

# 高重心モデルを用いた動的安定制御と知による身体制御

## Dynamic control using the high center of gravity model and Body control by intelligence

長谷川 克也\*1

Noboru Hirose

跡見 友章\*2

Kazuya Tanaka

廣瀬 昇\*2

Tomoaki Atomi

\*1 JAXA 宇宙研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

\*2 帝京科学大学 医療科学部 理学療法学科

Teikyo University of Science, Faculty of Medical Science, Department of Physical Therapy

田中 和哉\*2

Katsuya Hasegawa

清水 美穂\*3

Miho Shimizu

跡見 順子\*3

Yoriko Atomi

\*2 帝京科学大学 医療科学部 理学療法学科

Teikyo University of Science, Faculty of Medical Science, Department of Physical Therapy

\*3 東京農工大学 セルツーボディダイナミクスラボ

Tokyo University of Agriculture and Technology, Cell to Body Dynamics Laboratory

### 1. はじめに

私たちは地球上に生活しており、日常生活では空気を感ずることがないように重力を感じることなく生活している。

重力は力、摩擦、対流などの多くの物理現象として様々な形で私たちの生活に影響を与えている。生活の上で欠かせない歩行も重力により可能な移動手段であり重力がない状況では不可能なことのひとつである。重力がない状態で歩行ができないことを感ずるでは、誰でも経験がある事として水中での歩行があげられる。水中では歩くことが非常に困難になるが、浮力により重力が相殺され足を地面に押し付ける力ほとんどなくなるからである。頭を水面上に出していれば幾分足を地面に付ける事が可能だが、完全に水没してしまえば浮いてしまうので足が地面をとらえることができず歩行が不可能になる。もちろん水中歩行では移動する際に水の抵抗があり地上のような速度で動くことができず行動が制約されるが、風速 30m/s を超えるような強い抵抗を受けた状態で風上に歩行する事を考えると水中歩行の困難さの主要因は重力の喪失であり移動時に発生する水の抵抗ではないことがわかる。

人間の生活に重力は無意識下で取り込まれ、文明生活に切り離せない機械も重力を期待して設計されていることが多く、無重力下での運用に支障をきたすものが多

い。自動車も歩行と同じで重力がなければ走行できず、現代の日常生活に欠かせない洗濯機や冷蔵庫も重力がない状況では期待した動きはできない。

このように重力は文明の発達にも影響を及ぼすが、文明を作ったヒトの特徴の一つとして二足歩行があげられる。

一般に構造体は重心位置が低く、支える面積が広いほど安定した状態を保つことが可能とされている。ヒトを構造体として見た場合に二足歩行を得たことにより四足歩行に対し非常に重い頭部を高い位置に持ち上げたため重心位置が高くなった。また、それまで四足の接地点に囲まれた等価的な面積で重心を支えていたものが、二足になったことで足の裏のみの面積で支えなければいけなく、2つの理由から重力下での静的安定に対して非常に不利となった。

しかし、ヒトは進化の過程で二足歩行を手に入れて静的な不安定を得ることにより、その制御に動的制御を取り入れる必要が生じた。

そこで本研究では、単純な高重心モデルを作成し重心の位置の変化で起こる動的安定性について体感し、このモデルを用いることで、重力下での動的制御の安定を考えた場合にヒトが重量物である頭部を上配置し重心を高くしことは高重心構造体として進化したことにより得た「知による」身体制御について考察する。

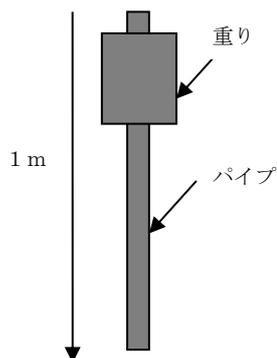
連絡先:長谷川克也, 宇宙航空研究開発機構, 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1, hasegawa@keisoku.jaxa.jp

## 2. 動的安定性

### 2.1 高重心モデル

重心の高い構造体が不安定であるかを体感するために長さ1mのアルミ製の棒に重りを付けた単純な機器を作成した。第1図に示すように重りは棒の片側に固定されることで、バランスが崩れ重心位置は重りのある方に偏る。その棒を指の上でバランスをとり、立てることで高重心と低重心の動的安定性について体感した。

このモデルは重りを上にして立てることで高重心モデルとなり、重りを下にすることで低重心モデルとなり単純な構造ながら2つの重心表現可能であり、簡単に高重心と低重心の動的制御を体感できる。



第1図作成した高重心モデル

### 2.2 実験

本モデルにおける実験は動的安定性と制御の体感であり、短時間に簡単にできることから多数の被験者に行ってもらった。

高重心の方が指の上に立てやすいことを感覚的に知っている被験者も多かったがモデルを使い低重心と高重心の扱いやすさを実感することで、高重心の方が動的安定性を生みやすいことが実感できた。その結果どの被験者も重心が高い方が指の上に立てておくことが容易だと答えたことから、モデルの実験効果はあったと言える。

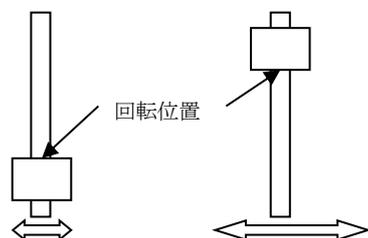
### 2.3 動的安定性

このモデルを指で支えた時に棒の傾きは指を支点にして回転運動し、人間の知覚では棒が一定以上傾いたときにバランスが崩れたとして制御を行うため、重心位置の高い低いには関係なく制御の開始は同じと考えられる。

崩れたバランスは重力により加速され大きくなっていくが、回復には重りの慣性を用いて運動により棒を重りの下に移動させる。また、崩れたバランスを回復するための動作は、指の運動から直線運動から重心位置を支点とした回転運動となる。このようにこのモデルではバランスが崩れるモードと、回復するモードでは重力と慣性により運動モードが異なる。

このモデルの重心位置は重りの付近に存在し、低重心では支点が近く高重心では支点が遠くなる。そのため棒を直立させるための回復運動は一定の速度が必要となるが、近い支点を動かすには大きな力を高速に動かす必要があり、遠い支点では弱い力で低速で制御することが可能になるため、緩やかに弱い力と広い面積で制御できる高重心モデルの方が動的制御化しやすい。

以上のことから静的では高重心構造体も、不安定を前提とし



第2図 重心位置と動的制御の可動範囲

制御を含めた動的安定性では低重心構造体よりもより安定と言える。

## 3. まとめ

前述のとおり、高重心構造体は動的安定性に優れる形態と言える。このように、人間が直立し二足歩行に進化したことは重力下での静的安定性を失ったが、引き換えに動的安定性を手に入れ、それを制御するために面の支持から点の支持への能力が必要となった。

一定上の速度のある行動では動的安定性を意識せずに安定を保持することが可能であるが、低速での運動は動的バランスを意識せずにバランスを保持することが難しくなる。

動物が狩りなどの場面で音を立てずにゆっくりと近づく場面では、四足歩行動物であれば常に三点支持をしていれば重心位置は三点支持の中に収めていけばバランスの崩れは気にすることは無いが、ヒトの場合は移動のために一足保持になり前提となるような音も立てずに移動する場合は、次に足を下ろす位置を間違えれば重心移動ができなくなり次の移動ができなくなる。ヒトが進化により二足歩行になり、このような動作には人の知が介入しないと物理的に円滑動作ができず目的を達成できなくなった。

そのためヒトは身体制御を動的制御に変化せざるを得ず、日常の様々な動きに手の補助や、バランスなどの知の介入が必要となり身体制御に知を取り入れなければ暮らせなくなったと言える。

ヒトが進化の過程で得た動的安定性は無意識下で行われるものがほとんどであるが、人間が文化を手に入れた後に行う知的行動では知によらなければ動的安定を得られなくなるものが多い。

バレエやダンスなどの芸術での足運びでは体の重心と動きが計算され美しい表現を生んでいる。また柔道の試合で使われる技は、人間の体の構造を研究し自己の重心と相手の重心変化を利用して効果的に技をかけている。このような芸術やスポーツなどの知的行為は身体の知的制御の成果であると言える。

第3図は秋田県の伝統行事である竿灯祭りであるが、人はかなり昔から高重心のものが動的バランスに優れることを知っていたようだ。同様の祭りは世界中にあり、高重心モデルの動的バランスのとりやすさは古くから浸透していることがわかる。また、それを利用した知的活動が行われていることも興味深い。



第3図 高重心バランスを使った伝統行事