

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11460

研究課題名（和文）眼球運動と脳波計測を用いたアスリートの視覚認知能力の評価法の開発

研究課題名（英文）Assessment of visual perception in athletes using eye movements and EEG

研究代表者

小野 誠司（Ono, Seiji）

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：70754753

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、視覚刺激によって誘発される眼球運動および視覚運動反応、脳波を用いて視標の動きやその変化を視覚的に認知する能力を定量化することによって、アスリートにおける視覚認知能力の新たな評価法を開発し、運動パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。本研究により、滑動性追跡眼球運動（パーシュート）や急速眼球運動（サッカード）、奥行視覚に伴う眼球運動（輻輳開散眼球運動）の特性が視覚認知能力や競技特性と関連することが認められ、また、視覚運動応答と事象関連脳電位に関連性が示されたことから、これらが中枢神経系の視覚情報処理能力を客観的に評価するための有効な指標となることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果として、これまで定量的な評価が困難であったアスリートの卓越した視覚認知能力について、眼球運動の制御特性と事象関連電位（脳波）を用いて、これまで包括的に捉えられてきた視覚情報処理能力の解釈と神経科学的な根拠を明らかにしたことは学術的な意義を有するものと考えられる。また、視標の動きやその変化を視覚的に認知する能力を評価する新たな指標を開発した成果は、スポーツ科学分野において、個々の能力を最大限に引き出す効果的な視覚トレーニング法につながるという社会的意義を有するものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a new evaluation method of the ability of visual perception in athletes and to clarify its relationship to athletic performance using eye movements and visuomotor responses evoked by visual stimuli and electromyography (EEG). The present study showed that the characteristics of the smooth pursuit eye movements, rapid eye movements (saccades), and eye movements associated with depth perception (vergence eye movements) were related to visual perception and athletic performance, and that there was a relationship between visual motion responses and event-related potentials. Therefore, our findings suggest that these parameters are effective in objectively assessing the visual information processing in the central nervous system.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：眼球運動 視覚認知能力 事象関連脳電位 視覚応答 反応時間

## 1. 研究開始当初の背景

(1) スポーツのパフォーマンスを決定する要因として視覚情報の認知は重要な役割を果たしている。しかしながら、これまでアスリートの卓越した運動能力と視覚認知の関連性を明確に示した知見は乏しい。動くものを見る際には網膜上の視覚映像にブレが生じるため短い潜時で眼球運動が誘発され (Ono and Mustari, 2016; Ono and Kizuka, 2017)、眼球の動きは視覚的な認知能力と強い関連性を持つことが示されている。本研究においてアスリートの視覚認知能力の特性が把握することにより、パフォーマンス向上のため、個々の能力を最大限に引き出す効果的な視覚トレーニング法の研究開発が可能となる。

(2) スポーツ場面において、速度や軌道が同じボールや相手の動きなどの視標を見た場合でも、個々によって見え方、すなわち視覚認知には違いが生じる。近年ではアスリートの持つ高い運動技能には卓越した視覚認知能力との関連性が挙げられている (Mallek et al., 2017; Hülndünker et al., 2018)。しかしながら、視覚を含めた感覚情報処理能力の評価に関しては、測定結果の意味づけや解釈の難しさから、評価方法が標準化されていない現状にある。そのため、アスリートの視覚認知能力が実際どの程度優れているのか、また、競技特性と視覚認知能力には関連性があるのかについてはこれまで明確に示されていない。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、視覚刺激によって誘発される眼球運動および反応動作、事象関連電位 (脳波) 計測を組み合わせ、視標の動き (visual motion) やその変化を視覚的に認知する能力を定量化することによって、アスリートにおける視覚認知能力の新たな評価法を開発し、運動パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。

(2) 眼球運動と反応時間の測定に基づいて、visual motion 認知と競技特性との関連性を検証する。特に、視標の動きを左右方向に追跡する際に起こる滑動性追跡眼球運動 (パーシュート) 視線をすばやく移動する際に起こる急速眼球運動 (サッカード) 遠くから近づく指標を追跡する際に起こる輻輳開散眼球運動を指標とし、日常的にボールの動きなど動的視力を必要とするトレーニングを行ってきた球技系選手と専門競技歴のない群を比較して、眼球運動と動作反応について実験的、実証的な立場から明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 眼球運動の測定には、頭部を固定した状態で測定する眼球運動測定装置、および動作中に眼球運動および視線計測が可能なウェアラブルアイトラッカーを使用した。パーシュートおよびサッカード、輻輳開散眼球運動を誘発するために、研究対象者は頭部を顎台に固定した状態で眼前に設置されたモニター上で動く視標を注視した。また、動作の反応時間は手指によるボタン押し課題、腕のリーチング動作課題を用いて測定した。視覚刺激に対しては、静止した視標が動き始めてから、できるだけはやくボタンを押すように指示した。

(2) 視覚刺激に対する視覚認知と背側視覚経路の神経活動との関連性を明らかにするため、まず、視標の動き (visual motion) に対する選択反応課題における反応時間とパーシュートを測定した。また、従来から用いられてきた光点灯刺激に対する反応時間と visual motion に対する反応時間を比較し、異なる視覚入力に対する情報処理能力を評価した。研究対象者として、動的視力を必要とする球技系選手を用い、視覚認知と競技経験との関連性を検証した。さらに、本研究課題では、視覚認知能力の違いを反映する事象関連電位を検出した。事象関連電位は、視標の表示時点をトリガー (基準) にして記録することにより、視覚認知、眼球運動や反応動作と関連する脳活動を評価した。

## 4. 研究成果

### (1) 視覚認知能力と眼球運動の関連性

眼球運動は視覚入力を運動信号へ変換する情報処理能力を反映しており、パーシュートの潜時や立ち上がりの加速度、サッカードの潜時や最大速度は、大脳皮質の頭頂連合野や前頭眼野の神経活動に強い関連性があるため、それらの眼球運動成分は視覚認知能力と関連性があることが示唆されている。本研究において、パーシュート潜時および加速度と visual motion に対する反応時間との関連性を調べた結果、両者の間に有意な相関関係が認められたことから、視覚認知の情報処理とパーシュート開始局面の能力が共通のメカニズムに基づいていることが明らかになった。したがって、視標の動きに伴うパーシュートは、visual motion の検出に関与する大脳皮質頭頂連合野の活動に基づく視覚認知を反映するパラメータとして有効な評価方法となることが示された。

### (2) 反復課題の遂行による眼球運動の適応・学習能力の特性

視覚認知能力を反映する眼球運動の学習能力について、動く視標を眼で捉えるパーシュートの反復課題を用いて検討した。本研究では、網膜像の運動方向と物体の運動方向が反対となる難

易度の高い視覚刺激（シータ運動刺激）を用いてパシュート潜時および立ち上がり局面（加速度）に適応が得られるか否かを検討することを試みた。その結果、適応後の初期加速度は、適応前の試行よりも有意に増加した。この結果から、シータ運動刺激に対する運動適応には視覚情報処理の学習に關与する大脳皮質領域あるいは小脳領域の適応が關与することが示唆された。また、適応課題が同じ反復回数（350回）であったにも関わらずその学習効果には幅広い個人差が認められ、網膜像の誤差信号に伴う学習効率が個々によって異なることが明らかにされた。

### （3）アスリートにおける奥行き方向眼球運動の特性

多くのスポーツにおいて、奥行き方向の視覚機能が必要とされる。特に球技のように高速で移動する視標に対する視覚機能には、奥行き方向の眼球運動（輻輳開散眼球運動）が必要とされる。本研究では、奥行き方向における従来の視覚機能評価法である前後方向動体視力および深視力、新たな視覚機能評価法になり得る輻輳開散眼球運動を用いて、アスリート（野球選手）における奥行き方向の視覚機能の違いを検証した。その結果、野球選手は、非運動者と比較して、急速な輻輳眼球運動における潜時が短く、また、滑動性の輻輳眼球運動における眼球運動開始局面の加速度が大きい値を示すことが明らかとなった。したがって、野球選手には輻輳眼球運動機能の高い者が多いことが示され、優れた視覚認知に支えられる運動パフォーマンスは輻輳開散眼球運動の機能に關連していることが示唆された。

### （4）視覚運動応答と脳波を用いた事象關連電位（ERP）の關連性

様々なスポーツ場面では、視覚対象となるボールや相手の動きに対して咄嗟に反応したり修正したりする視覚応答が必要とされ、その運動修正の精度がパフォーマンスに關連する。本研究では、動作遂行中の視覚情報の変化によって動作軌道が修正される視覚運動応答に着目し、脳波を用いた事象關連電位と視覚運動応答の關連性を検討した。対象者はディスプレイ上のターゲットの位置に向かって腕の到達運動を行い、その際に visual motion 刺激を与えることで運動軌道を修正する視覚運動応答を誘発した。その結果、視覚運動応答の大きさ（振幅）と視覚による予測誤差の脳活動を反映する事象關連電位（ERP）の振幅の間に有意な關連性が認められた。本研究結果は、視覚刺激による修正応答の精度は、運動指令の正確性に影響していることを示しており、それが視覚の予測誤差に係る脳活動に關連していることが示唆された。

### （5）アスリートにおける視覚認知能力と反応時間の特性

アスリートの視覚認知能力を評価するため、球技系選手と非競技者を対象として、パシュートによる視覚認知能力と反応時間の關連性を検討した。視覚刺激から眼球の動き始めまでの時間（潜時）と立ち上がりの加速度局面を比較した結果、対象者間で異なる眼球運動の特性が認められた。また、視標が一方（左または右方向）に一定速度で動く視標に対する反応時間を測定し、反応時間を用いた視覚認知能力（visual motion 認知時間）においては、球技群が非競技者群に比べ有意に小さい値を示した。さらに、visual motion 認知時間は、パシュート加速度と有意な正の相関關係が認められたことから、眼球運動は中枢神経系における視覚情報処理能力を反映する指標であると考えられ、アスリートにおける visual motion に対する認知能力の違いを評価するための有効な手段となり得ることが示唆された。

### < 引用文献 >

- Ono S, Kizuka T: Effects of visual error timing on smooth pursuit gain adaptation in humans. *Journal of Motor Behavior*, 49 (2): 229-234, 2017.
- Ono S, Mustari MJ: Response Properties of MST Parafoveal Neurons during Smooth Pursuit Adaptation. *Journal of Neurophysiology*, 116: 210-217, 2016.
- Mallek M, Benguigui N, Dicks M, Thouvarecq R. Sport expertise in perception-action coupling revealed in a visuomotor tracking task. *European Journal of Sport Science*, 17(10):1270-1278, 2017.
- Hülsdünker T, Strüder HK, Mierau A. The athletes' visuomotor system - Cortical processes contributing to faster visuomotor reactions. *European Journal of Sport Science*, 18(7):955-964, 2018.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Shinkai Ryosuke, Ando Shintaro, Nonaka Yuki, Kizuka Tomohiro, Ono Seiji	4. 巻 4
2. 論文標題 Visual Strategies for Eye and Head Movements During Table Tennis Rallies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Sports and Active Living	6. 最初と最後の頁 897373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fspor.2022.897373	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 Numasawa Kosuke, Kizuka Tomohiro, Ono Seiji	4. 巻 54
2. 論文標題 The Effect of Target Velocity on the Fast Corrective Response during Reaching Movement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Motor Behavior	6. 最初と最後の頁 755 ~ 762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00222895.2022.2062288	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 Numasawa Kosuke, Kizuka Tomohiro, Ono Seiji	4. 巻 250
2. 論文標題 The influence of the motor command accuracy on the prediction error and the automatic corrective response	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physiology & Behavior	6. 最初と最後の頁 113801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physbeh.2022.113801	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 Miyamoto Takeshi, Numasawa Kosuke, Ono Seiji	4. 巻 127
2. 論文標題 Changes in visual speed perception induced by anticipatory smooth eye movements	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 1198 ~ 1207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jn.00498.2021	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 小野誠司	4. 巻 36
2. 論文標題 眼球運動・注視点の制御が空間認知に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 理学療法	6. 最初と最後の頁 837 ~ 845
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 Yoshimura Yusei, Kizuka Tomohiro, Ono Seiji	4. 巻 235
2. 論文標題 Properties of fast vergence eye movements and horizontal saccades in athletes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiology & Behavior	6. 最初と最後の頁 113397 ~ 113397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physbeh.2021.113397	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 Numasawa Kosuke, Miyamoto Takeshi, Kizuka Tomohiro, Ono Seiji	4. 巻 239
2. 論文標題 The relationship between the implicit visuomotor control and the motor planning accuracy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 2151 ~ 2158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-021-06120-w	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 Miyamoto Takeshi, Numasawa Kosuke, Hirata Yutaka, Katoh Akira, Miura Kenichiro, Ono Seiji	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of smooth pursuit and second order stimuli on visual motion prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 e14833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.14833	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 Miyamoto Takeshi、Miura Kenichiro、Kizuka Tomohiro、Ono Seiji	4. 巻 189
2. 論文標題 The effect of explicit cues on smooth pursuit termination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 27 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2021.08.008	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 Miyamoto Takeshi、Hirata Yutaka、Katoh Akira、Miura Kenichiro、Ono Seiji	4. 巻 11
2. 論文標題 The influence of stimulus and behavioral histories on predictive control of smooth pursuit eye movements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-01733-1	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 Miyamoto Takeshi、Miura Kenichiro、Kizuka Tomohiro、Ono Seiji	4. 巻 15
2. 論文標題 Properties of smooth pursuit and visual motion reaction time to second-order motion stimuli	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0243430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0243430	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 Miyamoto Takeshi、Miura Kenichiro、Kizuka Tomohiro、Ono Seiji	4. 巻 229
2. 論文標題 Properties of smooth pursuit adaptation induced by theta motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiology & Behavior	6. 最初と最後の頁 113245 ~ 113245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physbeh.2020.113245	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 Kudo Daisuke, Hiratsuka Yoshimune, Nakamura Mitsuru, Uchida Yusuke, Ono Seiji, Murakami Akira	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimal methods for estimating sports vision in kendo athletes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-79534-1	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 小野誠司, 三浦健一郎, 川村卓, 木塚朝博	4. 巻 25
2. 論文標題 球技系選手における視覚認知機能と反応時間の特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオメカニズム	6. 最初と最後の頁 45-54
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 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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 小野誠司
2. 発表標題 球技系競技者における眼球運動の特性
3. 学会等名 第8回視覚生理学基礎セミナー (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野誠司
2. 発表標題 運動学習メカニズムから読み解く実践的学習への示唆
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第72回大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ono Seiji; Yoshimura Yusei; Kizuka Tomohiro
2. 発表標題 Properties of visual search strategies based on eye-head coordination in athletes
3. 学会等名 Society for Neuroscience 50th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Numasawa Kosuke; Miyamoto Takeshi; Kizuka Tomohiro; Ono Seiji
2. 発表標題 The effect of the memory-guided task on the MFR amplitude
3. 学会等名 Society for Neuroscience 50th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyamoto Takeshi; Hirata Yutaka; Katoh Akira; Miura Kenichiro; Ono Seiji
2. 発表標題 Predictive control of smooth pursuit eye movements based on stimulus and behavioral histories
3. 学会等名 Society for Neuroscience 50th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦健一郎; 山本哲也; 松田圭司; 松本純弥; 橋本亮太; 小野 誠司; 定藤規弘; 福永雅喜
2. 発表標題 追跡眼球運動中の大脳皮質活動特性: 円滑追跡眼球運動と衝動性眼球運動の比較
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Numasawa Kosuke; Kizuka Tomohiro; Ono Seiji
2. 発表標題 The property of the implicit visuomotor control to visual motion stimuli
3. 学会等名 Neural Control of Movement 30th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimura Yusei; Kizuka Tomohiro; Ono Seiji
2. 発表標題 The effect of vergence eye movements and target deceleration on speed perception
3. 学会等名 Neural Control of Movement 30th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimura Y, Kizuka T, Ono S
2. 発表標題 The relationship between vergence eye movements and dynamic visual acuity
3. 学会等名 12th Federation of European Neuroscience Societies (FENS) Forum of Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Miyamoto T, Kizuka T, Ono S
2. 発表標題 Properties of movement-related cortical potential during ballistic contraction superimposed on preceding muscle activity
3. 学会等名 Federation of European Neuroscience Societies (FENS) 12th Forum of Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimura Y, Kizuka T, Ono S
2. 発表標題 The property of the main sequence of pure vergence eye movements and horizontal saccades
3. 学会等名 The 2020 Yokohama sport conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野誠司, 三浦健一郎, 川村卓, 木塚朝博
2. 発表標題 球技系選手における視覚認知機能と反応時間の関係
3. 学会等名 第26回バイオメカニズム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 影山絢子, 木塚朝博, 小野誠司
2. 発表標題 眼球運動を用いた中強度運動による中枢機能変化の推定
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ono S, Miura K, Kizuka T
2. 発表標題 Properties of smooth pursuit initiation and visual motion reaction time
3. 学会等名 Society for Neuroscience 49th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimura Y, Kizuka T, Matsuda K, Ono S
2. 発表標題 Properties of saccade vergence eye movements in athletes
3. 学会等名 Society for Neuroscience 49th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野誠司
2. 発表標題 眼球運動による運動能力の評価について
3. 学会等名 日本視覚学会2020年冬季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本哲也; 三浦健一郎; 松田圭司; 松本純弥; 橋本亮太; 小野 誠司; 定藤規弘; 福永雅喜
2. 発表標題 ヒトの滑動性追跡眼球運動に関わる脳領域と高髄鞘化領域の対応
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野誠司, 木塚朝博
2. 発表標題 ソフトテニス熟練者における打球方向予測と視覚探索の特徴
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	木塚 朝博  (KIZUKA Tomohiro)  (30323281)	筑波大学・体育系・教授   (12102)	
研究分担者	川村 卓  (KAWAMURA Takashi)  (30334056)	筑波大学・体育系・准教授   (12102)	
研究分担者	三浦 健一郎  (MIURA Kenichiro)  (20362535)	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・精神保健研究所 精神疾患病態研究部・室長   (82611)	

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
---------	---------