

平成 21 年 5 月 19 日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2006～2008  
 課題番号： 18530572  
 研究課題名（和文） 他者のエラー反応が観察者に惹起させる  
 エラー関連陰性電位の機能的意義に関する研究  
 研究課題名（英文） Functional significance of the error-related negativity in observers  
 who detect errors made by others  
 研究代表者  
 正木 宏明（MASAKI, Hiroaki）  
 早稲田大学・スポーツ科学学院・准教授  
 研究者番号： 80277798

## 研究成果の概要：

本研究課題では、エラー関連陰性電位(error-related negativity: ERN)の機能的意義について、従来にはない方法で解明することを試みた。他者のエラーを検出することで観察者に惹起される ERN に着目し、研究を展開させた。一連の実験により、ERN は反応コンフリクトと独立し、エラーを検出することで惹起されるが、負の情動を伴う事象であればエラーでなくとも出現し得ることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,900,000	0	1,900,000
2007 年度	900,000	270,000	1,170,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	510,000	4,110,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：生理，注意・意識，情動，社会的相互作用対人関係，非侵襲的脳活動計測

## 1. 研究開始当初の背景

近年、エラー関連陰性電位(error-related negativity: ERN)は世界中で盛んに研究される事象関連電位となった。本研究課題の申請時には、ERN がエラー検出だけでなく、情動・動機づけ処理にも関連すること、反応コンフリクト検出にも関与すること、前部帯状回(anterior cingulate cortex: ACC)にその起源を置くこと、等を示唆する研究知見が集積されてきた頃であり、その応用研究の機運が高まった時期でもあった。しかしながらその一方で、ERN の機能的意義について未だ解明されていない側面も多く残されていた。本研究課題では ERN の機能的意義について、従来にはなかった視点から検証することを試みた。

## 2. 研究の目的

ERN が脳内のエラー検出処理を反映することは、自分のエラー遂行時にはもちろんのこと、他者のエラーを観察したときにも ERN が生起する事実から支持される。しかしながら、エラー検出機能といってもそれを説明する立場には、全般的なエラー検出機能を強調した包括的エラー検出仮説(generic error-detection hypothesis)と、その発展型として近年注目されてきた強化学習仮説(Reinforcement-Learning hypothesis: RL 仮説)の2つがある。両者の説明概念は類似しているが、実際にはそれら仮説から導かれる結果の予測は異なる場合がある。たとえば、他者のエラーが自分にとってプラスの結果をも

たらず事態下では、両仮説の予測は異なってくる。そこで本研究では先ず、他者エラーの観察時に生起する ERN に着目し、以下の項目を検討することで、ERN の機能的意義をさらに明確にすることを目的とした。

1. 包括的エラー検出仮説と強化学習仮説から導かれる異なる結果予測を実験で検証し、それぞれの説明概念の妥当性を検討する。
2. 他者エラーの観察と自分自身のエラーによって惹起される ERN では、それぞれ振る舞いが異なるかについて比較検討する（エラーモダリティの比較）。
3. 低頻度刺激によって惹起される N2 成分と、他者エラー観察時の ERN との異同を考慮する。

続いて、さらに別の視点から実験を行い、ERN 成分の機能的意義を調べた。ここでは特に、ERN がエラー検出機能と反応コンフリクト検出機能のいずれを鋭敏に反映するのかについて明らかにすることを目指した。

認知的葛藤課題を用いた場合、反応コンフリクトを誘発する不一致刺激に対しては、反応時間の遅延だけでなく、誤反応の頻出が観察される。また、誤反応に対しては、それを修正しようとする動作が多く随伴する（error correction）。そこで、誤反応肢の筋電図（electromyogram: EMG）と修正動作を行う反応肢の筋電図を導出し、両者の電位を合成することで反応コンフリクト強度を測定し、ERN との対応を調べた。

また認知的葛藤課題では、不一致刺激に対して反応が正解であった場合でも、誤反応を示す筋電図（partial EMG）が先行して観察されることも多い。この誤反応筋電図によっても ERN が惹起されることは、研究代表者の研究やその他の研究で報告されてきた事実である。そこで、誤反応筋電図とその後引き続いて生じる正反応筋電図との関係についても検討することとした。ERN の機能的意義が主にエラー検出であるならば、これら筋電図との時間的重複関係とは独立して ERN は出現するはずである。

さらに、ERN の機能的意義のひとつとして、負の情動に関する処理についても従来にない手続きで検証した。エラー反応に対して、罰刺激を付加させることで、負の情動を操作し、ERN の振る舞いを検討した。

このように本研究課題では、ERN の機能的意義を検証するために、観察者に惹起される ERN に注目したうえで、反応肢の筋電図を利用した検証法等を加えていった。また、その研究過程では ERN だけでなく、他の多くの事象関連電位に関する知見も付帯的に得られるものと期待された。

### 3. 研究の方法

#### (1) 観察者 ERN 実験

手続き：実験参加者は別の部屋で課題遂行している他者のパフォーマンスをモニター上で観察するが、実際にはコンピュータによる疑似的状况を設定した。課題には、エラー反応を比較的多く稼げる選択反応課題を用いた。画面上に呈示される左右いずれかを示す矢印刺激に対して、その方向に対してボタン押し反応を行う課題であった。実験参加者はモニター監視を通して、他者の遂行した反応の正誤が試行毎に即座にわかるようになっていた。実験参加者の課題は、他者を観察し、エラー数をカウントすることであった。他者のエラー率は、最終的に 20% になるようにコンピュータ制御された。

実験では 2 条件を設定した。WinWin 条件では、遂行者の正反応によって遂行者と観察者の両者が金銭報酬を受け、誤反応によって両者が金銭損失を被った。WinLose 条件では、遂行者の誤反応によって遂行者は損失を受けるが観察者は利得となり、遂行者の正反応によって遂行者は利得となるが観察者は損失を受けた。

さらに関連実験として、fMRI を適用することで観察者のエラー検出に関与する脳内活動を調べた。ここでは、ハンドボールのペナルティシュートの映像を刺激に用いて、味方チームのシュートの成功失敗と相手チームのシュートの成功失敗の映像に伴う脳活動の差を調べた。設定条件は上記実験と同義であった。

#### (2) 筋電図利用による ERN 研究

手続き：実験課題としてサイモン課題もしくは空間ストループ課題を用いた。サイモン課題では刺激の一致性（stimulus-response compatibility: SRC）だけでなく、刺激の視認性（明暗）を操作して知覚難易度を操作した。また別の実験では、サイモン課題と空間ストループ課題を比較し、反応コンフリクトの強弱を比較した。サイモン課題よりも空間ストループ課題のほうが反応コンフリクトは強いことが予想された。

#### (3) ERN の情動機能に関する研究

手続き：実験課題として空間ストループ課題を用いた。当該課題は SRC 効果が高く、エラー反応を誘発しやすい利点があった。実験参加者のエラー反応に対して、聴覚的な罰刺激を付加させた場合と、それ以外の聴覚刺激を付加させた場合とで ERN を比較した。罰の聴覚刺激として、不快音（黒板を引っ掻く音、嘔吐音等）を用いた実験と、叱咤を表現する音声を用いた実験を実施した。対照条件として、エラー反応に中性音を随伴させた条件、もしくは、激励の音声を随伴させた条件を設定した。

これらの実験では基本的に、脳波を頭皮上

128 部位から導出した。ERN は反応時点をトリガに用いて加算平均した。

#### 4. 研究成果

平成 18 年度では、他者がオドボール様課題遂行中に誤反応した場合、その観察者に惹起される ERN を測定した。観察者が遂行者の誤反応を検出した場合、WinWin、WinLose いずれの条件でも観察者の前頭部に N2 とは異なると思われる ERN 様の陰性電位が惹起された。さらに、WinLose 条件では、遂行者の正反応を検出したことでも観察者に ERN 様電位が惹起された。包括的エラー検出仮説は、WinWin 条件のエラー反応と WinLose 条件の正反応でのみ ERN 惹起を予測するが、強化学習仮説は WinWin 条件のエラー反応と Win-Lose 条件の正反応でのみ ERN 惹起を予測する。したがって本実験の結果はいずれかの仮説を排他的に支持するものではなく、両仮説がそれぞれ基礎を置く脳内情報処理のいずれをも ERN は反映し得ることを示唆した点で有意義な研究成果であった。

ERN の機能的意義を検討するうえで、ERN がエラー検出ではなく反応コンフリクト検出を反映する電位である可能性（反応コンフリクト仮説）も検討しなければならない。そこでサイモン課題を用いて遂行者のエラー反応時に、誤反応肢からの筋電位と、誤反応に続いて賦活する正反応肢の筋電位を導出し、両者の重畳の程度と ERN 振幅との関係を調べた。その結果、ERN は両反応肢の合成筋電位の大きさとは独立した現象であることを明らかにした。この結果は、ERN 振幅が反応コンフリクトによって規定されないことを示しており、ERN の機能的意義解明に重要な知見となった。

平成 19 年度では、エラー反応によって惹起される ERN に着目し、その機能のひとつアクションモニタリングの特性を空間ストローク課題で調べた。課題遂行時に生じるエラー反応に対して罰刺激を随伴させた場合、回避動機がアクションモニタリングに影響を及ぼすと考えられる。そこでエラー反応の 1 秒後に罰刺激（不快・高覚醒、不快・中程度覚醒、中性・中程度覚醒）を提示する 3 条件と、罰刺激なし条件を比較した。その結果、エラー率は不快・中程度覚醒条件で高くなったものの、ERN には条件間の差はなく、アクションモニタリング機能は聴覚罰刺激の影響を受けないことが示唆された。その一方で、誠実性の高い実験参加者ほど、不快罰刺激条件で ERN が大きくなる傾向があったことから、エラー反応のモニタリング機能は性格特性で異なることが示唆された。

さらに、従来採用されてきた認知的葛藤課題ではなく、力量発揮課題でも ERN が惹起されるかについて検討した。実験参加者は右

手第一指でフォースキーを鋭く押し、実験参加者毎に予め設定された標的強度値を出力した。実験参加者には、課題遂行毎に遂行結果の予測（過大、正解、過小）と、その確信度について言語報告させた。確信度の高い試行を分析対象とし、正誤結果別に脳波を加算平均した結果、フォースキーを押すことで誘発される運動誘発陰性電位が、逸脱エラーを反映して大きくなる結果を得た。本結果より、力量発揮課題で観察される連続型エラーに対してもアクションモニタリング機能が働き、陰性成分を惹起させることが示唆された。

従来とは異なる研究アプローチの採用で得たこれらの知見は、前部帯状回や一次運動野のアクションモニタリング機能の解明に大いに貢献しうるものである。

平成 20 年度では、前年度までの実験結果に基づき、ERN の特性解明を目指した基礎研究をさらに展開させた。先ず、認知葛藤課題遂行中のエラー反応に対して言語的罰刺激を随伴させた場合、負の情動生起に伴って ERN 振幅は低下することを示した。この結果は、罰刺激はパフォーマンスに影響を及ぼさないものの、反応モニタリング機能の低下をもたらしていることを示している。さらに、その効果の脳内発生源を推定したところ、罰刺激に伴う負の情動効果は ACC でもより吻側部に関連することが示唆された。

ERN は脳内ドーパミンと関係が深いことから、ドーパミン作動性ニューロン由来の他の事象関連電位との比較を行った。反応の正誤を知らせるフィードバックを提示すると、ドーパミンと関連の高い刺激前陰性電位 (stimulus preceding negativity: SPN) が、フィードバック提示前に出現する。この SPN とフィードバックに惹起される FB-ERN を同時測定した結果、実験参加者の意思決定がより必要とされる条件では SPN 振幅は増大するものの、FB-ERN には大きな変化は生じないという結果を得た。この結果から、行為と結果との随伴性は、尾状核の関与によって SPN を増大させるものの、ドーパミンの一過性抑制には影響を与えず、FB-ERN を変化させないことが示唆された。

また、干渉効果の異なるサイモン課題と空間ストローク課題を比較した結果、干渉が強くなるに伴って ERN 振幅は増大することを確証した。さらに動作タイミングのモニタリング機能について、刺激一致タイミング課題を用い、刺激速度と動作速度を操作した結果、刺激速度の影響を受けて陰性電位が変化することを報告した。

さらに、ハンドボールのシュート映像を観察したときの脳活動を fMRI で測定した。その結果、エラー観察に伴う ACC 賦活は明確でなかったものの、条件にかかわらず 8 野(前

頭視野), 19 野 (視覚連合野), 23 野 (腹側後帯状皮質) の賦活が確認された。味方チームのゴール成功時には, 7 野 (体性感覚連合野), 23 野 (腹側後帯状皮質), 31 野 (背側後帯状皮質) の広範囲な賦活が認められ, 快感情生起に關与した領域であると考えられた。相手チームのシュート映像では, 失敗映像に対して他条件では賦活のみられなかった 38 野 (側頭極) の賦活を認めた。側頭極の賦活は, 相手チームの失敗もしくは味方チームの好守備に起因した快感情を反映したものと考えられる。より現実的なエラー検出に關わる脳機能を検討した点で意義深い研究といえよう。

本研究課題では, ERN が反応コンフリクトとは独立して出現し, エラー検出をその主機能とすることを示した。一般に, エラーには負の情動が伴う。本研究課題ではさらに, 情動価と反応の正誤とを乖離させることによって, 負の情動を伴う事象であればエラーでなくとも ERN は出現し得ることを示した。

これらの知見は ERN の機能的意義解明に大いに貢献するものであり, 今後, ERN を応用研究に適用する際に, 研究者に理論的根拠を与えるものとなるだろう。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

1. Masaki, H., Falkenstein, M., Stuermer, B., Pinkpank, T., & Sommer, W. (2007). Does the error negativity reflect response conflict strength? Evidence from a Simon task. *Psychophysiology*, 44, 579-585. (査読有)

[学会発表](計 23 件)

1. 小川景子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2009). 行動モニタリングに及ぼす叱咤激励の効果。第 27 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p.33,(5/16,17) (同志社大), 2009。
2. Masaki, H., Ogawa, K., & Sommer, W. (2008). The influence of punishment on action monitoring. Symposium: Conflicts, Errors and Emotions. Co-Chairs: Werner Sommer and Annkathrin Schacht, ICP Congress 2008: XXIX International Congress of Psychology, Friday, 25 July 2008, Berlin, Germany
3. Masaki, H., Murphy, T.I., Desjardins, J., & Segalowitz, S.J. (2008). A Test of the Response-Conflict Hypothesis in the Production of Error-Related Negativity. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 48th Annual Meeting, Austin, Texas, October 1-5, P131.

4. Masaki, H., Yamazaki, K., & Hackley, S. (2008). Action-Outcome Contingency and Stimulus-Preceding Negativity. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 48th Annual Meeting, Austin, Texas, October 1-5, P118.
5. 小川景子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男・Werner Sommer (2008). 性格特性と行動モニタリング機能。第 26 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p.37,(7/5,6) (琉球大)。
6. 正木宏明・望月芳子・高澤則美・山崎勝男・Werner Sommer (2008). 刺激一致タイミングに及ぼす動作速度の効果。第 26 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p.42, (7/5,6) (琉球大)。
7. 高澤則美・松田いづみ・正木宏明 (2008). 利得と損失の評価に関する心理生理学的検討 - SCR を指標としたプロスペクト理論の検討 - 。第 72 回日本心理学会大会論文集, 72, p.489, 2008.
8. Masaki, H., Ogawa, K., Sommer, W., Takasawa, N., & Yamazaki, K. (2007). Action Monitoring of Perceived Errors in a Target Force Production Task. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 47th Annual Meeting, Savannah, Georgia, USA, October 17-21, P101.
9. Ogawa, K., Masaki, H., Takasawa, N., Yamazaki, K., & Sommer, W. (2007). The Effect of Punishment on Action Monitoring. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 47th Annual Meeting, Savannah, Georgia, USA, October 17-21, P101.
10. 浅岡章一・小川景子・正木宏明・福田一彦・山崎勝男 (2007). 仮眠後の睡眠慣性がエラーモニタリング機能に与える影響。第 25 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p.62,(7/15, 16) (札幌医大), 生理心理学と精神生理学, 25(2), p.199, 2007.
11. 望月芳子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2007). 時間情報処理と空間情報処理に対する注意配分が CNV に及ぼす影響。第 25 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p.64,(7/15, 16) (札幌医大), 生理心理学と精神生理学, 25(2), p.205, 2007.
12. 望月芳子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2007). 時間情報処理と空間情報処理に対する注意配分が CNV に及ぼす影響(2) - LORETA を用いて - 。第 71 回日本心理学会大会発表論文集, p.420, (9/18,19,20) (東洋大)。
13. 望月芳子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2007). 時間情報処理と空間情報処理に対する注意配分が CNV に及ぼす影響(2) . 第 71 回日本心理学会大会論文

- 集,71,p.420,2007.
14. 浅岡章一・小川景子・正木宏明・福田一彦・山崎勝男 (2007). 睡眠慣性がエラー反応のモニタリングに与える影響. 第71回日本心理学会大会論文集,71,p.456,2007.
  15. Masaki, H., Nittoono, H., Takasawa, N., & Yamazaki, K. (2006). A test of functional significance of the error-related negativity in observers. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 46th Annual Meeting, October 25-29, Vancouver, British Columbia, Canada.
  16. Masaki, H., Sommer, W., & Yamazaki, K. (2006). Hand placement and response complexity affect independent and motoric processing stage: An LRP analysis. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 46th Annual Meeting, October 25-29, Vancouver, British Columbia, Canada.
  17. Ogawa, K., Masaki, H., Nittoono, H., Hori, T., & Yamazaki, K. (2006). The lambda response form is changed by spatial frequency of visual stimuli. Abstracts of the Society for Psychophysiological Research 46th Annual Meeting, October 25-29, Vancouver, British Columbia, Canada.
  18. 正木宏明・入戸野宏・高澤則美・山崎勝男(2006). 他者エラーの観察に伴うエラー関連陰性電位の機能的意義. 第24回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集,p.39,(5/27,28)(広島大), 生理心理学と精神生理学,24(2),p.129,2006.
  19. 上野真保・正木宏明・望月芳子・山崎勝男(2006). 標的強度出力課題の多様練習がCNVに及ぼす効果. 第24回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集,p.35,(5/27,28)(広島大), 生理心理学と精神生理学, 24(2),p.118,2006.
  20. 望月芳子・竹内成生・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2006). 反応タイミングに及ぼす試行間隔の影響 - CNV とLRPによる検討 - . 第24回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集,p.37,(5 / 27, 28) (広島大), 生理心理学と精神生理学,24(2),p.125,2006.
  21. 竹内成生・望月芳子・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2006). ギャンブル課題遂行時の動機付けとSPN. 第24回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集,p.38,(5 / 27, 28)(広島大), 生理心理学と精神生理学,24(2),p.128,2006.
  22. 小川景子・正木宏明・入戸野宏・堀忠雄・山崎勝男 (2006). 視覚情報の空間周波数とラムダ反応の対応関係. 第70回日本心理学会大会論文集,70,p.461,2006.
  23. 望月芳子・竹内成生・正木宏明・高澤則美・山崎勝男 (2006). 反応タイミングに及

ぼす試行間隔の影響 - LORETAを用いて  
- . 第70回日本心理学会大会論文集,70,p.460,2006.

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

正木宏明 (MASAKI HIROAKI)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・准教授  
研究者番号: 80277798

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

山崎 勝男 (YAMAZAKI KATSUO)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号: 40084579

入戸野 宏 (NITTONO HIROSHI)  
広島大学・大学院総合科学研究科・准教授  
研究者番号: 20304371

高澤 則美 (TAKAZAWA NORIYOSHI)  
江戸川大学・社会学部人間心理学科・教授  
研究者番号: 70356161

##### (4)研究協力者

小川 景子  
日本学術振興会・特別研究員 PD

福田 一彦  
福島大学・共生システム理工学類・教授  
研究者番号: 20192726

浅岡 章一  
福島大学・共生システム理工学類・研究員(プロジェクト)  
研究者番号: 80386656

竹内 成生  
国立障害者リハビリテーションセンター研究所・感覚機能系障害研究部・流動研究員  
研究者番号: 10329162

望月 芳子  
早稲田大学大学院・人間科学研究科・後期博士課程

松田いづみ  
警察庁・科学警察研究所・法科学第四部情報科学第一研究室・研究員  
研究者番号: 80356162

Sommer, Werner ( Humboldt University, Institute of Psychology, Germany, Professor )

Stuermer, Birgit ( Humboldt University, Institute of Psychology, Germany, Assistant Professor )

Falkenstein, Michael (Leibniz Research Centre  
for Working Environment and Human Factors,  
Germany, Professor)

Segalowitz, J. Sidney (Brock University,  
Department of Psychology, Canada, Professor)

Murphy, I. Timothy (Brock University,  
Department of Psychology, Canada, Assistant  
Professor)

Hackley, A. Steven (University of  
Missouri-Columbia, Department of  
Psychological Sciences, USA, Associate  
Professor)