

# 目的指向行動におけるエラー処理に関する 心理生理学的研究

## 学位論文内容の要旨

我々は生きていくために、複雑に変化を続ける自然的・社会的環境の中で変化に対応しながら行動している。この我々の行動の多くは、何らかの目的を達成するために遂行される目的指向行動である。自身を取り巻く環境を正確に把握し、行うべき行動を決定し、遂行するとき、脳内では実行制御システムが機能している。そして、実行制御システムによって実行された行動を監視するのが行動モニタリングシステムである。監視中に実行された行動は、その目的と結果が比較・照合され、行動が目的に対して不適切であればエラー処理がはたらく。エラー処理活動を反映するエラー関連陰性電位(ERN)を指標としたこれまでの研究から、エラー処理は正反応に対しては全く行われずエラー反応に対していつも同等の処理が行われるのではなく、エラーの種類や生じた状況に応じてエラー処理が変化することが示されていた。このようなエラー処理の性質は、エラー処理における検出および評価処理が行動と行動結果の逸脱程度に応じて処理することのみを指し、行為者が“何を行おうとし、何を行ったか”という点を基準とした処理が行われているか否かについては明らかにされていない。他人から見れば全く同じ行動を遂行しているように見えても、行為者が“何を行おうとし、何を行ったか”は時と場合に応じて異なるだろう。エラー処理および行動モニタリングシステムが、どのような目的に対してどのような行動が遂行されたかを正確に把握していなければ、環境の変化には適応できず、同じエラーを繰り返すことになる。本研究はこの点に着目し、実験1および2において、エラー処理過程が正誤反応やそれに伴う結果間の逸脱程度だけでなく逸脱パターンも踏まえた処理を行うかについて検討した。さらに我々を取り囲む環境と我々の行動は、質的および時間的変動を合わせもつが、実際の行動の時間的側面の検討には反応競合が深く関与するため、目的指向行動で生じるエラーに対する処理の検討は難しい。そこで本研究は、実験3において行動目的の時間的側面について検討を行った。

実験1は、片側および両側同時反応を用いることで、正誤反応間の逸脱程度は等しいが逸脱パターンが異なるエラーを比較した。まず、従来検討されてきた片側反応エラーと本

実験で初めて検討する両側同時反応エラーが共通のエラー処理過程で処理されることを確認した。次に、行うべき正しい反応に対して実際に行った反応が過多もしくは不足するエラーを比較し、反応が不十分なエラーよりも必要以上に反応するエラーの方がより早く検出されることを示した。これらの結果から、エラー処理過程におけるエラー検出処理は、正反応に対する実際の反応の過不足に感受性を持ち、正誤反応間の逸脱パターンの異なるエラーに対する検出処理が異なることが示唆された。

実験 2 は行動に対する強い動機づけである報酬と罰を用い、正誤反応に伴う結果間の逸脱程度は等しいが逸脱パターンが異なるエラーを比較した。報酬の有無や獲得方法の違いは行動遂行へ影響を与えなかったが、他のエラーと比較して、報酬獲得の失敗に伴うエラーがより重要なエラーとして評価されることを示した。これらの結果から、エラー評価は報酬および罰の有無や物理的価値だけでなく、課題に伴う報酬や罰の獲得方法によって形成される文脈に基づき、正誤反応に伴う結果間の逸脱パターンに基づいた処理を行うことが示唆された。

実験 3 では、素早く正しい反応に対して金銭報酬を与えることで動機づけを操作し、行動に対する報酬予告タイミングが異なる試行で生じたエラーを比較した。行動遂行は、報酬の有無を認識するタイミングの影響を受けなかったが、報酬の有無を前もって認識している事態と比較して、行動実行の直前に認識している方が、報酬によって規定されるエラーの重要性を低く評価することを示した。これらの結果から、行動結果の予測と実際の結果を比較・照合するエラー評価は、当該事象の範囲内における結果予測時間の長さに応じて、エラーの重要性評価が変容することが示唆された。

以上のように本研究は、行動実行の約 100ms 後という非常に早い段階ではたらくエラー処理が、どのようなエラーが生じたかという点に基づく臨機応変なはたらきを示すことを明らかにした一方で、エラー評価処理については結果予測に関して時間的制約が存在することを示した。これらの実験的検討は、これまでに検討されてこなかった、より複雑な状況における脳内エラー処理活動を検討したものである。実行制御システムに大きく貢献し、行動モニタリングシステムの中核を成すエラー処理の詳細を明らかにすることで、目的指向行動に対するエラー処理および ERN 生成メカニズムに新たな知見を提供した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 准教授 片 山 順 一  
副 査 教 授 室 橋 春 光  
副 査 教 授 陳 省 仁  
副 査 教 授 岩 木 信 喜 (九州女子大学人間科学部)

学 位 論 文 題 名

## 目的指向行動におけるエラー処理に関する 心理生理学的研究

ヒトが複雑に変化し続ける環境内で適応するためには、その変化に対応して行動する必要がある。そのために、環境を正確に評価し、行うべき行動を決定し、それを実行している。この目的指向行動は実行制御システムによって実行されるが、常に目的通りの行動がなされるわけではない。人命に関わる重大なエラーからキーボードの押し間違いのようならっかりミスまで、程度の違いはあれ、エラーを完全に排除することはできない。そこで、エラーを犯した時には、すばやく検出し、可能であれば修正を行い、そしてエラーを繰り返さないようにすることが求められる。そのために、目的指向行動は行動モニタリングシステムによって監視されており、エラーが生じた場合にはエラー処理過程が働く。

ヒューマン・エラーに関しては、人間工学・産業心理学・認知心理学など幅広い分野で研究が進められてきた。1990年代初頭に、エラーを犯したとき（たとえば、右手でボタン押しすべきところを左手で押したとき）、事象関連脳電位（ERP）上にエラー発生後約100ミリ秒で最大振幅を示す「エラー関連陰性電位（ERN）」が報告されて以来、認知神経科学領域でのエラー処理に関する研究が盛んに行われてきた。

同じエラーを犯したとしてもエラーの導く結果は状況によって異なり、この状況は常に変化している。エラー処理過程は正誤反応間の逸脱の程度だけでなく、行ったことの結果の評価をも行っているはずである。本論文は、ERNを指標として、エラー処理過程における検出と評価処理の柔軟性について解明を試みた。第I部では先行研究のレビューおよび問題提起を行い、続く第II部は以下の3つの実験から構成されている。

実験1および2では、正誤反応間の逸脱の程度が等しい事態で、逸脱パターンおよびエラーのもたらす結果の違いがエラー処理に影響するか否かを検討した。実験1では両手同時反

応を求める条件を設けることにより、正誤反応間の逸脱の程度は等しいが逸脱パターンが異なるエラーを比較した。まず、両手同時反応でのエラーも従来の片手反応エラーと同様に処理されることを確認し、さらに、反応が不十分なエラー（両手押しすべきところを片手で反応）よりも必要以上に反応するエラー（片手で反応すべきところを両手で押すエラー）の方が素早く検出されることを示した。実験2では、同一のエラーが損失をもたらす場合と報酬が獲得できない場合との比較を行った。すなわち、エラーを犯すごとに予め与えられた報酬が減じられる条件と、正反応に対して報酬が加算されエラーに対しては加算されない条件でのエラーを比較した。ここで、一回のエラーで生じる損失と獲得できなくなる損失分は同じであり、同じエラー回数であれば最終的には同じ報酬を得ることになる。一回のエラーでの損失および結果としての損失の大きさは等しいにもかかわらず、直接損失を伴うエラーよりも、報酬獲得の失敗を伴うエラーの方がより重要なエラーとして評価されていることを示した。

実験3では、行動に対する報酬を予告するタイミングを操作し、時間的な側面がエラー処理におよぼす影響を検討した。その結果、エラーによって生じる損失は等価であるにも関わらず、報酬の有無を直前に知らされるよりも事前に認識しているときの方がより重要なエラーとして評価されていることが示された。

第III部ではこれらの結果を総合的に考察し、エラー後100ミリ秒以内という非常に早い段階でのエラー処理が、エラーの検出だけでなくその重要性の評価においても、状況に応じて高い柔軟性を持って臨機応変に対応していることを論じた。

両手同時反応時のエラー処理に関する知見を始めて示したこと、さらにこのパラダイムを用いて、不足エラーよりも過多エラーの方がより速く検出されることを示したことは非常に高く評価できる（実験1は国際誌に掲載された：Murata & Katayama (2005). *NeuroReport*, 16, 1595-1598.）。また、エラーの検出という認知的側面に加えて、エラーの重要性の評価という情動的・動機付的な側面に注目し、実験的検討を通じて、正誤反応間の逸脱の程度が同じであっても逸脱パターンや状況によってエラーの検出・評価が異なることを明確に示したこと、さらに、エラー評価過程に時間的制約があることを示したことも高く評価できる。ERPの指標としての特性を十分に生かしたこれらの成果は、エラー処理および行動モニタリングに関わる研究に重要な知見を付加した。

以上の成果より、審査委員会は全員一致して、著者は北海道大学博士（教育学）の学位を授与される資格があるものと認める。