

## 運動学習教材 TESIMO

藤田 祐樹<sup>1)</sup>

"TESIMO" the Craft Kit for the Education of the Human Body Biomechanics.

Masaki FUJITA<sup>1)</sup>

はじめに

動物の体の形と運動の間には、深い関係がある。動物が日常的にとる姿勢や運動は、その体のつくり、プロポーションなどに強く影響される。一般論として、日常的な姿勢や運動は力学的に安定かつ効率的であることが、ダーウィン主義的な適応論の観点から期待され、実際に動物の運動と形態は密接に関連している (例えば Alexander, 1999; Hildebrand & Goslow, 2001)。

動物の形態学的研究が19世紀以後に飛躍的に充実していくのに対し、運動力学的な研究が進展するのは、20世紀後半に運動の計測装置が発展してからである。運動力学の研究は、近年ではヒトを対象として、スポーツ科学、医学生理学 (健康管理)、人間工学などさまざまな分野で展開されており、実験動物学的な研究では運動の生成メカニズムに関する重要な知見がもたらされた。その成果のひとつに、歩行のような周期的運動の基本信号は、Central Pattern Generator (CPG) と呼ばれる中枢神経系の制御メカニズムによって生み出されるという仮説がある (Grillner, 1985)。

運動研究が発展する一方で、計算機の発達によってコンピューターシミュレーションによる運動の生成が可能になると、複雑系科学と呼ばれる学問分野が発展する。複雑系科学では、エネルギーを散逸させながら局所的な秩序を作り出すメカニズムのひとつとして、非線形振動子の引き込み現象が注目されている。引き込み現象は、化学物質の反応から動物群集の行動まで、自然界のさまざまなレベルで見受

けられ、外乱に対する緩衝作用を本質的に内在する安定的な機構である (例えば清水, 1990)。周期的に活動する神経振動子の引き込み現象が、CPGのような運動の制御メカニズムの基礎を構築していると考えられるようになった (多賀, 2002)。歩行動作のような周期的な運動は、床面の凹凸や摩擦力の変化などに基づく外乱因子に対して、動的に安定である必要がある。そのため、先述の非線形振動子の引き込み現象に基づく運動生成メカニズムは、ある程度までの外乱ならばリミットサイクルに収束するメカニズムによって順応することができ、こうした多様な外乱因子があるもとの安定した周期的動作を実現するうえで好適であると考えられる。

こうした複雑系科学のアプローチで歩行の神経制御機構解明を目指した研究が展開される一方で、歩行の力学的安定性、効率性に関する人気は根強く、受動歩行に関する力学モデルは数多く発表されている。そうした研究の多くが下半身の動きのみに注目しているのに対し、山崎 (1975) は、ヒトの体節の固有振動によって歩行動作が担保されることを示した。直立二足歩行では、肩帯と腰帯の位相を半周期ずらすことで両者の回転モーメントを相殺することができ、歩行の安定性とエネルギー効率が高まる。

こうした歩行の力学的な安定性、効率性について、直感的に学ぶ教材として、当館では簡易な工作キット TESIMO を開発した。本稿では、この TESIMO の概要と振動データを提示し、今後の活用可能性について議論する。

1) 沖縄県立博物館・美術館 〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち3-1-1

Okinawa Prefectural Museum and Art Museum, Omoromachi 3-1-1, Naha-shi, Okinawa, 900-0006 Japan.

## TESIMO について

TESIMO は、歩行の力学的安定性について学ぶための簡易工作キットである。当館で展示パネルを作成する際に利用するスチレンボード「のり付きパネル」の端材を主な材料としており、詳しい資料は別添の資料1のとおりである。左右の腕、左右の脚、胸部、腰部の計6パーツで構成される人形であり、関節部には端部を軽く曲げた虫ピンを用い、各関節がブラブラと振動するように接続する。腕と脚の先端部には、「ひつつきむし」という粘性樹脂を添付して重量を調整している。安価で分量の調整が簡便であり、さらに丸めて接着すると手と足のようにも見え、人形に愛嬌を持たせる視覚的効果もある。胸部と腰部の関節部分には、短くカットした輪ゴムをセロファンテープで取り付ける。この輪ゴムは、腰の振動を上半身へ伝える靭帯や筋のような働きをする重要な部位である。当館では、赤色の輪ゴムを使用することで「筋肉」のイメージに近づけている。このように組み立てられた TESIMO を、適切な場所にぶら下げれば完成である。当館では、やはり土台もスチレンボードの端材を組み合わせて簡単に制作した。

こうして完成した TESIMO を静止させ、左右の脚を前後にずらして手を放すと、脚が歩行時のように振動する(図1)。すると、この振動が腰部、胸部へと伝わり、最終的に左右の腕を振動させる。この動きをデータ化したものが図2である。TESIMO の振動する様子を側方からデジタルカメラで動画撮影し(30 fps)、動画ファイルにおける

手と足の前後方向座標を定量化した。右手が前に出るときに左足が後ろに振れ、左手が前に振れるときに右足が後ろに振れるようすがわかる。脚と腕が半周期ずれて、ちょうど歩行時のようである。これは、山崎(1975)がコンピューターシミュレーションによって示した内容の重要な結果のひとつである。TESIMO を用いると、こうした事実を簡易な人形によって再現することができる。

さらに、図1に示したデータを見ると、2周期目から腕と脚の振り周期の位相が半周期になっている。腕は初期状態では静止しているが、脚の振動が体幹を伝わり、腕を振動させるようすが見てとれる。はじめの一周期では腕と脚の振動周期のピークは一致していないが、二周期目からは多少ずれることもあるが、両者のピークはほぼ一致する。何らかの外乱で乱れても次の周期では修正され、マクロレベルでの引き込み現象が起こっていることがわかる。

## 当館における TESIMO 活用事例

当館では、平成23年2月に、当時開催していた企画展「骨の科学」関連講座として実施した。講座の中では、機能形態学の基礎概念を紹介し、具体例としてウマはなぜ早く走れるか、鳥はなぜ飛べるか、ヒトは歩くときになぜ手を振るか、という3つのトピックスについて解説した。この解説のなかで、いくつかの実験を行い、ヒト歩行時の手の動きについて TESIMO で実験を見せた。その後、工作キットを配布し、各自に TESIMO を制作してもらった(資料1)。

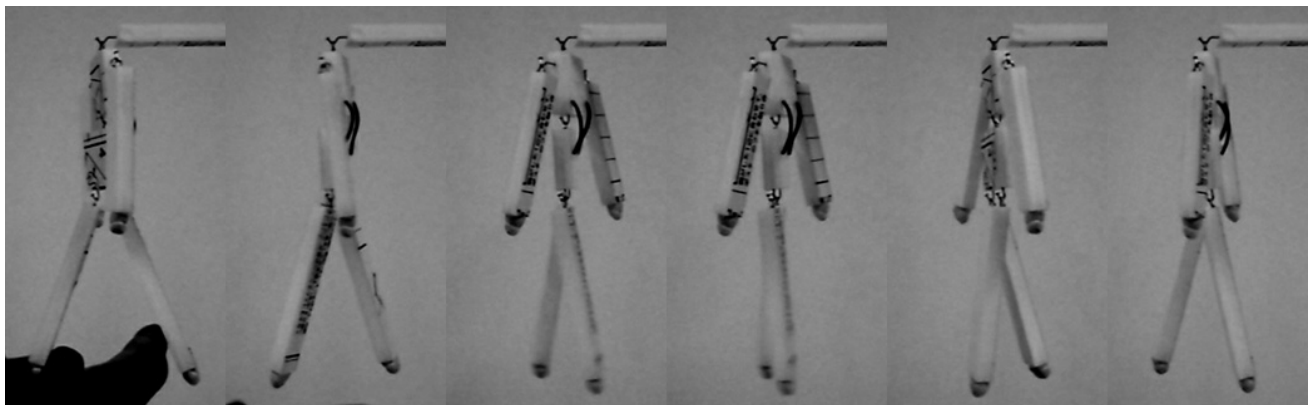


図1：TESIMO の動き。最も左で脚を広げて放している。2コマ目では腕はほとんど動いていないが、3コマ目以後には脚と半周期ずれて腕も振動している。

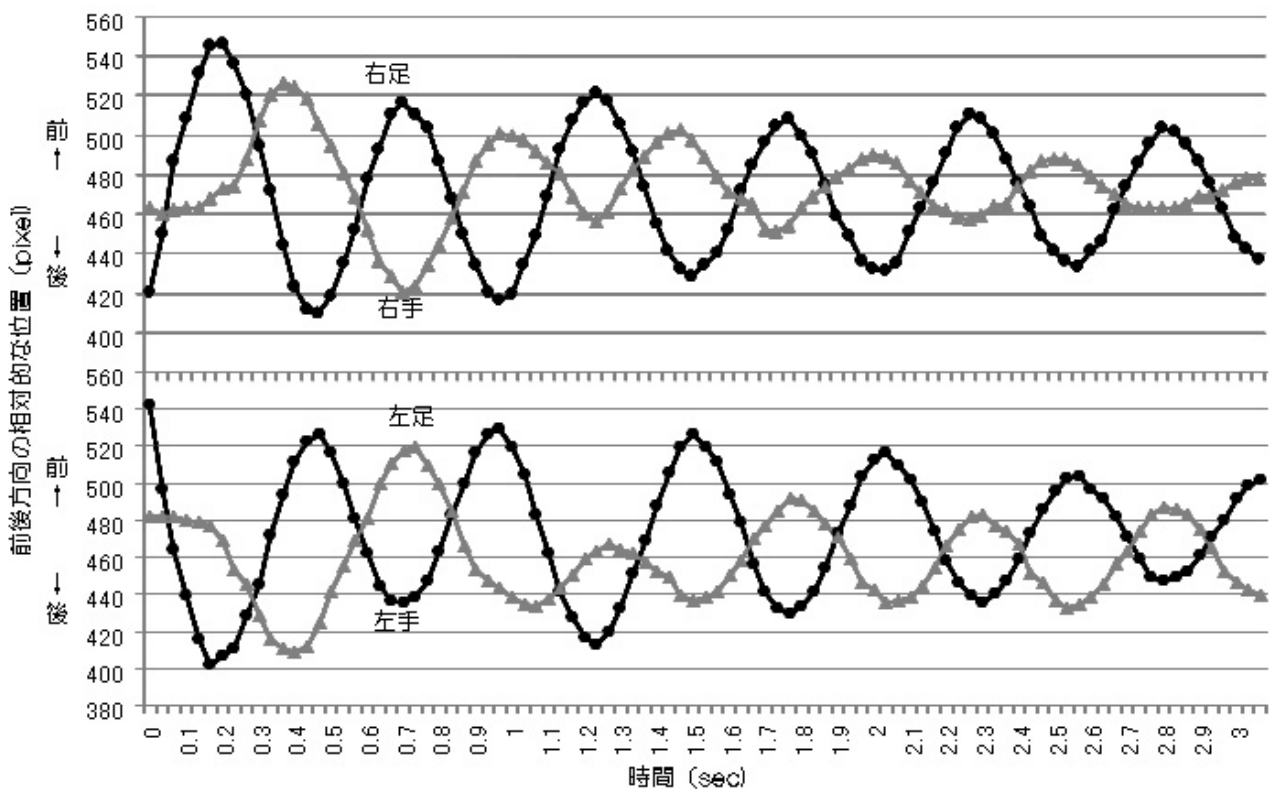


図2：TESIMO 振動時の左右の手および足の振動。縦軸は前後方向の相対位置で、横軸は時間。0が振動開始時でこの時点では手が振れていないが、下肢の振動が体幹を伝わって腕を振動させ、2周期目からは手と足の振動周期が半周期ずれた状態で定常化する。

カッターナイフの使用を避けるため、素材の切り出しは事前に館職員で行った。関節用の虫ピンも同様に事前に館職員が行っておいた。TESIMOを作成する段階で、筆者が各機を巡回して、手足となる「ひつつきむし」の分量を修正するなど微妙な調整を行い、概ね、歩行動作的な振動を再現できた。多数のTESIMOを作成してみると、腕と脚の左右のバランスが特に重要であることが判明した。こうした微調整を経験しながら、関節がバランスよく配置されていることや、体の左右で均等であることなどが、運動を生成する形態学的要素として重要であることを学ぶことができる。さらに、先述のとおり運動の引き込み現象など、高度な学習へと発展させることも可能である。

参加者には、素材が「のり付きパネル」であることを説明し、好きな絵を描いて自分のTESIMOにしてみてくださいと説明したところ、さっそくTESIMOに絵を描いている子供も見られた。さら

に、関節数などを増やして学校での自由研究として提出してもよいかという質問もあった。

なお、TESIMOの名前の由来は、「手を振る理由をしらべるためのモノ」の省略である。ホンダが開発した世界最高レベルの二足歩行ロボットASIMOをライバル視して、アルファベット表記ではTESIMOとした。ちなみに、当館の講座で名前の理由を紹介すると「じゃあASIMOは『歩く理由を調べるためのモノ』ですか?」という質問があったが、これは大きな誤解である。ASIMOの名前の由来は、ホンダ技研のホームページなどで確認してほしい。

おわりに

本稿では、当館で新開発した工作キットTESIMOの詳細と、その当館における活用事例を紹介した。TESIMOは、安価な素材のみで構成されており、虫ピンの取り扱いに気を付ければ、小学

校低学年の子どもでも作ることは容易である。素材を適切な大きさにカットするにはカッターナイフを使用する必要があり、多少の危険を伴うが、その点をクリアすれば、幅広い年齢層に対応できる。この点に関して、例えばスチレンボードのかわりに紙粘土などの素材を用いるという対策が考えられる。

TESIMO で学ぶことのできる機能形態学、運動力学は高度な内容であるため、高校レベルの物理学等で取り扱うのが適切であるかもしれない。しかし、工作そのものは至ってシンプルで、小学校低学年でも十分に作ることができる。あまり難しいことを考えずに、「動くおもちゃ」感覚で楽しむことが第一ではないかと思う。今回、紹介した TESIMO をプロトタイプとして、さらなる改善と活用方法を引き続き探っていきたい。

#### 引用文献

- Alexander, R. McN. 1999. Energy for animal life. Oxford University Press, N.Y.
- Grillner, S. 1985. Neurobiological bases of rhythmic motor acts in vertebrates. *Science* 228: 143-149.
- Hildebrand, M., Goslow, G. 2001. Analysis of vertebrate structure, 5th edition. John Wiley & Sons, N.Y.
- 清水博. 1990. 生命を捉えなおす, 生きている状態とは何か(増補版). 中公新書, 中央公論社, 東京.
- 多賀源太郎, 山口陽子, 清水博. 1992. 生物をデザインする: 二足歩行運動の神経筋骨格系モデル. *物性研究*59: 125-153.
- 多賀巖太郎. 2002. 脳と身体の動的デザイン 運動・知覚の非線形力学と発達. 金子書房.
- 山崎信寿. 1984. ヒトの体型と歩行運動. *バイオメカニズム* 7: 287-294.



## 資料 1

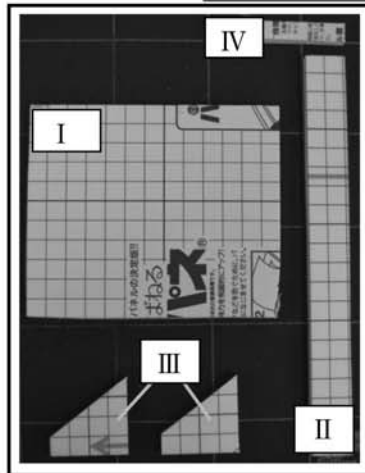
# テシモつくかた TESIMOの作り方

### きぎょうなが 作業の流れ

1. 土台を作る→2. TESIMO を組み立てる→3. 土台に TESIMO を取り付けて、両方の足を揺らして実験してみよう!!!

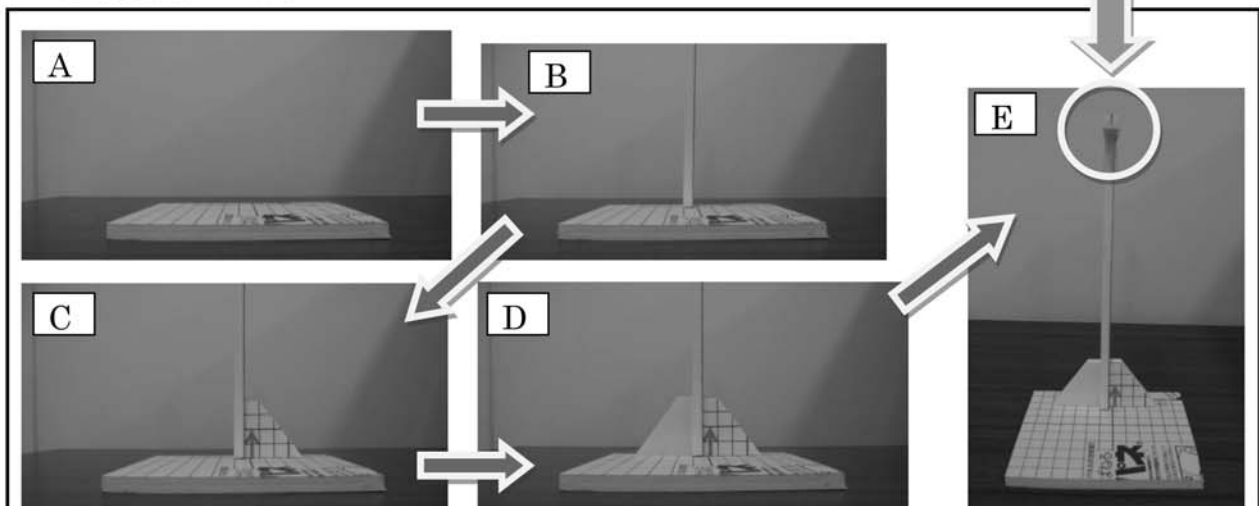
### 1.土台の作ろう

I)下の写真を見ながら、部品を集めましょう。I、II、IVを1個ずつ、IIIを2個、持ってきてきましょう。



部品IVの先端にクギを取り  
付けます

### II)土台を組み立てよう

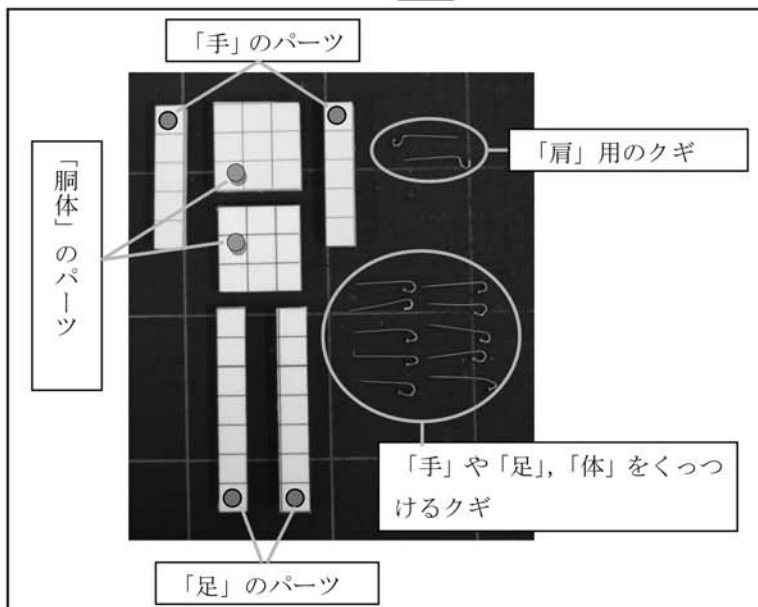


- A) 部品 I を平らな台の上に置きます
- B) 部品 II を部品 I の上を立て、両面テープでしっかりと固定します
- C), D) 部品 II がぐらぐらしないように、両側から部品 III ではさみ、両面テープを使ってしっかりと固定します。
- E) 最後に部品 II のてっぺんに部品 IV を取り付けて、TESIMO をぶら下げるためのクギを挿します。

土台ができたなら、裏面に進んで、つぎは TESIMO を作りましょう

## 2. TESIMOの作り方

I) 下の写真をみながら、部品を集めましょう。「手」、「体」、「足」の部品を2つずつ、「肩」用のクギを2本、「手、足、体」をくっつけるクギを合計10本用意します。



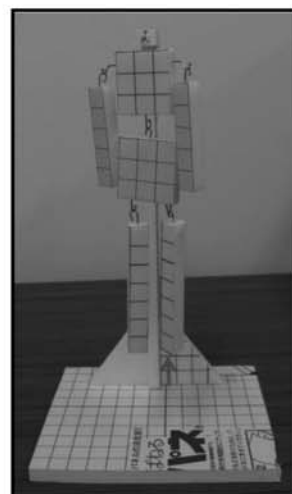
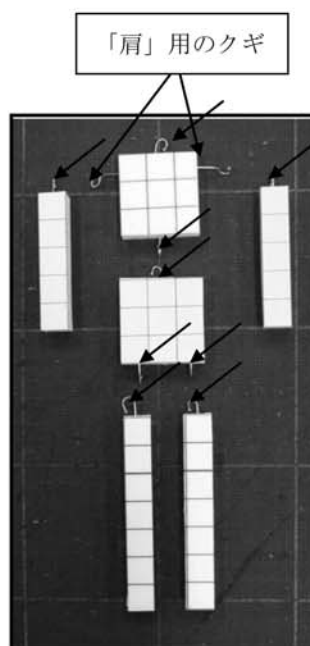
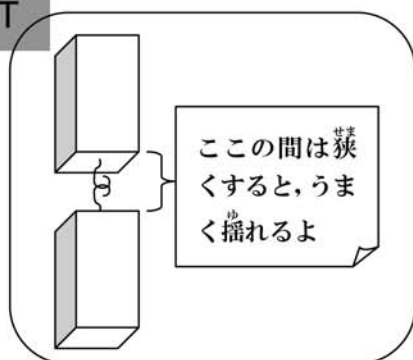
### II) 組み立て手順

各パーツにクギを取り付けていきます。「手」と「足」にはそれぞれ1本ずつ挿します。

左の写真をよく見ながら、「体」の横に挿すクギは「肩」用を使います。腰にあたるクギは真ん中に挿してください。

各パーツにクギを挿したら、それぞれを繋げていきます。  
(※それぞれのパーツの隙間をあまり開けないようにしましょう)

#### ☆POINT



### 3. 土台に TESIMO を取り付けて、揺らしてみよう!!!

TESIMO の足を揺らすとどのような動きをするのか観察してください。