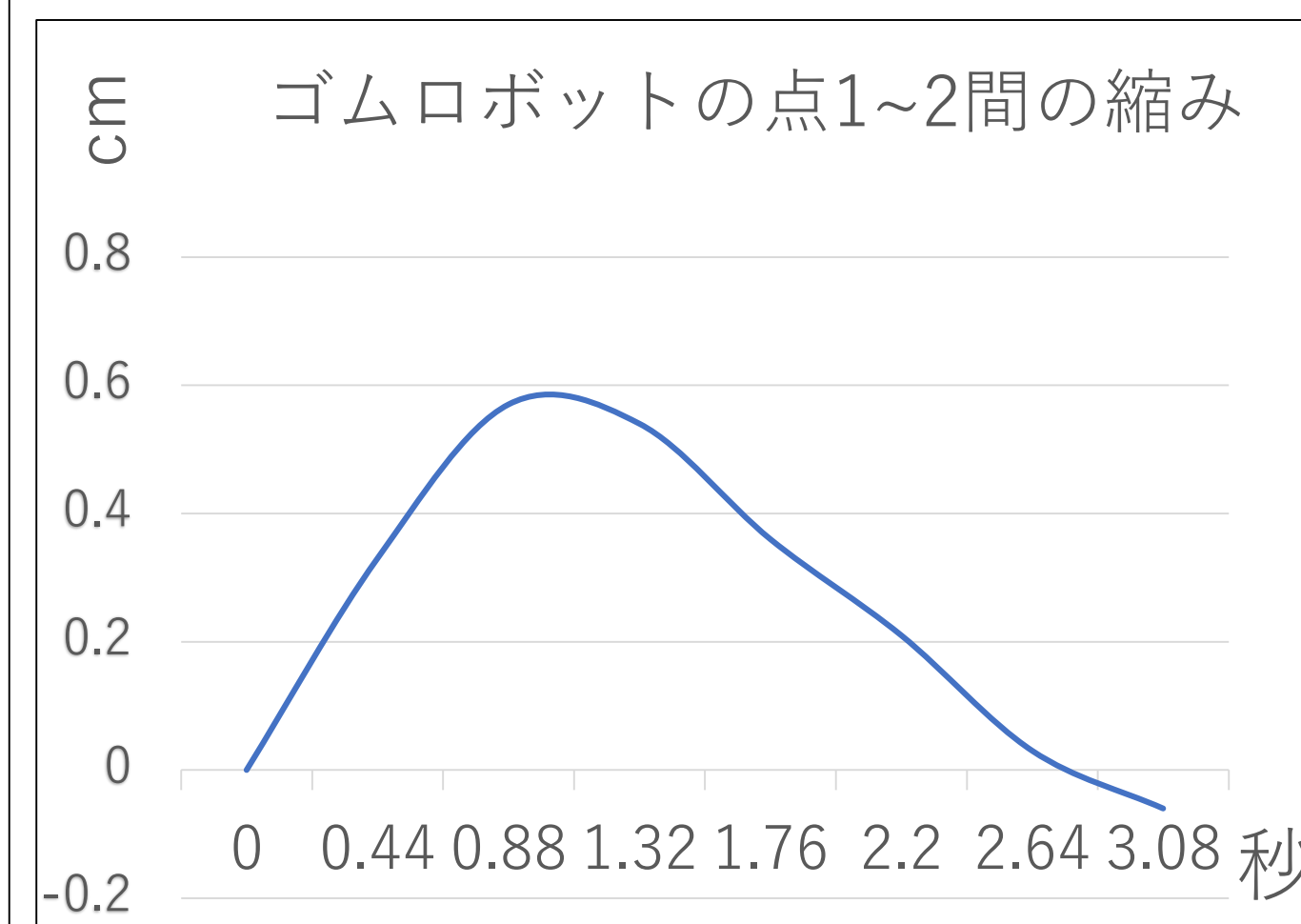
グラフ⑧

グラフ③と比較すると、伸びのピークだけみると前から後ろの順で伸びている歩行の周期性や伸縮の時間間隔は紙との摩擦により伸びが途中で停滞してしまい誤差を生じるが、ほぼその条件を満たす。

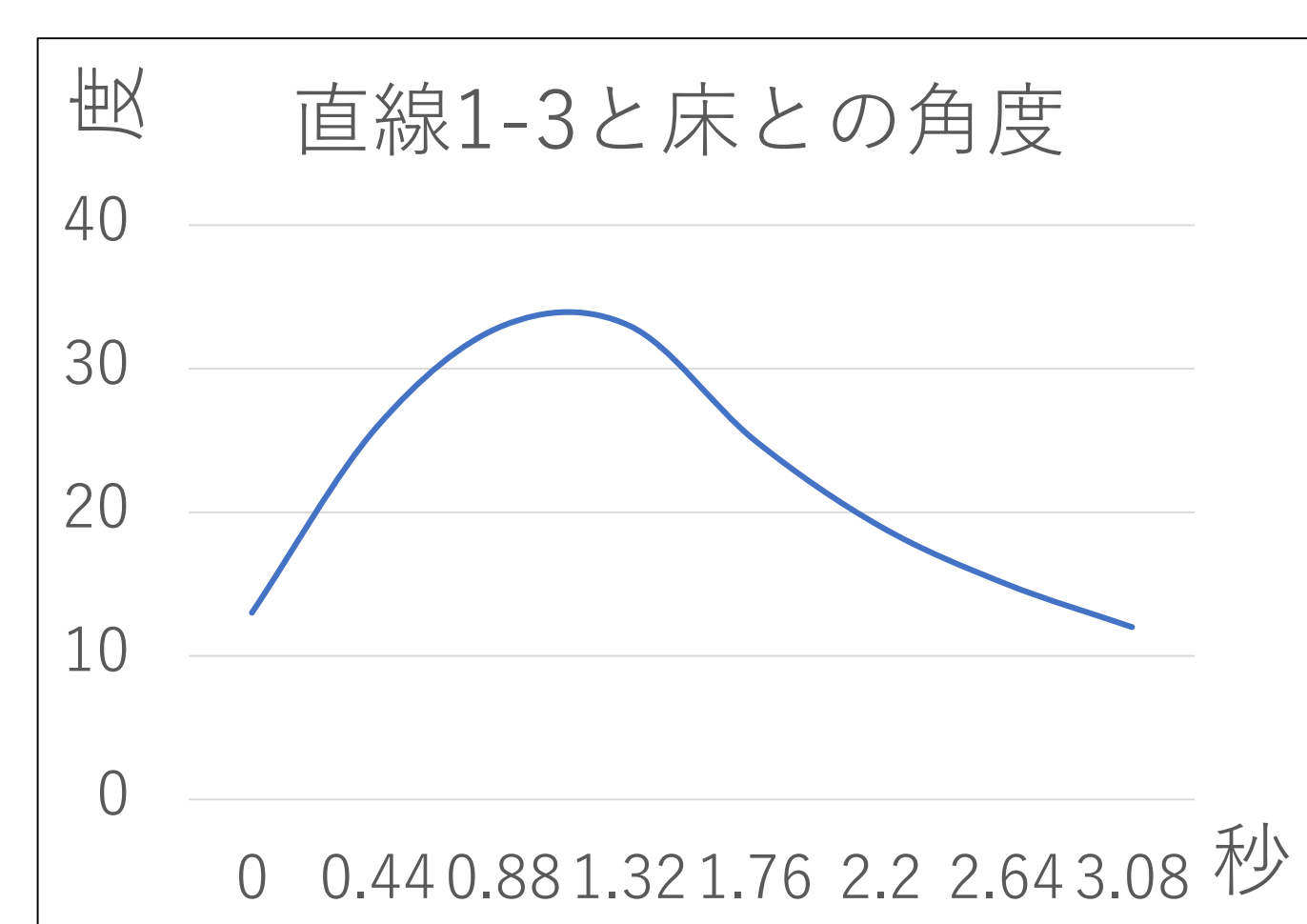
#### (III) シャクトリムシ

屈曲と伸展の二つの動作を再現するために、以下の機体を用いる。

シャクトリムシ同様に点を取り解析を行った。SMA



グラフ⑨



グラフ⑩

紙を素材としてSMAの伸縮を行ったが、屈曲の角度が小さく再現できなかった。「弾性係数および筋力が大きいモデルがシャクトリムシの運動パターンを再現できる」（波動伝播に基づく移動機構の研究 第3報）ため、ゴムを素材として弾性係数を大きく、SMAの電圧を強くすることで筋力を大きくした。

### 4. まとめ

#### 再現できた点

- ・カイコの前進波、ミミズの後退波（縦走筋による動き）
- ・シャクトリムシによる屈曲運動

#### 再現できなかった点

- ・カイコの角度変化、ミミズの蠕動運動（環状筋を用いた動き）

### 5. 今後について

- ・カイコ(縦の動き)の歩容の再現

節同士が上下に動ける幅を作り、図1のように違う節の上下部にSMAを取り付け、それを順に収縮させることによって曲げ運動をできるようにする。

- ・ミミズ(縦の動き)の歩容の再現

蠕動運動を行うためには円のまま拡大縮小しなければいけない。筒状の機体においてSMAによりその動きができればミミズの歩容を再現できると考えられる。

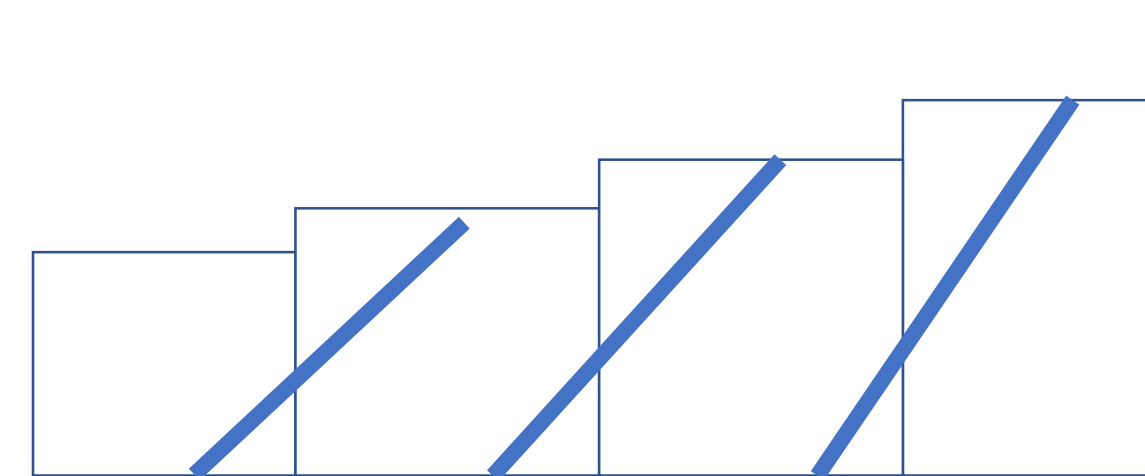


図1

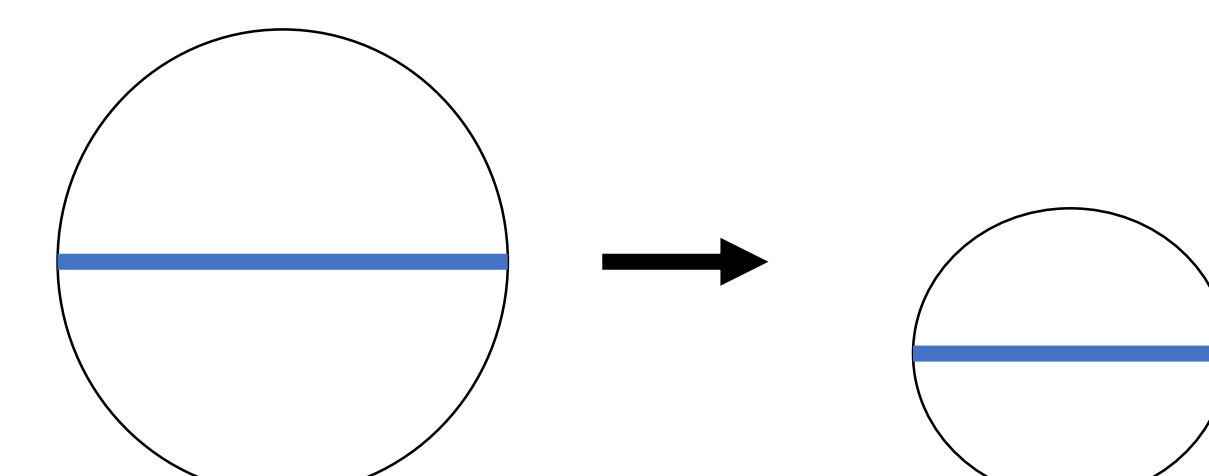


図2

#### 謝意

東京大学の梅舘先生、川原先生ありがとうございました。

#### 参考文献

- ・形状記憶合金アクチュエータの収縮タイミング制御で這行運動を生成するシンプルな折紙型ロボット

ipsj.ixsq.nii.ac.jp

- ・第三章 蚕体の構造と各器官の働き

[www.silk.or.jp/silk\\_gijyutu/pdf/3syou.pdf](http://www.silk.or.jp/silk_gijyutu/pdf/3syou.pdf)

- ・波動伝播に基づく移動機構の研究 第1報～第3報（江淵、土屋、前野、山崎、立川）

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic1979/62/603/62\\_603\\_4264/pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic1979/62/603/62_603_4264/pdf/-char/ja)