音韻情報処理に伴う事象関連電位の半球非対称性

関西学院大学 久保 克己¹⁾

Hemispheric asymmetry of event-related potentials during phonetic processing

KUBO, K.

Department of Psychology,
Kwansei Gakuin University

Event-related potentials (ERPs) were recorded from the left and right hemispheres of eight college students during a phonetic discrimination task. Hemispheric asymmetry was observed in N1 amplitude of the ERP to consonant-vowel (C-V) syllables. More pronounced asymmetry of the ERP was found in the right ear presentation of the C-V-syllables.

序 論

話し言葉の処理に関して大脳半球の機能偏側化が指摘されてからすでに久しい。しかし、話し言葉の知覚には聴覚的・音韻的・統語的および意味的な水準での各処理過程が階層的に含まれており (Lieberman, Cooper, Shankweiler & Studdert-Kennedy, 1967; Pisoni, 1979), 左右それぞれの半球がこれら全ての処理過程に等しく関係しているとは考え難い。両耳分離聴事態での研究によれば、半球偏側化は調音の位置や様式など子音を特徴づける音韻情報の処理と特に関係していることが示唆され、母音や基本周波数など聴覚レベルで処理可能な音声刺激に対しては半球偏側化を支持するような結果は得られていない (Cutting, 1974; Darwin, 1971; Shankweiler & Studdert-Kennedy,

1967; Studdert-Kennedy & Shankweiler, 1970)。

久保・宮田 (1981, 1982) は反応時間を指標として、子音-母音 (Consonant-Vowel; 以下 CV と略す) 音節の弁別・同定が左耳提示条件より右耳提示条件において有意に速くなることを検証し、他方、純音や母音単独音節に対しては反応時間に左右差を認めることはできなかった。

こうした行動的指標の知見にもとづけば、音韻情報を処理している脳の神経活動においても何らかの半球間差が予想されるが、これまで頭皮上誘発電位を指標とした多くの研究においては一貫した結果が得られていない (Hillyard & Woods, 1979; 稲森・沖田・小西・松永, 1982)。

頭皮上誘発電位は最近では事象関連電位 (Event-Related Potentials; 以下 ERPs と略す) とも呼ばれ (下河内, 1981), ERPs には感覚過程に特有な外因性成分と認知過程に特有な内因性成分が含まれている。Hillyard & Woods (1979) は、言語情報処理に伴う半球間での電

1) 本論文の作成にあたり、御校閲ならびに有益な御助言をいただきました関西学院大学教授、宮田洋先生に厚く感謝いたします。

位差は言語刺激を単に受動的に聞くだけであれば刺激拘束性電位が処理電位を隠蔽する可能性がある。なので内因性成分が十分に観察されるような実験条件下において始めて検証が可能であることを指摘した。そこで彼らは被験者に弁別課題を要求したり、刺激強度を弱くしたり、提示間隔を短かくして被験者の処理負荷を高くするような条件設定の必要性を示唆している。

また、この認知過程に特有な電位は、選択的注意事態の研究によれば正中線部位に顕著であると報告されている(Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978)。しかしながら、言語情報の処理とERPsの半球間差を検討した多くの研究においては、脳波は両耳垂または乳様突起を基準として側頭部位(T_3 および T_4)という比較的感覺過程に特殊な部位から単極導出で記録されていた。こうした記録上の問題も、ERPsに言語処理という認知過程が十分に記録できなかった要因の一つと考えられる。Shucard, Cummings, Thomas & Shucard (1981)は側頭部位(T_3 , T_4)とCz 部位間で脳波を双極導出し、そのERPsが言語情報の処理に対し鋭敏に応答したことを報告している。

本研究では上記の示唆を考慮して、被験者にCV音節を積極的に聴取させるために、特定のCV音節を標的として他の無作為に提示される3種のCV音節の中からその標的音節を弁別・同定することを要求した。また、CV音節の聴取が若干困難になる事態として対側耳に干渉刺激として白色雑音を提示する条件を設けた。脳波はShucard et al. (1981)に従い、左半球側は T_3 -Cz, 右半球側は T_4 -Cz 部位から双極導出した。こうして得られるERPsが音韻レベルでの言語情報処理に伴って何らかの半球間差を示すだろうか、また、そうしたERPsはCV音節の提示耳の違いをどのように反映するだろうか。これらの2点を検討することが本研究の目的である。

方 法

被験者 聴覚機能の正常な男女各4名計8名の大学生を用いた。全員この種の実験は未経験であった。

刺激 音声刺激は、発音の明瞭な女性の発する「バ・ダ・バ・タ」の4種のCV音節をアナログスイッチを介して持続時間が約200msとなるように母音部分を若干短縮したものを用いた。各音節は、約2.5sの提示間隔でそれぞれが20音節ずつ計80音節を無作為に一系列としてテープに録音された。実験事態では、これらのCV音節をAKAI製(GXC-706D)テープデッキで再生し、TEAC製(model 2A)オーディオミキサを経てPIONEER製(A-004)オーディオアンプにて約70dB SPLに増幅後、AUDIO TECHNICA製(ATH-mini 3)イヤプラグ型ヘッドホンから被験者の左右どちらかの耳に提示した。

課題および条件 各被験者は4種のCV音節の中から予め指定された1種のCV音節を弁別し、左右の人差指で同時にそれぞれのマイクロスイッチを押すことが要求された。従来の研究においては口頭反応や右手の人差指での反応がしばしば用いられてきたが(Morrel & Salamy, 1971; Wood, 1975), 本研究では右手単独使用および口頭反応による左半球の持続的賦活や運動電位の混入を考慮して、両手の同時反応を被験者に要求した。なおERPsへの筋電位の混入を避けるため、CV音節提示1s後に被験者の眼前1mのところに赤色LEDを500ms間点灯し、点灯中のみ反応することを要求した。そうして得られた正反応と標的数との比率を正答率とした。

条件はCV音節が右耳又は左耳に提示される条件を主条件とし、付加的に対側耳に白色雑音(強度約80dB SPL)が連続的に提示される条件を設けた。

記録 脳波はBeckman製銀-塩化銀ミニチュア電極を10-20 system(Jasper, 1958)に基づきCzと左右に対称な側頭部位 T_3 , T_4 に

装着して双極導出し、日本光電製AB620G（時定数2s，高域遮断済過100Hz）で増幅した（ 2×10^4 ）。なお左右の電極間インピーダンスが可能な限り等しくなるように装着部位を注意深く擦過した（8名の各部位での平均インピーダンスはT₃-Cz部位が5K Ω ，T₄-Cz部位は5.4K Ω であった）。垂直眼電位は、右眼眼窩上下縁部にミニチュア電極（日本光電製NT-211U）を装着し、AB620G（時定数0.3s，高域遮断済過100Hz）にて増幅した（ 2×10^3 ）。なお同電極を右前腕内側部に装着して接地した。脳波および垂直眼電位はモニターで監視しつつ、CV音節と共にSONY製（FRC-1402N）データレコーダーに磁気記録した。

ERPsはデータレコーダーから再生された脳波を眼電位と共に三栄測器製7T08を用いて2msごとくA-D変換し、CV音節提示時点をトリガポイントとして刺激前200msを含む1024ms間を実験の前半および後半の試行の中から瞬目反応の混入のない試行について128回加算した。

手続 被験者は適度に照明されたシールドルーム内の安楽椅子に着席して電極を装着後ヘッドホンを装着し、4種のCV音節を十分同定できるまで繰り返し両耳聴取した。その後、練習用テープ

で両耳による弁別課題の練習を40試行おこなった。被験者は開眼状態で反応期間設定に用いるLED部をリラックスした状態で凝視するように教示され、4種の条件が実験の前半および後半にそれぞれ2回ずつ、順序効果を相殺するように設けられた。なおヘッドホンの応答特性を考慮して実験の前半と後半で装着耳を逆にした。

結 果

パフォーマンス 本研究では判断の正確さを教示において特に強調したために、6名の被験者が100%の正答率を示し、条件間に差は認められなかった。従ってどの条件においても音韻情報が正しく処理されていたといえる。

ERPs パフォーマンスの結果から各被験者は十分に認知的操作を行っていたと考えられ、得られたERP波形にはCV音節の音響的エネルギーが誘発した外因性成分と音韻処理に伴う内因性成分が重畳していると思われる。Fig.1は1名の被験者における4種のCV音節に対して誘発された典型的ERP波形を示している。CV音節提示後約100ms時点に陰性方向への電位、約200ms時点に陽性方向への電位が観察され、クリック音や純音提示に伴う従来の誘発電位と類似して

Fig. 1 Event-related potentials of one subject recorded from the left(T₃) and right(T₄) hemisphere and summated wave forms of 4 CV stimuli. Positivity at Cz with respect to T₄ or T₃ is up.

RCV: CV to the right ear.

LCV: CV to the left ear.

NOISE: Noise to the contralateral ear.

Fig. 2 Mean N1 amplitude of ERP from left(T₃) and right(T₄) hemisphere to CV syllables separately for the right and left ear.

Left side: Without noise presentation.

Right side: With noise presentation.

いる (Regan, 1972)。破線で示された T₃ 部位の電位は全般的に実線で示された T₄ 部位の電位より小さく見える。

刺激提示後 60~123 ms 時点に陰性電位の頂点を示す成分を N₁, 130~240 ms 時点に陽性電位の頂点を示す成分を P₂ と定義して各成分に対する条件の効果を検討した。

Fig. 2 は左側に白色雑音提示を伴わない事態での N₁ 振幅に対する CV 音節の提示耳と部位の効果を示し、右側に白色雑音が対側耳に提示された事態での各条件の効果を示している。白色雑音が提示されない事態では部位の主効果が有意となり ($F = 9.94$, $df = 1/7$, $P < .05$), N₁ は右耳および左耳から提示された CV 音節に対して T₃ 部位において T₄ より小さな値を示した。また CV 音節の提示耳と部位との交互作用も有意であった ($F = 18.49$, $df = 1/7$, $P < .01$)。下位検定の結果, T₃ 部位において右耳提示の方が左耳提示より有意に小さな電位を示し ($t = 3.32$, $df = 7$, $P < .05$), 右耳提示条件においての

Fig. 3 Mean P2 amplitude of ERP from left(T₃) and right(T₄) hemisphere to CV syllables separately for the right and left ear.

Left side: Without noise presentation.

Right side: With noise presentation.

み T₃ 部位の電位は T₄ 部位より有意に小さかった ($t = 3.99$, $df = 7$, $P < .01$)。

対側耳に白色雑音が提示された事態では、いずれの主効果も認められず, CV 音節の提示耳と部位との交互作用が有意であった ($F = 15.16$, $df = 1/7$, $P < .01$)。下位検定の結果, CV 音節が右耳に提示された条件にのみ T₃ 部位の電位は T₄ 部位より有意に小さかった ($t = 4.52$, $df = 7$, $P < .01$)。

P₂ 振幅に対する各条件の効果は Fig. 3 に示されている。白色雑音の提示を伴わない事態ではどの条件の効果も示されず, 白色雑音が対側耳に提示された事態では CV 音節の提示耳と部位との交互作用が有意であった ($F = 11.44$, $df = 1/7$, $P < .05$)。下位検定の結果, T₃ 部位での P₂ 振幅において CV 音節が右耳に提示された条件は左耳提示条件より有意に大きな値を示した ($t = 2.59$, $df = 7$, $P < .05$)。

N₁ および P₂ の頂点潜時に関しては有意な効果は認められなかった。

考 察

言語情報処理とERPsとの関係を取扱った従来の研究においては、ERPsの振幅を主な測度として半球間差が検討され、これまで言語刺激の提示によりT₃部位のN₁またはN₁-P₂振幅がT₄部位よりも増大したことが報告されている(Morrel & Salamy, 1971; Matsumiya, Tagliasco, Lombroso & Goodglass, 1972)。本研究ではCV音節の提示に伴いT₃部位のN₁振幅が概してT₄部位より小さかった。しかしながら、この結果は先行研究と必ずしも矛盾するものではない。

脳波の双極導出とERP波形 本研究では認知活動に伴う内因性電位をERP波形上により多く反映させるために、あえて脳波を側頭部とCz部位間で双極に導出した。一般に脳波が双極導出によって差動増幅されると、同一時点に双方の部位に同一極性の電位が発生した場合、同相除去の結果その電位は減少する(Niedermeyer, 1982)。本研究で得られたERPsにおいては、弁別課題を遂行する際に注意過程全般や運動反応準備に関連した電位がCz部位において陰性方向に発達し、同時にT₃部位では音韻処理に特異な電位が陰性方向に発達していたと思われる。T₃-Cz導出のN₁振幅がT₄-Cz導出のN₁振幅と比較して小さな値を示したのは、脳波を双極導出したことによると考えられ、むしろN₁が小さかったことからT₃部位での活発な神経活動を推測することができる。同様な結果は、Wood(1975)においても示されている。彼の研究では、CV音節の音韻を弁別する条件と基本周波数を弁別する条件を実験変数として半球間のERPsが比較された。その結果、条件の効果は左半球のERPsにおいてのみ示されたが、全般的な大きさでは右半球が優っていた。また、Molfese(1978)は半球間で絶対的なERPsの大きさを比較することよりも、主成分分析などを用いてどちらの半球が実験変数をより差異的に反映しているのかを検討すべ

きであると指摘している。

ERPsの非対称性 非言語的なクリック音や純音を用いた研究において刺激が右耳に提示された場合、左半球のERPsは右半球と比較して大きくなり、逆に左耳に提示された場合は右半球のERPsが大きくなることが報告されている(Andreassi, DeSimone, Friend & Grota 1975)。本研究においては誘発刺激としてCV音節を左右の耳にそれぞれ独立に提示した。ERPsが音響的エネルギーにより誘発された成分のみであるなら、上記のような結果が予測される。しかしながら、提示耳と対側半球のERPs間にはそのような対称的な関係が認められなかった。白色雑音が提示されない事態では、提示耳に関係なくT₃部位のN₁がT₄部位より一貫して小さく、白色雑音提示を伴う事態では、右耳にCV音節が提示された条件にのみ半球間差が認められた。こうした結果はCV音節がクリック音や純音と異なり、音韻的な特性を備えていることに帰因し、その処理が左半球で特異的になされたことを示唆している。白色雑音が提示された事態はこのことをさらに明確にした。CV音節の処理が左半球において特異的になされているならば、左耳から提示される白色雑音は主に右半球に投射されるため、左半球での音韻処理はさほど影響をうけることなく、ERPsの半球間差は依然として示される。一方、右耳に白色雑音が提示された場合、左半球の音韻処理を妨害することが予測される。本結果はこうした予測と一致し、左耳に白色雑音が提示された事態ではN₁の半球間差が示され、右耳に提示された事態では半球間差が消失した。

右耳有利性 これまで言語情報とERPsの関係を検討した研究においては主に両耳聴事態が用いられてきた(Morrel & Salamy, 1971; Wood, 1975)。本研究では、両耳分離聴事態でしばしば右耳有利性という現象が見出されていることを特に考慮して、あえて単耳聴事態を設けて提示耳の効果を検討した。その結果、右耳に

C V 音節が提示された条件において顕著な N_1 振幅の半球間差が示され、 P_2 振幅にも対側耳に白色雑音が提示された事態において T_3 部位に提示耳の効果が認められた。一方、左耳に C V 音節が提示された条件では、白色雑音提示のない事態でも N_1 の半球間差は示されなかった。音韻情報が左半球においてのみ処理されると仮定すれば (Cutting, 1974), 左耳に C V 音節が提示された場合、音韻情報は左耳-左半球という同側経路を経て、または右半球から脳梁を介して左半球へ転送され、処理されなければならない。左耳提示条件において半球間差が顕著に示されなかったのは、同側経路の投射量 (左耳-左半球) が対側経路と比較して少ないこと、および半球間転送 (右→左) に伴う情報損失によると思われる。パフォーマンス上しばしば観察される右耳有利という現象は、本研究のように半球間の ERPs を比較検討すれば、今後その詳細が明らかにされるだろう。

以上の結果から、左半球側頭部と頭蓋頂間で双極導出して得られた ERPs は、音韻情報と左半球機能との関係をかなり早い時点 (約 100 ms) において鋭敏に反映し、今後大脳半球偏側化を神経生理学的に検討する上で有効な指標となるであろう。

引用文献

- Andreassi, J.L., DeSimone, J.J., Friend, M.A., & Grotta, P.A. 1975 Hemispheric amplitude asymmetries in the auditory evoked potential with monaural and binaural stimulation. *Physiol. Psychol.* 3, 169-171.
- Cutting, J. 1974 Two left hemisphere mechanism in speech perception. *Percept. Psychophysics*, 16, 601-612.
- Darwin, C.J. 1971 Ear differences in the recall of fricatives and vowels. *J. exp. Psychol.* 23, 46-62.
- Hillyard, S.A., & Woods, D.L. 1979 Electro-physiological analysis of human brain function, In: S. Gazzaniga (Ed), *Handbook of behavioral neurobiology*, vol 2. New York: Plenum.
- 稲森里江子・沖田庸嵩・小西賢三・松永一郎
1982 大脳半球機能差と事象関連電位-過去 10 年間の研究 兵庫医大誌, 10, 156-178.
- Jasper, H.H. 1958 The ten-twenty electrode system of the International Federation of Societies for Electroencephalography: appendix to report of the committee of methods of clinical examination in electroencephalography. *EEG clin. Neurophysiol.*, 10, 371-375.
- 久保克巳・宮田 洋 1981 音声処理と大脳半球特異性 第 45 回日本心理学会大会発表論文集, 58.
- 久保克巳・宮田 洋 1982 音声知覚と大脳半球特異性 第 46 回日本心理学会大会発表論文集, 158.
- Liberman, A.M., Cooper, F.S. Shankweiler, D., & Studdert-Kennedy, M. 1967 Perception of the speech code. *Psychol. Rev.* 74, 431-461.
- Matsumiya, Y., Tagliasco, V., Lombroso, O.T., & Goodglass, H. 1972 Auditory evoked response: Meaningfulness of stimuli and inter-hemispheric asymmetry. *Science*, 173, 790-793.
- Molfese, D.L. 1978 Left and right hemisphere involvement in speech perception: Electro-physiological correlates. *Percept. Psychophysics*, 23, 137-243.
- Morrel, L.K., & Salamy, J.G. 1971 Hemispherical asymmetry of electrocortical responses to speech stimuli. *Science*, 174, 164-166.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K., & Mäntysäro, S. 1978 Early selective-attention effect on evoked potential. Reinterpreted. *Acta Psychol.* 42, 313-329.
- Niedermeyer, E. 1982 The EEG signal: polarity and field determination. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Eds.). *Electroencephalography*. Baltimore: Urban.

- Pisoni, D.B. 1979 Speech perception. In W.K. Estes (Ed.). Handbook of learning and cognitive processes, vol. 6. Erlbaum: Hillsdale, N.J.
- Regan, D. 1972 Evoked potentials in psychology, sensory physiology and clinical medicine. New York: Wiley.
- Shankweiler, D., & Studdert-Kennedy, M. 1967 Identification of consonants and vowels presented to left and right ears. *Quart. J. exp. Psychol.* 19, 59-63.
- Shucard, D.W., Cummings, D.G., Thomas, D.G., & Shucard, J.L. 1981 Evoked potentials to auditory probes as indices of cerebral specialization of function - replication and extension. *EEG clin. Neurophysiol.*, 52, 389-393.
- 下河内 稔 1981 事象関連電位 (I) 臨床脳波, 23, 683-690.
- Studdert-Kennedy, M., & Shankweiler, D. 1962 Hemispheric specialization for speech perception. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 34, 1431-1437.
- Wood, C.C. 1975 Auditory and phonetic levels of processing in speech perception; Neurophysiological and information processing analysis. *J. exp. psychol. Human Percept. Perform.*, 104, 3-20.
- 1983. 11. 14 受稿;
1984. 1. 22 受理-

編 集 公 告

この第1巻は、お手許に届くのが遅れましたが、1983年12月31日発行です。

第2巻は、1984年11月発行予定ですが、

第3巻(1985年)以降は、郵送料節約のため、当年に開催の学術大会(5月6月が慣例)当日お手渡しできるよう、発行を早める予定です。

従って、ご投稿は、常時受付ていますが、

第2巻の締切を、1984年5月26日(土)必着

第3巻の締切を、1984年9月29日(土)必着 とします。

現在、持ち越しの論文は皆無ですので、暫定投稿規定、暫定編集規定および本誌をご参照のうえ、ぜひ5月26日までに、ご投稿ください。ご投稿が少ないと、上記発行計画が遅れ、郵送料が節約できず、会費値上げ等ということにもなりかねません。