

令和 3 年 6 月 12 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10890

研究課題名(和文) ベイズ統合モデルに基づく熟練者の打球方向予測能力の解明

研究課題名(英文) Elucidation of anticipation ability of ball direction in skilled athletes based on Bayesian integrated models

研究代表者

福原 和伸 (Fukuhara, Kazunobu)

東京都立大学・人間健康科学研究科・助教

研究者番号：10589823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、テニス熟練者の優れた予測能力が過去の文脈情報と相手の運動学的情報の両方を重み付けした情報を利用する「ベイズ統合モデル(Kording & Wolpert, 2004)」により支えられているかを明らかにすることである。バーチャルリアリティ(VR)技術により相手の運動学的情報(動作誇張)と選手の文脈情報(コート位置)を任意に操作し、テニスのフォアハンドショットの打球コースを予測する課題を行った。結果、熟練者の優れた予測能力は、本研究で操作した運動学的情報と文脈情報に影響されることが明らかになった。また熟達によって、予測に利用できる統合情報に違いがある可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テニスや野球などの球技では、熟練者の優れた予測能力は相手の動作だけでなく、試合での文脈も重要な先行情報となります。またこうした両者の情報は、信頼性の高い情報を選択するという「脳の確率論的な情報処理(ベイズ統合)」に支えられている可能性が近年指摘されています。本研究ではテニスの予測場面をVR環境にて作り上げ、熟練者のベイズ推定に基づく予測能力を評価する新たな手法を確立しました。この手法の応用により、熟達によって統合された情報利用に違いがある可能性が見られました。このような成果は、一流選手の素早く的確な運動能力の解明だけでなく、対戦競技の理解やトレーニングへの発展に寄与すると考えられます。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to clarify whether the superior anticipation ability of skilled tennis players is underpinned by a Bayesian integration model (Kording & Wolpert, 2004), which uses information weighted by both past contextual and opponent kinematic information. We used virtual reality (VR) technology to arbitrarily manipulate the opponent's kinematic information (movement exaggeration) and the player's contextual information (court position) to predict the hitting course of a tennis forehand shot. The results showed that the superior anticipation ability of skilled players was influenced by the manipulation of kinematic and contextual information manipulated in this study. The results also indicated that there may be differences in the integrated information that can be used for prediction depending on expertise.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：予測 文脈情報 運動学的情報 動作誇張 熟達 テニス

### 1. 研究開始当初の背景

テニスや野球などの球技スポーツでは、熟練者は初心者よりも自らの運動実行前に対戦相手の運動結果(打球コース等)を的確に予測する能力が優れている。熟練者の予測能力の解明を目指した数多くの研究では、対峙者の運動学的情報から有益な先行手がかりを検出する知覚情報処理の存在を明らかにしてきた(Yarrow et al. 2009)。

申請者はこれまで、バーチャルリアリティ(VR)技術を駆使した視覚刺激の情報操作により、熟練者が予測の先行手がかりとなる運動学的情報の解明に着手してきた。最近では、テニス競技の打球方向予測にて、「対峙者の局所(ラケット)に注意を向けすぎず、体幹を起点に周辺全体を俯瞰的に捉える」といった、熟練者の優れた予測を支える知覚情報処理の一旦を明らかにした(Fukuhara et al., 2017)。

従来予測研究では、競技中の文脈情報(対戦相手のコートポジションやカウント等)を無視して議論されてきたものの、ここ数年、文脈情報が予測の選択判断に利用されるという報告が盛んとなってきた(例えば, Mann et al 2014)。こうした研究の次なる課題は、「事前分布(文脈情報)と最新の感覚情報(運動情報)を、熟練者がどのように統合して利用するのか?」である。この問題解決は、実際の競技場面における熟練者の予測の性質に迫る上で重要であり、当該領域の課題として提起されている(Loffing et al 2017)。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、テニス競技の打球コースの予測課題を題材に、熟練者がどのように予測の先行手がかりとして運動学的情報と文脈情報の両者を統合し利用するのかを、ベイズ統合モデル(Körding & Wolpert 2004)の観点から明らかにすることであった。テニスのフォアハンドストローク動作を忠実に再現したVR刺激を使用し、両情報を操作した心理物理学実験から検討する。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、研究では事前分布と最新の感覚情報から確率論的にあり得る方向へ知覚や行動をシフトする「ベイズ統合」の観点を、熟練者の予測能力解明に応用した。例えば、テニス熟練者は対峙者のコートポジションと打球結果の“文脈”に基づき、打球コースの予測・判断をおこなう(Loffing et al. 2014)。また上述してきたように、対峙者の運動学的情報は予測の先行手がかりとなる。こうした2つの感覚信号を操作できる実験系が確立されれば、熟練者が予測時に利用する最適化情報を推定できる(図1)。本研究では実環境で操作困難な実験系をVR技術によって解決し、以下3つの課題から、テニス熟練者の優れた予測能力がベイズ統合により支えられているのかを検証した。

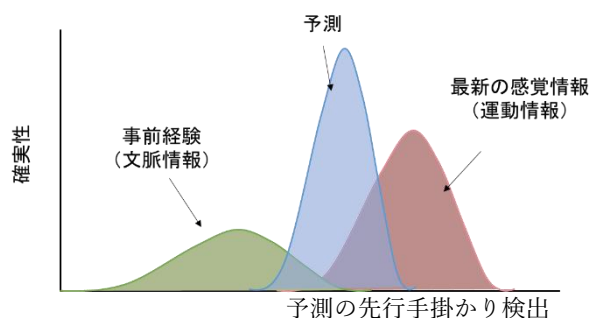


図1. 2つの感覚信号(運動と文脈)に基づくベイズ統合モデルの概略図。運動情報の確実性(*certainly*)が強い場合、打球方向予測は運動情報の利用依存にシフトする傾向が強くなる。

#### 課題1. 確信度の操作が可能となる動作誇張法の構築とその妥当性検証実験

ベイズ統合の検証を行うためには、熟練者が打球コースの予測・判断を行う際に、どの程度の信頼性を持って(確実性)、対戦相手の運動学的情報を先行手がかりとするのかの定量的な評価が必要となる。

Pollickらの報告によれば(Pollick et al. 2001)、テニス動作の打球動作の誇張表現を可能とする動作誇張法(movement exaggeration methods)は、観察者のコース予測・判断の確実性を操作できる刺激とされている。

そこで課題1では、コース予測の確実性を操作できるテニス動作のVR刺激を構築し、テニス熟練者と初心者の打球コースの予測・判断への影響について検討した。

具体的には、9つの動作誇張条件(5%, 50%, 100%, 150%, 200%, 250%, 300%, 350%, 400%)を設定し、各誇張条件における打球コースの予測精度を計測した。ここで得られた結果から、本研

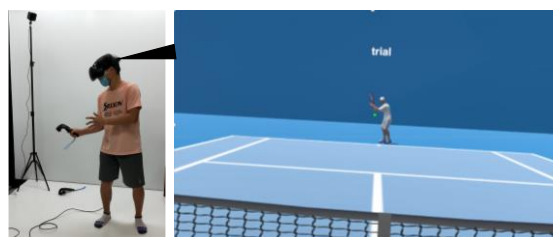


図2. バーチャルリアリティ環境における打球コースの予測実験の様子。

究の評価指標としての妥当性について議論した。

### 課題2. 文脈情報の操作がコース予測・判断に与える影響の検証実験

熟練者は対戦相手の運動学的情報だけでなく、競技における文脈情報を予測・判断の先行手がかりとすることが報告されている。特に、ベイズ統合の検証では、運動学的情報の確信度の操作に加え、文脈情報の操作も重要な観点となる。

そこで課題2では、実験参加者の観察位置を対象とする文脈情報操作から、熟練者と初心者の打球コースの予測・判断にかかわるコース選択への影響について検討した。

実験では、テニスコートの中央付近から左右に観察位置を7か所設定し(図3)、打球コースの予測・判断を行う。さらに観察位置の効果をより明確に示すために、呈示する対戦相手の打球動作は左右の打ち分けの意味を持たない平均化情報を活用した。観察位置による打球コースのコース選択の頻度を検討することで、観察位置の文脈効果について検証した。

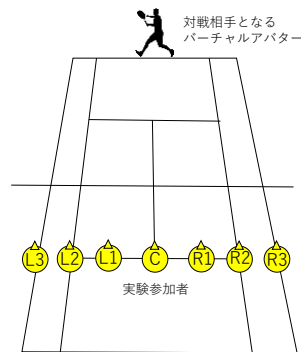


図3. テニスコート上での観察位置による文脈情報操作の概略図。

### 課題3. 運動情報と文脈情報のベイズ統合の検証

課題1と課題2で得られた結果をもとに、VR刺激により文脈情報と運動情報を操作し、それを組み合わせた課題によって、テニス熟練者がどのように両者を最適化させて統合化した情報を利用するのかを検討した。

## 4. 研究成果

### 課題1. 確信度の操作が可能となる動作誇張法の構築とその妥当性検証実験

図4は、各動作誇張条件における熟練者と初心者(球技経験あり・球技経験なし)の打球コースの予測正答率を示している。熟練者の予測精度(赤)は初心者(青と灰)に比べて、100%を超える誇張において有意に高かった。特に熟練者は誇張の度合いが高まることによって、その予測精度は100%に近い値を示した。すなわち、誇張度の増加によって、熟練者は打球コースの予測・判断の先行手がかりとなる運動学的情報の検出力を高めていたことを示す。

一方で熟練者の結果とは異なり、初心者の予測精度(青と灰)は誇張度の増加によって、ある程度改善されるものの、100%の正答に近づくことはなかった。つまり、初心者にとっては動作が誇張されたとしても、検出可能な運動学的情報の知覚・認知には限界があることを示している。興味深いのは、初心者の球技経験の有無によって、予測精度に違いが見られたことである。この結果は、テニスや野球などの球技経験の有無によって、対戦相手からの運動学的情報(具体的には運動連鎖情報)の検出力に差が生じる可能性が示唆される。

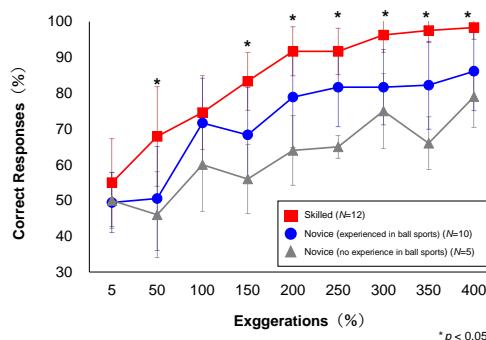


図4. 各誇張条件における予測正確性。熟練者(赤)、球技経験のある初心者(青)、球技経験のない初心者(灰)。

以上の結果から、動作誇張法を利用したテニス動作のVR刺激は、テニス熟練者ならびに初心者の打球コースの予測・判断の確実性を操作する特性を有することを明らかにした。さらに運動経験の熟達によって、対戦相手の運動学的情報に対する検出力に違いがあることを明らかにした。

### 課題2. 文脈情報の操作が打球コースの予測・判断に与える影響の検証実験

図5は各観察位置による打球コースのコース選択の頻度を示す。熟練者と初心者ともに観察位置によるコース選択に偏りが見られた。具体的には、テニスコートの中心から左方面に観察位置が移行すると、中心よりも右コースに打球されると判断していた。同様に、コート中心から右方面に観察位置が移行すると、中心よりも左コースに打球に打球されると判断していた。このような傾向は、熟練者よりも初心者に強くみられた。

以上の結果から、対戦相手の動作に対するコース選択は、観察位置によって大きく変更することが明らかになった。この結果は、運動経験の熟達に関わらず、対象動作を正面から観察できない場合、その見えが大きく変わることを示している。つまり、観察位置の文脈情報は少なくとも、打球コースの予測・判断に影響を与えることを示している。

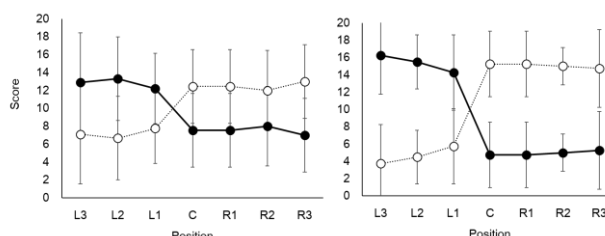


図5. 各観察条件におけるコース選択の頻度 (全20選択のうちの選択頻度)。熟練者(左)、初心者(右)。

### 課題3. 運動情報と文脈情報のベイズ統合の検証

熟練者1名と初心者1名を対象として、動作誇張と観察条件を組み合わせた実験を行った。その結果、熟練者と初心者によって、観察位置における誇張条件に対する予測精度の変化に違いが見られた。現在、解析中であり、今後参加者数を増やしてその検証を進めていく。

以上3つの実験結果から、本研究では、テニス熟練者は事前情報と現在の感覚情報との統合としての「ベイズ統合」の活用について明確に示すことはできなかった。しかし、以下3点について明らかにすることができた。

- ① 動作誇張法を用いたテニス動作のVR刺激は、熟練者・初心者の打球コースの予測・判断の運動情報検出の確実性を操作できる。
- ② テニスコート上での観察位置は、打球コースのコース選択に影響を与えるとう「文脈情報」を有する。
- ③ 運動情報と文脈情報の先行手がかりの利用が、運動経験の熟達による違いがある可能性が推定される。

本研究の成果は、最近のスポーツの予測研究領域で着目されている「熟練者の予測事態におけるベイズ統合の理解」を進めることに繋がる。こうした理解は、スポーツ心理学領域におけるスポーツ選手の知覚認知情報処理の新たな解釈へと貢献するものである。またVR環境を用いた実験系の構築は、スポーツ場面における対戦場面の理解やトレーニングへの応用可能性が大きいものであり、今後のスポーツ科学の発展に有用なツールとして期待できると思われる。

#### 引用文献.

1. Yarrow K, Brown P, Krakauer JW. Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nat Rev Neurosci.* 2009.
2. Fukuhara K, Ida H, Ogata T, Ishii M, Higuchi T. The role of proximal body information on anticipatory judgment in tennis using graphical information richness. *PLoS One.* 2017.
3. Mann DL, Schaeffers T, Cañal-Bruland R. Action preferences and the anticipation of action outcomes. *Acta Psychol (Amst).* 2014.
4. Löffing F, Cañal-Bruland R. Anticipation in sport. *Curr Opin Psychol.* 2017.
5. Körding KP, Wolpert DM. Bayesian integration in sensorimotor learning. *Nature.* 2004.
6. Löffing F, Hagemann N. On-court position influences skilled tennis players' anticipation of shot outcome. *J Sport Exerc Psychol.* 2014.
7. Pollick FE, Fidopiastis C, Braden V. Recognising the style of spatially exaggerated tennis serves. *Perception.* 2001.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 中本浩揮、福原和伸	4. 巻 -
2. 論文標題 ボール軌道を予測する能力とは～スポーツの予測研究過去，現在，未来～	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kondo Y, Fukuhara K, Suda Y, Higuchi T	4. 巻 92
2. 論文標題 Training older adults with virtual reality use to improve collision-avoidance behavior when walking through an aperture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Archives of Gerontology and Geriatrics	6. 最初と最後の頁 104265～104265
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.archger.2020.104265	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 樋口貴広、福原和伸、中本浩揮	4. 巻 38
2. 論文標題 スポーツ選手の視覚特性：知覚・認知・運動系で“見る”	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience（特集「スポーツの神経科学」）	6. 最初と最後の頁 720-723
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福原和伸・中本浩揮・樋口貴広	4. 巻 70
2. 論文標題 視覚運動制御研究におけるバーチャルリアリティ技術の活用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 体育の科学（特集 eスポーツを考える）	6. 最初と最後の頁 184-189
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 樋口貴広、福原和伸、中本浩揮	4. 巻 38
2. 論文標題 スポーツ選手の視覚特性：知覚・認知・運動系で“見る”	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience（特集「スポーツの神経科学」）	6. 最初と最後の頁 720-723
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福原 和伸、樋口 貴広	4. 巻 36
2. 論文標題 バーチャルリアリティ技術の活用で明らかにされたスポーツ選手の予測能力	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神経眼科	6. 最初と最後の頁 30～35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11476/shinkeiganka.36.30	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日吉 亮太、福原 和伸、樋口 貴広	4. 巻 34
2. 論文標題 身体部位の視覚刺激を用いたメンタルローテーションの熟達化 反復練習の持ち越し効果の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 455～459
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/rika.34.455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Fukuhara K, Maruyama T, Ida H, Ogata T, Sato B, Ishii M, Higuchi T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Can slow-motion footage of forehand strokes be used to immediately improve anticipatory judgments in tennis?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2018.01830	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Ida H, Fukuhara K, Ishii M, Inoue T	4. 巻 72(5)
2. 論文標題 Anticipatory judgements associated with vision of an opponent 's end-effector: An approach by motion perturbation and spatial occlusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of Experimental Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1747021818782419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 須田祐貴、福原和伸、佐藤和之、樋口貴広
2. 発表標題 バーチャルリアリティを用いた高齢者の衝突回避行動改善の支援
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樋口貴広、近藤夕騎、福原和伸
2. 発表標題 バーチャルリアリティ技術を用いた歩行調整力支援システムの構築
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukuhara K, Onozawa T, Higuchi T, Mann DL, Nakamoto K
2. 発表標題 Effect of expertise on coincidence timing in baseball batting in virtual reality
3. 学会等名 European Congress of Sport & Exercise Psychology(FEPSAC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野澤貴将、中本浩輝、樋口貴広、加藤貴昭、福原和伸
2. 発表標題 知覚-行為結合の操作が野球打者のタイミング修正に及ぼす影響
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukuhara K, Higuchi T, Nakamoto H, Mann DL
2. 発表標題 The role of proximal body information in skilled anticipation: The effect of kinematic interchange on anticipatory judgments in tennis
3. 学会等名 North American Society for Psychology of Sport and Physical Activity (NASPSPA) 2018 conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamoto H, Fukuhara K, Mann DL
2. 発表標題 Keep your “head” on the ball: The relationship between gaze behavior and temporal error in baseball batting in a virtual environment
3. 学会等名 North American Society for Psychology of Sport and Physical Activity (NASPSPA) 2018 conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福原和伸、中本浩輝、樋口貴広
2. 発表標題 テニス熟練者の打球方向予測を支える近位身体情報の利用
3. 学会等名 日本体育学会 第69回大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 福原和伸、小野澤貴将、樋口貴広
2. 発表標題 視環境の文脈に適応して習得される運動スキル - ヴァーチャル環境におけるボールインターセプト課題の検討 -
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会第45回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤夕騎、福原和伸、樋口貴広
2. 発表標題 歩行時における障害物回避能力の学習支援に向けた VR 環境の構築 - 狭い隙間を通過する課題の再現 -
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本スポーツ視覚研究会（編）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ナッブ社	5. 総ページ数 7
3. 書名 スポーツパフォーマンスと視覚 - 競技力と眼の関係を理解する - (担当:分担執筆, 範囲:スポーツにおけるバーチャルリアリティ環境について)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

research_map (福原和伸) <a href="https://researchmap.jp/fukuharakazu/?lang=japanese">https://researchmap.jp/fukuharakazu/?lang=japanese</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	中本 浩揮  (Nakamoto Hiroki)  (10423732)	鹿屋体育大学・スポーツ人文・応用社会科学系・准教授    (17702)	
連携研究者	樋口 貴広  (Higuchi Takahiro)  (30433171)	東京都立大学・人間健康科学研究科・教授    (22604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
オランダ	Vrije Universiteit Amsterdam		