

職業選択時にみられる競合関連陰性電位様成分についての検討¹

中尾 敬・光元麻世・片山 香・宮谷真人

Conflict related negativity like component during occupational choice: An ERP study

Takashi Nakao, Mayo Mitsumoto, Kaori Katayama, and Makoto Miyatani

本研究では、職業選択時に記録される競合関連陰性電位 (conflict related negativity, CRN) 様成分が実際に競合を反映しているのかどうかを検討した。職業選択課題 (例: どちらの職に就きますか? 「ダンサー, 化学者」), 競合あり課題 (例: 有意味語はどちらですか? 「大学教授, 大宮教授」), 競合なし課題 (例: 有意味語はどちらですか? 「たこ焼き屋, *****) 時の脳波を記録し, CRN 様成分を比較した。その結果, 全ての条件において CRN 様成分が認められ, 職業選択課題時の振幅が競合なし課題時の振幅よりも大きかった。また, CRN 様成分の電源推定を行ったところ, 職業選択課題時と競合あり課題時の CRN 様成分の電源は共に補足運動野であった。このことから, 職業選択時の CRN 様成分は補足運動野における競合の解消過程を反映している可能性が示唆された。今後の研究で必要な条件設定について考察した。

キーワード: 職業選択, 競合, 行動選択基準仮説, 事象関連電位, BESA

問題

職業選択や対人場面における振る舞いなどといった社会的行動選択には, 多くの場合, 複数の選択肢が存在し, 明確な正答やフィードバックが存在しない。このような事態では, 反応をめぐって複数の表象が同時に活性化し, 競合 (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Botvinick, Cohen, & Carter, 2004) が生起すると考えられる。我々はいかにして, このような正答が存在しない競合事態において行動を選択しているのであろうか。

中尾・武澤・宮谷 (2006) は, “脳の内側前頭前皮質に表象されている情報 (例: 自己知識, 身近な他者についての知識, 自己や他者の心的状態についての表象, 道徳, 報酬・罰) が, 行動の選択肢のいずれかにバイアスをかけることで競合を低減する” とする行動選択基準仮説を提案した。例えば, 他者とのコミュニケーション場面において, どのように振る舞うかについての行動の選択肢には, 礼儀正しく振る舞う, 冗談を言う, 話を聞くなど, 様々な選択肢がある。そのうちのどの行動を選択するかを決める際には, 相手が年上か, 年下か, 上下関係に厳しい人か (他者知識), 年上

¹ 本研究は文部科学省科学研究費補助金 (若手(B), 課題番号 19700246) の補助を受けて実施した。

にはどう振る舞うべきか (道徳), 自分は話しが上手か, 下手か, ひょうきんか (自己知識), 相手は今どのような感情状態にあるのか (他者の心的状態), 自分の感情状態はどうか (自己の心的状態), 以前この話をして笑いを誘えたか, 場がしらけたか (報酬・罰), などといった情報が利用されていると考えられる。これらの情報を用いることによって行動の選択肢の1つにバイアスをかけ, 競合を低減することが可能となる。

Nakao, Takezawa, Shiraiishi, & Miyatani (in press) は, この行動選択基準仮説を検証するため, 競合関連陰性電位 (Conflict Related Negativity, CRN) を競合の指標とし, 自己知識の活性化によって職業選択課題 (例: どちらの職に就きたいですか「ダンサー, 化学者」) 時の競合が低減するのかを検討した。CRN とは事象関連電位 (event-related brain potentials, ERP) の一種であり, 反応後 100 ms 以内に前頭中心部優位に出現する陰性電位のことである。この CRN は競合が生起する事態において振幅が増大することから, 前部帯状回において検出された競合の程度を反映すると考えられている (Simon-Thomas & Knight, 2005; Yeung, Cohen, & Botvinick, 2004)。行動選択基準仮説が正しければ, 自己知識が活性化されやすい状況では, 身近でない他者の知識が活性化されやすい状況よりも職業選択時の CRN が減衰すると予測された。自己知識課題 (例: あなたにあてはまりますか? 「やさしい」) の遂行直後に職業選択課題を行った場合と, 他者知識課題 (例: 小泉首相にあてはまりますか? 「陽気な」) の遂行直後に職業選択課題を行った場合とで, 職業選択課題時の CRN を比較したところ, 自己知識が活性化されやすい状況で職業選択課題を行ったときの方が, CRN の振幅は小さかった。この結果は, 自己知識の活性化により職業選択時の競合が低減したことを示しており, 行動選択基準仮説を支持するものであった。

しかし, Nakao et al. (in press) で記録された ERP 成分が, 実際に競合を反映しているのかについては検討が必要である。従来の CRN についての研究では, サイモン課題などの正答は存在するが誤反応が活性化しやすいために競合が生起する課題が用いられてきた (Masaki, Falkenstein, Stürmer, Pinkpank, & Sommer, 2007)。Nakao et al. (in press) で分析した陰性電位の潜時, 振幅, 頭皮上分布は, これまでに報告されてきた CRN と類似してはいるものの, ERP の一つの電位変動が一つの認知過程のみを反映しているとは限らない。そのため, これまでに検討されてきた課題とは異なる職業選択課題時に記録された CRN 類似の陰性電位 (以下, CRN 様成分) が, 競合の大きさとは別のものを反映している可能性は十分考えられる。

そこで本研究では, 職業選択時に記録される CRN 様成分が競合を反映しているのかどうかについての検討を行う。職業選択課題の他に, 正答はあるが誤反応も生じやすい競合あり課題と, 明らかな正答があり競合が生じない競合なし課題を設け, CRN 様成分の潜時, 振幅, 頭皮上分布を比較する。また, CRN 様成分の電源推定を行い, CRN 様成分の電源が競合の検出を行っていると考えられている前部帯状回 (Kerns, Cohen, MacDonald, Cho, Stenger, & Carte, 2004) であるのかどうかを検討する。

方法

実験参加者 正常な視力 (矯正視力を含む) を持つ 18 歳から 21 歳の右利き大学生 17 名 (平均年

年齢 19.6 歳, $SD=1.12$)が実験に参加した。結果分析の際には、1 条件における ERP の加算回数が 20 回以下であった実験参加者 2 名を除外した。

実験計画 課題について 3 水準 (職業選択課題, 競合あり課題, 競合なし課題) を設けた, 実験参加者内 1 要因計画とした。

刺激 職業語を 280 語 (例: 大学教授) と各職業語に形態が類似した無意味語 280 語 (例: 大宮教授) を用意した。職業語 2 語と各職業語に類似した無意味語 2 語を 1 セットとし, 140 セットからなる刺激リストを作成した。刺激セットは実験参加者ごとにランダム化し, 70 セットを職業選択課題で使用し, 残りの 70 セットは競合あり課題と競合なし課題で使用した。職業選択課題に割り振られた 70 セットでは 1 セットのうちの職業 2 語のみを使用した。競合あり課題と競合なし課題に割り振られた 70 セットでは, 1 セットのうちの職業語 1 語とそれに類似した無意味語 1 語を競合あり課題に, 残りの職業語 1 語を競合なし課題に割り振った。その際, 1 セットに含まれる職業語 2 語の競合あり課題, 競合なし課題への割り当てはランダムに決定した。その他に練習試行用として, 職業選択課題用に職業語 2 語からなるセットを 10 セット, 競合あり課題用に職業語とそれに類似した無意味語からなるセットを 10 セット, 競合なし課題用に職業語を 10 語用意した。

課題 左右に呈示された 2 つの職業語のうち自分がよりうまく遂行できると思う職業の側のボタンを押す職業選択課題 (どちらの職に就きますか?), 左右に呈示された職業語とそれに類似した無意味語のうち職業語が呈示された側のボタンを押す競合あり課題 (有意味語はどちらですか?), 左右に呈示された職業語とアスタリスク (*****) のうち職業語が呈示された側のボタンを押す競合なし課題 (有意味語はどちらですか?) の 3 種類であった。

手続き 本試行は全部で 6 ブロックからなっていた。全てのブロックにおいて, 職業選択課題, 競合あり課題, 競合なし課題をランダムな順序で呈示した。各課題は 70 試行からなっていた。

各試行では, まず課題内容を指定する質問文を画面中央のやや上に呈示し, その 1 000 ms 後, 質問文の下に刺激語を, それを囲む四角い枠と共に呈示した。刺激語の呈示から反応ボタン押しまでの時間を記録した。反応してから 500 ms 間は四角い枠を呈示し続け, 枠が呈示されている間は脳波記録時のアーチファクトとなる瞬きを抑制するよう, 実験参加者に教示した。枠の呈示終了から 1 000 ms 後に次の試行の質問文を呈示した。

脳波の記録と分析 銀・塩化銀電極を用い, 両耳朶を基準 (オフライン) として Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, Oz, Fp1, Fp2, F3, F4, FC3, FC4, C3, C4, CP3, CP4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, FT7, FT8, T7, T8, TP7, TP8, P7, P8 の 30 部位から脳波を測定した。また, 垂直・水平眼電図も同時に記録した。測定して得られた脳波, 眼電図は帯域通過周波数 0.05-300 Hz で増幅し, サンプリング周波数 1 000 Hz で A/D 変換した。反応前 500 ms から 250 ms までの 250 ms 間を基線として, 反応後 250 ms までの区間について条件別に加算平均したものを反応同期 ERP とした。また, 刺激呈示前 100 ms から 0 ms までの 100 ms 間を基線とし, 刺激提示後 1000 ms までの区間について条件別に加算平均して刺激同期 ERP を得た。アーチファクト混入試行 ($\pm 100 \mu V$ 以上) は加算平均処理から除外した。

結果

行動指標 平均反応時間と平均誤反応率を課題ごとに算出した(Table 1)。平均反応時間について Huynh-Feldt の調整自由度を用いた 1 要因の分散分析を行ったところ、主効果が有意であった ($F(1.61, 22.58) = 67.75, p < .01, \epsilon = .81$)。そこで Bonferroni 法による多重比較 (5%水準) を行ったところ、競合なし課題よりも競合あり課題と職業選択課題で反応時間が長く、さらに競合あり課題よりも職業選択課題で反応時間が長くなっていた。職業選択課題には正答がなく、誤反応のデータはなかった。競合あり課題では平均誤反応率が 0.04 であった。競合なし課題では誤反応は見られなかった。

Table 1
課題別の平均反応時間 (ms) と平均誤反応率

	職業選択	競合あり	競合なし
平均反応時間 (SD)	1437 (403)	1220 (316)	546 (84)
平均誤反応率 (SD)	—	0.04 (0.04)	0 (0)

ERP 各条件において、Fz, Cz, Pz から記録された刺激同期 ERP と反応同期 ERP を Figure 1 に示した。また Figure 2 には、反応同期 ERP の反応後 21ms 時点における頭皮上分布マップを示した。Figure 1 右側の反応同期 ERP を見ると、Fz において、反応後 20ms 付近をピークとする CRN 様成分が全ての条件で出現しており、その振幅は職業選択課題で最も大きくなっていた。Figure 2 からも、全ての条件で前頭部優位に陰性電位が出現していたことが分かる。一方、Figure 1 右側の Cz, Pz の波形では、競合なし課題において反応前 50ms 付近をピークとする陽性電位が出現していた。Figure 2 からも、競合なし課題では頭頂部を中心に大きな陽性電位が出現していたことがわかる。Figure 1 左側の刺激同期 ERP においても、競合なし課題において 400ms 付近をピークとする陽性電位が出現していた。

CRN 様成分の条件差を統計的に検討するため、CRN 様成分が最も顕著に認められ、かつ、競合なし条件で頭頂部を中心に認められた陽性成分の影響が小さかった Fz における CRN 様成分の平均振幅 (0-60 ms 区間) について、Huynh-Feldt の調整自由度を用いた 1 要因分散分析を行った。その結果、課題の主効果が有意であった ($F(1.71, 24) = 3.97, p < .05, \epsilon = .86$)。Bonferroni 法による多重比較 ($p < .05$) を行ったところ、有意差は認められなかったが、職業選択課題で競合あり課題や競合なし課題よりも CRN 様成分の振幅が大きい傾向が認められた ($p < .10$)。

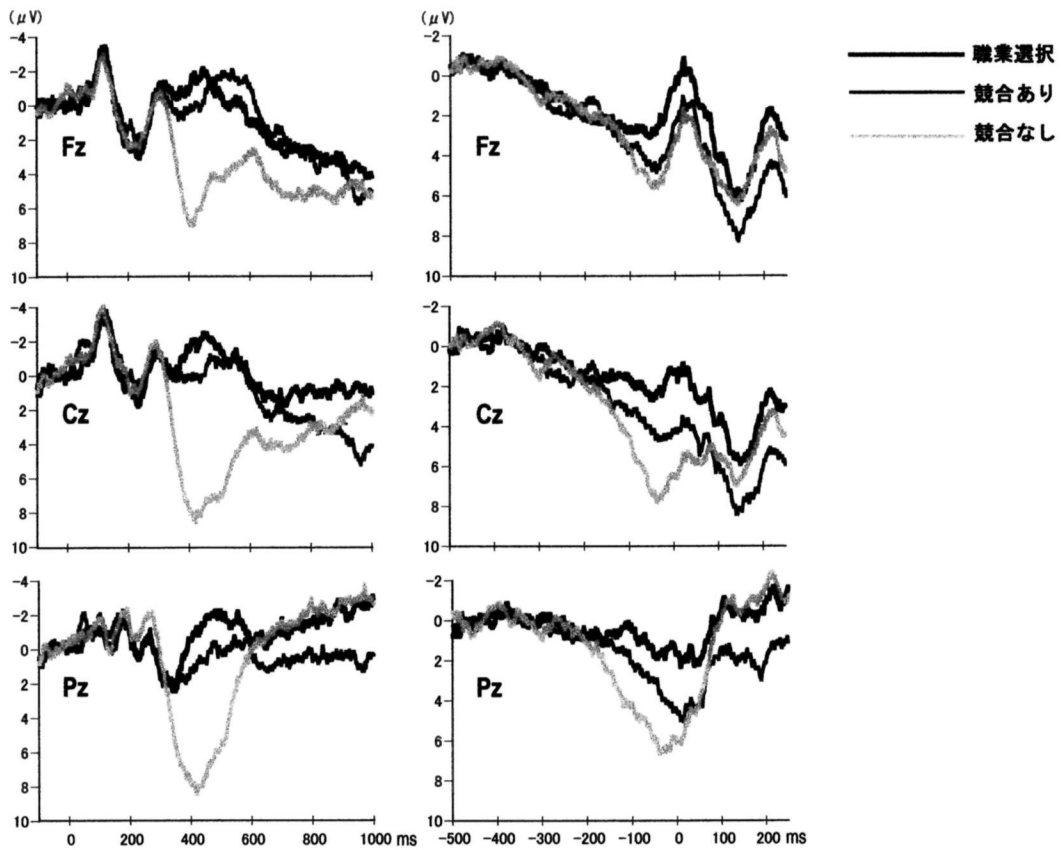


Figure 1. 各条件において Fz, Cz, Pz から記録された刺激同期 ERP (左)と反応同期 ERP (右)。

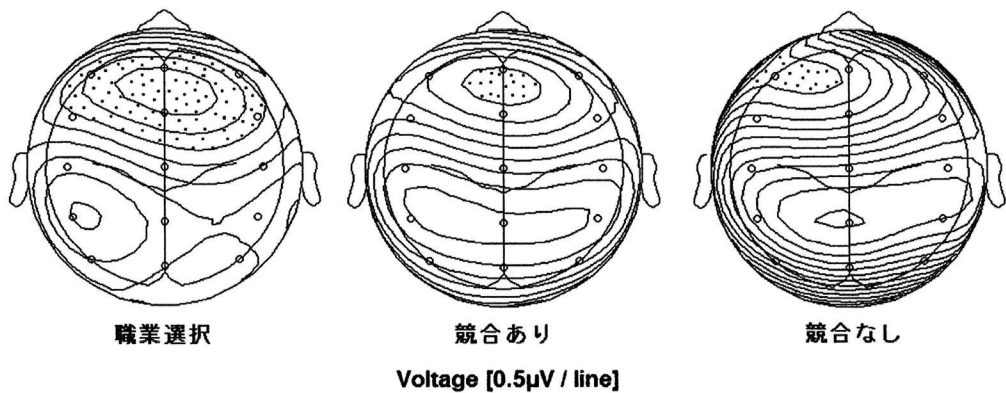


Figure 2. 各課題における反応同期 ERP の反応後 21ms 時点における頭皮上分布マップ。上部が頭部の前方。前頭部のドットは陰性電位が記録された領域を示す。

CRN 様成分の頭皮上分布が類似していた職業選択課題と競合あり課題について、BESA (Brain Electrical Source Analysis program) ver.5.0 を用い、CRN 様成分のピークを含む 0-60 ms の区間について電源推定を行った。主成分分析 (principal component analysis, PCA) により、1つの電源のみで頭皮上データの分散の 90%以上 (職業選択課題: 92.4%, 競合あり課題: 94.7%) が説明できることが示されたため、電源を 1つとして電源部位の推定を行った。このとき、関連する残差分散 (residual variance, R.V.) が最小となる推定結果 (職業選択課題: R.V.=11.8%, Best=7.0%, 競合あり課題: R.V.=12.6%, Best=7.4%) を採用した。その結果、職業選択課題、競合あり課題共に、電源は右補足運動野 (職業選択課題: $x=6, y=-15, z=53$ (タライラック座標), 競合あり課題: $x=3, y=-14, z=53$) であると推定された (Figure 3)。

なお、職業選択課題と競合あり課題の CRN 様成分に関しては、競合なし課題との差波形についても電源推定を行う予定であった。しかし、Figure 1 に見られるように、競合なし課題時には CRN 様成分と同潜時間帯に大きな陽性電位が出現し、条件間の差波形を計算することは適切でないと判断し、その分析は行わなかった。

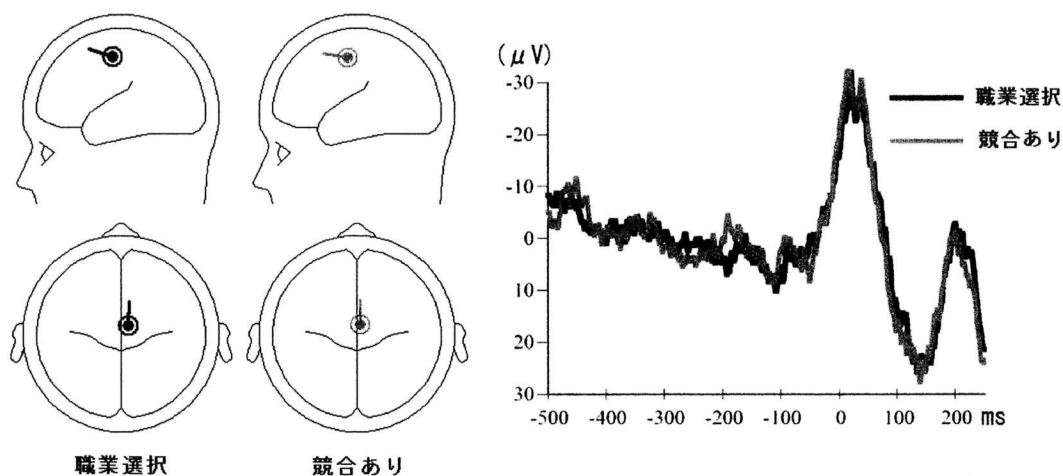


Figure 3. 職業選択課題時と競合あり課題時に観察された CRN 様成分の電源部位 (補足運動野, 左図) と電源における電気活動 (右図)。

考察

本研究の目的は、職業選択時に記録される CRN 様成分が競合を反映しているのかを検討することであった。Figure 1 の右側に見られるように、職業選択課題時に、競合なし課題よりも振幅の大きな CRN 様成分が認められ、職業選択課題時に CRN 様成分が出現することが確認できた。また、職業選択課題と競合あり課題の CRN 様成分の電源 (Figure 3) が類似しているという結果が認められた。推定された CRN 様成分の電源は、競合の検出を行っているとされている前部帯状回よりも

上部に位置する補足運動野であった。補足運動野は競合の解消に関わる部位であると考えられており (Nachev, Rees, Parton, Kennard, & Husain, 2005), 職業選択時の CRN 様成分は競合検出というよりは、競合の解消過程を反映している可能性が考えられる。

しかし、電源推定の結果は競合なし課題との差波形についての電源推定ではないことから、本研究の結果からは、職業選択時の CRN 様成分が競合に関連した処理過程のみを反映しているとは言えない。競合なし課題との差波形の電源推定を行わなかったのは、競合なし課題時の CRN 様成分に頭頂部を中心に認められた陽性成分が重なっていたためである。競合なし課題時には、Figure 1 の左側に見られるように、刺激提示後 400ms 付近をピークとする陽性電位が出現し、その電位が Figure 2 右側の反応同期 ERP にも記録されていた。3 分の 1 の確率で出現する競合なし課題において単語刺激とは異なるアスタリスクを呈示していたことから、この成分は出現頻度の低い刺激を処理した際に出現する P300 成分 (Heinrich & Bach, in press) であると考えられる。この P300 は CRN と頭皮上分布は異なるものの、反応同期 ERP における出現潜時が重なっていたことから、競合なし課題を職業選択課題や競合あり課題の統制課題として使用することができなかった。

また、本研究における競合なし課題時には CRN 様成分が認められた (Figure 1 右)。その理由としては主に 2 つ考えられる。1 つは、CRN 様成分の認められた 3 課題ではいずれも単語刺激を使用していたことから、CRN 様成分が競合とは関連のない意味処理過程を反映している可能性である。しかし、競合なし課題ではアスタリスクでない方のボタンを押せばよかったことから、意味処理が行われていたと断定することはできない。もう 1 つの可能性は、競合なし条件においても二者択一の判断を求めていることから、潜在的に競合が生起し、競合検出や競合の解消過程といった競合に関連する認知過程が引き起こされていた可能性である。競合なし条件では反応時間が短く誤反応も生起していなかったことから、競合が起こっていたとは考えにくい。2 つの刺激の一方を選択する課題を行えば、行動指標には反映されなくても、脳内では競合が検出され、競合の解消過程が引き起こされるのかもしれない。しかし、いずれにせよ、競合なし課題において CRN 様成分が認められた理由と CRN 様成分の反映する認知過程についてはさらなる検討が必要である。

今後の課題としてはまず、P300 生起への対策が挙げられる。本研究のように 3 つの課題をランダムに呈示するのではなく、課題ごとにブロックに分けて実施すれば、アスタリスクが低頻度で呈示されることはなくなるため、競合なし課題で P300 が出現して CRN 様成分の評価に影響することはなくなると考えられる。しかし、競合なし課題においても CRN 様成分が認められたことから、競合が全く生起しない選択課題を設定すること自体が困難である可能性が考えられる。そのため、職業選択時の CRN 様成分が競合を反映しているのかを検討するためには、本研究のように、明らかに競合が生起する課題と競合が生起しない課題を設け、職業選択課題と比較しようとするよりも、職業語の組合せによって職業選択時の競合が大きいものと小さいものとを区別し、CRN 様成分の振幅を比較しようとする方が適当であると思われる。

以上のように、本研究では職業選択課題時の CRN 様成分の振幅が競合を反映していることを示すことはできなかった。しかし、職業選択課題時に CRN 様成分が出現することを再度確認することはできた。また、職業選択課題時の CRN 様成分の電源と、競合あり課題時の CRN 様成分の電源

とが補足運動野であったことが明らかとなった。補足運動野は競合の解消に関わる部位であると考えられていることから、職業選択時の CRN 様成分は競合の解消過程を反映している可能性が考えられるが、CRN 様成分の反映する認知過程を特定するにはさらなる検討が必要である。

引用文献

- 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.
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: An update. *Trends in Cognitive Sciences*, **8**, 539-546.
- Heinrich, S. P., & Bach, M. (in press). Signal and noise in P300 recordings to visual stimuli. *Documenta Ophthalmologica*.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, **303**, 1023-1026.
- Masaki, H., Falkenstein, M., Sturmer, B., Pinkpank, T., & Sommer, W. (2007). Does the error negativity reflect response conflict strength? Evidence from a Simon task. *Psychophysiology*, **44**, 579-585.
- Nachev, P., Rees, G., Parton, A., Kennard, C., & Husain, M. (2005). Volition and conflict in human medial frontal cortex. *Current Biology*, **15**, 122-128.
- 中尾 敬・武澤友広・宮谷真人 (2006). 内側前頭前皮質の機能—行動選択基準仮説— 心理学評論, **49**, 592-612.
- Nakao, T., Takezawa, T., Shiraishi, M., & Miyatani, M. (in press). Activation of self-knowledge reduces conflict during occupational choice: An ERP study. *International Journal of Neuroscience*.
- Simon-Thomas, E. R., & Knight, R. T. (2005). Affective and cognitive modulation of performance monitoring: Behavioral and ERP evidence. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, **5**, 362-372.
- Yeung, N., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, **111**, 931-959.