
原著論文

ウマの視覚特性からみた 障害飛越競技馬の飛越動作に関する研究

西山 慶太¹⁾、佐藤 雅幸²⁾、尾縣 貢³⁾

A biomechanical study of visual behavior in show-jumping horse

Keita NISHIYAMA¹⁾, Masayuki SATO²⁾, Mitsugi OGATA³⁾

Abstract

The purpose of this study was to explain the relationship between visual information and motion in show-jumping horse. Sixteen horses (nine advance level and seven novice level horses) participated in the performance test consisting of jumping a vertical obstacle.

Advance level horses were characterized by visual focus on obstacles at take-off, but novice level horses did not display a similar visual focus. Thus, these results suggest that visual information is a key factor in the development of show-jumping horse technique.

要 約

本研究の目的は障害馬術競技馬の視覚情報と動作との関係を検討することにある。実験では熟練群9頭、初級群7頭の計16頭を用いて、垂直障害を飛越させた。その結果、熟練群には踏切時に障害物に対して注視をする特徴が見られたが、初級群にはこれが見られなかった。したがって、これらの結果から視覚情報の活用は障害馬術競技馬のスキル上達に重要な要素であることが示唆された。

Key Words : horses, Show-Jumping, Visual Information, Motion Analytics, Biomechanics

キーワード : ウマ、障害馬術、視覚情報、動作解析、バイオメカニクス

1) メリーホームズ研究所 (Merry Homes Research Center)

2) 専修大学スポーツ研究所 (Senshu University Institute of Sport)

3) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 (Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba)

Corresponding Author: Keita Nishiyama (e-mail: k.nis80@gmail.com)

1 緒言

1-1 障害馬術とは

馬術はヒトとウマ (*Equus caballus*) という他種他個体が協働して行うスポーツである。馬術の起源は古代ギリシャまでさかのぼることができクセノフォン (Xénophon) が馬術に関する世界で最初の書物を残すなど、長い歴史を有している。また、現在では Fédération Equestre Internationale (FEI) が国際競技連盟 (International Sport Federation) として世界のスポーツ馬術を統括しており障害馬術、馬場馬術、総合馬術、パラドレッサージュ、馬車、軽乗、エンデュランス、レイニングの8種目が公認種目となっている。このうち、障害馬術、馬場馬術、総合馬術の3種目はオリンピックにおける公式種目となっており、スポーツ馬術の各種目の中でもポピュラーな種目であると言える。本稿で取り上げる障害馬術は、競技アリーナに設置された10個から13個の障害物を、落下したり飛越を拒否したりすることなく、人馬が勇敢にそして華々しく飛越する競技種目である。選手は競技直前の10分から15分ほどの間、コースを徒歩で下見することが許され、この間に障害物の順序や形状あるいは障害物間の距離などを確認し競技に望む。つまり、ウマにしてみればコースに設置された飛越すべき障害物の配置や形状、順序などは選手の指示にしたがってのみ分かることとなり、暗中に摸索するような格好で走行を行うことになる。選手は下見で得たコースの設定を踏まえて戦略を練り、ウマが障害物を飛びやすいような態勢やリズムを作り、必要に応じて鞭などを使用しウマを鼓舞しながらコースを走行する。オリンピックや世界選手権大会などの最高レベルの競技会ともなれば障害物は最大で高さ160cm、幅220cmにもなり、このような大きな障害物をミスなく飛越するには、正確なスピードとタイミングのコントロールに加えて、力を発揮するために最適なウマの態勢を作ることが大切な要素となる。なお、ここでのいう態勢とはウマのバランスや姿勢を指す専門的な用語であるが、本研究においては、ウマの姿勢あるいは

構えを示す用語として使用する。

1-2 障害馬術における指導方法

障害馬術の指導場面においては「障害飛越は誘導」、「飛越は馬に任せる」(星子, 1984)と言われる。騎手はウマが飛ぶべき障害物に対して、飛びやすい歩法、速度、緊張度で誘導することが求められ、飛越運動の力学的パワーを発揮する踏切局面からはウマの仕事であり、騎手はウマの力の発揮やバランスを阻害しないように適切な騎乗姿勢をとることが求められる。実際の指導場面でも、「ウマを起こす」、「最後は譲る」といったことがよく聞かれる。前者の「ウマを起こす」とは障害物に向かう過程で、騎手の重心を後ろに移し、時に手綱を使用してウマの頭を引き上げるような動作を指し、障害飛越のための態勢づくりの意味合いを持つ。後者の「最後は譲る」とは障害物に近づきウマが飛越動作に入る前には、手綱によるプレッシャーを開放し、ウマが自由かつ自然に飛越態勢に入れるようにすることである。加えて、ウマを障害物に対して「真直ぐに向ける」ということも指導面でよく言われる事項であるが、これはウマに対して障害物をなるべく早く認識させる効果があると思われる。しかし、伝統的な指導法の中では飛越動作を行う主体であるウマが、どのようにして障害物を認識し飛越動作をおこなっているのかというウマの視知覚的・視覚認知的な側面からの言及がされることは少ない。

1-3 ウマの調教

選手は競技までにこのようなコントロールが瞬間的に可能になるようにウマに対して調教(≒訓練)をおこなっている。調教は加減速や方向転換などウマのコントロールを可能にする扶助学習を基礎として、様々な状況を想定した多くの方法が存在する。ここでいう扶助とは騎手からウマへ伝達される合図の総称であり、これらを総合的に駆使して騎手は自らの意図をウマに伝える。Saslow (2002) はその中でも触覚刺激が主要な騎手とウマのコミュニケーション経路であると述べており、一般的に騎手の体重移動、脚での腹部

圧迫、手綱操作などは主扶助と呼ばれる。さらに、これらの主扶助を補強するために、音声や鞭などを用いる副扶助と呼ばれる扶助もあり、騎手はこれらの主扶助と副扶助を巧みに駆使してウマとのコミュニケーションを行い、複雑な運動を実施する。扶助学習は種目や競技レベルに関わらず常に大切な調教の基礎的な要素であるが、近年ではコース設計の難易度が高くなっており、より瞬間的な加減速や素早い方向転換などが必要とされている。また、障害馬術は多くの場合、最終的な順位は走行タイムによって決まる。したがって、優勝を目指すには過失なくコースを走行することに加え、いかに早くコースを走行するかということも勝敗を左右する重要な要素になる。加えて、競技レベルが高度になると、より大きな障害物を飛越するために、それ相応の筋力と飛越動作の成熟が必要になる。これらに対するトレーニングには様々な方法が存在するが、伝統的な方法を踏襲することも多く、あまり科学的な理解が進んでいないとも言えない。McGreevy (2007) でも問題視されているように、近年、頭頸を極度に屈撓させるハイパーフレクションという新しいトレーニング方法が流行し、様々な議論を巻き起こしている。このトレーニング方法はウマの頸椎損傷やストレス増加が問題とされておりアニマルウェルフェアの観点から禁止を求める声も多い。加えて、前方視野も制限されることから、障害馬術のトレーニングにおいても実施の是非に対して意見が別れており、このような調教方法に対しては早急に科学的な検証が必要であると思われる。

1-4 ウマの知覚・認知機能

ウマの知覚・認知的機能に関しては、これまでに数多くの報告があり、実践現場にとってこれらを正しく理解することは、飼育方法や訓練の効率化、動物福祉面での改善など、ヒトとウマとが関わる様々な場面への応用にもつながると期待されている（瀧本ほか、2011）。その中でも視覚機能はウマにとって最も重要な感覚であるとされる。それは、ウマが広大な草原という環境下で進化し適応してきた結果、一般に非常に広い視野を持っ

ているからである。Beaver (1982) によれば、ウマの水平方向の片眼視野における死角は後方の約 20 度のみとされ、約 340 度という非常に広い視野内で視覚情報を得ていることがわかっている。これは目が側方に離れて存在しているため可能な片眼視野であり、立体視に必要な両眼視野に関しては前方の約 60 度とされており、さほど広くない。また、垂直方向の視野について、Roberts (1992) は約 178 度としており、鼻先のラインから後方に視野が偏っている（図 1）。また、McGreevy et al. (2012, p.43) によれば、一般に草食動物の遠近調節は肉食動物よりも劣っていると言われている。これは毛様体筋が発達していないため、レンズ体の歪みから遠近調節をしていると考えられているためである。そして、眼球運動についてもヒトに比べ少ないことから、注視する際は頭部を直接動かすことで前方両眼視野の調整をしていると考えられている。McGreevy et al. (2010) はこれらを踏まえた上で「障害飛越においてウマの前方視野を確保しないことは明らかな禁忌である。」と述べている。しかし、この考察はウマの視野に関する上記の知見から導き出されたものであり、実際にウマの視覚・視覚認知の観点からの障害飛越動作を測定した研究はない。

ここでヒトのスポーツ科学における視覚・視覚認知に関する先行研究を見てみると、濱出ほか (2013) は、陸上競技のハードル走における視覚行動に関する研究において、初級者はハードルに視線を配置して疾走しているが、熟練者はあまりハードルに視線を配置することなく疾走していると報告している。熟練者では手前のハードルをまたぎ越した段階で次のハードルへ視線を配置し早い段階から歩幅の調整を行っているが、初級者ではハードルに近づくほどハードルへの注視が増加し、ハードル直前で視覚情報を得るため、その結果としてハードルの直前で歩幅を調整する必要がある歩幅の増減が多く起こるとしている。また、加藤 (2003) は、あらゆるスポーツにおいて見られる初級者と熟練者の視線行動の違いについて、初級者は直接対象物を見る中心視によって視覚情

(a)



(b)



(c)



図1 (a) 後方の死角 (b) 鼻先を前方に出した態勢での視野 (c) 鼻先をほぼ鉛直にした態勢での視野：原図は McGreevy (2012) から引用

報を獲得しているが、熟練者は対象物を視野の端で見る周辺視を用いて視覚情報を獲得していると述べている。これは神経生理学の分野においても数多く議論され、中心視システムは大腦皮質の腹側経路を通り、形、色、テクスチャーに関する情報を処理し、周辺視システムは大腦皮質の背側経路を通り、運動、位置などに関する情報を処理するという2つの視覚経路が存在するというモデルが示されている。

1-5 本研究の目的

本研究では、ウマの視覚行動に焦点を当て、視覚情報を獲得するタイミングや動作の特徴を明らかにすることで、馬術の実践現場における正しいウマの態勢づくりの指針となる示唆を与えることを主な目的とする。ウマ自身がどの時点で障害物に対する視覚情報を獲得し、踏切位置を調整しているのかを明らかにすることで、騎手の誘導とウ

マの踏切調整の役割分担を考えることが可能となり、またその動作の特徴をあきらかにすることで、障害物に向かう際のウマの態勢づくりにも示唆が与えられると考える。このようなウマの視覚情報と飛越動作に関する研究はまだなく、既存のトレーニング方法や競技マネジメントに対して新たな視座を与えることができると考える。また、馬術競技は経験則によって指導や調教が行われることが多く、人馬の動作や知覚などを論理的に考えられた方法がとられていない場合も多い。本研究において、障害馬術競技馬の視覚行動について明らかにすることで指導や調教の場面において新たな視座を提案することが可能であり、加えて障害物の高さや競技馬のレベルの違いによって視覚行動に差異が認められれば、競技馬のレベルアップに必要な動作を想定したトレーニング方法の開発にもつながると考えられる。

2 研究の方法と測定実験環境

2-1 研究の方法

ウマはヒトに比べ眼球運動の機能が発達していないことから立体視を可能にする前方の両眼視野を頭部の動作により調節していると推測される。したがって、ヒトで用いられる瞳孔や角膜の測定による視線検出方法を用いずとも、頭部の位置変化によって両眼視野情報を推定することが可能だと思われる。また、ウマは頭部を高く保持し、鼻先を前方に突き出す体勢をとることで高い障害物に対する両眼視野を確保できると仮定した。そして、実際の飛越動作における頭頸位置の変化に着目し、バイオメカニクスの手法を用いて視覚情報獲得の過程を検討することとした。また、ストライドの変化についても頭頸位置の変化と合わせて経時的に測定することとした。

2-2 動物実験倫理

本研究の実施にあたっては、事前に専修大学人間科学部心理学科の動物実験委員会の承認（承認番号：第 2014-4 号）を受けている。

2-3 被験者と被験馬

本研究の試技は日本馬術連盟（National Federation）に競技馬として登録されている競技レベルの高い馬匹 9 頭（以下 Advance 群）と、競技登録のされていない競技レベルが比較的低いと思われる馬匹 7 頭（以下 Novice 群）を乗馬クラブおよび大学馬術部の計 4 施設の協力の下に実施した。試技の実施に際しては、実験手順を説明し十分な理解得た上で、普段のトレーニングおよび競技会で騎乗している騎手が騎乗した。参加した被験馬のプロフィール（品種、性別、体高、競技レベル）は表 1 に示す。

2-4 試 技

試技において飛越する障害物はすべて垂直障害（幅のない障害物）とし、左手前駢歩（図 2）で障害物の 14m 手前に設置した地上横木から 3 ストライドで垂直障害を飛越させた。また、本研究では石井ほか（1989）に倣い、左手前駢歩における右後肢の接地から、連続的な四肢の接地と空間期を経て、次の右後肢の接地までを 1 ストライドとして定義した。試技に際しては任意の準備運動

表 1 被験馬のプロフィール

	品種	性別	体高	競技レベル
Advance 群 (n=9)	乗用温血種	牡馬 1 頭 セン馬 8 頭	170.4 ± 3.7cm	日本馬術連盟 競技登録あり
Novice 群 (n=7)	サラブレッド種	セン馬 7 頭	161.9 ± 2.0cm	日本馬術連盟 競技登録なし



図 2 左手前駢歩：右図から順に第Ⅰ節（右後肢が接地）、第Ⅱ節（右前肢および左後肢が接地）、第Ⅲ節（左前肢が接地）、空間期（四肢が離地）

を実施した後、垂直障害の高さを段階的に高くし、Advance 群には高さ 60cm の障害物と高さ 140cm の障害物を飛越させ（以下、Advance 群 140cm、Advance 群 60cm）、Novice 群には高さ 60cm の障害物を飛越させた（以下、Novice 群 60cm）。また、障害物の落下や飛越の拒否があった場合は同一の高さで再度試技を実施した。この際、試技の回数が際限なく増えることを防止するため、事前に同一の高さでの試技は 3 回までとする停止規則を設定した。停止規則に定めた規定回数内で成功試技がなかった場合にはその人馬は分析対象から除外することとしていたが、本研究で

はすべての人馬が規定回数内で成功試技を行えたため除外する事例はなかった。

2-5 実験設定

試技の計測には高速ビデオカメラ（Casio 社 EX-F1）を使用し、走行ラインから 30m 離れた地点より 300frame/sec で撮影した。Clayton and Barlow（1991）は障害馬術競技馬の飛越動作の研究において 2 台の固定カメラを使用し測定を行っているが、今回測定をおこなった運動アリーナは走行ラインから 30m 離れた位置にカメラを設置することが可能であったため、1 台のカメラ

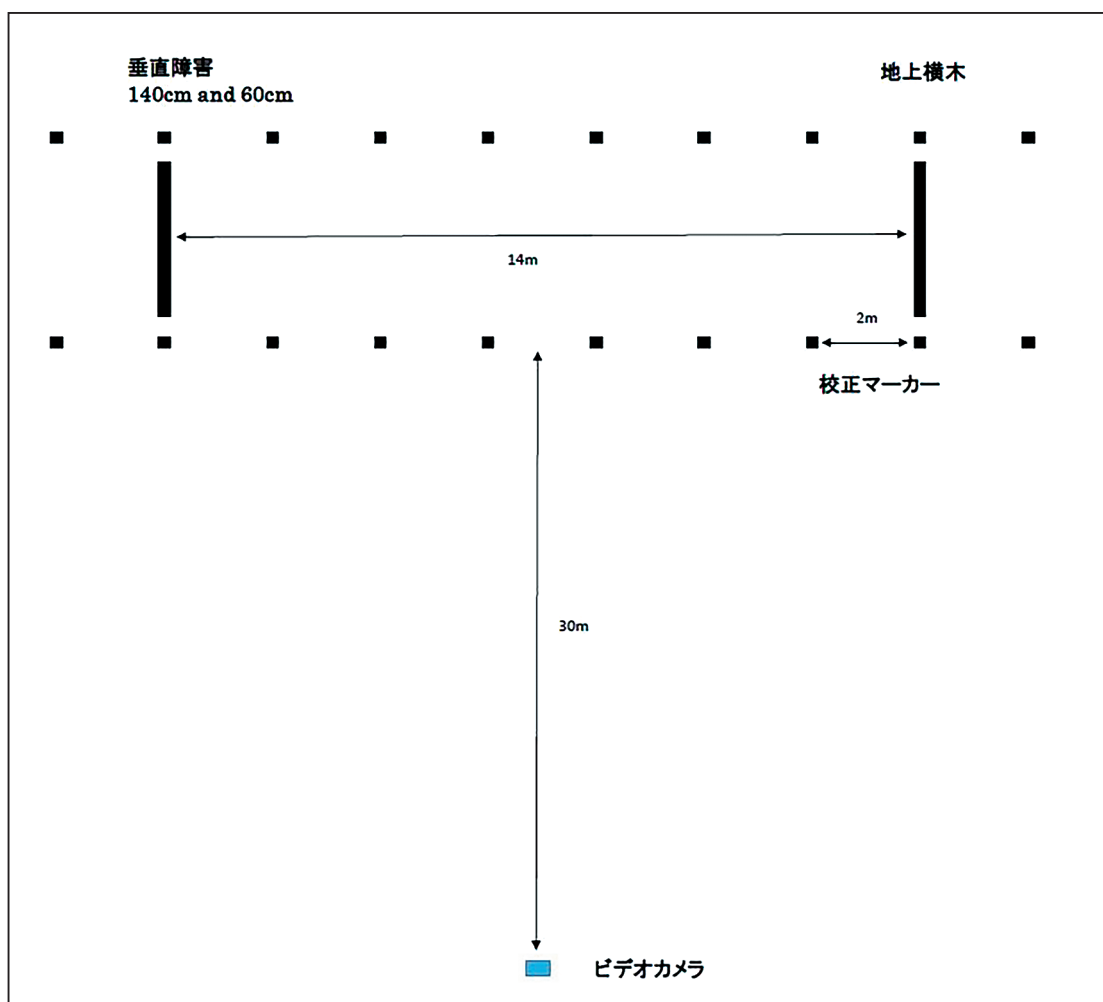


図 3 実験設定

を使用しパンニング法にて撮影した。地上横木から障害物までの両端には2mごとに空間校正用のマーカーを設置した(図3)。また、本研究で試技を実施した運動アリーナはすべて砂馬場であった。

2-6 測定項目

Buchner et al. (1997) の身体モデルに基づいて、身体ポイント No.1、No.2、No.3 および四肢の蹄の合計7点を身体ポイントとして設定した。また、身体ポイント No.1 と No.2 を結ぶ線を頭部セグメント、身体ポイント No.2 と No.3 を結ぶ線を頸部セグメントと定義し、それぞれのセグメントと鉛直線とのなす角度を頭部セグメント角度、頸部セグメント角度とした。また、身体ポイント No.2 の場所は第一頸椎であるが、一般的な馬体

名称としてこの周辺部位は項(うなじ)と呼ばれることから、この身体ポイントの高さについては項の高さとして定義した。次いで、身体ポイント No.3 の場所は第七頸椎であるが肩甲骨の部分中心である身体ポイント No.6 と同等の高さを持つため、この身体ポイントの高さを肩の高さとして定義した。(図4)。

2-7 データ処理

試技の映像は FrameDias V (DKH 社) を使用して設定した身体ポイントをデジタイズした。デジタイズした身体ポイントの二次元座標は、校正マーカーの位置座標から二次元実長換算法で求め、それを基に頭部セグメント角度および頸部セグメント角度を算出した。その後、Wells et al. (1990) の方法を用いて測定する身体ポイント

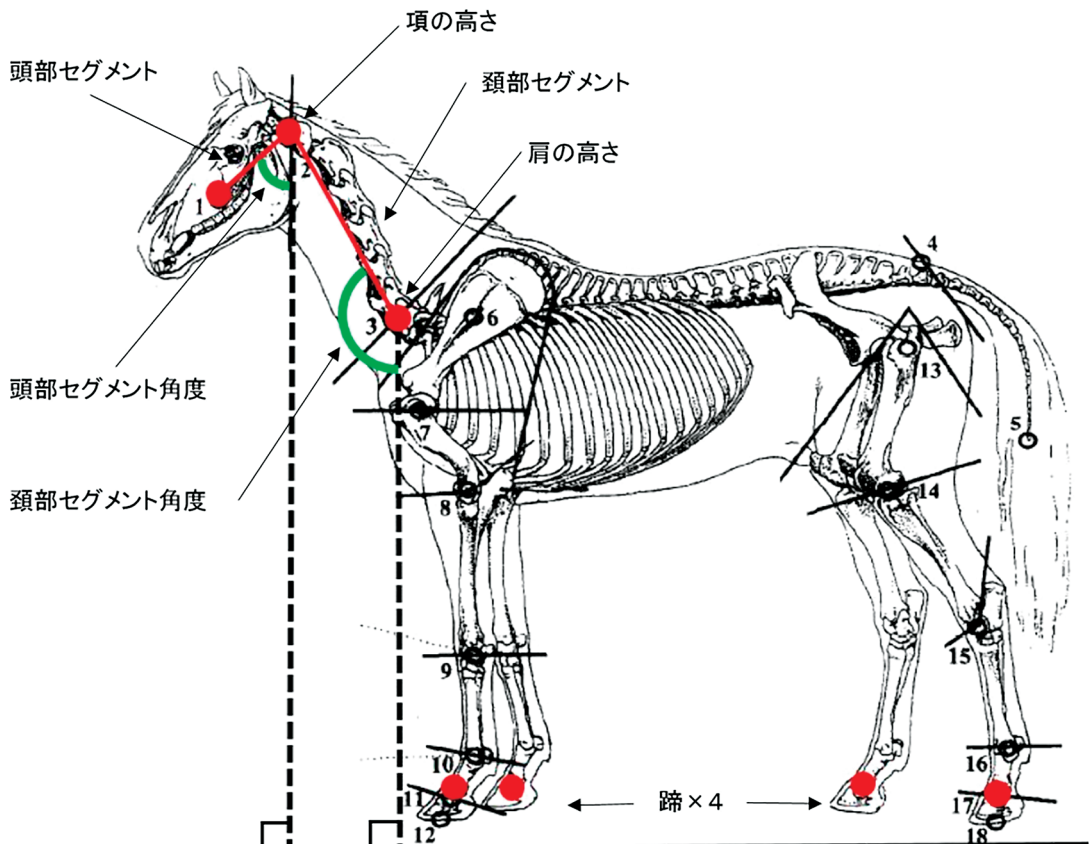


図4 測定項目：原図は Buchner et al. (1997) より引用

の座標成分ごとに最適遮断周波数を決定し、Butterworth Filter (10.8Hz ~ 22.5Hz) を用いて平滑化した。

分析項目は、項の高さおよび肩の高さ、頭部セグメントおよび頸部セグメントの角度、各ストライドの歩幅、ピッチ、速度とした。また、項の高さおよび肩の高さ、頭部セグメントおよび頸部セグメントの角度についてはR version 3.0.2 (2013-9-25) を使用し、スプライン関数を用いて1ストライドを100%として1%区切りで規格化した。また、各ストライドの歩幅は水平方向の移動距離、ピッチは1秒あたりのストライド数、速度については1秒あたりの水平方向の移動距離とした。

2-8 統計処理

統計処理には、R version 3.0.2 (2013-9-25) を使用した。すべての分析項目について、Advance 群 140cm と Advance 群 60 cm との間でウィルコクソンの符号付き順位和検定を、Advance 群 60 cm と Novice 群 60cm との間でマン・ホイットニーのU検定を用いて2群間の差を検討した。なお、統計処理の有意水準は5%未満とした。

3 結果

3-1 障害飛越態勢の比較(頭頸位置と頭頸角度)

3-1-1 Advance 群 140cm と Advance 群 60 cm の態勢比較

項の高さの変化を図5に示す。すべての時点で Advance 群 140cm は Advance 群 60cm よりも項の位置が高くなっており、ストライド2の前半およびストライド3の後半においてその差は有意だった ($p<0.05$)。

また、図6に示した肩の高さについては両群で類似した波形を示したが、ストライド2の最後半時点からストライド3の前半で Advance 群 140cm は Advance 群 60cm よりも有意に低くなっていた ($p<0.05$)。

頭部セグメント角度および頸部セグメント角度の変化を図7と図8に示す。ほぼすべての時点で Advance 140cm 群が Advance 60cm 群よりも頭部セグメントおよび頸部セグメントの角度が大きかった。また、ストライド3ではすべての時点において頭部セグメントおよび頸部セグメントの双方でその差が有意だった ($p<0.05$)。

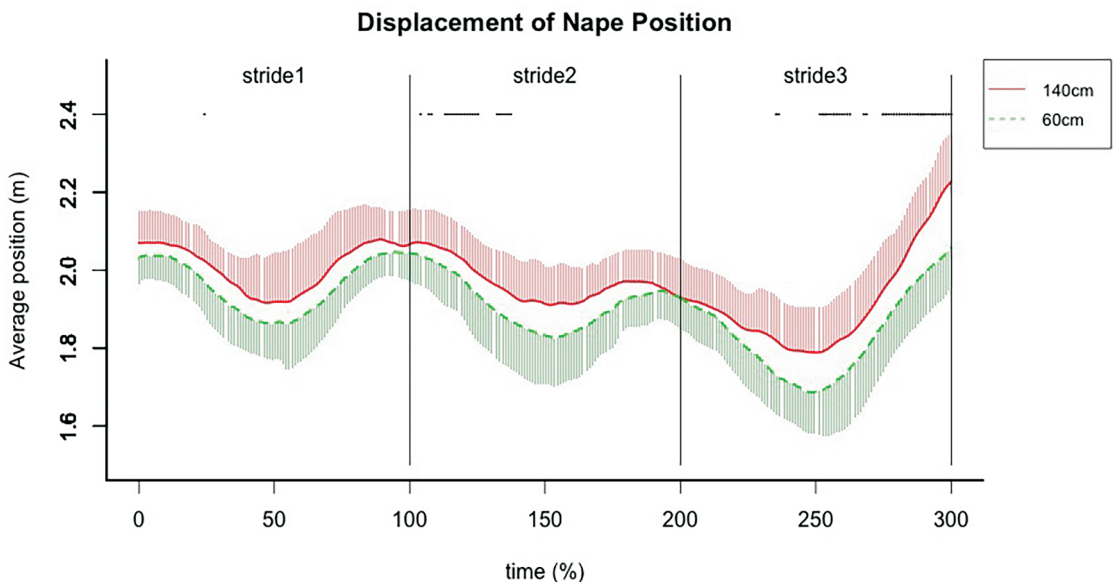


図5 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm の項の高さの変化

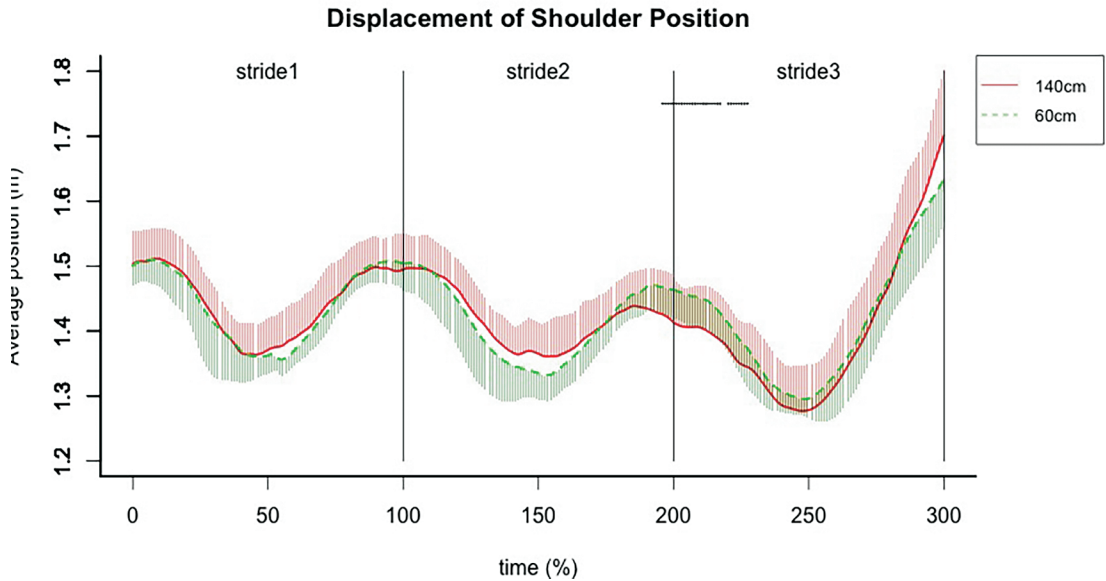


図 6 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm の肩の高さの変化

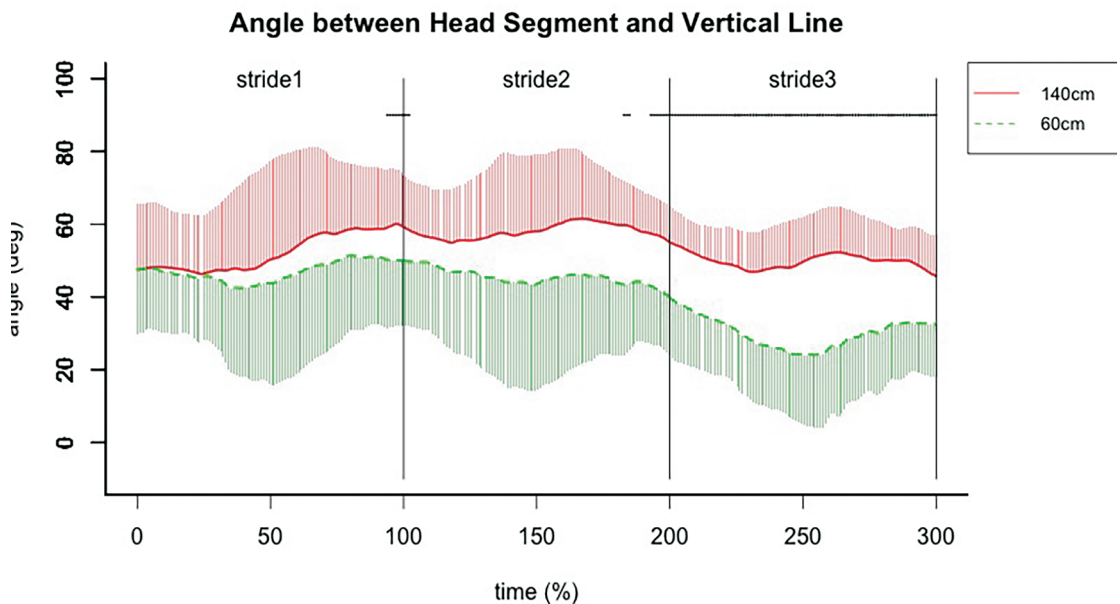


図 7 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm の頭部セグメント角度の変化

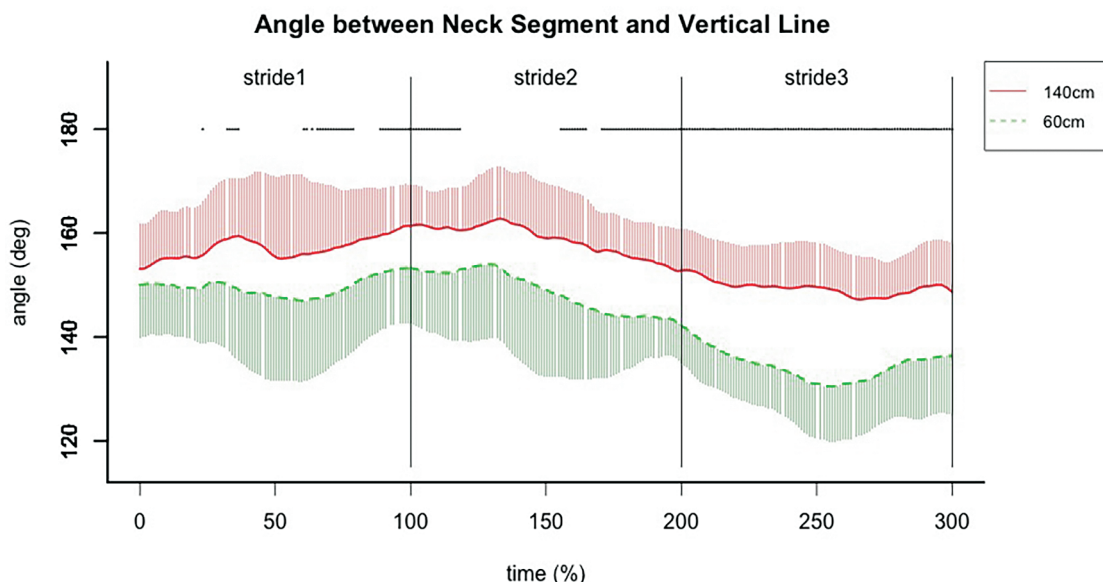


図8 Advance群140cmとAdvance群60cmの頸部セグメント角度の変化

3-1-2 Advance群60cmとNovice群60cmの態勢比較

両群の項の高さおよび肩の高さの変化を図9、図10に示す。すべての時点でAdvance群60cmはNovice群60cmよりも項の高さおよび肩の高さが高かった。また、ストライド1およびストライド2前半の多くの時点でAdvance群60cmはNovice群60cmに比べて項の位置が有意に高くなっていた ($p<0.05$)。また、肩の高さについてもストライド1およびストライド2のいくつかの時点でAdvance群60cmがNovice群60cmに比べて肩の位置が有意に高くなっていた ($p<0.05$)。

図11および図12に示した頭部セグメント角度および頸部セグメント角度にはすべてのストライドで有意な差はなかったが、Advance群60cmの頸部セグメント角度はストライド3へ向かうにつれて徐々に角度を小さくしていくのに対して、Novice群60cmではあまり変化が見られなかった。このため、ストライド3ではすべての地点でAdvance群の方がNovice群に比べて頸部セグメントの角度が小さくなっていた。また、頭部セグメント角度についてもAdvance群60cmはスト

ライド2の後半から徐々に角度を小さくしていた。

3-2 ストライドの変化

表2はAdvance群140cmとAdvance群60cmの各ストライドにおける歩幅、ピッチおよび速度の平均値と標準偏差を示したものであり、表3はAdvance群60cmとNovice群60cmの各ストライドにおける歩幅、ピッチおよび速度の平均値と標準偏差を示したものである。これらの表でいう歩幅は水平方向の移動距離を、ピッチは1秒あたりのストライド数を、速度は1秒あたりの水平方向の移動距離を表している。

3-2-1 Advance群140cmとAdvance群60cmのストライド・ピッチの比較

図13、図14および図15はAdvance群140cmとAdvance群60cmの歩幅、ピッチおよび速度を箱ひげ図に表わしたものである。Advance群140cmはストライド3においてストライド2よりも有意に歩幅を短縮しピッチを上げていた ($p<0.01$)。また、ストライド3においてのAd-

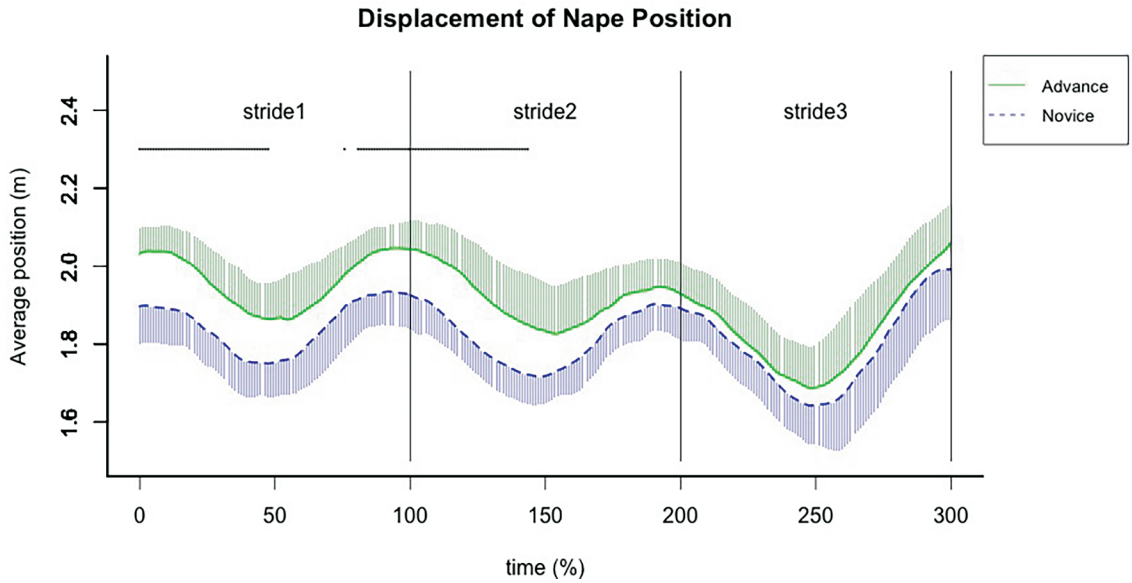


図 9 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の項の高さの変化

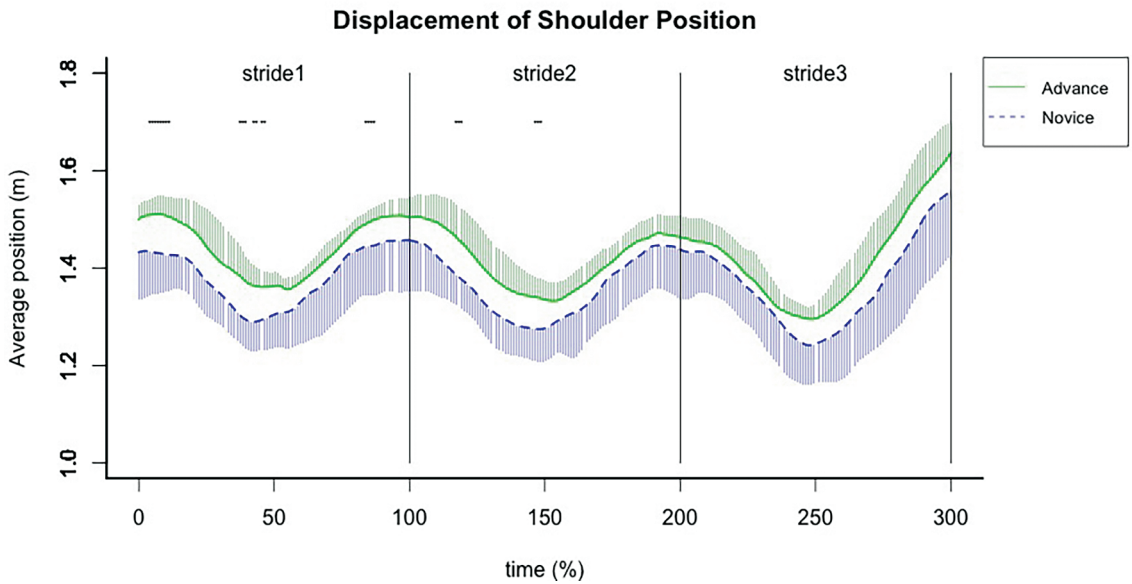


図 10 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の肩の高さの変化

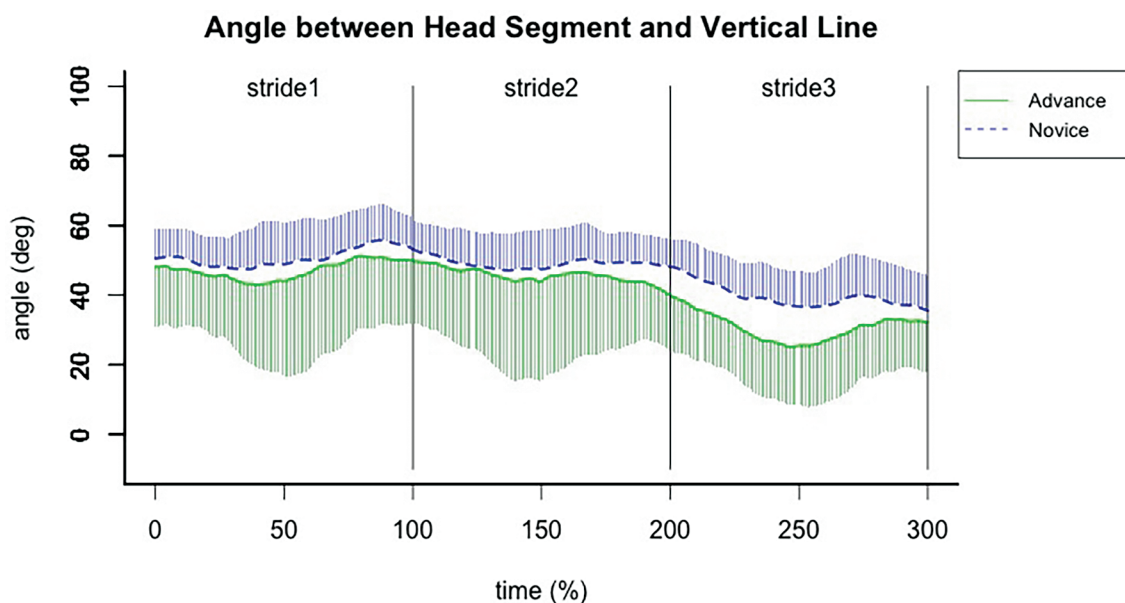


図 11 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の頭部セグメント角度の変化

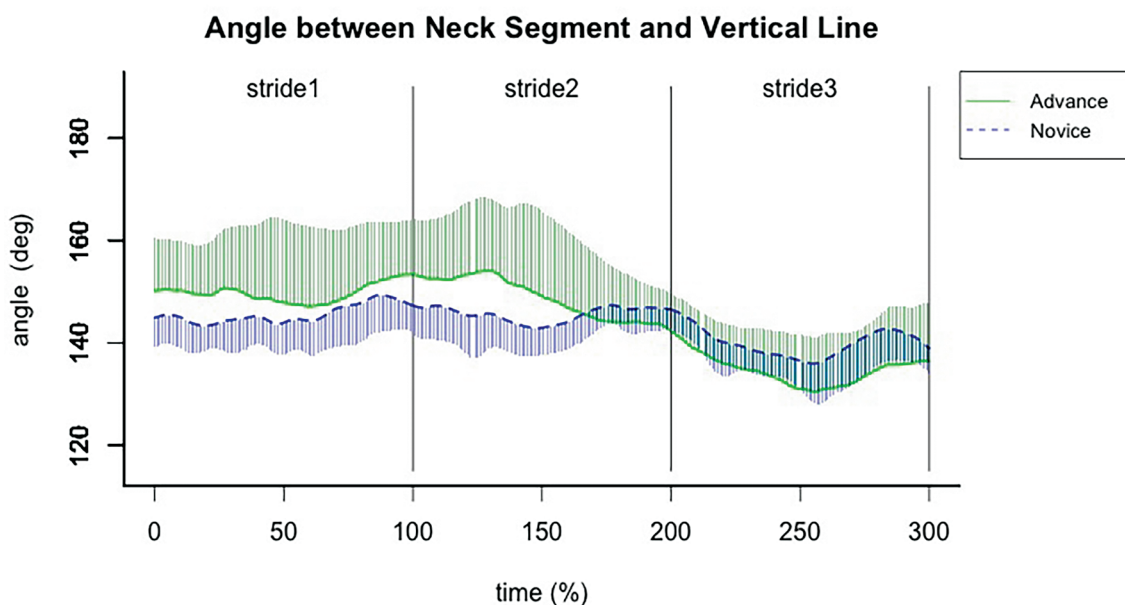


図 12 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の頸部セグメント角度の変化

表2 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm のストライド変化

	Advance 群 140cm			Advance 群 60cm		
	ストライド1	ストライド2	ストライド3	ストライド1	ストライド2	ストライド3
歩幅 (m)	3.52 (± 0.30)	3.56 (± 0.21)	2.48 (± 0.42)	3.49 (± 0.21)	3.48 (± 0.17)	3.12 (± 0.31)
ピッチ (Stride/s)	1.72 (± 0.12)	1.80 (± 0.16)	2.54 (± 0.33)	1.69 (± 0.09)	1.75 (± 0.11)	2.00 (± 0.30)
速度 (m/s)	6.07 (± 0.78)	6.37 (± 0.39)	6.19 (± 0.54)	5.89 (± 0.34)	6.08 (± 0.44)	6.18 (± 0.49)

表3 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm のストライド変化

	Advance 群 60cm			Novice 群 60cm		
	ストライド1	ストライド2	ストライド3	ストライド1	ストライド2	ストライド3
歩幅 (m)	3.49 (± 0.21)	3.48 (± 0.17)	3.12 (± 0.31)	3.42 (± 0.17)	3.36 (± 0.07)	3.19 (± 0.25)
ピッチ (steps/s)	1.69 (± 0.09)	1.75 (± 0.11)	2.00 (± 0.30)	1.65 (± 0.10)	1.82 (± 0.11)	1.91 (± 0.09)
速度 (m/s)	5.89 (± 0.34)	6.08 (± 0.44)	6.18 (± 0.49)	5.64 (± 0.50)	6.12 (± 0.40)	6.09 (± 0.61)

vance 群 140cm の歩幅は Advance 群 60cm よりも有意に短く ($p<0.05$)、ピッチについても有意に大きかった ($p<0.05$)。また、有意な差は見られなかったが Advance 群 60cm においてもストライド3においてストライド2よりも歩幅を短縮させていた。速度については Advance 群 140cm でばらつきがやや大きかったものの有意な差は見られなかった。

3-2-2 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm のストライド・ピッチの比較

図16、図17および図18は Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の歩幅、ピッチおよび速度を箱ひげ図に表わしたものである。すべてのストライドにおいて歩幅、ピッチ、速度ともに有意な差はみられなかったが、Advance 群 60cm と Novice 群 60cm とともにストライド3で歩幅を短縮しており、ピッチについてはストライド3に近づくにつれてピッチを上げていた。また、速度に

ついてはストライド1とストライド2の間で Novice 群 60cm が Advance 群 60cm よりも速度を増大させていた。

4 考 察

Advance 群の 140cm と 60cm の2試技において、比較的高い障害物を飛越させた Advance 群 140cm は Advance 群 60cm に比べ頭部セグメント角度を大きくし、項の高さを上方に保持していた。これら差は特にストライド3で有意であり、60cm よりも高さのある 140cm の障害物に対して踏切直前に視野を確保できる態勢をとっていたと考えられる。また、Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の比較においては、Advance 群 60cm はストライド2の中盤から徐々に頭部セグメント角度と頸部セグメント角度を減少させ、ストライド3では Novice 群よりもその角度を小さくしていたことから、比較的下方にある 60cm の障害物に

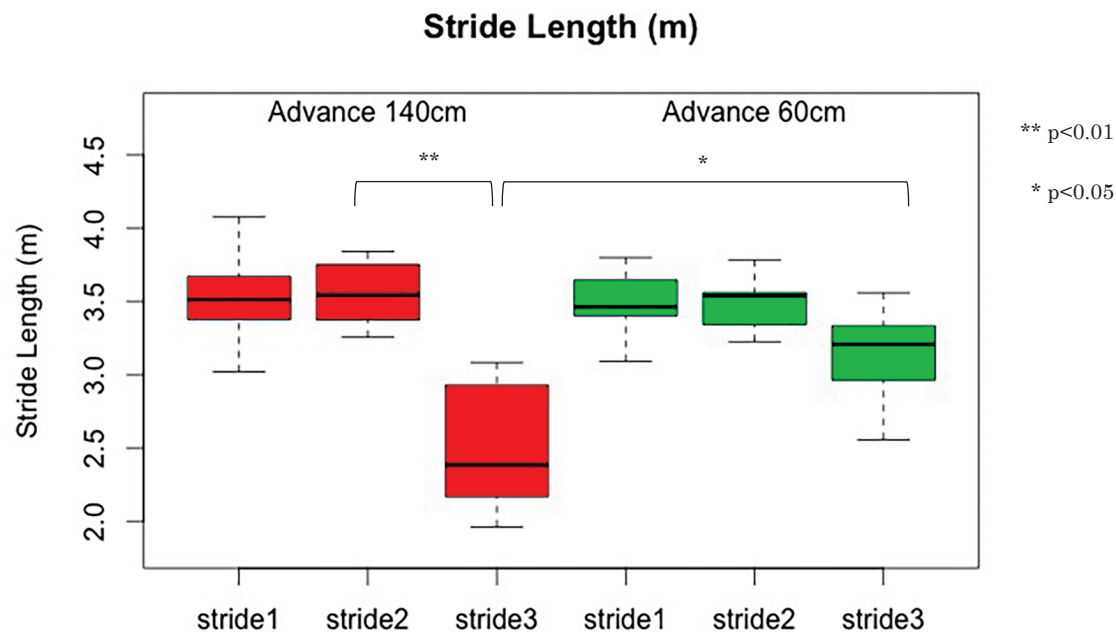


図 13 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm の歩幅の変化

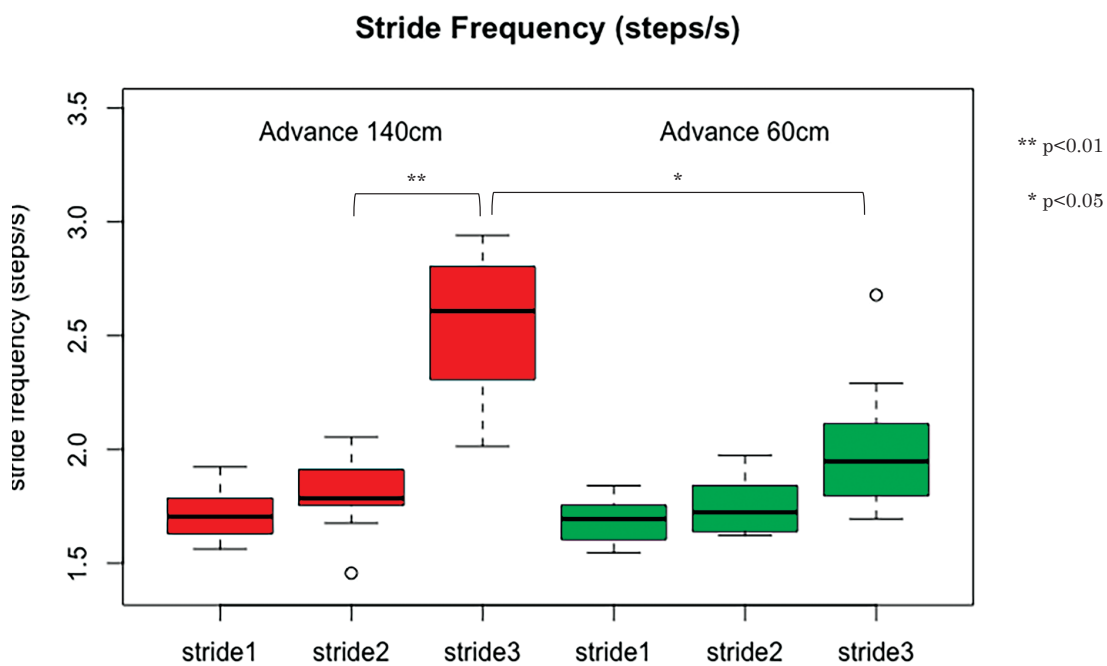


図 14 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm のピッチの変化

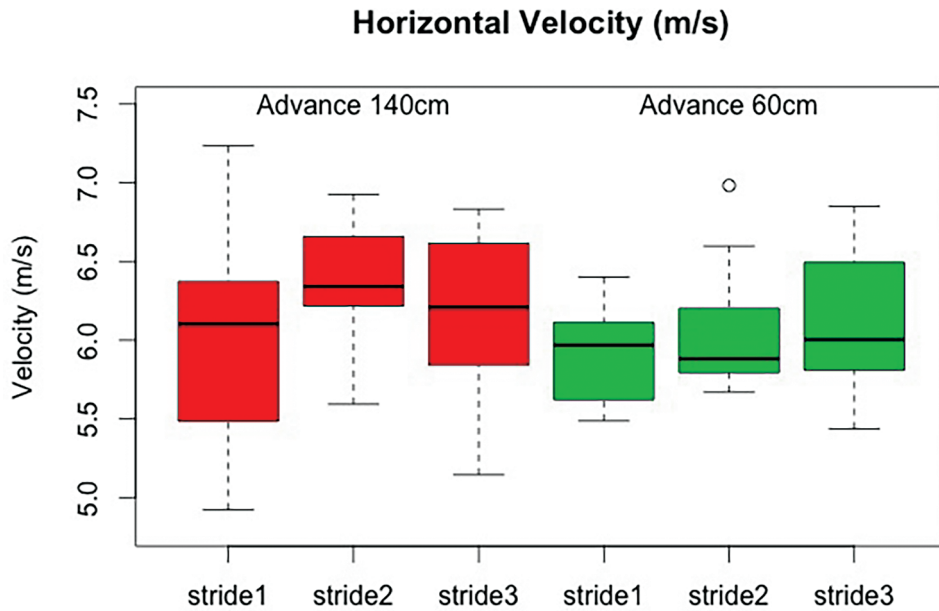


図 15 Advance 群 140cm と Advance 群 60cm の速度の変化

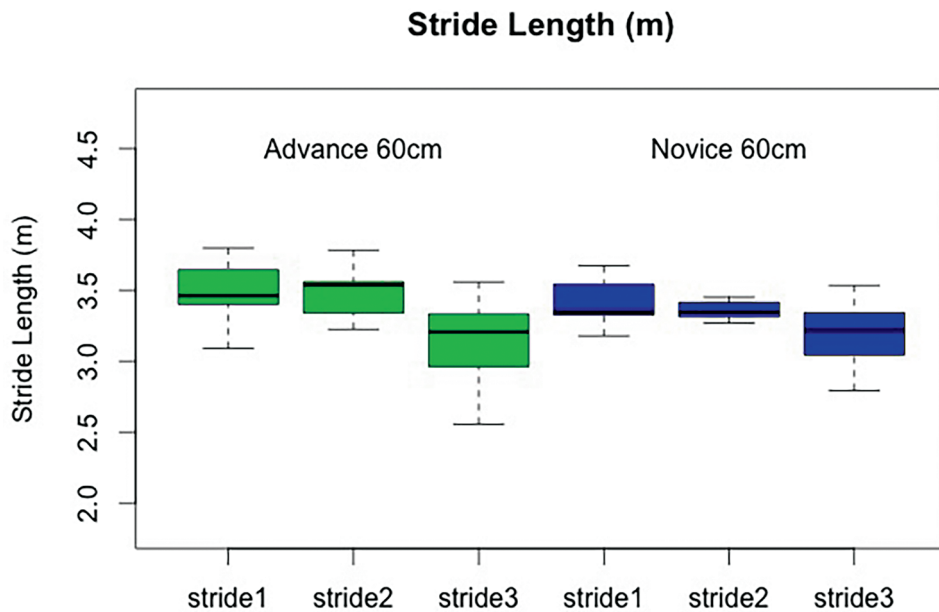


図 16 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の歩幅の変化

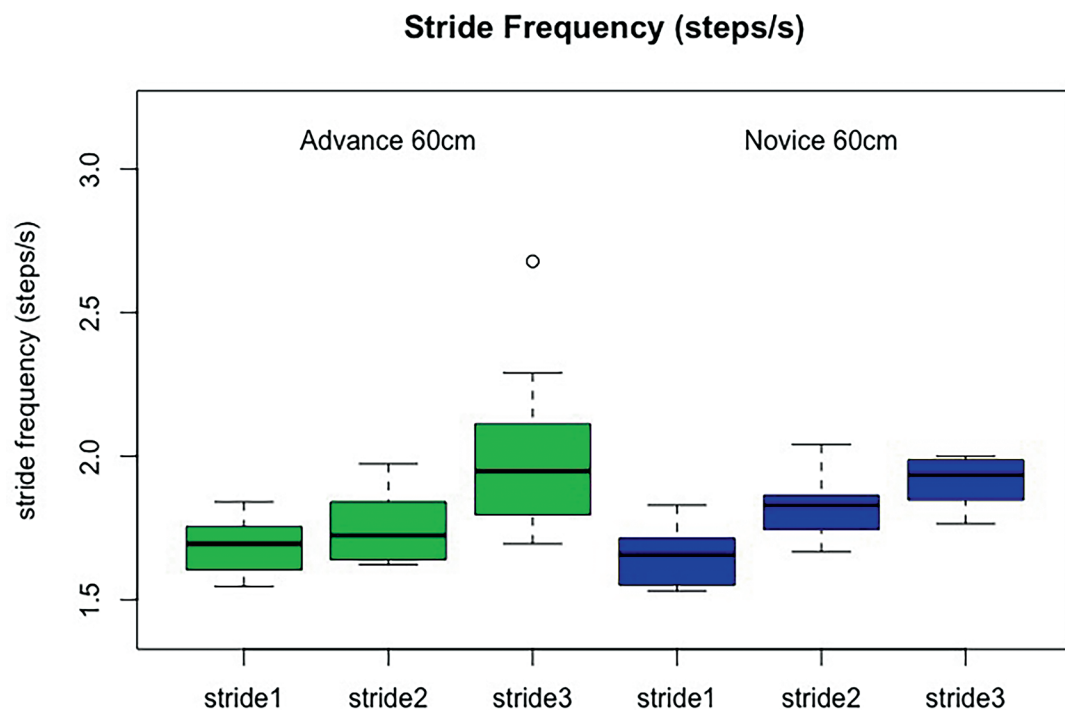


図 17 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm のピッチの変化

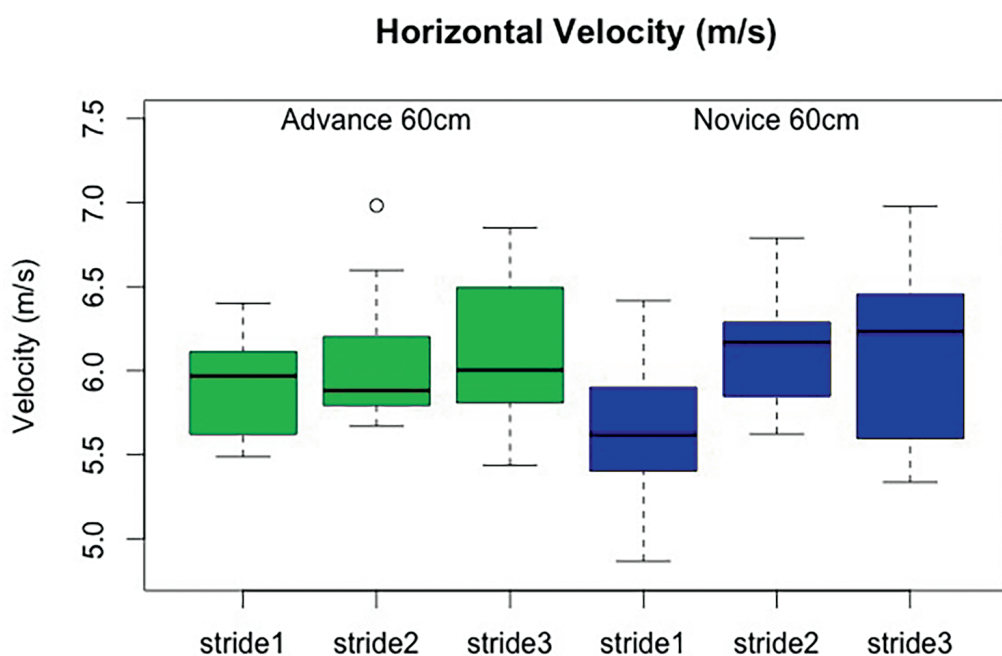


図 18 Advance 群 60cm と Novice 群 60cm の速度の変化

対しての両眼視野を確保していたと考えられる。これらの結果からウマは踏切直前の局面において、飛越すべき障害物の視覚・空間情報を獲得していると推測される。この結果は、陸上競技のハードル走を対象とした濱出ほか（2013）の結果とは相反するものであるが、事前に障害物の位置が決まっており、それを運動主体であるヒトがあらかじめ認識しているハードル競技と、障害馬術における運動主体であるウマが、騎手の指示・誘導に従って飛越する障害物を直前で認識するという競技特性の違いによるものと解釈できるだろう。したがって、ウマは踏切局面の直前に両眼視あるいは中心視の機能を用いて視覚情報を得ている可能性が高いという本研究の結果は、McGreevy et al. (2010) の「障害飛越においてウマの前方視野を確保しないことは明らかな禁忌である。」という主張を動作解析の面から補強するものであるといえる。

次に、Advance 群 140cm は Advance 群 60cm に比べてストライド3の手前から肩の高さを有意に低下させており、踏切前において態勢を低下させていた。このことは、上述の視野の確保に対する考察とは一度切り離し、ウマの飛越動作を力学的側面からも考える必要があると思われる。これに関連して、寺田ほか（2002）はウマの障害飛越の踏切局面における前肢接地角度は平地疾走時のそれに比べ小さくなることを示しており、阿江（1996）は走高跳の踏切動作では鉛直速度獲得のために身体を後傾して踏切に入ることによって身体回転を利用して鉛直方向の速度を得ているということを示している。これらを勘案すれば、ウマは踏切局面において態勢を低下させることで前肢の接地角度を小さくし、その後の身体回転によって鉛直速度を得ているのではないかと推測される。踏切局面での態勢の低下は鉛直速度獲得という力学的側面から必要な動作であると考えられるが、これによって項の高さの低下も引き起こすため、障害物への視野の確保という視覚情報の観点から見れば、これを制限するものである。しかしウマは、実際の試技において頭部セグメント角度と頸部セグメント角度をより大きくすることによって、両

眼視野を上方に保持していた。つまり、態勢の低下によって起こる視野への影響を頭部セグメント角度と頸部セグメント角度の増大することにより解消していると考えられる。

最後に、Advance 群 140cm はストライド3でストライド2よりも歩幅を有意に短縮させていたことから、踏切動作の最終局面において得られた視覚情報から適切な踏切地点を決定し、飛越動作を行っている可能性が示された。加えて、ストライド3において水平方向速度を減少させている。したがって、態勢の低下、前肢接地角度の減少、ストライド3における水平方向速度の減少という3つの結果を勘案すれば、ウマは踏切動作において前肢を用いて水平方向速度を鉛直方向速度に変換している可能性が示唆される。

5 本研究の限界

本研究では障害馬術競技馬が実際にどのような動作を行っているかをバイオメカニクスの手法を用いて測定し、その頭頸位置から視覚情報獲得の過程を推定した。しかし、冒頭でも述べたように馬術競技は人間と生き物であるウマとが一体となって行うスポーツであり、常に騎手とウマとが影響を与え合いながら一つの動作を構築している。したがって人馬一体としての飛越動作を捉えようとすればウマの動作だけでなく、手綱の操作など騎手の動作についても検討する必要があるだろう。また、考察において力学的な視点からみた飛越動作についての所見を述べたが、本研究ではウマのごく一部の身体ポイントを2次元平面上に写像したにすぎず、推測の域を出ているとは言いついては切れない面がある。この点についても今後より詳細な科学的方法を用いた検証が必要である。

6 今後への展望

馬術の特筆すべき特徴と面白さは、ヒトとウマという他種他個体同士が協働し、非言語的なコミュニケーションを通じて如何にパフォーマンスを発揮させるかという点にあるといえる。この過

程を通じて形成された美しい姿や躍動感あふれる動きの中に人は『人馬一体』という言葉を見出す。『人馬一体』とは一体どのような状態を指すのだろうか？大北ほか(2018)は「客観的に見れば2つのエージェントが協働している『人馬二体』ともいえる現象の中に、操作対象がエージェントを持つがゆえのインタラクティブな相互学習の過程を経て『人馬一体』感に至っていると考えられる。」と述べている。つまりそれは、ギリシア神話に登場する半人半獣ケンタウロスのようにヒトとウマとが物理的に結合している状態というだけでなく、ヒトとウマとが様々な情報伝達チャンネルを通して、時間的に接近したインタラクションを行い、それが双方の理解の下で一つの行動を成している状態を指すと思われる。これらを総合的に理解するためには、急速に発展している各種センシング技術等を利用し、ウマとヒトという2つの行動主体の音声刺激や触覚刺激など多くの情報伝達チャンネルの測定を行う必要があると思われる。本研究ではウマの動作のみを検討したが、今後はこれらの測定項目を追加し、人馬のダイナミクスを明らかにしていくことで、既存のトレーニング方法やコーチング方法といったスポーツ科学的発展を目指すとともに、他分野との連携も視野に入れた学際的研究が必要なのではないだろうか。

参考・引用文献

- 阿江通良(1996) 陸上競技の高く跳ぶ動作と遠く跳ぶ動作: How they jump (〈特集〉飛ぶ・跳ぶ). バイオメカニズム学会誌, 20: 57-62.
- Beaver, B. V. (1984) Equine vision. *Veterinary Medicine & Small Animal Clinician*, 77: 175-178.
- Buchner, H. H. F., Savelberg, H. H. C. M., Schamhardt, H. C. and Barneveld, A. (1997) Inertial properties of Dutch Warmblood horses. *Journal of Biomechanics*, 30: 653-658.
- Clayton, H. M. and Barlow, D. A. (1991) Stride characteristics of four Grand Prix jumping horses. *Equine Exercise Physiology*, 3: 151-157.
- 濱出広大・中本浩揮・幾留沙智・森司朗(2013) 視線行動を変容させるトレーニングがハードル走の歩幅の変動性に及ぼす効果. *スポーツパフォーマンス研究*, 5: 261-271.
- 星子友宏(1984), III 馬術の指導法. 浅見俊雄・宮下充正・渡辺 融(編), 現代体育・スポーツ大系第17巻. 講談社: 東京, pp. 23-56.
- 石井喜八・天野勝弘・桜岡広(1989) 馬の走運動の運動学的分析. 競走馬総合研究所報告, 26: 1-9.
- 加藤貴昭(2004) 視覚システムから見た熟練者のスキル. 日本スポーツ心理学会編, 最新スポーツ心理学 その軌跡と展望. 大修館書店: 東京, pp. 163-174.
- McGreevy, P. (2007) The advent of equitation science. *The Veterinary Journal*, 174: 492-500.
- McGreevy, P., Harman, A., McLean, A. and Hawson, L. (2010) Over-flexing the horse's neck: A modern equestrian obsession?. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 5: 180-186.
- McGreevy, P. (Ed.) (2012) *Equine Behavior: A Guide for Veterinarians and Equine Scientists* (2nd ed.). Elsevier Health Sciences.
- 大北 碧・二瓶正登・西山慶太・澤 幸祐(2018) ヒト-ウマインタラクションにおける「人馬一体」感とは何か? 認知科学, 25 (4).
- R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Roberts, S. M. (1992) Equine vision and optics. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 8: 451.
- Saslow, C. A. (2002) Understanding the perceptual world of horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 78: 209-224.
- 瀧本彩加・堀裕亮・藤田和生(2011) ウマにおける認知研究の現状と展望. 動物心理学研究, 61

- (2): 141-153.
- 寺田佳代・加藤清忠 (2002) 馬術競技の障害飛越動作における人馬の動作解析. 体育学研究, 47: 163-172.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion, 1: 92-93.