

足音遅延フィードバックが歩行におよぼす影響の分析

松尾 良馬* 宮下 芳明†

概要. 歩行に関する研究の知見は、リハビリテーションやVRの分野に多く応用されている。その中で「聴覚的遅延フィードバック」は知覚や行動に様々な影響をおよぼすことが示され、歩行にも影響が生じることが確認されている。本研究では、歩行者に対し遅延した自身の足音を提示し、歩行動作に生じる影響を検証した。実験の結果、一步間における歩行時間が増加する傾向がみられた。また“立脚期”と“遊脚期”に大別される歩行周期において、一步間の“立脚期”の時間が増加する傾向が確認された。

1 はじめに

歩行は私達の生活において日常的に行われている動作の1つであり、理学や心理学などの多くの分野で歩行動作分析がされてきた。こうした分析は歩行速度や姿勢、歩幅、足底の接地時間などの要因を基にしている。歩行動作の観察・分析から導き出される知見は医療やVRの分野に応用されている。例えば、脳卒中片麻痺者の自立歩行獲得のためのリハビリテーションや身体機能の拡張などが挙げられる。

歩行研究には外的要因を与えることで歩行動作や歩行速度、進行方向に影響を与えるという知見[1]がある。足音のフィードバックに遅延を与えることによって歩行動作への影響を分析した研究[2]も存在する。しかし先行研究では、一步間の歩行時間への影響を検証するのみで、歩行周期や足底の接地時間の分析はされていなかった。これらは歩行速度・姿勢に関係する[3]ことから、歩行動作を支援するアプリケーション設計のために重要な知見となる。本研究では足音遅延フィードバックを歩行者に提示した時に生じる、一步間の歩行時間への影響を検証した。また足底の接地時間に基づいて分析を行った。

2 関連研究

歩行は、足部の関節や筋肉・腰部の骨盤などが周期的な運動を繰り返すことによって生起される。歩行分析を行う際、これらを観察・測定し、分析過程においては、歩行の周期性の分類がなされる。図1は、右足の接地状態に基づいた健常者の歩行周期の分類である。このように単脚の一步間の歩行周期は、足が地面に接地している“立脚期”と、接地してい

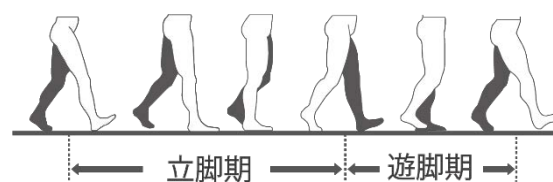


図1. 健常者の歩行周期

ない“遊脚期”に大別できる。そして一步間のうち単脚のみが接地している時間を単脚支持期、両脚が接地している時間を両脚支持期という。なお、歩行周期において単脚支持期は約8割、両脚支持期は約2割を占めていると言われる[3]。足底の接地時間は歩行速度にも関係し、両脚支持期の時間が長い場合、歩行は遅くなると考えられている。

足音が歩行におよぼす影響について分析した研究によると、歩行者に足音をイコライゼーション（高音域帯強調・低音域帯強調）した状態でフィードバックすることで、歩行者自身の重量知覚や踵接地時間、歩行に対する印象に影響が生じることが確認されている[4]。Menzerらは、足音遅延フィードバックを提示した際、どの程度の遅延までが自身の足音であると認識するのか調査を行った。同時に、遅延フィードバックが一步間の歩行時間に影響をおよぼすことを確認した[2]。しかし、この研究では一步間の歩行時間への影響が確認されたのみであった。そのため本稿の実験では、先行研究で深く分析されていなかった立脚期や遊脚期について分析を行い、それらを基に支持期への影響について考察する。

3 実験

本実験では、歩行者に足音フィードバックを提示し歩行時間を記録する。足音フィードバックには、同期・非同同期型の2種類を用意する。

まず、両足元に取り付けられたマイクを用いて足音を集音する。それらにディレイエフェクトをかけ、

Copyright is held by the author(s).

* 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系

† 明治大学総合数理学部

装着したノイズキャンセリングヘッドフォンへ出力する。ディレイ効果は PureData を用いて実装を行った。非同期型フィードバックは 280 ms の遅延が生じるよう設計した。なお、同期型フィードバックはシステム設計上 30 ms の遅延が生じている。また記録には Arduino と感圧センサを用いたセンシングシューズ (図 2) を作成し、歩行全体・立脚期・遊脚期の歩行時間を記録した。被験者の歩行測定時の動きやすさを考え、記録は左足のみ行った。

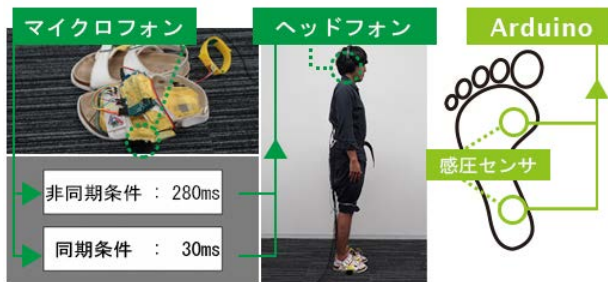


図 2. 実験器具

被験者は予備歩行 (3 m), 測定区間 (6.5 m), 予備歩行 (2.5 m), 計 12 m を連続して歩行する。同期・非同期型フィードバックをランダムな順番でそれぞれ 1 回ずつ提示する工程を 1 工程とし、本実験では 1 人の被験者に対し 8 工程、計 16 回の歩行計測を行った。実験には 8 人の大学院生が参加した。

4. 結果と考察

同期型足音フィードバック条件と、非同期型足音フィードバック条件の一步間の①歩行時間②立脚期③遊脚期、それぞれ t 検定を用いて比較分析を行った。比較分析には被験者間で行う対応ありのデータを基にした分析と、被験者ごとに行う対応なしのデータを基にした分析を行った。

表 1. 被験者間の歩行周期比較

	同期 (ms)	非同期 (ms)	t 値	
① 歩行時間	1242	1265	-4.87	*
② 立脚期	751	768	-4.57	*
③ 遊脚期	491	497	-2.01	n.s.

n.s. : 非有意, * : $p < 0.05$

被験者間の実験結果を表 1 に示す。①歩行時間と②立脚期は非同期型足音フィードバック提示時に有意に増加し、③遊脚期には有意な差は生じなかった。また、被験者内ごとに足音遅延フィードバックの影響の分析を行った結果を表 2 に示す。被験者 8 人のうち①歩行時間は 6 人、②立脚期は 5 人、③遊脚期は 2 人に有意な増加傾向がみられた。

表 2. 被験者ごとの歩行周期比較

	①歩行時間 (ms)			②立脚期 (ms)			③遊脚期 (ms)		
	同期	非同期	t 検定	同期	非同期	t 検定	同期	非同期	t 検定
P1	1346	1389	*	821	848	*	524	541	*
P2	1333	1368	*	820	855	*	513	513	n.s.
P3	1238	1268	*	734	761	*	504	507	n.s.
P4	1208	1222	*	767	776	n.s.	441	445	n.s.
P5	1218	1227	n.s.	720	731	*	498	496	n.s.
P6	1127	1131	n.s.	666	672	n.s.	460	459	n.s.
P7	1203	1223	*	692	703	*	511	519	n.s.
P8	1262	1294	*	788	799	n.s.	474	496	*

n.s. : 非有意, * : $p < 0.05$

本実験では、足音フィードバックに遅延を発生させた場合に生じる歩行動作の変化について検証を行った。その結果、足音遅延フィードバックが生じた場合、一步間の歩行時間が増加する傾向があることが確認された。また、歩行周期を立脚期と遊脚期という視点でみた場合、立脚期に歩行時間が増加する傾向が、実験では顕著にみられた。遊脚期と比較して立脚期に歩行時間の増加傾向が多くみられることから、足音遅延フィードバックは両脚支持期を増加させる傾向があると考えられる。

以上の結果を基に本研究の考察を行う。歩行時間が増加する理由は、足底が接地する瞬間に本来発生すべき足音が発生しないこと、および遅延して発生することに歩行者が違和感を持つからであると考察できる。足底が接地する瞬間は、歩行周期の中で両脚支持期に分類される。上記の理由から被験者は、足底接地の際に、遅延して発生する足音に違和感を持ち、よって両脚支持期に顕著な影響を受けたのだと考察できる。今後は立脚期と遊脚期の測定以外にも、支持期の分類を測定することで、足音遅延フィードバックと両脚支持期増加の具体的な関係性の検証を行う。また両脚支持期の長さや歩行速度には関係性があることから、足音遅延フィードバックと歩行速度の関係についても検証を行う。

参考文献

- [1] Kon, Yuki, et al. Effect of Hanger Reflex on walking. In *Proc. IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp.313-318, 2016.
- [2] Menzer, Fritz, et al. Feeling in control of your footsteps: conscious gait monitoring and the auditory consequences of footsteps. In *Proc. Cognitive Neuroscience 1*, pp.184-192, 2010.
- [3] 臨床歩行分析研究会, 畠中泰彦, 姿勢・動作・歩行分析, 羊土社, pp.40-42, 2015.
- [4] Tajadura-Jiménez, Ana, et al. As light as your footsteps: altering walking sounds to change perceived body weight, emotional state and gait. In *Proc. CHI '15*, pp.2943-2952, 2015.