

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22530787

研究課題名（和文） 動作系列の記憶構造と学習および実行時の視覚的手がかりに関する心理学的研究

研究課題名（英文） Psychological study on the effect of visual cues on the sequential motor learning and the structure of memory

研究代表者

森田 ひろみ（MORITA HIROMI）

筑波大学・図書館情報メディア系・講師

研究者番号：00359580

研究成果の概要（和文）：

我々は高度な情報機器を日常的に利用するが、その操作は、タッチパネルディスプレイに表示された情報を見て適切なボタン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。この単純な動作の繰り返しを誤りなく素早く実行できるかどうかに関わる認知心理学的要因を探求した。結果から、1画面で押すべきボタン数や視覚的手がかりの与え方が、手続き記憶の構造への影響を介して、一連の操作の正確さや速やかさに影響を与えることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

We use IT devices every day, which require to repeat the cycle of seeing information on the display, selecting one of the buttons presented on the display, and touching it. The cognitive psychological factors which affect the accuracy and speed of performing this simple procedure were examined. Results suggest that number of to-be-pushed buttons in a step and the presence of visual cues affect the accuracy and speed of the sequential button-press procedure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：記憶、連続運動学習

## 1. 研究開始当初の背景

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切なボタンを選択し、押すことの繰り返しである。例えば、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、手続きに関連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ない。そのことが、比較的深い階層構造をもつボタン押し操作の場合に、しばしば、途中で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。

これらの問題は認知心理学の分野における連続的運動学習に深く関係している。連続的運動学習は、複数の運動を順序正しく滑らかに行う学習であるが、これまで視覚的手がかりの与え方と系列の階層構造に注目した研究はあまりなされていない。

連続的運動学習の研究は、主に SRT (Serial Reaction Time) 課題 (Nissen & Bullemer, 1987) または連続ボタン押し課題 (Hikosaka et al., 1999) を用いて行われている。SRT 課題は、画面上横一列に並んだ 8 か所のうちのどこかに光点が提示されたら、横一列に並んだ 8 個のキーのうちの対応するキーを左右の手の人差し指から小指までのうち、対応する指で素早く押す課題である。決まった順序で光点が提示される系列が繰り返されると、実験参加者はこの系列を徐々に学習し、ボタン押し反応時間が短縮することが知られている。

一方、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。このうちの 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工程を 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 (図 1 参照)。指示された手の人差し指を用いてボタン押しを行うことも含め、連続ボタン押し課題は先ほどの情報機器の操作に非常に類似している。

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。学習初期には、1 個のボタンを見てそれを押す感覚運動プロセスを繰り返すが、これを決まった順序で繰り返すうちに感覚運動プロセスの間に横の結合が形成される。これは、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からなる。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 (Hikosaka et al., 1999)。

Sakai らは個々のボタン押しに要する時間を分析した (Sakai et al., 2003)。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 (選択時間: ChT) は、記憶に基づき押すべきボタンを選択する時間を反映する。第 1 ボタンを押してから第 2 ボタンを押すまでの時間 (運動時間: MvT) は、押すべきボタンが決まっているので、純粹に運動に必要な時間だけを反映する。そこで、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る傾向が見られた。Sakai らは、ChT の長さは系列の記憶のチャンク構造を反映しており、長い ChT はチャンクの先頭のボタン押しであることを示し、短い ChT はチャンク内のボタン押しであることを示すと考えた。この考えに基づき、20 個のボタン押し系列が、最少 2 個、最大 12 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。

## 2. 研究の目的

本研究は、ボタン押し系列を学習する際に与える視覚的手がかりの階層構造が、ボタン押しの遂行時間やエラーの生じやすさに影響を与えるかを調べ、それがボタン押し系列の記憶構造とどのような関係にあるかについて検討した。研究成果は、操作者にとってストレスの少ないボタン押し画面の設計に資すると考えられる。

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 (サルの場合) または 10 セット (ヒトの場合) 提示することにより、10 回または 20 回のボタン押し系列を学習するものであった。本研究では、視覚的手がかりの与え方が学習成果および記憶構造に与える影響について調べるため、一度に点灯するボタン数が 2 個と 4 個の条件で原学習を行い、その後、ボタンを全く点灯せずに再学習を行う。そして、点灯するボタン数により原学習と再学習のエラーの多少や 20 個のボタン押し遂行時間が異なるかを比較する。また、ChT と MvT の分析などから、記憶構造と反応の正確さや遂行時間の関係について考察する。

## 3. 研究の方法

### (1) 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。実験協力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14.5 cm×14.5 cmの領域内に3.2 cm×3.2 cm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個の正方形の一つ一つをボタンと見なす。これらのボタンは幅0.3 cm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言う。試行開始時には、16個のボタン配列の1.7 cm下方に白い枠で囲まれた2.5 cm×2.5 cmの赤い正方形が表示される(開始ボタン)。

## (2) 手続き

一度に点灯するボタンの数が異なる[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1参照)。

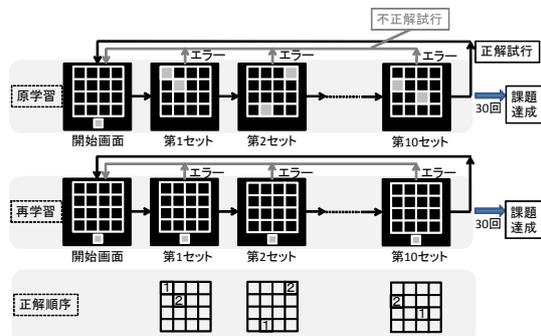


図1. [2×10]連続ボタン押し課題の原学習と再学習の手続き

最初に原学習を行う。画面中央にボタン配列が、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、開始ボタンが消え、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。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、その試行は正解試行として終了する。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考え、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。

あらかじめ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知らせる。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。

## (3) 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、原学習と再学習のセットを2系列行った。[2×10]課題と[4×5]課題を行う順序はカウンターバランスした。ボタン押し順序の系列は、乱数を用いて、実験参加者ごと、系列ごとに毎回新たに作成して用いた。

## 4. 研究成果

1名の実験参加者の、[2×10]課題原学習の学習曲線を図2に示す。

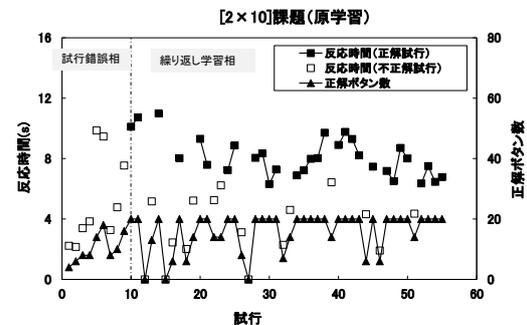


図2. 実験参加者1名の[2×10]課題原学習の正解ボタン数と反応時間の推移

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表わす。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。

## (1) 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ため、再学習を達成した系列の数が課題により異なる。再学習達成率を図3示す。

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、再学習を達成できなかった系列のうち1系列のみ、1度だけ試行を正解することができたが、それ以外の系列はすべて、1度も試行を正解することなく中断され

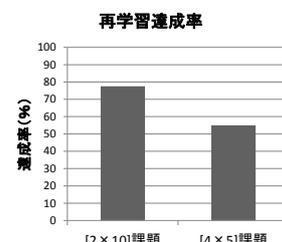


図3. 再学習達成率

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1系列以上再学習を達成できた実験参加者15人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平均値を用いた。

### (2) 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。

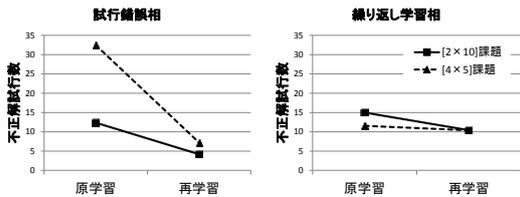


図4. 試行錯誤相と繰り返し学習相における不正解試行数

試行錯誤相における不正解試行数を従属変数として、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、[2x10]課題、[4x5]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 ( $F(1, 14) = 1.91, ns$ ,  $F(1, 14) = 2.64, ns$ ,  $F(1, 14) = .905, ns$ ).

### (3) ボタン押し遂行時間の分析

図5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。

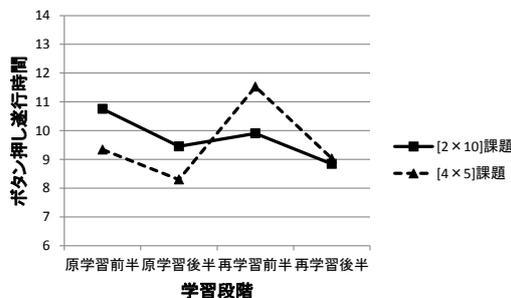


図5. 各学習段階におけるボタン押し遂行時間

ボタン押し遂行時間の15試行の平均値を分析対象として、課題と学習段階の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、[2x10]課題、[4x5]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、[2x10]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、また再学習の前半と後半の間に有意差が見られた (それぞれ  $p < .001, p < .01, p < .005$ ). 一方、[4x5]課題においては、原学習前半と後半の間、原学習の前半および後半と再学習前半の間、さらに再学習の前半と後半の間に有意差が見られた (それぞれ、 $p < .001, p < .05, p < .005, p < .005$ ). また、下位検定の結果、原学習の前半と後半、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 ( $F(1, 14) = 11.7, p < .005$ ,  $F(1, 14) = 6.46, p < .05$ ,  $F(1, 14) = 12.9, p < .005$ ,  $F(1, 14) = .300, ns$ ).

### (4) ボタン押しタイミングの分析

図6に、原学習および再学習の第1ボタンから第20ボタンまでのボタン押し反応時間の、最終3試行分の平均値を示す。

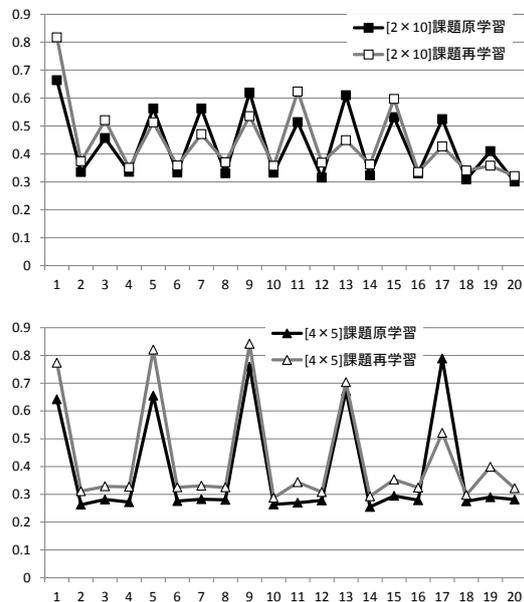


図6. [2x10]課題と[4x5]課題における20回のボタン押し反応時間

図6から、[2x10]課題では第1, 第3, 第5, ..., 第19番目のボタン押し反応時間に比べ、第2, 第4, 第6, ..., 第20番目の反応時間が短いことがわかる。原学習においては、前者の反応時間は、2個のボタンの点灯を知

覚してそのどちらかを選択する時間を含むため長くなることが知られており (Sakai et al., 2003), ボタンの選択時間を含むことから選択ボタン押し時間と呼ばれる (ChT と表記する). 後者の反応時間は, もはやボタンを選択する必要はなく, 最初に選択されたボタンからもう一方のボタンへと移動する時間を含むことから移動ボタン押し時間と呼ばれる (MvT と表記する). 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妥当ではないのだが, 図 6 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見られる. そこで, 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, これらの反応時間を従属変数として, 学習と反応時間のタイプの 2 要因の繰り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, 学習とタイプの交互作用は有意傾向であった ( $F(1, 14) = .605, ns.$ ,  $F(1, 14) = 41.1, p < .001$ ,  $F(1, 14) = 3.40, p < .09$ ). 交互作用が有意傾向であったので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]課題においては, 原学習における第 1 セットから第 5 セットまでにおいて, 第 1 から第 3 ボタン押し反応時間までがボタンの選択を含み, 第 2 から第 4 ボタン押しまでが移動時間を含む. しかし, 図 6 を見ると, 第 1 ボタン押し反応時間だけが突出して長く, その他は同程度の長さであることから, 第 1 ボタン押し反応時間を ChT とし, 第 2, 第 3, 第 4 番ボタン押し反応時間を MvT1, MvT2, MvT3 と呼ぶことが妥当であると考えられる. 再学習においても同様の反応時間の長短が見られることから, これらの反応時間を従属変数として, 学習と反応時間タイプの 2 要因の繰り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, 反応時間タイプ的主効果は有意であるが, これらの交互作用は有意ではなかった ( $F(1, 14) = 2.68, ns$ ,  $F(3, 42) = 73.0, p < .001$ ,  $F(3, 42) = .499, ns$ ). 反応時間タイプ的主効果が有意であったので多重比較を行ったところ, ChT と他のすべての間に有意差が見られ ( $p < .001$ ), MvT1 と MvT2 の間にも有意差が見られ ( $p < .05$ ), MvT1 と MvT3 の間には有意傾向が見られた ( $p < .09$ ).

図 7 に, ChT, MvT の平均値のグラフを示す. [4×5]課題の MvT1 と MvT2 および MvT3 の間に有意差あるいは有意傾向が見られはした

が, 図 7 からわかるように MvT1 から MvT3 は, ChT に比べるとほぼ同程度の反応時間である. そこで, MvT1 から MvT3 を平均して MvT として [2×10]課題と [4×5]課題の間で比較する.

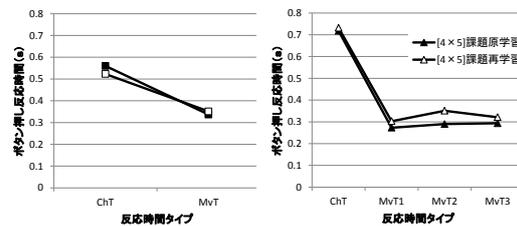


図 7. [2×10]課題 (左図) と [4×5]課題 (右図) における ChT と MvT

ChT 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 要因の繰り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傾向であった ( $F(1, 14) = 8.73, p < .05$ ,  $F(1, 14) = 10.9, p < .01$ ,  $F(1, 14) = 2.21, p < .16$ ). 交互作用が有意傾向であったので, 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となり, 再学習においては課題の単純主効果は有意傾向であった ( $F(1, 14) = 12.9, p < .005$ ,  $F(1, 14) = 2.45, p < .15$ ). また, [2×10]課題において学習の主効果は有意ではなかったが, [4×5]課題において学習の主効果が有意であった ( $F(1, 14) = 1.87, ns$ ,  $F(1, 14) = 9.78, p < .01$ ).

#### (4) 成果のまとめ

再学習達成率, 遂行時間の両方において, [4×5]課題の方が視覚手がかりの除去の影響が大きいことから, [4×5]課題の方が, 視覚手がかりへの依存が大きいと考えられる. これは, [2×10]課題では視覚手がかりが視覚運動学習のチャンクよりも小さい単位で与えられたため, 次の手がかりを待たずに運動が遂行されるのに対し, [4×5]課題では視覚手がかりがチャンクとほぼ同じ大きさの単位で与えられたため, 常に視覚手がかりに基づき運動遂行が行われたためと考えられる.

視覚手がかりのもとにボタン押しを遂行する場合には, [4×5]課題の方が, MvT の比率が高いため, 遂行時間は短い, 視覚手がかり除去後はこの差は消失する. その理由としては, 統計的に有意とはならなかったが, [2×10]課題ではチャンク途中の ChT が短くなるのに対し, [4×5]課題では視覚手がかりへの依存が高いため, MvT が原学習より長くなるためと考えられる.

視覚手がかりの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 が切

り替わるタイミングが見られたことは特筆すべき点であり、ここからこのタイミングが、もともとは視覚手がかりにより形成されたものであるが、視覚情報処理に要する時間等によるのではなく、系列とともに記憶に取り込まれて、再生をコントロールするものであることがわかる。このことから、最初にどのような構成でボタンを提示するかがその後のボタン押し操作に継続的に影響を及ぼすことがいえる。

#### (5) 応用

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、常に画面を見ながら操作する必要がある場合には、一つの画面で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言える。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見られなかったとはいえ、視覚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効であるといえる。

#### (6) 結論

情報機器の操作場面を想定し、運動学習の視点から認知工学的な知見を得ることを目的に、液晶画面における単純なボタン押し系列の学習について調べた。[2×10]構成のボタン押し画面と[4×5]構成のボタン押し画面の間で比較する実験を行った結果、画面の情報を見ながらボタンを押して進んでいく場合には、1画面の押しボタン数が4個の方がボタン押しの遂行時間が短いですが、慣れてきて、画面の情報をあまり気にせずボタン押しを行うような場合には、1画面の押しボタン数が2個の方が速やかにボタン押しを進めていけることがわかった。

### 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)

[学会発表] (計12件)

- ①Terada, Haruna: The nature of the training effects of mental rotation. Cognitive Science Society, August, 4, 2012, Sapporo Convention Center (Sapporo)
- ②石崎琢弥: 長期記憶における視覚特徴の結合関係の表現. 日本視覚学会冬季大会, 2012年1月19日, 工学院大学(東京都)
- ③寺田春菜: 心的回転により何が学習されるのか: 回転方向依存性の検討から. 日本視覚学会冬季大会, 2012年1月19日, 工学院大学(東京都)

- ④坂田正伸: 連続運動学習における両手肝転移効果の検討. 日本心理学会第74回大会, 2010年9月21日, 大阪大学(大阪府)
- ⑤坂田正伸: 手先の運動速度に基づく視覚運動性手続き記憶のチャック構造. 電子情報通信学会HIP/HCS研究会, 2010年5月14日, 沖縄産業支援センター(沖縄県)

[その他]

ホームページ等

<http://www.slis.tsukuba.ac.jp/mlab/abstract/2011onodera.pdf>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

森田 ひろみ (MORITA HIROMI)

筑波大学・図書館情報メディア系・講師

研究者番号: 00359580