

自己組織系としての人間の運動学習

調 枝 孝 治

広島大学総合科学部保健体育講座

(1986.10.31 受理)

Human Motor Learning as a Self-Organizing Systems

Koji CHOSHI

Abstract

The purpose of this experiment was to investigate the human motor learning as a self-organizing systems using the tracking task of serial patterns.

The hierarchy of control was divided into the following three control levels: (a) the optimal control, (b) the adaptive control, (c) the self-organization.

10 male subjects (19 to 22yr.) performed 30 trials on the optimal and adaptive control conditions. Following completion of the adaptive control condition, all subjects in the self-organization instructed that the task should be repeated until a serial pattern had been completed perfectly with anticipatory response.

Results indicated that under the optimal control condition subjects performed with more correct response and more anticipatory response at the final acquisition phase, but no reliable transfer effect occurred on the adaptive control condition.

As expected, the self-organization condition significantly increased anticipatory response and reduced omission response compared to the adaptive control condition.

緒 言

人間の運動学習の研究は、ここ10年間で過去にはみられないほどの発展を示してきている^{2), 3), 10), 13), 19)}。その発展の内容は多岐にわたり、研究の対象や方法も学際的な様相を及びてきている^{21), 22), 23)}。Pavlov (1927)¹⁶⁾の古典的条件づけで始まったS-Rの連合理論は、Skinner (1938)¹⁷⁾のオペラント条件づけやHull (1943)⁴⁾の強化理論 (reinforcement theory) を経てMiller, Galanter and Pribram (1960)¹²⁾のTOTE unitに至る。他方、この連合理論に対する認知理論も忘れてはならない。Koffka (1929)⁹⁾に代表されるゲシュタルト理論は、S-Rの連合よりも体制 (organization) や構造に強調点を置き、環境を認知する主体の特性を明らかにしようと努めた。Lewin (1936)¹¹⁾やTolman (1934)²⁴⁾らの研究は、その意味で現在の認知心理学の基礎的背景を形成しているといっても過言ではない。

連合理論と認知理論の競合に加えて、現在の運動学習の研究に多大な影響を及ぼした理論は

Wiener (1961)³³⁾のサイバネティクスと Shannon & Weaver (1962)¹⁸⁾の情報理論である。現在、運動学習の問題で討議されている Adams (1971)¹⁾の閉回路理論 (closed-loop theory) と Schmidt (1975)²⁰⁾のシェーマ理論 (schema theory) は、過去の連合理論対認知理論の再来を思わせるが、その問題に対する接近法は、両者ともサイバネティクス理論に基づいた情報処理モデルを用いて研究を行っている。そして、閉回路理論とシェーマ理論に関して多くの研究が現在でも行われている。しかし、この両理論を並列に置いてAかBかの選択を性急に迫るような研究は実りが少ないと考える。ではどのような立場から人間の運動学習をとらえればよいのだろうか。

これまでみてきたように、確かに現在の運動学習理論は、それぞれの時代の代表的な思考軸の影響を受けながら発展してきたと言えよう。そして、そこには常に連合か認知か、閉回路かシェーマかという二項対立的な図式がみられる。このことは、よく知られているように、二項対立の図式が、それぞれの研究を刺激するエネルギー源ともなる。しかし、現実の運動学習の過程を観察すればわかるとおり、そこには、閉回路かシェーマかといった明確な二項対立はなく、あるのは運動スキルの習得レベルの階層性である。この点に視点を向ければ、閉回路かシェーマかという問題は、端的に言えば、運動スキルの習得レベルのどのレベルを相対的に強調した理論かという問題に帰着する。

運動スキルの習得においては、誤差検出-誤差修正に重点を置いた閉回路理論がよいのか、それとも、あるタイプの運動をいかに遂行するかということについての一般的法則の一組であるシェーマによって習得するのがよいかという問題自体は興味のあることである。しかし、先にもふれたとおり、現実の運動学習では、これらの相互作用が認められ、情報処理の型としては、混合型 (hybrid systems) に近いふるまいをする。そこで、調枝 (1981)²⁷⁾、(1982)²⁸⁾、(1985)²⁹⁾は、これらの問題を運動学習における適応過程の問題として位置づけ検討してきた。それによると、ある運動課題を安定にするためには、閉回路のネガティブ・フィードバックを用いての最適制御過程が問題となる。そして、この安定した既習能力を新しい変化事態へ適用する能力としての適応制御過程が次に問題となる。この適応制御過程で重要な役割を果たすのは、ポジティブ・フィードバックである。このように、適応には自己安定機能をめざす「機能的適応」と既存の組織化された行動パターンを変化させて、より高次の運動課題を習得する「構造的適応」があり、その両適応過程を分析することにより、閉回路理論とシェーマ理論の融合をはかろうと考えた。

ところが、これまでの研究で用いてきた適応の概念は少しあいまいな点があることに気づいた。それを気づかせたのは、最近注目を集めるようになった自己組織化 (self-organization) の研究である^{7), 8)}。

過去にも自己組織化の研究は行われていたが^{30), 31), 32)}、最近になって特にさまざまな分野で脚光を浴びるようになった直接の原因は、Prigogine ら (1977)¹⁵⁾や Haken (1985)⁵⁾の研究が引き金になっている。彼らの研究に共通している問題は、非平衡非線型開放系における自己組織的秩序 (構造) 形成のメカニズムをさぐることにある。その詳細は成書にゆずるが^{6), 8)}、その中心的課題となっている自己組織化を、もう少しわかりやすく言えばつぎのようになる。つまり、「多数の要素からなるシステムに、自律的な自己形成能力によってマクロな構造や機能が付与されたと見なされる現象を自己組織化現象と呼ぶ」⁴⁾。また、「外部からは系に何の働きかけがなくても、時間的、空間的、あるいは時空的なパターンが発達する。このような過程を自己組織化という」⁶⁾。ところが、このような自己組織化が形成されるには、そのシステムが不安定になることが指摘されている。そのため、Haken (1985)⁵⁾は自己組織化と組織化を分類して、「組織化とは、システムAが、自律的な秩序形成能力 (不安定化の能力) がなく、外部から強制外力Bが加えられた時のみに不安定化しマクロな秩序を形成する時、システムAはシステムBによって組織化された、

という形で規定される。また、システムBの力をかりずともシステムAが自律的に不安定化しうるなら、システムAは自己組織化能力があるという^{15),26)}。このような意味で用いられている自己組織化という概念は、物理・化学の相転移、生物の細胞分化や進化、運動学習の協応、脳内の情報処理、社会の流行現象など、さまざまな問題に適用されてきている。

このような自己組織化が、運動学習の過程でどのような形で発現するのだろうか。この問いを発するのは容易であるが、答えるにはほど遠いのが現状である。そこで、これまでの適応過程の研究と自己組織化の内容を関連づけながら、運動学習のメカニズムを明らかにすることにした。

高原(1985)²⁴⁾は、適応と自己組織化についてシステム論的考察をするなかで、つぎのような三つの環境適応をあげている。その第1は、構造変化はまったく起こさず、操作変数を変化さすことで行う環境適応で、これをフィードバック制御と呼ぶ。第2はメタ構造を変化させないが、構造を規定するパラメータを調整することで行う環境適応で、これを適応制御と呼ぶ。さらに第3はメタ構造すらも変化さす環境適応で、これを自己組織化と呼ぶ。そして、これらをすべて適応の側面から見ると、フィードバック的適応、調整的適応、自己組織的適応とも呼べると述べている。ここで重要なことは、フィードバック的適応は出力加算で表現される環境入力に対処し、調整的適応は構造パラメータの変化に対処し、さらに自己組織的適応は予期以上の構造変化に対処するということである。以上のような制御の階層を、これまでの調枝^{28),29)}の研究とつぎ合せた時、系列パターンの追従課題における系列位置の変化や刺激提示間隔(I S I)の速度、強化数などは、フィードバック的適応(最適制御過程)と調整的適応(適応制御過程)レベルでの適応を検討していたことになる。つまり、環境変化に対して現状維持的機能(自己安定機能)をめざしたネガティブフィードバック的機能を強化していたといえよう。では、予期以上の構造変化に対処するという自己組織的適応とは、どのような状態をいうのだろうか。高原(1985)²⁴⁾が言うには、「予想を超えた環境入力変化のため、大きな構造変化を生じ、今までの評価基準による許容範囲にもとれないとき、新しい評価基準において許容される構造に変化さすものが自己組織化である」と述べている。これを実験的に行うには、系列パターンの刺激と反応を一致させる事態から全系列を完全に見越反応で追従する事態への変化で、その適応過程を分析する必要がある。本研究では、これまでと同じ学習の転移のパラダイムの下で、最適制御(フィードバック的適応)、適応制御(調整的適応)、それに自己組織化(自己組織的適応)といった制御の階層をたどりながら、とくに適応と自己組織化の特徴を検討することにした。

研究 方 法

〔被験者〕被験者は大学生男子(19~20歳)で10名。各被験者は、最適制御過程(習得段階)で、251364という6つの系列位置をもつパターンを、1系列1試行として連続30試行追従した。ついで、この習得段階が終るとすぐに適応制御過程(転移段階)に移行し、253164という系列の中間部分が変化させられたパターンを連続30試行追従した。さらに、この転移段階が終了すると、次の自己組織化をみるために、251364という系列パターンをすべて完全に見越反応で完了するように要求された。そして、その習得段階が終了すると、すぐに同じ基準で253164という系列の中間部分が変化させられたパターンを転移段階で追従することが要求された。

〔実験装置と測度〕実験装置はFig. 1に示してある系列反応装置を用いた。これを説明すると、被験者の前方70cmの位置に合図の刺激(ブザー音)と6つの刺激表示ボックスがある。これらは左から右へ10cm間隔に並べられている。また、刺激ライト(発行ダイオード)に対して、被験者の手もとに反応器(タッチスイッチ)が左から右へと、やはり10cm間隔で6つ並べられている。

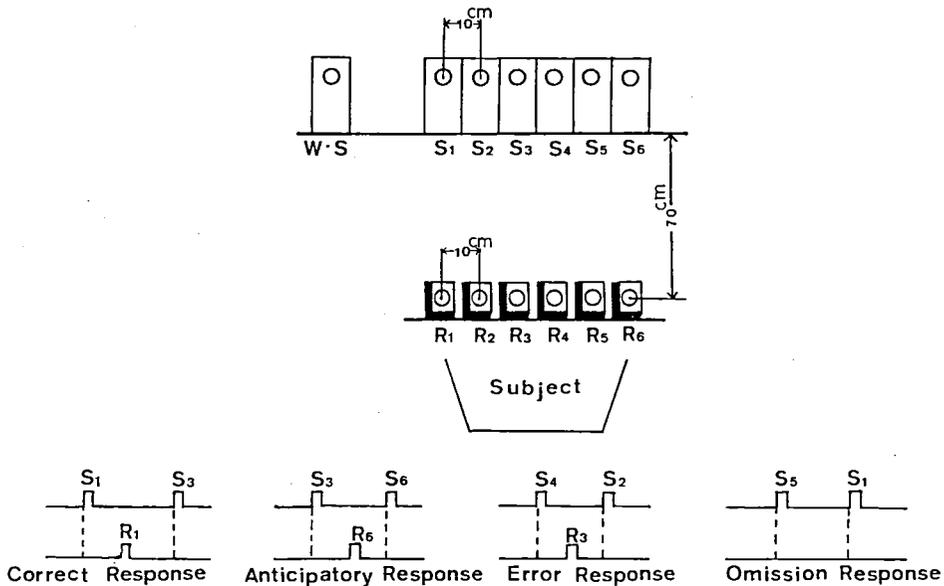


Fig. 1 Experimental situations and four performance measures

そして、刺激点灯時間は100msec、刺激提示間隔時間は500msecで実験が行われた。その際、刺激提示や試行数、データの分析はマイクロコンピュータで行った。さらに、4つのパフォーマンス測定として、Fig. 1に示してある正反応、見越反応、誤反応、無反応が分析の対象にされた。

〔実験手続〕各被験者は、まず最適制御過程(2 5 1 3 6 4)→適応制御過程(2 5 3 1 6 4)へと、それぞれ習得段階、転移段階で、30試行の系列パターンの追従課題を行った。その際、刺激と反応が一致するように提示された刺激に対応した反応器に右手の人差指をタッチするように要求された。つぎに、自己組織化過程では、習得段階、転移段階ともに提示された系列を1回完全に見越反応で完了するという基準が導入され、各被験者は、刺激ライトの点灯位置を予測しながら、見越反応を生起させるように反応器に右手の人差指でタッチするように要求された。なお、最適制御過程→適応制御過程→自己組織化過程→適応制御過程とつづく段階間の間隔は0msecでプログラム変更された。

結果と考察

10名の被験者が、最適制御過程と適応制御過程を強調した30試行条件と自己組織化過程を強調した完全見越条件で、どのような適応過程を示したかを検討するために、4つのパフォーマンス測定について示したものが、Fig. 2とFig. 3である。また、Fig. 2とFig. 3を見ればわかるように、それぞれ前半の習得段階と後半の転移段階が図の中央をさかいに区別されている。そして、習得段階と転移段階は、学習の変化を詳細にとらえるために、初期段階(initial phase)と後期段階(final phase)に分けられた。この初期と後期の段階は、それぞれ3試行が分析の対象にされた。それぞれの比率は、その後の統計的検定のため角変換($X' = \sin^{-1}\sqrt{P}$)され、それぞれの習得段階を系列位置について2要因の分散分析を行った。

(1) 30試行条件における最適制御と適応制御の処理レベル

まず、系列刺激とそれに対する反応を一致させることが学習の基準となっている、30試行条件

階に移行すると、外部パラメータの変化により、習得段階の見越反応は転移段階の初期に有意に減少している ($F(5,1)=15.44$, $P<.05$)。このような現象は、先の調枝の研究結果と同じで、見越反応の不安定性を物語っている。最適制御過程を1回完全に見越反応で終了するというこれまでの研究では、習得段階の後期に増大した見越反応を減少させながら、その代りに正反応を増大させてスムーズな適応を実現させるという結果が得られたが、この30試行条件では、正反応と見越反応においても適応がうまく行っていないことがわかった。

適応制御過程の初期と後期を比較すると、学習効果が認められた ($F(5,1)=23.01$, $P<.01$)。また、両制御過程の初期段階のレベル差をみると、明らかに有意であり ($F(5,1)=8.38$, $P<.05$)、後期段階では有意な差は認められなかった。

正反応と見越反応の相補関係は、学習の進歩をみる場合、その視点がネガティブ・フィードバックからポジティブ・フィードバックへと移行する点にそそがれる。そして、このポジティブ・フィードバックによる予期せぬ構造変化に対する適応が自己組織化だというわけである。しかし、今回の30試行条件での見越反応の出現抑制は、自己組織化の過程に少なからず影響を与えると考えられる。

〔誤反応〕正反応と見越反応から最適制御過程と適応過程を検討してきたが、つぎに誤反応に移る。当然のことながら、正反応と見越反応の増大は誤反応と無反応の減少を招くという相補関係がある。その意味からすると誤反応と無反応の検討は冗長に映るかもしれない。そのため、主要な結果のみを述べることにする。

習得段階の初期と後期で有意な誤差の減少 ($F(5,1)=13.08$, $P<.05$) があり、習得段階の後期と転移段階の初期では差は認められなかった。そして、転移段階の初期と後期の比較では、誤反応の増大が後期 ($F(5,1)=9.86$, $P<.05$) で認められ適応のまずさを露呈していた。また、誤反応の量に関しては、両制御過程の後期間に有意な差が認められた ($F(5,1)=26.79$, $P<.01$)。

〔無反応〕無反応の出現が予測されるのは、学習の初期段階と外部パラメータの変化が導入された転移段階の初期である。Fig. 2 をみると、増→減→増→減のパターンが見られる。そういう点から検討すると、習得段階の初期と後期で有意な減少 ($F(5,1)=13.42$, $P<.05$)、習得段階の後期と転移段階の初期で有意な増大 ($F(5,1)=8.52$, $P<.05$)、さらに転移段階の初期と後期で有意な減少 ($F(5,1)=18.63$, $P<.01$) となっていた。それ以外の習得レベルの比較はすべて差は認められなかった。

以上、4つのパフォーマンス測度から最適制御過程→適応制御過程までを検討してきた。その結果、最適制御過程はうまく行っているが、系列位置の変化という外部パラメータの変化に対する適応制御過程は、スムーズに遂行されなかった。さらに気づいた点は、正反応における系列位置効果の有意差である。正反応以外の他の測度においては、系列位置の効果はまったく認められなかった。このことは、30試行という試行数による習得基準の設定事態では、正反応での運動課題の解決がはかられていることを示唆するもので、系列を組織化するための秩序パラメータの役割を果たしていると考えられる。では、つぎに自己組織化の段階を検討することにする。

(2) 完全見越条件における自己組織化の処理レベル

これまでの30試行条件における学習と適応は、30試行くりかえす内に、要求された系列パターンを主として正反応で追従できればと被験者は考えるだろう。そして、正反応と見越反応で習得段階の後期には、約70%の出来ばえであった。そして、この習得段階では、目標値と実現値の偏差を減少させることが主要目的であり、刺激の提示速度や反応の順序を理解しながら最適化がはかられているといえよう。そして、既習の能力を適応過程でいかに適用するかという事態で、構造パラメータの変化に対処させられた。その結果はあまり良好とはいえないレベルであった。

そして、つぎに自己組織化の過程に移行したわけであるが、この自己組織化というのは、予期以上の構造変化に対処する状態をさす。つまり、この実験では、刺激と反応を一致させるという構造を維持してきて、その基準から一気に全系列を見越反応で1回完了するという、つまり刺激と反応の一致からすべての反応を刺激の提示前に行うという構造変化を導入した時の適応過程を検討することが目的となっている。このことをもう少しわかりやすくいえば、古い評価基準から徐々に構造変化をとげ新しい評価基準での許容範囲に適応できるかどうかということである。その適応を自律的に行うことから自己組織化のパターンが形成されるが、それは一体いかなるものかをさぐるのが興味を中心である。その分析と考察の対象は、30試行条件における転移段階の後期と完全見越条件における習得段階（本来の意味からすれば、これは転移段階であるが、ここでは習得段階と表示する）の初期の処理レベルである。

完全見越条件の結果は Fig. 3 に示してある。

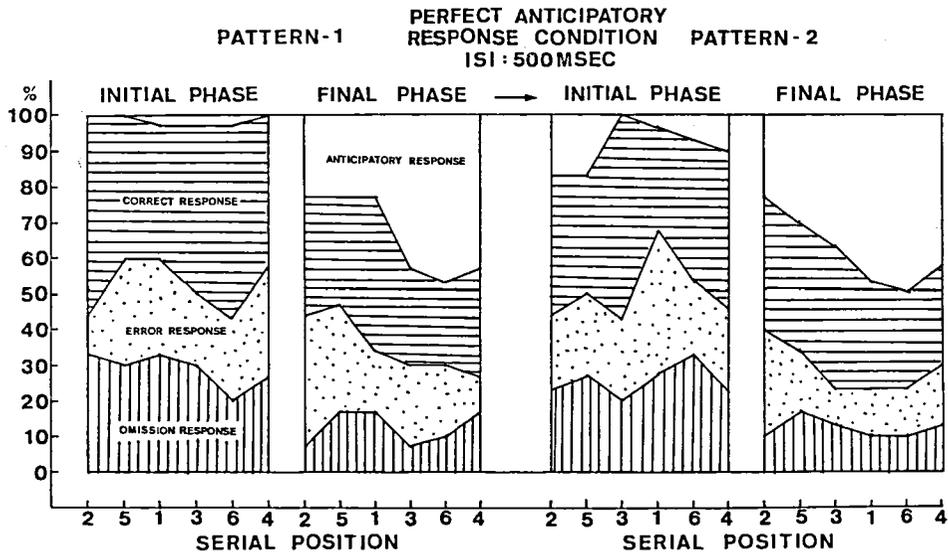


FIG.3 Percentage of four performance measures as a function of the serial position.

そこで、まず4つのパフォーマンス測定について、適応制御過程の後期と自己組織化過程の初期について比較検討することにする。

(a) 適応制御過程から自己組織化過程への移行

〔正反応〕 適応制御過程から自己組織化過程への移行では、まず系列位置の変化という構造パラメータの調整が必要である。さらに正反応での30試行から系列をすべて見越反応で1回完全に完了するという、いわゆる秩序パラメータの変化があり、この構造変化に対する調整が必要である。そこで、4つのパフォーマンス測定について、適応制御過程の転移段階後期と自己組織化過程初期を比較した。その結果、正反応では変化がみられなかった。

〔見越反応〕 見越反応では、構造パラメータ、構造変化の影響で自己組織化過程の初期では、見越反応は減少した ($F(5,1)=153.16, P<.01$)。見越反応の減少をどう解釈するかであるが、これまでの適応過程に関する一連の研究結果と同じく、変化に対しては、見越反応の減少と正反応の増大が機能維持につながるという学習戦略がここでも生きていると考えられる。系列全体を完全に見越反応で完了するという学習基準があるが、やはり学習の初期段階では、秩序パラメータとしての見越反応は不安定系であることが明らかになった。

〔誤反応〕 誤反応については、適応制御過程よりも自己組織化過程の方が有意に ($F(5,1)=15.94, P<.01$) 減少していた。この誤反応の減少と相補的關係にある無反応はどうかというと、期待されたとおりの結果が生じた。

〔無反応〕 構造パラメータと構造変化が同時に生じた場合、無反応の出現率が増大 ($F(5,1)=27.21, P<.01$) することは当然考えられることである。この場合における無反応は、文字通り、混乱と不安定な様相を被験者に強要する。しかし、見越反応の減少と無反応の増大は自己組織化に必要な系の不安定性を導入するもので、学習の初期におけるこのような「ゆらぎ」現象は後の組織化を容易にするとされている。そのことをみるには、自己組織化過程の習得段階の後期をみればわかる。Fig. 3 をみると、見越反応の増大が著しい。この学習基準達成直前の状態をそれぞれの段階で比較すると、そこには特異な状態での再組織化が生じていることがわかる。

(b) 自己組織化過程の特徴

それでは、つぎに自己組織化の過程を特徴づけている点を抽出するために、30試行条件で行なった検討と同じやり方で各習得・転移段階をみることにする。

〔正反応〕 提示される系列パターンを1回完全に見越反応で完了することが要求されているため、それぞれの段階の後期では見越反応の増大が期待できる。しかし、その前に正反応の出現率について検討する。まず、習得段階の初期と後期を比較すると、統計的には有意でないが、後期にはやや減少する傾向がみられた。その他の段階間ではいづれも差は見出されず、正反応の割合は一貫していた。このような結果はめずらしい。ただ、習得段階と転移段階の後期において、系列位置が有意であった ($F(5,5)=12.51, P<.01$)。

〔見越反応〕 つぎに本来の学習基準である見越反応では、習得段階の初期と後期で有意に増大 ($F(5,1)=101.19, P<.01$) し、習得段階の後期と転移段階の初期で有意に減少 ($F(5,1)=16.51, P<.05$) し、さらに転移段階の初期と後期では有意に増大 ($F(5,1)=17.95, P<.01$) するという習得パターンが認められた。また、両制御過程の初期段階間と後期段階のレベルには有意な差は認められなかった。有意な差が認められたのは、両制御過程の後期の系列位置効果であった ($F(5,5)=16.58, P<.01$)、30試行条件と完全見越条件の両制御過程の後期について比較すればわかるとおり、そこには学習の目標による高次からの支配が表われた習得パターンのちがいがあつた。そして、転移段階の初期においても、自己組織化の過程では外部パラメータの変化部分における誤反応の増大と見越反応の減少が、その後の見越反応の増大の引き金になっている。

高原 (1985)²⁴⁾ は、自己組織化的適応についてつぎのように述べている。「…自己組織化的適応は、現状維持がしきれない環境変化を想定するものであるから、自己組織化により実現される構造は現状と大きくずれることが考えられる」。このことは、Fig. 2 と Fig. 3 のとくに後期段階を比較してみるとおもしろい。また、自己組織化的適応の変化の多くは、不連続的 (ポジティブ・フィードバックによる変化) であるとも述べている。この点についても、習得段階と転移段階の後期のレベルから一気に100%の見越反応が形成されるという結果からうなずける。これまでのことから、適応制御過程も自己組織化過程も同じように構造変化に対する適応を問題にするが、前者は予想範囲内の構造パラメータの変化に対する調整であり、後者の場合は、予想範囲外の構造変化に対する対処で不連続的变化の形をとる。これらの点については今後の検討を待つしかない。

〔誤反応〕 自己組織化過程における誤反応は、すべての段階間で有意な差は認められなかった。

〔無反応〕 その意味から、習得パターンの特異な形成に寄与したものとしては、見越反応と無反応ということになる。無反応について検討すると、見越反応とは逆の關係が見出された。すなわち、習得段階の初期と後期では有意に減少し ($F(5,1)=29.06, P<.01$)、習得段階の後期と転

移段階の初期では有意に増大し ($F(5,1)=16.33, P<.01$), さらに, 転移段階の初期と後期では有意に減少 ($F(5,1)=32.10, P<.01$) するという習得パターンであった。そして, 兩制御過程の後期段階間では, 系列位置 ($F(5,5)=5.72, P<.05$) の効果が認められた。

以上のことから, 自己組織化過程の特徴を述べると, 正反応と誤反応はどの段階においても一貫した出現率を示し, 系列パターンの自己組織化が進むのは主として見越反応の増大と無反応の減少による一様でない習得パターンを形成することがわかった。しかし, 適応制御過程から自己組織化過程の転移は, 自己組織化過程の初期で正反応の増大, 見越反応の減少, 誤反応の減少, 無反応の増大というこれまで適応制御過程で見られた傾向と同様な結果が見出された。

〔見越反応時間〕自己組織化過程では, 系列パターンを1回完全に見越反応で完了することが学習の到達基準となっている。そのため, 習得段階の後期と転移段階の後期における見越反応時間を示したものが, Fig. 4 である。

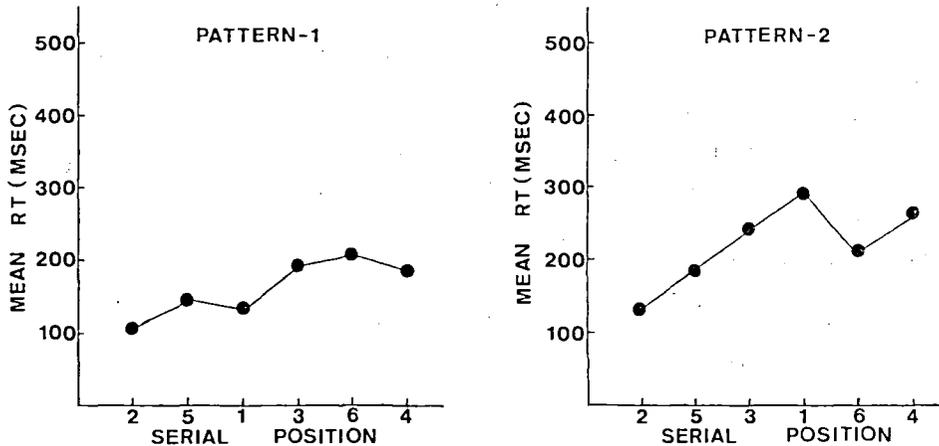


Fig.4 Mean anticipatory reaction times as a function of the serial position.
〔ISI:500msec〕

まず, 兩段階と系列位置を検討すると, 兩段階間 ($F(5,1)=9.44, P<.05$) で有意な差が認められ, 習得段階の方が転移段階よりも早く反応していることがわかった。この実験では, 刺激提示の間隔時間は500msecである。最も安全に反応しようとするなら, 250msecのあたりが妥当なところである。しかし, 習得段階の後期では, 200msec以下の早さで反応し, 系列位置の変化した転移段階の後期では, 系列の変化部分で他の系列位置よりゆっくり反応していることがわかった。この部分が見越反応の出現率が高いことと考え合わせれば, 余裕の指標になるかもしれない。このように見越反応時間の分布は, その運動課題の処理レベルと深い関係をもつものと考えられる。しかしその点を強調するのであれば, 多くのデータが必要である。

以上, 系列パターンの追従課題を学習する場合に, 最適制御, 適応制御, 自己組織化といった制御の階層をモデルにして, それらをひとつの運動課題の中でとらえる工夫をしてみた。しかし, モデルと結果の対応性が十分でなく, とくに自己組織化の解釈にあたっては実験の方法とともに今後の課題とする。

要 約

10人の男子大学生に系列パターンの追従課題を与えて, 最適制御過程(習得段階)と適応制御過程(転移段階)で30試行づつ追従させた。その後, 系列パターンを完全に見越反応で完了すると

いう学習基準のある自己組織化過程に移行させ、そこでも習得段階と転移段階で系列パターンを追従させた。そして、それぞれの制御過程の各段階について、4つのパフォーマンス測定（正反応、見越反応、誤反応、無反応）から、その適応過程を比較した。その結果、最適制御過程は正反応と見越反応で高い習得レベルを示したが、その後の適応制御過程では、良好な適応レベルは見出されなかった。さらに適応制御過程から自己組織化過程へ移行したが、その初期段階における適応は、これまでの適応制御過程で見出された結果と同じ傾向であった。しかし、自己組織化過程における適応レベルは見越反応の増大と無反応の減少により、適応制御過程の適応レベルよりも高かった。

これらの結果は、制御の階層モデルに即して検討がなされたが、実験方法の改善が今後の問題として残された。

参 考 文 献

- 1) Adams, J.A.: A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150, 1971.
- 2) Goodman, D., Wilberg, R.B. & Franks, I.M. (Eds.): *Differing perspectives in motor learning, memory, and control*. New York: North-Holland. 1985.
- 3) Holding, D.H. (Ed.): *Human skills*. New York: John Wiley & Sons. 1981.
- 4) Hull, C.L.: *Principles of behavior*. New York: Appleton-Century-Croft. 1943.
- 5) Haken, H.: *Synergetics (3rd edition)*. Springer-Verlag. 1985.
- 6) ハーケン, H. / 齊藤・小森・長島訳: シナジェティクスの基礎. 東海大学出版会. 1986.
- 7) ハーケン, H. / 高木訳: 自然の造形と社会の秩床. 東海大学出版会. 1985.
- 8) Jantsch, E.: *The Self-organizing universe*. New York: Pergamon Press, 1980.
- 9) Koffka, K.: *Growth of the mind*. New York: Harcourt, Brace & World. 1929.
- 10) Kelso, J.A.S. (ed.): *Human motor behavior: An introduction*, Hillsdale, New Jersey: LEA. 1982.
- 11) Lewin, K.: *Principles of topological psychology*. New York: McGraw-Hill. 1936.
- 12) Miller, G.A., Galanter, R. & Pribram, K.H.: *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Rinehart & Winston. 1960.
- 13) Magill, R.A. (Ed.): *Memory and control of action*. New York: North-Holland. 1983.
- 14) 長島知正: 自己組織化の数理序説—物理・化学系における展開. 計測と制御, 25巻, 63-69, 1986.
- 15) Nicolis, G. and Prigogine, I.: *Self-organization in nonequilibrium systems*. New York: John Wiley & Sons. 1977.
- 16) Pavlov, J.P.: *Conditioned reflexes*, G.V. Anrep, (Trans) London: Oxford University Press. 1927.
- 17) Skinner, B.F.: *The behavior of organisms. An experimental analysis*. New York: Appleton-Century-Croft. 1938.
- 18) Shannon, C.E. & Weaver, W.: *The mathematical of communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1962.
- 19) Schmidt, R.A.: *Motor control and learning*. Champaign Illinois. *Human Kinetics*, 1982.
- 20) Schmidt, R.A.: A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260, 1975.
- 21) Stelmach, G.E. (Ed.): *Motor control: Issues and trends*. New York: Academic Press. 1976.
- 22) Stelmach, G.E. (Ed.): *Information processing in motor control and learning*. New York: Academic Press, 1978.
- 23) Stelmach, G.E. & Requin, J. (Eds.) *Tutorials in motor behavior*. New York: North-Holland.

- 1980.
- 24) 高原康彦：システム論から見た適応，自己組織化，学習の概念—組織の創造性と革新性の理解のために—。組織科学。19巻，66—77，1985。
 - 25) Tolman, E. C. : Theories of learning. In F. A. Moss (Ed.) Comparative psychology, Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Holl. 1934.
 - 26) 津田一郎：脳—情動的自己組織。数理科学。227号，10—20，1986。
 - 27) 調枝孝治：適応システムにおけるエラー反応の意義。スポーツ心理学研究。第7巻，第1号，60—64，1981。
 - 28) 調枝孝治：運動学習における適応過程の分析。広島大学総合科学部紀要Ⅲ。情報行動科学研究。第6巻，75—82，1982。
 - 29) 調枝孝治：知覚—運動学習の適応過程—複雑性と相補性。広島大学総合科学部紀要Ⅵ。保健体育学研究。第3巻，21—30，1985。
 - 30) Von Forester, H. and Zopf, G. W. (Eds.) : Principles of self-organization. New York : Pergamon Press. 1962.
 - 31) Yovits, M. C. & Cameron, C. (Eds.) : Self-organizing systems. New York : Pergamon Press. 1960.
 - 32) Yovits, M. C., Jacobi, G. T., Goldstein, G. D. (Eds.) : Self-organizing systems. Spartan Books. 1962.
 - 33) Wiener, N. : Cybernetics. New York : The M. I. T. Press. 1961.