

事象関連電位記録を用いた吃音者の言語処理の特性に関する予備的研究

A preliminary study of stutterers' language processing using event-related potentials

村瀬 忍^{1) 2)}・川島 卓³⁾・佐竹裕孝³⁾・恵良聖一²⁾

Shinobu Murase¹⁾²⁾, Takashi Kawashima³⁾, Hiroataka Satake³⁾, Seiichi Era²⁾

- 1) 岐阜大学教育学部
- 2) 岐阜大学大学院医学系研究科分子生理学分野
- 3) 岐阜大学大学院医学系研究科神経生物学分野

- 1) Department of Education, Gifu University
- 2) Department of Physiology and Biophysics, Gifu University Graduate School of Medicine
- 3) Department of Neurobiology, Gifu University Graduate School of Medicine

要 旨

吃音者4名を対象にして言語刺激を視覚的に呈示し、事象関連電位(ERP)を記録した。用いた言語刺激は、語から予測できる話題が文脈に合致しない動詞を文末に置いた逸脱文で、それらに発生するN400およびP600のERP成分を非吃音者と比較した。その結果、吃音者4名のうち3名のP600が消失傾向にあった。ERP記録を用いて吃音者の言語処理様態の特性が解明できると考えられた。

1. はじめに

言語処理を反映する事象関連電位(event related potential: ERP)はN400やP600などが知られている。これまでN400は文の意味的予測に対する逸脱^{1) 2)}、P600は文の統語的予測に対する逸脱^{3) 4)}、予測に反する語に対して文の再分析や再統合^{5) 6)}、語から予測する話題(theme)と文脈との不一致⁷⁾などに生じることが報告されてきた。このように、N400やP600などのERPは言語処理を反映すると考えられるものの、ERPによりこれらの言語処理過程の脳内における発現部位を特定することは困難である。そこで、脳に損傷のある患者のERPを記録することで、発現部位を特定する試みがなされている。その結果、N400はWernicke野⁸⁾、P600は大脳基底核^{9) 10)}がそれぞれの発生に関与している可能性が報告されている。

ところで吃音は、近年、原因解明にむけての生理学的な研究が進められ、皮質-線条体-視床-皮質(CSTC)回路の関与を示唆する報告^{11) 12) 13)}がある。その一方で、CSTC回路や大脳基底核ではなく、言語処理に関わる脳機能の関与を示す研究^{14) 15)}もあり、吃音を生じさせる脳の責任部位についての見解は一致していない。しかし、吃音は有症率が1%にも達する上、心身の発達において二次的障害を引き起こすことが指摘されていることから、適切な治療法の解明のためにも原因の解明は喫近の課題である。

本研究は、ERPの中でもP600が大脳基底核の機能を反映する可能性が高いことを利用して、吃音者の言語処理におけるERPを記録し、吃音者の特性を検討するものである。試験的に吃音者4名におけるERPを収集したので、その結果を報告する。

2. 方法

2. 1 被験者

被験者は日本語を母語とする成人で、吃音者4名(男性3名, 女性1名)と非吃音者5名(男性2名, 女性3名)であった。平均年齢は, 吃音者が32歳(範囲20歳~51歳), 非吃音者が27歳(範囲22歳~44歳)であった。NHきき手テスト¹⁶⁾の結果, 男性吃音者1名(S4)を除いて全員が右利きであった。また, 吃音者の吃音の程度をvery severe, severe, moderate, mild, very mild の5段階で評価すると, 3名がvery mild, 1名(S4)がmoderateであった。吃音の程度がmoderateの吃音者は左利き, 性別は男性であった。すべての被験者の視力は, 矯正も含め正常で, 吃音以外の聴覚言語障害および精神神経疾患, 物質濫用についての既往歴はなかった。実験は, 事前に被験者にインフォームド・コンセントを渡し, 同意のもとに実施した。

2. 2 刺激

刺激文は, Kuperberg et al.⁷⁾を参考に作成した日本語正文および逸脱文とした。例を表1に示す。刺激文は4語で構成された文で, 標的語(target word)は文末に置いた。標的語は動詞で, 語から予測する話題(theme)が文脈に合致しない場合を逸脱文, 文脈に合致する場合を正文とした。標的語のみ異なる正文と逸脱文のペアを60ペア用意し, 合計120文を実験の刺激として用いた。120文をランダムに配置して被験者に呈示した。

表1 刺激文の例

condition	Example of sentences
correct	朝食に ぼくは 卵を 食べる <small>1st word 2nd word 3rd word 4th (target) word</small> "At breakfast, I eat egg."
incorrect	朝食に ぼくは 卵を 植える <small>1st word 2nd word 3rd word 4th (target) word</small> "At breakfast, I plant egg."

correct=正文 incorrect=逸脱文

2. 3 手続き

それぞれの文はパソコンのCRT画面上に, 一文節ずつ呈示した。各文の呈示手順を図1に示す。まず始めに, 各試行毎に試行開始合図(●)を600ms呈示し, その後, 刺激間隔時間600ms, 刺激呈示時間600msで, 標的語まで4文節を順に呈示した。ただし, 標的語の呈示は1200msであった。標的語の呈示時間が長いのは, 標的(刺激)語の光刺激のOFFによって引き起こされる誘発電位成分が, N400, P600に混入するのを防ぐためである。被験者には, 注意を持続するため, 標的語の消失後2秒後に正誤判断のボタン押しを要求する信号(■)を呈示し, 呈示された文章が誤りと判断されるときのみ反応を要求した。各被験者に刺激の120文を約10秒おきに中断なく呈示した。

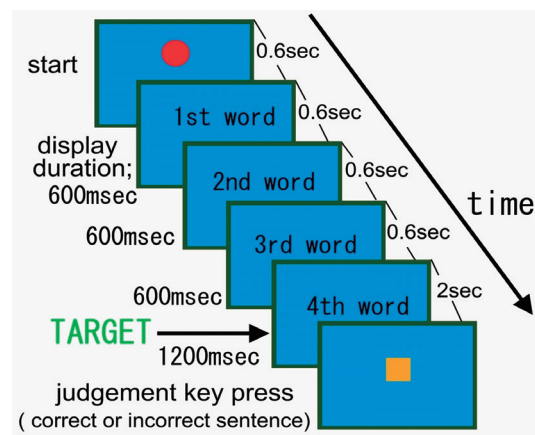


図1 刺激文の呈示手続き

被験者はCRT画面から約2mの位置にリラックスした姿勢で座り, 画面上に呈示される文節を黙読するよう被験者に指示された。また, 文が日本語として容認できなければ, 指定の合図の後, できるだけすみやかに反応ボタンを押すことも指示された。

2. 4 脳波記録とデータ分析

脳波は、国際10-20法に従って、銀-塩化銀電極をあらかじめ配置したエレクトロキャップ (ELECTRO-CAP INTERNATIONAL社製) を用いて測定した。両耳朶を基準電極 (A₁, A₂) とし、眼電 (EOG) は両眼窩下から記録した。探査電極はFz, Cz, Pz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6の13電極とした。探査電極の配置を図2に示す。標的語の呈示前100ms間の平均電位をベースラインとし、標的語の呈示から1000msの平均電位を算出した。

今回の分析は、被験者の数が限られていたことから、統計的な処理を行わず、各被験者の総ERPの加算平均波形において、N400ならびにP600の振幅と頭皮上分布を検討した。ERPの加算では、被験者のボタン押しによる正誤判断が10%を越える場合のみ、誤った試行のERPを加算から除外した。

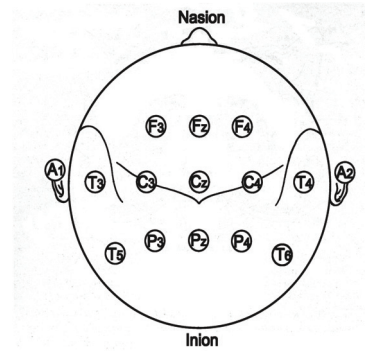


図2 探査電極の位置と電極番号

3. 結果

3. 1 非吃音者におけるN400およびP600

各非吃音者の正文と逸脱文とのERP総加算平均波形を算出し、潜時300-500msのERP、ならびに潜時500-700msのERPを観察した。非吃音者のERPの典型例を図3に示す。この典型例からわかるように、非吃音者のERPでは13電極すべてにおいて、逸脱文の波形は潜時300-500msで陰性方向に、潜時500-700msで陽性方向にそれぞれ偏位していた。この結果は、逸脱文においてN400およびP600が惹起することを示すと考えられた。これを確認するため、逸脱文のERPと正文のERPとの差を求めた (図4)。N400およびP600は両方とも、側頭部に比較してFz, Cz, Pzの正中線部分寄りに偏位が大きかった。また、N400およびP600ともに、左右半球間での差は認められなかった。

表2は非吃音者5名の逸脱文における、N400およびP600の観察結果である。1名でN400が認められなかったが、残りの4名は全てにN400およびP600が観察できた。これにより、今回の刺激は、非吃音者にN400とP600の両方を惹起させるものであると考えられた。

3. 2 吃音者におけるN400およびP600

表3は吃音者4名の逸脱文におけるN400およびP600の観察結果である。N400は、1名において値

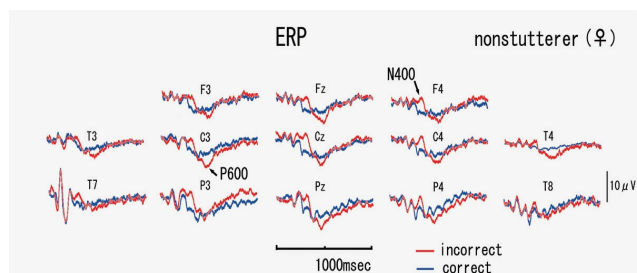


図3 非吃音者のERPの例。赤線は逸脱文、青線は正文。視診では全ての電極にN400およびP600が観察できる。

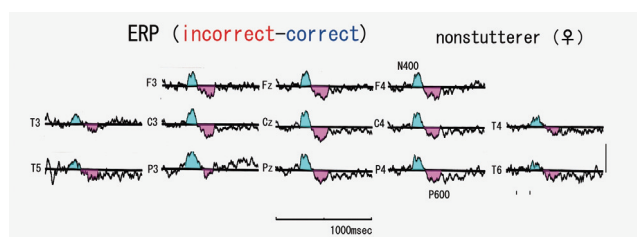


図4 非吃音者における逸脱文のERPと正文のERPの差の例。青はN400、赤はP600を示す。全ての電極にN400およびP600が観察できる。

が小さかったものの、全員に観察できた。P600は4名中、2名で観察できなかった。また、観察はできるもののわずかであった者が1名であった。図5は、P600が観察できなかった男性吃音者(S2)のERPである。図6は、逸脱文のERPと正文のERPとの差を求めたものである。P600は電極位置T3, T4に認められ、非吃音者のパターンである正中部ではなかった。N400とP600の両方をみると、どの吃音者も非吃音者の典型的なパターンを示さなかったことがわかる。

4. 考察

Friederici et al.⁹⁾とKotz et al.¹⁷⁾は、パーキンソン病患者などの大脳基底核に疾患のある患者を対象に統語的逸脱のある文章を用いてERPを記録した。その結果、患者にP600を検出できなかったことから、P600の生成に関わる言語処理に大脳基底核が関与していると述べている。本研究でも、吃音者4名のうち3名にP600が検出できなかった。このことは、吃音に大脳基底核が関与する可能性を示すものと考えられる。しかし、Friederici et al.⁹⁾及びKotz et al.¹⁷⁾は刺激を聴覚的に呈示しており、本研究と刺激の提示方法が異なっている。刺激モダリティを聴覚に変えて、追試する必要がある。

成人吃音者に統語的逸脱のある文を視覚呈示してERPを記録した研究にはCuadrado and Weber-Fox¹⁸⁾の報告がある。それによると、吃音者ではP600の振幅が小さいという結果が得られている。このように吃音者のP600が消失傾向にあることは、本研究の結果と一致する。Cuadrado and Weber-Fox¹⁸⁾は吃音の程度やタイプなどの吃音の特性とP600の特徴との関係を検討していない。本研究でも被験者の人類が限られていたことにより吃音の特性とP600の関係は検討できなかった。今後、吃音と言語処理との関係を明確にする必要がある。

ERPでは、神経活動の発生源を特定することは難しいが、時々刻々と変化する脳活動の変化を継続的に観察できる。しかも、左右に探查電極を置くことから、左右の脳半球の活動の違いを時間的に比較できるという長所を持つ。こうした長所は、通常左半球に処理を依存し、しかも素早いスピードで処理が実行される言語活動の検討

表2 各非吃音者(NS)のERPの視診。N400に陰性方向の偏位、P600に陽性方向の偏位が認められた場合を○とした。すべての非吃音者にP600が認められた。

	NS1	NS2	NS3	NS4	NS5
N400	○	○	○	×	○
P600	○	○	○	○	○

表3 各吃音者(S)のERPの視診。N400に陰性方向の偏位、P600に陽性方向の偏位が認められた場合を○とした。4名中3名の吃音者でP600がほとんど認められなかった。

	S1	S2	S3	S4
N400	△ (very small)	○	○	○
P600	○	△ (very small)	×	×

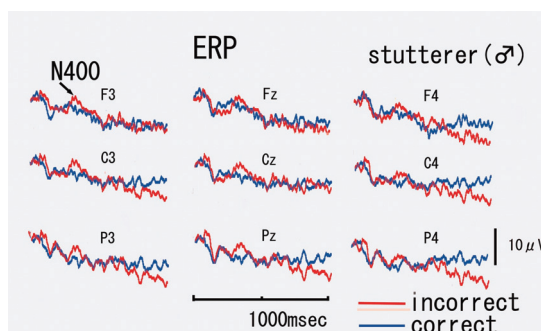


図5 吃音者のERPの例。赤線は逸脱文、青線は正文。図に示された電極においては、逸脱文にN400が認められるが、明らかなP600は認められない。

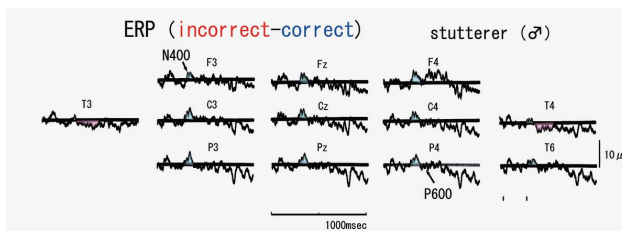


図6 吃音者における逸脱文のERPと正文のERPの差の例。青はN400、赤はP600を示す。非吃音者のパターンに認められるような正中部でのP600は認められない。

に、ERPが有効な方法として利用できることを示している。ERPでは刺激への注意の指標として、P300が知られている。吃音者の非言語音刺激に対する左右半球でのP300の分布が、非吃音者と異なるとの報告がある¹⁹⁾。言語刺激においても、吃音者の脳の側性化の異常がERPを利用して詳細に検討できるものと考えられる。

文献

- 1) Kutas M & Hillyard SA : Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205, 1980
- 2) Van Berkum JJA, Hagoort P, & Brown C : Semantic integration in sentences and discourse: evidence from the N400. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 657-671, 1999
- 3) Hagoort P, Brown C & Groothusen J : The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-483, 1993
- 4) Osterhout L & Holcomb PJ : Event-related potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-806, 1992
- 5) Osterhout L, Holcomb PJ & Swinney DA : Brain potentials elicited by garden-path sentences: Evidence of the application of verb information during parsing. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, Cognition*, 20, 786-803, 1994
- 6) Kaan E, Harris A, Gibson E & Holcomb PJ : The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language & Cognitive Processes*, 15, 159-201, 2000
- 7) Kuperberg GR, Caplan DA, Sitnikova T, Eddy M & Holcomb PJ : Neural correlates of processing syntactic, semantic and thematic relationship in sentences. *Language & Cognitive Processes*, 21, 489-530, 2006
- 8) Friederici AD, Hahne A, & von Cramon Y : First-pass versus second-pass parsing processes in a Wernicke's and Broca's aphasic: Electrophysiological evidence for double dissociation. *Brain and Language*, 62, 311-341, 1998
- 9) Friederici AD, Kotz SA, Werheid K, Hein, G. & von Cramon DY : Syntactic comprehension in Parkinson's disease: Investigating early automatic and late integrational processes using event-related brain potentials. *Neuropsychology*, 17, 133-142, 2003
- 10) Kotz SA, Frisch S, & Werheid K : The role of the basal ganglia in syntactic language processing: Event-related potential evidence from different patient populations and syntactic paradigms. *Brain and Language*, 83, 68-70, 2002
- 11) DeNil LF, Kroll RM, Lafaille SJ, & Houle S : A positron emission tomography study of short- and long-term treatment effects on functional brain activation in adults who stutter. *Journal of Fluency Disorders*, 28, 357-379, 2003

- 12) Giraud AL, Neumann K, Bachoud-Levi AG, von Gudenberg AW, Euler HA, Lanfermann H & Preibisch C : Severity of dysfluency correlates with basal ganglia activity in persistent developmental stuttering. *Brain and Language*, 104, 190-199, 2008
- 13) Lu C, Peng D, Chen C, Ning N, Ding G, Li K, Yang Y & Lin C : Altered effective connectivity and anomalous anatomy in the basal ganglia-thalamocortical circuit of stuttering speakers. *Cortex*, 30, 1-19, 2009
- 14) Sommer M, Koch MA, Paulus W, Weiller C & Buchel C : Disconnection of speech-relevant brain areas in persistent developmental stuttering. *The Lancet*, 360, 380-383, 2002
- 15) 佐藤裕, 森浩一, 今泉敏三, 皆川泰代, 田中章浩, 小沢恵美: 吃音者の聴覚言語処理における左右聴覚野の優位性—近赤外分光法脳オキシメーターによる検討—, *音声言語医学*, 45, 181-186, 2004
- 16) 八田武志: きき手に関する研究. *適性研究*, 9, 1-13, 1975
- 17) Kotz SA, Frisch S, von Cramon DY, & Friederici AD : Syntactic language processing: ERP lesion data on the role of the basal ganglia. *Journal of International Neuropsychological Society*, 9, 1053-1060, 2003
- 18) Cuadrado, E, & Weber-Fox C : A typical syntactic processing in individuals who stutter: evidence from event-related brain potentials and behavioral measures. *Journal of Speech Language Hearing Research*, 46, 960-976, 2003
- 19) Morgan MD, Cranford JL & Burk K : P300 event-related potentials in stutterers and nonstutterers. *Journal of Speech Language Hearing Research*, 40, 1334-1340, 2003