

歩行時の歩数分布形状が休憩時の心拍変動指標に対して及ぼす影響

○遠田 敦^{*1} 高橋正樹^{*2}
吉岡陽介^{*3} 佐野友紀^{*4}
渡邊秀俊^{*5}

キーワード：歩行、歩数分布、心拍変動指標、ストレス

1. 研究背景

健康の維持と増進のために適度な運動が不可欠であるといわれており、運動のなかでも特に「歩行（ウォーキング）」は手軽に実施できることから、多くの人々がこれに取り組んでいる。また、ウォーキング用シューズやウェアだけでなく、歩数や心拍数を計測するための器具も多く販売され、歩く場所そのものや一緒に歩く仲間の提供などといった関連サービスも数多く登場している。

その中でも、ライフログのひとつの方法として歩数を記録することが注目され、リストバンド型の歩数センサーと連動するスマートフォン用アプリが各社から発売されるなど、近年になって見られはじめた社会的な変化は注目に値する。センサーの小型化や低価格化に加え、スマートフォンとの統合されることによって、歩行など様々な人間行動の記録と連動したサービスが数多く登場するようになった。このような動きの中では、単なる記録としての「歩数」だけではなく、「歩行の質」がどのようなものであるかという知見が重要になってくるものと考えられる。

筆者らが過去に実施した研究¹⁾において日常の歩行を分析した際、小休止によって分節されたひと続きの歩行時の歩数を度数とするヒストグラムを描くと、べき分布に従うという結果が得られたことがある。この結果から推察されるのは、単に一万歩を歩くと一口に言っても、それをひと続きで一度に歩くのか、小刻みに何度も歩くのかということでは大きく異なり、この分布（以降、歩数分布と呼ぶ）の形状の違いが人間に対して及ぼす影響が少なからずあるのではないかと考えられる。

経験的に考えれば、一度に歩くのはその後の負担が大きく、小刻みに歩くのでは効果が薄いなどと想像できる。つまり、これらを両極とする数直線上のどこかに人間に好影響をもたらす歩行の質があるのではないかと考えられ、これを明らかにするための研究を実施する。

2. 研究目的

歩数分布の形状を変数とした歩行実験を行い、その

後の身体的な影響を指標としながら、歩行の状態を評価するための知見を得ることを目的とする。

特に本研究では、歩数分布の形状をべき分布とし、分布形状を表す指標値としてそのべき指数を用いる。また、分布形状による身体への影響は歩行後の心拍の状態に現れるものと仮定し、広く用いられる心拍変動指標のひとつである LF/HF 値を用いて指標化を行うものとする。

3. 研究方法

3.1 心拍数の計測

心拍数の計測には Polar 社の RS800 を用いた（図1）。これは電極のついたベルトを胸部に装着することで心拍を捉え、手首に装着した腕時計型データロガーにデータを無線で転送するという方式のものである。



図1 心拍計（左：胸部装着ベルト 右：腕時計型データロガー）

腕時計型データロガーには赤外線通信機能が備わっており、記録されたデータは赤外線通信により PC へ転送することができる。データの閲覧には同社から提供されているソフトウェアである「Polar Pro Trainer Ver.5」を用いておこなう。

記録されたデータは、初期設定において約 1 秒ごとの心拍数の推移として表示されるが、心拍におけ

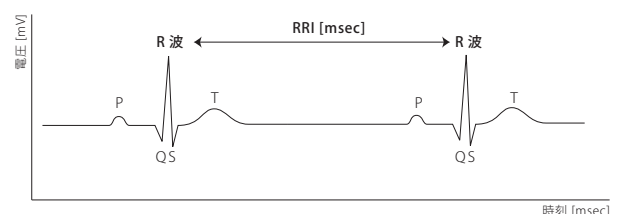


図2 心拍と RRI との関係

る R 波間の間隔 (R-R 間隔、R-R Interval : RRI) としても表示を変更することができる (図 2)。LF/HF 値の算出には RRI の推移波形から得られる周波数ごとのパワースペクトル密度を用いるため、心拍数ではなく RRI としてデータを書き出すこととした。書き出されるデータは、RRI の値と時刻とがタブ区切りになったデータである。

3.2 LF/HF 値の算出方法

LF/HF 値とは、RRI の推移波形から得られたパワースペクトル密度のうち、低周波数帯域 (Low Frequency、0.05 ~ 0.15[Hz] : LF) と高周波数帯域 (High Frequency、0.15 ~ 0.40[Hz] : HF) との比を指すものであり、心拍変動指標として広く用いられているものである。この値が大きくなるほど交感神経が優位の状態が相対的に多く、緊張状態 (ストレス状態) にあると推定できるといわれている²⁾。なお、歩行などの運動時には LF 成分が過大評価されることが知られているため、ここでは歩行時の LF/HF 値ではなく、静止時の LF/HF 値のみを対象とした。

3.1 項で取得された RRI データは、RRI の時系列推移として得られるが、その時間間隔は RRI 値そのものである。LF/HF 値の算出には 1 秒おきに計測された RRI データが必要となるため、元の RRI データに対してスプライン補間を行い、得られた波形から正確に 1 秒ごとの RRI データを再び得るという手続きが必要となる。この手続きは統計ソフトの「R (Ver. 3.0.1)」を用いて実施した。この手順により得られた RRI データのことを、以降では修正 RRI データと呼ぶ。

LF/HF 値の算出には Wolfram Research 社の「Matlab R2009b」を用いることとした。Matlab で修正 RRI データを読み込み、periodogram 関数を用いて周波数ごとのパワースペクトル密度推定を行う。その際、高速フーリエ変換を行うため、修正 RRI データのデータ数は 2^n 個でなければならないが、必ずしもこの数になるとは限らない。そこで、元の修正 RRI データ数よりも大きくて最も近い 2^n 個になるまで末尾に 0 の値を追加し、データ数を 2^n 個に揃えることとした。これらの手続きによりパワースペクトル密度を得て、LF 域と HF 域のスペクトル密度比 (グラフにおける面積比) により LF/HF 値を得る。参考のため、周波数帯と LF/HF との関係を図 3 に示す。

3.3 歩数分布の設定

本研究において実験時に被験者が歩く総歩数は 3,000 歩とし、1 分間の小休止によってこれを分節することで歩数分布を形成する。実際には既知のべき分布からランダムに値を抽出し、総歩数が 3,000 歩となるように調整を行うことで、目的のべき指数となる歩数分布を得ることとした。

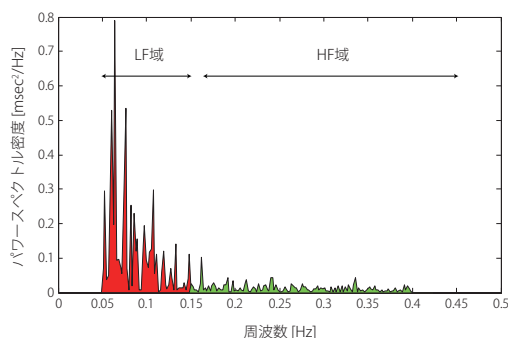


図 3 パワースペクトル密度と LF/HF との関係

変数として設定したべき指数の値は 0.5、1.0、2.0 の 3 種類とした。俗に「1/f の揺らぎ」と呼ばれる現象は、ヒストグラムを描いた際の分布がべき分布となり、そのべき指数が 1.0 となる状態のことをさす。自然界のさまざまな現象がこれに従うということが指摘されている。

このことを元に、1.0 を基準としてその 2 倍と 1/2 倍の値を設定した。以上のことから、べき指数ごとに歩く歩数を表 1 のように決定した。

表 1 実験パターンと歩数との対応

べき指数	歩数	総歩数
0.5	176、110、438、503、490、349、538、190、281	3000
1.0	74、14、126、82、222、10、622、22、24、19、299、48、55、212、54、39、334、60、164、25、33、27、67、60、294	
2.0	13、27、15、76、73、37、11、86、11、78、12、26、10、59、14、113、32、47、627、40、33、27、23、35、15、17、14、15、44、13、12、25、51、43、31、87、73、23、19、65、84、75、10、13、10、11、28、17、11、76、123、37、45、29、164、11、10、13、27、10、17、17、18、32、10、11、45	

3.4 実験場所・被験者

実験は T 大学の廊下とその付室にて実施した。実験期間は 2013 年 5 月から 10 月までである。被験者は 10 名であり、いずれも男性 (23 歳 ± 1 歳) とした。

3.5 実験方法

被験者は最初に実験に関する説明を受け、心拍計を装着する。計測を開始し、その後 5 分間は着座状態で安静に過ごす。その後、表 1 にある歩数を順番に歩く。所定の歩数を歩いたあと、その場で立位のまま 1 分間の小休止時間をとる。1 分が経過した後、次の歩数を歩くということを繰り返す。すべての歩数を実施した後、再び着座状態になり 5 分間安静に過ごす。この関係を図 4 に示す。心拍は最初の安静時間の開始とともに計測が開始され、終了後の安静時が終わるとともに停止される。

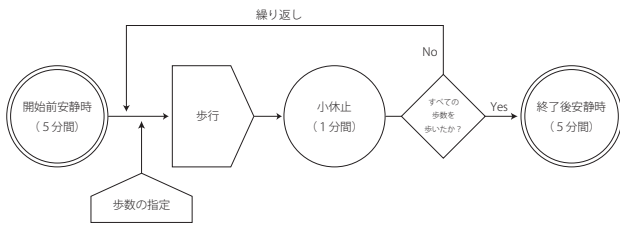


図4 実験の流れ

いずれの被験者も、実験変数として設定された3種類の歩行パターンすべてを実施するが、疲労による影響を考慮し、日をあらためて実施することとした。また、順序効果を考慮し、実施する実験パターンの順番はランダムとした。

3.6 分析方法

先に述べた手順に従い、被験者らの修正 RRI データから LF/HF 値を算出する。LF/HF 値は歩行開始前の安静時 (5 分間)、各小休止時 (1 分間)、歩行終了後の安静時 (5 分間) に対して算出する。得られた LF/HF 値は各実験パターン、各被験者ごとに正規化 (平均 0、分散 1) を行い、この値をもって分析を行う。

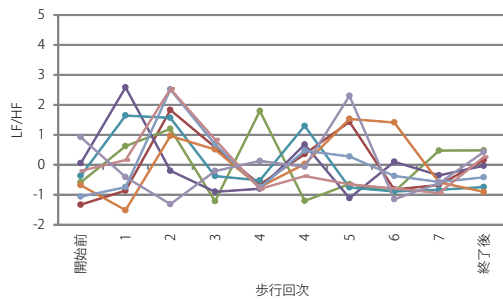


図5 歩行回数ごとの LF/HF 推移 (べき指数 = 0.5)

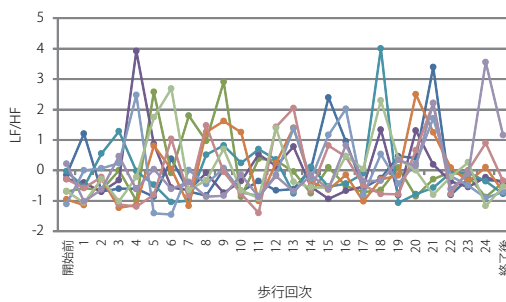


図6 歩行回数ごとの LF/HF 推移 (べき指数 = 1.0)

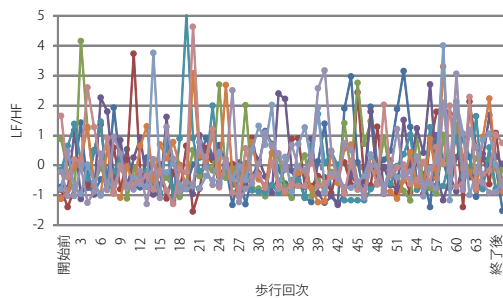


図7 歩行回数ごとの LF/HF 推移 (べき指数 = 2.0)

4. 実験結果および考察

実験により得られた LF/HF 値の推移を、べき指数ごとに図5~7に示す。各被験者ごとに推移をプロットしたが、これらのグラフからは理解しやすい時系列的な特徴は得られなかった。そこで以降では、統計量などを参考にしながら考察をおこなってゆく。

4.1 小休止前の歩数と LF/HF 値との関係

小休止前の歩数を横軸に、小休止時の LF/HF 値を縦軸とする XY 平面において散布図を描くが、各実験パターンごとのプロットの状態を把握しやすくするため、二次元カーネル密度推定による等高線グラフとして表現したものを図8~10に示す (これらのグラフには開始前と終了後の LF/HF 値は含まれない)。このグラフからは、等高線により描かれる楕円の広がる方

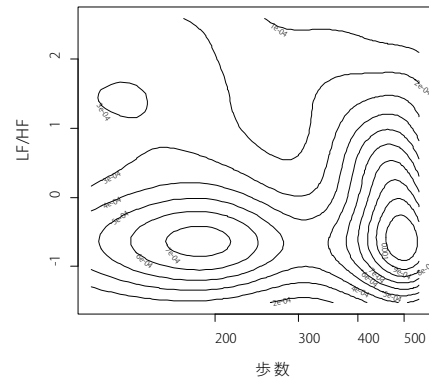


図8 歩数と LF/HF との対応 (べき指数 = 0.5)

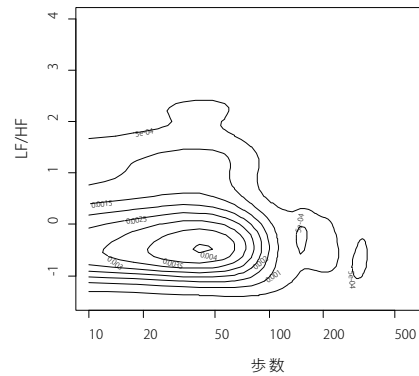


図9 歩数と LF/HF との対応 (べき指数 = 1.0)

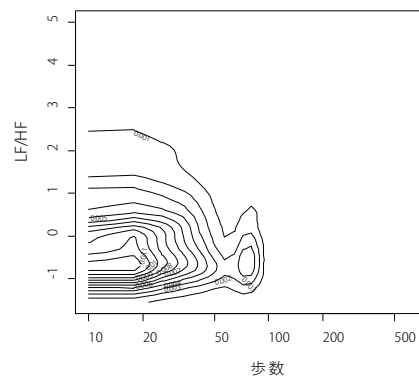


図10 歩数と LF/HF との対応 (べき指数 = 2.0)

向に分布が広がるものと解釈することができる。

べき指数が 0.5 の時 (図 8)、歩数の分布は 200 歩と 500 歩付近に中心があるが、500 歩付近の楕円は Y 軸上方にプロットが広がっていることから、200 歩付近の歩行に比べて LF/HF 値が大きくなりやすいものと考えられる。べき指数が 1.0 の時 (図 9)、歩数の分布は 50 歩付近に中心があるが、その楕円は横に広がっていることから、LF/HF 値の変動は歩数の影響を受けにくいと考えられる。べき指数が 2.0 の時 (図 10)、歩数の分布は 20 歩付近に密集し、他の条件に比べて LF/HF 値はこの中心付近から上方に広く伸びており、ごく稀に生じた数百歩ほどの歩行による影響はほとんど見られなかった。

以上の結果を総覧すると、べき指数が小さい時ほど

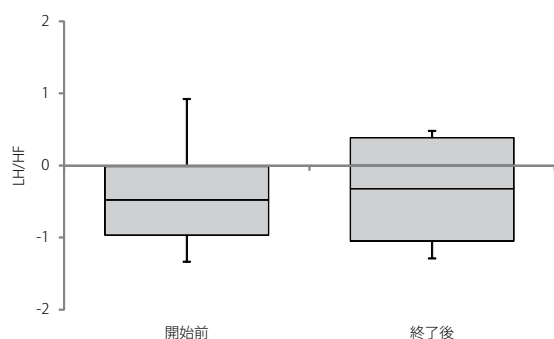


図 11 開始前安静時と終了後安静時の LF/HF 値比較
(べき指数 = 0.5)

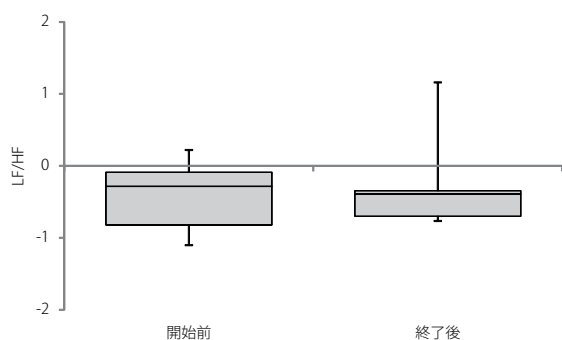


図 12 開始前安静時と終了後安静時の LF/HF 値比較
(べき指数 = 1.0)

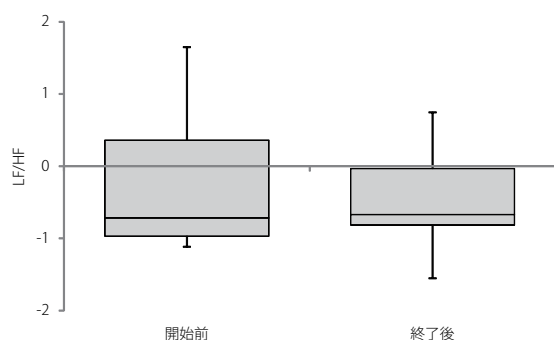


図 13 開始前安静時と終了後安静時の LF/HF 値比較
(べき指数 = 2.0)

歩数の大きさが LF/HF 値を高める傾向にあるものと考えられる。

4.2 開始前安静時と終了後安静時の LF/HF 値の比較

歩行開始前安静時と終了後安静時の LF/HF 値について、各実験条件ごとに箱ひげグラフ (順に最大値、75 パーセンタイル値、中央値、25 パーセンタイル値、最小値) を描いたものを図 11 ~ 13 に示す。

べき指数が 0.5 の時 (図 11)、終了後の中央値は開始前に比べて増大し、75 パーセンタイル値も大きく増大している 25 ~ 75 パーセンタイル値までの幅が著しく増大しているのは、べき指数が 0.5 の時のみであった。べき指数が 1.0 の時 (図 12)、終了後の最大値は飛び抜けて大きなものがあったが、25 ~ 75 パーセンタイル値の幅は小さく、また、中央値も開始前より若干小さくなっていることから、終了後には緊張状態が若干緩和されたものと捉えることができる。べき指数が 2.0 の時 (図 13) も傾向としては同様だが、こちらは中央値に若干の増加が見られる。

以上の結果を総覧すると、4.1 項における考察と同様に、実験の前後においてもべき指数が 0.5 の時は緊張状態が昂進される結果となり、それ以外の条件では緊張状態が緩和されるか、あるいは分布の偏りが小さくなるといった傾向が確認された。

5. まとめ

本報では、歩行時の歩数分布に着目し、その分布形状を変数とした歩行実験をおこない、分布形状の違いがもたらす身体への影響を心拍変動指標を用いて検証をおこなった。

実験結果より、べき指数が 0.5 のように小さい条件では、小休止時だけでなく実験前後の比較においても緊張状態が昂進しやすいという結果となり、分布形状の違いが身体にもたらす影響が確認できた。

参考文献

- 1) 遠田敦ほか:「スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡の実証実験」, 日本建築学会, 大会学術講演梗概集, pp.419-420, 2008
- 2) Akselrod: Power spectrum analysis of heart rate fluctuation - a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control, Science, 10 July 1981, Vol. 213, no. 4504, pp. 220-222

- *1 東京理科大学 理工学部 助教 博士 (建築学)
- *2 文化学園大学 造形学部 建築・インテリア学科 教授 博士 (工学)
- *3 千葉大学大学院 工学研究科 助教 博士 (工学)
- *4 早稲田大学 人間科学部 准教授 博士 (工学)
- *5 文化学園大学 造形学部 建築・インテリア学科 教授・工学博士