

エラー後の注意集中による干渉抑制効果についての研究

櫻井美由紀*・岩崎 祥一*

Posterror Modulation of Attentional Concentration as Reflected in Flanker Interference

Miyuki SAKURAI* and Syoichi IWASAKI*

In this study, we explored with the flanker task how attention is controlled after participants having committed errors by comparing reaction times (RTs) and amounts of flanker interference across errors. It is well known that people behave more cautiously once they have committed an error. In addition to this posterror slowing, we hypothesized that attention would be refocused on the current task, which would result in reduced interference in the flanker task due to attentional refocusing. The results indicated that although no overall reduction in interference was found with only general increase in RTs in the posterror trials, those who were relatively slower in their RTs did show reduced interference after having committed an error. Thus, there was a partial support for the hypothesis that commission of an error would induce attentional refocusing on the task resulting in reduced flanker interference.

key words: flanker interference, vigilance, modulation of attention

本研究はエラー後の能動的注意制御を調査するために、エラー前後の行動モニタリングと注意制御に着目し、エラーを犯す前後の行動を、flanker課題を用いて実験により検討した。

運転リスクと事故との関連において、反応エラー（間違ったキイを押すなど、正しく実行されなかった行為）が実際の事故へ結びつくかどうかは、行動のモニタリングおよび、その結果としてのエラー後の的確な行動修正が関わってくる。注意力が十分に働く条件では、ミスに気がつき、それを修正するという対処行動が可能なため、大事に至らない。しかし、エラー後の対処行動の程度や頻度および対処行動の個人差についてはあまり取り上げられてこなかった。また、事故傾向を対象とした従来の研究では、質問紙により測定した個人の注意機能と運転中のエラーの起こりやすさの間に関連があることを示す研究 (e.g., Wikens, Toplak, & Wiesenthal,

2008) や能動的注意機能と運転シミュレータでの運転行動評価との関連を示す研究 (e.g., Weaver, Beldard, McAuliffe, & Parkkari, 2009) は行われているが、本研究で取り上げるエラー後の注意の能動的制御の個人差に関する研究はほとんど行われていない。

単調な道路環境で長時間運転を続けた場合のように、疲労がたまってくると覚醒レベルの低下とともに注意機能が低下し、雑念が浮かんでやすくなり (mind wandering, cf. Smallwood & Schooler, 2006)、課題に注意が集中しなくなるため、反応エラーが起こりやすくなる (岩崎, 2009)。本研究での注意機能の低下とは、注意機能の集中・維持¹⁾ (ビジランス) の低下を指す。ビジランスの低下は、監視作業での時間経過に伴う検出成績の低下として現れてくることが知られている。最近の研究によると、これも注意の集中低下によるとされている (Warm, Parasuraman, & Matthews, 2008)。

* 東北大学大学院情報科学研究科 認知情報学
Cognitive Laboratory Graduate School of Information Science, Tohoku University
Aramaki aza Aoba 6-3-09 Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi 980-8579, Japan
e-mail: m-sakurai@cog.is.tohoku.ac.jp

エラーのモニタリングとエラー後のパフォーマンス調整との関係に関わる脳の領域について、最近の認知脳科学の研究では、特にエラーの検出には背側前帯状皮質 (dorsal anterior cingulate cortex; ACC) を含めた内側前頭皮質後部 (posterior medial frontal cortex; pmFC) が関与することが明らかになっている。例を挙げると、Ridderinkhof, Vlugt, Bramlage, Spaan, Elton, Snel, & Band (2002) は、アルコールか、もしくは偽薬を服用した状況での flanker 干渉への影響を調査し、偽薬を服用した状況では、正しい反応の後の効果と比較してエラーの後に干渉が減少したこと、さらに前頭前野の働きを抑制すると考えられているアルコール服用後には、エラー後の干渉減少が見られなくなることを示した。このことにより、アルコールの摂取がスリップ (し間違い) に気がつき適切に行動を修正するようにうながす脳 (行動のモニタリングの神経回路の中心的な構成要素と考えられている前帯状皮質) の機能を低下させることによってパフォーマンスを損なうことを実証した。

さらに、エラーに付随して特有の事象関連脳電位 (ERPs) が生ずることや (e.g. Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993), エラー時の fMRI の分析から、前帯状皮質はエラー時にその活動を高めることが知られている (e.g. Kerns, Cohen, MacDonald III, Cho, Stenger, & Carter, 2004)。この前帯状回からの信号がエラー後のパフォーマンス調整に関わっていることが考えられる。

一般にエラーの後の反応時間は、「エラー後の減速 (posterror slowing)」と表されるように、直前の試行と比較して遅延することが知られている。これは、エラーを探知した後に、より正確に反応しようと行動修正をするため、時間と精度 (正確さ) の “trade-off” によって反応にかかる時間が増加する現象とされている (e.g., Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Rabbitt & Rodgers, 1977)。しかし、エラーの後に起こるパフォーマンス調整の基礎をなし

ているメカニズムは十分理解されておらず (e.g., Gehring & Fencsik, 2001; Jentzch & Dudschig, 2009; Welford, 1979), これが単に反応基準の変化なのか、注意制御が関わってそうになっているのかは十分判明していない。

エラーや干渉に関連した行動制御の調整メカニズムには、前頭前野の背外側部を中心とする中央実行系が関係している (e.g., Jentzch & Dudschig, 2009)。その一方で、中央実行系はワーキングメモリ (以下 WM と略す) の制御や能動的注意制御とも関わっている (e.g., Baddeley & Hitch, 1994; Bleckley, Durso, Crutchfield, Engle, & Khanna, 2003)。したがって、WM の容量の個人差がエラー後の行動修正に影響している可能性が大きい。

芦阪 (2002) は、文章の読みの処理と単語の保持を行う日本語リーディングスパンテストの低得点群は課題遂行に対する外乱情報をうまく抑制できないことを指摘している。文の理解の中心となる単語 (フォーカス語) と保持すべき単語 (ターゲット) が一致しない場合、注意をいったんフォーカス語に向け、その後に保持すべきターゲット語に向けなおさなければならない。そのためには注意の転換が必要となるが、低得点群はひとたび注意を向けたフォーカス語をうまく抑制できず、ターゲット語を覚えられなくなる。すなわち WM 容量の少ない人は干渉の抑制能力が低く、外乱刺激の排除が困難であることが推察される。また、従来の研究から、性格特性と事故傾向について、アイゼンクのパーソナリティ理論の向性や神経症傾向が関係することが知られている (e.g., Shaw & Sichel, 1971)。しかしながら、事故傾向の個人差を対象とした従来の研究 (e.g., Windfred, Gerald, & Ralph, 1991) では、エラー後の注意の能動的制御に個人間でどのような違いがあるかに関する研究はほとんど行われていない。そこで本研究は、エラー後に起こるパフォーマンス調整は、単に反応基準の変化でのみ起こっているのではなく、注意制御が関わってパフォーマンス調整を行っていると考え、エラー後の注意制御のあり方を調べることで、エラー後の注意集中の個人差と WM 容量に反映される注意機能の個人差との関係を検討することで、運転行動場面でのエラーとその後の行動修正の関係を検討するための実験パラダイム確立をめざした。

¹¹ 注意には選択と集中・維持の2つの機能があると考えられている。選択は必要な情報源を選んで情報を処理する働きであり、注意の集中とは、選択した情報源からもたらされる情報に注意資源を集中する機能のことで、情報源から注意を逸らさずに処理し続ける働きを意味する。維持とは、長時間にわたって、特定の対象に注意を向け続けることをいう。

本研究での課題への集中力を反映する指標としては、反応干渉量²⁾を用いた。よく知られた干渉の一つとして flanker 干渉 (Eriksen & Eriksen, 1974) が挙げられる。flanker 干渉は、複数の刺激のうち、真ん中のものに反応するときに、両脇にある刺激が別の反応を要求すると、同じ反応を要求する場合に比べ反応が遅延するという現象である。このような干渉は、注意が課題に集中していると少なく、WM に負荷をかけることで集中が低下すると大きくなることが知られている (Lavie, 2005)。さらに、Ridderinkhof et al., (2002) の先行研究でその有効性が示されていることから、flanker 課題を用いた。flanker 課題を用いてエラーを犯す前とエラー後の反応時間の変化を調べるとともに、エラーの前後の干渉量の変化を注意集中の変化の指標とした。

本研究では、課題遂行の時間経過とともに反応が徐々に速くなるだけでなく、長時間の作業や疲労などさまざまな原因により課題に対する注意の集中・維持の低下が起こり、それとともにエラーが発生すると考え、エラーを犯すとそれがきっかけとなって反応速度が遅くなるだけでなく、注意が課題に再度集中すると予想した。この仮定が正しければ、エラーによる注意集中への影響は、エラー後の干渉量の減少として観測されると予想された。

さらに、WM 容量の高い人に対して WM 容量の低い人は、干渉の抑制に関する能力が弱く、干渉を受けやすいことが知られている、そのような中央実行系の抑制がエラー直後の行動調整にも関係すると予想した。WM 容量の高い人はエラー後にも WM 資源に余裕があるため、注意力が十分に働くことが考えられる。この仮定が正しければ、WM 容量の高

い人は低い人と比較して、エラー後の干渉量はより減少するであろうと予想した。

実 験

方法

実験参加者 18歳から24歳の大学生、大学院生(平均年齢19.8歳, SD 1.6)計26名(男性10名, 女性16名)が実験に参加した。各実験参加者に対して実験の趣旨を事前に説明し、インフォームドコンセントを得た³⁾。

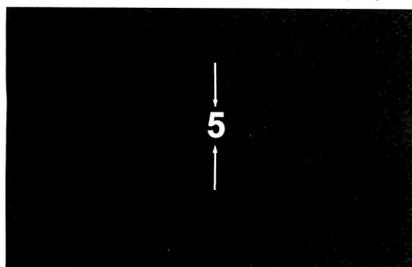
刺激 試行開始の警告音の提示後1500 msに⁴⁾画面の中央の位置に数字(刺激)が提示された。刺激の条件は3種類あり、i)単数(1つの数字のみが出現)、ii)flanker一致(ターゲットと両脇の刺激の反応対応付けが一致;横に3つの数字が並んで出てくるが、判断の対象となる真ん中の数字と、その両側の数字は同じ反応キイに割り当てられた数字が並んで出現)、iii)flanker不一致(ターゲットと両脇の刺激の反応の対応付けが不一致;横に3つ並んだ数字は、判断の対象となる真ん中の数字とその両側の数字が反応キイを異にする数字が並んで出現)であった。数字の大きさは、4.1 mm×6.4 mm (0.41°×0.64°)、flanker時の数字間の距離は数字の中央から隣の数字の中央まですべて4.83 mm (0.48°)の等間隔であり、画面までの距離は57 cmであった。刺激の条件については、あらかじめ実験参加者ごとにランダムに各条件を設定してあったが、単数条件で押し間違えた場合の後の試行は必ずflanker条件(一致又は不一致)になるように条件を調節した。刺激の提示時間は100 msであり、刺激が表示されてから1,500 ms過ぎると反応がなくても画面からすべての表示が消えて1試行終了とした。次の試行までの試行間の待ち時間は2,000 msであった。実験画面の模式図を図1に示す。なお、単数条件とflanker(一

²⁾ 反応干渉とは、stroop課題やflanker課題で知られているような、複数の競合する反応要求間の競合で生ずると考えられている反応の遅延のことをいう(岩崎, 2008)。文字や単語を読むというような十分習熟した反応は自動化し、それに対する処理は注意の有無に依らず可能になるとされている。このことを利用して、本来の反応と課題に無関係な刺激とを組み合わせて呈示した場合、両者が同じ反応セットを共有している場合、干渉が生ずる。干渉の結果、不一致条件(本来の反応と課題に無関係な刺激とを組み合わせて呈示する条件)では反応が遅れが生ずるが、干渉の起こらない一致条件との反応時間の差を求め、干渉量とする。つまり、不一致条件の反応時間が長くなると干渉量の増加として表れる。

³⁾ 実験に入る前に、実験者が実験参加者に対して、実際に行う作業、個人情報適切な取り扱いと保護などについて文書と口頭で説明を行い、参加者が納得した上で実験に参加する旨を記載した同意書に署名してもらった。

⁴⁾ 刺激に対して素早くかつ的確に応答するためには、刺激に対する準備状態を事前に形成する必要がある。このための警告信号と刺激との時間間隔(先行間隔: foreperiod)は500 msから1,500 msの間に設定することが多いが、本研究では反応の準備が十分行えるよう長めに設定を行った。

i) 単数提示条件：提示確率 60 %



ii) flanker 一致条件

提示確率 20 %



iii) flanker 不一致条件

提示確率 20 %

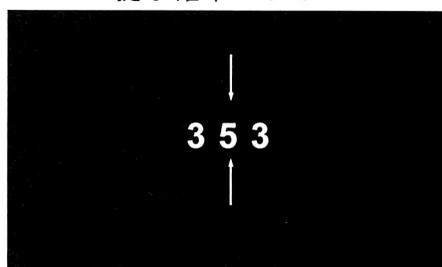


Figure 1 刺激の条件の例 (3種類)

- i) 単数提示条件は、1つの数字のみが出現
- ii) flanker一致条件は、ターゲットと両脇の刺激の反応の対応づけが一致
- iii) flanker不一致条件は、ターゲットと両脇の刺激の反応の対応づけが不一致

致／不一致) 条件画面の提示確率は、実験開始前には単数条件が60%、flanker条件が40% (そのうち、一致50%、不一致50%) となるように設定したが、単数条件での押し間違いに応じて単数、flanker条件間の提示の割合が変化した。

反応時間課題では通常、エラーの割合は数パーセント程度であり、エラーが生ずる前後の行動を調査するには、このエラー率ではあまり効率的とはいえない。そこであらかじめ実験参加者ごとに反応時間を測定し、それに基づき“基準値”を設けて、この値を下回ったか否かを試行ごとにフィードバックし、なるべく早く反応するように実験参加者を促すことで、エラーを誘発した。

質問紙 実験に先立ち、ワーキングメモリ容量の測定として日本語リーディングスパンテスト (荻阪, 2002) を行った。また実験によって得られた結果と、注意機能尺度 (鈴木・和田・岩崎, 2005)、およびCFQ (Cognitive Failure Questionnaires; Broadbent, Cooper, Fitzgerald, & Parkers, 1982) の2種類の

質問紙との関連を分析することで、注意の個人差や失敗行動傾向との関わりを検証した。さらに日本版アイゼンク性格検査 (岸本, 1987) (以下EPIと略す) を性格特性の評定として用いた。なお、注意機能尺度の質問紙、CFQおよびEPIの結果については、別途詳細を述べることで、ここでは省略する。

装置 実験では、パーソナルコンピューター1台が用いられた。また、視覚課題の提示には画面の大きさが縦245 mm、横325 mmの17インチ・CRTモニター (EIZO: T561) が用いられた。

ディスプレイまでの距離を一定に保つためにあご台を用いた。

手続き 実験は実験参加者ごとに個別に行った。各試行の開始とともに、まず画面中央に上下に向き合った矢印が現れ、1,500 ms経過後に矢印の間に数字が提示された。実験参加者には、中央に表示された数字が偶数が奇数かを判断し、素早くキーボードのキイを偶数の場合は右手で“/ (スラッシュ)”のキイを、奇数の場合は左手で“Z”のキイを押すよ

うに教示した。このとき数字が1つだけ提示される場合（単数条件）と、数字が3つ並んで提示される場合（flanker条件）とがあるが、数字が3つ提示された場合でも真ん中の数字が偶数か奇数かを判断するようにと教示した。また、エラー数を増やすために各実験参加者の練習試行の平均反応時間を“基準値”として本試行では“基準値”を下回らないように努力することを教示し、反応時間が基準値を下回った場合（基準値より遅いとき）には“反応が遅すぎます”と画面に表示し、反応に対するフィードバックを行った。

全体的な実験デザインは、実験の説明と教示の後、ワーキングメモリを測定するためのリーディングスパンテストを行い、次に数試行練習を行ってから、練習用として用意した、本試行と同じ視覚課題を使用して、練習試行（100試行）を行った。その後、練習試行の平均反応時間を“基準値”として本試行開始時に設定し、本試行を行った。1ブロックが終わると休憩を挟んで、1ブロック目と同様に練習試行の平均反応時間を“基準値”として設定し、2ブロック目の課題を行った。この休憩時に注意機能尺度とCFQ、EPIの質問紙に記入してもらい、その場で回収し、後に実験者が採点を行った。

1ブロックの試行数は200試行であり、これを2回繰り返して2ブロックの合計400試行を行った。

実験の所要時間は質問紙の記入時間を含めて約70分程度であった。

分析と要因計画 エラーは、数字の判断の間違いによるボタンの押し間違い（偶数の場合は右側、奇数の場合は左側のボタンを押すこと）の試行と定義し、エラー率は、エラーの個数/試行数とした。数字が提示されてからボタンを押すまでの時間を反応時間とし、エラーの試行は分析からすべて除き、正確に反応した試行のみを分析の対象とした。flanker一致とflanker不一致のときの反応時間の差分をflanker干渉量と定義した。

試行は、「単数呈示試行でエラーをした直前の2試行; pre-error」「単数呈示試行でエラーをした後の試行; posterror」「すべてのエラー試行と単数エラーの直前2試行、およびエラー後の試行を除いた試行; baseline」の3種類に分類した。このとき、posterrorの試行はプログラムにより、必ずflanker条件（一致もしくは不一致になる確率は50%になる

ようにプログラムされていた）になるように設定されていたが、pre-errorに関しては予測が不可能なため、単数呈示、flanker一致、flanker不一致の3条件がランダムに生じていた。そのため、flanker試行の数を十分確保する必要から、エラーとなった単数試行の直前の試行に加えて2つ前の試行もpre-errorの分析に含めた。

分析は3（試行: baseline, pre-error, posterror）×3（条件: 単数呈示, flanker一致, flanker不一致）を被験者内要因とする分散分析を行った。なお、これ以降の3水準以上の反復要因を含む分析にあたっては、Greenhouse-Geisserのイプシロン係数に基づいて補正された p 値を用いた（ただし自由度の表記にあたっては、補正前の値を用いた）。

この他にWM容量の測定として行った日本語リーディングスパンテストの評定方法は、全試行での正答数とした。

結 果

反応時間が200 ms以下の試行は尚早反応、また反応時間が1,500 msの試行は何らかの理由によりうまく反応できなかった無効の試行とみなしその後の分析から除外した。実験参加者のうちこれらの無効試行数が全試行数の1割を超えた者（女性1名）、教示と逆側のボタンを押していた者（男性1名）、またエラー数が少なく、分析対象となる試行数の少なかった3名（男性2名、女性1名）は分析から除き、分析の対象となった人数は計21人（男性7名、女性14名）であった。

エラー率 反応時間課題では通常、エラーの割合は数パーセント程度であるが、エラーが生ずる前後の行動を調査するには、このエラー率ではあまり効率的とは言えないため、あらかじめ実験参加者ごとに“基準値”を設けて、この基準値よりも早く反応するように実験参加者を促すことでエラーを誘発した。その結果、刺激条件ごとの試行数に対する平均エラー率は、単数16.2%、flanker一致15.3%、flanker不一致30.7%であり、1要因被験者内計画の分散分析を行った結果、flanker不一致のときのエラー率は、単数およびflanker一致のときよりも有意に多かった（ $F(2, 40)=91.39, p<.001$ ）。（ただし、単数とflanker一致との間に有意差はなかった。）

本実験の平均エラー率は、単数、flanker一致、

flanker 不一致ともに, Ridderinkhof et al. (2002) の実験の平均エラー率 (flanker 一致 4.8%, flanker 不一致 19.8%) よりも多く, エラー後の干渉量について分析可能な水準に達していたと言える。

反応時間 baseline における試行ごとの反応時間は単数, flanker 一致, flanker 不一致間のすべてにおいて有意であり ($F(2, 40) = 101.24, p < .001$), 単数試行 (379.4 ms) よりも flanker 条件のときに反応時間は長く, さらに flanker 一致 (405.0 ms) よりも不一致 (428.4 ms) のときのほうが反応時間は長くなり, flanker 干渉効果が見られた。このことから, 今回の課題条件の設定が典型的な flanker 課題での結果と一致していると言える。

エラーの前後の反応時間は, flanker 一致・不一致の主効果が見られ ($F(1, 20) = 27.54, p < .001$), flanker 一致条件ではエラーの前後の反応時間に有意差があり ($F(1, 20) = 6.28, p < .05$), エラーに伴う行動調整が見られた。flanker 不一致条件ではエラー前よりもエラー後の方が, 反応時間が長くなったものの, 有意差は見られなかった ($F(1, 20) = 2.22, p = .15$) (Figure 2)。

干渉量 エラーの前後の干渉量は, エラーの前 (20.0 ms) よりもエラー後 (14.9 ms) に減少したが, エラーの前とエラーの後および baseline (23.3 ms) との間に有意差は見られなかった ($F(2, 40) = .68, p = .51$)。

baseline の反応時間の影響 baseline 単数試行の平均反応時間により実験参加者を中央値で二分割 (速い群 345.4 ms, 遅い群 413.7 ms) し, エラー前後の flanker 干渉量について分析を行った結果, 反応時間の速い群と遅い群との群間に有意差は見られなかったが ($F(1, 18) = .33, p = .57$), 反応時間の遅い群での baseline とエラー後の干渉量を比較すると, baseline に比べてエラーの後の干渉量が有意に減少していた ($F(1, 9) = 5.21, p < .05$)。このことから反応時間の遅い群ではエラーを犯すことにより, その後の反応に対してより注意が集中するようになったという可能性がうかがえた (Figure 3)。一方, 反応時間の速い群での baseline とエラー後の干渉量を比較すると, baseline に比べてエラーの前後の干渉量が若干増減していたが, baseline とエラー後 ($F(1, 9) = .13, p = .73$), およびエラーの前後 ($F(1, 9) = .56, p = .47$) の間に有意差は見られなかった。

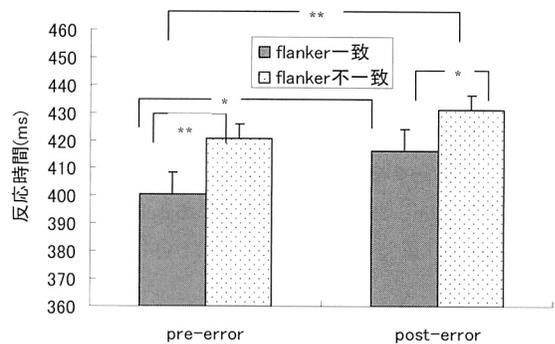


Figure 2 エラー前後の反応時間 (エラーバーは標準誤差, *印は有意確率 *; $p < .05$, **; $p < .01$)

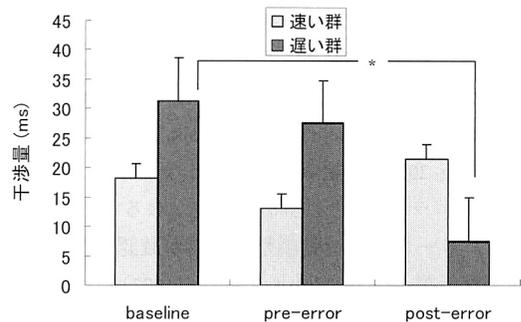


Figure 3 baseline 単数試行 RT の速い群と遅い群での干渉量 (flanker 不一致 RT - flanker 一致 RT 差分) (エラーバーは標準誤差, *印は有意確率 *; $p < .05$)

ワーキングメモリとの関係 実験参加者をリーディングスパン得点 (全試行での正答数) 順に並べ, 低い群 (以下, WM 低群と略す; 平均 33.6 点) と高い群 (以下, WM 高群と略す; 平均 46.6 点) の 2 つの群に分けて分析を行った。各群の人数は, WM 低群 = 10 人, WM 高群 = 10 人であった。

WM の高低の違いによるエラー前後の反応時間は, WM 群間 (低群, 高群) と flanker 条件, 試行 (pre, post) の 3 要因の分散分析を行ったところ, flanker 条件 ($F(1, 18) = 13.34, p < .005$) および試行 ($F(1, 18) = 9.84, p < .01$) の主効果が有意であり, エラー後の補償の効果が見られた。しかし WM の主効果 (WM 低群 432.7 ms, WM 高群 404.8 ms) ($F(1, 18) = 1.17, p = .29$), および WM に関連する交互作用は見られなかった。

一方、WMの高低の違いによるエラーの前後の干渉量は、エラーの前よりもエラー後に減少したものの(WM低群; エラーの前14.1 ms, エラー後10.7 ms, WM高群; エラーの前19.6 ms, エラー後13.6 ms), エラーの前とエラー後およびbaseline (WM低群; baseline 25.2 ms, WM高群; baseline 22.1 ms)との間で有意差は見られなかった($F(2, 36)=0.20, p=.82$)。

考 察

この実験の目的は、注意の維持・集中(ビジランス)を反映する指標として干渉量を用いて、エラー前後の能動的注意機能の変化について検証することとエラーとパフォーマンス調整の個人差についての検討することであった。

エラーの前後の反応時間は、先行研究(e.g., Botvinick et al., 2001; Gehring & Fencsik, 2001; Jentzsch & Dudschig, 2009)と類似した結果となり、エラーの前よりもエラー後に反応時間が長くなることが示され、エラーに伴う行動調整の影響が確認された。基準調整仮説(e.g., Rabbitt & Rodgers, 1977)は、エラー検出の後、反応基準が次の試行で高まると仮定している。すなわち、反応時間課題では、刺激の処理が進むにつれその情報が反応選択段階で蓄積されていき、それが一定の基準を超えた時点で反応が起これと考えられている。エラーを犯した直後の試行では、基準がより厳しくなることで、より多くの情報が蓄積されるまで反応が起これなくなり、反応時間が遅延するが、その代わりに反応はより正確になる。本研究で得られたエラー後の反応遅延は、この基準調整仮説の主張を確認したものと見える。

エラー後の注意制御に関しては、干渉量はエラー前よりもエラー後に減少する傾向がうかがわれたものの、有意差は見られなかった。したがってエラーを犯すとそれがきっかけとなって、課題に対する注意の引き戻し(注意の切り替え)が起こって課題に再度集中するという当初の予想は十分確認されなかった。その理由として考えられることは、本実験においてエラーを犯すことが、当初予想していた程には注意の課題への引き戻しを起こさなかった可能性が挙げられる。また別の可能性として、本実験ではエラーを誘発するためなるべく速く反応することを教示しているため、このことが課題に対する

注意集中を促進してエラー後の干渉量の低下をマスクしたことも考えられる。後者の可能性に関しては、エラーの前後を除いた試行であるbaselineの単数条件の平均反応時間の遅い群ではエラー後の干渉量減少が確認されたことから、エラー後の注意集中には、課題に対する取り組み方にも依存した個人差があることが考えられる。具体的には、基準値よりも速く反応するようにとの教示を受けて、時間(反応速度)をより重視した実験参加者と、それにも関わらず精度(正確さ)をより重視した実験参加者がおり、前者は後者よりもなるべく速く反応しようとして注意をより集中していたと考え、精度を重視した群でのみエラー後に干渉の低下が見られた理由が説明可能である。この点は、結果に基づく推測であり、今後さらに検討をする必要がある。

本研究のもう1つの目的は、エラー後の注意集中の個人差と、WMを含む注意機能が関係すると思われる個人の特性との関係を検討することであった。この点に関しては、反応時間は、flanker一致・不一致によらずエラー後に長くなったが、WM容量の高低による違いは見られなかった。また、エラー後の干渉量についても、予想していたようなWM容量の高低による違いは見られなかった。したがって、エラーを監視し、エラー後の行動調整を行う機能には、WM容量の高低の違いによる影響が見られなかったといえる。WM容量の高低により反応時間や干渉量に差が見られなかったのは、実験参加者全体での干渉量に差が見られなかったという上述の結果と同様、なるべく速く反応するようにとの教示により注意集中が促進されたことで、WM容量の違いの影響がマスクされた可能性が考えられる。

本実験では、相対的に反応速度に強く動機づけられなかったため注意の過度の集中が起これなかったと想定された実験参加者において、エラー後に干渉量が減少したことから、当初の予想であったエラー後には注意の集中が高まる可能性は否定されなかったと考える。その一方で、反応時間の速い実験参加者では、エラー後の干渉量の変化は見られなかった。エラーが生ずる前後の行動を調査するには、分析に十分な頻度までエラーを誘発する必要があるため、そのためにはなるべく速く反応するように実験参加者を促す手続きをとった。しかし得られた結果からは、速く反応するように誘導することで、反応

速度を重視するかそれとも精度を重視するかに関する個人差により課題に対する注意集中の程度が実験参加者間で一定とはならない可能性がうかがえた。今後は、この課題に対する取り組み方に対する個人差をなくすような実験手続きを採用するか、それとも個人差をあらかじめ予測できる別の手段を導入するなどの改良を加えることが考えられる。また、WM容量の測定についても、リーディングスパン課題以外の課題も検討することも必要であると考えられる。

本研究では、基準に対しより速く反応しようとする傾向の弱かった実験参加者において、エラー後に干渉量が減少したことから、少なくとも一部の実験参加者ではエラー後に注意の集中が高まる可能性があることがうかがえた。運転場面のような日常的な状況を考慮すると、単調な道路環境で長時間運転を続けると次第に雑念が浮かびやすくなり (Smallwood & Schooler, 2006)、注意が運転に集中しなくなった結果として反応エラーが起りやすくなる。本研究の結果からは、そうしたエラーを犯した直後には課題への注意の引き戻しが起り、その後の事故を防ぐことにつながる課題に対する注意の回復が生ずる可能性が示唆された。今回は、事後に反応時間で実験参加者を分けて分析したため、反応時間以外のどのような個人の特性が注意の回復に関わっているのかを十分明らかにすることはできなかった。この点は、今後の検討に待ちたい。

エラーを犯しやすい状態や特性を理解し把握することはエラー防止に役立つが、作業中に犯したエラー（いわゆる“ひやり・ハット”体験）がきっかけとなって行動を修正することで、さらなる事故の発生確率を低下しているとすれば、“ひやり・ハット”体験は重大事故につながる要因を共通して持つだけでなく、その防止にもつながっていると考えられる。また、産業現場での安全管理等の教育・指導の場面においてもエラー後の行動修正と事故の関係が解明されれば、さらなる事故防止に役立つことが期待される。

引用文献

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. 1994 Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, **8**, 485-493.
- Bleckley, M. K., Durso, F. T., Crutchfield, J. M., Engle, R. W., & Khanna, M. M. 2003 Individual differences in working memory capacity predict visual attention allocation. *Psychonomic Bulletin & Review*, **10**, 884-889.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. 2001 Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, **108**, 624-652.
- Broadbent, D. E., Cooper, P. F., Fitzgerald, P., & Parkers, K. R. 1982 The cognitive failures questionnaire (CFQ) and its correlates. *British Journal of Clinical Psychology*, **21**, 1-16.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. 1974 Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, **16**, 143-149.
- Gehring, W. J., & Fencsik, D. E. 2001 Functions of the medial frontal cortex in the processing of conflict and errors. *Journal of Neuroscience*, **21**, 9430-9437.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G.H., Meyer, D. E., & Donchin, E. 1993 A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, **4**, 385-390.
- 岩崎祥一 2008 脳の情報処理——選択から見た行動制御——サイエンス社。
- 岩崎祥一 2009 疲労とうっかりミス ヒューマン・ケア研究, **10**(1), 34-39.
- Jentzsch, I., & Dudschig, C. 2009 Why do we slow down after an error? Mechanisms underlying the effects of posterior slowing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **62**, 209-218.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald III, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. 2004 Anterior Cingulate Conflict Monitoring and Adjustments in Control. *Science*, **303**, 1023-1025.
- 岸本陽一 1987 日本版アイゼンク性格検査 (EPI) の信頼性に関する研究 近畿大学教養部研究紀要, **18**, 1-12.
- Lavie, N. 2005 Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, **9**, 75-82.
- 芋阪満里子 2002 脳のメモ帳 ワーキングメモリ 新曜社。
- Rabbitt, P., & Rodgers, B. 1977 What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **29**, 727-743.
- Ridderinkhof, K. R., Vlugt, Y., Bramlage, A., Spaan, M., Elton, M., Snel, J., & Band, G. P. H. 2002 Alcohol consumption impairs detection of performance errors in mediofrontal cortex. *Science*, **298**, 2209-2211.
- Shaw, L., & Sichel, H. S. 1971 Accident proneness: Research in the occurrence, causation, and prevention of road accidents. xii, 476 pp. Oxford, England: Pergamon.
- Smallwood, J., & Schooler, J.W., 2006 The restless mind. *Psy-*

- chological Bulletin*, **132**, 946–958.
- 鈴木大輔・和田裕一・岩崎祥一 2005 注意機能尺度の作成の試み(8) 日本応用心理学会第72回大会発表論文集, 53.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. 2008 Vigilance requires hard mental work and it stressful. *Human Factors*, **50**, 433–441.
- Weaver, B., Bedard, M., McAuliffe, J., & Parkkari, M. 2009 Using the attention network test to predict driving test scores. *Accident Analysis and Prevention*, **41**, 76–83.
- Welford, A. T. 1979 Comment on the paper "What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming" by Patrick Rabbitt and Bryan Rodgers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **31**, 539–542.
- Wickens, C. M., Toplak, M. E., & Wiesenthal, D. L. 2008 Cognitive failures as predictors of driving errors, lapses, and violations. *Accident Analysis and Prevention*, **40**, 1223–1233.
- Windfred, A. Jr., Gerald, V. B., & Ralph, A. A. 1991 Prediction of vehicular accident involvement: A meta-analysis. *Human Performance*, **4**, 89–105.

(受稿: 2010.4.13; 受理: 2011.12.20)
