

事象関連電位の N400 における 半球内・半球間意味プライミング効果

加藤 公子^{*1}・沖田 庸嵩^{*2}

左右大脳半球の機能的差異について多くのことが明らかになってきた。中でも言語処理が左半球優位であることはよく知られている。しかし、条件によっては優位性が変化することも報告されている。例えば、Koivisto (1997) は意味プライミング実験でプライムとターゲットの刺激開始間隔 (stimulus onset asynchrony : 以下 SOA とする) を操作し、SOA が短いと左半球優位であり、SOA が長いと右半球優位であることを示した。Collins (1999) も同様の見解を示しており、意味カテゴリーの活性化は左半球が右半球よりも早いと考えている。

こうした半球優位性はあるものの、左右の半球は脳梁でつながっており、情報は脳梁を介して伝達される。そこで、半球間の機能的差異については半球間情報転送の問題も含めて、プライムとターゲットを異なる視野に交差的に呈示する意味プライミング効果から検討されてきた (Abernethy & Coney, 1996; Collins, 1999; Hutchinson, Whitman, Abeare, & Raiter, 2003)。同じカテゴリーに属するが連想性のない単語対を刺激とした実験でのプライミング効果は、ターゲットの視野に関わらず、短い SOA (250-450 ms) では右視野プライムにより生じ (Abernethy & Coney, 1996; Collins, 1999)、長い SOA (750 ms) では左視野プライムにより生まれる (Collins, 1999) ことを示した。これらの研究はまさに上記の意味カテゴリー活性化速度の半球非対称性を示すものである。Collins (1999) は Koivisto (1997) の知見を統合した見解を示した。まず、左半球における意味情報の自動的活性化はプライム呈示後 165 ms 以内に始まり 500 ms あたりまで持続する。それ以降は制御的過程が始まり、より密接な意味関連情報に注意が焦点化され、関連性が低い意味情報は抑制される。他方、右半球の自動的活性化はプライム呈示後 500 ms あたりから始まり、少なくとも 750 ms は持続する、と提唱した。

こうした右半球の活性化速度の遅れを示す研究がある一方で、これとは対照的な見解を示した報告がある。Hutchinson et al. (2003) は、短い SOA (50 ms) では左視野プライムで意味関連性の強弱とターゲット視野に関わらずプライミング効果を認め、右視野プライムでは意味関連性が高いときにのみプライミング効果を観察した。長い SOA (750 ms) では、意味関連性が弱い場合にいずれの視野条件においてもプライミング効果はなかったが、意味関連性が強い場合にプライムとターゲットが同側の右視野に呈示される条件を除き、プライムとターゲットとも左視野同側、それぞれの呈示視野が交差する条件でプライミング効果を認めた。この研究により、左半球のプライムでは意味活性化範囲が左右半球ともに狭く、右半球プライムは 50 ms 以内で左右半球ともに広い活

※1 心理学研究科 研究生

※2 コミュニケーション心理学科

活性化拡散が生じることを示唆した。またプライムによって生じた活性化拡散は750 msの段階で左半球では減衰もしくは抑制されているが、右半球の活性化は持続していると示唆した。先に述べたCollins (1999) の見解に従えば、Hutchinson et al. (2003) のSOA750 msにおける関連性の弱い単語対の結果はこうした左半球の制御的処理が強く影響したものではないかと考えられる。

意味プライミングでの半球間非対称性は上記の行動測定と同様、事象関連電位 (event-related potential: 以下ERPとする)、特に刺激呈示後400 msあたりに頂点をもつ陰性電位のN400成分を用いて検討されてきた。そうした研究の多くはプライムとターゲットを同側の視野に呈示する事態で行われ、Deacon, Grose-Fifer, Yang, Stanick, Hewitt, & Dynowska (2004) は短いSOA (250 ms) で連想性のみを有する刺激対では右視野呈示に、意味特徴のみ共有する刺激対では左視野呈示にのみN400プライミング効果を見出した。Bouaffre & Faïta-Ainseba (2007) も連想関係をもつ単語対 (SOA150 ms) により同様の結果を示し、さらにGrose-Fifer & Deacon (2004)は同じカテゴリに属し意味特徴を共有する単語対においてSOA250 msで左視野呈示にN400プライミング効果を見出している。これらの結果は左半球では意味表象が局所的に連想リンクによって結合されているのに対し、右半球では個々の意味特徴に基づいて分散して存在するというDeacon et al. (2004) の主張を支持するものである。

加藤・沖田 (2008) はプライムとターゲットの呈示視野を同側とともに交差条件も加えた4条件でN400プライミング効果を検討した。長いSOA (1000 ms) を用い、高い連想関連語対のプライムとターゲットを右視野と左視野に交差して呈示する条件で、N400プライミング効果の減弱を特に右半球で大きく認めたことから、この結果は左半球から右半球への転送によるプライム意味情報の損失がもたらしたものと考えた。しかし、加藤・沖田 (2008) がプライムとターゲットに使用した連想関連語対は具体名詞と抽象名詞が混在しており、カテゴリが一致する単語対もあれば連想関係のみを有する単語対も含まれていた。Shibahara & Lucero-Wagoner (2002) の反応時間実験によれば、プライミング効果は具体名詞では右半球に比べ左半球で大きく、抽象名詞では左右半球差がみられない。意味特徴の共有によっても左右半球の意味処理優位性が変わる (Grose-Fifer & Deacon, 2004)。こうした知見を考慮すると、意味処理の左右半球非対称性をさらに分析的に検討するためには単語対の統制が重要であろう。そこで、本研究ではプライムとターゲットに使用する単語対を同一カテゴリに属す連想性の高い具体名詞対に統一し、加藤・沖田 (2008) と同様の事態で再検討を加えることとした。

方法

実験参加者 21歳から22歳 (平均21.0歳) の右手利き女子大学生12名が実験に参加した。利き手の判定は参加者の自己申告とした。いずれの参加者も視覚機能に異常は認められなかった。実験開始前に参加者全員に実験について説明をしたうえで了解を得た。

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名詞160対 (例えば、バイクー自転車) と意味無関連対として名詞160対 (例えば、ジャズースケート)、計320対を使用した。各単語はひらがな、カタカナ、漢字により1文字から4文字で表記し、いずれも黒色インク、MS UIゴシック体で縦書きにモニター画面上に呈示した。単語刺激の大きさは、視角にして、1文字で縦1.6°

×横 1.7°, 4文字で縦 7.1° ×横 1.7° であった。画面の背景は白色で、プライムとターゲットは画面中央から左右水平方向に 2.7° の位置、凝視点は画面中央に呈示した。

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

条件と課題 意味の関連性により、関連条件と無関連条件を設定した。さらにプライムとターゲットの呈示視野により、いずれも左視野 (LL) 条件、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) 条件の計 4 条件を設けた。

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であり、ターゲットが呈示されたらできるだけ速くかつ正確に判断し、指定された反応ボタンを押すことであった。

手続き 実験は個別に行われた。実験参加者はシールド室内に入り、刺激呈示用モニターの前に置かれた椅子に座り、測定用電極の装着を受けた。実験参加者は顔面固定台に頭部を固定し、目からモニターまでの距離を 60 cm に保つようにした。

練習 16 試行後、本試行 10 ブロックを施行した。1 ブロックは 32 試行から成り、意味関連条件、無関連条件は 16 試行ずつ、そのうち視野条件 LL, LR, RL, RR は各 8 試行であった。これらの試行はランダムな順序で呈示した。

各試行では画面中央に凝視点を 500 ms 間、次にプライムを 100 ms 間呈示した。続いて凝視点が 700 ms 間、その後ターゲットを 100 ms 間呈示した。ターゲット呈示後 1.5 s の間隔をおいて次の試行が始まった。図 1 は 1 試行の流れを示す。

反応ボックスは実験参加者の体の正面に置き、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請した。実験参加者の半数 6 名には関連判断に左ボタンを、無関連判断に右ボタンを押すように、残り 6 名にはその逆で反応するように指示した。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教示した。

記録及び分析 脳波は銀・塩化銀電極を国際 10-20 法による Fz・Cz・Pz・C3・C4・P3・P4・O1・O2 の 9 部位に装着し、左右両耳朶結合を基準として導出し、多チャンネル生体アンプ MA1132 (デジテックス研究所製) により増幅後 (帯域通過周波数 0.5 - 30 Hz), G1-ERP Analyzer (G1 システム社製) に 500 Hz でサンプル記録した。また右眼高上縁部より垂直眼球電図、左右外眼角側方 1 cm より水平眼球電図も同時に記録した。電極インピーダンスは 5 kΩ 以下とした。

ERP 加算平均処理の分析区間はターゲットに対

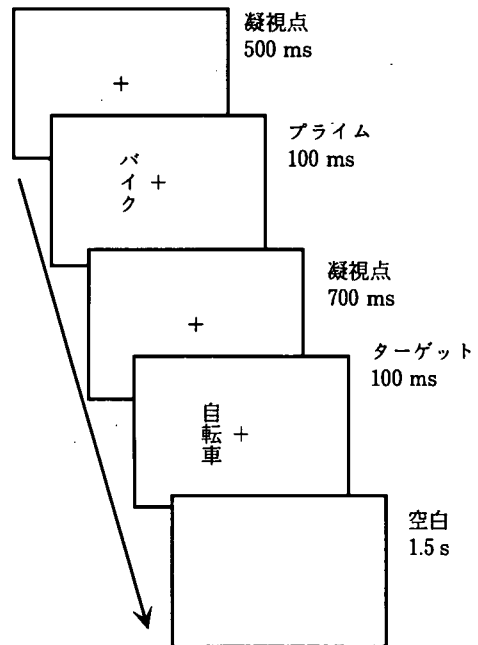


図 1 1 試行の流れ

して呈示前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。誤答および反応時間が200 ms以下の試行、さらに脳波・眼球電図に100 μ 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。加算回数は平均30 (範囲15-40) 回であった。

N400はターゲット呈示後200-500 ms間の平均電位として頭頂部 (P3・P4) で測定した。反応時間は誤答および200 ms以下の試行を除いたデータに基づき分析した。

統計分析は反復測定分散分析を用いた。有意水準は.05に設定した。また、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 ϵ を適用した。

結果

反応時間 関連性 (関連・無関連) \times 視野 (LL・LR・RL・RR) の分散分析を行ったところ、プライミング効果を示す関連性の主効果が有意傾向で ($F(1,11) = 3.32, p < .10$)、関連条件 (553 ms) が無関連条件 (571 ms) に比べ短縮することを示した。

N400プライミング効果 図2はターゲット呈示で得られたP3とP4部位におけるプライミング効果を表わす無関連と関連条件間の引算波形を示す。引算波形で明らかなように、刺激後200 msあたりからN400とみなせる陰性電位が始まり、プライミング効果は全般にP4よりP3で大きい。ターゲット呈示後200-500 ms間の平均電位について部位 (P3・P4) \times 関連性 \times 視野の分散分析を行ったところ、関連性の主効果 ($F(1,11) = 28.54, p < .001$)、部位 \times 関連性の交互作用 ($F(1,11) = 11.38, p < .01$) と

ともに部位 \times 関連性 \times 視野の交互作用 ($F(3,32) = 3.56, p < .05, \epsilon = 0.967$) が有意であった。単純・単純主効果検定の結果、P3部位ではすべての視野条件で有意な関連性 (プライミング) 効果が認められた ($F_s(1,88) = 5.93 - 15.27$, LL試行のみ $p < .05$, LL・LR・RR試行はいずれも $p < .001$)。他方、P4部位ではLR試行とRR試行で有意なプライミング効果 (LR: $F(1,88) =$

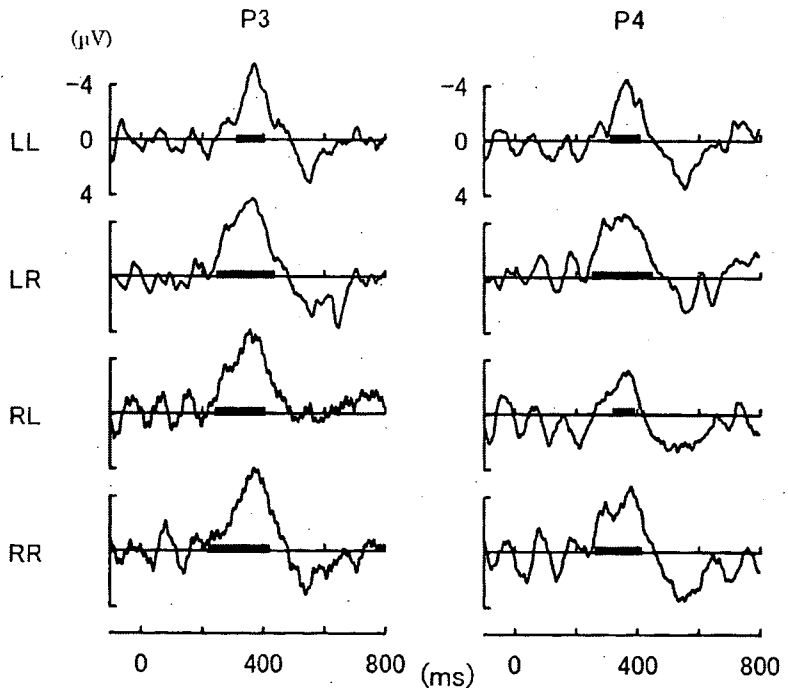


図2 P3・P4部位における視野条件別の平均プライミング効果波形 (N=12) 時間軸上の太線は有意なプライミング効果が認められた時間範囲を示す。

11.60, $p < .001$; RR: $F(1,88) = 6.14$, $p < .05$), LL 試行で有意傾向 ($F(1,88) = 2.80$, $p < 0.10$) が得られたが, RL 試行では認められなかった。

また, 図 2 をみると視野条件間でプライミング効果の開始時点に違いがある。この開始時点の差異を検討するため, ターゲット呈示後 200–600 ms 間で 2 ms 間隔ごとに関連条件と無関連条件の波形間で t 検定を行い, 3 区間連続して有意差が認められた最初の時点プライミング効果の開始時点として測定した。P3 部位では LL, LR, RL, RR の順に 322 ms, 258 ms, 252 ms, 244 ms, P4 部位では 324 ms, 274 ms, 336 ms, 264 ms で, P3 と P4 部位とも RR 条件がもっとも早くプライミング効果が出現したことを示した。RL 条件は他の条件に比べて P3 部位と P4 部位の差が大きく, プライミング効果開始は P4 部位が P3 部位よりも 84 ms 遅延した。

考 察

本研究では同一カテゴリに属する連想性の高い単語対を使用して N400 意味プライミング効果から左右大脳半球の機能的差異と半球間情報転送について検討を試みた。その際に得られた反応時間は有意傾向ながら意味プライミング効果を示したが, 視野に関わる有意な効果は認められなかった。

ERP は, まず, 具体名詞に関わる処理の左半球優位性を示した Shibahara & Lucero-Wagoner (2002) と一致して, プライムとターゲットの呈示視野に関わらず N400 プライミング効果は右頭頂部 (P4) に比較して左頭頂部 (P3) で大きく, すべての視野条件において有意な効果が見出された。右頭頂部で記録した ERP では, ターゲット語が右視野に呈示される RR と LR 条件でのみ有意な N400 プライミング効果が観察され, ターゲット語が左視野に呈示される LL 条件では有意傾向, RL 条件では有意なプライミング効果は認められなかった。こうした RL と LL における右半球に限定されたプライミング効果の減衰は, 抽象名詞も含めた刺激を用いた類似の事態で行った実験では左右半球に観察された (加藤・沖田, 2008)。加藤・沖田 (2008) の考えでは, RL 条件でのプライミング効果減衰は左半球が直接受容したプライム情報が右半球に転送されにくいことによって生じる。この考えに従えば, 本実験の RL 条件の結果は理解できるが, RR 条件でも同様の右半球でプライミング効果の減衰が予測できるにもかかわらず, 逆に大きなプライミング効果が観察された。プライミング効果の開始時点をもみてもターゲット右視野呈示の RR は LR 条件とともに左右半球に差はなく他の条件に比べ早く始まった。

Collins (1999) によれば, ターゲット呈示後 500 ms 以降では, 観察されたプライミング効果は左半球では制御処理に基づき, 右半球では自動処理によって生じたと解釈でき, 左半球の意味関連情報の制御処理と右半球の自動処理は並列して進行していると推測できる。いずれかの半球で意味関連処理が早く終わると対側半球に信号を送って処理を打ち切らせると仮定すると, ターゲット右視野呈示では左半球で関連条件の処理が早く終わり, 右半球の自動処理を打ち切らせる。これにより RR と LR 条件の N400 プライミング効果の開始時点は左右半球ともに早くなり, さらに左右半球とも同程度のプライミング効果を生んだと考えられる。一方, LL 条件は左右半球で開始時点に差はないが, RL 条件は左頭頂部で RR と LR にほぼ変わらない時点で意味関連と無関連の分岐 (プライミング効果) が始まったにも関わらず, 右頭頂部では最も遅い開始となった。ターゲットが右半球に直接入力される RL と LL 条件では, 左半球での制御処理が早く終わったとしても右半

球への打ち切り信号が送られない可能性がある。この信号はRLとLL条件で左半球での分岐時間に関わらず、右半球での類似した時点の分岐は左半球とは独立した右半球での自動処理が終了したことを示唆するものである。Hatchinson et al. (2003) はプライムによって生じた活性化拡散は750 msの段階で左半球では減衰または抑制されると示唆している。N400成分を検討した本研究では、少なくともSOA800 msでそのような抑制は認められなかった。

まとめ プライムの呈示視野に関わらず、右視野へのターゲット呈示は左右半球で意味プライミング効果をもたらし、プライミング効果の開始時点にも差がなかった。他方、特にプライムの右視野呈示に続き、ターゲットが左視野に呈示されると、右半球におけるプライミング効果の開始が遅延するとともに、プライミング効果も減弱した。こうしたプライミング効果における左右半球間の差異は意味処理経過に関わる課題関連情報の半球間転送が異なるために生じたのかもしれない。

引用文献

- Abernethy, M., & Coney, J. (1996). Semantic category priming in the left cerebral hemisphere. *Neuropsychologia*, *34*, 339-350.
- Bouaffre, S., & Faïta-Ainseba, F. (2007). Hemispheric differences in the time-course of semantic priming processes: Evidence from event-related potentials (ERPs). *Brain and Cognition*, *63*, 123-135.
- Collins, M. (1999). Differences in semantic category priming in the left and right cerebral hemispheres under automatic and controlled processing conditions. *Neuropsychologia*, *37*, 1071-1085.
- Deacon, D., Grose-Fifer, J., Yang, C.-M., Stanick, V., Hewitt, S., & Dynowska, A. (2004). Evidence for a new conceptualization of semantic representation in the left and right cerebral hemispheres. *Cortex*, *40*, 467-478.
- Grose-Fifer, J., & Deacon, D. (2004). Priming by natural category membership in the left and right cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, *42*, 1948-1960.
- Hutchinson, A., Whitman, D., Abeare, C., & Raiter, J. (2003). The unification of mind: Integration of hemispheric semantic processing. *Brain and Language*, *87*, 361-368.
- 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.
- Koivisto, M. (1997). Time course of semantic activation in the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, *35*, 497-504.
- Shibahara, N., & Lucero-Wagoner, B. (2002). Hemispheric asymmetry in accessing word meanings: Concrete and abstract nouns. *Perceptual and Motor Skills*, *94*, 1292-1300.