

# 周波数解析に基づいた歩行および走行時の体幹下部と下肢各部位の連動性

## Relationship of Movement between Lower Trunk and Lower Segments during Walking and Running through Frequency Analysis

知能機械工学コース

ヒューマンメカトロダイナミクス研究室 野原 壮峻

### 1. 緒言

歩行動作および走行動作は、日常生活やスポーツにおける基本的な動作の1つであり、身体を15部位に分割した場合、部位同士が連動しながら、同じ動きを繰り返す周期的な運動である。これらの動作の特徴を解明することでリハビリやスポーツ指導などへの応用が考えられる。これらの動作を対象とした研究として、大腿部の筋量と下肢関節の関係に着目した研究<sup>(1)</sup>や、歩調や歩幅、走行速度に対する身体各部位の動きに着目した研究<sup>(2)</sup>などこれまで多くある。しかし、これらの研究は時間領域で解析しているため、動作の周期的な特徴を読み取ることが難しいといった問題点がある。

これに対し本研究グループ<sup>(3)</sup>では、動作の特徴を表すパラメータの1つである並進加速度に周波数解析を施すことにより、周波数領域で歩行動作の周期的な特徴の解明を行ってきた。さらに、同様の手法を用いて周期的な動作である走行動作においても各部位の特徴を読み取った<sup>(4)</sup>。

加えて、これらの動作における部位同士の関係が明らかとなれば、より詳細な動作の特徴解明につながると考えられる。部位同士の関係について、先行研究<sup>(5)(6)</sup>では関節に着目した研究がほとんどであり、関節を構成する2部位の関係しか読み取ることができない。そこで、部位ごとの周波数解析結果を用いて2部位の振幅および位相を周波数成分ごとに比較することで、隣接していない部位同士の関係についても解明することができると考えた。

以上より、本研究では、身体重心が位置し下肢運動の基点となる体幹下部と推進力の生成や衝撃を吸収する役割を担う下肢各部位(大腿、下腿)に着目し、歩行動作および走行動作における体幹下部と下肢各部位(大腿、下腿)の連動性を周波数領域で解明することを目的とする。このとき、歩行動作および走行動作において主要なパラメータの1つである歩調に着目し、歩調を変化させたときの体幹下部と下肢各部位の連動性について検討する。

なお、本要旨ではページ数の都合上、歩行動作<sup>(7)</sup>については割愛し、走行動作の結果について述べる。

### 2. 実験方法

はじめに、並進加速度を計測するための実験方法について述べる。実験対象者は健康男性5名(身長 $1.75\pm 0.02$  (m)、体重 $64.00\pm 5.62$  (kg)、年齢 $21.80\pm 0.75$  歳)であり、本学倫理審査委員会(No. 309)の承認を得た上で、事前に実験内容を説明し、同意を得て行う。実験では20歩以上走行が可能な走行路を走行し、慣性センサ式モーションキャプチャシステム Xsens MVN Link(Movella 社製、1台、慣性センサ17個)を用いて身体15部位の近位部におけるグローバル座標系での並進加速度をサンプリング周波数240 (Hz)で計測する。また、メトロノームを使用して150BPMから200BPMの範囲で10BPMごとに歩調を指定し、各歩調につき10試行ずつ計測を行う。

次に、解析手順について述べる。計測したデータから定常走行となる10歩分のデータを解析ソフト Xsens MVN Analyze(Movella 社製)を使用して抽出する。抽出した体幹下部および下肢各部位(大腿、下腿)の並進加速度に遮断周波数20(Hz)のローパスフィルタでノイズ除去し、FFT(高速フーリエ変換)を施して並進加速度を周波数領域で表す。FFTにより得られた各部位の振幅および位相を用いて、体幹下部に対する下肢各部位(大腿、下腿)の振幅比および位相差について、周波数成分ごとに10試行分の平均値および標準偏差を算出する。大腿と下腿の振幅および位相は左右で大きな違いが見られなかったため、本研究では右大腿、右下腿を解析に用いる。なお、左右加速度は振幅が小さかったため、鉛直加速度および前後加速度の結果を解析する。

### 3. 結果

図1~図5に鉛直加速度、前後加速度における体幹下部に対する下肢各部位の振幅比および位相差で特徴のみられた結果を示す。本研究では、歩調を60で除して算出され、1歩に1回の波を表す基本周波数に着目する。縦軸は振幅比または位相差を表し、横軸は周波数成分であり基本周波数を1としたときの倍数で表す。

体幹下部に対する大腿の振幅比および位相差は、実験対象者間で大きな違いはなく、図1、図2に示した実験対象者Aのように歩調ごとに明確な差異はみられなかった。体幹下部に対する下腿の振幅比は実験対象者間で違いが見られ、図3、図4より実験対象者Dの振幅比の方が大きくなり、図で示していないが前後加速度の振幅比も同様の傾向を示した。体幹下部に対する下腿の位相差は、実験対象者間で大きな違いはなく、図5に示した実験対象者Aのように前後加速度では歩調ごとのばらつきがみられた。対して、鉛直加速度では歩調ごとのばらつきはみられなかった。

### 4. 考察

図1~図5にもあるように、振幅比および位相差は鉛直加速度および前後加速度ともに大腿より下腿の方が大きくなった。大腿は体幹下部と股関節を介して隣接する部位であるが、下腿は体幹下部に隣接していない部位である。そのため、体幹下部に隣接していない下腿の方が振幅比および位相差が大きくなったと考えられる。

図5より、体幹下部に対する下腿の位相差は、前後加速度では歩調ごとのばらつきが大きくなったが、鉛直加速度では歩調ごとに変化は見られなかった。Brughelli<sup>(8)</sup>によると、鉛直加速度は走行速度の向上に影響を与えないが、前後加速度は走行速度の向上に影響する傾向が強いとしている。そのため、前後加速度は歩調の増加によって体幹下部と下腿の動きのタイミングに差が生じ、歩調ごとにばらつきがみられたと考えられる。

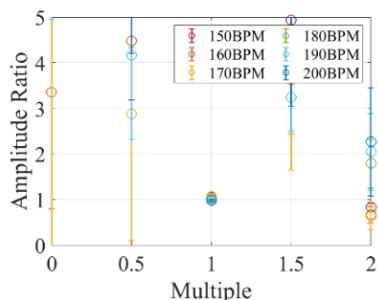


Fig. 1 Amplitude ratio in vertical acceleration of Right Upper Leg (Participant A)

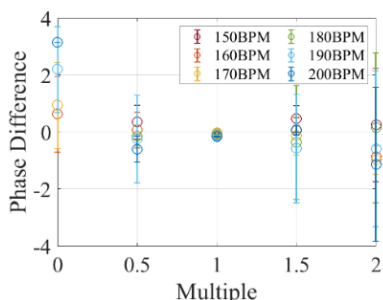


Fig. 2 Phase difference in vertical acceleration of Right Upper Leg (Participant A)

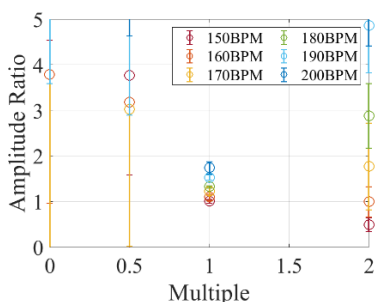


Fig. 3 Amplitude ratio in vertical acceleration of Right Lower Leg (Participant A)

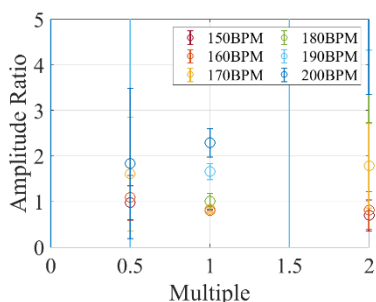


Fig. 4 Amplitude ratio in vertical acceleration of Right Lower Leg (Participant D)

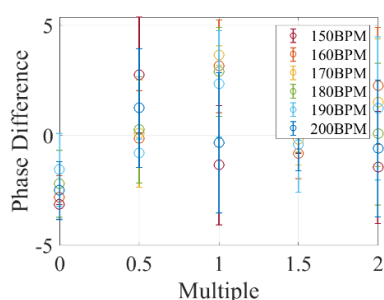


Fig. 5 Phase difference in anteroposterior acceleration of Right Lower Leg (Participant A)

図3, 図4より, 実験対象者間で違いが見られた体幹下部に対する下腿の振幅比から, 走行動作における運動戦略を読み取ることができると考える. 下肢各部位は股関節, 膝関節, 足関節によって動いており, 特に下腿は膝関節の動きの影響を最も受ける部位である. さらに, Stephen ら<sup>9)</sup>は骨盤の動きによって歩幅が増加し, 股関節を使った走行動作はより大きな推進力を得ることができると述べている. 実験対象者間で体幹下部に対する大腿の振幅比に差異はみられないが, 下腿の振幅比が小さい実験対象者 A は実験対象者 D より膝関節の動きが小さい. つまり, 実験対象者 A は股関節の動きをより利用した運動戦略を採用しており, より大きな推進力を得た走行動作であると考えられる.

## 5. 結言

本研究では歩行動作および走行動作における体幹下部に対する下肢各部位の連動性を周波数領域で解明した. 振幅比および位相差から部位間の時間的な動きのずれやより大きな推進力を得るための運動戦略などを読み取ることができた.

今後, リハビリやスポーツ指導などへの応用に向けて, 基本周波数以外の成分について検討する.

## 文献

- (1) 中島弘貴, Loh Ping Yeap, 高崎颯, 福元清剛, 福田修, 村木里志, “若年男性における大腿部の筋量と歩行中の下肢関節運動との関係性”, 日本生理人類学会誌, Vol. 23, No. 1 (2018), pp. 1-7.
- (2) Tim W. Dorn, Anthony G. Schache, Marcus G. Pandy, “Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance”, Journal of Experimental Biology, Vol. 215, No. 11, (2012), pp. 1944-1956.
- (3) 井上智暉, 芝田京子, “時間領域と周波数領域での解析による健常歩行の歩調と歩行動作の関係”, 第44回バイオメカニズム学術講演会(SOBIM2023), (2023), pp. 39-42.
- (4) 野原壮峻, 芝田京子, “周波数成分に基づいた走行動作における身体各部位の動作特性の解明”, 日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門講演会, No. 25-60, (2025)
- (5) Michael S. Orendurff, Toshiki Kobayashi, et. al. “A little bit faster: Lower extremity joint kinematics and kinetics as recreational runners achieve faster speeds”, Journal of Biomechanics, Vol. 71, (2018), pp. 167-175.
- (6) Yi Rao, Nan Yang, Tianyu Gao, Si Zhang, Haitao Shi, Yiqun Lu, Shuang Ren, Hongshi Huang, “Effects of peak ankle dorsiflexion angle on lower extremity biomechanics and pelvic motion during walking and jogging”, Frontiers in Neurology, Vol. 14, (2024), pp. 1-12.
- (7) 野原壮峻, 芝田京子, “周波数領域における歩行時の体幹下部と下肢各部位の連動性”, Sports Informatics and Technology, No. 25-15, (2025)
- (8) Matt Brughelli, John Cronin, Anis Chaouachi, “Effects of Running Velocity on Running Kinetics and Kinematics”, the Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 25, No. 4, (2011), pp. 933-939.
- (9) Stephen J. Preece, Duncan Mason, Christoher Bramach, “The coordinated movement of the spine and pelvis during running”, Human Movement Science, Vol. 45, (2016), pp. 110-118.