

聴覚 N400に及ぼす関連比率の効果

梨 和 ひとみ

(2008年10月2日受理)

Effects of Relatedness Proportion on Auditory N400

Hitomi Nashiwa

Abstract: In order to clarify the psychological processes reflected in N400, this study explored the effects of relatedness proportion (the percentage of related prime-target pairs in a list) on the scalp distribution of N400 to auditory stimuli. Sixteen participants performed the lexical decision task with auditory words or nonwords under conditions of high and low proportion of semantically related prime-target pairs. The results showed that behavioral semantic priming effects were greater when the relatedness proportion was high compared to when it was low. Though the semantic priming effects of N400 were clear at almost all recording sites, no statistically reliable change of the amplitude or the distribution of N400 due to the relatedness proportion was confirmed. Possible differences between visual and auditory N400s and manipulations for decomposing subcomponents of N400 were discussed.

Key words: semantic processing, effects of relatedness proportion, N400, scalp distribution
キーワード：意味処理、関連比率効果、N400、頭皮上分布

言語理解を支える処理過程として、音韻処理、意味処理、統語処理の3つがある。言語理解に関する心理学的研究では、それぞれの処理過程、およびその相互作用を、時間経過にそって記述することが必要である (Kutas, 1998)。これらの処理系は、非常に短い間に多くの言語情報を処理し、統合している (Hahne & Friederici, 2002)。脳内で非常に短時間に生じるこのような過程について調べるために、事象関連脳電位 (event-related brain potentials, 以下 ERP) が使用されてきた。例えば、音韻処理についてはミスマッチ陰性電位 (Näätänen, 2001)、意味処理については N400 (Kutas & Hillyard, 1980)、統語処理については LAN (Friederici, 1995) や P600 (Hagoort, Brown, &

Groothusen, 1993) などの ERP 成分を指標として、多くの研究が行われている。本研究は、このうち N400の性質について検討するものである。

N400は、最初、文脈から逸脱した文末単語に対して、潜時約400ms付近に中心部・頭頂部優勢に出現する陰性電位として、Kutas & Hillyard(1980)により報告された。N400は、文ばかりではなく単語リストを刺激として用いた場合でも出現し (小山・柿木, 1997)、例えば、意味ブライミング課題において、ブライムとターゲットの間に意味的関連性がある場合には、ない場合よりも N400振幅が減衰することが報告されている (Bentin, McCarthy, & Wood, 1985)。

N400の頭皮上分布は、課題や刺激によって異なる。例えば、文を用いた課題では中心部から頭頂部にかけて優勢に N400が観察され、左半球に比べて右半球において振幅が大きく、持続時間も長い (Kutas & Hillyard, 1982; Kutas, Van Petten, & Besson, 1988) のに対し、単語を用いた課題では、前頭部・中心部優

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：宮谷真人 (主任指導教員)、深田博己、前田健一

勢で (Bentin, 1987) 左半球優位な (Boddy, 1986) 分布が報告されている。N400が同時に活動する複数の発生源を持つこと (D'Arcy, Service, Connolly, & Hawco, 2005), N400振幅に影響する要因として、現在ワーキングメモリ内にある文脈依存情報と刺激との統合の容易さと、長期記憶の構造に基づく情報アクセスの難易度という性質の異なる2つが挙げられること (Kutas & Federmeier, 2000) などを考え合わせると、N400は、それぞれが異なる心理過程を反映する複数の下位成分の複合波であると考えられる。

N400を構成する下位成分の同定方法と、それぞれが反映する心理過程の性質を明確にすることは、言語処理過程の測度としてのN400の有用性を高めることになる。その試みの一つに、藤本・宮谷・岡・桐木 (2000) がある。彼らは、意味的プライミングにおける関連比率 (意味的に関連するプライムとターゲット対の出現率) がN400に及ぼす影響について検討した。その結果、関連比率が高くなるほど意味的プライミング効果が大きくなるという関連比率効果 (Neely, Keefe, & Ross, 1989) が、行動測度だけでなくN400振幅にも現れることを確認した。さらに、N400の頭皮上分布が関連比率によって異なり、高率条件では中心部から頭頂部にかけて優勢に分布したのに対し、低率条件では前頭部において最大の振幅が観察された。

Posner & Snyder (1975) が提案した自動的過程と制御的過程の区別は、N400が反映する意味処理過程にもあてはまると考えられている (中尾・宮谷, 2001)。関連比率は、実験参加者がプライムにむける注意の程度を操作する要因の一つであり、低率条件のプライミング効果には自動的過程が、高率条件では制御的過程が強く関与していると考えられる。これを藤本他 (2000) の結果にあてはめると、前頭部のN400には自動的プライミング効果、中心部から頭頂部のN400には制御的プライミング効果が反映されるという仮説をたてることができる。N400上の関連比率効果の出現に制御的過程が影響することは、マスク刺激によってプライムが意識されない条件でN400の関連比率効果が出現しなかった Grossi (2006) の結果とも一致する。

前頭部N400と自動的過程、それよりも後部領域のN400と制御的過程を対応づける仮説は、英語母語話者と、12歳以降に英語を学習した日本語母語話者の意味逸脱、統語逸脱に対するERP変化を比較した Ojima, Nakata, & Kakigi (2005) によっても支持される。彼らは、英語母語話者においては、意味逸脱に対するN400の潜時に記録部位による違いがないのに対し、日本語母語話者では、前部領域N400に比べて後部領域N400の潜時が遅延し、遅延の程度は英語能力

が低いほど大きいことを示した。この結果は、英語の処理を制御的に行う必要が大きいほど、後部N400が大きく出現することを示していると考えられる。

本研究では、以上のことを踏まえて、視覚刺激を用いた藤本他 (2000) で示された関連比率の高低によるN400の頭皮上分布の違いが、刺激として音声言語を用いても再現されるかどうかを確かめることを目的とした。語彙判断時の聴覚N400にも意味的プライミングによる振幅の減衰が観察されるが、視覚N400と聴覚N400には、持続時間や頭皮上分布に関して多少違いのあることが確認されている。それは、プライミング効果をもたらす機構には、モダリティ間で共有する部分がある一方で、モダリティに特異な部分もあることを示している (沖田・治部, 1995)。モダリティの違いにかかわらず、関連比率の操作が同じ結果をもたらせば、前部N400と後部N400という2種類のN400の存在と、それが反映する心理的過程に関する強力な証拠となると期待できる。

方 法

実験参加者 大学生および大学院生16名(女性8名, 男性8名)が実験に参加した。参加者は全員右利きで、正常な視力(矯正視力を含む)および聴力の持ち主であった。平均年齢は22.5歳(範囲: 19-29歳)であった。

実験計画 2(関連比率:高,低)×2(意味的関連性:有,無)の2要因反復測定計画を用いた。第1の要因である関連比率は、意味的に関連するプライム-ターゲット対の1ブロック内の出現率で操作した。出現率が80%(ただし、非単語条件試行を除いて算出)である高率条件と、20%である低率条件を設けた。第2の要因は、プライムとターゲットの意味的関連性であった。意味的に関連する関連条件と、関連しない無関連条件の2条件を設けた。2要因とも参加者内変数であった。

刺激 刺激として、2-5音節の単語および非単語を、音声処理ソフトウェア「音声工房」(NTTアドバンステクノロジ株式会社)を用いて女性の声で録音した。刺激の持続時間は、最も短い刺激で272ms、最も長い刺激で998msであった。刺激は、参加者の正面約70cmの位置に置いたパソコン用17インチ液晶モニター(LCD-A171GS, アイ・オー・データ機器)に付属のスピーカにより呈示した。

高率条件のための刺激リストを8つと、低率条件のためのリストを8つ準備した。全ての刺激リストには、48個のプライム-ターゲット対が含まれており、その

うちプライムとターゲットが意味的に関連するものが7対(関連条件)、無関連なものが7対(無関連条件)、ターゲットが非単語であるものが13対(非単語条件)であった。関連条件および無関連条件の刺激は、2-3音節の単語とした。また、非単語刺激は、先行するプライムとは無関係な有意義語の1音を別の音と置き換えることによって作成した。

高率条件リストでは、その他の21対が関連比率を操作するための関連フィルター(関連条件と同じくプライム-ターゲット間に意味的関連性はあるが、主たる分析の対象とはしない刺激対)であった。したがって、高率条件リストには、非単語条件を除くと、関連対と無関連対が4対1の割合で含まれていた。低率条件リストには、21対の無関連フィルター(プライム-ターゲット間に意味的関連性がないフィルター)が含まれており、非単語条件を除く関連対と無関連対の割合は1:4であった。

課題 実験参加者は、語彙判断課題を行った。呈示されたプライムをよく聞き、次に呈示されるターゲットが日本語として実際に存在する単語であるかどうかを判断して、左右どちらかのスイッチを押して答えた。反応は、できるだけ素早くかつ正確に行うよう教示した。参加者の半数は単語反応に右のスイッチ、非単語反応に左のスイッチを用いた、残りの半数では、反応と左右スイッチの対応を逆にした。

手続き 高率条件を8ブロック、低率条件を8ブロック実施した。参加者には、各関連比率条件の実施前に、関連比率の高低、すなわち意味的に関連した対がよく出現するか、あまり出てこないかを説明した。その後、21試行からなる練習ブロックを行った。本試行では1ブロックにつき1つの刺激リストを用いた。したがって、1ブロックは48試行であった。刺激を呈示する際に、参加者の半数では、非単語条件以外のプライムとターゲットを逆にして呈示した。8ブロック終了後、別の関連比率条件の試行を行った。高率条件と低率条件のどちらを最初におこなうかは、参加者間でカウンターバランスをとった。各ブロックの間に適宜休憩を挟んだ。

各試行は、実験参加者のペースで進められた。参加者は、顎上に顎をのせ、約70cm離れたモニター(背景は薄い灰色)を見た。モニターに試行の開始を促す記号(↓□■↓)が呈示されたら、左右の反応スイッチを同時に押して、試行を開始した。スイッチ押しと同時に画面中央に凝視点(+)が出現した。凝視点のオンセットの1,000ms後に、プライムを呈示した。さらに、プライムのオンセット1,000ms後に、ターゲットを呈示した。ターゲットのオンセット1,500ms後に

凝視点が消えた。凝視点は、参加者の眼球運動を制限するために呈示した。参加者はターゲットに関する語彙判断課題を行った。ターゲットのオンセット後、反応スイッチが押されるまでの時間を1ms単位で測定した。1,500ms以内に反応がない場合には、誤反応とした。

脳波の記録と分析 脳波の記録にはデジタル脳波計(EEG-1100, 日本光電)を用いた。銀・塩化銀電極キャップを用いて、国際10-10法表記によるFz, Cz, Pz, Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T7, T8, P7, P8の19部位から脳波を導出した。鼻尖にも電極を置いた。基準電極は、記録時にはC3とC4の平均電位であり、オフライン処理で鼻尖とした。Fp1-左眼窩下間で垂直眼球電図を、左右眼窩外側間で水平眼球電図を記録し、眼球運動と瞬きをモニターした。電極間抵抗は5kΩ以下とした。AD変換の速度は1,000Hzであった。オフラインで帯域通過周波数0.08-30Hzのフィルター処理を行った。

アーチファクト混入試行($\pm 100\mu\text{V}$ 以上の電位)と誤反応試行を除き、プライムとターゲットそれぞれの呈示前100msから呈示後1,000msの脳波について条件別に加算平均してERPを求めた。全ての参加者で、各条件35回以上の加算回数が確保された。統計的検定に際し、反復測度の分散分析で球面性の仮定が満たされないことによる第1種の過誤の確率増加を防ぐために、必要に応じてGreenhouse & Geisserの ϵ により自由度の修正を行った。分散分析で有意な交互作用が得られた場合の下位検定には、水準別誤差項を用いた。また、多重比較にはBonferroniの方法を用いた。

結果

行動測定 参加者ごとに各実験条件の正反応時間の中央値を求めた。16名の参加者について平均した値をTable 1に示す。Table 1を見ると、関連比率の高低にかかわらず、関連条件における反応時間が無関連条件よりも短いという意味的プライミング効果が現われている。ただし、プライミング効果の大きさ、すなわち無関連条件と関連条件の反応時間の差は、低率条件よりも高率条件で大きい。

これが、統計的にも支持されるかどうかを以下のよう調べた。まず、関連比率条件の実施順序が課題遂行に及ぼす影響についても調べるために、2(課題の順序:低率→高率, 高率→低率) \times 2(関連比率) \times 2(意味的関連性)の3要因分散分析を実施した。第1要因が参加者間変数、第2要因と第3要因が参加者内変数であった。その結果、意味的関連性の主効果が有

意 ($F(1, 14) = 284.46, p < .001$) であり、関連条件の反応時間が無関連条件よりも短かった。また、関連比率×意味的関連性の交互作用が有意であった ($F(1, 14) = 17.90, p < .01$)。課題の順序については有意な主効果や交互作用はなかった。

Table 1 Performance data as a function of relatedness proportion and semantic relation between prime and target

Relatedness proportion	Semantic relation	
	Related	Unrelated
Reaction time (ms)		
High	716.3 (70.3)	903.3 (61.7)
Low	757.3 (67.1)	889.0 (68.8)
Percent error		
High	1.6 (1.5)	7.1 (3.9)
Low	1.5 (2.1)	4.7 (2.2)

Note. Values in parentheses represent standard deviations

関連比率×意味的関連性の交互作用について検討するために、関連比率条件別に意味的関連性の効果を調べた。その結果、低率条件 ($F(1, 14) = 232.04, p < .001$) でも、高率条件 ($F(1, 14) = 184.72, p < .001$) でも関連条件の反応時間が無関連条件よりも短かった。関連性条件別に関連比率の効果を調べたところ、関連条件では高率条件の反応時間が低率条件よりも有意 ($F(1, 14) = 9.50, p < .01$) に短かったが、無関連条件では、関連比率による反応時間の違いは有意でなかった。

関連比率条件により意味的プライミング効果に違いがあるかどうかを調べるため、無関連条件の反応時間から関連条件の反応時間を引き算した値をプライミング量とし、対応のある t 検定を実施した。その結果、高率条件のプライミング量 (187.0ms) は、低率条件 (131.7ms) よりも有意に大きかった ($t(15) = 4.34, p < .01$)。以上のことから、関連比率×意味的関連性の交互作用は、関連比率条件によって関連条件における反応時間の短縮の程度が異なり、その結果プライミング効果の大きさに違いが生じたことが原因であることがわかった。

さらに、対応のある t 検定を用いて、以下の比較を行った。関連比率が非単語判断に及ぼす影響を調べたところ、高率条件 (1,000.6ms) と低率条件 (1,023.7ms) の間で非単語判断時間に有意な差はなかった ($t(15) = 1.15, p > .25$)。また、低率条件において、無関連フィラーに対する反応時間 (869.0ms) は、無関連条件 (889.0

ms) に比べて有意に ($t(15) = 2.74, p < .05$) 短かった。高率条件において、関連フィラーに対する反応時間 (759.6ms) は、関連条件 (716.3ms) よりも有意に長かった ($t(15) = 6.90, p < .001$)。

各実験条件の誤答率を Table 1 に示した。開平変換した値について、反応時間と同様に 2 (課題の順序) × 2 (関連比率) × 2 (意味的関連性) の 3 要因分散分析を実施した結果、有意な効果が得られたのは意味的関連性の主効果 ($F(1, 14) = 68.40, p < .001$) のみであった。関連条件の誤答率が、無関連条件よりも低かった。高率条件における非単語条件の誤答率 (8.0%) は、低率条件 (9.7%) に比べて小さかった ($t(15) = 2.45, p < .05$)。高率条件における関連条件 (1.6%) と関連フィラー (2.1%)、低率条件における無関連条件 (4.7%) と無関連フィラー (4.1%) の間には、誤答率の有意な違いはなかった。

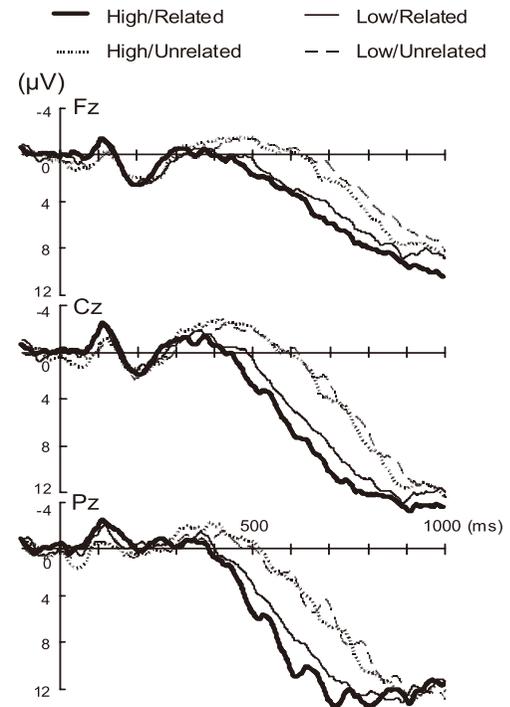


Figure 1. ERPs to targets in four different conditions of relatedness proportion (high vs. low) and semantic relation between prime and target (related vs. unrelated).

ERP プライムに対する ERP 波形には、条件による違いが全く無かったので、ターゲットに対する ERP に関する分析結果のみを報告する。Figure 1 に、

Fz, Cz, Pz で記録されたターゲットに対する ERP の総加算平均波形を示した。関連比率と意味的関連性を組み合わせた4条件の波形を重ね書きしてある。刺激後約100msで頂点を示すN1が出現した後、波形は陽性方向にシフトし、その後もう一度陰性方向への変化が出現し、その陰性波はCzで最大である。Czにおける頂点振幅と潜時は条件によって異なり、高率関連条件で $-1.23\mu\text{V}$ と379ms、高率無関連条件で $-2.96\mu\text{V}$ と413ms、低率関連条件で $-1.85\mu\text{V}$ と358ms、低率無関連条件では $-2.48\mu\text{V}$ と422msであった。条件差の現れ方や、頂点潜時から判断して、この陰性波はN400であると考えられる。N400の頂点以降、波形は大きく陽性方向にシフトしていく。これはP300成分であると考えられるが、Pzの波形を観察すると、高率関連条件では刺激後804msで頂点を示すものの、低率無関連条件では分析区間である刺激後1,000msを超えても、まだ頂点に達していないように見える。ERP波形ではN400とP300に関連性の効果が出現しているように見えるが、P300については分析区間外に頂点が存在している可能性があるため、本研究ではN400についてのみ分析を行った。

個人別の加算波形では、加算後も残っている背景脳波の影響などで頂点を同定しにくい場合があったので、無関連条件のN400頂点を含む潜時300-500ms区間の平均電位を条件別に計算し、N400振幅とした。

F3, F4, C3, C4, P3, P4, Fz, Cz, PzのN400振幅について、2(関連比率)×2(意味的関連性)×3(前後部位：前、中、後)×3(左右部位：左、中、右)の4要因反復測定分散分析を行った。その結果、意味的関連性の主効果($F(1, 15) = 10.05, p < .01$)、前後部位の主効果($F(2, 30) = 5.68, \epsilon = .698, p < .05$)、意味的関連性×前後部位の交互作用($F(2, 30) = 4.14, \epsilon = .677, p < .05$)、前後部位×左右部位の交互作用($F(4, 60) = 7.75, \epsilon = .653, p < .01$)が有意であった。意味的関連性×前後部位の交互作用が有意であったので、前後部位別に意味的関連性の効果を調べた。その結果、前部領域(関連条件と無関連条件の振幅差が $0.79\mu\text{V}$, $F(1, 15) = 5.95, p < .05$)、中心領域($1.36\mu\text{V}$, $F(1, 15) = 7.88, p < .05$)、後部領域($1.75\mu\text{V}$, $F(1, 15) = 11.01, p < .01$)の全てで無関連条件のN400振幅が関連条件よりも大きかった。さらに、前後部位×左右部位の交互作用について調べたところ、左右部位の効果は前部領域のみで有意($F(2, 30) = 12.42, \epsilon = .888, p < .001$)で、FzのN400が、F3およびF4よりも大きかった。前後部位の効果は、左部位($F(2, 30) = 6.08, \epsilon = .702, p < .05$)、中心部位($F(2, 30) = 4.27, \epsilon = .647, p < .05$)、右部位($F(2, 30) = 8.54, \epsilon = .754, p < .01$)の全てで有

意であった。左部位および右部位では、中心領域(C3, C4)のN400が前部領域(F3, F4)よりも大きかった。中心線上の記録部位では、中心領域(Cz)のN400が、前部(Fz)および後部(Pz)領域よりも大きかった。

前後部位によるN400の意味的関連性効果の違いについてさらに調べるために、無関連条件のERPから関連条件のERPを引き算した差分波形を計算し、Figure 2に示した。差分波形の300-500ms区間の平均電位(差分N400)を条件別に計算し、F3, F4, C3, C4, P3, P4, Fz, Cz, Pzの差分N400振幅について、2(関連比率)×3(前後部位)×3(左右部位)の3要因反復測定分散分析を行った。その結果、前後部位の主効果のみが有意であった($F(2, 30) = 4.14, \epsilon = .677, p < .05$)。Bonferroniの方法による一対比較では有意差を示した領域対は無かったが、差分N400は、前部領域($-0.79\mu\text{V}$)に比べて、中心($-1.36\mu\text{V}$)および後部領域($-1.75\mu\text{V}$)で高振幅であった。

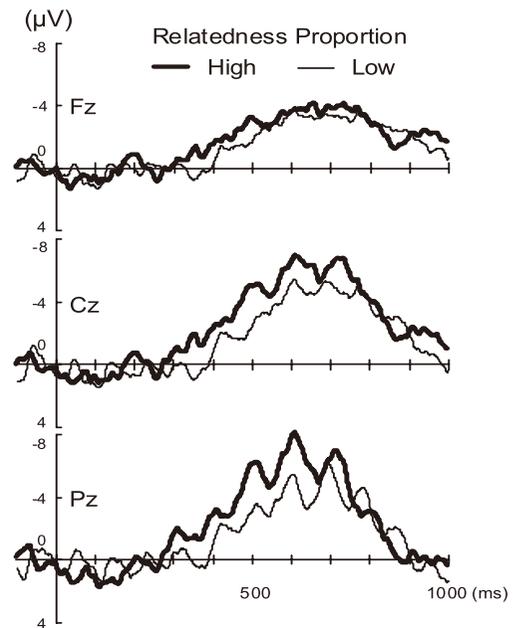


Figure 2. Difference waveforms obtained by subtracting ERPs to related targets from ERPs to unrelated targets.

行動測度の分析で、誤答率において非単語条件における関連比率効果があった。また、高率条件における関連条件と関連フィルター、および低率条件における無関連条件と無関連フィルターで、反応時間の違いがあった。これらの条件差がERPに反映されているかどうかを確認するため、以下の分析を行った。

まず、Fzで記録された非単語条件のERPをFigure 3に示す。関連比率の異なる2波形を重ね書きしてある。潜時約500msで頂点を示す（高率条件：483ms, 低率条件：497ms）陰性波形は、低率条件で大きいように見える。刺激呈示後400-600ms区間の平均電位を関連比率条件別に計算し、F3, F4, C3, C4, P3, P4, Fz, Cz, PzのN400振幅について、2（関連比率）×3（前後部位）×3（左右部位）の3要因反復測定分散分析を行った。その結果、関連比率に関する有意な主効果あるいは交互作用はなかった。次に、高率条件におけるERPについて、300-500ms区間の平均電位を条件別に計算し、2（意味的関連性：関連、関連フィルター）×3（前後部位）×3（左右部位）の3要因反復測定分散分析を行った。その結果、意味的関連性に関する主効果も交互作用も有意でなかった。低率条件のERPも同じ区間で平均電位を計算し、2（意味的関連性：無関連、無関連フィルター）×3（前後部位）×3（左右部位）の3要因反復測定分散分析を行った。その結果、意味的関連性に関する主効果も交互作用も有意でなかった。

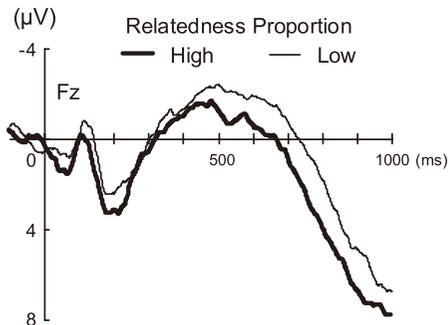


Figure 3. ERPs to non-words at Fz in high and low relatedness proportion conditions.

考 察

本研究は、聴覚刺激に対するN400の頭皮上分布が、意味プライミング課題における関連比率の高低によって変化するかどうかを検討することを目的とした。本研究と藤本他(2000)を比較すると、行動測定における関連比率効果の現れ方はよく似ている。反応時間のプライミング効果は、低率条件よりも高率条件で大きく、その原因は、関連条件における反応時間の短縮の程度が、低率条件よりも高率条件で大きいことであった。低率条件において無関連フィルターに対する反応時間が無関連条件に比べて短く、高率条件において関連フィルターに対する反応時間が関連条件に比べて長かったことから、フィルター対と主たる分析の対象とした刺激対

では、意味的関連性に関して若干の違いがあった可能性はあるが、誤答率やERP測定では、このような条件差はなかった。したがって、本研究における関連比率の操作は適切に行われていたと判断できる。

Figure 1のERP波形を、本研究と同じく聴覚刺激に対するN400を記録した沖田・治部(2002)と比較すると、N400の立ち上がり潜時や意味的関連性効果の現れ方がよく似ている。したがって、本研究で用いた聴覚刺激や意味的関連性の操作も、適切なものであったと考えられる。

しかし、ERP上の関連比率効果に関しては、従来の研究と異なる結果となった。まず、低率条件に比べて高率条件でN400の意味的関連性効果が増大すると報告したHolcomb(1988)や藤本他(2000)とは異なり、本研究で記録されたN400振幅は、関連比率の影響を受けなかった。Figure 2の差分波形では、CzやPzにおいて、高率条件のN400が低率条件よりも大きいように見えるが、統計的分析の結果、関連比率の主効果も、関連比率×前後部位の交互作用も有意ではなかった。したがって、視覚刺激を用いた藤本他(2000)で観察されたような関連比率の高低によるN400の頭皮上分布の違いは、聴覚刺激を用いた本研究では再現できなかった。

この原因としては2つの可能性がある。一つは、少なくとも聴覚N400に対して関連比率は影響を及ぼさないという可能性、もう一つは、聴覚N400でも、視覚N400と同じような関連比率効果は生じうるが、本研究では何らかの原因でそれが観察できなかった可能性である。しかし、最初の可能性は、あまり大きくないと考えられる。まず、聴覚刺激を使った本研究でも、行動測定上は藤本他(2000)と非常によく似た関連比率効果が得られている。ただし、反応時間は全体的に本研究のほうが長く、これは視覚刺激では単語情報の全てが同時に呈示されるのに対し、聴覚刺激では情報が時系列的に呈示されるために、判断に必要な情報が呈示されるまでに時間がかかるためであると考えられる。統計的な支持は得られなかったが、Figure 1で無関連条件のERPには関連比率による違いがほとんどなく、違いは関連条件のERPに表れているという点が、藤本他(2000)と一致していること、Figure 2で、差分波形のN400は、Cz, Pzにおいて高率条件で大きいように見えること、Figure 3で非単語に対する前頭部の波形が関連比率条件によって異なっていることなどは、すべて言語処理にかかわる脳内ネットワークの働き方が、関連比率によって異なる可能性を示唆している。

本研究で、聴覚N400の振幅および頭皮上分布に、

有意な関連比率効果が見られなかった理由として、聴覚 N400は、視覚 N400に比べて持続時間が長い(沖田・治部, 1995) ことが考えられる。さらに、聴覚 N400の持続時間は、刺激の音節数が増えるにしたがって長くなる(沖田・治部, 1998)。これは、本研究の反応時間が藤本他(2000)よりも長い原因として指摘したような聴覚刺激の特性によるものであり、聴覚 N400 が一音ずつ継時的に呈示される刺激に対して徐々に出現する成分であることを示している。N400には、単語認知に関わる自動的過程と制御的過程の両方がかかわっており、自動的過程は、制御的過程よりも早く生起する。聴覚 N400が時系列的な刺激に対して徐々に出現する成分だとすると、早期に出現するはずの自動的過程は聴覚 N400には十分反映されず、その結果、関連比率の高低による自動的過程と制御的過程の関与の程度の違いが現れない可能性がある。また、N400が、潜時が少しずつ異なる複数の下位成分 (Frishkoff, Tucker, Davey, & Scherg, 2004; Pilkkänen & Marantz, 2003) によって構成されているとすると、聴覚 N400では下位成分の潜時が試行ごとに変動し、加算平均波形において下位成分を分離することが視覚 N400に比べて難しい可能性もある。

本研究では、聴覚 N400における関連比率効果を確認することはできず、その原因が、聴覚刺激の時系列的特性そのものにある可能性を指摘した。したがって、聴覚 N400についても視覚 N400と同様、前部領域の N400と後部領域の N400で、反映する心理的過程が異なるかどうかを検討するためには、別の方法を考案しなければならない。その一つの候補として、武澤・宮谷・田村・中尾・吉田(2002)が試みた方法が挙げられる。彼らは、ワーキングメモリの音韻ループと長期記憶内の語彙的表象および概念的表象との関係について調べるために、音韻ループを妨害する課題である無意味語リハーサルが、音韻および意味プライミング効果に及ぼす影響を調べた。ここでは、ワーキングメモリ研究で用いられる二重課題法(三宅・齊藤, 2001)が用いられている。二重課題法とは、一次(主)課題と二次(副)課題の二つの課題を同時に実験参加者に課し、一次課題だけを課した場合と比べてどの程度成績が低下するかを調べることにより、一次課題に関与しているワーキングメモリの下位システムを特定する方法である。武澤他(2002)では、二次課題としての無意味語リハーサルは N400に影響しなかったが、前部領域の N400と後部領域の N400のそれぞれに選択的に影響する二次課題が見つければ、それぞれが異なる心理過程を反映することが示せると同時に、各過程の特性に関する情報も得られる。また、制御的過程のみに影響す

る二次課題を導入することによって、自動的過程に基づく N400変化を観察しやすくするといった工夫も可能であろう。今後、N400を構成する下位成分について検討していく上で、有効な手法であると考えられる。

【引用文献】

- Bentin, S. (1987). Event-related potentials, semantic processes, and expectancy factors in word recognition. *Brain and Language*, *31*, 308-327.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision, and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *60*, 343-355.
- Boddy, J. (1986). Event-related potentials in chronometric analysis of primed word recognition with different onset asynchronies. *Psychophysiology*, *23*, 232-245.
- D'Arcy, R. C. N., Service, E., Connolly, J. F., & Hawco, C. S. (2005). The influence of increased working memory load on semantic neural systems: A high-resolution event-related brain potential study. *Cognitive Brain Research*, *22*, 177-191.
- Friederici, A. D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, *50*, 259-281.
- Frishkoff, G. A., Tucker, D. M., Davey, C., & Scherg, M. (2004). Frontal and posterior sources of event-related potentials in semantic comprehension. *Cognitive Brain Research*, *20*, 329-354.
- 藤本里奈・宮谷真人・岡直樹・桐木建始(2000). 意味的プライミング効果に及ぼす関連比率の効果：事象関連電位による検討 基礎心理学研究, *18*, 139-148.
- Grossi, G. (2006). Relatedness proportion effects on masked associative priming: An ERP study. *Psychophysiology*, *43*, 21-30.
- Hagoort, P., Brown, C. M., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, *8*, 439-483.
- Hahne, A., & Friederici, A. (2002). Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research*, *13*, 339-356.
- Holcomb, P. J. (1988). Automatic and attentional

- processing: An event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain and Language*, **35**, 66-85.
- 小山紗智子・柿木隆介 (1997). 単語認知と事象関連電位 丹羽真一・鶴紀子 (編著) 事象関連電位—事象関連電位と神経情報科学の発展 新興医学出版社 pp. 82-95.
- Kutas, M. (1998). Current thinking on language structures. *Current Psychology of Cognition*, **17**, 951-969.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use on language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 463-470.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, **207**, 203-205.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1982). The lateralized distribution of event-related potentials during sentence processing. *Neuropsychologia*, **20**, 579-590.
- Kutas, M., Van Petten, C., & Besson, M. (1988). Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **69**, 218-233.
- 三宅 晶・齊藤 智 (2001). 作動記憶研究の現状と展開 心理学研究, **72**, 336-350.
- Näätänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent MMNm. *Psychophysiology*, **38**, 1-21.
- 中尾美月・宮谷真人 (2001). 特定の語彙に対する注意の焦点化が意味的関連性による N400減衰に及ぼす影響 生理心理学と精神生理学, **19**, 15-23.
- Neely, J. H., Keefe, D. E., & Ross, K. L. (1989). Semantic priming in the lexical decision task: Roles of prospective prime-generated expectancies and retrospective semantic matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 1003-1019.
- Ojima, S., Nakata, H., & Kakigi, R. (2005). An ERP study of second language learning after childhood: Effects of proficiency. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **17**, 1212-1228.
- 沖田庸嵩・治部哲也 (1995). 注意理論への事象関連脳電位 (ERP) アプローチ—N400を用いた分析—北海道大学教育学部紀要, **67**, 13-38.
- 沖田庸嵩・治部哲也 (1998). 音韻プライミング効果と聴覚事象関連脳電位 心理学研究, **69**, 367-375.
- 沖田庸嵩・治部哲也 (2002). 注意の両耳間切り換えと作動記憶—事象関連脳電位による検討— 心理学研究, **73**, 399-404.
- Pilkkänen, L., & Marantz, A. (2003). Tracking the time course of word recognition with MEG. *Trends in Cognitive Sciences*, **7**, 187-189.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola symposium*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. pp. 55-85.
- 武澤友広・宮谷真人・田村理恵・中尾 敬・吉田有美子 (2002). 無意味語リハーサルが音韻および意味プライミング効果に及ぼす影響 生理心理学と精神生理学, **20**, 182.