



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	全身性動作における体重心移動のダイナミクス [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	佐藤, 洋一郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	甲第12446号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63775
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoichiro_Sato_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（教育学）

氏名 佐藤 洋一郎

審査担当者	主査	准教授	保延	光一
	副査	准教授	阿部	匡樹
	副査	教授	山中	正紀（保健科学研究院）
	副査	教授	山田	憲政（中京大学スポーツ科学部）

学位論文名

全身性動作における体重心移動のダイナミクス

これまで身体運動制御の研究は、その研究のやり易さから、手伸ばし動作などの体重心の移動が伴わない重心に対する相対動作を用いて主に行われてきた。しかし著者は、長年、理学療法士として障害者や予後の機能回復訓練の仕事に従事し、歩行のような体重心移動を自立的に行う運動機能の獲得あるいは回復が自立した生活に不可欠であることを経験してきた。そして、これまでの研究で得られた知見に加え、体重心移動が伴う全身性の動作において、その動作の目的を達成するために身体内部でどのようなメカニズムが働いているかを明らかにする必要性を提起した。

そのような研究背景で始まる本研究論文は、5つの章から構成されている。第1章は文献研究であり、上肢運動のような体重心移動が伴わない動作の研究成果を検討しつつ、体重心移動が伴う全身性の動作の制御研究を検討した。その結果、以下の2つの点を明らかにした。まず、体重心移動が伴わない動作においては、末端部である手先の運動軌道を生成するために、各関節が協調して組織化することで運動が成立していること、そして体重心移動が伴う全身性の動作においては、中枢神経系の制御対象は体重心の移動であるとされ、その体重心の移動は課題に依存した形として制御されており、その軌道はエネルギー消費が最適になるように制御されると仮定されていることである。さらに第2点目の到達点を批判的に検討し、体重心の移動を伴う制御メカニズムを明らかにするためには、次の2つの点を検討する必要があることを導いている。

- 1) 体重心移動が課題に依存するならば、その課題依存性の体重心の移動を達成するために関節運動の組み合わせが柔軟に変化可能であるかを検討する必要がある。
- 2) 体重心の移動がエネルギー消費の最適化に基づいて制御されているならば、その代表とも言える歩行において、移動という目的を達成するために、片脚支持期および両脚支持期においてエネルギー消費が最適に行われるメカニズムを検討する必要がある。

続く3つの章が本研究の中心を成すもので、この2つの課題を検討する実験研究で構成されている。第2章は、しゃがみ込み動作を対象とし、終了肢位における体幹の屈曲角度を5つに設定し、体重心移動がしゃがみ込みという課題に依存して関節運動の組み合わせが柔軟に変化可能かを検討した。その結果、体重心がそれぞれの課題で下方にほぼ垂直に下降する中、終了肢位における体幹の屈曲角度

の増加に伴って、下腿の傾斜角度は減少するが、大腿の角度は体幹の屈曲角度によらず一定の値を示すことを明らかにした。これらの知見は、体重心軌道はしゃがみ込むという課題に依存しており、その軌道を生成するために下肢が法則的に協調していることを示したと言える。この成果は2015年、査読付きジャーナルである *Journal of Behavioral and Brain Science* に採択され掲載された。

第3章は、体重心移動の代表である歩行において、移動という目的を達成するために、その片脚支持期におけるエネルギー消費の最適化に関するメカニズムを検討した。この実験的研究では、片脚支持期が可変長の逆振り子モデルで表されることに着目し、被験者の歩行データを力学的に分析するだけでなく、そのモデルから演繹される動きを比較検討している。その結果、着地直後の脚部が屈曲する局面で、体重心が前方へ加速する瞬間があることを実験データから明らかにし、さらにモデルにおいても、脚部に相当する棒部分の長さを着地時に短縮させると、パラメータ励振という力学現象により、体重心にコリオリ力が発生することで、体重心が前方へ加速することを明らかにした。この両解析から、体重心移動を伴う歩行の片脚支持期では、体重心の移動に関わるエネルギー消費の効率を高めるメカニズムが働いていることを明らかにしたと言える。

第4章は、同様に歩行を用いて、移動という目的を達成するために、その両脚支持期における、エネルギー消費が最適に行われるメカニズムを検討した。従来、両脚支持期は、後脚が加速する力を発揮するのに対し、前脚が減速力を作用させるので、非常に効率が悪い局面であると考えられて来た。しかし本研究では、両脚がどのようなタイミングで力を入れるかを、両脚が発揮する力の位相差という観点に着目して検討した。実験は、被験者を床反力計の上で歩かせ、記録された床反力計の値からヒルベルト変換を用いて前後脚における垂直成分と前後成分それぞれの瞬時位相を求めた。さらに、各成分において求められた瞬時位相から前後脚が発揮する力の相対位相を算出した。その結果、床反力の垂直成分は両脚支持相全体を通しておよそ 180° の相対位相であり、一方で前後成分はおよそ 40° から 50° 程度の相対位相であった。この垂直方向の位相差は、後脚から前脚へ滑らかに荷重が移行したことを示唆する。一方、前後成分については、その相対位相が垂直成分より明らかに小さな値を示した。このことは、これまで考えられて来たように後脚と前脚が相反する力を発揮するのではなく、両脚がタイミングをずらして力を発揮していることを意味しており、体重心の移動を妨げないことを明らかにしたと言える。

第5章はこれらの実験結果を総括的に検討し、次の2つの結論を導いている。1) 体重心移動を伴う全身性動作は課題に依存して制御されており、それを構成する関節運動の組み合わせは、課題に依存した体重心の移動を実行させるために柔軟に変化できる。2) 体重心移動を伴う全身性動作は運動のエネルギー消費を減少させるように力学的な現象を利用し、両脚の力のタイミングもエネルギー消費を減らすように制御されている。

本研究は大きく2つの面から評価される。1つは、しゃがみ込みや歩行と言った全身性動作の制御メカニズムに新たな知見を提示したことである。もう1つは、以上の研究結果により全身性動作の新たな指導指針の提示が可能であり、機能回復訓練プログラムの開発への大いなる貢献が期待されることである。

以上の内容から審査委員一同は、佐藤 洋一郎氏の学位請求論文が博士論文に相当すると判断し、佐藤 洋一郎氏を北海道大学博士（教育学）の学位を受ける資格があると認める。

