

## ボタン押し課題における視線移動特性と学習過程

中園正吾<sup>1,2†</sup>, 小堀聡<sup>3</sup><sup>1</sup> 龍谷大学大学院 理工学研究科 電子情報学専攻<sup>2</sup> 株式会社城南電器工業所 福祉機器開発室<sup>3</sup> 龍谷大学 理工学部 電子情報学科

**要旨** ボタン押し課題についての実験を20名の健常者を対象に実施し、学習過程を明らかにした。ボタン押し課題とは、ディスプレイ上を移動するターゲットが指定枠に入ったらボタンを押すというものである。ここでは、情報獲得と予測の機能を測定・解析するため、ターゲットが移動の途中で表示されなくなる消滅課題とボタンを押してからターゲットが止まるまでに一定の遅れがある遅延課題を学習課題とした。実験においては誤差データだけでなく視線データも測定し、視線の移動パターンと学習の関係について検討した。その結果、消滅課題と遅延課題における学習効果は、視線移動の方法の変化と強く結びついていることが推察された。

**キーワード**: ボタン押し課題, 学習過程, 眼球運動, 知覚運動協応, 内部モデル

## 1. はじめに

わたしたち人間にとって運動の制御と学習は必要不可欠な機能であるが、運動は運動系のみならず感覚・知覚系との連携により成り立っており、それらの間に整合性のとれた対応関係がなければならぬ。そのような感覚・知覚系と運動系の対応関係・相互協調関係に関わる認知機能を知覚運動協応 (perceptual motor coordination) と呼ぶ<sup>1,2)</sup>。しかしながら、わたしたちが健常な状態にあるときには、日常生活においてそうした機能を特に意識することはないに違いない。

その一方で、運動学習の理論をリハビリテーションに応用する研究が進められる中で、運動機能のメカニズムを明らかにすることの重要性が指摘されている<sup>3)</sup>。また、高齢者の認知機能については、視覚や聴覚などの感覚・知覚系だけでなく、それらと連携した運動系の機能を評価する研究も見られる<sup>4)</sup>。わたしたちの運動の機能は老化や障害により損なわれることがあるが、その様態はさまざまである。そのような場合に運動の制御と学習についての適切な評価は、たとえば、残存能力を活かしたりリハビリテーション・プログラムの策定など、適切な訓練へとつなげるためにはきわめて重要である<sup>5)</sup>。また、できるだけ広範囲の患者を対象とし、かつ、簡便な評価方法が必要とされている<sup>6)</sup>。

さて、感覚・知覚系と運動系の協調関係を解析する方法としては、古くからトラッキング課題が用いられてきた<sup>7,8)</sup>。

トラッキング課題では、視覚系および自己受容感覚系からのフィードバックと運動系の出力の関係を連続的に測定することができる。それに対して、本研究ではボタン押し課題を用いる。この課題はディスプレイ上を移動するターゲットが指定枠に入ったらボタンを押すというものであり、感覚・知覚系のフィードバックとしては主として視覚系が重要な役割を果たすことになる。また、ボタン押しの動作自体は瞬間的でフィードフォワードな制御によるものであり、予測的な動作を測るという意味で、トラッキング課題とは異なる機能を測定・解析することができる。このようなものの動きを捉えて適切な反応を示すというのは基本的な動作であるのにも関わらず、解析・評価する方法は確立されていない。

## 1.1 ボタン押し課題と内部モデル

本研究におけるボタン押し課題では、ターゲットの出現位置・移動の向き、移動速度、指定枠の表示位置はランダムに切り替わるように設定する。したがって、この課題において被験者が行わなければならないことは、

- 1) ターゲットの出現位置・移動の向き、指定枠の表示位置を把握し、
  - 2) ターゲットの移動速度を把握し、
  - 3) それらからターゲットが指定枠に収まるタイミングを推測し、
  - 4) 自分自身の反応時間分の遅れとターゲットの移動速度からボタンを押すべき位置を推測し、
  - 5) 実際にボタンを押す
- ということである。

このように外部環境からの情報をもとに予測を行うという

2008年2月20日受付 2008年5月27日受理

†〒611-0033 京都府宇治市大久保町成手 1-28

株式会社城南電器工業所福祉機器開発室

中園 正吾

Tel: 0774-43-1673 Fax: 0774-43-1674

E-mail: s\_nakazono@ponpon-land.com

問題については、内部モデルと関連付けられて議論されることが多い。一般的に、与えられた入力からシステムの出力を推測するモデルを順モデルといい、その逆に、システムの出力から与えるべき入力を推測するモデルを逆モデルという<sup>9)</sup>。本研究でのボタン押し動作には、2種類の内部モデルが関わると考えることにした。1つはターゲットの動きを予測する順モデルであり、もう1つはボタンを押すべき位置・タイミングを推測する逆モデルである。ここでは仮に、前者を視標モデル、後者を応答モデルと呼ぶことにする。

内部モデルは運動学習の分野で近年重要な概念となっており<sup>9,10)</sup>、内部モデルに関する理論をリハビリテーションに応用する研究も見られる<sup>3)</sup>。本研究においても内部モデルを用いた考察を行う。

### 1.2 消滅や遅延を伴うボタン押し課題

しかしながら、前述のボタン押し課題であれば、健常者の場合はすぐさま学習し、正確なタイミングでボタンを押せるようになり、その学習の過程を観察することは難しいと考えられる。そこで、予測的な動作をより難しくする実験課題として消滅課題と遅延課題を設定することにした。消滅課題はターゲットが移動の途中で表示されなくなるというものであり、また、遅延課題はボタンを押してからターゲットが止まるまでに一定の遅れがあるというものである。

消滅課題では、指定枠にぴったり収まるタイミングを推測するためには、その動きのイメージを心の中に維持しなければならない。もし、ターゲットの動きを正確に予測できなければ、誤差は大きくなってしまふ。すなわち、消滅のない場合に比べて、より正確な視標モデルを獲得しなければならないし、正確な移動速度の把握も必要である。ただし、消滅課題では、ターゲットが表示される時間は短くなる。一方、応答モデルについては、消滅のない場合から変更する必要はない。

遅延課題では、自分自身の反応時間分の遅れ以外にボタンを押してから停止するまでの遅延時間を考慮しなければならない。このことは応答モデルに修正を加えなければ

ならないことを意味する。ただ、いったん応答モデルを修正してしまえば、ボタンを押すべきタイミングは、位置情報に変換してしまふことができる。つまり、正確な移動速度さえ把握できれば、指定枠に対してどの位置でボタンを押せばよいかの問題となる。しかし、遅延時間の分、ボタンを押すタイミングが早くなるので、ターゲットの移動速度を把握できる時間は短い。一方、視標モデルについては、遅延のない場合から変更する必要はない。

### 1.3 本研究の目的

本研究では、ボタン押し課題での情報獲得と予測の機能を測定・解析するため、消滅や遅延を伴う課題を設定して健常者を対象に実験を行い、学習過程を明らかにする。また、運動の制御や学習における視覚系の果たす役割を調べるために、課題を遂行している際の被験者の眼球運動を測定し、学習に伴う変化を示す。そして、本研究の測定・解析の方法がリハビリテーションでの評価や訓練に応用できるかどうかの可能性を検討する。

本論文では、まず、ボタン押し課題の遂行結果を評価するための誤差値を定義し、その誤差値を用いて、消滅課題および遅延課題における基本特性と学習過程を示す。次に、視線データから視線の移動パターンを分類し、それらのパターンの含まれる割合と学習に伴う変化を明らかにする。そして、それらの結果から、消滅課題および遅延課題での学習の内容とその要因について考察する。

## 2. 方法

### 2.1 実験システム

実験システムは、図1に示したように刺激提示システムと眼球運動測定システムから構成されている。

刺激提示システムは、市販のパーソナルコンピュータと周辺機器を中心に、押しボタンスイッチ（城南電器工業所：押し圧約350～750g、直径80mm）、反応時間測定ソフトウェア、ボタン押し課題測定ソフトウェアで構成される。また、これらのソフトウェアは独自に開発したものであり、単純反応時間および誤差データを測定することができる。

眼球運動測定システムは、眼球運動測定装置（ナックイメージテクノロジー：EMR-8BNL）を中心に構成される。この装置に付属するデータ解析ソフトウェアによって、視線データが実時間でコンピュータに取り込まれ、刺激提示用ディスプレイ（エプソン：15型 TFT 液晶ディスプレイ LCV-15MAT, 1024 × 768 画素）の座標値（x 軸方向および y 軸方向、単位は画素数）がサンプリング周波数 60Hz で得られる。視距離は 660mm である。

なお、デジタル入出力ボード（コンテック：PIO-16/16T (PCI)）の出力機能を用いて、刺激提示システムから送信される信号により、眼球運動測定システムでの測定との同期が取られるようにした。

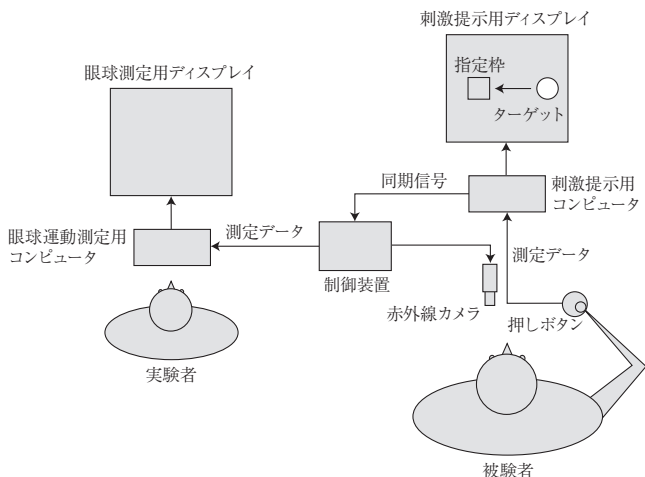


図1 実験システムの構成

## 2.2 実験方法

### (1) 実験課題

被験者には、ディスプレイ上を移動するターゲットが指定の枠内にぴったりと収まるようにボタンを押して停止させる動作を行わせる。ターゲットは直径 28.4mm の赤い円で、指定枠は赤い四角（枠の幅 2.4mm, 内径 28.4mm）で表示される。ターゲットは 1 つずつ出現し、直線上を一定の速度で移動する。

実験におけるパラメータは、ターゲットの移動速度、ターゲットの移動の方向、指定枠の表示位置である。具体的な設定値は以下のとおりであるが、これらの値が等確率でランダムに選択されるようにした。

ターゲットの移動速度（以下、単に速度とする）は下記のいずれかである。

- 速度 1 : 20.7mm/s
- 速度 2 : 25.2mm/s
- 速度 3 : 32.5mm/s
- 速度 4 : 45.5mm/s
- 速度 5 : 75.8mm/s

ターゲットの移動の向き（以下、単に向きとする）は下記のいずれかである。

- 下向き：画面の上側から出現
- 上向き：画面の下側から出現
- 右向き：画面の左側から出現
- 左向き：画面の右側から出現

指定枠が表示される位置（以下、単に位置とする）は下記のいずれかである。

- 近方：ターゲットの出現場所から近い位置（出現位置から 76mm）
- 中央：コンピュータ画面上の中央の位置（出現位置から 114mm）
- 遠方：ターゲットの出現場所から遠い位置（出現位置から 152mm）

具体的な課題は、以下の通りである。

#### (i) 通常課題

消滅課題でも遅延課題でもないもの。

#### (ii) 消滅課題

ターゲットが移動の途中で見えなくなる。ターゲットが表示されるのはターゲットの出現場所から指定枠までの 40% の区間である（ただし、被験者にはこの数値は知らせない）。ターゲットが消滅しても、被験者はそれまでのターゲットの動きから、その動きをイメージして、正しいと思うタイミングでボタンを押してターゲットを止める。

#### (iii) 遅延課題

ボタンを押してから、ターゲットが止まるまでに一定の

時間（遅れ）がある。遅れの時間は 0.7s である（ただし、被験者にはこの数値を知らせない）。被験者はその遅れの分を考えて、正しいと思うタイミングでボタンを押してターゲットを止める。

いずれの課題においてもターゲットが停止した後、次のターゲットが出現するまでは、ターゲットは停止したまま表示され、被験者は指定枠の中心点とのずれ（誤差）を把握することができる。なお、消滅課題においては、ボタンを押した段階でターゲットは停止し再び表示される。

被験者には、「ボタンを押してターゲットが正確に指定枠に入るようにし、消滅（または遅延）の場合も最善の努力をしてください。」という指示を与えた。

なお、以上のパラメータに関しては、一般的に滑動性眼球運動が 2 ~ 40deg/s であること<sup>11)</sup> や光刺激によるボタン押し反応時間が約 200ms であること<sup>12,13)</sup> を踏まえて、本研究でのボタン押し課題のもとになっているリハビリ用ゲーム<sup>14)</sup> や他のボタン押しに関する研究例<sup>15,16)</sup> などをもとに値を設定し、健常な大学生 6 名（男性 5 名、女性 1 名）での予備実験を行い、妥当な値であることを確認した。

### (2) 被験者

19 歳から 23 歳までの健常な大学生 20 名（男性 10 名、女性 10 名）を被験者とした。すべての被験者について、裸眼もしくは眼鏡・コンタクトレンズの使用により、本実験を行うのに十分な視力（両眼で 0.7 以上）を有していることを確認した。

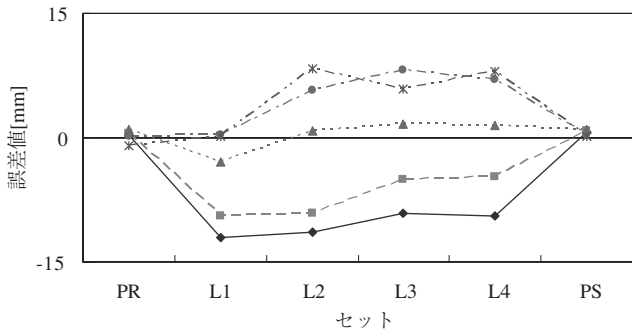
### (3) 実験手順

実験に先立ち、被験者には、文書により実験の概要と手順を理解させたうえで、実験への参加の同意書と視力や利き手などに関する調査票に記入させた。測定に入る前に、まず、実験課題を確認し、実験機器などに慣れさせるため、通常課題で 1 ブロックだけ練習を行う。次に、被験者の単純反応時間（ディスプレイ上に刺激（直径 28.4mm の赤い円）が提示されたらできるだけ早くボタンを押すという検出課題により測定される時間）を測定する。そして、眼球運動測定装置の個人別較正を行う。以上の準備ができれば、実験条件に従って実験を行う。

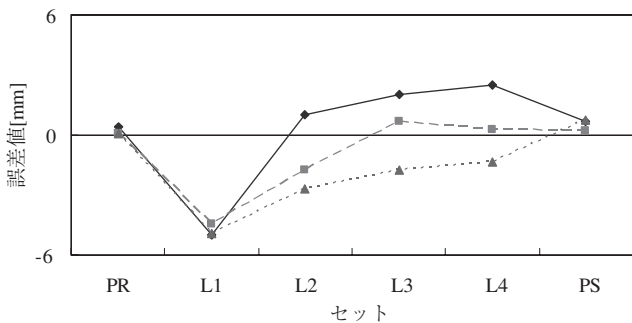
### (4) 実験条件

実験では、60 試行を 1 セットとした。これにより、ターゲットの 5 つの移動速度、4 つの移動の向き、指定枠の 3 つの表示位置のすべての組み合わせで試行が行える。また、被験者の集中力を考慮し、1 セットを 5 つのブロック（12 試行）に分けることにした。これにより、1 ブロックあたり約 1 分程度となる。

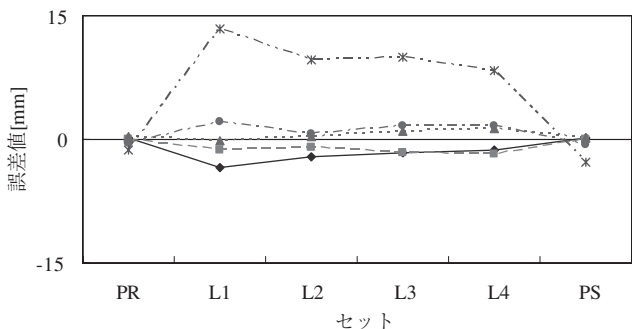
被験者 20 名は、消滅課題を学習させる消滅群 10 名（男性 5 名、女性 5 名）と遅延課題を学習させる遅延群 10 名



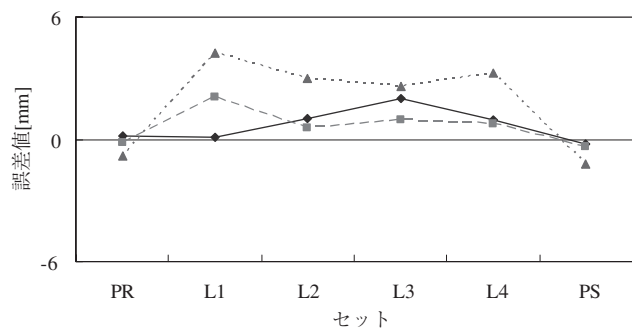
(a) 消滅群での速度別



(b) 消滅群での位置別



(c) 遅延群での速度別



(d) 遅延群での位置別

図2 符号付き誤差値の平均値  
PR: テスト前セット, L1~L4: 学習セット, PS: テスト後セット

(男性5名, 女性5名)の2つの実験群に分けた。

実験は, テスト前セット (pre-test), 学習セット, テスト後セット (post-test) から構成される. テスト前セットとテスト後セットでは, 通常課題をそれぞれ1セットずつ実施した. 学習セットでは, 消滅課題もしくは遅延課題を4セット実施した. すなわち, 合計で6セットとなる. 前半の3セットが終了した段階で, 2分程度の休憩を挿入し, 被験者が疲労しないように心がけた.

### 2.3 解析方法

#### (1) 誤差データ

ここで誤差とは, ターゲットを停止させた位置でのターゲットの中心点と指定枠の中心点との距離を意味し, ターゲットを指定枠の中心点より手前で停止させた場合は負の値に, 指定枠の中心点を過ぎて停止させた場合は正の値とする. 誤差データは, 符号付き誤差値 (単位は画素数) として記録し, 速度あるいは位置をパラメータにして, セットごとに符号付き誤差値と絶対誤差値の平均値を算出した.

テスト前とテスト後のセット, および学習のセット (学習1~学習4) のそれぞれについて, 向き (下向き, 上向き, 右向き, 左向き), 速度 (速度1~速度5), 位置 (近方, 中央, 遠方) を被験者間の要因とした  $4 \times 4 \times 5 \times 3$  の分散分析を行った.

#### (2) 視線データ

視線データについては, 眼球運動測定装置に付属するデータ解析ソフトウェアにより, 停留時間 [s], 停留点座標 [画素数], 視線移動速度 [画素数/s] を算出した<sup>17)</sup>.

### 3. 結果

被験者の単純反応時間を測定したところ, 全体では, 平均値 0.281s (標準偏差 0.034s) であり, 参考文献<sup>13)</sup>などに示された値とほぼ同程度であることを確認した. また, 男性では平均値 0.277s (標準偏差 0.039s), 女性では平均値 0.285s (標準偏差 0.029s) であり, 男女間で有意な差は見られなかった. さらに, 消滅群では平均値 0.281s (標準偏差 0.032s), 遅延群では平均値 0.281s (標準偏差 0.037s) であり, 実験群間で有意差は見られなかった.

#### 3.1 誤差データ

実験結果より, 消滅群と遅延群のテスト前セットの通常課題では, 誤差値が小さく, 健常者はこの課題を正確に遂行できることが分かった.

##### (1) 消滅群

図2(a), (b)は, それぞれ速度別および位置別の符号付き誤差値の平均値のセットによる変化を示している. なお, グラフにおいて, PR, L1~L4, PSは, それぞれ, テスト前,

表1 視線移動パターンの分類と視線データの例

視線移動パターン	タイプA	タイプB	タイプC
停留点移動度	2.0未満	2.0未満	2.0以上
指定枠注視率	0.5未満	0.5以上	0.5以上

※ 停留点移動度が2.0以上で指定枠注視率が0.5未満のパターンは存在しない。  
 ※ 横軸は時間、縦軸はターゲットの移動方向の座標を示す。

学習1～学習4, テスト後のセットを示している。

図2(a)のグラフから速度による誤差値の違いを見ると, 速度3が最も誤差値が小さく, それより遅い速度1や速度2では正しい箇所より手前で, 逆にそれより速い速度4や速度5では正しい箇所より後ろでターゲットを停止させていることが分かる。また, 図2(b)のグラフから位置による誤差値の違いを見ると, 中央が最も誤差値が小さく, 近方では正しい位置より手前で, 逆に遠方では正しい位置より後ろでターゲットを停止させていることが分かる。

符号付き誤差値について分散分析を行った結果, 速度および位置についての有意な主効果が認められた(速度:  $F(4,36) = 51.034, p < 0.001$ , 位置:  $F(2,18) = 3.810, p < 0.05$ )。ただし, これらの主効果は速度と位置の交互作用によって限定される( $F(8,72) = 17.423, p < 0.001$ )。なお, 向きについては有意な主効果は認められなかった。

学習セットでの変化としては, 位置別のグラフ(図2(b))において, 学習1から学習2では学習効果が見られるものの, 全体としては学習効果が不明確である。しかし, 学習のセットについて有意な主効果が認められた( $F(3,27) = 12.850, p < 0.001$ )。また, テスト前とテスト後のセットについても有意差が認められた( $F(1,9) = 6.178, p < 0.05$ )。

一方, 絶対誤差値について分散分析を行ったところ, ほぼ同様の結果が得られたが, テスト前とテスト後のセットについては有意差が認められた( $F(1,9) = 6.943, p < 0.05$ )のに対して, 学習のセットについては有意な主効果は認められなかった。

(2) 遅延群

図2(c), (d)は, それぞれ速度別および位置別の符号付き誤差値の平均値のセットによる変化を示している。

図2(c)のグラフから速度による誤差値の違いを見ると, 速度5の誤差値が著しく大きいことが分かる。また, 図2(d)のグラフから位置による誤差値の違いを見ると, 近方の誤差値が大きいことが分かる。

符号付き誤差値について分散分析を行った結果, 速度

および位置についての有意な主効果が認められた(速度:  $F(4,36) = 74.093, p < 0.001$ , 位置:  $F(2,18) = 80.752, p < 0.001$ )。ただし, これらの主効果は速度と位置の交互作用によって限定される( $F(8,72) = 69.684, p < 0.001$ )。なお, 向きについては有意な主効果は認められなかった。

学習セットでの変化としては, 全体としては学習効果が不明確である。学習のセットについて有意な主効果は認められなかった。しかし, テスト前とテスト後のセットについては有意差が認められた( $F(1,9) = 6.443, p < 0.05$ )。

一方, 絶対誤差値について分散分析を行ったところ, ほぼ同様の結果が得られたが, テスト前とテスト後のセットについて有意差が認められなかったのに対して, 学習のセットについては有意な主効果が認められた( $F(3,27) = 17.763, p < 0.001$ )。

3.2 視線データ

視線データを観察したところ, 視線移動のパターンは, ターゲットの動きに視線を追従させようとする傾向があるもの(タイプA), 指定枠を注視する傾向があるもの(タイプB), ターゲットと指定枠を交互に見る傾向があるもの(タイプC), に大別できることが分かった。そこで, 視線移動の特徴を示す評価値として停留点移動度と指定枠注視率を定義し, それらの評価値に基づいて自動的に視線移動パターンを分類できるようにした。

ここで, 停留点移動度は, どれだけ大きく視線を移動させたかを示す評価値であり, 停留点間距離の総和を, 停留点座標の最大値と最小値の差(ターゲットの出現位置の停留点座標とボタンを押した位置の停留点座標の差)で割ったものである。また, 指定枠注視率は, 指定枠を注視していた割合を示す評価値であり, ターゲットの出現位置から, ボタンを押した位置までの区間内において, 指定枠に対応する停留点の数を全体の停留点の数で割ったものである。

これらの評価値を試行ごとに算出した結果, 上記の3つのパターンは以下のように分類できることが分かった(表1)。

タイプ A: 停留点移動度が 2.0 未満, 指定枠注視率 0.5 未満.  
 タイプ B: 停留点移動度が 2.0 未満, 指定枠注視率 0.5 以上.

タイプ C: 停留点移動度が 2.0 以上, 指定枠注視率 0.5 以上.

なお, 停留点移動度が 2.0 以上で指定枠注視率が 0.5 未満のパターンは存在しなかったため, 上記の 3 つのパターンのいずれかに分類されることになる.

1 回の試行をこれら 3 つの視線移動パターンに分類し, 被験者ごと, セットごと, ターゲットの速度ごと, 指定枠の位置ごとに, それらの移動パターンが含まれる割合 [%] を算出し, グラフにした (図 3, 図 4).

(1) 消滅群

(i) 被験者による違い

図 3(a) は, 消滅群での被験者ごとの視線移動パターンの割合と符号付き誤差値および絶対誤差値の平均値を示している. このグラフから, 視線移動パターンの割合については, 個人差が大きいこと, 符号付き誤差値および絶対誤差値と視線移動パターンの割合との間には関連性が認められないことが分かる.

(ii) ターゲットの速度との関係

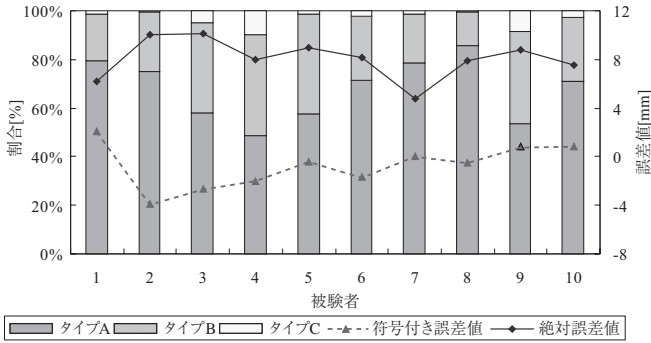
図 3(b) は, 消滅群での速度ごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 速度 5 は, タイプ C のパターンがほとんどなく, タイプ B のパターン成分が多いこと, つまり, ターゲットの移動速度が速い場合, 指定枠を注視することが多いことが分かる. また, ターゲットの移動速度が速くなることで視線の移動速度は速くなっていること, 停留時間が短くなっていく傾向があることが分かる.

(iii) 指定枠の表示位置との関係

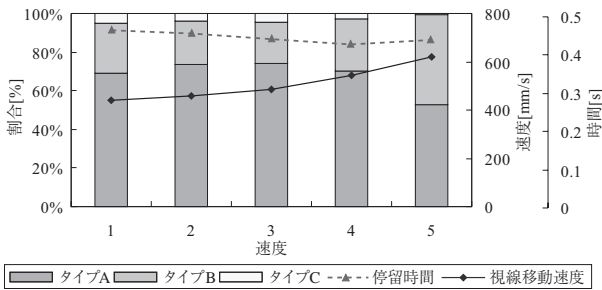
図 3(c) は, 消滅群での位置ごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 近方から遠方になるにつれて, タイプ C が増加しており, ターゲットと指定枠を交互に見ることが増えていくことが分かる. また, 近方では, 視線移動速度が速いことが分かる.

(iv) 学習に伴う変化

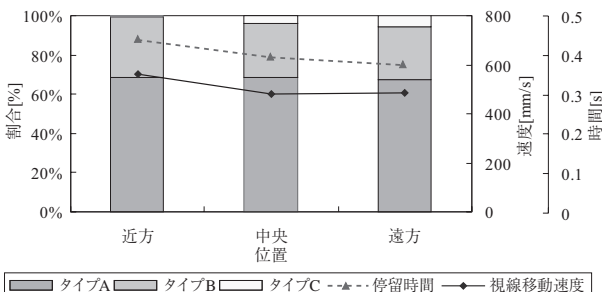
図 3(d) は, 消滅群でのセットごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 学習 1 と学習 2, 学習 3 と学習 4 は, それぞれほぼ同様の傾向を示していること, 学習 1 と学習 2 に比べ, 学習 3 と学習 4 ではタイプ A が増加しており, ターゲットを視線で追従することが増えていること, また, テスト後では, テスト前と比べるとタイプ A が増加し, タイプ B が減少しており, ターゲットの動きに視線を追従させようとするものが多くなっていることが分かる. また, 学習 1 と学習 2 に比べ, 学習 3 と学習 4 では視線移動速度が



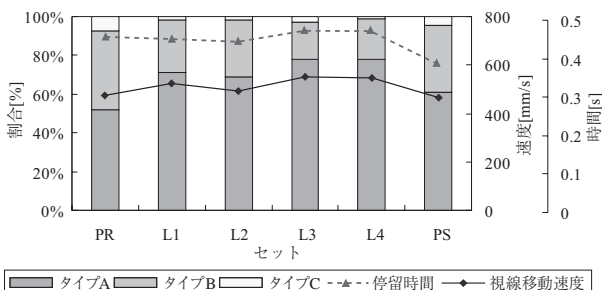
(a) 被験者ごと



(b) 速度ごと



(c) 位置ごと



(d) セットごと

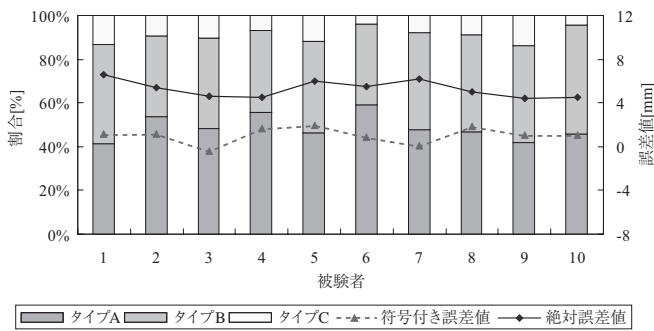
図 3 消滅群での視線移動パターン  
 棒グラフは視線パターンの割合の平均を示している. また, (a) において折れ線グラフはそれぞれ符号付き誤差値と絶対誤差値の平均を, (b) ~ (d) において折れ線グラフはそれぞれ停留時間と視線移動速度の平均を示している.

速くなっていること, テスト後には, 停留時間が減少していることが分かる.

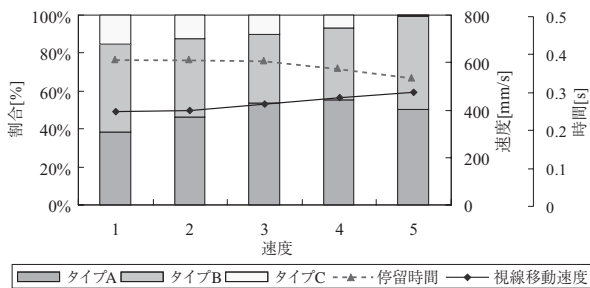
(2) 遅延群

(i) 被験者による違い

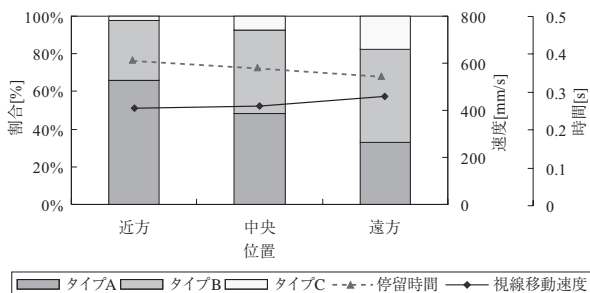
図 4(a) は, 遅延群での被験者ごとの視線移動パターンの割合と符号付き誤差値および絶対誤差値の平均値を示して



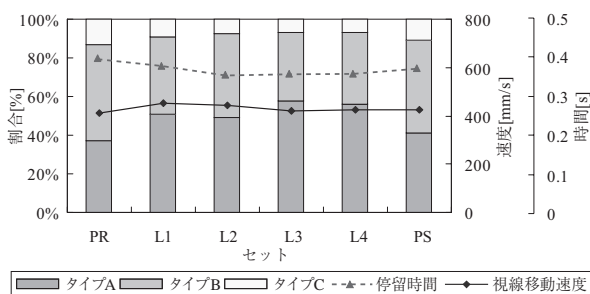
(a) 被験者ごと



(b) 速度ごと



(c) 位置ごと



(d) セットごと

図 4 遅延群での視線移動パターン  
図 3 と同様の方法で示している.

いる. このグラフから, 視線移動パターンの割合については, 個人差が大きいこと, 符号付き誤差値および絶対誤差値と視線移動パターンの割合との間には関連性が認められないことが分かる.

(ii) ターゲットの速度との関係

図 4(b) は, 遅延群での速度ごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 速度 1 から速度 5 へと速度が速くなるにつれてタイプ A が増加し, タイプ C は減少して速度 5 ではなくなっていること, つまり, ターゲットと指定枠を交互に見ることが少なくなり, ターゲットを視線で追従させることが多くなっていることが分かる. また, ターゲットの移動速度が速くなるにつれて, 視線の移動速度も速くなり, 停留時間は短くなっていることが分かる.

(iii) 指定枠の表示位置との関係

図 4(c) は, 遅延群での位置ごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 近方から遠方になるにつれて, タイプ C およびタイプ B が増加し, タイプ A が減少していること, つまり, ターゲットを視線で追従させることが少なくなり, 指定枠を注視することや, ターゲットと指定枠を交互に見ることが増えていることが分かる. また, 指定枠の位置が遠方になるにつれて, 視線移動速度は速くなり, 停留時間は短くなっていることが分かる.

(iv) 学習に伴う変化

図 4(d) は, 遅延群でのセットごとの視線移動パターンの割合と停留時間および視線移動速度の平均値を示している. このグラフから, 学習 1 と学習 2, 学習 3 と学習 4 は, それぞれ同様の傾向を示していること, 学習 1 と学習 2 に比べ, 学習 3 と学習 4 ではタイプ A が増加しており, ターゲットを視線で追従させることが増えていること, テスト前とテスト後では, 視線移動パターンに明確な違いがないことが分かる. また, 学習 1 から学習 4 へと進むにつれて, 視線移動速度と停留時間は減少する傾向にあること, テスト後の視線移動速度がテスト前に比べて速くなっていることが分かる.

4. 考察

実験結果より, 通常課題については誤差値が小さいこと, 消滅課題や遅延課題では誤差値が通常課題よりも大きくなったが試行を繰り返すことにより, どちらにおいても学習効果が見られること, テスト前セットとテスト後セットの通常課題の比較については消滅群, 遅延群のどちらにおいても有意にテスト後セットの誤差値が小さかったことが明らかになった.

一方, 被験者の視線移動パターンは 3 つのタイプに分類

でき、それらは各試行での被験者の方略を反映していると考えられる<sup>17)</sup>。実際、視線移動のパターンの割合は、課題の種類や実験パラメータにより異なり、また、学習に伴って変化していった。テスト前セットの通常課題に比べて、学習のセットである消滅課題や遅延課題ではターゲットを視線で追従させることの割合が増え、指定枠を注視することやターゲットと指定枠を交互に見ることの割合が減っていた。また、学習に伴い、消滅課題と遅延課題のいずれにおいても、ターゲットを視線で追従させることの割合が増加していた。さらに、消滅課題と遅延課題を比べると、消滅課題の方がターゲットを視線で追従させる割合が高く、遅延課題の方が相対的に指定枠を注視することやターゲットと指定枠を交互に見ることの割合が多かった。

以上のような誤差値と視線移動パターンについての結果から、ここでは、消滅課題および遅延課題での学習の内容とその要因について検討してみる。

まず、通常課題については、ターゲットの移動速度や指定枠の位置がランダムに変化するのにも関わらず、被験者は問題なく対応できていた。これらのことは、健常者であれば、ターゲットの移動速度を把握し、そこからターゲットの動きを予測する能力や自分自身の反応時間の遅れを考慮し、ボタンを押すべき位置を推測する能力を有していることを示している。

それに対して、消滅課題ではターゲットの動きをより正確に予測する能力が求められ、そのためには正確な視標モデルの獲得が必要である。つまり、消滅課題において学習効果が認められたことは、視標モデルが更新されたことを意味すると考えられる。

ただし、単に指標モデルを精緻なものにするだけでなく、より正確にターゲットの移動速度を把握する必要もある。ターゲットの移動速度を正確に把握しようとしていることは、視線移動パターンの解析の結果、ターゲットを視線で追従させることの割合が増えたことから裏付けられる。学習に伴い、さらにその割合が大きくなっていることは、それだけ移動速度の把握が重要であることを意味しており、より正確にターゲットの速度を把握することを学習したと推察される。

一方、遅延課題では、自分自身の反応時間分の遅れ以外にボタンを押してから停止するまでの遅延時間も考慮する必要がある。すなわち、応答モデルに修正を加えなければならない。つまり、遅延課題において学習効果が認められたことは、遅延時間を考慮した応答モデルが獲得されたことを意味すると考えられる。

ただし、遅延課題においても、単に応答モデルを精緻なものにするだけでなく、より正確にターゲットの移動速度を把握する必要もある。ターゲットの移動速度を正確に把握しようとしていることは、消滅課題の場合と同様、ターゲットを視線で追従させることの割合が増えたことから裏

付けられ、学習に伴い、さらにその割合が高くなっていることは、より正確にターゲットの速度を把握することを学習したことを示すと考えられる。

しかしながら、遅延課題では消滅課題に比べると、指定枠を注視することやターゲットと指定枠を交互に見ることの割合が相対的には大きいことが分かる。このことは、ボタンを押すべきタイミングを位置情報の問題へと変換し、指定枠を確認することで、正確な位置でボタンを押そうとしていることを意味していると推察される。

また、消滅群、遅延群のどちらにおいてもテスト前セットに比べてテスト後セットの誤差値が有意に小さくなったことは、消滅課題もしくは遅延課題を学習したことが促進的な効果<sup>18)</sup>をもたらしたことを示すと考えられる。特に、消滅群においては、テスト後セットではテスト前セットに比べて顕著にターゲットを視線で追従させる割合が増加しており、ターゲットの移動速度を正確に把握しようという消滅課題での学習がその後の通常課題において影響していると推察される。それに対して、遅延群においては、テスト前セットの通常課題に比べて、テスト後セットでは視線移動パターンの割合はほとんど変化しておらず、それにも関わらず誤差値自体は減少していることから、テスト後セットの通常課題への遅延課題での学習の影響は、消滅課題の場合と異なるのではないかと考えられる。

以上のように、消滅課題と遅延課題における学習効果は、視線移動の方法の変化と強く結びついていることが推察される。

## 5. おわりに

本研究では、ボタン押し課題についての実験を健常者を対象に実施し、学習過程について調べることにした。ここでは、ターゲットが移動の途中で表示されなくなる消滅課題とボタンを押してからターゲットが止まるまでに一定の遅れがある遅延課題を学習課題とした。実験においては誤差データだけでなく視線データも測定し、学習過程を解析し、視線の移動パターンと学習の関係について検討した。その結果は次のとおり要約される。

- 1) 消滅課題においてはターゲットの動きを正確に予測することが、遅延課題においては遅延時間を適切に考慮することがそれぞれ学習されたと考えられる。
- 2) 消滅課題と遅延課題においては移動速度を正確に把握しようとする方略が取られ、また、試行を繰り返すことでそうした方略の学習がさらに進化したと考えられる。
- 3) 消滅課題に比べて、遅延課題では指定枠を確認する割合が高く、正確な位置でボタンを押そうとしていたと考えられる。
- 4) 消滅課題もしくは遅延課題を学習したことが、テスト後セットの通常課題に対して促進的な効果をもたらしたと考えられる。



このような考察を導くことができたことから、本研究において用いたボタン押し課題により、認知および運動機能を評価し、訓練や学習の効果を検証することができる可能性が示されたといえる。

今後の研究としては、認知機能および運動機能に障害のある高齢者を対象に検査を行い、各課題における誤差値が障害の度合いとどのように関係しているのかについて長期的な変化を検討する予定である。そして、その結果から、新たな学習の可能性や訓練としての効果を検証し、認知リハビリテーションにおける検査・評価・訓練に必要なパラメータの確立を行い、実用的なシステムを構築することが必要であると考えている。

### 参考文献

- 1) 阪口 豊：知覚・運動協応, 日本認知科学会 (編), 認知科学辞典, 541, 共立出版, (2002).
- 2) McLeod, P.: 知覚運動協応, Eysenck, M. W. (Ed), 野島 久雄他 (訳), 261-266, 新曜社, (1998).
- 3) 道免 和久：運動学習とリハビリテーション, バイオメカニズム学会誌, 25(4), 177-182, (2001).
- 4) 石原 治：高齢者の認知機能とバイオメカニズム, バイオメカニズム学会誌, 27(1), 6-9, (2003).
- 5) 紺野 敏明, 田中 繁 (訳)：論理的枠組み, 田中 繁, 高橋 明 (監), モーターコントロール, 3-30, 医歯薬出版, (2004).
- 6) 鳥羽 研二：認知症高齢者の早期発見 臨床的観点から, 日本老年医学会誌, 44(3), 305-307, (2007).
- 7) Poulton, E. C.: Tracking skill and manual control, Academic Press, New York, (1974).
- 8) 小堀 聡, 阿部 陽祐：反転を伴うトラッキング課題の学習過程と瞳孔反応, 生体医工学, 45(1), 106-113, (2007).
- 9) 今水 寛：運動学習と道具の使用, 乾 敏郎, 安西 祐一郎 (編), 運動と言語, 1-9, 岩波書店, (2001).
- 10) Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, T., Sasaki, Y., Takino, R., Puetz, B., Yoshioka, T. and Kawato, M.: Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool, Nature, 403, 192-195, (2000).
- 11) 古賀 一男：眼球運動の種類, 日本視覚学会 (編), 視覚

情報処理ハンドブック, 390-393, 朝倉書店, (2004).

- 12) 麻生 勤, 古賀 俊策：反応時間, 佐藤 方彦 (監), 人間工学基準数値数式便覧, 163-165, 技報堂出版, (1994).
- 13) 赤松 幹之：反応時間, 産業総合研究所人間福祉医工学研究部門 (編), 人間計測ハンドブック, 341-343, 朝倉書店, (2003).
- 14) 赤松 智子, 武地 一, 中園 正吾, 元村 直靖：アルツハイマー型痴呆者に対する「ぼんぼんらんど」使用経験, 第18回リハ工学カンファレンス講演論文集, 141-142, (2003).
- 15) Tsuchida, N.: Inhibition of return using discrimination of location, Perceptual and Motor Skills, 96, 355-369, (2003).
- 16) Tsuchida, N.: Inhibitory function in the stimulus-response compatibility task, Perceptual and Motor Skills, 100, 249-257, (2005).
- 17) 大野 健彦：視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, 9(4), 565-576, (2002).
- 18) Mazur, J. E.: メイザーの学習と行動, 磯 博幸, 坂上 貴之, 川合 伸幸 (訳), 303-325, 二瓶社, (1999).



中園 正吾 (なかぞの しょうご)

1985年大阪電気通信大学電子物性工学科卒業, 同年株式会社城南電器工業所入社。現在, 同社福祉機器開発室室長, 龍谷大学大学院理工学研究科電子情報学専攻研究生。1989年~1990年京都工芸繊維大学電子情報工学科研究生。1994年より電子情報技術を活用した福祉機器の研究開発に従事。福祉用具専門相談員, 福祉情報技術コーディネーター1級。日本リハビリテーション工学協会会員。(バイオメカニズム学会正会員)。

小堀 聡 (こぼり さとし)

1987年大阪大学大学院医学研究科修士課程修了。博士(工学)。現在, 龍谷大学理工学部電子情報学教授。知覚と運動, 記憶と学習, 問題解決などに関する研究に従事。(バイオメカニズム学会正会員)。

## Eye movement characteristics and learning processes in button-press task

Shogo NAKAZONO<sup>1,2 †</sup>, Satoshi KOBORI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Division of Electronics and Informatics, Ryukoku University,

<sup>2</sup> Jyonan Electric Industrial Co.,Ltd

<sup>3</sup> Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University

**Abstract** We performed the experiment of button-press task for 20 healthy subjects (10 males and 10 females), and analyzed the learning processes. The button-press task means the subject observes a moving target and presses a button to stop it when the target enters a specified area on a computer display. Here, we measured button-press performance in two separate groups of subjects, and used suppressed task or delayed task as our learning task, in order to investigate the function of information acquisition and prediction. In the suppressed task, the moving target disappears at some point during the trial. In the delayed task, there is some lag time between the press of button and the stop of target. In these tasks, subjects estimate the movement of the target, and press the button considering his or her own reaction time. In the experiment, we measured not only the error data but also the eye movement data, and examined the relation between the eye movement patterns and the learning processes. The results suggest that the learning effects in these tasks are strongly associated with the changes in the way of the eye movement.

**Key Words:** Button-press task, Learning process, Eye movement, Perceptual motor coordination, Internal model

---

Received Feb 20, 2008 Accepted May 27, 2008

<sup>†</sup> Shogo Nakazono

Narute 1-28, Uji City, Kyoto 611-0033, Japan

Jyonan Electric Industrial Co.,Ltd

Tel: 0774-43-1673 Fax: 0774-43-1674

E-mail: s\_nakazono@ponpon-land.com