

系列追従課題の学習過程の分析 (Ⅱ) ——二重課題を用いた注意配分からの検討——

Analysis of learning processes of serial pursuing tracking (2) : Evidence from attentional demands on the dual-task methodology

山 本 裕 二

Yuji YAMAMOTO

This report is the second in a series of studies examining the process of perceptual-motor learning from human information processing and attention theory. The question of whether the development of cognitive or motor programming decreases the attentional demands was investigated on dual-task experiments. The learning task required subjects to pursue the serial stimuli continuously. The secondary tasks that completely overlap with the learning task in time required them to tap their hands that loaded motor system or to add two auditorily presented one-digit numbers that loaded cognitive system. Eight undergraduate female students performed these tasks for 160 trials. Their hand and eye movements were recorded across the trials. The main finding was that performance in dual-task condition was developed significantly. The significant interaction between type of attention demands and development of automatic processing was not found, however, relative performance in each secondary task was higher after cognitive or motor programming than before. These results indicate that the development of motor or cognitive programming decreases the attentional demands, therefore information processing in perceptual-motor learning develops from control to automatic processing. It is partly supported the phase hypothesis involving the development from motor programming to cognitive programming, and the link together, and elaborated cognitive-motor programming.

目 的

本研究は、知覚-運動学習を情報処理心理学の立場から検討した山本¹³⁾の第2報である。ここでは、従来の出力系重視の運動学習理論(例えば、Adams, 1971¹⁾; Schmidt, 1975⁸⁾など)に対して、入力系もモデルの中に考慮している。すなわち、知覚-運動学習を知覚系のプログラミングと運動系のプログラミング、さらにそれらが結合されてより洗練された一つのプログラムとして知覚-運動行動になるといった仮説に基づいている。

前報では、学習過程を手と眼球運動のパターン分析から、いくつかの学習段階に分類でき、制御処理(controlled processing)優勢から自動化処

理(automatic processingあるいは automatism, automaticity)優勢へと移行するであろうことが考えられた。制御処理と自動化処理は、Schneiderと Shiffrinら (Schneider & Shiffrin, 1977⁹⁾; Shiffrin & Schneider, 1977¹⁰⁾; Shiffrin, Dumais, & Schneider, 1981¹¹⁾など)が目標の発見と検索という特に知覚に関する一連の研究から、注意の容量説(Kahneman, 1973⁴⁾; La Berge, 1981⁵⁾など)に立脚し、限られた注意容量をどう用いるかといった観点から課題遂行における情報処理の2つの機能として分類しているものである。自動化処理とは、課題遂行のために限られた処理資源(processing resources)を用いることなく処理する過程、言い換えれば、他の処理を行うために必

名古屋大学総合保健体育科学センター

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

要な処理資源を減少させない過程であると考えられている。これに対して、制御処理では、処理資源の導入が処理には要求され、課題遂行のためには常に注意をコントロールすることが要求される過程であるとされている。

この情報処理過程の分類を知覚-運動学習の学習過程に援用してみると、学習初期では、運動系の学習や知覚系の学習を成立させるために、制御処理が主に行われているようである。しかしながら、学習が進むにつれて知覚系も運動系も意識的な注意のコントロールを必要としない処理が行われていると考えられる。しかしながら、前報では制御処理か自動化処理かという違いを検出するための一般的実験パラダイムである妨害刺激に対する反応を観察できる挿入課題を設定していなかったため、推察するにとどまっていた。そこで本研究では、この情報処理様式の違いを明確にするために挿入課題を設定した二重課題法 (dual task method)²⁾³⁾を用いて検討を加えた。この方法では挿入課題は常に注意のコントロールを必要とする制御処理で遂行されていると考えられることから、主課題が自動化していくに従い、主課題への注意配分の要求が減少し、挿入課題へ注意配分量が増加するため、挿入課題のパフォーマンスが向上すると考えられている。このように二重課題法とはパフォーマンスから注意配分の量を推察することによって、処理様式の違いを検討する方法である。

またこうした方法によって、学習段階の分類の裏付け的データとも成り得ると考えられる。すなわち、運動系の学習が成立する以前ならば、運動系と知覚系の双方の情報処理に負荷がかかると考えられる二種の挿入課題を行った時にはいずれの場合にもパフォーマンスが低下することが予想される。しかしながら、運動系の学習が成立し、知覚系の学習が成立する以前ならば、知覚系の情報処理に負荷がかかると考えられる挿入課題を行った時のみパフォーマンスが低下することが予想される。また、運動系・知覚系とも学習が成立したならば、いずれの情報処理過程に負荷をかけてもパフォーマンスが低下しないと考えられる。

本研究では特に二重課題遂行時のパフォーマンスの変化について、学習過程の分類にそって分析し、注意配分様式の観点から報告することとする。

方 法

被験者：名古屋大学教養部の女子8名を被験者とした。8名とも、健康で矯正視力1.0以上であった。

装置：実験装置の概略を Fig. 1 に示す。装置は、前報¹³⁾とほぼ同じであるが、挿入課題のところだけ新たに追加された。すなわち、タッピングのために CCNo. (稲葉適性研究所製) を、また一位加算作業のためにエラーのフィードバックに用いていたカセットテープレコーダーを共用するものとした。そのため、前回の実験ではヘッドフォンを装着して行ったが、今回の実験ではカセットテープレコーダーのスピーカーからエラーを知らせるピープ音と一位加算作業のための刺激が同時に流れるようにされた。

課題：課題は学習課題となる主課題と学習課題遂行中に2次課題として行う挿入課題とから成っている。主課題はコンピューターディスプレイ上に、提示される左右合せて13個の刺激に対して、マウスと呼ばれるポインティングデバイスを用いて、カーソルを左右に移動させ、追従する系列追従課題である。刺激の位置は Fig. 2 に示すとおりで、この13個の刺激が20秒間に10dotの割合でロールダウンして表示され、15秒間に系列的に提示される。挿入課題は2種類あり、一つは一位加算作業であり、他の一つはタッピングである。これらは学習課題遂行中、すなわち15秒間通して行うものである。一位加算作業は知覚系の情報処理に負荷をかけるために用いられ、またタッピングは運動系の情報処理に負荷をかけるために用いられたものである。

手続き：1試行の計測時間は、15秒間で、手の動きを計測するためのマウス座標のサンプリングタイムは20msec、眼球運動のサンプリングタイムは10msecであった。測定眼は、被験者の利き眼、注視点は両眼中心より前方62cmの額面平行面であ

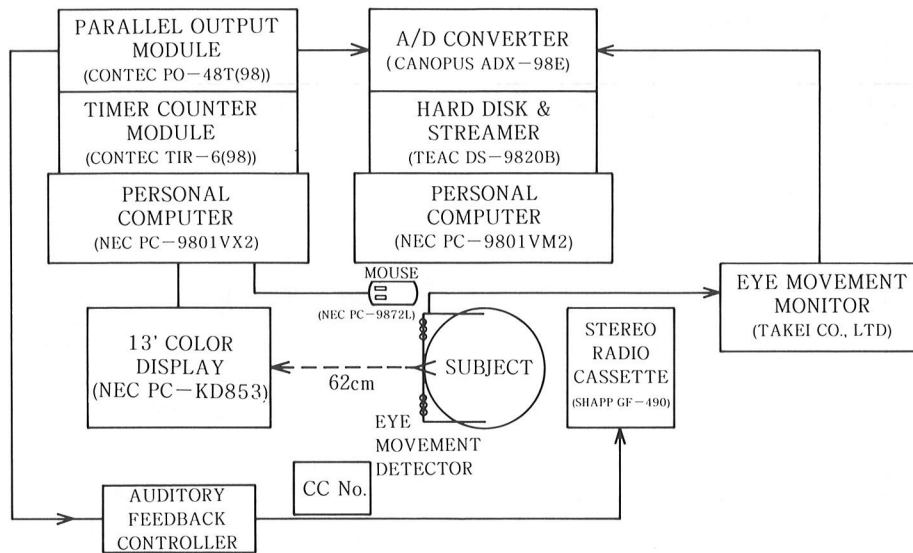


Figure 1. Block diagram of experimental system.

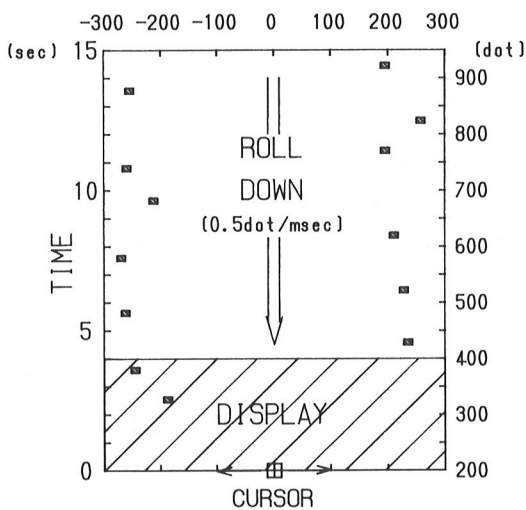


Figure 2. Array of serial stimuli on learning task.

った。

第1日目に課題の説明を行った後、挿入課題の単独試行時のパフォーマンスを測定した。これは二重課題遂行時のパフォーマンスの基準となるもので、それぞれ5回づつ行った。その後利き目の測定を行い、顔面固定台に額面及び顎を固定し、眼鏡式の眼球運動検出部を装着し、調整を待つ。5試行の練習試行を1ブロックとし、各ブロックの始めにキャリブレーションを行った。練習試行終了後二重課題を行い、これを1日8ブロック、計40試行を行った。また、各ブロック終了後、4つの刺激パターンから課題の刺激パターンを選択するという再認テストが5回ずつ行われた。連続した4日間が学習過程として与えられ、計32ブロック・160試行を行ったことになる。

処理：計測された手の動きと眼球運動の素データは、前回の実験と同様に前後の刺激位置との関係から、Fig. 3のような6パターンに分類された。こうした分類に従い、各ブロックにおける各パターンの出現頻度を百分率でもとめた。ただし、眼球運動の素データについては、計測された素デー

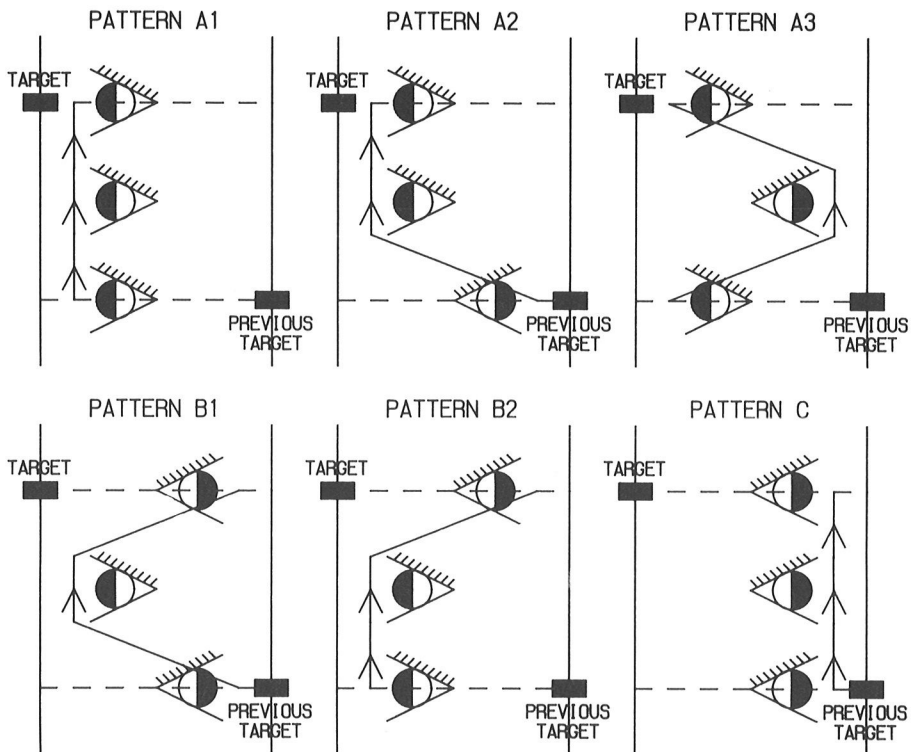


Figure 3. Model of six patterns on hand and eye movements.

タが、計測日ごとに電圧幅が異なるため、キャリブレーションの値をもとに、± 300dot になるように変換されたのち分類された。

二重課題遂行時のパフォーマンスについては、主課題（系列追従課題）と挿入課題（タッピングと一位加算作業）についてそれぞれ単独試行時の成績を基準の100としその百分率でもとめた。主課題の基準については、各ブロックにおける最高値を基準とした。

結果と考察

1) 学習段階の分類

8名の被験者それぞれについて、練習試行における系列学習課題のパフォーマンスと眼球運動の

パターン分類から学習段階の分類を試みた。これらの分類は前報¹³⁾に基づくもので、運動系の学習成立までを第Ⅰ期、運動系の学習成立から知覚系の学習成立までを第Ⅱ期、知覚系の学習成立から知覚系に予期的位相が認められるまでを第Ⅲ期、それ以降を第Ⅳ期とした。学習段階には当然個人差があると考えられるが、本実験の場合にも各期に相当すると考えられる期間にはばらつきが認められた。予期的位相が認められないものもいたが、この分類にしたがって、運動系・知覚系ともその学習が成立するまでを制御処理とし、学習成立以降を自動化処理として考えることとした。

2) 二重課題遂行時のパフォーマンスについて各学習段階ごとに、横軸に二重課題遂行時の主

課題の相対的パフォーマンスを、縦軸に挿入課題の相対的パフォーマンスをとり、図に示したものが Fig. 4 である。この図は POC (Performance Operating Characteristics) と呼ばれるもの⁷⁾で二重課題遂行時、特に主課題と同時に挿入課題を絶えず遂行するような場合の各課題への注意配分様式を示すものとしてよく用いられるものである³⁾。この図からは、各被験者の遂行方略の関係からか、学習段階による相違は分りにくい。すなわち、主課題を重視して注意を多く配分したと考えられる遂行方略と、逆に挿入課題に多くの注意を配分し

主課題への注意配分を減少させたと考えられる遂行方略もあると思われる。しかしながら、理論的には右下がりの直線になるべきところが、ほぼ横軸に平行である。これは、主課題の相対的成績が変化しても、挿入課題の相対的成績があまり変化しないことを示すものである。つまり、注意の容量説から考えると挿入課題の方に一定の注意を配分していたと考えられる。したがってこの結果から、挿入課題が常に注意のコントロールを必要とする制御処理の下に遂行されていると考えられる。主課題と挿入課題のどちらに注意を多く配分し、

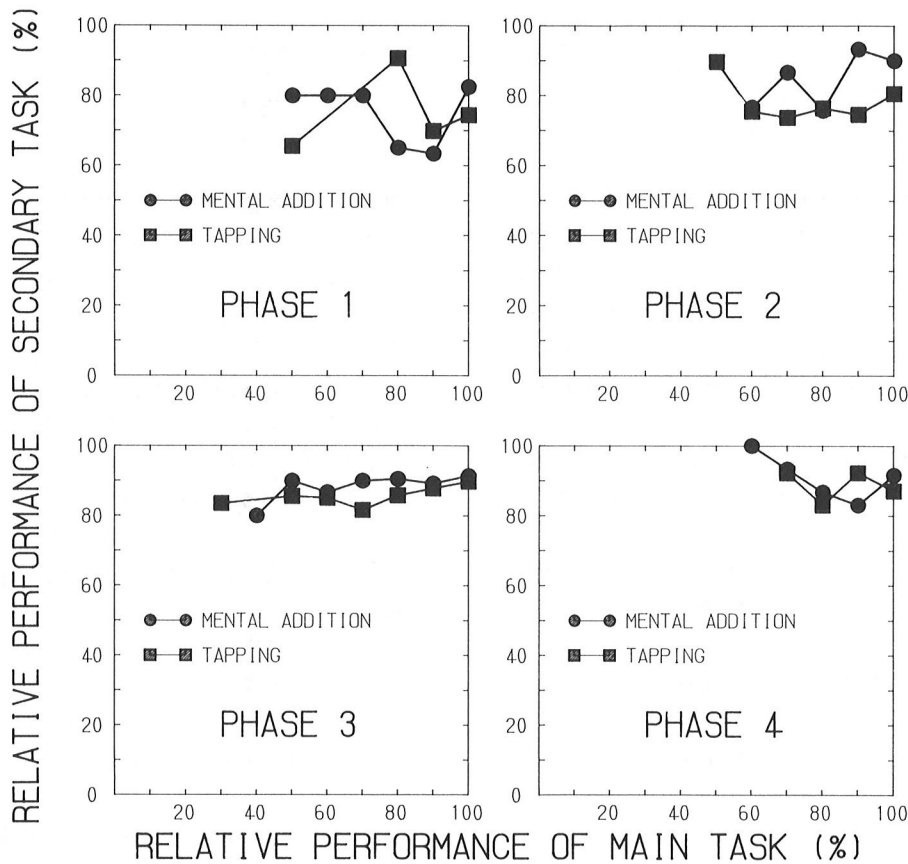


Figure 4. Performance Operating Characteristics showing the relations between tracking accuracy and performance on secondary task on each learning steps.

課題遂行していたかは方略による個人差が認められたため、これらの各点を座標として考え、各点の距離を求めた。この距離の意味するものは、二重課題遂行時の両課題を合わせたパフォーマンスで、挿入課題の遂行が要求された状況における全作業量と考えることができる。挿入課題が制御処理の下に遂行され、一定の注意を必要とするならば、この作業量が増加することは、主課題の遂行が自動化処理へ移行し、必要とされる注意の量が減少してきたとも考えられよう。

各学習段階についての8名分の平均値と標準偏差を表したものがFig. 5である。学習段階と挿入課題の種類との二要因分散分析の結果、学習段階にのみ有意な主効果が認められた($F=16.1$, $df=3,568$, $p < .01$)。これより学習段階が進むにつれて全作業量が増加していったといえる。

次に各学習段階ごとに特徴を見てみると、学習段階第Ⅰ期終了時は、運動系の学習が成立した時点と仮定した。したがって第Ⅰ期では、タッピングを挿入課題とした時と一位加算作業を挿入課題とした場合とではタッピング時の方が作業量が良いことが考えられた。すなわち、一位加算作業のように知覚系に負荷がかけられると学習が成立していないため、作業量が低い値を示すことが考えられた。しかしながら、図からも分るように、タッピング時も、一位加算作業時にも違いは認められなかった。このことから、パフォーマンスの向上は認められたが、自動化処理されているとはいえないようである。学習初期ということで、作業量自体が他の各期よりも低い値を示したのは当然と言えよう。

学習段階第Ⅱ期終了時は、知覚系の学習が成立した時点と仮定している。したがって、タッピングを挿入課題とした場合の作業量は、運動系の学習はすでに第Ⅰ期で成立しているため、第Ⅰ期と変化がないと考えられる。一位加算作業においては、この時期で知覚系の学習が成立したと仮定していることから、第Ⅰ期に比べ作業量は増加すると考えられる。図からも分るように、一位加算作業時の作業量は第Ⅰ期に比べ増加していることが伺える。これに対しタッピング時の作業量は第Ⅰ

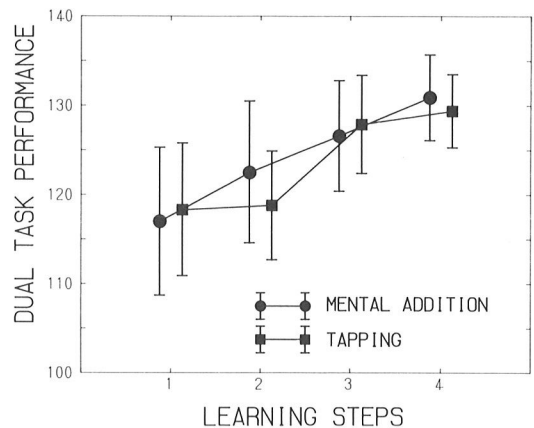


Figure 5. Means and standard deviations of simultaneous performance on two types of secondary task as a function of learning steps.

期とほとんど変化が認められない。一位加算作業に必要とされる注意の量が一定であると仮定すると、主課題における知覚系への負荷が減少し、必要とされる注意の量が減少したことを示すと考えられる。したがって、この時期において知覚系のプログラミングがなされ、知覚系に関しては自動化処理へ移行しているのではないかと考えられる。

学習段階の第Ⅲ期は、自動化処理への過剰学習の時期として考えられ、運動系と知覚系のプログラムの結合(link)時期とも考えられた。つまり、より大きな新しいプログラム生成の時期と考えられるので、タッピング挿入時も一位加算作業挿入時も作業量は増加していくものと考えられる。図からも両挿入課題とも作業量は増加していることが伺える。このことから、主課題における知覚系・運動系の負荷が減少し、必要とされる注意の量が減少したと考えられる。ただし、タッピングを挿入課題とした場合の方が作業量の増加が多いことから、運動系と知覚系のプログラムの結合による注意配分様式への影響は、運動系に対する方が大きいことを示すと考えられる。

学習段階の第Ⅳ期は、予期的位相(pre-attentive phase)が認められたと考えられる段階で、より効

率的な知覚-運動プログラムによって課題遂行されている段階であると考えられる。したがって、作業量としてはタッピング時も一位加算作業時も高い値を示している。学習の成立に伴い、主課題遂行に必要とされる注意の量は減少してきていると考えられる。すなわち、知覚-運動プログラミングによって、より注意のコントロールが少なくすむ自動化処理への移行が示唆される。

ただここで問題となるのは、学習段階第Ⅰ期及び第Ⅱ期におけるタッピングを挿入課題とした時の作業量の低さである。仮説からは、一位加算作業時よりも高い作業量を示しても良いと考えられるが、実際には一位加算作業時よりも低い値を示した。この原因の一つとして考えられるのは、挿入課題のパフォーマンスの評価方法である。一位加算作業は、15秒間に10問しか発問がされないため、パフォーマンスが10段階でしか評価できないのに対し、タッピングでは、15秒間に100回以上打鍵されるため、その評価がより細くなる。したがって、数字上は一位加算作業の方が比較的好成績を示したように見えるのではないかと考えられる。また、本実験の主課題のような系列追従が要求される課題では連続的な運動の調整が要求されるため、運動系のみでの処理としては、制御処理を余儀なくされる状況とも考えられる。したがって、タッピング時の成績の向上は、知覚-運動系としてのプログラミングにより、いわゆる入力から処理までの過程が自動化された結果によるものであり、出力系自体の処理様式はほとんど変化しないとも考えられる。しかしながら、両課題を挿入した際に見られる作業量の学習過程における変化については、制御処理から自動化処理と言う概念である程度説明できることから、ほぼ学習段階と注意理論から見た情報処理様式との仮説が支持されたと考えられる。

知覚-運動学習過程における制御処理から自動化処理への移行はほぼ検証されたが、前報でも述べているように、同じ自動化処理にもその処理様式の相違、あるいは遂行方略が個人差として認められるようである。

Lindsay & Norman (1977)⁶⁾は、パターン認知

と注意に関連して、人の情報処理システムが、データ駆動型の処理 (data-driven processing, bottom-up) と概念駆動型の処理 (conceptually-driven processing, top-down) との組合せで効率的、かつ知的なものになっていると述べている。したがって、今後は制御処理から自動化処理への移行とともに、こうしたデータ駆動型処理と概念駆動型処理という観点から知覚-運動学習の学習過程の検討が望まれるであろう。すなわち、学習課題との関連で、入出力の系全体の中で、どの部分が自動化され、どの部分が制御処理を必要とするのかといった問題が残されている。

参 考 文 献

- 1) Adams, J. A., "A closed loop theory of motor learning", *Journal of Motor Behavior*, 3: 111-150, 1971.
- 2) Abernethy, B., "Dual-task methodology and motor skills research : some applications and methodological constraints", *Journal of Human Movement Studies*, 14 : 101-132, 1988.
- 3) Heuer, H. and Wing, A. M., "Doing two things at once : process limitations and interactions", In Smyth, M. M. and Wing, A. (Eds.), *The Psychology of Human Movement*, New York : Academic Press, 1984, 183-213.
- 4) Kahneman, D., *Attention and effort*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1973.
- 5) La Berge, D., "Automatic information processing - A review". In Long, J. and Baddeley, A. (Eds.), *Attention and Performance IX*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1981, 173-186.
- 6) Lindsay, P. H., and Norman, D. A. *Human information processing : A introduction to psychology* 2nd ed., Academic Press, Inc. New York, 1977. (中溝幸夫・箱田裕司・近藤倫明共訳, 情報処理心理学入門Ⅱ, pp. 1-48, 1983.)
- 7) Norman, D. A. and Bobrow, D. G., "On data-limited and resource-limited processes", *Cognitive Psychology*, 7 : 44-64, 1975.
- 8) Schmidt, R. A., "A schema theory of discrete motor skill learning", *Psychological Review*, 82 : 225-260, 1975.
- 9) Schneider, W., and Shiffrin, R. M., "Controlled and automatic human information processing : I. Detection, search, and attention", *Psychological Review*, 84-1 : 1-66, 1977.

- 10) Shiffrin, R. M., and Schneider, W., "Controlled and automatic human information processing : II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory", *Psychological Review*, 84-2, 127-190 : 1977.
- 11) Shiffrin, R. M., Dumais, S. T., and Schneider, W., "Characteristics of automatism", In Long, J. and Baddeley, A. (Eds.), *Attention and Performance IX*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ. 1981. 223-238.
- 12) 山本裕二「追従課題におけるパフォーマンスと遂行中の眼球運動について」, *総合保健体育科学*, 11-1 ; 15-19, 1988.
- 13) 山本裕二「系列追従課題の学習過程の分析—手と眼球運動のパターン分析—」, *総合保健体育科学*, 12-1 ; 69-75, 1989.

(1989年12月11日受付)