

令和元年6月21日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00381

研究課題名(和文) 眼球運動の計測による定型発達群と自閉症群を判定するアセスメントツールの開発

研究課題名(英文) Development of an assessment tool to detect regular developmental group and autism group by measuring eye movement

研究代表者

鳥居 一平 (TORII, Ippei)

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：50454327

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年急激に増加している自閉症スペクトラムを有する子供の診断のための客観性指標の開発を目的とした。眼部のピクセル重心を用いた視線動向の画素数変化量(数値)を求め、パスートによる被写体追従の場合、自閉症の被験者は視線が追えず外れてしまう。自閉症群と正常な定型発達群との差異を明らかにし、客観的指標を確立した。さらに、分布を密度関数でデータを分析すると、自閉症と非自閉症の境界線にある被験者の差異も明らかになった。この研究は自閉症の診断する児童精神科医師の補助的なアセスメントの指標となることができる。また、自閉症者の教育現場における学習効果や治療効果を評価することもできる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、眼部のピクセル重心を用いた視線動向の画素数変化量基に、自閉症スペクトラムの医師による主観的診断に補助的役割とした客観指標を確立することを目的とした。PCのフロントカメラを使用して、高精度な画像処理手法を開発し、自閉症群と正常な定型発達群を判断する客観的指標を確立した。この測定手法は、被験者を制限する必要がなく、15秒間のデータ取得で行われる。この測定は、行動観察を行わずにASDの可能性を示す点でもユニークで、児童の障害を発見し、適切な対応・教育のために有用である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to develop an objective index for the diagnosis of children with the autism spectrum, which has been increasing rapidly in recent years. The pixel count change amount (numerical value) of the eye movement is obtained using the pixel gravity center of the eye part, and in the case of subject tracking with a path, the subject of autism can not keep track of the eye gaze. The differences between the autism group and the normal type developmental group were clarified, and an objective index was established. Furthermore, analysis of distribution data by density function revealed differences between subjects on the borderline between autism and non-autism. This study can be used as an indicator of adjunctive assessment of a child psychiatrists who diagnose autism. In addition, we can also evaluate the learning effects and treatment effects of autistic people in the educational setting.

研究分野：画像処理, 生体情報処理

キーワード：画像処理 自閉症 アセスメントツール

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、コミュニケーションと社会性の発達障害である自閉症は嘗ての 10 倍の頻度で発生している。また、全国の公立小中学校で発達障害により通級指導を受けている児童・生徒が 9 万人を越え、1993 年から 20 年間に 7.4 倍に増加している。本研究では、近年急激に増加している自閉症スペクトラムを有する子供の診断のための客観性指標の開発を目的とした。既に私が開発した残像を用いた瞬き判定の技術を基に、眼部のピクセル重心を用いた視線動向の画素数変化量（数値）を求め、パーストによる被写体追従の場合、自閉症の被験者は視線が追えず外れてしまう。その外れた画素数を測定し、自閉症群と正常な定型発達群との差異を明らかにし、客観的指標を確立した。

さらに、分布を密度関数、および ROC 曲線により 2 次元座標でデータを分析すると、自閉症と非自閉症の境界線上にある被験者の差異も明らかになった。特別な機器を使用しなくとも、PC のフロントカメラを用いて、残像による眼球運動を捕らえるこの検査技法が、はっきりと容易に検出できることが明らかになった。自閉症の診断する児童精神科医師の補助的なアセスメントの指標となることができる。また、自閉症者の教育現場における学習効果や治療効果を評価することもできる。

### 2. 研究の目的

自閉症スペクトラム障害は発達障害の 1 つであり、診断基準の変化の影響もあり、急速に増加している。自閉症スペクトルと学習障害などの他の発達障害とを区別することも困難である。アメリカ疾病予防管理センター（CDC）は、2010 年時点で、アメリカに住む子供の 68 人に 1 人が自閉症スペクトラム障害（ASD）と診断された。CDC が 2012 年に発表した 2008 年時点の数値と比べて約 30% も高い。このときの調査では、88 人に 1 人の子供が ASD だとされた。自閉症や ASD の急増した原因は、自閉症に関する意識が確実に高まっており、家族が早い段階で診断を行うことも発見の可能性を高めている。自閉症発症の原因は明確に発表されておらず、効果的な治療または予防措置は確立されていない。日本では、少年の約 10%、小学校の女子の約 5~5% が発達障害を有するとされている。2003 年に発達障害者支援法が制定され、2006 年に障害児への特別支援教育が開始された。また行政も積極的に調査研究活動を行っている。このような背景から、簡易で安価で数値として判定し、誰もが診断を行うことができる障害を客観的かつ定量的に判断するための診断ツールが求められている。

2007 年 4 月、学校教育法の改正で通級制の弾力化が行われ、2016 年 4 月障害者差別解消法が施行され、法体制や行政の枠組みも整備され、障害児者の早期発見や適切な対応のために正確に判別できる手法が求められてきた。

発達障害のアセスメントは機関によって多種多様で、評価者の主観的判断によるものである。診断は、経験豊富な精神科医の判断に委ねられ確認項目も多岐にわたる。誰でも同じ定量的な判断が得られるような補助的検査法が必要とされている。

### 3. 研究の方法

これまでの研究では、残像を用いた瞬き判定手法を開発した。これを用いて、ピクセル重心の画素数変化量を用いた、視線方向異常の測定を行う。

視線方向異常を測定するプログラムのプロセスは次の通りである。

- (1) 撮影したフレームの画像から被験者の眼部を抽出する（OpenCV Haar-like 検出器を応用）
- (2) 切り抜いた眼部から、残像と呼ばれる瞬き・視線方向検出の比較画像を作成する
- (3) 切り抜いた眼部から、座標を生成する。
- (4) 残像と、黒目の位置からピクセル重心を生成する。
- (5) 10 秒間の動画を視聴させ、視聴している間のピクセル重心の座標変化を記録する。
- (6) カメラから 30-40fps の制度で画像を処理し、ピクセル重心の平均変化量を数値変換する。

このプロセスで得られた数値をグラフに表し、定型発達群と自閉症群を確率密度関数を用いて比較する。さらに、比較したデータにより識別境界を求め、さらに、ROC 曲線を使いこの判定手法の信頼性を示す。この方法により、定型発達群と自閉症者を、明確に早期判断できる客観指標を開発した。

画素数変化量の面積の違いは、連続するフレームの残像と現フレームとの差分を測定することにより生じる。この方法により、眼球運動の変化を数値で検出することができた。健常者と自閉症者の眼球運動の差異を比較し、分析する。図 3 は、目の開閉を判断するための状態を示す図である。なお、すべての処理はリアルタイムで行われる。

すべてのピクセルは Persistence value (p) を持ち、毎フレーム p から 1 を減算している。p は 0 以下にならず常に整数である。黒色と判定された場合、p に 5 を加算する。

残像手法は、眼部の黒色ピクセルの位置を記憶し、ある一定時間黒色ピクセルが動かなかった点を基準に使用する新たな手法である。これを用いれば、素早い瞬き、弱い瞬きにも柔軟に対応できる。残像は、前述した通り眼部の黒色ピクセルの位置を記録する。すべてのピクセルは、Burn-in value と呼ばれる変数の箱を持っている。黒と判定された箇所には Burn-in value に 5 を加算し、1 を減算する。また、黒でない判定されたピクセルには 1 を減算する。（値はすべて 0 以上の整数である。）Burn-in value が 50 を超えたピクセルは、残像としてまばたき判定に使用する。図 2 に、残像手法の概図を示す。

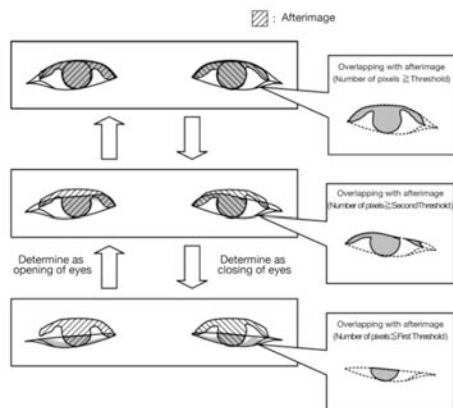


図 1 眼部の開閉状態

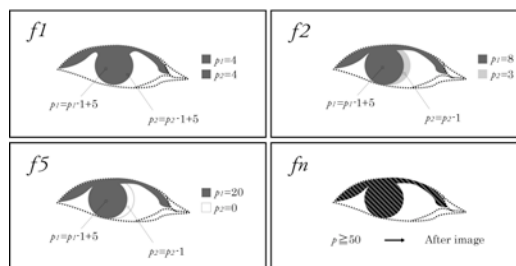


図 2 残像手法の概図

視線方向検出には、黒目の円検出や楕円検出を用いたものがある。だが、健常者においても、大きく眼を見開かないと黒目の検出は行えない。眼が半開きの状態のことが多い肢体不自由者にはこれらの手法は適さない。(図 3)

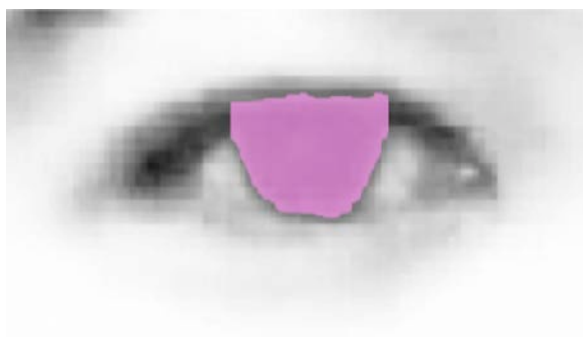


図 3 通常時の黒目の状態

そこで、前述した残像を用いた瞬き検出を利用して、使用者の視線方向を検出する新たな機能を開発した。まず、残像の黒目のピクセルを取得し、視線方向検出の基準を作成する。この重心が、現在のフレームで左右どちらに動いたかを残像と比較し、視線方向の検出に利用する。重心は、すべてのBurn-in Valueの値から黒色ピクセルと判定したピクセル数を除算したとき、最も数値の高かったピクセルとである。

ここで、ピクセル重心の定義から視線方向検出までの一連の流れについて解説する。重心を定義するには、まず、取得した眼部領域を二値化する。一般的に重心は、周囲の1次モーメントが0である、つまり重みが釣り合う点のことを指すため、これにより重心を求める。(図 4) ピクセル重心は瞳の中心を正確に捉えることは難しい。しかし、円検出や楕円検出と比較して処理速度が非常に早い。また、視線を側方に向けて、黒目の形が崩れてしまった場合にも、正確に重心を捉えることができる。(図 5)



図 4 眼部ピクセル重心の定義



図 5 側方視におけるピクセル重心

ピクセル重心を定義した後に、黒目の移動検出を行う。任意のフレーム  $f_x$  時点での重心(残像の重心・図 6 上)と、 $f_{x+n}$  時点の重心(現在のフレームの重心・図 6 下)を比較し、一定以上の差があった場合に、黒目が移動したと判定される。

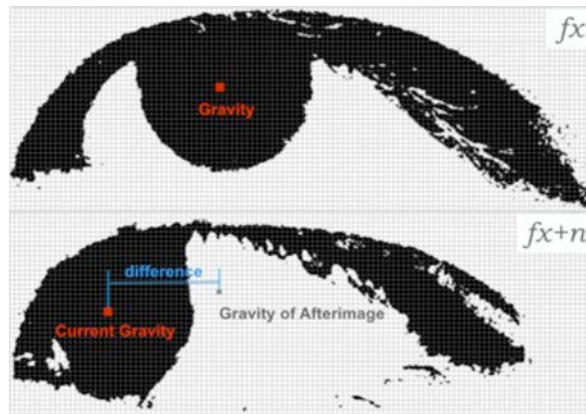


図 6 視線移動検出

視線移動検出を用いて眼球振動を検出し、1 分間の平均変化量を求めることで、定型発達群と自閉症群を判断する。

#### 4. 研究成果

大阪大学の研究チームでは、サッケードの眼球運動を Tobii を使って測定することによって、ADHD の子供の眼球異常を調べる研究を行っている。その診断は、対象物を注視する時間の比較に基づいて行われているが、しかし結果には結びついていない。

自閉症の子供が凝視するように、サッケードと追跡を組み合わせた円形の動きが実験に示されました。左端から動き出し始める円は途中で突然消えて右端に現れます。自閉症の評価指標として使用するためには、施設密度関数で PC の正面カメラから判断した目のデータを比較分析する方法を構築した。分析対象は、小学生 37 名、小学生 15 名、中学生 10 名、中学生 10 名、高等学校 6 名、高校普通 5 名である。眼球運動のフレーム間の変化量の平均を眼球運動と比較したデータが比較され、分析される。この分析方法の信頼性は、ROC 曲線およびボックスアンドウィスカープロットを用いて測定した。

被験者の目が残像の軌道からはみ出した量を測定し、左右の眼の変化量の平均を示す。図 7 は、各群の眼球運動の分散の度合いを示す散布図である。散布図の点は、定型発達群では中心線に集中しているが、自閉症群の場合は分散している。

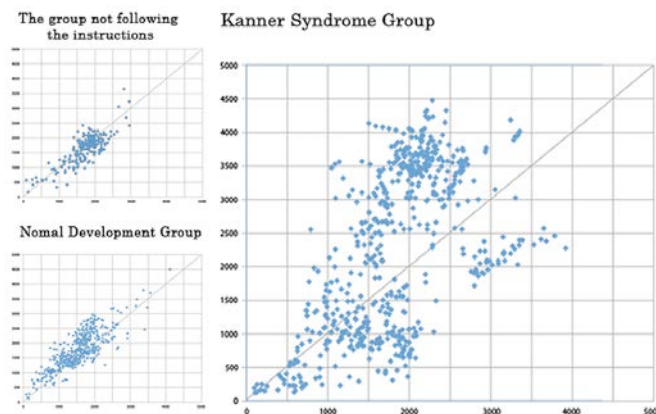


図 7 眼球運動の分散度

これは、定型発達群の被験者は、目でターゲットを追従することができるが、自閉症群の場合はターゲットを追従できていないことを示している。自閉症群の検出データは、定型発達群の児童・成人のデータと比較しても独立性を保っていることが分かる。30 名の定型発達群のデータと、この実験によって得られたデータを確率密度関数で比較することで、識別境界を決定する。

図 8 は、確率密度関数による定型発達群と自閉症群、指示に従うことのできない群の関係を示している。赤い線は指示に従うことのできないグループ、青い線は定型発達群、緑色の線は自閉症群である。この図においても、各群が独立性を保っていることが分かる。

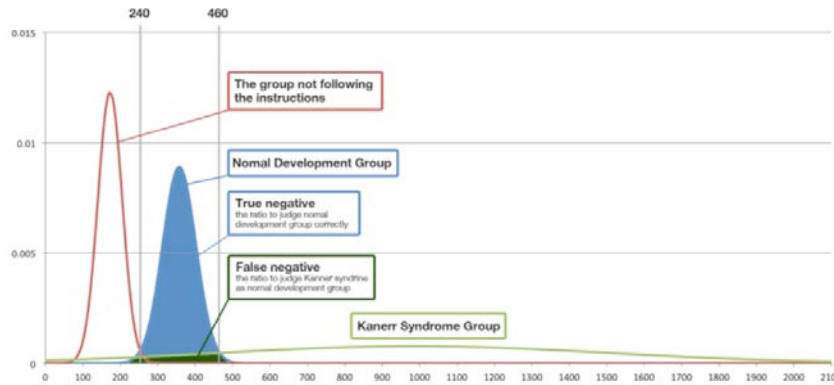


図 8 確率密度関数を用いた識別境界の設定

この結果から、指示に従わない群と定型発達群との間の識別境界は 240 となった。自閉症群と定型発達群との境界は 460 である。

この研究の検出技術は、自閉症児を正常な発達障害児から分離するのに有効である。これらの結果に基づいて、PEM (Pursuit Eye Movement) における被験者の眼球運動を正確に測定する新しいシステムが開発された。注視点が一定間隔で表示された映画 (隙間のない映画) が被写体に映し出され、できるだけ早くその点を見るよう指示される。次に注視点が一定の間隔で表示され、消えて再び表示される (ギャップのあるムービー) が表示される。ギャップは、視線の点がランダムにオン/オフして点滅し、予測に対して削除される。2 回目にポイントが表示されたとき、通常の開発グループの被験者のサッカードの眼球運動は、通常より速くなったが、自閉症グループはそうではなかった。自閉症群は、反応時間 (反応潜時) と年齢とを比較すると、ギャップの有無にかかわらず、両方の映画において反応の遅延を示した。自閉症児の脳における眼球運動制御機構の追求運動を開始し、不随意注視行動を維持する根本的機能や機能に何らかの異常があることを示唆している。実験の下で被験者の脳血流が流れると、通常の子供と一緒に血流が絶えず増加する。一方、自閉症児の脳血流は、注視点の速い動きに追従できず、視線がずれるため、急に低下する。

この実験の結果、自閉症児では目を引いている被験者の遅れが、正常な発達中の児童に比べて隙間の有無にかかわらず起こったが、遅延は隙間に顕著に現れる傾向があった。今までの自閉症の中で、予測された動きに対応できる反応であるギャップ効果の異常を示唆する研究はない。したがって、この結果は臨床的に適用されるだけでなく、脳内の神経基底の死状態を溶かすのにも有用であることが期待される (図 9)。

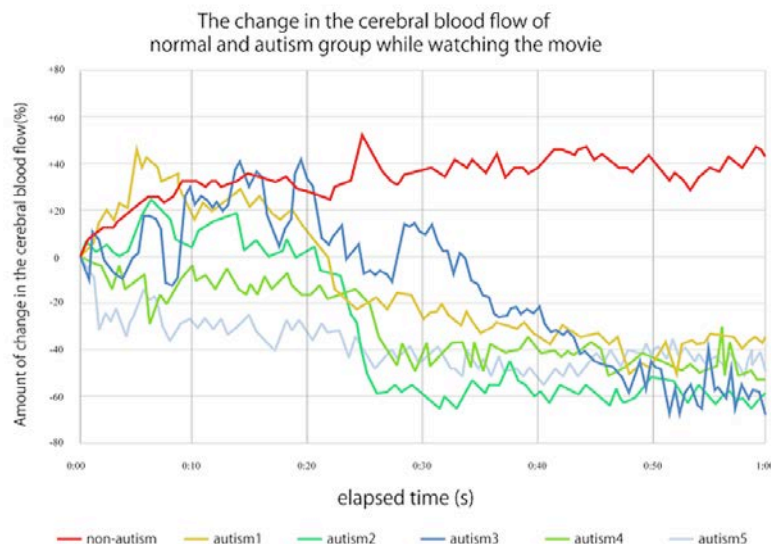


図 9 定型発達群と自閉症群における脳血流と眼球運動の関連性

表 1 は陽性・陰性を判定する確率を示した真偽値表である。定型発達群を判定できる確率は 99%であり、偽陽性率 (定型発達群であるが、自閉症群と判定される確率) は 1%である。また、自閉症群を判定できる正確に確率は 96%であり、偽陰性率 (自閉症群であるが、定型発達群と判定される確率) は 4%に満たない。

表 1 判定の真偽値表

	FALSE	TRUE
Negative ( $\leq 240 < 480$ )	False Negative Rate 0.04	True Negative Rate 0.99
Positive ( $480 \leq$ )	False Positive Rate 0.01	True Positive Rate 0.96

本研究では、眼部のピクセル重心を用いた視線動向の画素数変化量基に、自閉症スペクトラムの医師による主観的診断に補助的役割とした客観指標を確立することを目的とした。PCのフロントカメラを使用して、高精度な画像処理手法を開発し、自閉症群と正常な定型発達群を判断する客観的指標を確立した。

この測定手法は、被験者を制限する必要がなく、15秒間のデータ取得で行われる。この測定は、行動観察を行わずにASDの可能性を示す点でもユニークで、児童の障害を発見し、適切な対応・教育のためにとっても有用である。今後、さらに精度を向上し、誰でも手軽に、数値として判定できるアセスメントツールとして広く活用されることを願う。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① Ippei Torii, Takahito Niwa, Real Time Measurement and Processing of Pupillary Light Reflex for Early Detection of Disease, JCP(Journal of Computers), 掲載決定.
- ② Ippei Torii, Takahito Niwa, Naohiro Ishii, Development of Objective Index to Determine Autism by Eyeball Movements, Journal of Computers, Volume13, Number1, pp.35-43 January, 2018.
- ③ Ippei Torii, Takahito Niwa, Naohiro Ishii, Measurement of Pixel Number Variation Abnormality in Pursuit Eye Movement of Children with Autism. Journal of Neurology & Experimental Neuroscience. J Neurol Exp Neurosci 3(1), pp.18-24 March,2017.

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① Ippei Torii, Takahito Niwa, Real Time Measurement and Processing of Pupillary Light Reflex for Early Detection of Disease, ICSPIC 2019, January 19.
- ② Ippei Torii, Takahito Niwa, Naohiro Ishii, Measurement of Abnormality in Eye Movement with Autism and Application for Detect Fatigue Level, KES-IDT2018, June 2018.
- ③ Ippei Torii, Takahito Niwa, Naohiro Ishii, Measurement of Ocular Motor Abnormalities in Autistic Children Using Line-of-Sight Detection with Pixel Number Variation. NDS-2017, July 2017.

※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。