

# 左手利きの左右半球意味情報活性 ——事象関連電位による検討——

加藤 公子<sup>(1)</sup> (kimi.kato@nifty.com)

吉崎 一人<sup>(2)</sup>・沖田 庸嵩<sup>(2)</sup>・小林 裕子<sup>(2)</sup>

〔<sup>(1)</sup> 国立長寿医療研究センター・<sup>(2)</sup> 愛知淑徳大学〕

Bilateral activation of semantic information on left-handers: Event-related potential study

Kimiko Kato, Kazuhito Yoshizaki, Tsunetaka Okita, Yuko Kobayashi

<sup>(1)</sup> National Center for Geriatrics and Gerontology, Japan

<sup>(2)</sup> Department of Psychology and Communication, Aichi Shukutoku University, Japan

## Abstract

To investigate interhemispheric transfer of language information in left-handed participants, event-related potentials were recorded during a semantic matching task. The stimuli were prime and target word pairs sequentially presented to either the left (LVF) or the right (RVF) visual field. A posterior slow negative shift (SNp) preceding target presentation was measured as an index of storage of language information and an N400 attenuation elicited for targets was used to analyze the priming effect. The SNp developed over both hemispheres for RVF primes, whereas for LVF primes it declined over the left hemisphere. The N400 attenuation was larger in the right hemisphere than in the left hemisphere. The lateralized pattern of the SNp development and the N400 attenuation, which contrasts with the previous finding in right handers (Kato & Okita, 2008), suggests that the transfer of language information from the dominant hemisphere to the nondominant hemisphere is reduced.

## Key words

semantic priming, storage of information, event-related potential, posterior slow negativity, N400

## 1. 問題と目的

ヒトの情報処理の仕方には個人差がある。本研究は大脳半球における情報処理に焦点を当て、その個人差を行動指標及び電気生理学的指標から探求する。

これまでの左右大脳半球機能差研究から、言語処理は左半球、非言語処理は右半球優位であることが広く知られるところとなった。さらに近年では左右半球を繋ぐ脳梁を介した協同作用についても関心が高まっている (Banich, 1998) が、この半球間相互作用にも個人差があると推測する。本研究が着目するのは半球間情報転送及び各半球での情報貯蔵に対する利き手の影響である。これらの大脳半球情報処理に利き手による差異があるかどうかを事象関連電位 (event-related potential: ERP) から捉える。

半球間情報転送に関してこれまでの ERP 研究は刺激呈示後 100 ms あたりに頂点を迎える陰性電位の N1 潜時から転送速度を算出し検討してきた。転送速度は刺激によって半球優位性がある (Nowicka, Grabowski, & Fersten, 1996) との報告もあるが、言語刺激 (加藤・沖田, 2008; Larson & Brown, 1997)、非言語刺激 (Compton, Carp, Chaddock, Fineman, Quandt, & Ratliff, 2008; 加藤・吉崎・沖田, 2009; Larson & Brown, 1997; Terasaki & Okazaki, 2002) を用いた研究から半球優位性はないと多数報告されている。こう

してみると、N1 潜時から半球間情報転送による半球優位性を見出すことは難しいようである。そこで本研究は ERP 振幅をその代替として用いることとした。

最近の ERP 研究から継時呈示の刺激間間隔中に後頭部で記録される陰性電位振幅が視覚的ワーキングメモリ容量を反映する (Ikkai, McCollough, & Vogel, 2010; Klaver, Talsma, Wijers, Heinze, & Mulder, 1999; Vogel & Machizawa, 2004; Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005) との報告がある。これらの研究では学習項目画面とテスト画面に呈示される図形の色や形のマッチングを課題とし、刺激間に惹起する陰性電位は学習項目視野と対側半球後頭部で増大する、つまり刺激呈示視野と対側半球に視覚情報が貯蔵されることを示した。これに対して単語を用いた意味プライミング課題でプライム後に惹起する陰性電位を記録した研究 (加藤・沖田, 2008) は刺激呈示視野と対側半球にのみ情報が貯蔵されるとは限らないことを示した。加藤・沖田 (2008) が記録したプライム呈示後に後頭部で緩やかに発達する陰性電位 (posterior slow negativity: SNp) は、プライム左視野呈示時の左右半球、右視野呈示時の左半球が同等の大きさで、右視野呈示時の右半球だけが小さくなった。転送を要した左視野呈示の左半球と直接刺激が入力された左右半球の SNp が同等の大きさであることは、右半球から左半球への情報転送及び左半球での情報貯蔵がその逆よりも優位であることを示唆する。

視覚的ワーキングメモリを測定した研究と加藤・沖田

(2008) の相違は後続刺激処理に対して先行刺激の記憶表象がそのまま利用されるのか、記憶表象から起こる意味情報活性を利用して処理を行うのかという点である。したがって、記憶表象に対してさらなる情報活性が要求される事態において半球間情報転送の非対称性が生まれると推測できる。このように考えると、言語意味プライミングパラダイムで認められた SNp (加藤・沖田, 2008) はターゲット処理効率を向上させるための準備処理、すなわち処理方略を反映していると推測できる。さらに加藤・沖田 (2008) は意味処理に関わって誘発する N400 成分 (Kutas & Hillyard, 1980) を同定し、意味無関連条件から関連条件を減算して求めた N400 プライミング効果が大きな SNp を認めた左半球で増大することを確認した。これは貯蔵されたプライム情報をターゲット処理に利用するという認知処理方略が効果的であったためと推測する。しかし、この方略は言語刺激処理において常に使われるのか、あるいは個人によって方略の使い方が異なるのかという疑問が挙がる。

意味プライミングパラダイム遂行中の ERP 記録から脳機能の個人差について言及する研究がある (e.g., Daltrozzo, Wioland, & Kotchoubey, 2007) ように、言語処理の個人差において ERP 成分は有益な結果を導くことができ、これまであまり明らかにされていない観点にも関心を向けることができる。そこで本研究は ERP を用いて利き手による認知処理方略の違いを探る。言語意味プライミング課題遂行中の左手利きの ERP を記録し、右手利きを対象に実験を行った加藤・沖田 (2008) を参照して半球間情報転送及び貯蔵の利き手による差異を検討する。第 1 の目的はプライム呈示後に後頭部優勢に惹起する SNp から言語意味情報の半球間情報転送及び貯蔵について検討することである。プライム情報の転送は右手利きと対称的に左半球から右半球への転送優位となるのかを探る。第 2 の目的は SNp の大きさと N400 意味プライミング効果の大きさとの関係について考察することである。SNp の半球非対称性が認められるならば、SNp の大きさに比例した N400 意味プライミング効果が観察されるだろう。

## 2. 方法

### 2.1 実験参加者

18 歳から 28 歳 (平均 21.3 歳) の左手利き (男性 3 名、女性 9 名) が実験に参加した。利き手の判定は八田・中塚 (1975) の利き手テストを使用した。いずれの参加者も視覚機能に異常は認められなかった。参加者には実験開始前に実験について説明し、参加の了解を得た。

### 2.2 刺激材料

プライムとターゲットには意味関連語対として連想性の高い名詞 200 対と意味無関連語対として連想性の低い名詞 200 対を使用した。各単語はひらがな、カタカナ、漢字による 1 文字から 4 文字で、黒色インク、MS UI ゴシック体の縦書きで表記した。単語刺激の大きさは 1 文字で

縦 1.6° × 横 1.7°、4 文字で縦 7.1° × 横 1.7° であった。単語刺激は白色背景の画面中央から左右水平方向に 2.7° の位置に、また凝視点は画面中央に呈示した。

### 2.3 実験装置

刺激は PC / AT 互換機とそれに接続した 17 インチ CRT ディスプレイによって呈示した。反応の採取は Cedrus 社製反応ボックスを使用した。刺激呈示の制御、トリガー信号の制御、反応時間の記録には Cedrus 社製 SuperLab Pro for Windows (Ver.2.04) を用いた。

### 2.4 条件

意味関連性により関連条件と無関連条件を設定した。プライム呈示視野として左視野条件、右視野条件を設けた。また、プライムとターゲットの呈示視野により、プライム・ターゲットとも左視野 (LL)、右視野 (RR) 条件、プライム左視野・ターゲット右視野 (LR) 条件、プライム右視野・ターゲット左視野 (RL) 条件の 4 条件を設定した。

### 2.5 手続き

実験参加者は目からモニターまでの距離を 60 cm 離して、顔面固定台に頭部を固定した。

練習 24 試行後、本試行は 25 試行からなるブロックを 16 ブロック行った。総計 400 試行は意味関連性 2 条件、プライムとターゲットの視野 4 条件の組み合わせ計 8 条件から成り、各条件は 50 回ずつ呈示した。

各試行では画面中央に凝視点を 500 ms 間呈示し、次にプライムを 100 ms 間呈示した。900 ms 間の凝視点呈示後、ターゲットを 100 ms 間呈示した。ターゲット呈示後 1500 ms の空白をおいて次の試行が開始した。実験参加者の課題はプライムとターゲットの意味関連性判断をして、ターゲットが呈示されたらできるだけ速く正確に反応ボタンを押すことであった。反応ボックスは体の正面に置き、実験参加者には左ボタンは左手人差し指で、右ボタンは右手人差し指で押すように要求した。実験参加者の半数 6 名は関連判断を左ボタン、無関連判断を右ボタンで反応し、残り 6 名はその逆で反応するように求めた。また実験参加者には課題遂行中は画面中央を凝視するように指示した。

### 2.6 記録と分析

脳波は国際 10% 法に基づく Fz・Cz・Pz・C3・C4・P3・P4・PO7・PO8 の 9 部位から左耳朵を基準として導出し、MA1132 (デジテックス研究所製多チャンネル生体アンプ) により増幅後 (帯域通過周波数 0.05-30 Hz)、G1-ERP Analyzer (G1 システム社製) に 500 Hz でサンプル記録し、オフラインで左右耳朵の平均電位に再基準化した。また同時に右眼窩上縁部より垂直眼球電図、左右外眼角側方 1 cm より水平眼球電図を記録した。電極インピーダンスは 5 kΩ 以下とした。ERP 加算平均処理の区間分析は、プライムに対しては呈示前 100 ms から呈示後 1000 ms ま

での 1100 ms 間、ターゲットに対しては呈示前 100 ms から呈示後 800 ms までの 900 ms 間とした。基線はいずれも刺激呈示前 100 ms 間の平均電位とした。誤答及び反応時間が 200 ms 以下、1500 ms 以上の試行、脳波・眼球電図に 100  $\mu$ V 以上の変化が生じた試行は加算平均処理から除外した。加算回数はプライムでは平均 158 回、ターゲットでは平均 39 回であった。

SNp はプライム呈示後 400 ~ 900 ms 間の頭頂後頭部 (PO7・PO8) における平均電位として求めた。N400 はターゲット呈示後 300 ~ 500 ms 間の平均電位として頭頂部 (P3・P4) で測定した。反応時間は誤答及び 200 ms 以下、1500 ms 以上の試行を除いたデータを用いて分析した。

統計分析は反復測定分散分析を用い、多重比較については Holm 法を用い、有意水準は .05 に設定した。すべての分散分析において 3 水準以上の要因については、自由度補正として Huynh-Feldt の  $\epsilon$  を適用した。

### 3. 結果

#### 3.1 行動指標

反応時間及び誤答率について意味関連性 (関連・無関連)  $\times$  視野 (LL・LR・RL・RR) の分析を行った (Table 1)。反応時間は意味関連性の主効果が有意で ( $F(1, 11) = 8.28, p < .05$ )、関連条件が無関連条件よりも反応時間が短くなる意味プライミング効果が認められた。視野の主効果は有意とはならなかった。意味関連性  $\times$  視野の交互作用は有意傾向で ( $F(3, 33) = 2.96, p = .07, \epsilon = 0.741$ )、単純主効果検定では視野 LL 条件 ( $F(1, 44) = 12.91, p < .001$ )、LR 条件 ( $F(1, 44) = 4.67, p < .05$ )、RR 条件 ( $F(1, 44) = 8.74, p < .005$ ) では意味関連が無関連よりも反応時間が短縮する顕著な意味プライミング効果が認められたが、RL 条件 ( $F(1, 44) = 3.53, p = .07$ ) はその傾向が認められるものの、有意とはならなかった。

誤答率は意味関連性の主効果 ( $F(1, 11) = 6.79, p < .05$ )、視野の主効果 ( $F(3, 33) = 3.87, p < .05, \epsilon = 1$ )、意味関連性  $\times$  視野の交互作用 ( $F(3, 33) = 6.68, p < .005, \epsilon = 0.968$ ) が

有意で、単純主効果検定は視野 LR 条件 ( $F(1, 44) = 11.52, p < .005$ ) と RL 条件 ( $F(1, 44) = 13.80, p < .001$ ) はいずれも意味関連が無関連よりも誤答率が高くなることを示した。

#### 3.2 SNp

Figure 1 に示すように、プライム呈示後 300 ms あたりで立ち上がりを見せた頭頂後頭部優勢な電位は 400 ms 以降 900 ms あたりまで緩やかな陰性シフトが観察できる。400 ~ 900 ms 間の平均電位についてプライム視野 (左視野・右視野)  $\times$  部位 (PO7・PO8) の分析を行ったところ交互作用が有意 ( $F(1, 11) = 18.66, p < .005$ ) であった。単純主効果検定はプライム左視野呈示では PO7 よりも PO8 で陰性シフトが有意に大きくなる ( $F(1, 22) = 11.86, p < .005$ ) が、右視野呈示では PO8 よりも PO7 で大きくなる傾向 ( $F(1, 22) = 3.74, p = .07$ ) は認められるが、有意とはならなかった。

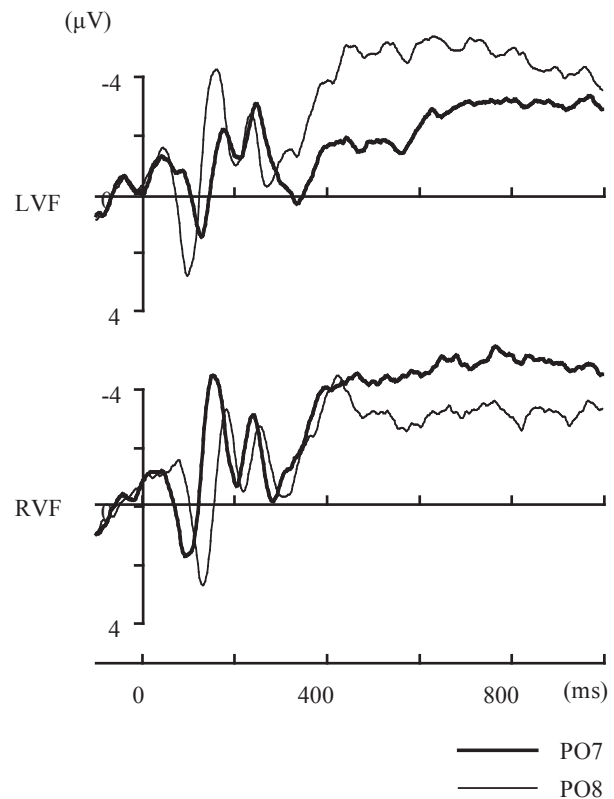


Figure 1: Grand mean (N = 12) ERPs for prime words presented to the left (LVF) and right visual fields (RVF). The waveforms at PO7 and PO8 sites are overlapped. Negativity is up.

Table 1: Mean reaction times (ms) and SDs and mean error rates (%) in each experimental condition

		Relevant			
		LL	LR	RL	RR
Reaction	Mean	603	621	629	617
Time	SD	75	87	81	74
Error Rate	Mean	9.8	11.2	15.0	8.8
		Unrelevant			
		LL	LR	RL	RR
Reaction	Mean	684	669	671	683
Time	SD	101	98	99	92
Error Rate	Mean	7.2	2.3	5.3	6.7

#### 3.3 N400

頭頂部 (P3・P4) 記録の ERP 波形を Figure 2 に示す。ターゲット呈示後 200 ms あたりから意味関連性条件間で分岐が認められ、関連条件は陽性方向へ、無関連条件は陰性方向への緩やかなシフトが観察される。P4 部位の視野 RL 条件で得られた波形は他の条件に比べて関連条件における N400 減衰が小さく、また無関連条件における N400 が

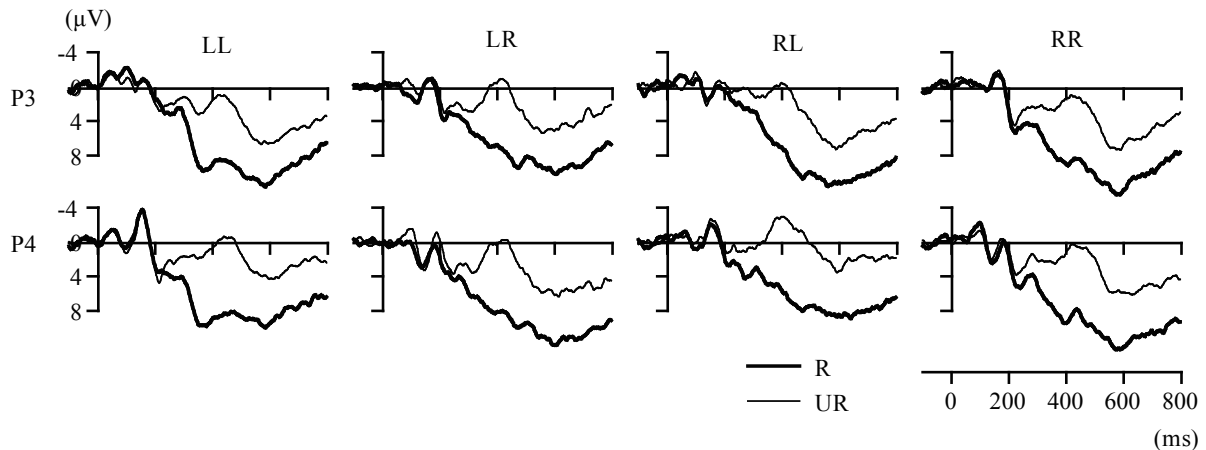


Figure 2: Grand mean ( $N = 12$ ) ERPs at P3 and P4. The waveforms are overlapped for target words semantically related (R) and unrelated (UR) to primes and depicted separately for the four different trials, LL, LR, RL, and RR. Negativity is up.

増大していることが観察できる。ターゲット呈示後 300 ~ 500 ms 区間の平均電位について意味関連性（関連・無関連）×視野（LL・LR・RL・RR）×部位（P3・P4）の分析を行った。意味関連性の主効果（ $F(1, 11) = 93.15, p < .001$ ）が認められ、関連条件が無関連条件よりも大きな N400 減衰を示すプライミング効果が確認できた。視野の主効果も有意（ $F(3, 33) = 4.76, p < .01$ ）で、多重比較は RL 条件（ $3.28 \mu\text{V}$ ）は他の LL 条件（ $4.88 \mu\text{V}$ ）、LR 条件（ $4.51 \mu\text{V}$ ）、RR 条件（ $5.00 \mu\text{V}$ ）よりも N400 減衰が小さいことを示した。視野×部位の交互作用も有意（ $F(3, 33) = 6.45, p < .01, \epsilon = 0.705$ ）で、単純主効果検定は、視野 RL 条件（ $F(1, 44) = 9.10, p < .005$ ）においてのみ P3 部位よりも P4 部位で N400 が大きいことを示した。また意味関連性×部位の交互作用が有意（ $F(1, 11) = 9.96, p < .01$ ）で、単純主効果検定は P3（ $F(1, 22) = 79.10, p < .001$ ）、P4 部位（ $F(1, 22) = 101.41, p < .001$ ）ともに関連条件よりも無関連条件で N400 振幅の増大、すなわち N400 プライミング効果を認めた。さらに、関連性条件別にみると、意味関連条件では半球差はないが、無関連条件は P3 部位よりも P4 部位で N400 振幅が大きい傾向にあることが示された（ $F(1, 22) = 3.06, p = .09$ ）。無関連条件から関連条件を引き算して得た N400 プライミング効果波形を分析しこれを確認した。300 ~ 500 ms 区間平均電位について視野 × 部位の分析を行ったところ、部位の主効果（ $F(1, 11) = 9.96, p < .01$ ）のみ有意で、N400 プライミング効果は P4 部位（ $-7.0 \mu\text{V}$ ）が P3 部位（ $-6.2 \mu\text{V}$ ）よりも大きいことを示した。

#### 4. 考察

本研究は左手利きを対象に意味プライミング課題遂行中の ERP を記録し、プライム呈示後に惹起する SNp から言語意味情報の半球間転送及び貯蔵について検討すること、また SNp の大きさとターゲット呈示後 N400 振幅から意味情報貯蔵容量と意味プライミング効果との関係を探ることを目的とした。右手利きを対象とした先行研究

（加藤・沖田，2008）の知見と左手利きを対象とした本研究結果を総合し、半球間情報転送及び貯蔵に関する認知処理方略の利き手による差異を考察する。

##### 4.1 プライム情報の転送と貯蔵

右手利きを対象とした研究（加藤・沖田，2008）における SNp はプライム右視野呈示では左半球が右半球よりも大きく、左視野呈示では左右半球同等の大きさとなった。この結果は右半球から左半球への情報転送がその逆よりも優位であることを示唆する。一方、本研究で得られた SNp はプライム左視野呈示では右半球が左半球よりも大きく、右視野呈示では左右半球同等の大きさとなった。これは以下のように推測できる。まず、左半球に直接プライム情報が入力されると右半球へ転送され、左右半球は同等の大きさの意味情報を貯蔵する。一方、直接右半球にプライム情報が入力された場合は、左半球への転送が弱く貯蔵の半球非対称性が生じる。つまり左手利きの半球間情報転送は左半球から右半球がその逆よりも優位で、貯蔵は右半球優位となった。プライム情報貯蔵は後続ターゲットの意味処理に備えた方略であると考えられると、こうした利き手による転送優位性の違いは言語処理の半球優位性に帰属すると推測できる。発話機能の左半球局在は右手利きの 96 % に対し、左手利きは 70 % で（Rasmussen & Milner, 1977）、左手利きは右手利きほど明瞭な左半球優位性を示さない。すなわち左手利きは言語機能の右半球局在の割合が高くなる。こうした知見を踏まえ加藤・沖田（2008）と本研究を総合すると、言語情報は処理優位半球へ情報を転送し貯蔵することで処理効率を上げると推測できる。

##### 4.2 プライム情報貯蔵とプライミング効果

ターゲット呈示後約 400 ms を頂点に頭頂部で観察された N400 は左右半球ともに意味無関連条件よりも関連条件で大きく減衰するプライミング効果を示した。興味深い

ことは N400 プライミング効果が右半球優位に観察されたことである。加藤・沖田 (2008) で認めた右手利きの N400 プライミング効果は左半球優位で、プライム情報貯蔵の左半球優位に基づく結果と示唆された。本研究もこれと同様に考えることができる。つまり、右半球優位なプライム情報貯蔵が N400 プライミング効果の右半球優位性をもたらしたと推察される。

本研究結果で特に関心を持つのは意味マッチングに半球間転送を要する LR 条件と RL 条件の振る舞いの違いである。第一に視野 RL 条件は LL・LR・RR 条件よりも N400 減衰が小さくなり、それに合致して LL・LR・RR 条件で頑健に認められた反応時間プライミング効果が RL 条件でのみ減弱した。また誤答率は LR・RL 条件共通して意味関連条件が無関連条件よりも高くなり、両者とも意味マッチングが不完全であったことを示した。第二に視野と部位との交互作用である。SNp の半球差が顕著に認められた左視野プライムではターゲット処理にもその影響が認められると予測されたが、LR 条件では確認できなかった。SNp に半球差を認めなかった右視野プライムは左右半球同等の N400 振幅が惹起すると推測されたが RL 条件の N400 は右半球で大きくなった。これらの結果は、意味マッチングにおいて右半球が転送されたプライム情報を十分活用できなかったのに対して、左半球は少ない貯蔵量を活用して N400 減衰を引き起こし、反応時間プライミング効果の出現へ繋がったと推察された。こうした貯蔵情報の利用については意味情報連想性の高い単語対を用いたことによる意味情報活性化範囲の半球非対称性 (Beeman, Friedman, Grafman, Perez, Diamond, & Lindsay, 1994) が関与したのかもしれない。

#### 4.3 まとめ

本研究と加藤・沖田 (2008) との比較から利き手により半球間情報転送方向の優位性が対称的で、そこには言語意味情報処理の半球優位性が関与することが示唆された。このような利き手による差異は従来注目されてこなかったが、本研究はそうした違いを ERP 測度によって明らかにすることができた。

#### 引用文献

Banich, M. T. (1998). The missing link: The role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition*, 36, 128-157.

Beeman, M., Friedman, R. B., Grafman, J., Perez, E., Diamond, S., & Lindsay, M. B. (1994). Summation priming and coarse semantic coding in the right hemisphere. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 26-45.

Compton, R. J., Carp, J., Chaddock, L., Fineman, S. L., Quandt, L. C., & Ratliff, J. B. (2008). Trouble crossing the bridge: Altered interhemispheric communication of emotional images in anxiety. *Emotion*, 8, 684-692.

Daltrozzo, J., Wioland, N., & Kotchoubey, B. (2007). Sex differences in two event-related potentials components related

to semantic priming. *Archives of Sexual Behavior*, 36, 555-568.

八田武志・中塚善次郎 (1975). きき手テスト作成の試み, 大野晋一 (編), 大西憲明教授退任事業論文集 — 大阪市立大学心理学研究室 25 年のあゆみ —. 大阪市立大学. 224-247.

Ikkai, A., McCollough, A. W., & Vogel, E. K. (2010). Contralateral delay activity provides a neural measure of the number of representations in visual working memory. *Journal of Neurophysiology*, 103, 1963-1968.

加藤公子・沖田庸嵩 (2008). 視野内視野間意味プライミング—事象関連脳電位を用いた研究—. *心理学研究*, 79, 143-149.

加藤公子・吉崎一人・沖田庸嵩 (2009). 顔と名前の意味一致性判断における視野効果—ERP による検討—. *生理心理学と精神生理学*, 27, 207-213.

Klaver, P., Talsma, D., Wijers, A. A., Heinze, H., & Mulder, G. (1999). An event-related potential correlate of visual short-term memory. *Neuroreport*, 10, 2001-2005.

Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.

Larson, E., & Brown, W. (1997). Bilateral field interactions, hemispheric specialization and evoked potential interhemispheric transmission time. *Neuropsychologia*, 35, 573-581.

Nowicka, A., Grabowski, A., & Fersten, E. (1996). Interhemispheric transmission of information and functional asymmetry of the human brain. *Neuropsychologia*, 34, 147-151.

Rasmussen, T., & Milner, B. (1977). The role of early left brain injury in determining lateralization of cerebral speech functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 299, 355-369.

Terasaki, O., & Okazaki, M. (2002). Transcallosal conduction time measured by visual hemifield stimulation with face images. *Neuroreport*, 13, 97-99.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.

Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438, 500-503.

(受稿 : 2011 年 5 月 7 日 受理 : 2011 年 5 月 20 日)