

論文の内容の要旨

論文題目

Underlying spatiotemporal structures in human chase and escape behaviors

(ヒトの追跡および逃避行動に潜む時空間的構造)

氏名 筒井 和詩

【背景】

追跡および逃避行動は多くの動物種にとって生存に不可欠な行動であると同時に、現代スポーツにおける基本的スキルでもある。そのため、追跡および逃避行動における認知運動制御機構の解明は生物学や神経科学だけでなく、スポーツ科学においても重要な課題である。しかしながら、追跡逃避行動は、二者の認知・運動能力およびそれらを取り巻く環境などの多数の要因が相互作用する複雑な現象であるため、追跡者（守備者）および逃避者（攻撃者）がどのような動いているのか、また、それらの行動の結果（勝敗）は何によって決定しているのか、など未解明な点が多く残されている。そこで本論文では、ヒトの追跡逃避行動を対象として、研究1で守備者の追跡方略、研究2で攻撃者の逃避（突破）方略、研究3で勝敗の決定要因、そして研究4で環境制約の影響を調べることによって、追跡逃避行動に潜む規則を明らかにすることを目的とした（図1）。

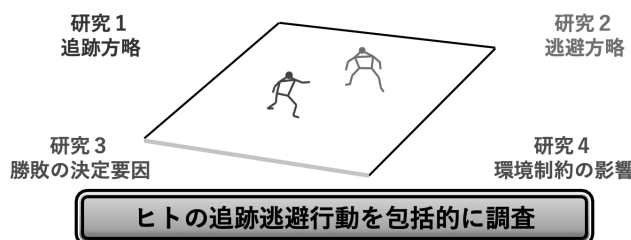


図1 各研究の位置付け

【研究1】追跡方略

これまでに（ヒトを除く）動物の狩りを対象とした研究によって主に3つの追跡方略（古典的追従方略、時間最適方略、および平行ナビゲーション方略）が提案されている。これらの研究では、追跡者（捕食者）の行動のモデル化によって追跡方略を推定するという手法を用い、多くの動物種がこれら3つの追跡方略のうちのいずれかに分類されることを示している。一方で、ヒトを対象とした研究は、対象動作や移動範囲を極度に制限した課題が大半を占め、追跡逃避行動のような二者が自由に動くことのできる状況において、ヒトがどのような追跡方略を用いているのかは明らかにされていない。そこで研究1では、他動物の狩りの研究によって提案されている追跡モデルを援用することで、ヒトの追跡方略を推定することを試みた（図2）。より実際のスポーツ場面に近い実空間の追跡逃避課題と、より統制のとれた環境下で多くの試行を行える仮想空間の追跡逃避課題を行い、両実験において課題中の追跡者の行動は時間最適モデルとよく一致することを明らかにした。これは、ヒトが追跡逃避行動において時間最適方略を採用していたことを示唆している。

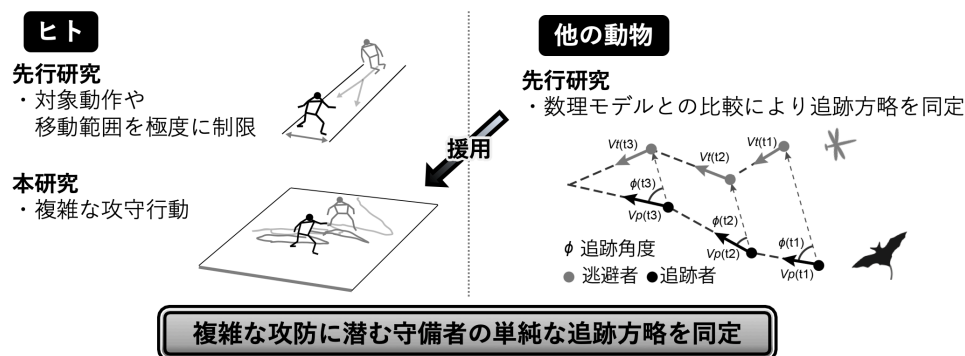


図2 研究1の概要

【研究2】逃避方略

1対1行動の研究によって、攻撃者は守備者を抜き去るために急激な方向転換を行うことが報告されているが、その研究は身体部位のキネマティクス情報に焦点を当てたものが多く、時空間的な特性が守備者の反応行動に与える影響については不明である。例えば、方向転換を行うコート内の位置や連続的な方向転換のリズムなどによって守備者の反応時間は変化する可能性がある。そこで研究2では、身体部位のキネマティクス情報を利用できない仮想空間での追跡逃避行動を用いて、攻撃者の方向転換における時空間的な特性と守備者の反応行動の関係を調べた。攻撃者の方向転換における頻度分布には、空間的な一様性と時間的な二峰性という特性が見られた。これらの特性は、守備者の反応行動の分析と併せると、予測不可能性の向上と数十ミリ秒の追加遅延を得ることにそれぞれ寄与していることが示唆された。

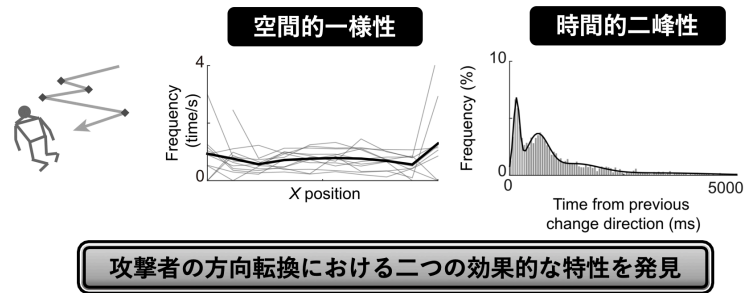


図3 研究2の概要

【研究3】勝敗の決定要因

ヒトおよび他の動物における追跡逃避行動をモデル化した理論的研究によって、これらの行動の結果（捕捉成功あるいは逃避成功）は、二者のキネマティックパラメータに強く依存することが示されている。これらの研究はそれぞれに重要なパラメータを提案しているものの、そのパラメータ間の関係性は不明なままである。また、これらの先行研究のほとんどが理論的な考察にとどまっており、実験的研究による観察証拠は不十分である。そこで、研究3では、提案されているパラメータ間の関係性を記述する幾何学的モデルを提案し、そのモデルに基づいて移動スピードと反応時間という二つのパラメータが二者の行動結果を決定することを予測した。そして、二者のパラメータを操作可能な仮想空間内の追跡逃避課題を用いて、パラメータを変化させた際の二者の行動変化を観察した。これらの結果は、追跡逃避行動において二者の攻防の結果はパラメータによっておよそ決定すること、移動スピードと反応時間は二者の攻防において互換的な関係にあることを示唆するものであった。

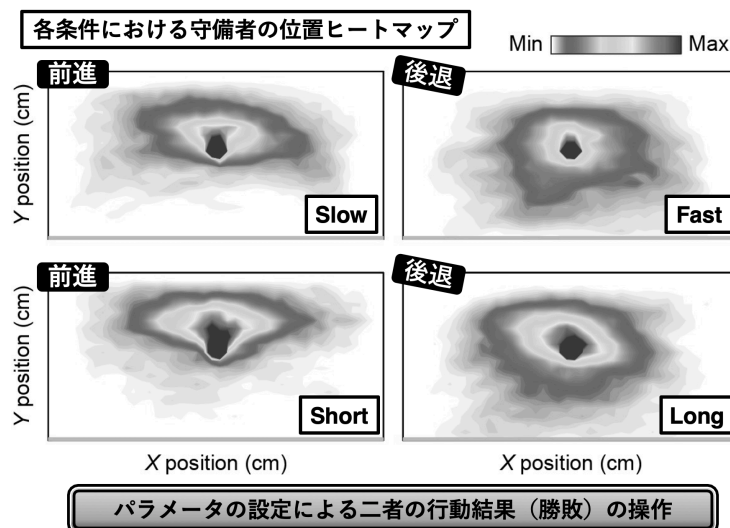


図4 研究3の概要

【研究4】環境制約の影響

環境の制約（移動可能な範囲や安全地帯の位置など）によって、ヒトや他の動物の追跡逃

避行動が変化することは広く知られているが、具体的な変化の内容については未だ不明な点が多い。そこで研究4では、研究1から3の知見を基に、スポーツにおいてしばしば生じる時空間的制約によって追跡行動、逃避行動、およびそれらの結果がどのように変化するかを調べた。具体的には、空間的制約としてコート幅、時間的制約として捕捉あるいは突破までの制限時間を変化させた。攻撃者、守備者の両方においてこれら時空間的制約に応じた行動の変化が観察されたが、これらの変化の程度は比較的小さく、環境の変化を相殺する程ではなかった。その結果、時空間的制約によって二者の勝敗はおおよそ決定した。これらの結果は、環境制約もまた攻防の結果の決定に関わる重要な要因であることを示唆している。

【まとめ】

本研究では、ヒトの追跡逃避行動を対象として、追跡逃避行動における規則を探求した。研究1では、他の動物における狩りのモデルを援用することで、守備者の追跡方略を明らかにした。研究2では、攻撃者の方向転換と守備者の反応行動に着目することで、空間的な一様性と時間的な二峰性という攻撃者の方向転換における二つの有効な特性を明らかにした。研究3では、幾何学的なモデルによって、移動スピードと反応時間という二つのパラメータが勝敗に関わる重要な変数であることを予測し、操作実験によって実証した。そして研究4では、これらの知見を基に、時空間的制約の変化が行動や結果に及ぼす影響を検討し、これらの制約に応じた行動の変化の程度は比較的小さく、環境制約もまた勝敗に関わる重要な要因であることを明らかにした。研究全体を通して興味深かったのは、参加者、研究間で攻撃者および守備者の行動（あるいは方略）に強い一貫性が見られたことである。これは、追跡および逃避行動において、行動の選択肢（あるいは方略）は多数存在しているように感じられるが、目的を達成するための合理的な選択肢は実質的にかなり限られていることを示唆している。また、このことが二者の行動結果（勝敗）が、パラメータや時空間的な制約に強く依存することと関連していると考えられる。これまでの追跡逃避行動に関する研究では、主に追跡者と逃避者の関係に着目して研究が進められてきたが、本研究の結果は、環境を含めてこれらの行動を理解することの重要性を示唆している。さらに、本研究で対象としたヒトの追跡および逃避行動の結果は、他の生物の行動といくらかの共通点があることを示唆するものであった。これらの結果は、ヒトと他の動物との共通点、相違点を明らかにする上で有用であると考えられ、比較行動学、進化生物学に対して有益な洞察を提供するだろう。最後に、本研究で明らかになった攻撃者および守備者の方略は、サッカーなどのスポーツの試合を分析するにあたって一つの基準となりうる。これらの知見を活用することで、試合中の個々の行動を定量的に評価可能になることが期待される。