

令和 元年 6 月 11 日現在

機関番号：17702

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：16KK0031

研究課題名（和文）スポーツにおける超短潜時状況下での予測能力の診断・処方システムの開発（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Development of an assessment-treatment system in anticipation of ability in interceptive sports(Fostering Joint International Research)

研究代表者

中本 浩揮（Nakamoto, Hiroki）

鹿屋体育大学・スポーツ人文・応用社会科学系・准教授

研究者番号：10423732

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円

渡航期間：12ヶ月

研究成果の概要（和文）：野球などのスポーツでは、飛来するボールを0.5秒以下の超短潜時で打球する必要があり、この状況では、高い身体能力（筋力や持久力：末梢機能）に加え、高い情報処理能力（情報収集や予測：中枢機能）が優れたパフォーマンスを決定する。本研究では、打球運動中の視線行動に焦点を当て、優れた打球運動を実現する視線行動およびトレーニング方法の検証を行った。

結果として、超短潜時で行われる打球運動の成否は視線行動と関連しており、眼球運動と頭部運動を協調させた予測的制御が重要であることが示唆された。またこのような視線行動が視野の可視・不可視状態を切り替えるストロボトレーニングによって促進される可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

野球などのスポーツでは、飛来するボールを0.5秒以下の超短潜時で打球する必要があります。この状況では、高い情報処理能力（情報収集や予測）が必要となります。

本研究から、優れた打球運動の実現には、ボールを頭と眼を使って予測的に追跡する必要があること、ストロボトレーニングによって予測的な視線行動が獲得できることがわかりました。このような研究は、アスリートの能力開発に寄与すると思われます。

研究成果の概要（英文）： In interceptive sports such as baseball, athletes are required to execute their interceptive movement under severe time constraints. Thus, higher information processing capability, such as gathering information and anticipation, in addition to higher physical capability, is a vital factor enabling superior performance. The purposes of this study were to identify key gaze markers that can explain superior interceptive performance and to develop training methods that enhance effective gaze behaviors for interception under severe time constraints.

Our results showed that interceptive performance under severe time constraints is strongly related to gaze, such as with the case of predictive gaze behavior that is produced by coordination of eye and head movement. Further, it is possible that such predictive gaze behavior can be enhanced with strobe training (alternate changes in vision between visible and invisible scenes).

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：知覚 予測 視線行動 知覚トレーニング

1. 研究開始当初の背景

野球やテニス、卓球のようなスポーツでは、飛来するボールを 0.5 秒以下の超短潜時で迅速かつ正確に打球することが求められる。このような状況では、高い身体能力（筋力や持久力：末梢機能）に加え、高い情報処理能力（情報収集、状況判断、予測、運動命令の企画・修正：中枢機能）が優れたパフォーマンスを決定する要因となる。

スポーツ心理学領域では、古くからエリートアスリートの優れた情報処理特性に焦点を当て、情報収集のための効率的な視線行動 (e.g., Kato & Fukuda, 2002; Mann et al., 2013; Vickers, 2007) や遅延を回避するための予測 (e.g., Abernethy et al., 1997)、またそれらに基づく意思決定 (Williams et al., 1998) といった知覚・認知スキルが優れたパフォーマンスを支える要因であることを明らかにしてきた (Williams et al., 1999; Williams & Jackson, 2019)。

一方、伝統的な知覚・認知スキル研究は、実験統制が容易な実験室環境（生態学的妥当性は低い）で検証が行われてきたが、近年のより生態学的妥当性の高い状況での検証は、従来の知見とは異なるエリートアスリートの特性を解明し始めている (e.g., Mann et al., 2010, 2013)。また、知覚・認知スキルの特性やそのメカニズム研究の進展により、知覚・認知スキルを向上させるトレーニング開発が可能な段階と思われるが、研究・実践レベルの両方において、トレーニングの検証や利用は少ない状況にある。

2. 研究の目的

本研究では、高い実験的統制と生態学的妥当性を実現させることが可能なバーチャルリアリティ (VR) を利用し、超短潜時で行われる打球運動中の視線行動に関して、打球運動の良否を決定する視覚パラメータの解明、および、視線行動を変容させるトレーニングメソッドの検証を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) テーマ 1: 打球運動の良否を決定する視線行動の解析

打球運動の指導では、「ボールから眼を離すな」といった指導が行われる。一方、野球やクリケットを対象に、打者の視線行動を調査した研究では、熟練者でさえインパクトの瞬間にはボールを注視していないこと (Bahill & LaRitz, 1984)、むしろ熟練者は、サッケード眼球運動を使用して、積極的にボールから眼を離し、将来的にボールが到達する空間を予測的に注視することが明らかにされている (Land & McLeod, 2000)。

このように、実践者と研究者では打球運動に有効な視線行動の見解が異なるが、少なくとも研究で示されてきたエビデンスには 2 つの問題が指摘できる。1 つは、生態学的妥当性の低さである。従来の研究では、実験統制を高めるために、低速度、単一球種、スイング無しなど、現実とかけ離れた環境下で視線行動が調査されている。しかし、より現実に近い環境下での視線行動の測定は、伝統的な研究によって導かれた定説よりも、むしろ現場での指導が正しい可能性を指摘している (Mann et al., 2013; Sarpeshkar, Mann, & Abernethy, 2017)。もう 1 つは、分析方法である。これまでの研究はすべて熟練者而非熟練者といった個人差分析のみを行ってきた。しかし、このデザインでは、打撃パフォーマンスの変動に寄与する重要な視覚パラメータを見落とす可能性がある。例えば、実験室的な研究では、熟練者が示すような予測的な視線行動よりも、ボールを長く注視した方がタイミング一致課題の成績が高いことを示唆する報告がある。

以上から、高い生態学的妥当性と実験統制を維持できるヴァーチャルリアリティ (VR) 下での打撃課題を用い (図 1)、打撃のタイミング精度に寄与する視線行動を個人間・個人内分析によって検証した。実験課題は、より自然な環境下で打撃が行われるように、投手が 3 種類の球種 (140km/h ストレート、120km/h カーブとチェンジアップ) を 5 コース (内角・外角のストライクとボール、および真中) に投じるコンピューターグラフィック (CG) をランダムに呈示した (計 45 球 (ストライク)+9 球 (ボール))。



図 1 ヴァーチャルリアリティ下での野球の打撃と視線計測

(2) テーマ 2: 視野制限トレーニングが打球パフォーマンスおよび、頭部追跡に及ぼす影響

超短潜時で行われる打球運動の視線行動に関する近年の報告では、実験 1 でも示されたように (実験 1 の結果参照)、ボールに対する頭部方向が打球運動の良否と強くかわる可能性が指摘されている (Higuchi et al., 2018; Mann et al., 2013; Mann, Nakamoto, Logt, Sikkink & Brenner, under review)。具体的には、ボールが飛来する間、ボールと頭部方向を一定の角度関係に保ち (constant head strategy)、最終的なインパクトで頭部方向とボールを一致させるという方略である。

一方で、このような頭部追跡は、頭部方向をボールに向けること自体が打球運動の制御に貢献するのか (オンライン処理促進仮説: Mann et al., 2013)、初期のボール情報からの予測に基づいて制御されているのか (予測的処理仮説) は不明である。このような頭部追跡の機能的役割の解明は、長年議論されている打球運動を支える視覚情報処理メカニズムの理解を促すと思われる。

そこで、テーマ2では、ボールに対する頭部追跡を促進すると考えられる視野制限トレーニング(図2参照)によって、頭部追跡が打球運動を向上させるのかを検証した。仮に、頭部追跡がオンライン処理を促進するのであれば、視野制限トレーニングによる頭部追跡の促進は、打球運動の精度を向上させると考えられる。

方法として、図2Aに示したように、通常の視野状態で打球運動のトレーニングを行う群(統制群)と図2Bのように、周辺視野を制限し、頭部追跡をしないとボールの視覚情報が得られない状態で打球運動のトレーニングを行う群(視野制限トレーニング群)に分類し、頭部追跡と打球パフォーマンスの変化について調査した。

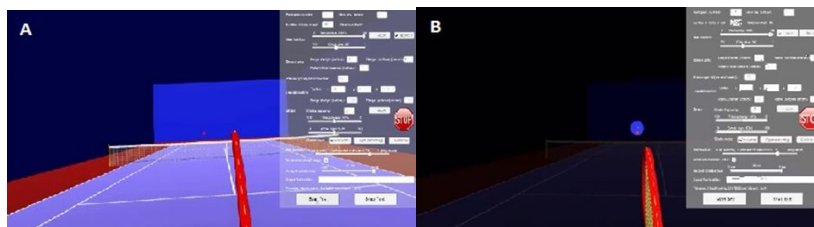


図2 視野制限トレーニングで使用した参加者の視野映像 (A: 視野制限なし, B: 視野制限あり)

3) テーマ3: ストロボトレーニングが打球パフォーマンスおよび、視線行動に及ぼす影響

実験1と2の結果、およびそれに付随する研究結果から、打球運動に有益な視線行動は、予測に基づいた眼球運動と頭部運動の協調である可能性が示された。よって、予測的な視線行動や運動制御の獲得は、打球パフォーマンスに有益な効果をもたらすと考えられる。

短時間で視覚情報の可視状態と不可視状態を切り替えるストロボトレーニングの打球運動への効果は、先行研究でも意見が分かるところであるが、トレーニング中の視覚情報の遮蔽はより予測的な制御を促すと考えられる。しかし、ストロボトレーニングが視線行動にどのような影響を与えるかについては明らかにされていない。

そこでテーマ3では、短時間で視覚情報の可視・不可視状態を切り替えるストロボトレーニングが視線行動および打球パフォーマンスに及ぼす効果を検証した。

4. 研究成果

(1) VR環境下での野球打者の視線行動の解析

図3Bは、1軍で主力打者として活躍する日本プロ野球選手と2軍選手の注視誤差(ボールと注視位置のなす角)をヒートマップ(注視誤差の時系列変化)によって示したものである(0msはインパクト時点)。0度(白色)はボールを注視している状態、正の値(赤色)は、ボールから眼が離れ注視位置がボールより後ろにある状態、負の値(青色)はボールより将来位置を注視している状態を示す。図3Bから、1軍選手は2軍選手よりもインパクト直前までボールを視覚によって追跡していることがわかる。またインパクトまで注視できた試行が数度認められる。さらに、この傾向は、MLBの育成選手、オランダ代表の野球選手、クラブレベルの選手、初級者を比較した場合でも同様であった。以上の結果は、従来の実験室研究で得られた知見よりも、実践現場で用いられる「ボールを最後まで見ろ」という指導の方が優れた打球運動を支える視線行動としての的を得ているといえる。

次に、各参加者の打球パフォーマンスの変動が視線行動によって説明できるかを検証するために、各試技におけるタイミング誤差とインパクト時の注視誤差、およびタイミング誤差とインパクト時の頭部誤差(ボールと頭部方向のなす角)の相関について分析した(図3C)。結果として、いずれにも有意な相関関係が認められた。すなわち、ボールを最後まで見ることは打撃パフォーマンスと強く関連するといえ、ボールに対して注視/頭部方向が遅れた場合は遅延反応を引き起こすことが示された。また、回歸直線の切片から、インパクトの瞬間に、注視方向よりも頭部方向がボールに向いているかどうか、タイミング誤差が最小になるかどうかと関係することが示唆された。つまり、「ボールから眼を離すな」という一般的な指導とは異なり、頭がボールに向いている(ボールから頭が離れない)ことが優れた打撃に重要となる可能性がある。

以上の結果を総合すると、ボールを最後まで追跡することは重要であるが、注視方向だけでなく、頭部方向をボールに向けることが高い打撃パフォーマンスに貢献するといえる。しかし、これらの結果は、優れた打者や高いパフォーマンス時に、打者がボールを追跡していることを示しているのか、予測的な制御によって、結果として追跡したように見えるのか、については更なる議論が必要である。

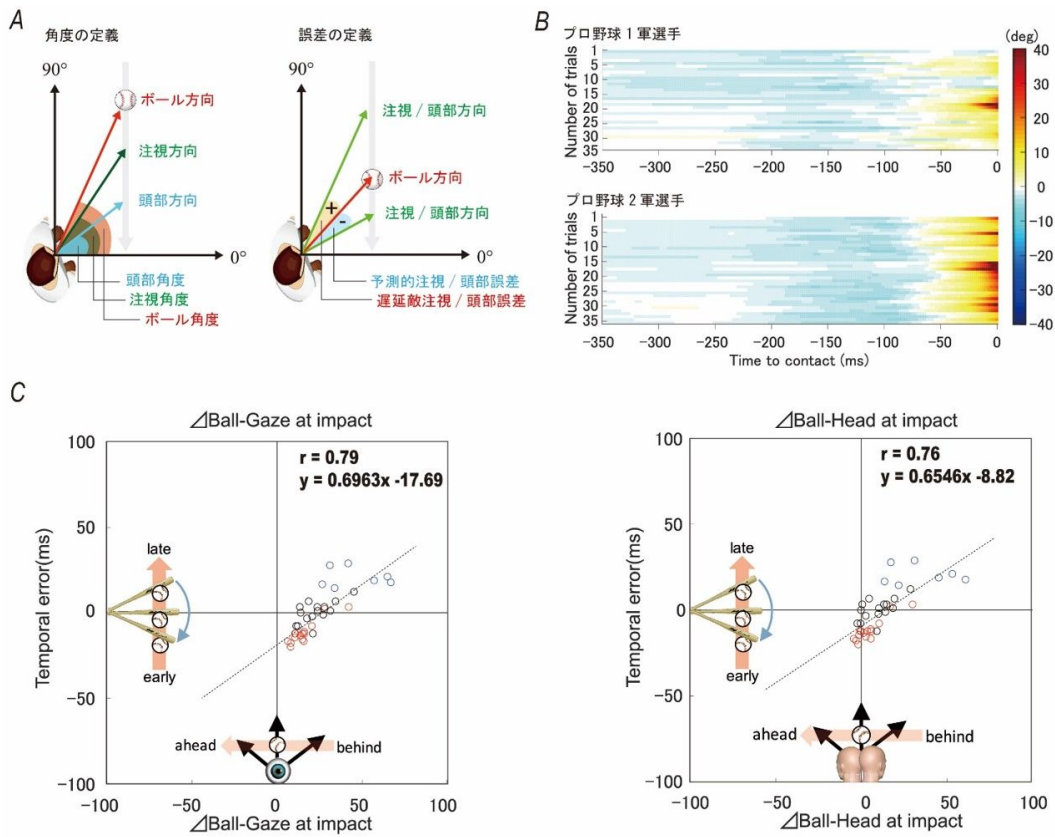


図 3 分析に用いた角度定義 (A), ボールに対する注視位置の誤差のヒートマップ (B), タイミング誤差とインパクト時の注視誤差, およびタイミング誤差とインパクト時の頭部誤差の相関 (典型例)

(2) 視野制限トレーニングが打球パフォーマンスおよび、頭部追跡に及ぼす影響

図 4 は、トレーニング前後のパフォーマンススコアの変化値について、個人ごとのデータを円で、平均値をバーで群別に示したものである。左が VR 環境下での変化値、右が実環境 (テニスコート上) での変化値を示している。実環境でのテストにおいて、視野制限下でトレーニングを行った群の方が、大きくスコアを向上させたが、統計的に有意な差は認められなかった (VR 環境テスト: $F_{(1,14)}=.869, p=.37$, 実環境テスト: $F_{(1,14)}=.510, p=.487$)。よって、視野制限トレーニングによる明確なトレーニング効果の利点は認められなかった。

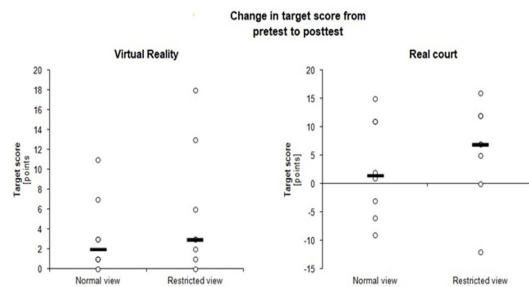


図 4 トレーニング前後での打球パフォーマンスの変化量 (左: VR 状況でのテスト, 右: 実際のコートでのテスト)

図 5 は、各試技における頭部追跡誤差 (ボールに対する頭部方向の角度誤差) を示したものである。0 度は、ボール方向に頭部が向いていること、正の値はボールよりも頭部方向が遅れていることを示す。この図で示されるように、視野制限の無いグループは、トレーニング期間を通して頭部追跡誤差に変化は認められなかったが、視野制限を施したグループは、トレーニング時に頭部追跡誤差が減少した。ただし、この効果は、視野制限を除去した場合には、消失する傾向にあった。

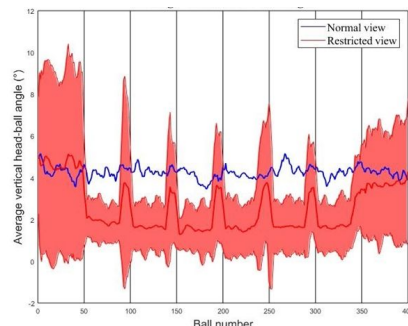


図 5 各試行における頭部追跡誤差 (赤塗り潰しは 95%CI)

以上のことから、視野を制限して頭部追跡を課す視野制限トレーニングは、少なくともトレーニング中には頭部追跡誤差に影響するが、それが打球パフォーマンスに明確な影響を与えない。すなわち、近年報告されている頭部追跡が、オンライン処理を促進する可能性は低いことが示唆された。

(3) ストロボトレーニングが打球パフォーマンスおよび、視線行動に及ぼす影響

図6は、各セクション(テスト(Pre, Transfer, Post), トレーニング(TR_Strobe, TR_Nostrobe))のショット成功率を示している。トレーニング群(赤), および統制群(緑)ともに、トレーニングの進行に伴いショット成功率が向上していることがわかる。

黒塗り円は、ストロボが付加された状態で打球運動を行ったセクション, 白抜き円は通常の視覚状態で打球運動を行ったセクションを示している。トレーニング群において、ストロボが付加された状況では、ショット成功率は低下するが、直後の通常視覚状態において、ショット成功率が統制群より高くなる傾向があった。しかし、この点に関して、統計的な有意差は認められなかった。また、トレーニング前後で両群ともに有意にショット成功率が増加したものの ($F_{(1,16)} = 44.0$, $p < .01$, $\eta^2 = .73$), postテストでのショット成功率に群間の差は認められなかった。よって、スポーツ実践現場では、ストロボが打球運動を向上させると考えられているが、少なくとも生態学的妥当性を維持しつつ実験統制を行った本研究では打球パフォーマンスに有効であるという結果は得られなかった。ただし、トレーニング期間など、更なる検証は必要である。

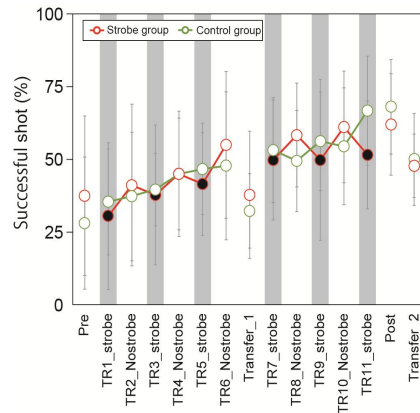


図6 各セクションにおける打球パフォーマンス(ショット成功率)

一方、興味深いことに、ストロボトレーニングは、視線行動に明確な影響を及ぼした。図7は、飛来するボールを視覚的に追従している際のボールと視線のズレ(注視誤差)を示したものである。正の値は、ボールより遅れた位置に視線がある場合(遅延的), 負の値は、ボールより将来位置に視線がある場合(予測的)を示す(注: 0ms~200msのみ値の意味は逆)。ボールがバウンドした瞬間を基準に、局面を200msごとに区切り、各時間局面の注視誤差平均値を試技系列で並べた場合、-1000msから-200msまでの4区間では、トレーニング期間を通して両群の注視誤差は変化しなかった。一方、バウンドの200ms前から0msの時間局面では、トレーニング群は200試技目以降から予測的な視線行動に変化した。類似して0msから200ms区間では、トレーニング群はストロボ状況でのみ予測的な視線行動を示した。

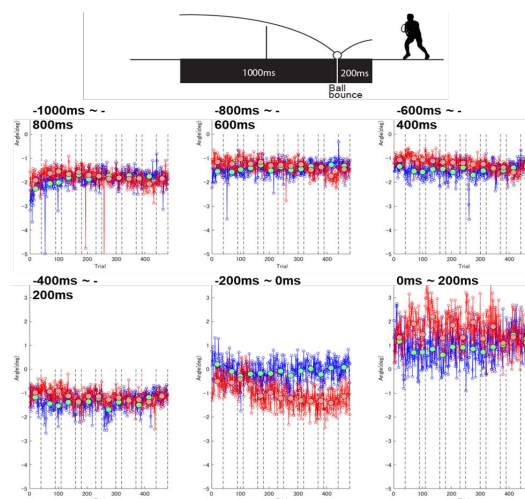


図7 飛球の時間局面ごとの各セクションにおける注視誤差

バウンド位置への予測的な視線行動は、打球運動の熟練者の特徴であり、ボールの初期軌跡から将来位置を予測する能力と関連していると考えられている(Land & McLeod, 2000)。このことから、ストロボによる視覚遮蔽の繰り返しは、ボール軌跡の予測を促進するものと考えられる。

以上の報告のように、超短潜時で行われる打球運動の成否は視線行動と関連していること、具体的には眼球運動と頭部運動の予測的制御が重要であることが示唆された。また、より生態学的妥当性の高い状況下での計測は、従来のスポーツ心理学領域で示されてきた知覚・認知スキルの再解釈に繋がるものと思われる。さらに、ヴァーチャルリアリティを利用した検証は、実験的統制の高い状況での計測を可能にするため、メカニズムの解明にも寄与すると考えられ、スポーツ科学の発展に有用なツールであるといえる。

5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線)

[雑誌論文](計 4 件)

- (1) Krabben K, Ravensbergen R, Nakamoto H, Mann DL. (2019) The development of evidence-based classification of vision impairment in judo: A Delphi study, *Frontiers in Psychology*, 10:98. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00098. ・査読有
- (2) Mizusaki Y, Ikudome S, Ishii Y, Unenaka S, Funo T, Takeuchi T, Ogasa K, Mori S, Nakamoto H

- (2019) Why does the Quiet Eye training improve aiming accuracy? Testing a motor preparation hypothesis with brain potential. *Cognitive Processing*, 20(1): 55-64. doi: 10.1007/s10339-018-0890-5. ・査読有
- (3) Takeuchi T, Ikudome S, Unenaka S, Ishii Y, Mori S, Mann DL, H Nakamoto (2018) The Inhibition of motor contagion induced by action observation, *PLOS ONE*, 13 (10): e0205725. doi: 10.1371/journal.pone.0205725. ・査読有
- (4) Unenaka S, Ikudome S, Mori S, Nakamoto H (2018) Concurrent imitative movement during action observation facilitates accuracy of outcome prediction in less-skilled performers, *Frontiers in Psychology*, 9:1262. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01262. ・査読有

〔学会発表〕(計 7 件)

- (1) Mann DL, Nakamoto H, Logt N, Sikkink L, Brenner E. (2019) Predictive eye and head movements when hitting a bouncing ball. 19th Annual meeting Vision Science Society.
- (2) Mann DL, Nakamoto H, Salvadori G. (2019) Gaze during stroboscopic training: Less predictive behaviour rather than more? 15th FEPSAC European Congress of Sport and Exercise Psychology.
- (3) Fukuhara K, Onozawa T, Higuchi T, Mann DL, Nakamoto H. (2019) Effect of expertise on coincidence timing in baseball batting in virtual reality. 15th FEPSAC European Congress of Sport and Exercise Psychology.
- (4) Murakawa D, Ikudome S, Yamamoto K, Ogasa K, Mori S, Nakamoto H. (2019) Do domain-specific perceptual abilities operate outside of conscious awareness? 15th FEPSAC European Congress of Sport and Exercise Psychology.
- (5) Nakamoto H, Fukuhara K, Mann DL. (2018) Keep your “head” on the ball: The relationship between gaze behavior and temporal error in baseball batting in a virtual environment, North American Society for Psychology of Sport and Physical Activity 2018 conference.
- (6) Fukuhara K, Higuchi T, Nakamoto H, Mann DL. (2018) The role of proximal body information in skilled anticipation: the effect of kinematic interchange on anticipatory judgments in tennis, North American Society for Psychology of Sport and Physical Activity 2018 conference.
- (7) 中本浩揮, 福原和伸, Mann DL. (2017) ボールから頭から離すな? ヴァーチャル環境下における野球打者の視線行動とタイミング精度の関係, 日本野球科学研究会第5回大会.

〔図書〕(計 1 件)

- (1) Mann DL, Causer J, Nakamoto H, Runswick OR. (2019) Visual search behaviours in expert perceptual judgments. In: Williams AM, Jackson RC (eds.). *Anticipation and Decision Making in Sport*. Routledge: Abingdon, Oxford (pp. 59-78).

〔その他〕

ホームページ等

<https://kanoya-sport-psychology.jimdo.com/>

6. 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名：デイビッド・リンドセイ・マン

ローマ字氏名：David L Mann

所属研究機関名：アムステルダム自由大学

部局名：人間行動科学科

職名：准教授

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名：福原 和伸

ローマ字氏名：Fukuhara Kazunobu

所属研究機関名：首都大学東京

部局名：人間健康科学研究科

職名：助教

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。