

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26461778

研究課題名(和文) 発達障害における発語と身体運動の関係

研究課題名(英文) Eye-hand coordination, speech and its neural background in developmental disorder.

研究代表者

東島 恵美子(宍戸恵美子)(Shishido, Emiko)

名古屋大学・医学系研究科・研究員

研究者番号：40723101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：幼児期における発達障害と、発語にいたる過程に身体運動との関係が強く示唆されるが、ヒトの目と手の協調運動には不明な点が多い。本研究では主に成人がペンを持ってなぞるときの視線計測を行った。計算モデルと比較したとき、被験者の視線の動きは、手の動きの予測をしていることが明らかになった。目の動きが、おおむね0～350ミリ秒まで先の手の動きの速度の予測をし、予測のピーク時間や予測の精度は被験者によって異なった。個々の被験者は、それぞれに予測してもしていなくてもエラーが高くないような異なったストラテジーを使っている可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The eye-hand coordination is important for the daily life of human. In developmental disorders, especially in the infants, the development of the body movement has strong relationship to the speech development. We measured the eye and pen movement when adult was tracing a line in a monitor screen of computer. By the analysis of the eye and pen movement, together with the simulation model, we reported some new findings about role of the eye movement. The movement distance of rapid eye movement predicts future pen speed of up to 350 millisecond ahead. The precision of the prediction and peak prediction time was different between the participants. The prediction and the tracing error is apparently not related such that the prediction time is not related to the tracing error. Possible explanation is that each person takes its own strategy in the coordination of eye and hand in this simple task.

研究分野：生物科学分野における測定・計測

キーワード：アイハンドコーディネーション 視線計測 神経科学 計算モデル ヒト

### 1. 研究開始当初の背景

私たちが物を見るとき、視点は、ひとつのところにずっと留まるのではなく、絶えず少しずつ動いている。多くの場合、一カ所に数百ミリ秒留まり、次の場所に移り、次々と別の場所を凝視するように視線を移動する。手元になる物をつかもうとするときには、まず動作を行う1秒ほど前に目標の点を見てから、そのほうに向かって手を伸ばすことが知られる。自閉症スペクトラム障害や学習障害を含む発達障害では、一部に、線画を書いたり、文字を書いたりすることに大きな困難を抱える場合があると報告される。また、幼児期の視線に目を見ないなどの違いが見いだされることが知られている。しかし、どんな神経活動が違って、結果としてそのような視線の違いに至るのだろうか。いままで行われる視線研究では、モニターの画像を被験者に見せることで視線を調べることが多かったが、日常生活では、手の動きを行うと同時に視線が移動する動作が多い。

本研究では動作時におけるアイ・ハンド・コーディネーションに眼球運動に着目し、描画時の目と手の協調運動の測定を行った。手と眼の動きのタイミングを時系列で測定・解析し、健常群と疾患群では具体的にどのような違いがあるのかを調べることを目標とする。

### 2. 研究の目的

線をなぞるときは、手の動きを眼で追いながら、同時に手の動きをコントロールする必要がある。研究代表者は、米国で網膜の研究に関わり、帰国後、自然科学研究機構生理学研究所において、これまで、人が線をなぞるときに、手と眼をどのようなタイミングでコントロールするかを測定してきており、健常人の中に個人差があることを見出している。本研究ではいままでの測定で予備的に得られていた知見の上に、さらに測定条件を吟味し、(a)ヒトが手を動かすときに視線をどのように使うのか、(b)個々の人にバリエーションを定量化し、健常者のバリエーションを記述して、(c)シミュレーションモデルの作成を行い、疾患における運動機能の状態を定性的に表現できるようにするのが主な目標である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 視線計測とペン位置の測定

ペンの入力には、KeyTech社製マジックタッチ(透明な感圧性タッチパネル)を用い、視線計測にはTobii TX60Lを用いた。画像呈示用には、Windows PCを用い、ペン入力と、Tobiiからの出力をトリガー信号で同期させた。呈示画像には、ジャーク最小軌道を用い、幅8mmの白線を灰色の背景に描き、両端にピンク色の円を描いたものを使った。30種類の軌道をランダムに呈示し、なぞるときにペンの位置と、視線位置の測定を行った。被験者は、書道教師、書道経験がない人とした。

通常の描画スピード、2段階のスピード調整を行い、全ての条件の測定において、視線取得率80%以上のデータを解析に用いた。測定には生理学研究所の機器を用いて、共同研究者とともに測定システムの立ち上げを行った。なお、本研究は倫理審査を経て、本研究に関するすべての研究機関の倫理委員会によって承認されている。

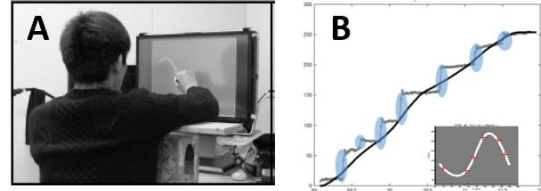


図1 描画時における視点の計測

視線計測装置 Tobii を用いて計測した (A) .ペンの動きと視点と同時計測した (B)

#### (2) データ解析

データ解析には、Matlab および Statistics and Machine Learning Toolbox を用いて、研究代表者が共同研究者らと共同で解析プログラムを記述した。時系列解析については、同期のためにハイスピードカメラによる測定を別途に行い、その結果を用いて補正をした。統計的な解釈については、原則として単一、または複合 Gaussian 分布で近似して記述した。

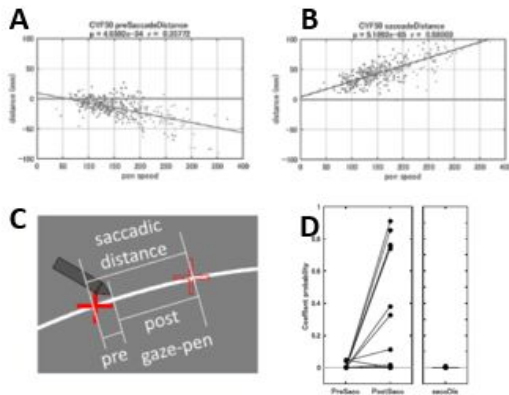
#### (3) シミュレーション

シミュレーションは、目標軌道の曲率と視点情報からフィードバックシステムを使ってペンのスピード値について記述し、個々の被験者のデータから導き出される定数を用いて作成した。フィードバックシステムでは発散してしまう場合が、どのような条件で起こるか、また、被験者によって違うかどうかを記述した。

### 4. 研究成果

(1) 図2Aに示すように、サッケード前の視線は、多くの場合でペンよりも遅れており、ペンスピードが増す毎に、視線は遅れていく。MatlabのRobust回帰を用いて線形回帰モデルを作成したところ、多くの被験者で、回帰P値 $<0.05$ であり、サッケード前の視線先行はペンスピードに依存してマイナスの方法に増加する。つまり、自分で描いているペンのスピードが速くなればなるほど、視線は早めのタイミングでサッケードを始める性質がある。一方で、サッケード後の視線先行については、このような性質は多くの場合でなく、サッケード後の視線先行量は、ペンのスピードにあまり依存しない(図2A)。しかし、ペンスピードが上がるにつれて、サッケードで移動する距離は比例して多くなり(図2B)、回帰モデルは17人全ての被験者で $P<0.05$ となる。以上から、「サッケードを始める位置は、ペンのスピードに比例して手前になり、

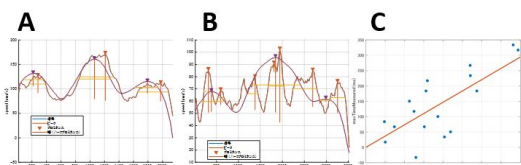
サッケードで移動する距離は、ペンのスピードに比例して長くなる」という基本的な性質が明らかになった。



**図2 描画時における視線の先行とスピードの関係**

サッケードによる視線の移動と、ペンのスピードには関係がある。サッケードする前のペンの先行量とペンのスピードの関係(A)、サッケードによる移動距離とペンのスピード(B)。いずれも単一被験者の一人のデータで代表例としてあげた。

(2)次に、描画スピードを見てみると、典型的な例では、Tタイプの軌道(図3A)では、曲率の変化に合わせて、スピードが上下する。カーブがきついところではスピードを上げ、直線に近いところでは、描画スピードを上げる。このような行動は何から起こるのだろうか?本研究では、元となるジャーク軌道、および、実測値について、ペンのスピードと視線位置における曲率の関係を探索的に解析した。曲率とスピードは、そのままでは比例関係にないが、サッケード直前の視線位置と、サッケード後の視線位置における、曲率の差と、スピードの差を比較したところ、両者に関係があることがわかった。Sタイプの軌道では、曲率の変化、スピードの変化とも少ないが、Tタイプの軌道では、二点間の曲率の差と、スピードの差が比例関係にあり、つまり、曲率の絶対値ではなく、曲率の変化に伴って、ペンのスピードを上げたり下げたりしていることが明らかになった。またこのようなスピードプロファイルには個人差があり、カーブと関係なくスピードを上下するタイプの人も少数見られた(図4B)。しかし、軌道のなぞりの正確さなどは、この性質と関係がなく、個人内、個人間ともペンスピードに依存することがわかった。



**図3 視線やペンの動きに関する個人差**

カーブがふたつある、同じ軌道をなぞるときに、個人差がある。AとBはそれぞれ別の人がなぞったときのペンのスピードプロファイルをプロットしたもので、ピークが3個あり、理論軌道のモデルと同じようなプロファイ

ルの人もいれば、ピークがたくさんある人も少数ではあるが見られる。この性質は、なぞりの正確さとあまり関係がない。Cでは、視線の先行と、ペンのスピードの予測の関係を調べたもので、こちらは弱い相関がある。おそらく、ヒトは、視線先行と予測を含む、いくつかの異なったストラテジーを使って手の動きをコントロールしているのだと思われる。

(3)本研究は、人の描画における動作を、視線の計測と、手(ペン)の動きから解析した非常に単純な測定系である。動作時における手の動きのスピードと、サッケード眼球運動の関係、そして、手の動きと、視覚情報の関係を詳しく示した最初の例である。被験者間で一致した基本的な描画時の目と手の動きの性質を見つけ出すことができたことは、「視覚情報を伴った手のコントロール」の指標作成の際の基礎となると考えられる。今後は、まず健康者大人におけるパリエーションを記述するためにデータを蓄積し、次には、小児の測定および健康群大人および健康者小児のデータを使って、学習障害、自閉症スペクトラム障害、統合失調症の一部に学習障害を合併する場合など、疾患群でどのような性質があるかを調べ、特徴を抽出し、各疾患の下位サブタイプの分類や介入に役立てることができると考えている。

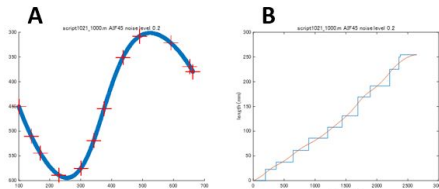
### 曲率とスピードの関係

本研究で見いだされた特徴のひとつが、人は、線をなぞるときに、カーブがゆるいときには自然とスピードを落とし、直線に近いところでは、スピードを上げる。しかし、この性質には個人差があり、それをスピードのプロファイルとして定量化した。つまり、peak detectionによって、ピークの数、ピークの位置を測定し、理論モデルとの比較を行い、理論モデルに近いかどうかを数値によって表せるようにした。ただし、こうした違いは、なぞるときに正確さとあまり関係がなく、後述する視線の位置との関係によって個人ごとに異なったストラテジーを取っている可能性を指示している。

### ペンのスピードと視点の関係

モデル理論においては、全体の描画時間が決まれば、各点における描画時のスピードは計算式より求めることが可能である。おおむね、ペンのスピードは曲率に関係する。ところが、人は、多くの場合で数cm先を見ていて、時間になると数百ミリ秒ほど前の点を見ている。もともと、人の目の情報処理は、触覚などと比べても比較的遅い情報処理であり、画像の認識に数百ミリ秒~1秒ほどかかると言われている。したがって、ペンが視線を通過するとき、視覚情報処理が十分に行えるほど、その点を被験者が見ているかどうかはわからない。視覚情報は予想されるペンの位置の情報の微調整に働いている可能性も指摘される。





**図4 シミュレーションモデルの作成**

実測値から、ペンのスピードプロファイルに関するシミュレーションの作成を行った。フィードバックだけでは発散してしまうケースが多く、視線先行とスピードの予測とともに、ヒトがこのような課題で手の動きの予測を行っている可能性を強く示唆する。

### スピードの制御におけるシミュレーションモデルの作成

(4)当初に作成した測定装置は、生理研のTobiiを使い、垂直な画面にペンを走らせる物であったが、より自然な姿勢で書くときの視線計測を行いたい。現在、新規装置のセッティングを豊橋技術科学大学の福村研究室において進めている。プロトタイプは完成しており、テストを行っている段階である。

(5)本研究では、シミュレーションの結果から、フィードバックだけでは発散してしまうケースが多く、視線先行とスピードの予測とともに、ヒトがこのような課題で手の動きの予測を行っている可能性を強く示唆する。シミュレーションでは、視点があるところの線の曲率が、手のスピードに反映される。おそらく、ヒトはモニターに映る曲線の曲率を正確に知ることができ、何らかの方法でそれを、少し未来の、手の動きのイメージとして反映しているのだと思われる。どのようにしてそれを達成しているのかは大変興味がある課題である。また、予測の機能が不全を起こしたときに、どのような困難があるかを今後、実験系を用いて調べていきたい。

#### <引用文献>

1. Todorov, E. and M.I. Jordan, Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nat Neurosci*, 2002. 5(11): p. 1226-35.
2. Flanagan, J.R. and R.S. Johansson, Action plans used in action observation. *Nature*, 2003. 424(6950): p. 769-71.
3. Coen-Cagli, R., et al., Visuomotor characterization of eye movements in a drawing task. *Vision Res*, 2009. 49(8): p. 810-8.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計7件)

椎野 智子 穴戸 恵美子 飯尾 明生 尾崎 紀夫 *臨床精神医学* 45(9) ページ : 1169-1175, 2017 査読なし

中村晋之介, 穴戸 恵美子, 福村直博, サッカード発生パターンに基づくなぞり運動中の手と眼球の協調制御の解析. *電子情報通信学会技術研究報告*, vol. 117, no. 508, NC2017-93, pp. 151-156, 2018年3月. 査読なし

中村晋之介, 尾崎紀夫, 定藤規弘, 井本敬二, 穴戸恵美子, 福村直博, 線をなぞる運動におけるサッカード位置の解析. *電子情報通信学会技術研究報告*, 2016. 116(343): p. 19-24. 査読なし

穴戸恵美子, 石塚佳奈子, 岡田俊, 尾崎紀夫, 自閉スペクトラム症の児童に対する応用行動分析に基づく介入. *Clinical Neuroscience, Clin Neurosci* 2015. 33(2): p. 206-210. 査読なし

山崎拳志郎, 伊藤竜樹, 伊藤嘉邦, 岡崎俊太郎, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 穴戸恵美子, 福村直博, 書道家が線を描く時の目と腕の協調運動の特徴抽出. *電子情報通信学会技術研究報告*, 2015. 114(514): p. 313-318. 査読なし

穴戸恵美子, 久島周, アレクシッチ・ブランコ, 尾崎紀夫, ゲノム関連の最新のトピック. 『分子精神医学』特集「自閉症の分子基盤」, 2014. 14(2): p. 112-118. 査読なし

山崎拳志郎, 伊藤竜樹, 伊藤嘉邦, 岡崎俊太郎, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 穴戸恵美子, 福村直博, 線の描画時の視線計測に基づくアイ・ハンド・コーディネーションの解析. *電子情報通信学会技術研究報告*, 2014. 114(362): p. 7-12. 査読なし

#### [学会発表](計9件)

Shishido, E., et al., ヒト描画時の目と手の運動におけるジャック最小モデルとの類似点. 第40回日本神経科学大会 2017年

Shishido, E., et al., Eye movement as action prediction when humans trace a line. 第11回 Motor Control 研究会 2017.

Emiko SHISHIDO, Shuntaro OKAZAKI, Keiji IMOTO, Norihiro SADATO, Naohiro FUKUMURA, Norio OZAKI, Analysis of eye-movement when drawing a line. 第39回日本神経科学大会 2016年

中村 晋之介, 尾崎 紀夫, 定藤 規弘, 井本 敬二, 穴戸 恵美子, 福村 直博, 線をなぞる運動におけるサッカード位置の解析. *ニューロコンピューティング研究会 (NC)* 2016年

穴戸恵美子, 岡崎俊太郎, 伊藤嘉邦, 井本敬二, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 福村直博, 線をなぞるとき、人はどういうふうに見るのか? . 名大・生理研合同シン

ポジウム 2015 年.  
山崎拳志郎, 伊藤竜樹, 伊藤嘉邦, 岡崎俊太郎, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 井本敬二, 宍戸恵美子, 福村直博, 書道家が線を描く時の目と腕の協調運動の特徴抽出. ニューロコンピューティング研究会 2015 年

Emiko SHISHIDO, K.Y., Tatsuki ITOH, Yoshikuni ITOH, Shuntaro OKAZAKI, Keiji IMOTO, Norihiro SADATO, Naohiro FUKUMURA, Norio OZAKI, Eye-hand coordination in tracing tasks by professional and non-professional calligraphers. 日本神経科学学会大会 2015 年

山崎拳志郎, 伊藤竜樹, 伊藤嘉邦, 岡崎俊太郎, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 井本敬二, 宍戸恵美子, 福村直博, 線の描画運動における書道習熟度と視線先行の関係. Motor Control 研究会 筑波大学 2014 年

山崎拳志郎, 伊藤竜樹, 伊藤嘉邦, 岡崎俊太郎, 定藤規弘, 尾崎紀夫, 井本敬二, 宍戸恵美子, 福村直博, 線の描画時の視線計測に基づくアイ・ハンド・コーディネーションの解析. ニューロコンピューティング研究会 2014 年 12 月 13 日 名古屋大学, 2014.

伊藤 嘉邦(Yoshikuni Ito)  
中村 晋之介(Shin-nosuke Nakamura)

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

東島 (宍戸) 恵美子 (Emiko Shishido)  
名古屋大学・大学院医学系研究科・研究員  
研究者番号: 40723101

### (2) 研究分担者

福村 直博 (Naohiro Fukumura)  
豊橋技術科学大学・工学系研究科・准教授  
研究者番号: 90293753

### (3) 連携研究者

定藤 規弘 (Norihiro Sadato)  
生理学研究所・システム脳科学研究領域・教授  
研究者番号: 00273003

尾崎 紀夫 (Norio Ozaki)  
名古屋大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号: 40281480

### (4) 研究協力者

井本 敬二 (Keiji Imoto)  
岡崎 俊太郎 (Shun-taro Okazaki)  
山崎 拳志郎 (Kenshiro Yamazaki)  
伊藤 竜樹 (Tatsuki Itoh)