

2002年12月19日

人間科学研究科委員長 殿

田中 秀明 氏 博士学位申請論文審査報告書

田中 秀明氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱をうけ審査をしてきましたが、2002年12月19日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名 田中 秀明

2. 論文題名 エラー関連陰性電位によるエラー検出の研究 ~~検出~~ トル

3. 本論文の主旨

本論文は、脳波上に観察されるエラー関連陰性電位 (error-related negativity: ERN) を指標として、注意資源の配分方略およびエラーの性質がエラー検出に及ぼす影響を検討したものである。とりわけ、二重課題における注意資源配分と、ERNの振幅変動に着目した研究となっている。

従来のERN研究では注意資源配分とERN振幅変動との関係が不明確であった。本論文では二重課題を使用して、エラー検出における注意資源の配分方略を明らかにしており、その点で意義ある研究と考えられる。

4. 本論文の概要

第1部では、エラーの実験心理学および精神生理学的研究の現状と本論文の目的について言及した。選択反応時間課題遂行中にエラー反応が生じた際、反応後約60msに前頭-中心部にエラー関連陰性電位 (error-related negativity: ERN) が脳波上に観察されること、ERNはエラー検出に関連した認

知処理機能を反映していること、その脳内発生源については fMRI を用いた研究によって前部帯状皮質(anterior cingulate cortex)に推定されていることなどが、ここでは研究の現状として挙げられた。

本論文では、ERN 振幅変動がエラー検出機能へ配分される注意資源量を反映することに着目した。注意資源の配分方略を検討する上で最も適切な二重課題を使用し、ERN 振幅変動が単一競合モデル（共通の注意資源から認知情報処理の各段階に資源を配分とする立場）と、複数競合モデル（認知情報処理の各段階に個別の注意資源が存在するとする立場）のいずれのモデルに適合するかを検討した。また、エラー検出における注意資源の配分方略が離散的か否かについても検討した。従来の ERN 研究で主な研究対象であった離散的な運動反応のエラーとは性質が異なる運動反応のエラーを対象として、そのエラー検出も検討した。

第 2 部から第 6 部では、実験的に生起されたエラーと ERN との関係について基礎的研究を行っている。第 7 部では第 2 部から第 6 部の結果を総括している。実験を伴った各部の結果は、以下の通りである。

第 2 部では、単一課題と二重課題を用い、注意資源の配分方略と ERN 振幅変動との関係を比較検討した。その結果、ERN 振幅は単一課題に比較して二重課題で減少するが、二重課題の難易度には影響されないことを見いだした。この知見は、ERN の振幅変動が単一競合モデルと複数競合モデルのいずれにも適合しないことを示唆している。しかしながら、第 2 部では入力モダリティ段階の難易度のみを操作し、反応出力段階は操作していないため、ERN 振幅変動と複数競合モデルとの関連性を完全に否定することはできない。ERN は反応出力段階の処理を反映することから、入力モダリティ段階よりも反応出力段階の難易度を操作する方が、複数競合モデルとの関連性を検討するには適しているからである。

第 3 部では、入力モダリティと反応出力の両段階で難易度を操作する二重課題条件下に、エラー検出処理に対する注意資源の配分方略と ERN の関係を検討した。その結果、ERN 振幅変動は二重課題の難易度操作には影響されないことが第 2 部と合致した。また、反応出力段階ではなく、入力モダリティ段階に負荷をかけた条件で ERN 振幅は減少した。これらの結果は、ERN の振幅変動が単一競合モデルと複数競合モデルのいずれにも適合しないことをより明確に示し、ERN の脳内発生源である前部帯状皮質の機能的特性によってこの結果が惹起されたものと考察した。

ところで第 2 部・第 3 部では、副課題の難易度を操作した際、聴覚刺激の周

波数または呈示時間の弁別課題を設定したために、この2条件間の難易度には質的差異があったと考えられる。もし、副課題の難易度の質を同一に設定し、実験変数の数量的変化のみで難易度を操作するならば、エラー検出処理へ配分される注意資源が一定の閾値を越えると一挙に離散的に投入されるのか、あるいは段階的・連続的に投入されるのかといったエラー検出処理における注意資源の配分方略を、ERN 振幅変動によって明確化することが可能である。そこで第4部では、二重課題の主課題に認知的葛藤課題を、同時に副課題に Sternberg memory search task を設定した。ここでは副課題の難易度の質を統制し、記憶負荷の数量的変化のみで難易度を操作して、エラー検出処理における注意資源配分の方略を検討した。その結果、ERN 振幅は難易度変化に伴って段階的に変動することはなかった。

第5部は、握力計を用いた Go/NoGo 課題下に、エラー検出を ERN によって検討した。注視点(+型)呈示の1400ms後に赤色あるいは緑色の円図形を等確率でランダムに100ms間呈示した。円図形の色と Go/NoGo の割り当ては被験者間でカウンターバランスをとった。被験者は Go 刺激に対して最大握力の10%の力量(標的強度値)を発揮することで反応した。反応終了2s後に、被験者は実際の力量と標的強度値との逸脱程度に対する確信度を評定した。確信度評定の2s後には、実際の力量を視覚的にフィードバックした。その結果、NoGo 試行のエラーに対して ERN は出現した。さらに、NoGo 試行のエラーとは性質の異なる Go 試行のエラーに対しても、エラー検出を反映する ERN 様の ERP 成分が出現した。また、確信度の評定によってこの ERN 様成分の波形が変化することも示された。このように Go 試行のエラー、すなわち反応出力の強度に対して、標的強度値からの逸脱を検出する脳活動が観察された。

第6部は、発声エラーによって ERN が出現するか否かを検討した。ERP を用いた発声エラー研究では、発声関連電位(vocalization-related cortical potentials: VRCPs)に関連した問題点がある。VRCP は、反応の正確さに関わりなく発声によって惹起される成分であり、ERN とは異なる成分である。しかし、VRCP は ERN と頂点潜時が等しく、発声後100msを頂点として陰性方向に出現する。したがって、発声エラーに関するエラー処理を検討するには、VRCP から ERN を分離して抽出する手続きが必要である。そのため、ヘッドフォンからピンクノイズを呈示して発声をマスキングし、VRCP を抑制して ERN を抽出した。ここではストループ色名呼称課題を使用して、発声エラーによって誘発される ERP 成分を検討した。その結果、発声エラーに誘発された ERP 成分の極性、頂点潜時、頭皮上分布が従来の ERN の特徴と一致することから、この成分は ERN だと結論づけた。

第7部では、以上の結果を総括した。第2部から第4部で共通して見いだされた知見は、課題難易度がある程度の水準を越えた高さになると、エラー検出機能へ配分される注意資源量が低下し、その機能は低下したことであった。同時に反応時間の遅延というパフォーマンスの低下も見られた。反応時間は認知情報処理全体の処理効率、すなわち認知情報処理の制御システムの機能を示す指標である。これらの結果から、エラー検出機能と制御システムの機能は注意資源の配分方略を媒介として、正の相関関係があることを推測し論議した。また第5部・第6部では、従来のERN研究で主な研究対象であった離散的な運動反応のエラーとは異なる性質の運動反応によるエラーを検討した。第5部は握力計の力量発揮による連続的エラー、第6部は発声エラーを対象とした。その結果、連続的エラーおよび発声エラーの両者にERNが出現した。これらの結果から、ERNが反映するエラー検出機能は、あらゆる性質の運動エラー認知に関与する普遍的なモニタリング機能であることを論議した。

5. 本論文の評価

本論文で評価できる点を以下に挙げる。まず第1は、従来の研究では注意資源の配分方略に伴うERN振幅変動と、注意資源の概念モデルの関係に不明確な点があることに着目して、実験課題を工夫し、ERNの振幅変動が単一競合モデルおよび複数競合モデルのいずれにも適合しないことを明らかにしたことである。注意の配分を検討するための様々な課題が考案されているが、二重課題はその一つである。二重課題は応用的要請に応じて注意配分量を測定するために考案された方法で、ある課題（主課題）の注意配分量をもうひとつの課題（副課題）の成績から推測することが一般的であり、本来主観的な注意配分量を副課題の成績という客観的指標によって把握できるという利点がある。申請者は二重課題を使用して注意配分の方略がERN（エラー検出）に及ぼす効果を検討した結果、エラー検出における注意資源の配分方略について新たな解釈を提示した。

第2は、従来のERN研究で主な研究対象であった手のボタン押し反応による離散的な運動反応のエラーとは異なる性質の運動反応によるエラーを検討した結果、連続的エラーおよび発声エラーの両者においてERNが出現することを明らかにしたことである。これらの結果から、ERNが反映するエラー検出は、あらゆる性質の運動エラー認知に関与する普遍的なモニタリング機能であることが指摘された。

以上のように、本論文はエラー検出に対して精神生理学的な切り込みを行い、相応な成果を得たものと評価できる。よって、本審査委員会は価値ある博士（人

間科学) 学位論文と認めた。


2002年12月19日

田中 秀明 氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査員 早稲田大学教授 医学博士 (東邦大学)

山崎勝男 

審査員 早稲田大学教授 文学博士 (早稲田大学)

春木 豊 

審査員 早稲田大学教授 医学博士 (千葉大学)

鈴木秀次 