

# タッチパネルボタンの階層構造が連続ボタン押しの効率に与える影響

森田 ひろみ<sup>1,a)</sup>

受付日 2013年7月1日, 採録日 2013年12月4日

**概要:** 我々は高度な情報機器を日常的に利用するが, その操作の多くは, タッチパネルディスプレイ上に表示された情報を見て, そこに描かれたボタンから適切なものを選択しタッチするという単純な動作の繰り返しである. このような操作を誤りなく素早く実行できるかどうかに関わる認知的要因を探求するため, 20回のボタン押しからなる手続き系列を学習する連続ボタン押し課題を用いて心理実験を行い, 1画面上で押すべきボタン数が, 連続ボタン押しの素早さや正確さに与える影響を調べた.  $4 \times 4$ 個のボタン配列中の2個のボタンが点灯したら, これを正しい順序で押すという手続きを繰り返し, 最終的に系列を学習する  $[2 \times 10]$ 課題と, ボタンが4個ずつ点灯する  $[4 \times 5]$ 課題の間で, 20回のボタン押しに要する時間や, 学習したボタン押し順序をボタンが点灯しなくても再学習できるかどうかを比較した. その結果,  $[4 \times 5]$ 課題の方が再学習が困難であり, また, 原学習においては  $[4 \times 5]$ 課題の方がボタン押し遂行時間が短い, 再学習においては課題間で差がなかった. 結果から, 1画面で押すべきボタン数が多い方が遂行時間が短い傾向にあるが, 視覚的手がかりを除去したときに遂行がやや困難になることが示された. 個々のボタン押し反応時間の分析から, 原学習における視覚的手がかりの与え方がボタン押し系列の記憶構造に作用し, それが遂行時間や再学習に影響することが示唆された.

**キーワード:** 手続き系列の記憶, 連続的運動学習, 連続ボタン押し課題, タッチパネルディスプレイの操作性, チャンク

## Effects of Hierarchical Structure of Touch-panel Buttons on Efficiency of Sequential Button-pressing

HIROMI MORITA<sup>1,a)</sup>

Received: July 1, 2013, Accepted: December 4, 2013

**Abstract:** We use IT devices every day. Most of them are operated by repeating the simple procedure of getting information on the touch-panel display, selecting one of the buttons presented on the display, and touching it. In order to find the cognitive factors which affect the accuracy and speed of performing such procedures, I conducted an experiment with the sequential button-press task varying the number of buttons to be pressed in a page. Participants learned the sequence of 20 button presses by repeating to press two lighted buttons in a  $4 \times 4$  matrix of buttons in the correct order ( $[2 \times 10]$  task) or by repeating to press four lighted buttons ( $[4 \times 5]$  task). Performance time is shorter for  $[4 \times 5]$  tasks in the original learning, but the difference disappeared in the relearning with no buttons lighted. Accomplishment of relearning was more difficult for  $[4 \times 5]$  tasks. The result indicates that requiring to press more buttons in a page makes performance of button-press sequence more rapid but more difficult to be completed without visual cues. Detailed analysis of individual button-press time indicated that the visually cuing the buttons affects the chunk structure of sequential procedural memory.

**Keywords:** sequential procedural memory, sequential motor learning, sequential button press task, usability of touch panel display, chunk

## 1. はじめに

現代生活において、私たちは高度な情報機器を日常的に使用しているが、その操作のほとんどは、液晶画面に提示された情報を見て適当なボタンを選択し、押すことの繰返しである。たとえば、郵便局のATMで振替を行う場合や駅の券売機で路線の乗り継ぎを含む切符を購入する場合、液晶画面上の説明を見て、そこに描かれた複数のボタンから適当なものを選びタッチするという操作を何度も繰り返す。一連の操作を何度か繰り返すうち、画面の説明や指示を見ずに次々にボタンを押すようになり、さらに慣れてくると、ほとんど自動的に手が動いてボタンを押すようになることもある。

このとき、同じ画面で複数のボタンを押すこともあれば、ボタンを押すたびに次の画面に進む場合もある。このボタン押し画面の階層構造は、当然のことながら、手続きに關係する情報の構造を基に決められており、ユーザの認知特性に基づいた押しやすい階層構造ということは考慮されていない。そのことが、比較的深い階層構造を持つボタン押し操作の場合に、画面が切り替わるのが遅くてタイミングが狂ってしまう、あるいはきちんと選択する前に手が動いて誤ったボタンを押してしまうといったミスにつながっている可能性がある。

そこで本研究は、ボタン押し系列を学習する際に、視覚的手がかりにより形成されるボタン押し画面の階層構造が、ボタン押しの所要時間やエラーの生じやすさに影響を与えるかどうかを調べ、与えたとすればそれがボタン押し系列の記憶構造と関係があるかについて検討する。研究成果は、繰返し同様の操作を行う操作者にとってミスやストレスの少ないボタン押し画面の設計に資することが期待される。

運動の学習は、繰返しにより個々の運動を素早く正確に行うことができるようになる適応的運動学習 [1], [2] と、複数の運動を順序正しく速やかに行うことができるようになる連続的運動学習 [3], [4] に大きく分けられるが、正しい順序でボタンを押すという操作の学習は後者に属する。

連続的運動学習の研究は、SRT (Serial Reaction Time) 課題 [3], [5], [6] や連続ボタン押し課題 [4], [7], [8], [9] などを用いて行われている。このうち連続ボタン押し課題は、縦4個、横4個並んだ16個のボタンのパネルを用いて行う。この中の2個のボタンが点灯したら、それを決まった順序で押すという手続きを10回繰り返して、合計20回のボタン押し系列を正しく実行するという課題である。この課題は、片手の人差し指を用いてボタン押しを行うことも含めて情報機器の操作に類似しているため、先に述べたような情報機器の操作しやすさに關係する認知的要因の解明

に有効であると考えられるが、これまでにこの課題を用いて視覚の手がかりや階層構造の影響を調べた研究はほとんどない [9], [10]。そこで本研究では、連続ボタン押し課題を用いて、視覚の手がかりの影響を調べることにする。

連続ボタン押し課題を用いた連続的運動学習の研究からHikosakaらは、視覚運動系列の学習に関する次のような枠組みを提案している [4]。学習初期は、1個のボタンを見てそれを押す感覚運動プロセスの繰返しを行っているが、これを決まった順序で繰り返すうちに、連続する感覚運動プロセスの間に横の結合が形成される。横の結合は、空間座標系における空間的系列と運動座標系における運動系列の両方の系列を形成していく。彼らは、1) 空間的系列は比較的早い段階で獲得されるが、一時的な記憶であるのに対し、運動系列は獲得までに時間を要するが、その記憶は永続的であること、2) 空間的系列の再生は効果器に依存しないが、運動系列の再生は効果器に依存することを示唆する結果を得ている [4], [7], [8]。

Sakaiら [11], [12] は連続ボタン押し課題を用いた実験において、個々のボタン押しに要する時間を分析した。2個のボタンが点灯してから第1ボタンを押すまでの時間は、記憶に基づき押すべきボタンを選択する時間を含むことから、ChTと呼ぶ(本論文では選択ボタン押し時間と呼ぶ)。これに対して第1ボタンを押してから第2ボタンを押すまでの時間は、残ったボタンを押すので選択に要する時間を含まず、ボタンからボタンへの移動に必要な時間を含むことから、MvTと呼ぶ(本論文では移動ボタン押し時間と呼ぶ)。20個のボタン押し反応時間を10個のChTと10個のMvTに分けて分析したところ、10個のMvTの長短のパターンはボタン間の距離に依存しており、実験参加者間でよく一致していたが、10個のChTの長短のパターンは実験参加者間で異なり、1個の比較的長いChTと数個の短いChTからなるいくつかのグループに分かれた。Sakaiらは、長いChTは系列的手続き記憶のチャンクの切れ目にあたり、20個のボタン押し系列が、2個から8個程度のボタン押しからなるチャンクに分かれて記憶されることを示した。

これまでに行われた連続ボタン押し課題を用いた実験は、そのほとんどがボタンを2個ずつのセットにまとめて5セット(サルを対象とする実験の場合)または10セット(ヒトを対象とする実験の場合)提示することにより、10回または20回のボタン押しからなる系列を学習するものであり、異なるセット構成を用いた研究は少ない [9]。

本研究では、視覚的手がかりにより形成される階層構造が学習の成果および記憶構造に及ぼす影響について調べる。そのために、ボタンを2個ずつのセットで点灯する[2×10]課題と4個ずつのセットで点灯する[4×5]課題を用いて原学習を行う。その後、それぞれの課題で学習したボタン押し系列が、ボタンをまったく点灯しない条件で

<sup>1</sup> 筑波大学

University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

a) morita@slis.tsukuba.ac.jp

再生可能であるかをテストする（再学習）。これは、学習時に点灯するボタン数の違いが学習達成度に与える影響を、同一条件において比較検討するために行う。原学習におけるセット構成の違いにより、原学習および再学習におけるエラーの多少や20回のボタン押しに要する時間が異なるかを調べるとともに、ChTとMvTの分析を行い、セットのボタン数と記憶構造の関係についても考察する。

## 2. 実験

### 2.1 実験参加者

21歳から30歳までの21名の実験参加者（男性5名、女性16名、平均年齢22.3歳、全員が右利き）が実験に参加した。実験参加者のうち8名は実験の目的を知っており、さらにこのうち3名は過去に同様の実験に参加したことがあった。

### 2.2 実験環境

パーソナルコンピュータ（DELL社製 Dimension XPS 600）とタッチパネル内蔵液晶カラーディスプレイ（SHARP社製 LL-T15TRS, 15インチ）を用いて、簡易暗室内で行った。実験参加者は椅子に座った状態で、正面に設置されたタッチパネルディスプレイを押しやすいように、その角度を調節した。

ディスプレイ中央の14.5cm × 14.5cmの領域内に3.2cm × 3.2cmの正方形が縦に4個、横に4個の合計16個並んでいる。この16個の正方形の1つ1つをボタンと見なす。これらのボタンは幅0.3cmの白い枠で囲まれていた。背景およびボタンの初期状態の色は黒であるが、ボタンは赤い色に変わることがあり、これをボタンが点灯するという。試行開始時には、ボタン配列の1.7cm下方に白い枠で囲まれた2.5cm × 2.5cmの赤い正方形が表示される（開始ボタンと呼ぶ）。

### 2.3 手続き

1度に点灯するボタン数が異なる[2 × 10]課題、[4 × 5]課題を用いて学習を行った。[2 × 10]課題を例に具体的な手続きを説明する（図1）。

最初に原学習を行う。画面中央にボタン配列、その下に開始ボタンが提示される。実験参加者が開始ボタンを押すと、ただちに開始ボタンは消え、同時に16個のボタンのうち2個が点灯する。これを第1セットと呼ぶ。2個のボタンを押す順序は決まっているが、実験参加者はこの順序をあらかじめ知らされていないので、試行錯誤により正しい順序を学習しなければならない。正しい順序でボタンを押すことができれば次のセットに進むことができるが、間違ったボタンを押してしまうとその試行はそこで不正解試行として終了し、次の試行の開始時の画面が現れる。

セット間のインターバル（前セットの最後のボタンを正

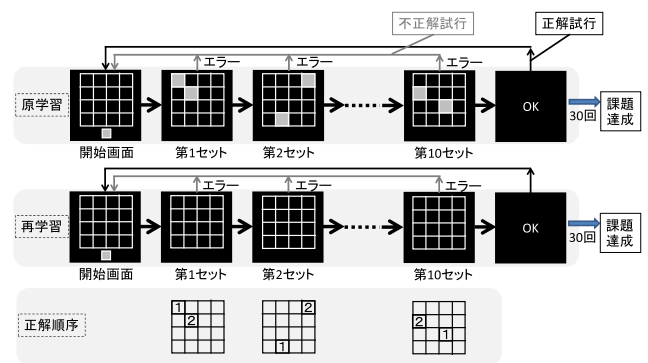


図1 連続ボタン押し課題（[2 × 10] 課題）の手続き  
 Fig. 1 Procedure of the sequential button-press task ([2 × 10] task).

しく押してから次のセットが表示されるまでの時間)、誤ったボタンを押してから次の試行の開始画面が提示されるまでのインターバル、開始ボタンを押してから第1セットが表示されるまでのインターバルはすべて0ミリ秒である。

第1セットから第10セットまですべて正しい順序でボタンを押すと、ただちに画面上のボタンがすべて消え、正解であることを示すOKという文字が1秒間表示された後、次の試行の開始時の画面が現れる。30回の正解試行をもって、原学習は終了する。

続いて再学習を行う。原学習において学習したボタン押し系列を再度学習するのだが、このとき、ボタンは点灯しない。実験参加者は、4行4列の黒いボタンの配列を前に、正しい順序でボタンを押すことを求められる。再学習も30回の正解試行をもって終了とするが、途中、不正解試行が30回連続した場合、再学習の達成は困難であると判断し、再学習を中断した。

[4 × 5]課題の手続きは[2 × 10]課題と同様であるが、4個のボタンが点灯するセット5個からなる点が異なる。

実験参加者には原学習を行った直後に再学習を行うことをあらかじめ教示する。また、ボタンは利き手の人差し指を使って、素早くかつ誤りなく押すように教示した。なお、セットごとの制限時間などは設けていないが、教示の中で、いったん開始ボタンを押したら、途中で考え込んだりせずに、最後まで一気に押すよう注意した。開始ボタンは、実験参加者が押すまで提示され続けるので、実験参加者はここで自由に休憩をとり、自分のペースで次の試行を開始することができる。

### 2.4 デザイン

それぞれの課題について、練習として1系列の原学習を行った後、2系列の原学習と再学習のセットを行った。[2 × 10]課題と[4 × 5]課題を行う順序は、実験参加者間でカウンターバランスした。

20回のボタン押しからなる系列は、毎回乱数を用いて新たに作成して用いた。



2.5 結果

21 名の実験参加者のうち 1 名は練習の条件が異なっていたため、実験結果から除いた。

2.5.1 学習曲線

1 名の実験参加者の [2 × 10] 課題と [4 × 5] 課題のそれぞれについて、1 系列の原学習および再学習の学習曲線を図 2 に示す。グラフ内の縦線は、初めて最後まで正しい順序でボタンを押すことができた試行，すなわち最初の正解試行を指す。この試行までを試行錯誤相，これ以降を繰り返し学習相と呼ぶことにする。

2.5.2 再学習達成率

再学習において、不正解試行が 30 回連続した場合、再学習の達成は困難と判断して中断した。それぞれの課題につき実験参加者が原学習および再学習を行った 2 系列のうち、達成できた系列数を図 3 に示す (2 系列とも再学習できた場合は 100%，1 系列のみの場合は 50%，1 系列も再学習できなければ 0% として、実験参加者間平均値を計算した)。

再学習達成率について、[2 × 10] 課題と [4 × 5] 課題の間で繰り返しのある t 検定を行ったところ、有意差がみられた ( $t(19) = 3.32, p < .005$ )。なお、再学習が達成されなかった系列のうち 1 系列のみ、途中で 1 試行の正解試行を含むが、それ以外の系列はすべて、1 試行も正解することなく中断された。

以降の不正解試行数や反応時間の分析は、条件間で比較するために、両方の課題において少なくとも 1 系列の再学習を達成できた実験参加者 15 名のデータを対象とする。1 系列のみ再学習を達成できた場合、原学習、再学習ともその系列のデータを用い、2 系列達成できた場合はそれらのデータの平均値を用いた。

2.5.3 不正解試行数の分析

試行錯誤相と繰り返し学習相における不正解試行数を図 4 に示す。

試行錯誤相における不正解試行数について、課題と学習の 2 要因の繰り返しのある分散分析を行ったところ、課題の主効果、学習の主効果、およびそれらの交互作用が有意であった ( $F(1, 14) = 49.1, p < .001, F(1, 14) = 109, p < .001, F(1, 14) = 41.8, p < .001$ )。交互作用が有意であったので下位検定を行ったところ、原学習における課題の単純主効果は有意であったが、再学習における課題の単純主効果は有意ではなかった ( $F(1, 14) = 70.9, p < .001, F(1, 14) = 2.78, ns$ )。また、[2 × 10] 課題、[4 × 5] 課題のどちらにおいても学習の単純主効果が有意であった ( $F(1, 14) = 39.3, p < .001, F(1, 14) = 92.6, p < .001$ )。

次に、繰り返し学習相における不正解試行数を従属変数として同様の分散分析を行ったところ、課題の主効果、学習の主効果、およびそれらの交互作用はすべて有意とならなかった ( $F(1, 14) = 1.91, ns, F(1, 14) = 2.64, ns, F(1, 14) = .905, ns$ )。

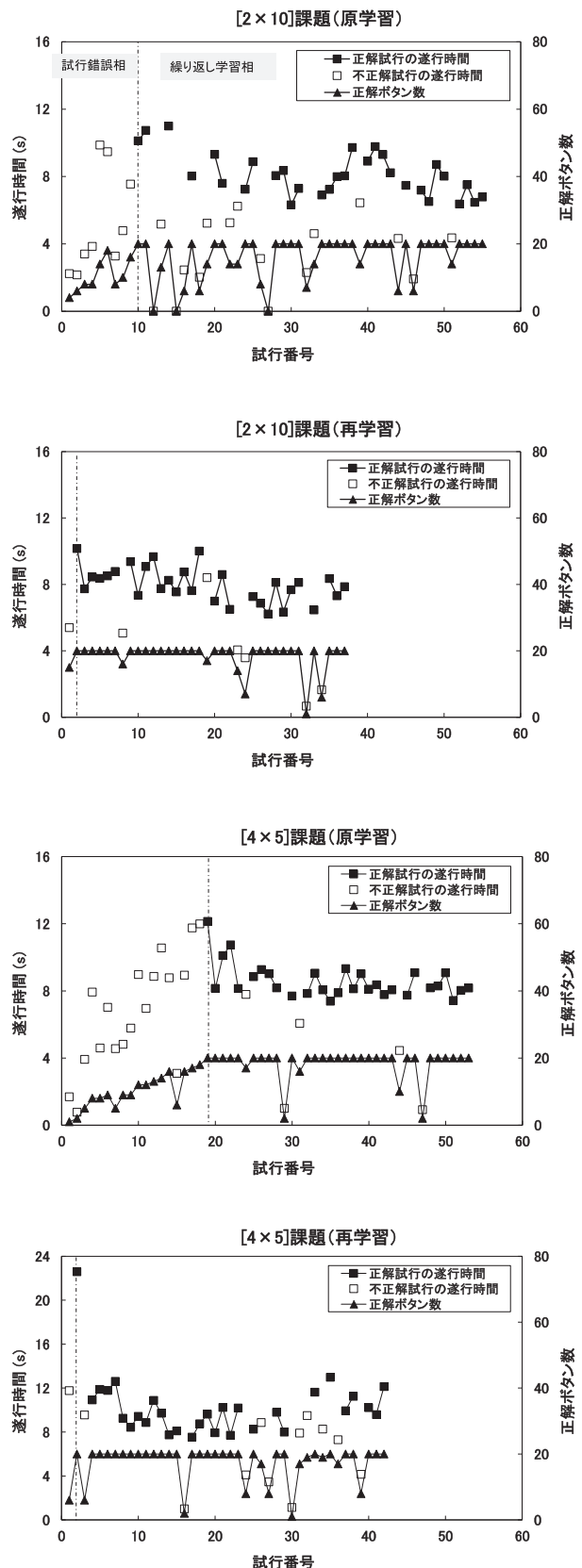


図 2 1 名の実験参加者の [2 × 10] 課題および [4 × 5] 課題の原学習と再学習における正解ボタン数および遂行時間

Fig. 2 The number of buttons pressed in the correct order and the performance time as a function of the number of trials in original learning and relearning for [2 × 10] task and [4 × 5] task by one participant.

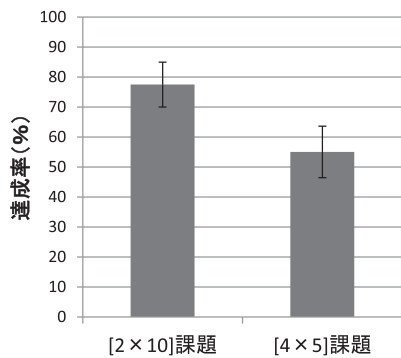


図 3 再学習達成率. このグラフおよびこれ以降のグラフにおいてエラーバーは標準誤差を示す

Fig. 3 The rate of accomplishment of relearning. Error bars indicate standard error in this and following graphs.

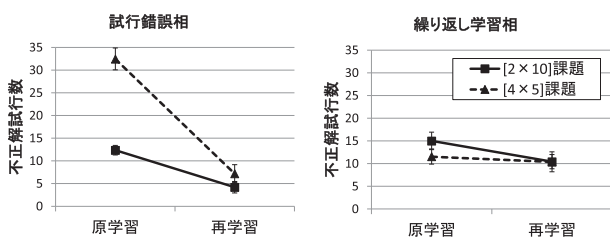


図 4 試験錯誤相と繰り返し学習相における不正解試行数

Fig. 4 The number of incomplete trials in the trial-and-error phase and in the repeating phase.

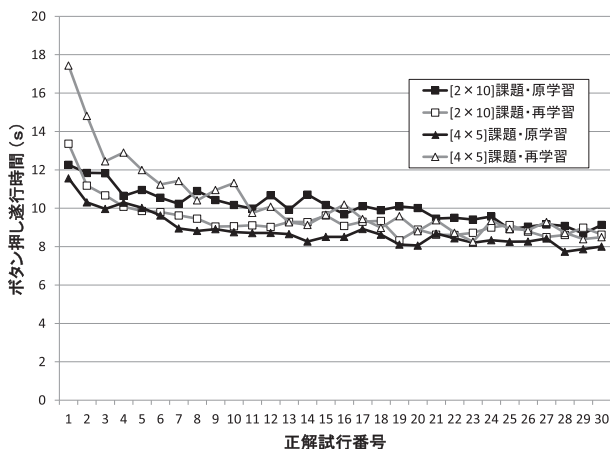


図 5 正解試行におけるボタン押し遂行時間

Fig. 5 The performance time of complete trials.

### 2.5.4 ボタン押し遂行時間の分析

[2 × 10] 課題と [4 × 5] 課題の原学習および再学習における正解試行 30 試行のボタン押し遂行時間の実験参加者間平均値を図 5 に示す. 図 6 は, 原学習の前半 15 試行, 後半 15 試行, 再学習の前半 15 試行, 後半 15 試行の遂行時間の平均値を時間軸に沿ってプロットしたものである.

図 6 の正解試行 15 試行のボタン押し遂行時間の平均値について, 課題と学習段階の 2 要因の繰返しのある分散分析を行ったところ, 課題の主効果は有意ではなかったが, 学習段階の主効果および課題と学習段階の交互作用

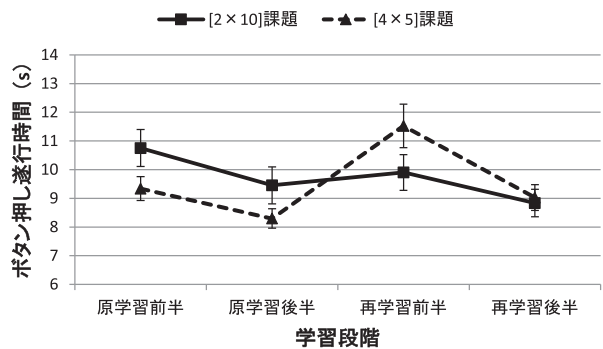


図 6 学習段階とボタン押し遂行時間の関係

Fig. 6 The performance time as a function of the learning stage.

が有意であった ( $F(1, 14) = .346, ns.$ ,  $F(3, 42) = 12.1, p < .001$ ,  $F(3, 42) = 20.1, p < .001$ ). 交互作用が有意であったので, 下位検定を行ったところ, [2 × 10] 課題, [4 × 5] 課題の両課題において学習段階の単純主効果が有意であった ( $F(3, 12) = 29.3, p < .001$ ,  $F(3, 12) = 16.6, p < .001$ ). 多重比較の結果, [2 × 10] 課題において, 原学習前半と原学習および再学習の後半の間 (それぞれ  $p < .001, p < .01$ ), そして再学習の前半と後半の間に有意差がみられた ( $p < .005$ ). [4 × 5] 課題においては, 原学習前半と後半の間 ( $p < .001$ ), 原学習の前半および後半と再学習前半の間 (それぞれ  $p < .05, p < .005$ ), さらに再学習の前半と後半の間 ( $p < .005$ ) に有意差がみられた. また, 下位検定の結果, 原学習の前半と後半, そして再学習前半において課題の単純主効果が有意であったが, 再学習後半においては有意ではなかった ( $F(1, 14) = 11.7, p < .005$ ,  $F(1, 14) = 6.46, p < .05$ ,  $F(1, 14) = 12.9, p < .005$ ,  $F(1, 14) = .300, ns.$ ).

### 2.5.5 ボタン押しタイミングの分析

図 7 に, 原学習および再学習の最終 3 試行の第 1 ボタンから第 20 ボタンまでのボタン押し反応時間の平均値を示す.

Sakai ら [11] にならい, [2 × 10] 課題の原学習について, 第 1, 第 3, 第 5, ..., 第 19 番目のボタン押し反応時間を ChT (選択ボタン押し時間) とし, 第 2, 第 4, 第 6, ..., 第 20 番目の反応時間を MvT (移動ボタン押し時間) とする. 再学習においては, 点灯しないボタン配列を前に, 第 1 から第 20 ボタンまでを押すため, このような分類は原理的には成立しないが, 図 7 を見ると, 原学習とほぼ同様のボタン押し反応時間の長短がみられることから, 再学習においても奇数番目の反応時間を ChT, 偶数番目の反応時間を MvT として分類し, 平均値を計算する. これらの平均値について, 学習と反応時間タイプの 2 要因の繰返しのある分散分析を行ったところ, 学習の主効果は有意ではないが, 反応時間タイプの主効果は有意となり, これらの交互作用は有意でなかった ( $F(1, 14) = .605, ns.$ ,  $F(1, 14) = 41.1, p < .001$ ,  $F(1, 14) = 3.40, ns.$ ). 交互作用が有意ではな

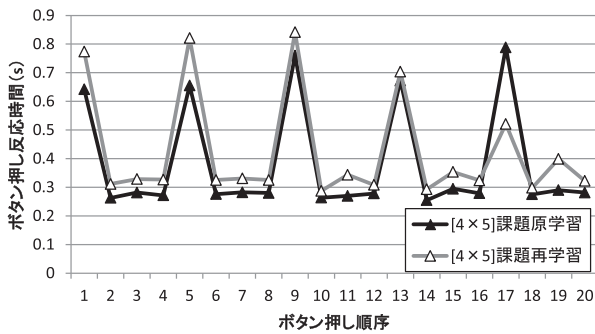
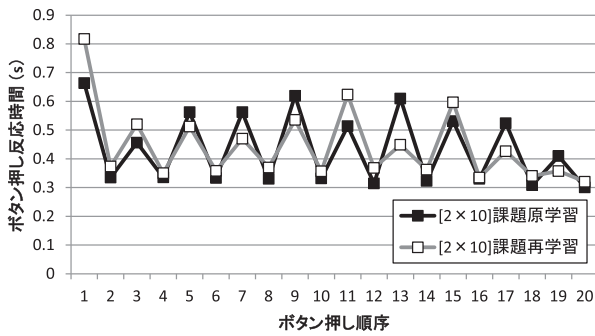


図 7 [2×10] 課題 (上図) と [4×5] 課題 (下図) におけるボタン押し順序とボタン押し反応時間の関係

Fig. 7 Reaction time for each button for [2×10] task (top panel) and for [4×5] task (bottom panel).

かったが有意傾向がみられたので ( $p < .09$ ) 下位検定を行ったところ、原学習においても再学習においても反応時間タイプの単純主効果が有意であった ( $F(1, 14) = 41.0, p < .001, F(1, 14) = 27.5, p < .001$ )。一方、どちらのタイプにおいても、学習の単純主効果は有意でなかった ( $F(1, 14) = 1.99, ns, F(1, 14) = 1.87, ns$ )。

次に [4×5] 課題の原学習について考えると、各セットの第1ボタン押し反応時間から第3ボタン押し反応時間までがボタン選択を含み、第2ボタン押し反応時間から第4ボタン押し反応時間までが移動時間を含む。しかし、図7を見ると、第1ボタン押し反応時間だけが突出して長く、そのほかは同程度の長さであることから、ここでは便宜上、第1ボタン押し反応時間を ChT とし、第2、第3、第4番目の反応時間を MvT1、MvT2、MvT3 と呼ぶことにし、その妥当性については後ほど考察することにする。再学習においても同様の反応時間の長短がみられることから、同様に分類する。これらの反応時間の平均値について、学習と反応時間タイプの2要因の繰返しのある分散分析を行ったところ、学習の主効果は有意ではなく、反応時間タイプの主効果は有意であるが、これらの交互作用は有意でなかった ( $F(1, 14) = 2.68, ns, F(3, 42) = 73.0, p < .001, F(3, 42) = .499, ns$ )。反応時間タイプの主効果が有意であったので多重比較を行ったところ、ChT とすべての MvT の間に有意差がみられ (すべて  $p < .001$ )、MvT1 と MvT2 の間にも有意差がみられた ( $p < .05$ )。

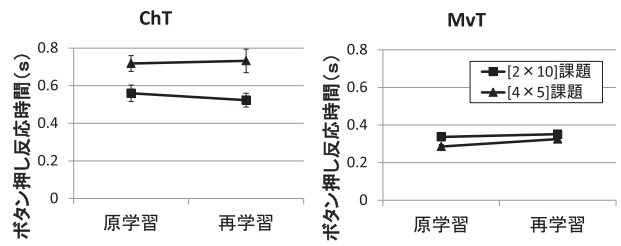


図 8 ChT および MvT の学習間比較  
Fig. 8 ChT and MvT for original learning and relearning.

[4×5] 課題の MvT1 と MvT2 の間に有意差がみられはしたが、図7から分かるように ChT に比べると、MvT1 から MvT3 は互いにほぼ同程度の反応時間といえる。そこで、MvT1 から MvT3 を平均して MvT とし、反応時間タイプごとに [2×10] 課題と [4×5] 課題の間で比較をしたのが図8である。

ChT について、課題と学習の2要因の繰返しのある分散分析を行ったところ、課題の主効果は有意であるが、学習の主効果、およびそれらの交互作用は有意でなかった ( $F(1, 14) = 15.4, p < .005, F(1, 14) = .105, ns, F(1, 14) = .833, ns$ )。MvT について、課題と学習の2要因の繰返しのある分散分析を行ったところ、課題の主効果と学習の主効果が有意で、それらの交互作用は有意ではなかった ( $F(1, 14) = 8.73, p < .05, F(1, 14) = 10.9, p < .01, F(1, 14) = 2.21, ns$ )。交互作用が有意ではなかったが、有意傾向がみられたので ( $p < .16$ )、下位検定を行ったところ、原学習において課題の単純主効果が有意であり、再学習においては課題の単純主効果は有意でなかった ( $F(1, 14) = 12.9, p < .005, F(1, 14) = 2.45, ns$ )。また、[2×10] 課題において学習の単純主効果は有意ではなかったが、[4×5] 課題において学習の単純主効果が有意であった ( $F(1, 14) = 1.87, ns, F(1, 14) = 9.78, p < .01$ )。

## 2.6 考察

### 2.6.1 学習曲線・再学習達成率・不正解試行数

図2に示す1名の学習曲線からは、原学習に比べ再学習の試行錯誤相が短いこと、原学習の試行錯誤相に関して、[2×10] 課題よりも [4×5] 課題の方が長いこと、また繰返し学習相においてもときどき不正解試行が現れる様子などが見てとれる。

原学習の試行錯誤相における不正解試行数に関して、もしも実験参加者が、自分が押したボタンとそれが正解か不正解かを完全に記憶できるならば、最初の正解試行までに要する試行数 (試行錯誤相における不正解試行数) の期待値は、[2×10] 課題では5回、[4×5] 課題では15回となる\*1。しかし、実際には実験参加者の記憶が完全ではな

\*1 [2×10] 課題の試行錯誤相における不正解試行数の期待値は、 $(1/2 \times 0 + 1/2 \times 1) \times 10$ 、[4×5] 課題の期待値は  $[1/4 \times 0 + 3/4 \times \{1/3 \times 1 + 2/3 \times (1/2 \times 2 + 1/2 \times 3)\}] + 1/3 \times 0 + 2/3 \times (1/2 \times 1 + 1/2 \times 2) + 1/2 \times 0 + 1/2 \times 1 \times 5 = 15$  となる。



いことなどから、一定割合の試行でミスを犯し、その分、不正解試行数は期待値より多くなる。このミスの割合が課題の認知的負荷を反映すると考えられることから、期待値に対する不正解試行数の割合を計算して比較したところ、 $[2 \times 10]$  課題では 2.47,  $[4 \times 5]$  課題では 2.16 であり、対応のある  $t$  検定を行った結果、有意差はみられなかった ( $t(14) = 1.35, ns.$ )。したがって、両課題の難易度には、期待値から予想される以上の差はないと考えられる。

一方、再学習の試行錯誤相は、ボタンがいったん点灯されないという条件のもとで、直前に学習したボタン押し系列を正しく再生できるかを測るテストに相当する。結果は、原学習において系列を  $[2 \times 10]$  のボタン構成で学習した場合には、再学習達成率が 80% 近いのに対し、 $[4 \times 5]$  のボタン構成で学習した場合には、再学習達成率が 55% 程度と低かった。この結果から、 $[4 \times 5]$  ボタン構成で学習した場合には視覚的手がかりの除去により再生が困難になることが分かる。ここから、 $[4 \times 5]$  ボタン構成で学習した方が、系列の記憶がより視覚情報に依存することが示唆される。

ただし、再学習達成率がどちらの課題でも 50% を超えたこと、および原学習に比べて再学習の試行錯誤相が短かったことは、視覚的手がかりに基づき試行錯誤により学習したボタン押し系列が、視覚的手がかりなしという条件での学習に転移したことを示す。

繰返し学習相においては、課題や学習により不正解試行数に差がないことから、1 度正解することができれば、その後は、視覚的手がかりの与え方やその有無によらず、同程度の確実さでボタン押しを遂行できることが分かる。このことは、再学習において、不達成となった系列では 1 系列を除き正解することなしに 30 試行連続不正解となっていることとも一貫している。

## 2.6.2 ボタン押し遂行時間

正解試行のボタン押し遂行時間の学習曲線からは、課題や学習によらずほぼ同様に学習が進行する様子がみられる。前半 15 試行の間は急激に遂行時間が短縮されるが、後半 15 試行はほぼ一定の遂行時間で推移する。そこで、原学習の前半、後半、再学習の前半、後半と、時間軸に沿って学習の進行段階を 4 つに分けて遂行時間の変化を分析したところ、どちらの課題においても、原学習、再学習の両方において、前半から後半に進むと遂行時間が有意に減少していた。

$[2 \times 10]$  課題の 4 段階における遂行時間に関して特徴的な点は、原学習後半から再学習前半にかけて、遂行時間に変化がない点である。視覚的手がかりの除去により遂行の速やかさが損なわれることなく、再学習後半に向けて順調に学習が進行することが分かる。これに対し、 $[4 \times 5]$  課題においては、原学習後半から再学習前半への移行の際に、遂行時間が大きく増加していることから、視覚的手がかり

の除去が大きな影響を及ぼすことが分かる。ただし、この学習段階を過ぎて、再学習後半になると、原学習の前半や後半と同程度の遂行時間となる。

それぞれの学習段階において、課題間で遂行時間を比較したところ、原学習の前半、後半を通して  $[4 \times 5]$  課題の方が遂行時間が短く、再学習の前半では  $[4 \times 5]$  課題の遂行時間が長くなるが、最終的に再学習後半においては課題による差がないという結果になった。

原学習の遂行時間に課題間の差がみられた原因について考える。図 4 試行錯誤相のグラフにおける原学習の不正解試行数から分かるように、原学習におけるボタン押しの試行数は、不正解試行とはいえ  $[4 \times 5]$  課題の方が  $[2 \times 10]$  課題よりも多い。 $[4 \times 5]$  課題の方がボタン押しを多く行っていることが遂行時間が短い原因だろうか。この点を検証するために Tanaka ら [9] にならい、 $[2 \times 10]$  課題最終試行と、 $[4 \times 5]$  課題においてほぼ同回数のボタン押しを経験した時点の試行を選出し、それらの試行間でボタン押し遂行時間を比較した。その結果、 $[2 \times 10]$  課題では 8.97 秒に対し  $[4 \times 5]$  課題では 8.36 秒となり、その差は有意でなかった ( $t(14) = 1.39, p < .19$ )。つまり、同じ回数のボタン押しを経験した時点で比較すると、 $[4 \times 5]$  課題の方が遂行時間が短い傾向はみられるものの、有意ではない。しかし、ボタン押し練習回数をそろえるためのこの操作は、セットごとの練習回数の違いを考慮していないことから、 $[4 \times 5]$  課題の第 5 セットの練習回数が非常に少なく、著しく不利な比較となってしまう。このことが原因で、課題間の遂行時間の差が有意にならなかった可能性も考えられる\*2。そこで次項では、課題間の遂行時間の差を別の要因で説明できるかを検討する。

## 2.6.3 ボタン押し反応時間

Sakai ら [11] は、 $[2 \times 10]$  課題のボタン押し反応時間を、原理的に押すべきボタンを選択する時間を含む ChT とボタン選択時間を含まない MvT に分けて分析したところ、比較的長い ChT と短い ChT がみられた。ここから彼らは、20 個のボタン押しからなる系列が短いチャンクに分かれて記憶されており、長い ChT はチャンクの区切りに対応することを示した。ChT が長いのは、チャンク全体を想起する時間を含むためであり、逆に短い ChT は押すべきボタンがすでに選択されていることを意味する。

本研究の  $[4 \times 5]$  課題の場合、セットの第 1, 第 2, 第 3 ボタンは押すべきボタンを選択する余地があり、第 4 ボタンのみ選択の余地がない。しかし、原学習のボタン押し時間を分析したところ、第 1 ボタン押し時間だけが突出して長く、第 2, 第 3, 第 4 ボタン押し時間は短く互いに同

\*2 Tanaka らは、 $[1 \times 18]$  課題と  $[2 \times 9]$  課題、あるいは  $[1 \times 18]$  課題と  $[3 \times 6]$  課題の間で、学習における試行数をそろえる操作を実験計画として行っているため、この点は問題とならないが、本研究では、実験計画としてではなく、結果の分析において試行数をそろえる操作を行っているため、問題となりうる。

程度であった。これは、第1ボタンを選択した時点でセット内のすべてのボタン押しがほぼ決まっており、第1ボタン以降は一気に押していたことを示唆する。したがって、第1ボタン押しの反応時間のみをChTとし、第2、第3、第4ボタン押し反応時間をMvTとして扱うことは、ここでの議論の範囲内では十分妥当であると考え\*3。このようなボタン押し反応時間パターンから、[4×5]課題では、セットの4個のボタン押しが1個のチャンクを構成していたことが示唆される。

[2×10]課題の遂行時間はChTとMvTそれぞれ10個ずつからなるのに対し、[4×5]課題の遂行時間はChT 5個とMvT 15個の合計である。ChTには短いものと長いものがあるが、図8から分かるように、ChTの平均値はMvTの平均値より200ミリ秒以上長い。したがって、ChTをより多く含むことが、原学習において[2×10]課題の遂行時間が長かったことの原因の1つとしてあげられる。

再学習後半においては、原学習に比べて[2×10]課題のChTが有意ではないが短いこと、[4×5]課題のMvTがわずかではあるが長いことが、両課題間の遂行時間の長さの差が消失する原因となった可能性が考えられる。これは、[2×10]課題ではセット提示による視覚情報処理の負担が除かれたこと、[4×5]課題では画面の視覚の手がかりへの依存度が高いせいで、手がかりなしには十分速やかに手を動かすことができなくなったことなどが原因である可能性がある。

[2×10]課題原学習の最終3試行の平均ボタン押し反応時間を見ると、特に後半のセットにおいて顕著であるが、ChTとMvTの差が100ミリ秒から200ミリ秒と小さい。記憶のチャンク構造が実験参加者により異なるため、それぞれのセットのChTには、チャンクの切れ目にあたる長いChTとチャンク途中の短いChTが混在している。短いChTに対応するチャンク途中のセット第1ボタン押しは、チャンク最初のボタン押しの際にすでに選択されているため、MvTと呼ぶ方が適切かもしれない。実際に、Miyashitaらは、連続ボタン押しを十分学習した後は、次のセットのボタン点灯に先立ち、その第1ボタンへの予期的眼球運動がみられることを報告している[13]。したがって、[2×10]課題では原学習の最後になると、チャンク途中のボタン押し運動の準備は、ボタンの点灯を見ずに開始されるようになっていくことが推測される。このことが[2×10]課題において速やかに再学習に移行できる理由の1つと考えられる。

\*3 ここで得られた結果だけからMvT1およびMvT2にはいっさい選択時間が含まれていなかったと断定することはできない。また、MvT2がMvT1より有意に長いことは、MvT2に選択時間が多少なりとも含まれていた可能性を示唆する。この点は、ボタン構成とチャンク構造の関係に関する興味深い問題に関係するが、本論文の目的を超えているため、ここでは、ChTとMvTに大きく分けて議論するにとどめる。

これに対して、[4×5]課題の場合には、原学習の最後でもChTとMvTの差が300ミリ秒から500ミリ秒とはっきりしている。これは、すでに述べたように、セットの4個のボタンが1個のチャンクを形成しているためと考えられる。画面の視覚の手がかりに従って4個のボタンを押すと次の画面の視覚の手がかりが与えられるということを繰り返すうちに、視覚の手がかりとチャンクの連合が強められ、画面の視覚の手がかりへの依存度が高くなったと推測される。このことが、再学習への移行を困難にしている理由と考えられる。

なお、ボタンを点灯しない再学習におけるボタン押し反応時間のパターンは純粋に記憶のチャンク構造を反映すると思われる。これが原学習とはほぼ同様のChTとMvTのパターンとなったことは、ChTが長いのは単にセットの視覚情報処理を行う時間を含むためだけではないことを示す。

### 3. 総合考察

#### 3.1 総合考察

[4×5]課題の方が学習に要した試行数が多いにもかかわらず、再学習達成率が低かった。このことは、視覚の手がかりに基づく原学習から、視覚の手がかりを利用しない再学習への手続き系列の転移が、原学習の試行回数よりも、原学習における視覚の手がかりのタイミングやグルーピングの影響を受けるという可能性を示す。たとえば、曲を暗譜で弾けるようになるためには、楽譜を見ながらただ繰り返し練習することが最も確実な方法ではなく、練習の仕方、たとえばどのようなグルーピングおよびタイミングで楽譜を見るかが関係することが示唆される。タッチパネルの連続的な操作についても同様である。

Tanakaら[9]は、学習の質が連続ボタン押し系列の転移に影響することを報告している。彼らは、[2×9]課題(または[3×6]課題)で学習した系列が、[3×6]課題(または[2×9]課題)へ転移するかどうかを調べる実験(実験1)と、[1×18]課題で学習した系列が[2×9]課題(または[3×6]課題)へ転移するかどうかを調べる実験(実験2)を行った。どちらの実験でも、学習ブロックと転移ブロックの間でタイミングおよび視覚の手がかりパターンが変化した。学習に意識的な試行錯誤を必要とした実験1では、転移ブロックにおける反応速度に転移効果がみられたのに対し、点灯したボタンをただ押すだけで意識的な学習を行わなかった実験2では、実験1の[2×9]課題や[3×6]課題学習ブロックと等しい試行数の学習を行ったにもかかわらず、転移効果がみられなかった。これらの結果から、彼らは、学習の質(意識的学習か意識下の学習か)がボタン押し系列の転移に影響すると結論している。

本研究は、原学習が意識的に行われたため、ボタンを点灯する条件から点灯しない条件への転移がみられた。ただし、原学習における視覚の手がかりパターンの与え方によ



り、その転移効果に差がみられた。この結果は、視覚的手がかりパターンの大きさと、ボタン押し系列のチャンクの大きさの大小関係が関連していると考えられる。序論に述べたように、視覚運動学習のチャンクは2から8個程度のボタン押しからなることが報告されている [11]。したがって、[2×10] 課題の原学習においては、視覚的手がかりの単位よりも大きいチャンクが多数形成される。これらのチャンクを実行する際、チャンク先頭のセットの2個のボタン情報を基に、多ければ8個のボタン押しの運動プログラムを想起している。そのため、少ない視覚情報からチャンクを想起することを学習しやすいと考えられる。一方、[4×5] 課題の原学習では、考察で議論したように1セットが1個のチャンクとして記憶されることが多いと考えられ、視覚的手がかりとチャンクとの結びつきを学習しやすいと考えられる。このことから、[2×10] 課題では原学習において速やかに空間系列から運動系列へと移行していくのに対し、[4×5] 課題では空間系列にとどまりがちになるのではないかと考えられる。

原学習において、視覚的手がかりのもとでボタン押しを遂行する場合には、[4×5] 課題の方が遂行時間が短かった。この原因として、[4×5] 課題の方が試行錯誤相が長く、その分、特に番号の若いセットで回数多くボタン押しを行っていたことがあげられる。実際に、ボタン押しの回数をそろえて比較した場合には遂行時間の課題間の差は有意とはならない。しかし、この比較が番号の大きいセットに関して [4×5] 課題に非常に不利な比較になっていたにもかかわらず、[4×5] 課題の方が遂行時間が短い傾向がみられたことは、他の要因も検討する余地があることを示唆する。ここでは、1回の遂行における ChT と MvT の出現回数が課題間で異なることに注目し、セット最初のボタン押し時間は長く (ChT)、それ以外のボタン押し時間は短い (MvT) ことから、[4×5] 課題の方が ChT の出現回数が少ないため、遂行時間が短くなった可能性をあげる。

なお、視覚的手がかりが与えられない再学習においても原学習とほぼ一致する ChT、MvT からなるタイミングがみられたことから、このタイミングがもともとは視覚的手がかりにより形成されたものであるが、系列とともに記憶に取り込まれて再生のリズムをコントロールすることが分かる。このことから、最初にどのような階層構造でボタンを提示するかがその後のボタン押し操作に決定的な影響を与えることがいえる。

### 3.2 応用と今後の課題

原学習では、ChT の割合が少ない [4×5] 課題の方が原理的に遂行時間が短くなることから、つねに画面を見ながら操作する必要がある場合には、1つの画面で4個以上のボタン押しを実行するデザインが遂行時間の点から効率が良いといえる。慣れてくると、画面を確認するまでもなく

決まった一連のボタン押しを行うような操作の場合には、最終的には [2×10] 課題と [4×5] 課題の遂行時間に差がみられなかったとはいえ、視覚的手がかりを利用しなくても押せる状態への移行がスムーズであることから、1画面で押すボタン数が少ない操作の方が有利であるといえる。

学習時の視覚的手がかりの与え方が、その後のボタン押しのリズムを支配することから、手がかり画面の与え方が、効率的で快適なボタン押し操作の設計において重要であるといえる。今後は、手がかり画面の与え方とボタン押し系列の記憶の堅固さ、想起しやすさ、遂行時間などの関係について、様々な条件で調べることが必要であろう。たとえば、今回の実験では、[2×10] 課題と [4×5] 課題のみ行ったが、1画面のボタン数がこれより多い場合についても調べる必要がある。今回の結果から、視覚運動系列の記憶のチャンクが [2×10] 課題では2個より大きく、[4×5] 課題では4個程度となることが示唆されたが、点灯するボタン数を増加させてどこにチャンクの大きさの限界があるのかを調べることや、再学習への移行の際にエラーの生じる理由を分析することなどが、ミスを防ぎ、素早く操作できるボタン押し画面のデザインに資すると期待される。

### 3.3 結論

情報機器の操作には、液晶画面上で単純なボタン押しを繰り返すものが多いことから、連続ボタン押し課題を用いて運動学習の視点からこのような手続き学習の認知特性について調べた。2個のボタン押しを10画面行うボタン押しの階層構造と、4個のボタン押しを5画面行うボタン押しの階層構造の間で、ボタン押しの速やかさや記憶に基づくボタン押しの正確さを比較した結果、画面の情報を見ながらボタンを押し進めていく場合には、1画面で押すボタン数が4個の方が遂行時間が短い傾向があるが、次第に画面を見なくても押せるようになるのは1画面で押すボタン数が2個の場合であった。このようなボタン押し行動の認知特性は、視覚運動系列の記憶のチャンク構造に基づいて説明できる可能性が示唆された。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 22530787 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Imamizu, H. and Shimojo, S.: The Locus of Visual-Motor Learning at the Task or Manipulator Level: Implications From Intermanual Transfer, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.21, No.4, pp.719–733 (1995).
- [2] Proteau, L., Marteniuk, R.G. and Lévesque, L.: A Sensorimotor Basis for Motor Learning: Evidence Indicating Specificity of Practice, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol.44A, No.3, pp.557–575 (1992).
- [3] Nissen, M.J. and Bullemer, P.: Attentional Requirements of Learning: Evidence from Performance

- Measures, *Cognitive Psychology*, Vol.19, No.1, pp.1–32 (1987).
- [4] Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand, M.K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S. and Doya, K.: Parallel Neural Networks for Learning Sequential Procedures, *Trends in Neuroscience*, Vol.22, No.10, pp.464–471 (1999).
- [5] Koch, I. and Hoffmann, J.: Patterns, Chunks, and Hierarchies in Serial Reaction-Time Tasks, *Psychological Research*, Vol.63, pp.22–35 (2000).
- [6] Jimenez, L.: Taking Patterns for Chunks: Is There Any Evidence of Chunk Learning in Continuous Serial Reaction-Time Tasks?, *Psychological Research*, Vol.72, pp.387–396 (2008).
- [7] Rand, M.K., Hikosaka, O., Miyachi, S., Lu, X. and Miyashita, K.: Characteristics of a Long-Term Procedural Skill in the Monkey, *Experimental Brain Research*, Vol.118, pp.293–297 (1998).
- [8] Rand, M.K., Hikosaka, O., Miyachi, S., Lu, X., Nakamura, K., Kitaguchi, K. and Shimo, Y.: Characteristics of Sequential Movements during Early Learning Period in Monkeys, *Experimental Brain Research*, Vol.131, pp.293–304 (2000).
- [9] Tanaka, K. and Watanabe, K.: Effects of learning with explicit elaboration on implicit transfer of visuomotor sequence learning, *Experimental Brain Research*, Vol.228, pp.411–425 (2013).
- [10] 池田華子, 渡邊克巳: 視覚運動系列学習課題に対する随伴的視覚刺激変化の影響, 電子情報通信学会技術報告 HCS2007-18, pp.91–94 (2007).
- [11] Sakai, K., Kitaguchi, K. and Hikosaka, O.: Chunking during Human Visuomotor Sequence Learning, *Experimental Brain Research*, Vol.152, pp.229–242 (2003).
- [12] Sakai, K., Hikosaka, O. and Nakamura, K.: Emergence of Rhythm during Motor Learning, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.8, No.12, pp.547–553 (2004).
- [13] Miyashita, K., Rand, M.K., Miyachi, S. and Hikosaka, O.: Anticipatory Saccades in Sequential Procedural Learning in Monkeys, *Journal of Neurophysiology*, Vol.76, No.2, pp.1361–1366 (1996).



森田 ひろみ (正会員)

1994年東京大学大学院人文科学研究科心理学専攻博士課程単位取得退学。2002年筑波大学図書館情報学系講師。現在、筑波大学図書館情報メディア系講師。日本心理学会, 日本認知科学会, 日本視覚学会各会員。博士(心理学)。

理学)。