

並んで歩く身体
—発話が「足並み」へ及ぼす影響—
**Bodily Motion in Side-by-side Walking:
Effects of Vocal Interaction on Gait**

新田 晴[†], 阪田 真己子[‡], 正田 悠^{‡§}, 鈴木 紀子^{*}
Haru Nitta, Mamiko Sakata, Haruka Shoda, Noriko Suzuki

[†]同志社大学大学院文化情報学研究科, [‡]同志社大学文化情報学部,
[§]日本学術振興会特別研究員, ^{*}帝塚山大学経営学部
Graduate school of Culture and Information Science, Doshisha University
din0006@mail4.doshisha.ac.jp

Abstract

When two people walk together, they coordinate the walking speed, and sometimes synchronize their steps unintentionally. Previous studies have reported gait synchronization occurs frequently in walking in silence, but none has focused on walking with vocal interaction such as conversation. In this study, we examine how people vary their gait while walking side-by-side with vocal interaction, targeting the fundamental understanding of interpersonal coordination.

Twelve pairs of participants walked with and without playing *Shiritori* (a kind of word chain game). Their motion was tracked by 3D Motion Capture System and compared between talking and no talking (silent) conditions.

Two patterns were observed in speed coordination, and a pair did not always show the same pattern in two conditions. Gait Synchronization Index (GSI) was significantly lower in talking condition ($p = .05$), which means the degree of gait synchronization is lower when walking with vocal interaction. These results show that the way of coordinating gait is different between two conditions. We found that vocal interaction affects human gait in side-by-side walking.

Keywords—Side-by-side walking, Synchronization, Gait, Interpersonal coordination

1. はじめに

二人の人間が並んで歩行するとき（以下、並列歩行）、そこには速度や動作を通した二者間のインタラクションが存在する。本研究では、並列歩行時に二者の発話によるインタラクションが加わることで、そうした速度や動作がいかなる影響を受けるのかを調べた。

二人で並んで歩くためには、互いの歩行速度が同じである必要がある。一般的に、一人での自由

な歩行においてエネルギーコストが最小になることが知られているが（Ralston, 1958）、自由歩行時の速度が異なる二者が一つの速度に合わせなければならない状況では、兩人あるいはどちらか一方の歩行者がその安定性を崩さなければならない可能性がある。したがって、並列歩行時には、二者の相互作用によって歩行速度が調整されているはずである。

さらに、速度だけでなく、二者の歩行動作のタイミングが同期する、いわゆる「足並み（Gait）が揃った」状態となることがある。例えば、トレッドミル上で二者が並列歩行するとき、動作を合わせようと意識していないにも関わらず、6割以上のペアで足並みが揃うことが報告されている（Nessler & Gilliland, 2009）。また、実際の地面上でも、約50%のペアで足並みが揃うことが確認されている（Zivotofsky & Hausdorff, 2007）。

並列歩行において「足並み」が揃う現象は、リハビリテーションにも応用されている。重度の歩行障害をもった患者が介助歩行者への引き込みによって症状を改善することを応用した歩行介助ロボットの開発も行われている（高梨, 三宅, 2003）。

しかし、異なる歩行速度や動作をもった二者間での相互調整という現象自体の解明を目的とした研究報告はまだ少ない。さらに、従来の研究はいずれも無言での並列歩行を対象としているが、実際に二者が並んで歩く際には、発話を伴うインタラクションを伴うことが多い。使用できるモダリティによって歩行同期の程度が異なるという報告

があることから (Zivotofsky, Gruendlinger, & Hausdorff, 2012)、無言での相互調整に別のインタラクションが加わると、速度や動作の調整のされ方が変化する可能性がある。そこで本研究では、速度や動作を通した二者間での相互調整に着目して、並列歩行に発話が伴う場合と無言の場合の歩行動作を比較し、両者の相違点を明らかにする。

2. 方法

2.1 実験協力者

24人の大学生、大学院生あるいは社会人(男女各12人, 21-27歳, $M = 22.88$, $SD = 1.45$)が実験に参加した。親密度の影響を排除するため、普段は一緒に歩く機会のない者同士で同性のペアをつくり、男女各6組、計12組に課題を課した。

2.2 実験環境および装置

実験協力者に歩行課題を課し、光学式モーションキャプチャシステム (MAC3D, Motion Analysis社) を用いて動作を計測した。実験室内にキャプチャエリア (5m×5m) を含む1周約100mのトラックを設置し、その上を周回してもらった。カーブの影響を排除するためトラックは8の字とし、周回ごとに外側を歩く者が入れ替わるようにした (図1, 2)。協力者は1課題につき7回キャプチャエリアを通過した。マーカー数は1名につき19点、計測周波数は120Hzであった。

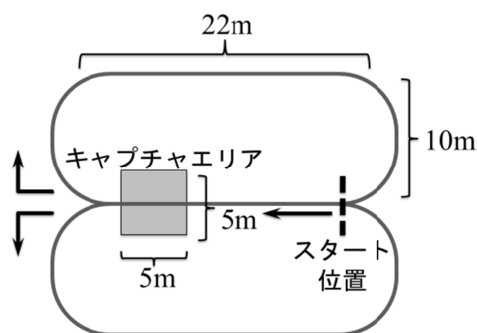


図1: 実験室配置図



図2: 実験室内の様子 (破線はトラックの位置)

2.3 課題および手続き

発話を伴うインタラクションとして、内容の影響を受けにくく、発話権が対等にある「しりとり」課題を用いた。「しりとり」は、予測できない相手の発話に対して瞬時に自分の反応を返す試行が続くという点で、単純な数字を並べるような発話課題とは異なり、より会話に近い形式をもったインタラクションである。しりどりの試行に際しては、競い合うのではなく、互いに助け合って可能な限り長く続けるように教示した。

まず、自由歩行条件として、協力者が一人で歩行する試行を他の実験者の試行が見えない状態で行った。次に、ペアごとに二人で並んで無言歩行する試行 (silent 条件) および二人でしりとりをしながら並んで歩行する試行 (talking 条件) の課題を行った。また、試行の前にはしりどりの練習時間を設け、silent 条件と talking 条件の順序はカウンターバランスした。

3. 結果

マーカーの不具合により男性1名にデータの欠損が認められたため11組22名(男5組、女6組)のデータを分析対象とした。

3.1 速度

まず、個人内での自由歩行時と並列歩行時の速度に違いがあるかどうかを調べるため、各試行の平均速度の95%信頼区間を比較した。その結果、自由歩行条件と並列歩行条件での平均速度の信頼区間に重なりがない者は、silent 条件で22名中16名、talking 条件で12名であった。並列歩行条件に

において半数以上の参加者が、自由歩行の速度とは異なる速度で歩いていたことがわかった。

これをペアごとにみると、両者がそれぞれ自由歩行とは異なる速度で歩いていた組は、11組中 silent 条件で5組、talking 条件では4組であった。無言自由歩行時の平均速度の信頼区間に元々重なりがあったペアはなかった。つまり、二者の自由歩行の速度が異なるとき、ペアの中でどちらか一方のみが速度を変化させる場合と、互いに個人の自由な歩行速度とは異なる速度をとる場合の二通りが存在することがわかった。ただし、いずれの方法で調整されるかというパターンが silent 条件と talking 条件で同じだったペアは11組中5組であり、条件によって並列歩行時の速度調整の方法が変わるペアがいることがわかった。

さらに、並列歩行時のペアごとの平均速度について、発話の有無の効果を調べるため、対応のある t 検定を行った結果、silent 条件 ($M = 1.22, SD = 0.65$) よりも talking 条件 ($M = 1.17, SD = 0.64$) で有意に下がったことが分かった ($t(11) = 5.41, p < .001$)。

3.2 歩行動作

次に、歩行動作およびそのタイミングがどのように相互調整されるかについて調べるため、歩行運動の位相同期に着目した。歩行運動は接地と遊脚をくり返す周期運動であるため、二者の「足並み」が揃うか否かは位相同期の程度と考えることができる。例えば、二者の左足が同時に踏み出されるように揃ったときには同位相で同期しており (図 3A)、二人三脚のように対称に踏み出されるときは逆位相で同期している (図 3B)。一方、「足並み」が揃っていないときには次第に位相がずれていく (図 3C)。このような位相同期を定量的に評価するため、Gait Synchronization Index

(GSI 歩行同期指数)を算出した (Zivotofsky et al., 2012)。これは、歩行に伴う下半身の鉛直方向の周期運動について、二者間の位相差を φ とするとき、

$$GSI = \langle |e^{i\varphi}| \rangle \quad (\langle \rangle \text{は時間平均})$$

で表す。 $0 < GSI < 1$ であり、同位相、逆位相にか

かわらず同期がみられないときには $GSI = 0$ となり、完全な同期では $GSI = 1$ となる。

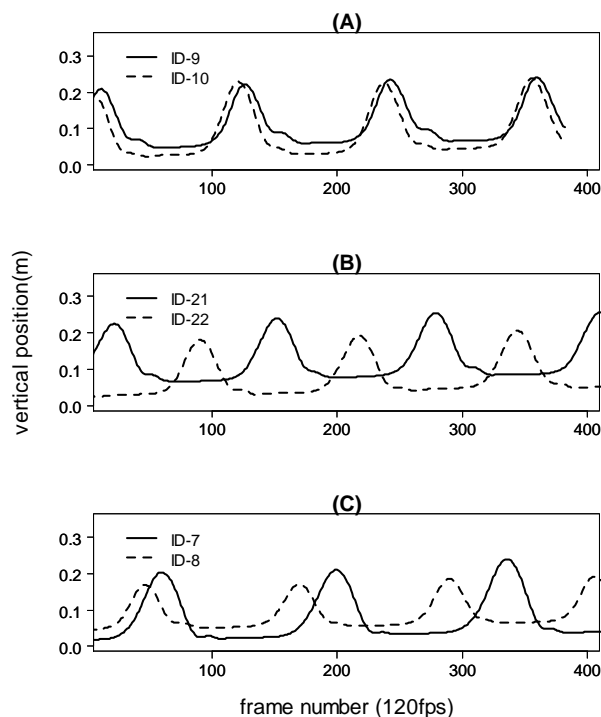


図3: 左足の鉛直運動の同期の例。(A) 同位相で同期しているペア、(B) 逆位相で同期しているペア、(C) 同期のみられないペア。縦軸は Vertical (Z-axis) Position (m)。

Silent 条件および talking 条件での GSI 値 (図 4) について、分布の違いを考慮し Wilcoxon の符号付順位和検定を行った結果、talking 条件で GSI 値が低いことがわかった ($V = 22, p = .05$)。

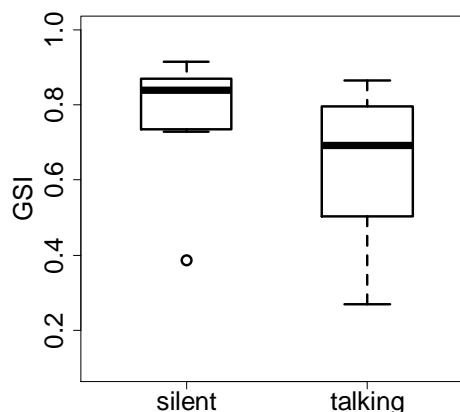


図4: Silent 条件および talking 条件での GSI

4. 考察

silent 条件と talking 条件を比較すると、いずれの条件でも二者が何らかの方法で速度を調整して

いる一方で、silent 条件に比べ talking 条件で「足並み」が揃いにくくなることが明らかになった。

並列歩行のように速度が一定な場合に「足並み」が揃うというのは、二者の歩行動作（歩幅と歩行率）が同じになるということである。速度は歩幅と歩行率（ある一定の距離を歩くのにかかる歩数）の積であるから、各人の速度が同じであるときに必ずしも同じ歩行動作を選択しなくてはならないわけではない。今回の結果では両条件とも半数以上の者が自由歩行の速度とは大きく異なる速度をとって相互調整を図っていたのにも関わらず、silent 条件では互いに足並みが揃いやすく、talking 条件では足並みが揃いにくいという相違点を明らかにした。つまり、無言で並列歩行をする際には速度と歩行動作の両方を合わせているが、発話を伴う並列歩行においては速度だけを合わせていると考えることができる。

一般に人間は、動作やタイミングを何かに「合わせる」能力を備えているといわれる（緑川, 2013）。このように本来的に相手と合わせる欲求があるとすれば、talking 条件においては「発話インタラクション中に発話タイミングを合わせる」といった同調現象が優先されていた可能性がある。さらに、ペアによって速度を合わせる方法に違いがあったことから、今回の結果が単純にしりとり課題もしくは並列歩行のどちらか一方の影響ではなく、並列歩行に発話が加わったことによりペア内での相互調整のあり方が変化したことによるものであると考えることができる。

従来、並列歩行の研究において「話しながら」という要因は注目されてこなかった。しかし、今回の結果より、無言条件と発話を伴う条件では足並みへ与える影響が異なることが明らかになった。このことから、二者間での相互調整という文脈で並列歩行を捉える際に、発話を伴うインタラクションが無視できない要因であることが示唆される。

5. おわりに

本研究では、二者が並んで歩く際の「足並み」

に着目し、発話しながら歩く場合には「足並み」が揃いにくくなることを明らかにした。これは、並列歩行における相互調整に別のインタラクションが加わると、速度や動作の調整のされ方が変化することを示唆している。

今後、歩行動作の詳細な分析や、性別および体格等の要因に注目することで、二者の「足並み」が揃う現象のメカニズムを明らかにすることができる。また、今回用いた課題はしりとりであったが、インタラクションが協調的であるか対戦的であるかといった性質が「足並み」に及ぼす影響も興味深い将来課題の一つであると言えよう。

参考文献

- [1] Ralston, H. J., (1958) "Energy-speed relation and optimal speed during level walking", *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 17(4), pp. 277-283.
- [2] Nessler, J. A., Gilliland, S. J. (2009) "Interpersonal synchronization during side by side treadmill walking is influenced by leg length differential and altered sensory feedback", *Human Movement Science*, 31, pp. 1268-1285.
- [3] Zivotofsky, A. Z., Hausdorff, J. M. (2007) "The sensory feedback mechanisms enabling couples to walk synchronously: An initial investigation", *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, 4(28).
- [4] 高梨豪也, 三宅美博 (2003). "共創出型介助ロボット" 計測自動制御学会論文集, 39, pp.74-81.
- [5] Zivotofsky, A. Z., Gruendlinger, L., Hausdorff, M. H. (2012) "Modality-specific communication enabling gait synchronization during over-ground side-by-side walking", *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, 31, pp.1268-1285.
- [6] 緑川 晶, (2013) "音楽の神経心理学", 医学書院, pp.80-86.