

系列反応時間課題における学習の指標に関する考察

山本文枝・宮谷真人
(1999年9月30日受理)

How to evaluate sequence learning in a serial reaction time task

Fumie Yamamoto and Makoto Miyatani

To investigate a human sequential learning Nissen & Bullemer (1987) developed a serial reaction time task. This task has been used in dual-task situations to evaluate the role of attention in acquisition of the event sequence. In this article, we pointed out some problems of performance measures of learning, such as reaction times and error rates. The ambiguity of the relationship between performance measures and psychological processes supposed to occur in the task results in the disagreement among the interpretations of the results obtained in a variety of experiments. We suggest the usefulness of psychophysiological measures that could directly reflect our brain's activities, and introduce a several studies where some electrophysiological measures were devised to explore the explicit and implicit aspects of sequential learning.

Key words: sequential learning, serial reaction time task, attention, behavioral and psychophysiological measures

われわれの認知的活動や行動の表出における系列的秩序は、心理学における重要な研究課題の一つである (Lashley, 1951)。情報や行動の系列化は人間の基本的能力 (Clegg, Digriolamo, & Keele, 1998) であり、その獲得の過程を調べることは、人間の認知や行動の性質を明らかにするために不可欠であると考えられる。系列的事象に関する学習は、非意図的に生じうる潜在的な学習として、その機序について古くから研究がおこなわれており (水原, 1994; 水原・石田, 1998)、最近では、Nissen & Bullemer (1987) によって考案された、系列反応時間課題 (serial reaction time task, SRT 課題と略す) を用いた検討が行われている (Cohen, Wasserman, & Soroker, 1997; Hsiao, & Reber, 1998)。本稿では、SRT 課題を用いた従来の系列学習研究において学習の指標とされてきた行動測度の問題点を指摘し、それを補うものとして、心理生理学的指標の可能性について検討する。

SRT 課題の例を、次に示す。被験者の前に置かれたスクリーンあるいはCRTに、刺激の呈示位置を示す4つの印 (線分) が横一列に呈示される (Figure 1を参照)。被験者は、その印の上のどこかに刺激

(*) が呈示されると、それぞれの位置に対応するキー

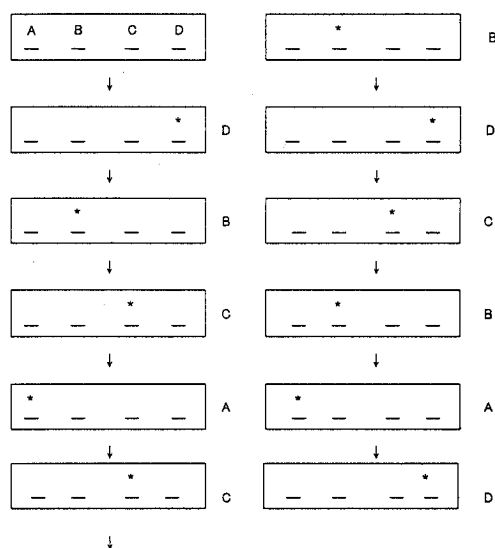


Figure 1. 系列反応時間課題で用いられる刺激の例 (Nissen & Bullemer, 1987)。刺激系列 D-B-C-A-C-B-D-C-B-A の場合。ただし、A, B, C, D の文字は呈示されない。

をできるだけ早く押して反応する。刺激が出現する位置はあらかじめ決められており、向かって左から A, B, C, D とすると、例えば D-B-C-A-C-B-D-C-B-A となる。ただし、刺激が出現する位置に規則性があることは、被験者には知らせない。1つの実験ブロックで、この系列が何度か（6～10回程度）繰り返し呈示される。

このような事態で、刺激呈示から被験者のキー押しまでの反応時間を記録すると、典型的には Figure 2 に示すような結果が得られる。実験ブロックが進むにつれて、各ブロックの平均反応時間はだんだん短くなるが（Figure 2 の1-12ブロック）、途中で刺激系列の規則性をなくし、ランダムな位置に呈示するように変更すると反応時間は長くなる（13ブロック）。この結果は、試行の繰り返しによって、被験者が刺激の呈示順序に関する何らかの学習を行ったことによるものであると考えられている。刺激系列をランダムに変更する直前のブロックとランダムなブロックの反応時間の差が、学習量の指標とされる（Willingham, Greenberg, & Thomas, 1997）。

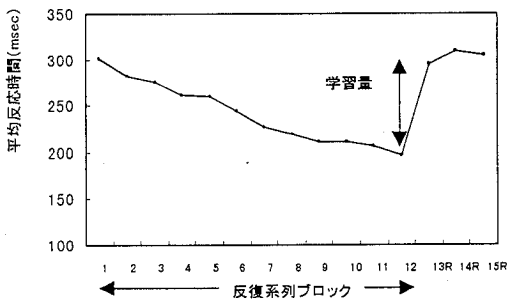


Figure 2. 系列反応時間課題における反応時間の推移の例（R：ランダム系列ブロック）。

Nissen & Bullemer (1987) は、系列学習における注意の役割について検討するために、SRT 課題に及ぼす二次課題の影響を検討した。彼らは、SRT 課題を遂行中の被験者に、高さの異なる 2 種類の音刺激を呈示し、視覚的の刺激に対する反応と同時に、あらかじめ指定された高さの音を数数する課題を課した。このような条件では、SRT 課題を単独で行う場合に比べ、反応時間が全体的に遅延すると同時に、ランダム系列を挿入する前後のブロックで、反応時間の差がなくなった。彼らは、二次課題負荷条件で系列学習が起らなかった原因を、二次課題を遂行するためには注意の配分が必要であり、それが系列学習を妨害したためであると考えた。

一方、Stadler (1992, 1993, 1995) は、二次課題が刺激系列の学習を妨害するのは、学習に必要な注意

の配分を減少させるためではなく、SRT 課題における系列の構造化が行われにくくなるためであると考えている。まず、Stadler (1992) は、課題で用いられる刺激系列の冗長性（系列内で、同一の位置の組み合わせが繰り返して出現する頻度）が学習量に影響し、冗長性が大きいほど系列学習が生じやすいことを示した。また、Stadler (1993) は、通常の SRT 課題では、被験者の反応と次の視覚刺激の呈示間隔（response-stimulus interval, RSI）が一定に保たれるのに対し、RSI の長い試行をランダムに挿入したところ、系列学習が妨害されることを見いだした。RSI が長い試行を規則的に挿入しても妨害効果は得られないことから、彼は、RSI の長い試行をランダムに挿入することによって、系列の構造化が困難になり、それが系列学習を妨害したと考えた。

さらに、Stadler (1995) は、Nissen & Bullemer (1987) が用いた音刺激の計数課題条件に加えて、SRT 課題遂行中に文字列リストを保持しておく条件（記憶負荷条件）と、Stadler (1993) と同様の RSI の長い試行をランダムに挿入する条件（ポーズ挿入条件）で、系列学習の学習量を比較した。その結果、3 条件とも SRT 課題を単独で行った場合に比べて学習量は低下した。低下の程度は記憶負荷条件で最も小さく、計数条件とポーズ挿入条件ではほぼ同程度の低下量であった。Stadler (1995) は、1) 注意の配分を必要とする記憶負荷条件で計数条件よりも大きな学習量が得られたこと、2) 注意の配分が必要とは考えられないポーズ挿入条件で大きな妨害効果が見られたこと、3) 計数条件における学習の妨害の程度がポーズ挿入条件とほぼ同じであったことから、1) 系列学習には注意の配分はそれほど大きな役割を果たしていないこと、2) 計数条件における学習量の低下は、計数という作業を系列の構造化とは無関係に行うことによる系列の構造化の妨害が原因であることを主張した。

二次的な計数課題の付加による SRT 課題の学習量の低下に関する Nissen & Bullemer (1987) と Stadler (1995) の解釈の違いは、行動測度のみを指標とすることの限界を表しているように思える。2つの条件における学習量の低下が同じであったとしても、それが同じメカニズムで生じた現象である保証はない。仮に、ポーズ挿入条件の妨害効果が系列の構造化の困難さによって生じたものであるとしても、計数条件における学習の妨害は、全く別の原因、例えば注意の配分が十分でなかったことによるという可能性は否定できない。Stadler (1995) の記憶負荷条件は、SRT 課題への注意の配分を減少させることを意図して導入されたものであるが、単一の注意あるいは処理資源ではな

く、複数の処理資源 (Navon & Gopher, 1975) を仮定すると、2つの課題が性質の異なる資源をそれぞれ利用した場合には、二次課題が主課題を妨害しないこともあり得る。

例えば、記憶負荷条件で必要な資源と、計数課題で必要な資源とは性質が異なることを示すデータが、ワーキングメモリー (Baddeley, 1986) に関する研究で得られている。ワーキングメモリーとは、理解、学習、推理などの複雑な認知活動に必要な情報の一時的保持と処理を行う脳システム (Baddeley, 1992) であり、音声的符号に基づいた言語的情報の一時的保持と処理を行う音韻ループ、視空間的材料を何らかの画像的符号によって扱う視空間スケッチパッドという2つのサブシステムと、これら2つサブシステムの働きを調整し、協調的に機能させる役割を持つ中央実行系から構成されると考えられている (Baddeley & Hitch, 1974; Logie, 1985)。Gabrieli, Singh, Sttebins, & Goetz (1996) は、パーキンソン病患者に対し、計数スパン課題 (足し算または引き算問題を継続的に聴覚呈示し、被験者には各問題の直後に答えを要求する一方で、全問題終了後、各問題の最後の数字を再生させる課題) と単語再認課題を課した。その結果、単語再認課題では、患者群と対照群の間に差はなかったのに対し、計数スパン課題の成績は、患者群が有意に低かった。これは、計数課題に関わる処理システムと単語再認を支える処理システムが異なるものであることを示唆している。

パーキンソン病患者の特徴として、認知・記憶機能の低下のパターンが、前頭葉損傷患者と類似していることが挙げられる。また、計数スパン課題の遂行に必要な“数の更新”機能には中央実行系が関わっていると考えられている (Morris & Jones, 1990)。さらに、中央実行系は前頭葉の機能と強く関連している (Baddeley, 1996) ことを考え合わせると、計数スパン課題の遂行には、中央実行系が強く関わっていると推測できる。一方、音韻ループは、従来の二重貯蔵モデルにおける短期記憶の概念にはほぼ相当し (三宅, 1995)、短期記憶は音声的符号による言語情報の保持機能を持つものと想定されていたことから、単語再認課題は、主として音韻ループの働きに支えられると考えてよさそう。

もしも、SRT 課題における系列学習に、音韻ループがあまり役割を果たさないとすれば、言語的記憶負荷を加えたとしても、学習はそれほど影響されない。ところが、系列学習の成立にワーキングメモリーの中央実行系の働きが必要であり、計数課題に“数の更新”作業が含まれているとすると、中央実行系の処理資源

を共有することによって計数課題における学習の妨害が生じると考えられる。さらに、中央実行系の概念は、注意に関する SAS (supervisory attentional system) モデル (Shallice, Burgess, Schon, & Baxter, 1989) と非常に類似している。したがって、系列学習に果たす注意の役割は小さいとした Stadler (1995) の結論は、必ずしも妥当でないといえる。

さらに、Stadler (1995) の結果は、行動指標に関する別の問題を提起する。彼は、実験2において、SRT 課題終了後に、課題で用いられた刺激系列の再認課題を実施した。再認課題の成績に基づいて被験者を高得点群と低得点群にわけ、各群ごとに学習量を調べた。その結果、ポーズ挿入条件では、高得点群の学習量 (37 ms) が低得点群 (13 ms) よりも大きかったが、計数課題条件では逆に、高得点群の学習量 (7 ms) が低得点群 (14 ms) よりも小さかった。これは、Figure 2 に示した学習量の測度は、系列学習の一側面を反映するに過ぎず、他の測度を指標とすることによって、系列学習の有無について異なる結果が得られる可能性を示唆する。

山本 (1999) は、反応時間に関する学習量だけではなく、他にいくつかの指標を加えて、Stadler (1995) と同様の SRT 課題における系列学習について検討した。その際、計数課題から“数の更新”の要素を除いた課題として、高低2種類の音刺激のどちらか一方に対し、フットペダルを押して反応する弁別課題条件を追加した。ブロックの進行にともなう反応時間の推移を Figure 3 に、各ブロックの誤反応率を Figure 4 に、変動誤差を Figure 5 に示す。誤反応率には、予想による誤反応、すなわち反復系列ブロックでの反応がランダム系列ブロックにおいて生じる誤反応の生起率が反映される。予想による誤反応は、反復ブロック中に他の二次課題などによる負荷がかかった場合には

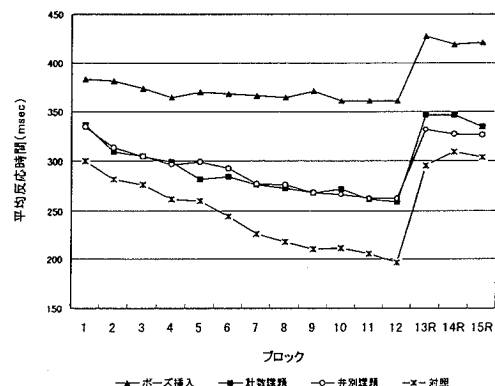


Figure 3. 山本 (1999) の系列反応時間課題で得られた反応時間の推移の例 (R: ランダム系列ブロック)。

減少することがわかっており (Schvaneveldt & Gomez, 1998)、ランダム系列ブロックにおける誤反応率の上昇の程度が、反復系列ブロックにおける何らかの学習の程度を反映すると考えられる。また、変動誤差は、被験者ごとに各ブロックの反応時間の標準偏差を求め、それを平均した値である。この測度は、反応における不安定性の程度を示し (Reason, 1990)、反応の変化や非一貫性に対して非常に敏感である (Schmidt, 1988) ことがわかっている。

山本 (1999) の実験の目的は、ポーズ挿入条件、計数課題条件、弁別課題条件における系列学習の程度を対照条件と比較し、計数課題条件における学習量の低下の原因について検討することであった。計数課題条件から“数の更新”の要因を取り除いた弁別課題条件においてもポーズ挿入条件と同程度の学習の妨害効果が生じた場合には、その効果はワーキングメモリーにおける中央実行系の資源の共有によるものではなく、Stadler (1995) の主張の通り、系列の構造化の妨害が原因である可能性が高い。逆に、計数課題条件における学習量の低下が他の2条件よりも小さければ、計数課題における学習妨害は、Nissen & Bullemer (1987) の考えるように、配分される注意の不足によるものであると結論できる。

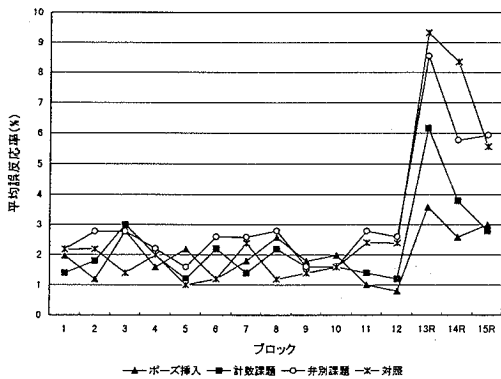


Figure 4. 山本 (1999) の系列反応時間課題で得られた誤反応率の推移 (R : ランダム系列ブロック)。

ところが、Figures 3-5 を見ると、何を指標として用いるかによって、ランダム系列導入前後の行動変化の条件差が異なる出現の仕方をしていことがわかる。Figure 3 の反応時間についてみると、4条件を対照条件、弁別課題・計数課題条件、ポーズ挿入条件の3グループに分けることができる (細かい統計的分析の結果は省略する)。まず、ポーズ挿入条件は、他の3条件と異なり、ブロックの進行にともなう反応時間の短縮が認められない。また、ランダム系列挿入前後の反応時間の差 (学習量) も、対照条件にくらべて小さ

かった。対照条件は弁別・計数課題条件と比べて最初のブロックから反応時間が短い、第6ブロックあたりからその差が大きくなっている。また、弁別・計数課題条件における学習量はポーズ挿入条件より大きく、対照条件よりも小さかった (ただし、どちらも統計的有意差は無し)。弁別課題条件と計数課題条件の間には、ほとんど差が観察されなかった。

一方、Figure 4 の誤反応率の推移を見ると、すべての条件で、ランダム系列に移行後誤反応率の上昇が認められる。その上昇の程度は対照条件で最も大きく、ついで弁別課題条件、計数課題条件、ポーズ挿入条件の順であった。ここで注目すべきは、Figure 3 の反応時間では全く観察されなかった弁別課題条件と計数課題条件の差が、Figure 4 では、ランダム系列ブロックに移行後の誤反応率において明確に認められる点である。

さらに、Figure 5 の変動誤差を調べると、常に対照条件の変動誤差が最小であり、またすべての条件で、ランダム系列の挿入によって変動誤差が大きくなった。これらのことから、変動誤差も系列学習の何らかの側面を反映していると考えられるが、この測度に関しては、弁別課題条件、計数課題条件、ポーズ挿入条件の3条件間に、はっきりとした違いは認められなかった。

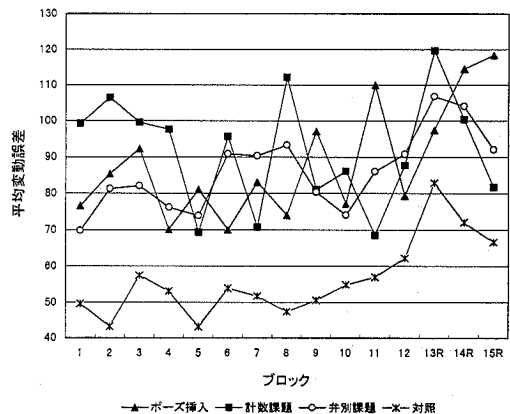


Figure 5. 山本 (1999) の系列反応時間課題で得られた変動誤差の推移 (R : ランダム系列ブロック)。

このように、条件間の学習の程度を比較することによって系列学習の過程について理解しようとする時に、指標によって条件差の出現の仕方が異なるということになると、どの指標が系列学習の指標として最も適切であるのかという問題が生じる。これには、各指標が実際にはどのような内的過程を反映するのかを明らかにしなければ解答できず、おそらく、行動指標だけに頼ったアプローチでは解決できない問題であると思われる。

行動指標とそれが反映する心理的過程を対応づけるには、行動指標の変化と脳の構造や機能との関係を調べるのが有効である。系列学習についても、脳の損傷部位と SRT 課題のパフォーマンスとの関係を検討する神経心理学的アプローチ (Cohen et al., 1997; Dorminey & Georgieff, 1997; Dominey, Ventre-Dorminey, Broussolle, & Jeannerod, 1997; Molinari, Leggio, Solida, Ciorra, Misciagna, Silveri, & Petrosini, 1997; Nissen & Bullemer, 1987; Reber & Squire, 1998) や、PET や fMRI などの脳機能のイメージ化技法を用いたアプローチ (Curran, 1998; Grafton, Hazeltine, & Ivry, 1995; Hazeltine, Grafton, & Ivry, 1997) が試みられてきている。

また、数はまだ少ないが、SRT 課題遂行中の脳波の変化に注目する心理生理学的アプローチもある。特に、系列学習における明示的 (explicit) 側面と潜在的 (implicit) 側面を区別して捉えるための道具として利用されている (SRT 課題では、被験者には視覚刺激が呈示される位置に対応してすばやく反応するという教示が与えられる。刺激系列に規則性があるということに被験者が気づかない場合でも反応時間の短縮は生じるので、学習は潜在的に生じていることになる。一方、試行の前に規則性のあることをあらかじめ教示しておいたり、被験者自身が試行中にその規則性を発見した場合には、学習は明示的に行われることになる)。

Zhuang, Toro, Grafman, Manganotti, Leocani, & Hallett (1997) は、潜在的小および明示的系列学習における運動皮質の役割を、刺激呈示などの事象に同期して生じる脳波の非同期現象 (event-related desynchronization, ERD) を用いて検討した。その結果、ERD は、反復系列における正反応が初めて 100% に達したブロックにおいて最も大きく生じた。特に、C3 部位における α 波減衰に有意な変化が認められた。一方で、ランダム系列ブロックでは、ERD は観察されなかった。さらに、Zhuang, Dang, Warzeri, Gerloff, & Hallett (1998) は、聴覚刺激を用いた SRT 課題で ERD を観察した。その結果、視覚刺激を用いた Zhuang et al. (1997) と同様の結果を得た。このことから、系列学習は、刺激が入力されるモダリティには影響されないことが示唆された。

脳波は、SRT 課題を遂行中の被験者から比較的簡便に測定することができるので、行動測定と同時に記録することによって、系列学習における注意の働きを調べるための有力な手段になると思われる。特に ERD は、さまざまな知覚課題、運動課題、認知課題における部分的な脳の活動の指標となる

(Pfurtscheller & Klimesch, 1991)。また、 α 波は、課題の困難度 (Sergeant, Geuze, & Van Winsum, 1987) や注意容量 (Klimesch, Pfurtscheller, Mohl, & Schimke, 1990) に敏感に反応して変化する。したがって、明示的学習時と潜在的学習時の注意の働き方の違いを調べたり、それぞれの学習時に特に活動する脳部位を特定する目的で利用できよう。

Eimer, Goschke, Schlagrcken, & Stürmer (1996) は、SRT 課題における反応時間の短縮が潜在学習によるものであることを示す明確な証拠はまだ無く、また運動に関連する処理過程が系列学習のどのような役割を果たしているのかについての知見も得られていないことを指摘し、1) 系列学習は、本当に無意識的に生じるのか、2) 学習されるのは知覚過程に関わる処理か、運動に関連する過程のどちらであるのか (あるいはその両方か)、という 2 つの問題について、行動指標と事象関連電位 (event-related potentials, ERP) を用いて検討した。ERP とは、感覚・知覚・認知などの脳の情報処理に関わる神経集団の同期的活動で生じる電場電位で (Hillyard & Kutas, 1983 ; 沖田, 1989)、刺激呈示や反応の時点に同期させて脳波を加算平均処理することによって測定可能な一過性の脳電位の変化である。

Eimer et al. (1996) は、SRT 課題遂行中の被験者から、ERP を記録した。刺激系列を反復して呈示する際、その中の一つを性質の異なる別の刺激 (逸脱刺激) で置き換えた。被験者を言語的報告や生成テストの成績によって、明示的学習を示した群とそうでない群に分け、明示的学習の有無による ERP の P3 成分、N2 成分の振る舞いの違いを調べた。その結果、系列に関する明示的 (被験者が意識した) 知識がある場合には、反復刺激に対する反応時間が逸脱刺激に比べて短縮し、さらに、逸脱刺激に対する N2 成分の振幅が増大した。このことから、彼らは N2 成分を指標として系列学習における明示的側面と潜在的側面を分離できる可能性を示唆している。学習が潜在的に (意識されることなく) 行われうるかどうかは、注意の問題と密接に関わっている。また、ERP には、聴覚刺激に対する N1 やミスマッチ陰性電位 (Näätänen & Picton, 1987)、視覚刺激に対して後頭部優勢に出現する視覚性 P1 や N1 (Mangun & Hillyard, 1991)、二次課題の難易度によって振幅が変化する P3 (Isreal, Chesney, Wickens, & Donchin, 1980) など、注意の異なる側面をそれぞれ反映する成分が複数報告されている。これらの ERP 成分を利用することによって、系列学習における注意の役割をさらに詳しく検討することができると思われる。

さらに、Eimer et al. (1996) は、系列学習の過程における運動関連処理の変化を調べるため、ERPの一種で、選択的反応準備の指標 (Coles, 1989) である偏側性準備電位 (lateralized readiness potentials, LRP) を記録した。反応時間の短縮が、運動反応の期待とより早い準備によるのであれば、LRPの開始潜時についても、短縮が観察されるはずである。N2やP3と同様に、系列に関する明示的知識の有無によるLRPの振る舞いの違いを調べたところ、明示学習群の反復刺激に対するERPには刺激呈示後100ms以内に有意なLRPの振れが認められた。これは、系列に関する知識が、系列を構成する事象に対する反応に関連する処理過程に影響を及ぼすことを示唆する結果である。ERPには、このように、刺激呈示後反応が出力されるまでの脳過程を、連続的に高い時間分解能で記録できるという長所がある。系列学習の進行にしたがって、この脳過程がどのように変化していくかを調べることで、学習によって実際に何が変化するのかに関する情報もたらされるであろう。

脳波やERPには、測定が簡便で非侵襲的に行われ、時間的分解能が高いという長所がある。一方で、脳脊髄液、頭蓋骨、皮膚など伝導率の異なる何種類もの組織を通過したあとの記録であるため、頭皮上の分布が大きくゆがんでしまい、脳波だけから正確な脳内の局所的活動部位を推定することは困難である (宮内, 1997) という欠点もある。したがって、系列学習を支える脳の働きを明らかにしていくためには、脳を覆う組織の影響を受けず、電位の発生源の推定に優れる脳磁図 (MEG) や、脳の代謝を反映する、空間的分解能の高いPETやfMRIといった測度を用いたアプローチを併用する必要がある。いずれにせよ、人間の系列学習の問題へアプローチするには、従来から数多く行われてきたように、さまざまな課題を工夫し、実験変数の操作にともなう種々の行動測度の変化を観察することに加え、構成概念としての心理学的諸過程と脳の実際の活動とを対応づける試みが不可欠であると思われる。

引用文献

- Baddeley, A. 1986 *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. 1992 Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baddeley, A. 1996 Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28.
- Baddeley, A., & Hitch, G. J. 1974 Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory Vol.2*. New York: Academic Press. Pp.89-195.
- Clegg, B. A., Digirolamo, C G., & Keele, S W. 1998 Sequence learning. *Trendy of Cognitive Sciences*, 2, 275-281.
- Cohen, A., Wasserman, A., & Soroker, N. 1997 Learning serial sequences in neglect. *Psychological Research*, 60, 42-52.
- Coles, M G H. 1989 Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, 26, 251-269.
- Curran, T. 1998 Implicit sequence learning from a cognitive neuroscience perspective. In M. A. Stadler, & P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning*. London: Sage Publications. Pp.365-400.
- Dorminey, P. F., & Georgieff, N. 1997 Schizophrenics learn surface but not abstract structure in a serial reaction time task. *NeuroReport*, 8, 2877-2882.
- Dominey, P. F., Ventre-Dorminey, J., Broussolle, E., & Jeannerod, M. 1997 Analogical transfer is effective in a serial reaction time task in Parkinson's disease: Evidence for a dissociable form of sequence learning. *Neuropsychologia*, 35, 1-9.
- Eimer, M., Goschke, T., Schlagrcken, F., & Stürmer, B. 1996 Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 22, 970-987.
- Gabrieli, J. D. E., Singh, J., Sttebins, G. T., & Goetz, C. G. 1996 Reduced working memory span in Parkinson's disease: Evidence for the role of a frontostriatal system in working and strategic memory, *Neuropsychology*, 10, 322-332.
- Grafton, S. T., Hazeltine, E., & Ivry, R. 1995 Fuctional mapping of sequence learning in normal humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 497-510.
- Hazeltine, E., Grafton, S. T., & Ivry, R. 1997 Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding: A PET study. *Brain*, 120, 123-140.
- Hillyard, S. A., & Kutas, M. 1983 Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review of Psy-*

- chology*, 34, 22-61.
- Hsiao, A. T., & Reber, A. S. 1998 The role of attention in implicit sequence learning. In M. A. Stadler, & P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning*. London: Sage Publications. Pp.471-494.
- Isreal, J. B., Chesney, G. L., Wickens, C. D., & Donchin, E. 1980 P300 and tracking difficulty: Evidence from multiple sources in dual-task performance. *Psychophysiology*, 17, 259-273.
- Klimesch, W., Pfurtscheller, G., Mohl, W., & Schimke, H. 1990 Event-related desynchronization, ERD-mapping and hemispheric differences for words and numbers. *International Journal of Psychophysiology*, 8, 297-300.
- Lashley, K. S. 1951 The problem of serial order in behavior. In L. A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior. The Hixon symposium*. New York: John Wiley & Sons. Pp.112-136.
- Logie, R. H. 1995 *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. 1991 Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 1057-1074.
- 三宅晶 1995 短期記憶と作動記憶 高野陽太郎(編) 認知心理学2 記憶 東京大学出版会 Pp.71-99.
- 水原幸夫 1994 系列的事象の潜在的学習 心理学研究, 65, 383-388.
- 水原幸夫・石田雅人 1998 潜在的系列学習—系列的反応時間課題の動向と問題— 心理学評論, 41, 446-461.
- Molinari, M., Leggio, M. G., Solida, A., Ciorra, R., Misciagna, S., Silveri, M. C., & Petrosini, L. 1997 Cerebellum and procedural learning: evidence from focal cerebellar lesions. *Brain*, 120, 1753-1762.
- Näätänen, R., & Picton, T. 1987 The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- 宮内哲 1997 人の脳機能の非侵襲的測定—これからの生理心理学はどうあるべきか— 生理心理学と精神生理学, 15, 11-29.
- Morris, N., & Jones, D. M. 1990 Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Experimental Psychology*, 81, 111-121.
- Navon, D., & Gopher, D. 1979 On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86, 214-255.
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. 1987 Attention requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- 沖田庸嵩 1989 事象関連電位と認知情報処理—選択的注意を中心として— 心理学研究, 60, 320-335.
- Pfurtscheller, G., & Klimesch, W. 1991 Functional topography during a visuoverbal judgment task studied with event-related desynchronization mapping. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 120-131.
- Reason, J. 1990 *Human error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reber, P. J., & Squire, L. R. 1998 Encapsulation of implicit and explicit memory in sequence learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 248-263.
- Schmidt, R. A. 1988 *Motor control and learning*. Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Schvaneveldt R. W., & Gomez, R. L. 1998 Attention and probabilistic sequence learning. *Psychological Research*, 61, 175-190.
- Sergeant, J., Geuze, R., & Van Winsum, E. 1987 Event-related desynchronization and P300. *Psychophysiology*, 24, 272-277.
- Shallice, T., Burgess, P., Schon, F., & Baxter, D. 1989 The origins of utilization behavior. *Brain*, 112, 1587-98.
- Stadler, M. A. 1992 Statistical structure and implicit serial learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 18, 318-327.
- Stadler, M. A. 1993 Implicit serial learning: Questions inspired by Hebb (1961). *Memory & Cognition*, 21, 819-827.
- Stadler, M. A. 1995 Role of attention in implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 21, 674-685.
- Willingham, D. B., Greenberg, A. R., & Thomas, R. C. 1997 Response-to-stimulus interval does not affect implicit motor sequence learning, but does affect performance. *Memory & Cognition*, 25, 534-542.
- 山本文枝 1999 系列学習における二次課題の影響 平成10年度広島大学大学院教育学研究科修士論文抄,

101-104.

Zhuang, P., Toro, C., Grafman, J., Manganotti, P., Leocani, L., & Hallett, M. 1997 Event-related desynchronization in the alpha frequency during development of implicit and explicit learning. *Electroencephalography and Clinical Neurophysio-*

logy, **102**, 374-381.

Zhuang, P., Dang, N., Warzeri, A., Gerloff, L. G., & Hallett, M. 1998 Implicit and explicit learning in an auditory serial reaction time task. *Acta Neurologica Scandinavica*, **97**, 131-137.