

誤った単語アクセントの再解釈の仕組み：
脳波の時間周波数解析・事象関連電位による検討

直江大河¹，木山幸子¹，時本真吾²，馬瓊¹，汪敏¹，小泉政利¹

1.東北大学，2.目白大学

1. はじめに





単語アクセントは、音素とともに単語を構成する音声的情報の一つである。日本語は、ピッチの高さでアクセントをつけるので、ピッチアクセントと言われている。単語のモーラ数ごとに数種類のアクセントパターンが存在し、どのパターンが適切であるかは単語ごとに決まっている。日本語母語話者を対象にした行動実験からは、単語のアクセント情報は脳内の語彙検索に使われており (Sekiguchi & Nakajima, 1999)、誤ったアクセントで発音された単語の処理には何らかの負荷がかかる (Minematsu & Hirose, 1995) ことが示唆されている。しかし、実際の会話において、単語アクセントの誤りが意味理解の大きな支障になるわけではないという指摘もある (柴田, 1961)。Tamaoka et al. (2014) は、アクセントによって意味を弁別する同音素語 (葡萄・武道など) を用いて、アクセントの誤りが文の意味理解にどの程度影響するかを、脳波に由来する事象関連電位 (event-related potential: ERP) の N400 (潜時約 400 ミリ秒をピークとする陰性波) を指標にして検討した。その結果、文中の単語が同音異アクセントと置き換わっても、正しく発音されていれば N400 は増大しなかった。これは、単語アクセントの誤りによって文の意味理解に大きな支障は出ないことを示唆する。このように、日本語母語話者は、単語アクセントの誤りを“ゆれ”として正しいものに再解釈する能力を獲得していくと考えられるが (山本, 2012)、そうした単語アクセントの“再解釈”の過程を把握するには、文脈や統語構造との要因を除いた単語レベルの検討が必要である。

ヒトの単語認知には、(1) 語彙処理前段階 (音韻処理) (2) 語彙処理段階 (3) 語彙処理後段階 (文脈統合) の 3 つの段階が想定できる (李, 1987)。Slowiaczek & Hamburger (1992) の音声単語認知の行動実験において、ターゲットとなる単語の提示に際して共有音素を 1 つだけ先行提示すると理解が促進されるが、共有音素が増えて単語を先行提示すると反対に干渉することを示した知見も、上記の想定を支持している。

本研究は、日本語母語話者が誤った単語アクセントを理解する際に単語認知のどの段階で再解釈し意味統合を実現させるのかを解明したい。音声提示された単語を聞き、誤ったアクセントであっても“ゆれ”として再解釈した後に意味概念を確定させるまでの過程を追うために、聴覚と視覚の多感覚刺激を提示する課題を用い、時間分解能の優れた脳波を測定する。とくに、認知処理の負荷を反映すると考えられる ERP と、情報の統合処理を反映すると考えられる時間周波数 (event-related spectral perturbation: ERSP) の指標を援用することで誤ったアクセントで発音された音声単語認知の過程を検討する。

音声提示された単語の意味を統合するまでの過程を段階的に検討するために、本研究では表 1 のような条件を設定する。

表 1. 聴覚・視覚刺激の条件とそれぞれの組み合わせ

	聴覚刺激		視覚刺激	
同音語なし	イヌ (尾高)	アクセント正		アクセント正
	イヌ (頭高)	アクセント誤		アクセント誤
同音語あり	カキ (尾高)	アクセント正		アクセント正
	カキ (頭高)	アクセント正		アクセント誤

もし、同音異アクセント語を持たない単語が誤ったアクセントで提示されても (例: イヌ [頭高])、犬のことではないかと予測し「犬」の意味概念が想起される、つまり誤った単語アクセントの再解釈が起きるはずである。この聴覚刺激提示にともなう ERP を指標として、再解釈が行われる段階を検討する。その後、視覚刺激として提示された「犬」の画像と、再解釈によって想起していた「犬」の意味概念が脳内で統合されるはずである。この意味統合の証拠として、視覚刺激提示時の ERSP の成分を援用する。また、アクセントの違いによって意味を弁別する同音語を持つ単語 (柿・牡蠣など) とそれらの画像を用いることで、ERSP に反映された意味統合が上述のような再解釈を経たものか、視覚刺激が文脈提示の役割を担って起こったものであるかを峻別することができる。

音声単語認知にかかる処理負荷を検討した ERP 研究では、潜時 250-300 ミリ秒の陰性波である Phonological Mapping Negativity (PMN) の増幅が (Goslin, et al., 2012)、語彙処理の前段階の音韻処理の負荷を反映すると解釈されている。また、語彙処理の負荷にともない P350 (潜時約 350 ミリ秒の陽性波) と N400 の増大も報告されている (Friedrich, et al., 2004)。N400 は、語彙処理後の文脈との統合過程を反映するともいう (Rugg & Doyle, 1992)。

一方、意味概念の統合について ERSP によって検討した横田他 (2011) は、動物の鳴き声を聴覚刺激、動物の画像を視覚刺激とした聴覚-視覚プライミング実験を行い、視覚刺激提示時の被験者の ERSP を調べた。その結果、はじめに聴覚刺激を聞いて脳内に浮かべた意味概念が後続する視覚刺激と一致した場合にガンマ波 (30Hz 以上の高周波) が上昇することを示した。ガンマ波は、高次の認知機能を反映しており、各皮質部位で処理されている情報の統合処理をガンマ波の上昇とその位相同期によって行うのではないかと考えられている指標である (河内山・松本・宮腰, 2016)。

もし誤った単語アクセントが (1) 語彙処理前の音韻処理段階で再解釈されるなら、アクセント正条件に対してアクセント誤条件で PMN が増幅するだろう。(2) 語彙処理段階で再解釈されるなら、アクセント正条件に対してアクセント誤条件で P350 と N400 の両方が増幅するだろう。そして (1) (2) いずれの場合も、同音語あり/アクセント誤条件に対して、他のすべての条件でガンマ波が増幅すると予測される。さらに、(3) 語彙処理後段階で再解釈されるなら、アクセント正条件に対してアクセント誤条件で N400 のみが増幅すると予測できる。この場合、単語が単独で提示され文脈が提示されないため、再解釈ができず、同音語あり/アクセント誤条件に対して、同音語あり/アクセント正条件・同音語なし/アクセント

正条件でのみガンマ波が増幅すると予測される。

2. 方法

2. 1. 実験参加者

東北大学の大学生・大学院生 34 人（男性 27 人、平均年齢 21.2 歳）を対象に行った。参加者は、標準語圏（東京、神奈川、埼玉、千葉）出身・右利きの日本語母語話者であった。

2. 2. 実験材料

聴覚刺激として、2 モーラの日本語の単語（東京方言）を用いた。アクセントの異なる同音語を持つ単語を 16 組 32 語、同音語を持たない単語を、頭高で発音するもの 16 語、尾高で発音するもの 16 語の合計 32 語用意した。また、同音語を持たない単語に関しては、それぞれに対して誤ったアクセントで発音されたものも用意した。フィラーとして、3 モーラの単語 64 語を用意した。視覚刺激として、聴覚刺激に対応する画像をそれぞれ用意した。

2. 3. 実験手続き

聴覚刺激、視覚刺激の順に提示し（図 1）、参加者に刺激に集中させるため、画像が生物か無生物かをボタンで判断してもらった。

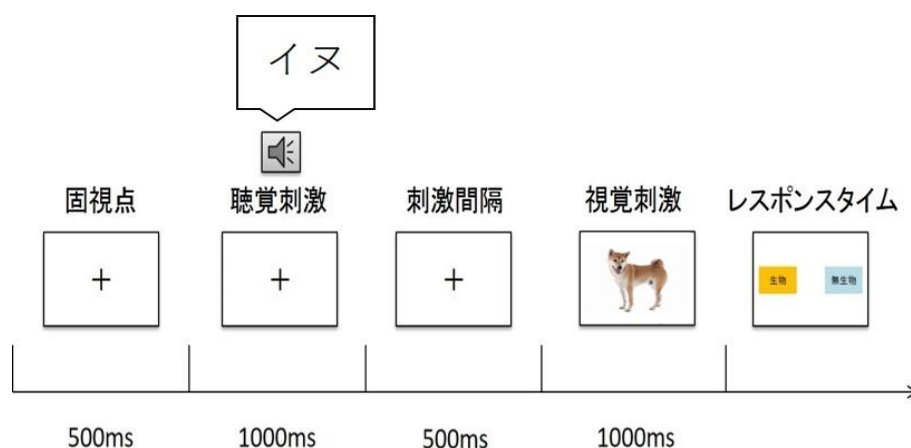


図 1. 聴覚-視覚提示課題の 1 試行例

2. 4. 脳波計測と解析方法

脳波の記録には、Brain Products 製の QuickAmp 及び Ag/AgCl 電極を用いた。国際 10-20 法に基づき 19 の電極を頭皮上に設置し、眼電記録用の電極は左目尻 (HEOG)・左眼上 (VEOG) に設置した。脳波記録は Fpz を参照電極とし、実験後に全頭の平均電位を 0v として再基準化した後、解析した (後述)。電極間抵抗値は 10 k Ω 未満であり、サンプリング周波数は 1kHz、記録時のオンラインフィルタは DC-200 Hz とした。

計測した脳波は、EEGLAB (Delorme, et al., 2011) によって解析した。まず 500Hz にダウンサンプリングし、1Hz のハイパスフィルタを適用したのち、ラインノイズを除去した。そして、聴覚・視覚刺激提示時刻-1000ms から 2000ms の潜時帯でエポッキングしたのち、独立成分分析を実施し、SASICA (Semi-Automated Selection of Independent Components of the electroencephalogram for Artifact correction, Chaumon et al., 2015) に従ってアーチファクトを多く含む独立成分を除外した。聴覚刺激提示時の脳波について、刺激提示前-200ms をベースラインとして加算平均した。その際 20Hz のローパスフィルタを適用し、parametric statistics によってアクセント正/アクセント誤条件間で有意差のある潜時帯を 1%水準で探索した。PMN は刺激提示後 250-300ms の陰性電位、P350 は同 350ms 以降の陽性電位、N400 は同 400ms 以降の陰性電位として同定し、これらの成分について検討した。視覚刺激提示時の脳波については、ウェーブレットサイクルの最低値サイクル 2、最高値サイクルを 0.5 とし、1Hz~100Hz の帯域について時間周波数解析を行った。その後、刺激提示後 0~500ms の 28~40Hz の周波数帯域の増幅について、時間幅 10ms、周波数幅 1Hz 刻みで検討した。

3. 結果

3. 1. ERP 分析の結果

聴覚刺激提示時の ERP を図 2 に示す。HEOG/VEOG について、条件差は認められなかった。アクセント正条件に対して誤条件で P350 が前頭部から頭頂部 (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4) で有意に増幅した ($p<0.01$)。またアクセント正条件に対して誤条件で N400 が左側頭部と後頭部 (T3, P3, T5, T6, O1,) で有意に増幅した ($p<0.01$)。

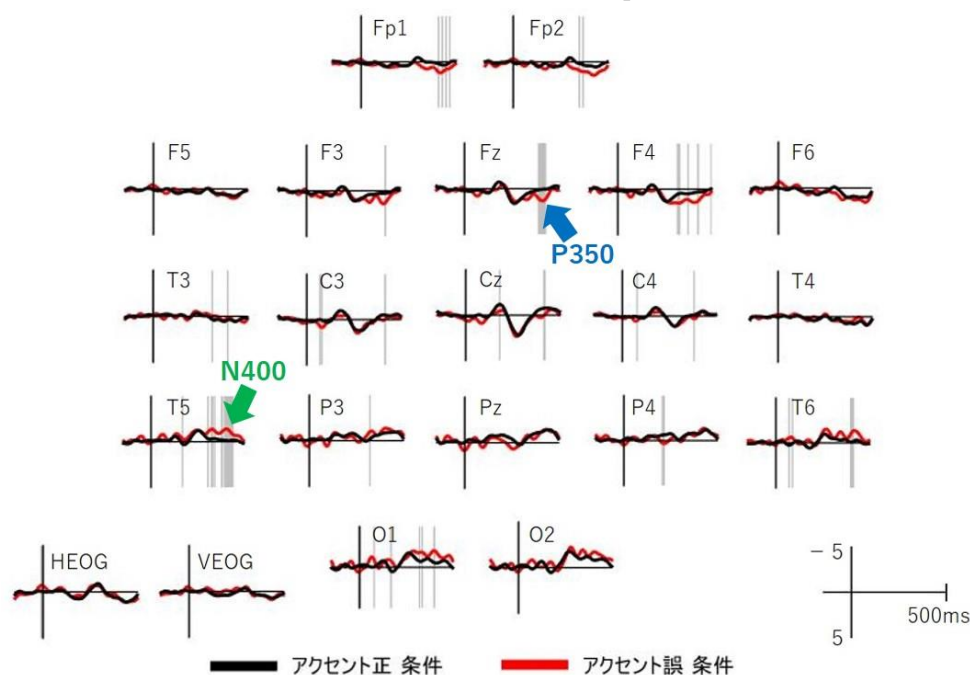


図 2. 聴覚刺激提示時の ERP、横軸が時間 (ms)、縦軸が電位量 (-5~5 μV)、上側が陰性。
 灰色の帯がかかっている部分は、条件差のある潜時 ($p<0.01$)。

3. 2. ERSP 解析の結果

視覚刺激提示時の脳波を時間周波数解析した結果を図 3 に示す。視覚刺激提示時後 0-500ms において、同音語あり/アクセント誤条件に比べて、他のすべての条件で、後頭部でガンマ波 (28~40Hz) が増幅した ($p<0.01$)。

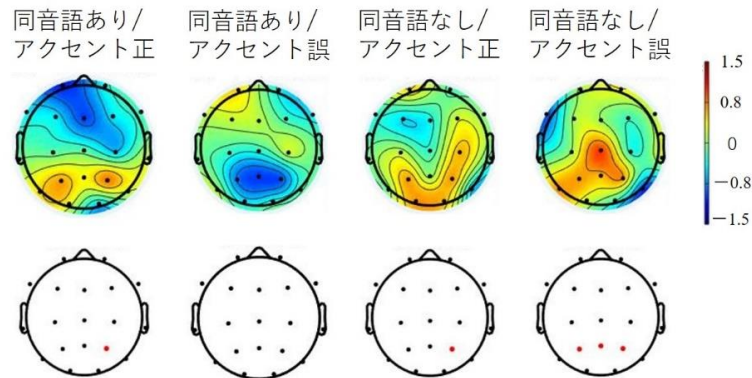


図 3. 上列が視覚刺激提示時後 0~500ms のガンマ波 (28~40Hz) の増幅、電位量は 1.5~1.5dB。下列が同音語あり/アクセント誤条件との間で条件差 ($p<0.01$) のある電極を赤く表示したもの。

4. 考察

本研究では、日本語の音声単語認知の処理過程を解明することを目指して、聴覚-視覚刺激プライミング実験を行っている間の脳波を計測し、聴覚刺激提示時の ERP、視覚刺激提示時の ERSP を指標として、誤った単語アクセントの再解釈が、音声単語認知のどの段階で行われているのかを検討した。

ERP 解析の結果、アクセント正条件に対してアクセント誤条件で P350 と N400 の増幅が見られた。これは、アクセントの誤りの再解釈が、語彙処理段階への負荷に反映されていることを示唆するものである。ERSP 解析の結果、同音語あり/アクセント誤条件に対して、他のすべての条件でガンマ波の増幅が見られた。これは、ガンマ波の増幅が、視覚刺激による文脈提示ではなく、聴覚刺激を聞いて脳内に浮かべた意味概念と視覚刺激が一致し、首尾よく統合されたことを反映しているものと考えられる。

以上のことから、誤った単語アクセントは、音声単語認知の語彙処理の段階で再解釈されていると結論できる。

参考文献

Chaumon, M., Bishop, D. V. M., & Busch, N. A. (2015). A practical guide to the selection of independent components of the electroencephalogram for artifact correction. *Journal of Neuroscience Methods*, 250, 47-63.

Friedrich, C. K., Kotz, S. A., Friedrich, A. D., & Alter, K. (2004). Pitch modulates lexical identification

- in spoken word recognition: ERP and behavioral evidence. *Cognitive Brain Research*, 20, 300-308.
- Delorme, A., Mullen, T., Kothe, C., Acar, Z. A., Bigdely-Shamlo, N., Vankov, A., & Makeig, S. (2011). EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New tools for advanced EEG processing. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Article ID 130714
- Klem, G. H., Lüders, H. O., Jasper, H. H., & Elger, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. The international Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Suppl*, 52, 3-6.
- 河内山隆紀・松本敦・宮腰誠 (2016). 『脳波解析入門』東京大学出版会.
- Goslin, J., Duffy, H., & Floccia, C. (2012). An ERP investigation of regional and foreign accent processing. *Brain & Language*, 122, 97-102.
- Minematsu, N., & Hirose, K. (1995). Role of prosodic features in the human process of perceiving spoken words and sentences in Japanese. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 16, 311-320.
- 柴田武 (1961). 「日本語のアクセント」『言語生活』117, 14-20.
- Rugg, M. D., & Doyle, M. C. (1992). Event-related potentials and recognition memory for low- and high-frequency words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 69-79.
- Sekiguchi, T., & Nakajima, Y. (1999). The use of lexical prosody for lexical access of the Japanese language. *Journal of Psycholinguistic Research*, 28, 439-454.
- Slowiaczek, L. M., & Hamburger, M. B. (1992). Prelexical facilitation and lexical interface in auditory word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 1239-1250
- Tamaoka, K., Saito, N., Kiyama, S., Timmer, K., & Verdonschot, G. R. (2014). Is pitch accent necessary for comprehension by native Japanese speakers? An ERP investigation. *Journal of Neurolinguistics*, 27, 31-40.
- 山本寿子 (2012). 「誤ったアクセントで発音された単語に対する幼児の認知」『教育心理学研究』60, 127-136.
- 横田悠右・南哲人・中内茂樹 (2011). 「聴覚－視覚プライミング及び不自然な視覚刺激が脳波事象関連電位及びガンマ帯振動に与える影響」『電子情報通信学会論文誌』J94-D, No.9, 1579-1588.
- 李光五 (1987). 「単語認知における自律性と文脈依存性」『心理学評論』30, 387-401.