

第11回 日本構造医学会 京都学術会議

●11th Japan Society of Structural Biomedical Science

一般演題

ヒト歩行モデルの研究における構造解析の学習

落合 弘志

(日本構造医学研究所
附属臨床医療センター)



はじめに

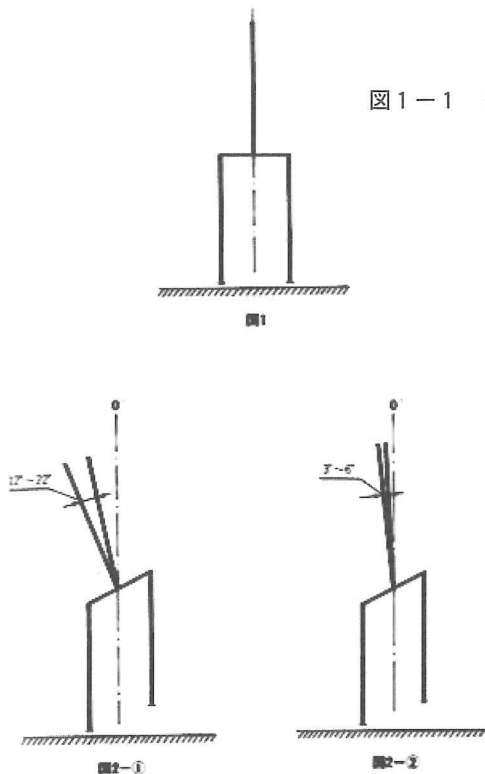
歩行観察をすることは臨床において診断の第一番目に得られる情報であり、それを理解することはより診断の正確性を高めるために必要である。歩行解析は、マレーをはじめとして構造医学の原理、など様々になされているが、それを再現している直立二足歩行ロボットは現時点ではほぼないと言える。直立二足歩行ロボットの開発の歴史をみると、ホンダ技研の

ASIMO、早稲田大学高西研究室のWABIAN-2など、コンピュータ制御のものはかなりの進化を遂げている。これらは、制御の特徴としては重心センサーとコンピュータによるフィードバック回路を形成している。コンピュータの高速化によって達成されているが、ヒトのリンク機構は達成されていない。ラジオコントロールキットのロボットも多数市販されているが、これらの場合はプログラムされた動きをトレースしてゆくフィードフォワード制御を中心としており、ヒトのそれとは根本的に異なる。今回は、ヒトのリンクのメカニズムを再現することを目的として、あらたな骨盤クランクシステムのモデルを考案し、それを実際に動かして画像に記録、観察した。また、その動きとヒトの動きに類似性があるかどうか、実際のヒトの動きを撮影、観察した。また特徴的な動きのある人工膝関節のヒトの動きを同様に観察、比較した。

モデルの作成

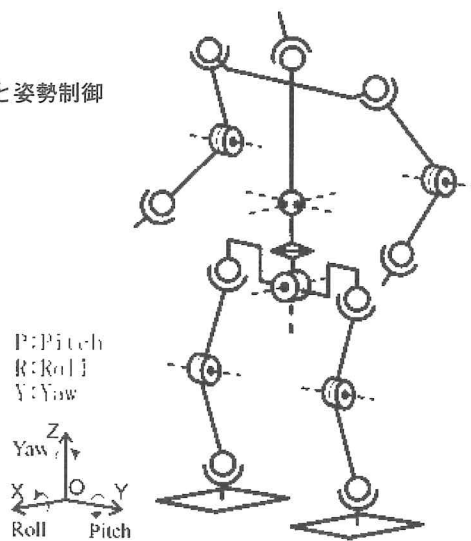
モデル作成にあたって、構造医学の原理で提唱

図1-1 ヒトの歩行と姿勢制御



『構造医学解析1』より

しているヒトの直立二足歩行において重要な要素である恥骨クランクとジャイロシステムの再現を目指し、設計した。前述のASIMOやWABIAN-2などの特徴はコンピュータによる多関節制御と重心センサーによるバランスシステムの組み合わせであり、これらはヒトの動きを外見上はかなり再現していると言われているが、実際は高速なコンピュータ制御により達成されていて、ヒトの場合、神経伝達速度は跳躍伝導で約130m/sec.で実際に倒立振子の制御速度は一軸性でも500m/sec.であることから、これらの高速制御はヒトの体では達成できないものであり、これらのような神経伝達による制御だけではヒトは直立動的安定は不可能である。構造医学では神経伝達による筋収縮によるバラ



WABIAN-2のリンクモデル(高西研究室ホームページから転載)

構造医学モデル

2次元解析



正三角形

寛骨がクランク運動をするシステム

3次元解析



正四面体

図1-2 Weight bearingのしくみ

ンス機構だけでなく構造的な制御機構の存在を指摘している。従来のモデルの特徴は基本的に2次元で静的な安定をもとに作られているのに対し構造医学モデルでは、3次元的な安定と動的安定性をもとに解析されている。(図1)これを立体的に再現するために骨盤形状を正四面体とし、それを中心から分割してその間に脊



図 2-1 ロボットの転倒



図 2-3 医局員 (固定なし)



図 2-4 医局員 (右膝固定)



図 2-5 人工関節 (右側) の患者



柱をとおり、二分割した骨盤がクランク運動するような形状を考案した。製作にあたって材料は加工と強度のバランスがよく工作がしやすい

アクリルを使用し、駆動部分はタミヤ製の工作キットを使用した。

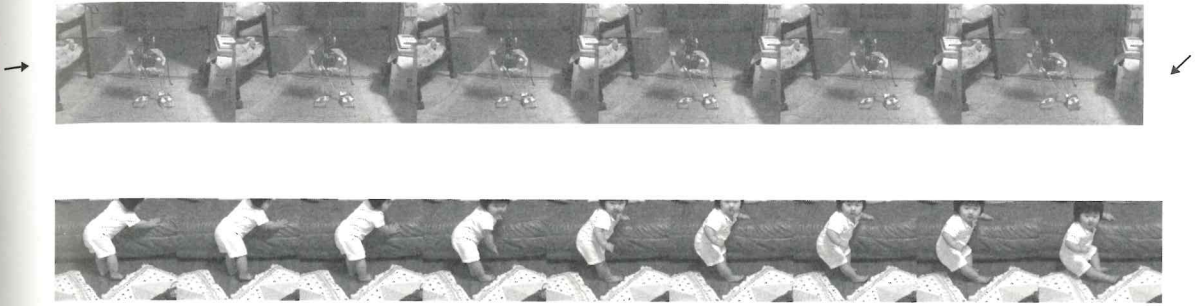


図 2-2 子供の転倒

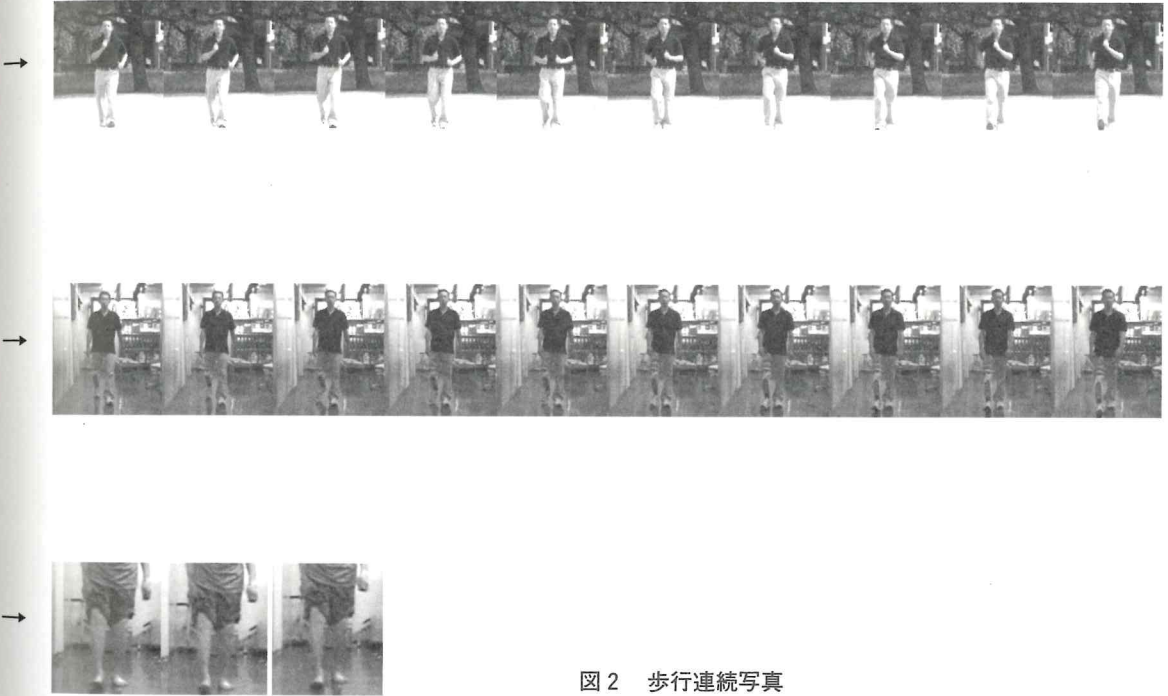


図 2 歩行連続写真

動作と観察

まず、最初に骨盤クランクシステムを製作し、

足をつけた状態で動かし様子を観察した。足は前にあがらず後方に転倒した。その様子を何度も繰り返し観察し、転倒の様子をビデオで撮影

した。ビデオカメラはSony製HDR-HC3を使用し、高速度撮影モードで撮影、動画をスローモーションで観察した。掲載にあたっては、パソコン(Apple iBookG4)に取り込んで画像編集ソフト(Quicktime Pro)でフレームごとに分割表示している。この手法は日本構造医学研究所、加生研究員の発表を参考にしている。その結果を図2に示す。

転倒するときの特徴は、真後ろに倒れるのではなく、股関節を支点に回転しながら転倒する様子が観察された。これを吉田勤持総院長にみていただいた際、膝関節の運動機能を再現できていない問題について指摘を受けた。また医局員の子供の動きがこれに近いという指摘を受け、撮影して比較することにした。製作したロボットと、9ヶ月の子供の転倒する姿を比較すると、非常に似た動きをすることがわかった。この動きを観察しているなかで、どうして転倒するのかを考察した。

ここでは膝関節の運動が不全である点に注目した。膝の運動は屈曲伸展と同時に回旋運動がある。これは、屈曲するとき運動を回旋運動によって逃がすことで衝撃の緩衝を行っていることは構造医学では述べられているのであるが、今回制作したものはその機構がないために足底反力を逃がしきれず前方への推進力が発生しない。生理的揺動範囲を超える傾きが発生し、後方へ回旋しながら転倒することがわかった。

この観察をした後、医局員の協力をあおぎ、歩行を撮影し観察することにした。歩行を正面、側面から撮影し、その動きを観察した。また、膝を回旋しないようにテーピングを施した状態をつくりだし、その歩行も撮影し観察することにした。その結果、膝の回旋を固定して歩いた場合は、固定なしで歩行しているときには見られない地面から足が離れる瞬間に母趾が跳ねる

ように外旋する現象が観察された。また両足を固定するとき両足共にこの現象は観察されたが、片足だけ固定したときに固定していない側の足も同様に外側に跳ね上がる現象が確認された。また被検者である医局員が固定をすると転倒しそうになった。またテープを外した後もテープを貼ってあるときと同様の動きをしばらくの間することが観察された。

このことから臨床でよく転倒をする人工膝関節をもつ患者のことを思い出したので、本人に依頼し歩行の撮影の許可を得て撮影し観察した。観察結果を比較したところ、膝をテープ固定したときと同様に足が離地する際に外側へ跳ね上がる現象が確認された。さらに試作機と比較すると、試作機は前に出ようとすると股関節の捻れが足に伝達し、膝関節での捻れの緩衝ができないために股関節に回旋運動が伝わり股関節が捻れ抜け落ちていたが、人工膝関節の患者の場合は、足を浮かせたときに人工膝関節が捻れを許容できない部分を解放するために足が跳ね上がるように外旋することがわかった。

- これらのことから、次のことが考察された。
- ①膝関節は屈曲伸展のみならず大きな回旋運動の許容がなされている。
 - ②もし膝関節回旋運動がなければ足底反力を受けきれずに転倒してしまう。
 - ③人工膝関節を持つ患者が歩けなくなったり転倒が多いのは、膝の回旋運動を大きく許容するように人工膝関節が設計されていないためである。
 - ④膝を片方固定することで非固定側が固定側同様の動きをすることがわかり、これは非障害側も人工膝関節の動きによって障害されてしまう可能性がある。

その後と課題

ロボットは現時点で歩行を達成しておらず、課題が山積している。さらに改良をすすめてはいるが、達成しているわけではない。しかし、膝の回旋運動をもたせたところ、転倒の仕方が少し滑らかになった。また、後方にしか転倒しなかったのが、前方にも転倒するようになった。上肢をつけることによって立ち姿が安定するようになっている。現時点での問題点を整理すると以下のようになっている。

- (1) 股関節支持機能が十分でなく、前方に動くとするとう股関節が内旋して倒れてしまう。
- (2) 足関節の支持機能が十分でなく、片足立ちでの支持ができていない。
- (3) WBクランク運動と身体の傾きのバランスが悪く、その角度や量の検討が必要である。
- (4) 膝関節機能が十分でなく、屈曲・回旋が適当でなく滑らかな動作ができていない。何度も動かして様子を見たときにしばらく揺れながら立っているという状態もあった。ただ前に出るだけの片足立ちまではいかず、揺り戻しが増えてしまい転倒してしまった。それが収束する範囲を設計できたら推進力になるのではないか。

最後に

この研究というよりはただの失敗の結果の内容は、その失敗の結果である転倒の動きのなかにヒトらしさを見つけ、そこから実際の患者の動きの問題点を指摘できたことで十分意義があったと考えている。また、モノを作るという作業はとても楽しく、苦しいことが多い日々のなかで楽しく臨床を考える機会というものがあることが、非常に充実した時間であった。引き続き設計の見直し、製作をする予定である。

謝 辞

このような機会を与えて下さった吉田勲持日本構造医学研究所総院長、家族を撮影したり歩行観察に協力して下さいた日本構造医学研究所医局員のスタッフには多大なご指導、ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 構造医学の原理 吉田勲持著
 構造医学解析 I 吉田勲持著
 「移動肢から離れたヒトの上肢」加生源紀、第7回日本構造医学会名古屋学術会議発表、季刊構造医学32号

<理事長総括>

地球の慣性系の制御システムを利用して簡単なメカニズムで動かそうとしたロボット。研究のありかたには二つある。

①ある機能を持たせるために、その機能を目指して要素を引き出して設計してゆく方法。そしてその機能（二足歩行）を、それがどれほど人と類似して行くかという事を追っていく研究。現代のロボット（ホンダ等）である、複雑なコンピュータ制御が必要である。似ているのがすべてであるという研究。

②破壊のメカニズムを観るという研究。人機能をみるときに転倒にスポットを当てて、その倒れ方から考察して、破壊のメカニズムを解析することにより、よりそれ自体に近づけて行くという研究のあり方。破壊から逆算する手段。今回の、ロボット研究発表では、膝運動における回旋のメカニズムを、崩れ現象を通して足関節の反発メカニズムをアーチ保守から導き出す研究がなされた。