

## 系列位置の変化にたいする適応制御

調 枝 孝 治

広島大学総合科学部保健体育講座

(1990.10.31受理)

### Adaptive Control for Changed Serial Position

Koji CHOSHI

#### Abstract

The present study examined adaptive control processes for changed serial position using the tracking task of serial patterns. Subjects were 30 right-handed female undergraduate students. They were randomly assigned to the three groups (changed first half group, changed latter half group, and inverted group) with the ten subjects in each group. All subjects performed 30 trials on the feedback and adaptive control condition.

Results revealed that under the feedback control condition three groups performed with more anticipatory response at the final acquisition phase, but the anticipatory response at the final transfer phase was not significantly increased at each changed serial position.

Results were discussed in term of changed structural parameter and order through fluctuation.

#### 緒 言

人間の運動制御の階層性にはつぎの三通りの制御レベルが仮定されている<sup>6)</sup>。その第1は、フィードバック制御と呼ばれる制御で、そこでの必要な操作は、誤差検出-誤差修正である。そして、閉回路のネガティブ・フィードバックを用いて、目標値と実現値の誤差をできるだけゼロに向けて減少させる制御過程である。その意味からいえば、フィードバック制御は、系の「自己安定機能」をめざすことに重点が置かれている。第2は、構造を規定するパラメータを調整することによって行う制御で、これを適応制御と呼ぶ。第1のフィードバック制御過程により、各運動機能を安定化させた既習能力を新しい変換事態へ適用する能力を、一般には適応力 (adaptability) というが、このような適応制御過程での重要な役割は、運動の遂行に関与した構造パラメータ (たとえば、刺激提示速度、刺激と反応間の距離、反応の方向、刺激系列の位置など) の変化に対して調整をすることによる適応である。ここで、注意すべきことは、フィードバック制御も適応制御も、ネガティブ・フィードバックによる現状維持機能をめざしているということである。さらに、第3の制御レベルは、構造を変化させる制御で、これを自己組織制御と

呼ぶ。自己組織制御は予期以上の構造変化に対処する制御過程で、主としてポジティブ・フィードバックにより、現状の構造からできるだけ早く遠ざかろうとする制御である。

調枝 (1981)<sup>1)</sup>, (1985)<sup>2)</sup>, (1986)<sup>3)</sup>, (1987)<sup>4)</sup>, (1988)<sup>5)</sup>は、人間の運動学習の複雑性を明らかにするために以上のような運動制御の階層モデルを仮定して、系列パターンの追従課題を用いて各制御レベルを検討してきた。これらの研究は、主としてフィードバック制御から適応制御への移行が研究対象としてとりあげられてきた。

系列パターンの追従学習では、構造パラメータとして系列位置がとりあげられた。そして6つの系列位置の内2つづつの位置変化を導入した初期変更パターン、中間変更パターン、最終変更パターンといった系列位置の変化に対する調整過程を4つの反応測度（無反応、誤反応、正反応、見越反応）から分析した。その結果、構造パラメータとしての系列位置の変化があった適応群の特徴は、フィードバック制御過程の後期段階では増大していた安定指標である正反応を減少させて、その代りに見越反応の増大がみられた。そして、系列位置の変化がある適応制御過程の初期段階では、見越反応を減少させ、その代りに正反応で適応するという反応測度間の相補性が認められた。さらに興味深い点は、構造パラメータとしての系列位置の変化部分で、適応制御過程の後期段階ではフィードバック制御過程の後期段階よりも多くの見越反応が生じたことである。しかし、調枝 (1987)<sup>5)</sup>の研究では、構造パラメータとして系列位置と刺激提示速度の両方が変化させられた。その結果、適応制御過程の後期段階で見られた組織化の増大は認められなかった。

そこで、本研究では構造パラメータとしての系列位置に焦点をしばって、その変化の大きさを操作した時の適応制御レベルを検討することにした。それは、本来の意味からすれば適応制御はネガティブ・フィードバックの現状維持型の制御であるが、その適応過程での構造パラメータの変化が安定系を不安定系にし、そのゆらぎの導入から新しい秩序が増幅される可能性があると考えられるからである。

## 研 究 方 法

〔被験者〕被験者は大学生女子30名（19～20歳）。各被験者は10名ずつランダムに、系列位置の変化部分が異なる3つの群に割り当てられた。3つの系列追従パターンはつぎのとおりである。系列の前半変更群（Changed First Half Group；CFH群）：フィードバック制御過程（習得段階）2 5 1 3 6 4 → 適応制御過程（転移段階）1 2 5 3 6 4。系列の後半変更群（Changed Latter Half Group；GLH群）：フィードバック制御過程（習得段階）2 5 1 3 6 4 → 適応制御過程（転移段階）2 5 1 4 3 6。系列の逆転変更群（Inverted Group；I群）：フィードバック制御過程（習得段階）2 5 1 3 6 4 → 適応制御過程（転移段階）4 6 3 1 5 2。各群の各被験者は両制御過程を1系列を1試行として、それぞれ30試行系列を追従した。

〔実験装置と測定〕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左から右へ10cm間隔で並べられている。これらの刺激ライト（発光赤色ダイオード）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。

刺激点灯時間は100msec。また刺激提示間隔時間は3群とも両制御過程で500msecであった。4つのパフォーマンス測度は、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〕各被験者は両制御過程において、刺激ライトの点灯を予測しながら、点灯と反応が一致す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。その際の見越反応は自由

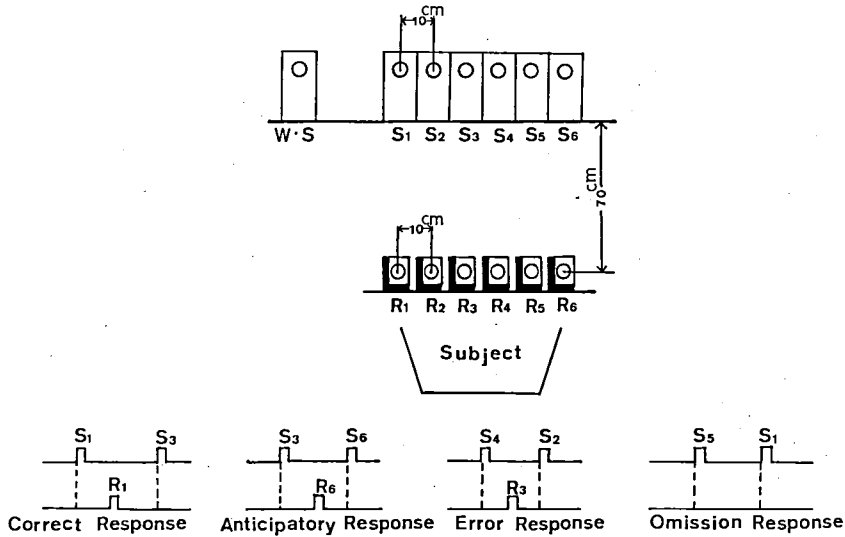


Fig.1 Experimental situations and four performance measures

にさせた。なお、フィードバック制御過程から適応制御過程への移行は30試行後自動的に行われた。

### 結果と考察

構造パラメータとしての系列パターンの位置を三通りに変化させた3群が、フィードバック制御過程と適応制御過程でどのようなパフォーマンスを示すかを比較検討するために、両制御過程を初期段階 (initial phase) と後期段階 (final phase) に分けた。すなわち、それぞれの段階は最初の3試行と最後の3試行をとりあげ、各10名の反応出現率を4つのパフォーマンス測度について算出した。この比率で示された値は、その後の統計的検定のために角変換 ( $X' = \sin^{-1} \sqrt{P}$ ) して、群と系列位置の2要因の分散分析を行なった。

〔正反応〕 3群の正反応の結果は Fig. 2 に示してある。まず群内の変化を検討することからはじめる。フィードバック制御過程の初期段階と後期段階では CFH 群 ( $F(1, 5) = 9.31, P < .05$ ) と I 群 ( $F(1, 5) = 7.73, P < .01$ ) の正反応の減少がみられたが、CLH 群は有意な減少を示さなかった。ここで注意すべきことは、I 群の正反応の減少は、つぎに検討する見越反応の増大によるもので学習の効果が認められるが、他方、CFH 群の正反応の減少は無反応や誤反応の増大によることが Fig. 4 と Fig. 5 からわかり、この群のフィードバック制御レベルにおける成績はあまりよくないことが示された。

さらに、フィードバック制御過程の後期段階と適応制御過程の初期段階をみると、I 群 ( $F(1, 5) = 8.54, P < .05$ ) のみが有意に正反応の増大を示している。この段階は、研究の主目的である構造パラメータの変化が導入してある段階である。その意味からいえば、フィードバック制御過程での学習が最も安定していた I 群が新しい変化事態への適応を他の群に比較して達成していることがわかる。そして、構造パラメータが変化した CFH 群と CLH 群の正反応は、その系列の変化部分で正反応の減少が著しい。このような過程を経て、適応制御過程の初期段階と後

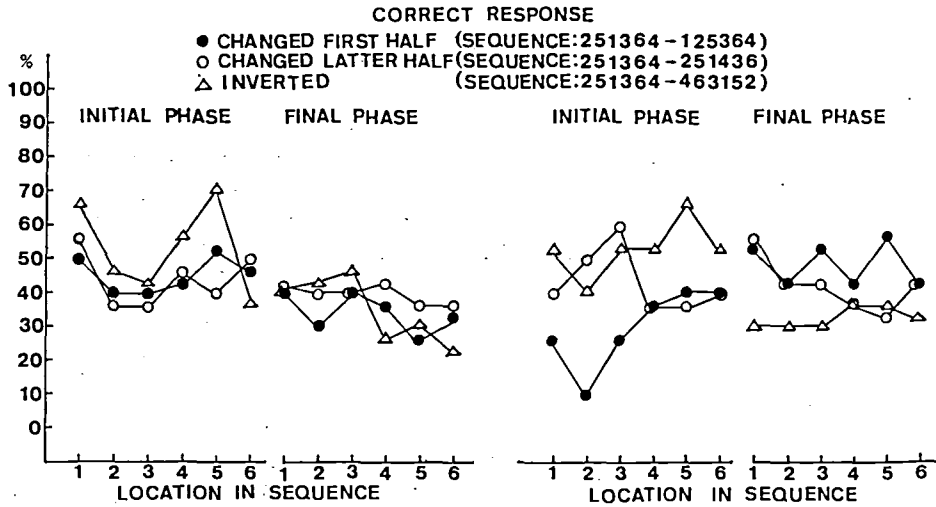


Fig.2 Percentage of correct responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

期段階を比較すると、CFH 群 ( $F(1, 5)=12.82, P<.05$ ) の正反応は増大し、I 群 ( $F(1, 5)=8.54, P<.05$ ) では正反応が減少することがわかった。また、CLH 群の正反応のレベルは両制御過程のすべての段階で有意な変化を示さず一定であることも認められた。

両制御過程の初期段階間と後期段階間については、CFH 群の初期段階 ( $F(1, 5)=13.15, P<.05$ ) と後期段階 ( $F(1, 5)=18.71, P<.01$ ) のみで正反応の有意な変動が示された。

また、両制御過程の各段階における 3 群間の比較をしたが有意な差は見出されなかった。

〔見越反応〕系列パターンの追従課題では、見越機能の役割は重要でありこの機能なくしては追従の向上は望めない。そのため、この種の学習では、見越反応の生起は学習レベルの高次化を意味している。3 群の結果を Fig. 3 に示してあるが、正反応と同様にまず群内の変化を検討する。見越反応の測度に関しては、正反応との相補関係が認められるが、この Fig. 3 をみると 3 群とも同様な変化を示している。つまり、フィードバック制御過程の初期と後期の段階、フィードバック制御過程の後期段階と適応制御過程の初期段階、さらに適応制御過程の初期段階と後期段階の比較を 3 群について検討すると、つぎのような結果が明らかになった。各群について、それぞれの段階ごとに示せば、CFH 群は ( $F(1, 5)=580.96, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=59.78, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=27.21, P<.01$ ) であり、CLH 群は ( $F(1, 5)=1786.27, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=118.35, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=66.22, P<.01$ ) という結果であった。さらに、I 群は ( $F(1, 5)=4596.42, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=159.41, P<.01$ ) → ( $F(1, 5)=79.41, P<.01$ ) というように、見越反応の増大と減少をくりかえすパターンとなっている。

そして、フィードバック制御過程の後期段階と適応制御過程の後期段階の比較では、I 群 ( $F(1, 5)=171.12, P<.01$ ) のみが有意に見越反応を減少させていた。3 群間の比較では、フィードバック制御過程の後期段階のみ有意 ( $F(2, 10)=60.38, P<.01$ ) な差が見出された。これまでの調枝の研究では<sup>2), 3), 4)</sup> 系列位置の変更は 2 箇所であった。その場合、フィードバック制御過程の後期段階の見越反応のレベルよりも適応制御過程の後期段階の見越反応のレベルは高くなることが明らかにされたが、本研究のような系列位置の変更では、そのような秩序の

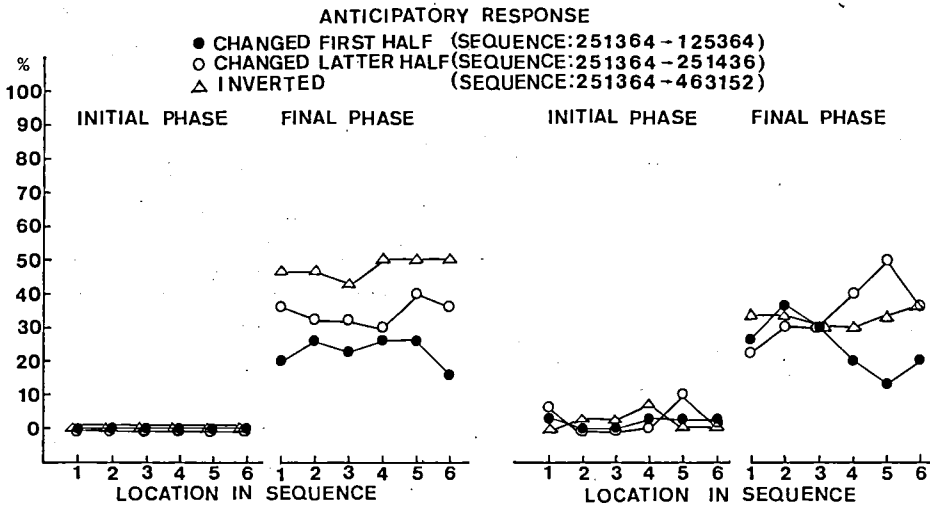


Fig.3 Percentage of anticipatory responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

増幅過程は見出されなかった。しかし、Fig. 3をみるとわかるとおり、適応制御過程の後期段階では、構造パラメータとしての系列位置の変化部分で、他の部分よりは見越反応の増加が認められるだろう。ただ、系列の順序を逆転したI群では、そのような徴候は認められず、むしろフィードバック制御過程の後期段階のレベルよりも低下することが判明した。これらのことは、フィードバック制御過程で習得した安定系に対して、構造パラメータの変化を導入し、そのゆらぎを通しての秩序の形成をはかる自己組織化には、構造パラメータとしての系列位置の変化の大きさが最適でないことを示唆する。今後は、安定系に対して外部パラメータの変化により不安定になる過程で生じる「ゆらぎ」の大きさを詳細に検討する必要がある。これまでの正反応と見越反応の両結果から、構造パラメータの変化に対する調整を行いながら現状維持を回復させる適応制御のレベルを明らかにしたが、それ以上の構造変化は生じなかったといわざるを得ない。

〔誤反応〕 誤反応の結果は Fig. 4 に示してある。まず群内を検討すると、フィードバック制御過程の初期と後期段階では、CLH群 ( $F(1, 5)=16.93, P<.05$ ) とI群 ( $F(1, 5)=12.17, P<.05$ ) がともに誤反応を有意に減少させている。そして、構造パラメータの系列位置が変化した適応制御過程の初期段階に移行すると、I群 ( $F(1, 5)=21.13, P<.01$ ) のみが誤反応を多く生起させている。そして、適応制御過程の初期と後期段階の比較では、CFH群 ( $F(1, 5)=6.62, P<.05$ ) のみが有意に誤反応を減少させていた。さらに、両制御過程の後期段階の比較でI群 ( $F(1, 5)=15.92, P<.05$ ) の誤反応が増大していることも明らかになった。これは、適応制御過程の後期段階での見越反応の減少と深く関係している。ここでも、系列位置の変化が最も劇的だったI群の混乱ぶりがうかがえる。3群間の比較ではどの段階も有意な差は見出されなかった。

〔無反応〕 誤反応と同様な傾向が無反応にも見出せるかと考えながら、Fig. 5をみると、フィードバック制御過程内では、I群 ( $F(1, 5)=21.88, P<.01$ ) が有意に無反応を減少させていた。

そして、フィードバック制御過程の後期段階と適応制御過程と初期段階では、CFH群 ( $F(1$

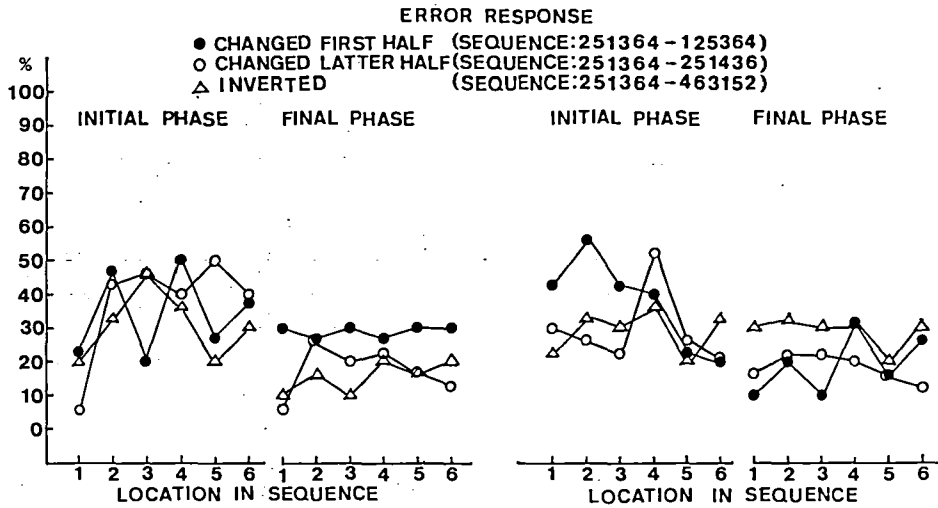


Fig.4 Percentage of error responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

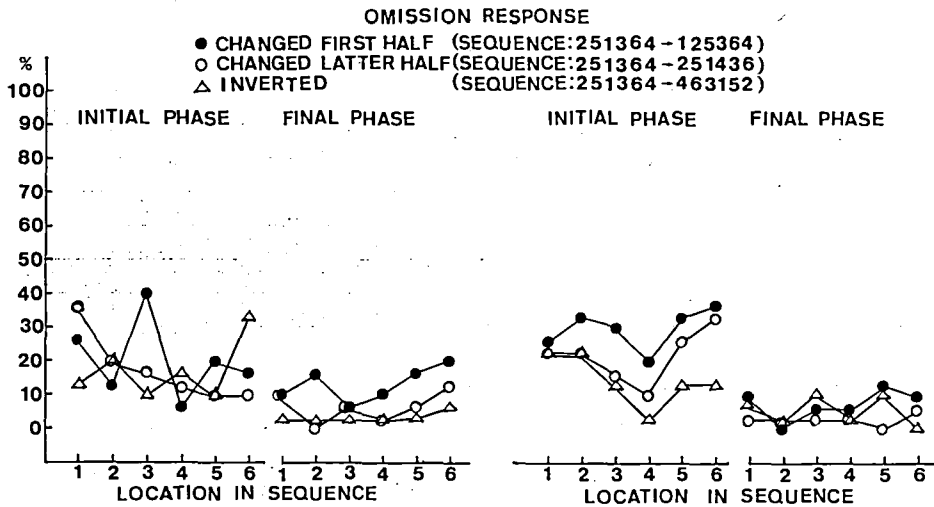


Fig.5 Percentage of omission responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

, 5) = 74.12,  $P < .01$ ) と CLH 群 ( $F(1, 5) = 20.96, P < .01$ ), それに I 群 ( $F(1, 5) = 14.10, P < .05$ ) と, それぞれの群の無反応は有意な増大を示した。ところが, 適応制御の初期と後期の段階を比較してみると, CFH 群 ( $F(1, 5) = 26.57, P < .01$ ), CLH 群 ( $F(1, 5) = 33.96, P < .01$ ), それに I 群 ( $F(1, 5) = 7.14, P < .05$ ) と, それぞれの群の無反応は有意に減少した。また, 両制御過程の初期段階のパフォーマンスレベルを比較すると, 両段階とも同じレベルにあることがわかった。これは, 無反応の変動から適応制御がネガティブ・フィード

バックによる構造パラメータの調整だということがよくわかる。

以上の結果から、これまでの類似の研究結果と一致した点は、フィードバック制御過程の後期段階では、正反応の減少にともなう見越反応の増大という反応測度間の相補性が再確認されたこと。さらに、構造パラメータとしての系列位置の変化を導入した適応制御過程の初期段階では、見越反応の著しい減少が見出され、その代りに正反応で応答したのはI群であり、これを可能にさせたのは、フィードバック制御過程での見越反応の増大であるといえる。また、構造パラメータの変化部分での見越反応の増大は、フィードバック制御過程の後期段階のレベルにあり、とくにI群の落込み方はひどかった。これらのことから、適応制御過程における構造パラメータである系列位置の変化の大きさは、これまでの研究結果のように小さい方がパターンの秩序化が一層進むと考えられる。

## 要 約

大学生女子30人に系列パターンの追従課題を与えて、構造パラメータとしての系列位置の変化のないパターンを追従するフィードバック制御過程とそれらのあるパターンを追従する適応制御過程を1系列として1試行として30試行追従させた。系列パターンの前半、後半、逆転という3つの変更パターンを追従する3群について、4つのパフォーマンス測度（正反応、見越反応、誤反応、無反応）から各群の適応過程を比較検討した。その結果、3群ともフィードバック制御過程の後期段階で、正反応を減少させて見越反応を増大させるという反応測度間の相補性を示した。そして、構造パラメータの変化がある適応制御過程の初期段階では、3群の見越反応の減少は著しかった。さらに、これまでの研究で明らかにされた知見、すなわち、適応制御過程の後期段階において、構造パラメータの変化部分での見越反応の増大という現象は明確な形では見出されなかった。このことは、適応制御過程での「ゆらぎ」はどの程度のものが最も系を秩序立てることに貢献するかという問いに答えなければならないことを意味している。

## 参考文献

- 1) 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：60-64, 1981.
- 2) 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IV, 情報行動科学研究, 第6巻：75-82, 1982.
- 3) 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.
- 4) 調枝孝治：自己組織系としての人間の運動学習. 広島大学総合科学部紀要VI, 保健体育学研究, 第4巻：11-21, 1986.
- 5) 調枝孝治他：系列パターン学習のパラメータ適応制御. 広島大学総合科学部紀要VI, 保健体育学研究, 第5巻：29~38, 1987.
- 6) 高原康彦：システム論からみた適応, 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, 第19巻：66-77, 1985.