

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20328

研究課題名（和文）視運動性眼振を用いた注意位置推定に関する基礎研究

研究課題名（英文）Estimation of the visual attended locations based on optokinetic nystagmus

研究代表者

金成 慧（Kanari, Kei）

宇都宮大学・工学部・助教

研究者番号：40813770

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は視運動性眼振（OKN; optokinetic nystagmus）と呼ばれる眼球運動を用いて、人の視線位置とは異なる視覚的注意位置が推定可能か明らかにすることを目的とした。研究の結果、OKNと瞳孔反応を用いることで、人の注意位置だけでなく、注意を切り替えるタイミングも推定できることを明らかにした。さらに、本研究の注意位置推定手法が自閉症スペクトラム障害の傾向の推定に利用できるを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果から、OKNの制御機構と瞳孔の調整機構が密接に関連することが示唆される。本研究の成果は、個人差に適応した実環境における注意位置・注意シフト推定システムの向上に大きく貢献し、車両の事故防止や人とマシンの円滑なコミュニケーションの実現に寄与するだけでなく、自閉症スペクトラム障害など、個人の心理的特性を推定するバイオマーカーの開発にも貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated whether OKN corresponding to the attended motion occurred to estimate the attended area. The results showed it possible to predict the directed area of attention and attentional shift based on OKN direction and pupillary response when areas of motion have different directions in the visual field. Furthermore, these results showed this method can be used to estimate individual differences in the degree of autism spectrum disorder.

研究分野：心理物理学

キーワード：視運動性眼振 瞳孔反応 眼球運動 視覚的注意 自閉症スペクトラム障害

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

人は視線とは別の位置に注意を向けることができる。この注意を向けている位置や注意状態を推定できれば、車両運転やコミュニケーションなどの日常場面における人の行動推定に役立つ。近年、脳波などのデータに基づいて、人の注意位置を推定する試みがされている。しかし、それらの方法は頭に電極を装着するため、装置が非常に大掛かりであり、リアルタイムで推定することが不可能など、日常場面への応用には問題点がある。

申請者は、比較的容易で小さな装置で測定できる視運動性眼振 (OKN; optokinetic nystagmus, 図1) と呼ばれる眼球運動が注意を向けた位置の物体の運動方向と対応することを明らかにした。しかしながら、日常場面でもより高精度に注意位置の推定を実現するためには、視野中の運動情報だけでは不十分である。そこで、明るさ (輝度) 情報に対応して変化する瞳孔反応を指標とすることで、常に変化する注意状態をリアルタイムで推定できる可能性が高まる。

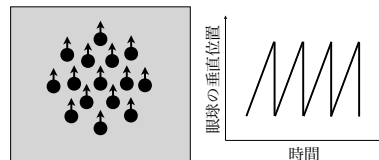


図1. 視運動性眼振 (OKN) とは、左図のような運動する物体を観察したときに、その物体を追うようにゆっくりと動く成分と、その反対方向に急速に動く成分の繰り返しからなる眼球運動である。

2. 研究の目的

本研究では、OKN と瞳孔反応を用いて、注意位置および注意状態をリアルタイムで推定可能か明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験1: OKN の注意シフトと瞳孔反応との関係

①**実験刺激**: 運動刺激はスクリーン全体に分布したランダムドット (ドットの大きさ 0.07 deg , ドット密度 8.2 dots/deg^2 , 速度 10.7 deg/s , 輝度 2.36 cd/m^2) から構成された。背景の明るさはディスプレイ中央から左右で異なり白と黒 (それぞれ 72.43 cd/m^2 , 0.01 cd/m^2) であった。刺激の例を図2に示す。運動方向と反対の背景の明るさが黒のときを Dark 条件、白のときを Bright 条件と呼ぶ。図2において、ドットが右に運動した場合、White 条件に対応し、ドットが左に運動した場合、Black 条件に対応する。

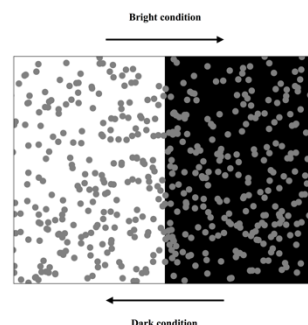


図2. 実験1の刺激

②**実験手順**: 試行は被験者のボタン押しで始まった。ボタンが押されると、スクリーン中央に黒い固視点 (大きさ 0.12 deg , 輝度 0.01 cd/m^2) がグレー背景の上に3秒間呈示された。その後、固視点が消えると同時に、ランダムドットから構成される運動刺激が左あるいは右に速度 10.7 deg/s で、 400 ms 間移動した。被験者は運動刺激を自然にみるように教示された。

(2) 実験2: 注意の切り替えにおける OKN と瞳孔反応との関係

①**実験刺激**: 運動刺激はランダムに配置された白と黒のドットが反対方向に動く2つのグループから構成された (図3)。ドットの大きさは 0.25 deg 、黒と白のドット輝度はそれぞれ 0.01 と 72.43 cd/m^2 であった。各群のドット密度は 3.9 dot/deg^2 、ドットの速度は 10.5 deg/s であった。運動刺激の大きさは $35.1 \times 28.9 \text{ deg}$ 、背景の輝度は 2.36 cd/m^2 であった。

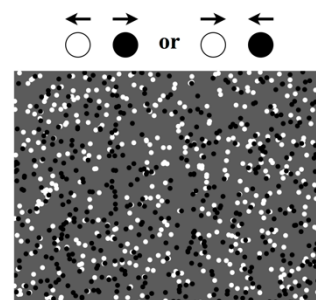


図3. 実験2の刺激

②**実験手順**: 各試行は観察者がボタンを押すことで開始された。ボタン押し後、ディスプレイ中央の赤い固視点 (0.37 deg) と白黒の静止ドットが4秒間呈示された。その後、運動刺激が呈示され、被験者は優位な知覚が白から黒 (黒から白) に切り替わった瞬間を応答した。

(3) 実験3: OKN と自閉症スペクトラム障害 (ASD) の傾向との関係

①**実験刺激**: 運動刺激はランダムに配置されたドットで構成された (図4)。各ドットの大きさと輝度はそれぞれ 0.77 と 0.01 cd/m^2 であった。ドットの密度は 1.97 dot/deg^2 、ドットの運動速度は $15.4, 30.9, 46.4 \text{ deg/s}$ であった。刺激運動はディスプレイ全体にわたり一方向であり、その方向は左, 右, 上, 下向きであった。運動刺激の大きさは $35.1 \times 28.9 \text{ deg}$ 、背景輝度は 10.44 cd/m^2 であった。

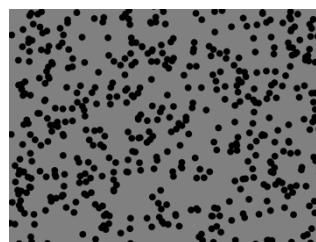


図4. 実験3の刺激

②**実験手順**: 各試行は参加者のボタン押しで始まった。ボタン押し後、ディスプレイ中央の固定点 (0.13 deg) が $2.5\text{-}3.0$ 秒間呈示された。その後、運動刺激が4秒間呈示され、その間の眼球運動を測定した。被験者の ASD 傾向は自閉症スペクトラム指数 (AQ) で測定した。OKN のゲイン (眼球速度/刺激速度)、平均眼位、ピーク速度、潜時、頻度と AQ との関係进行分析した。

4. 研究成果

(1) 実験1：OKNの注意シフトと瞳孔反応との関係

実験の結果を図5に示す。上図は瞳孔の結果、下図は眼球位置を示す。上図の縦軸は運動刺激が呈示前100ms間の瞳孔の大きさを基準とした瞳孔変化率を示す。横軸は運動刺激呈示からの時間を示す。破線は標準誤差、下の黒線はFDRで有意差があった時間帯を示す。凡例のBright(Dark)はランダムドットが白から黒(黒から白)の方向に運動する条件の結果を示す。下図の横軸は眼球の水平位置を示し、0がディスプレイ中央、正がディスプレイ右方向を示す。その他は上図と同様である。

これより、眼球が中央に固定されているにも関わらず(図4下、300msまで)、Dark条件では瞳孔が縮小し、Bright条件では、瞳孔が拡大した。このことから、OKNを生じさせる運動情報が運動方向と反対の領域に注意をシフトさせ、注意が向いた領域の明るさと対応して瞳孔が変化したことが明らかになった。

(2) 実験2：注意の切り替えにおけるOKNと瞳孔反応との関係

実験の結果を図6に示す。図6aは瞳孔、図6bはOKNを速度変換した結果を示す。横軸はOKNの速度が0となる時間を基準とした時間、図6aの横軸は標準化した瞳孔の大きさ、図6bの横軸はOKNの速度を示す。凡例の赤(青)線は注意が黒(白)から白(黒)ドットに切り替わった試行、緑(黄)線は注意が右(左)から左(右)方向のドットに切り替わった試行を示す。

これより、OKNによる注意の切り替えが黒(白)から白(黒)ドットに切り替わった瞬間に、瞳孔がその明るさに対応して変化して縮小(拡大)していることが明らかになった。

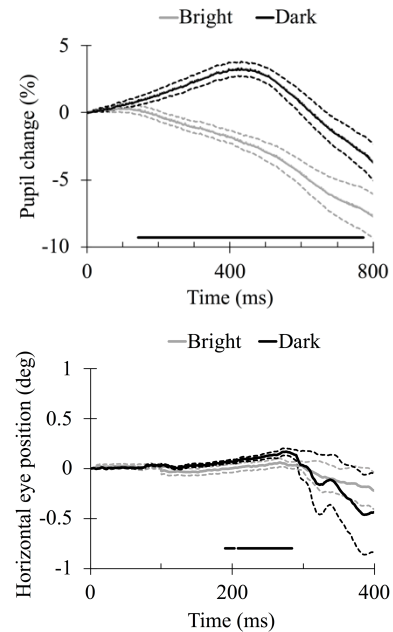


図5. 実験1の結果

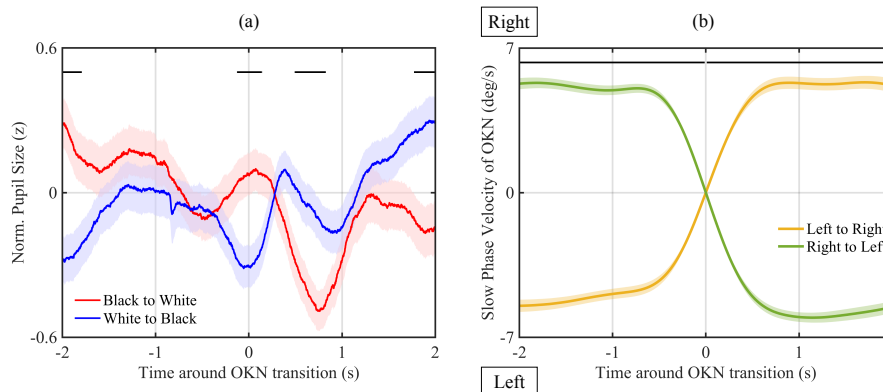


図6. 実験2の結果

(3) 実験3：OKNと自閉症スペクトラム障害(ASD)の傾向との関係

実験の結果(刺激速度 15.4 deg/s, 刺激右方向)を図7に示す。縦軸はOKNのゲイン(眼球速度/刺激速度)で、1が刺激をよく追従できていることを示す。横軸はASD傾向を示す。

これより、ASD傾向が高いほどOKNのゲインが低いことが明らかになった。他のOKN特性とAQとの間に有意な相関は見られなかった。

これらの研究成果より、OKNと瞳孔反応を用いることで、数ミリ秒単位の精度の高い注意位置・状態のリアルタイム推定が可能であることが示唆された。また、実験3は当初予定していなかったが、OKNのゲインからASDの傾向を推定できるという新たな知見も得られた。

本研究の成果は、個人差に適応した実環境における注意位置・注意状態推定システムの向上に大きく貢献し、車両の事故防止、注意機能が弱い高齢者や障害者のための支援ツールの開発、人とマシンの円滑なコミュニケーションの実現に寄与するだけでなく、個人の心理的特性を推定するバイオマーカーの開発にも貢献が期待できる。そして、これらの開発は、人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する持続可能な暮らしやすい地域づくりに貢献する。

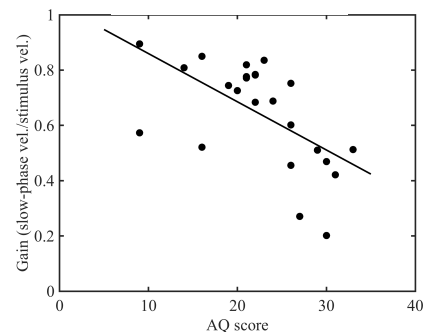


図7. 実験3の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Kanari Kei, Kikuchi-Ito Moe	4. 巻 7
2. 論文標題 Estimation of the degree of autism spectrum disorder by the slow phase of optokinetic nystagmus in typical adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heliyon	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） 10.1016/j.heliyon.2021.e07751	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 Kanari Kei, Kaneko Hirohiko	4. 巻 38
2. 論文標題 Pupil response is modulated with optokinetic nystagmus in transparent motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America A	6. 最初と最後の頁 149-156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/josaa.409940	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 Kei Kanari	4. 巻 37
2. 論文標題 Pupil response is modulated by attention shift in optokinetic nystagmus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America A	6. 最初と最後の頁 361-367
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/JOSAA.379598	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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 1件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Kei Kanari, Moe Kikuchi-Ito
2. 発表標題 Relationship between optokinetic nystagmus and the degree of autism disorder traits in typical adults
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金成慧, 菊地萌
2. 発表標題 潜在的注意シフト時における視運動性眼振と瞳孔反応
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金成慧
2. 発表標題 瞳孔反応に基づいた心理状態の推定とその工学的応用
3. 学会等名 2021年度第3回視覚科学技術コンソーシアム (Vision Science & Technology: VSAT) メンバーイベント (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金成慧, 伊藤萌
2. 発表標題 健常者における自閉症スペクトラム傾向と視運動性眼振の緩徐相・急速相との関係
3. 学会等名 日本視覚学会2021年冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金成慧, 金子寛彦
2. 発表標題 運動透明視における視運動性眼振は瞳孔を調整する
3. 学会等名 日本視覚学会2020年夏季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kei Kanari
2. 発表標題 Pupillary responses to the perceived brightness of simultaneous contrast
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirohiko Kaneko, Kei Kanari
2. 発表標題 Estimation of attentional location based on the measurement of unconscious eye movements
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金成慧
2. 発表標題 健常者における自閉症スペクトラム傾向と瞳孔反応および視運動性眼振との関係
3. 学会等名 日本視覚学会2020年冬季大会
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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