

Human flocking behavior における歩行同期 Footstep synchronization in human flocks

安達 龍太郎¹, 都丸 武宜¹, 西山 雄大², クラウディオ フェリチャーニ³, 村上 久¹
Ryutaro Adachi, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Feliciani Claudio, Hisashi Murakami

¹京都工芸繊維大学, ²長岡技術科学大学, ³東京大学
Kyoto Institute of Technology, Nagaoka University of Technology, Tokyo University
m3622002@edu.kit.ac.jp

概要

人は歩いているとき,知らず知らずのうちに隣の人と足並みを揃えることが知られている.これは集団においても同様だろうか. 従来,集団の歩行同期は,歩行者が一列に並んで同じ方向を歩く実験設定で調べられてきた.しかし,空間的に制限されていない,より現実に近い状況で歩行同期の有無や機能は不明である.本研究では,自由歩行する集団でも偶然以上に歩行同期が発生することが明らかになった.こうした歩行同期が集団において機能的利点をもたらすか否か議論する.

キーワード: 自己組織化(self-organization), 同期(synchronization)

1. はじめに

鳥や魚などの動物や人間の群れは局所的な相互作用により,リーダーや指揮者が不在でも,集団全体がまるで一つの生き物のように一糸乱れぬ振る舞いを示す.近年では画像解析手法やバイオリギング手法を用いることで,さまざまな動物種の群れにおける集団的振る舞いが評価されている.けれども,多くの群れ行動の実験・観測研究では,個々の時系列の位置座標や向き of 計測によるものであり,いわば個々の個体は点や矢印として分析の対象とされてきたと言える.

群れ内の個々のボディパーツレベルの振る舞いに着目した研究はあまりないが,渡り鳥のV字飛行については例外的に詳しい分析が行われている[1]. 一部の鳥は,他の鳥の斜め後ろを飛行し,全体としてV字型に群れをなして飛行することがよく知られている. 渡り鳥であるホオアカトキの群れのV字飛行を解析した研究では,背中にGPSと慣性計測ユニットが取り付けられ,位置,速度,進行方向に加えて,羽ばたきのタイミングが測定された. その結果,V字型の飛行において鳥は,固定翼の空気力学的に予測される位置で飛行していることが示された. 追従する鳥が先行する鳥と羽ばたきの空間的位相を同位相にすることで上昇気流を有効利用してい

るのである. このように渡り鳥の場合,個々の羽ばたきのタイミングと集団の形成が深く結びついていると考えられる.

また近年,ヒトの歩行同期に着目した研究も行われている. 歩行同期とは,人が群衆の中で自発的に歩行を調節し位相を合わせる現象である. 従来 of 歩行同期の研究では,一列に並んで同じ方向に歩く集団を対象にした実験が行われてきた[2]. この実験では,被験者は決められた一列の周回ルートを異なる密度で歩行した. 撮影された画像データから歩行を解析したところ,密度と速度の積で定義される流量が最大となる密度において最も歩行同期が起こりやすいことがわかった. このことから,歩行同期が生じる理由は,歩行者が前の歩行者とぶつからないように同じ側の足を同時に踏み出すから,と考えられている.

しかし,渡り鳥の場合でもV字飛行に限られたものであり,歩行者の場合も空間的に動きが制限された状況での分析しか行われていない. ヒトを含めた多くの動物の群れでは,特定の形に常に制約することなく,自己組織化を通して縦横無尽な空間構造を創発させる. 特に,人が普段街中を歩くとき,一列に並び歩行し続ける状況はほとんどないと言える. より現実に近い自由な歩行集団においてもボディパーツレベルの振る舞いや歩行同期が発生するかはまだわかっていない. 少なくとも,横断歩道のような状況(一列歩行よりは自由に歩けるが,依然として空間的な制約はある状況)では自発的には歩行同期が起こらないことがわかっている[3].

そこで,本研究ではより自由で制約の緩い条件下での集団における歩行同期を検証する実験を行った.

2. 方法

本実験は京都工芸繊維大学の体育館で行われた. 本研究では学生被験者9人分のデータを分析する. 画像解析を容易にするため,被験者は全員黒のTシャツと赤い帽子を身につけた状態で実験を行った. 体育館の床をPVC素材のカバーを敷いたため,被験者は自分の靴

で実験を行うことができた。被験者は3人からなる三つのグループにわけられ、それぞれ一試行ずつの実験を行った。各試行において、被験者は長方形の実験エリア(10×8m)の中でみんなで集まって歩くように指示された(図1)。スタートの合図とともに実験が開始され、終了の合図までの2分間被験者は歩行を続けた。この間、歩行者の動きは真上から30 frames/sでビデオ撮影された。

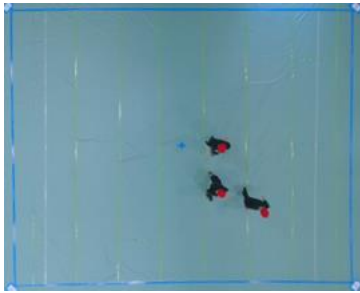


図1 実験の様子

得られた画像データから歩行同期を検出した。まず、動画解析ソフト(Library Move-tr/2D)のセミオートトラッキングモードを用いて画像データから踵の軌跡を検出した。次に得られた軌跡のデータから踵の速度を計算した。さらに、速度データから着地フレームを算出した。本研究では速度が0.4m/s以下になったフレームを着地と定義した(図2)。そして3人の歩行者を、三つのペアに分けてそれぞれのペアにおける歩行の同期を調べた。ペア内の二人の着地タイミングのズレが0.1s(3flame)以下となるフレームを、両者の歩行が同期している「同期フレーム」として扱った。ここで偶然に同期した可能性を統制するために、異なる試行間でランダムに二人選択した、バーチャルなペアを作り、現実のペアと同期率の比較を行った。この同期率の比較をペア間の同じ脚である同位相と異なる脚である逆位相でそれぞれ行った。

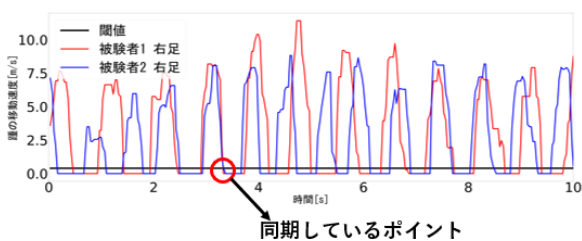


図2 同期の検出

3. 結果

表1より、同位相の場合のバーチャルなペアの同期率が25.85%であったのに比べて現実のペアの同期率は

31.37%となり、現実のペアの同期率が有意に高いことが明らかになった。さらに表2から逆位相の場合のバーチャルなペアの同期率は33.15%であるのに対して、現実のペアの同期率は25.18%であり、現実のペアの同期率の方が低いことが分かった。

表1 同期率(同位相)

	現実のペア	バーチャルなペア
着地回数	953	909
同期回数	299	235
同期率	31.37%	25.85%

表2 同期率(逆位相)

	現実のペア	バーチャルなペア
着地回数	953	896
同期回数	240	297
同期率	25.18%	33.15%

4. 議論

表1から空間的制約のより弱い自由歩行集団でも、偶然以上に同位相の歩行同期が起こることがわかった。なぜこのような同期が生じるのだろうか。例えば渡り鳥の集団飛行では、翼の羽ばたきを同期させることで他個体が作った気流を利用し、エネルギーを節約する効果があると考えられている。しかし、今回の人の歩行同期ではそのような要因は考えづらい。今回の実験では被験者は集まって歩くようにとだけ指示されていた。従って、本研究で被験者は群れを維持するために歩調を合わせ、同期が発生した可能性が考えられる。また、表2から逆位相の歩行同期は起こりにくいことが分かった。逆位相で歩行同期が起こりにくいのは集団の結束を保つためには同位相、つまり同じ脚を前に出し、旋回する必要があることが原因であるかもしれない。例えば、同位相の歩行同期が生じていた場合、逆位相の場合よりも、集団が一体となって旋回するときにより有利であるかもしれない。これらの検証を今後の課題とする。

文献

- [1] Steven J. Portugal, Tatjana Y. Hubel, Johannes Fritz, Stefanie Heese, Daniela Trobe, Bernhard Voelkl, Stephen Hailes, Alan M. Wilson, James R. Usherwood, (2014) "Upwash exploitation and downwash avoidance by flap phasing in ibis formation flight", nature, Vol. 505, No.7483, pp.399-402

- [2] Yi Ma, Eric Wai Ming Lee, Meng Shi, Richard Kwok Kit Yuen, (2021) "Spontaneous synchronization of motion in pedestrian crowds of different densities", *nature human behavior*, Vol5, Issue4, 447-547
- [3] Tomaru, T., Nishiyama, Y., Feliciani, C., & Murakami, H. (2024). "Robust spatial self-organization in crowds of asynchronous pedestrians." *Journal of the Royal Society Interface*, 21, Issue214,.