

# 平仮名黙読時の音韻変換に関連した事象関連電位

黄 孔 良

新潟大学脳研究所附属統合脳機能研究センター

(主任：中田 力教授)

## Event-related Potentials of Phonological Conversion

Koongliang HUANG

Center for Integrated Human Brain Science,

Brain Research Institute, University of Niigata

(Director: Professor Tsutomu NAKADA)

### 要 旨

黙読には、視覚的に呈示された情報を音情報に変換し、音声言語と融合する過程が含まれる。本研究の目的は、黙読時に行われる音韻変換の脳内過程を、意味判断などの他のプロセスをなるべく介在させない状態で、事象関連電位と反応時間の計測により明らかにすることである。読めないハングル文字を注意して見る課題をコントロール課題とし、意味を持たない平仮名3文字を黙読する黙読課題を行って、事象関連電位を記録した。反応時間の計測は事象関連電位と別のブロックで行い、1文字目と3文字目を黙読する時点を、それぞれ、黙読開始時刻の指標となるRT1と黙読終了時刻の指標となるRT2として計測した。この結果、RT1が673 ± 169 msで、RT2が1376 ± 238 msであった。事象関連電位の結果では、黙読課題で頂点潜時を約590 msとする持続的な陰性電位が、後側頭部から後頭部にかけて左半球優位に観測された。この陰性電位はコントロール課題では観測されず、また、反応時間から推測された黙読の時間帯にほぼ一致して観測されたことから、黙読時の音韻変換過程に関連した脳活動を反映したものと推定した。

キーワード：黙読、音韻変換、phonological conversion、事象関連電位、かな

### 序 文

ある特殊な言語環境<sup>1)</sup>を除いては、黙読時には視覚情報を音韻に変換する過程が重要な役割を果たす。近年急速に発達してきた機能画像研究で

は、音韻の判別をさせる課題や音韻をモニターする課題でブローカ野の賦活が報告された<sup>2)–6)</sup>。特にZatorreら<sup>5)–6)</sup>はovertな音韻的分析が必要とされる課題ではブローカ野の賦活が見られると述べた。Burtonら<sup>2)</sup>は、音韻変換過程とブ

Reprint requests to: Koongliang HUANG  
Center for Integrated Human Brain Science  
Brain Research Institute  
University of Niigata  
1-757 Asahimatchi-dori,  
Niigata 951-8585 Japan

別刷請求先：〒951-8585 新潟市旭町通1-757  
新潟大学脳研究所附属統合脳機能研究センター  
黄 孔 良

ローカ野賦活との関連をさらに詳しく調べるため、2つの聴覚刺激語に同様な音韻が含まれるか否かを分析させる課題を用いた研究を行い、“dip vs. ten”のような比較ではブローカ野の賦活が見られるが、“dip vs. tip”のような単純な比較では見られなかったと報告した。すなわち、音韻処理の在り方によって種々の神経組織の関わり方がありうることを示唆しており、その詳細な時間経過に興味を持たれる。このように詳細な時系列解析が重要な場合には、生きたヒトの脳内過程をミリ秒単位で解析できる事象関連電位が用いられる。

事象関連電位を用いた音韻変換過程の研究は、主として欧米圏で押韻判別課題 (rhyme judgment task), すなわち2つの刺激 (主として単語) が韻を踏むかどうかを判定させる課題を用いて、いわば間接的な方法論により行われてきた<sup>7)–9)</sup>。なぜ直接的な方法が用いられなかったかという点、欧米言語のアルファベットを用いた場合には、全く同じ音韻を含む2つの視覚刺激は、表記上同じ文字を含むことがほとんどであるために、音韻に変換した後の比較ではなく視覚的な情報処理のみで課題遂行が可能になってしまうという課題デザイン上の限界があるからと考えられる。このため、音韻変換過程に特に着目して、その詳細な時間経過について報告したものは見当たらない。

一方、欧米言語のアルファベットと異なり、平仮名は、母音が同じであっても子音が異なれば表記は異なるという特徴を持つため (か/ka/ vs. さ/sa/), 黙読時の音韻変換過程を調べるには好都合である。しかし、日本語を用いた音韻変換過程の研究は、これまで極めて限定されたものしか行われていない<sup>10)–13)</sup>。そこで筆者は、この平仮名の特徴を用いることで、視覚的に与えた刺激を意味や判断等の他のプロセスをなるべく介在させない状態で、音韻情報に変換する際の脳内過程を調べることのできるパラダイムを新たに開発した。本研究の目的は、このパラダイムを用いて、黙読時の音韻変換の脳内過程を事象関連電位計測と行動学的反応時間計測により明らかにすることである。

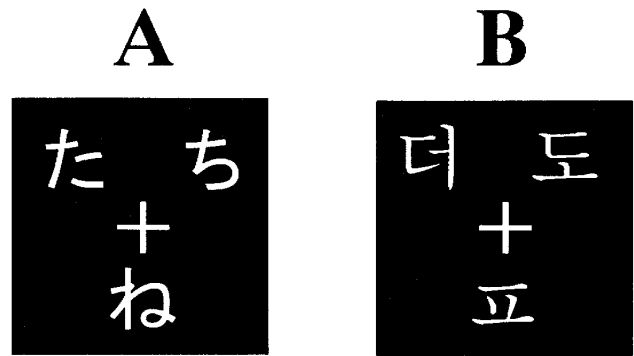


図1 課題に用いた刺激例

Aが黙読課題, Bがコントロール課題のものである。640×480ピクセルの画像刺激を21インチのパソコンモニター上に呈示した。

## 方 法

被験者は11名 (男性4名, 年齢19～24歳) の健常若年者で、裸眼または矯正で正常視力であり、全員右利きであった。全ての被験者において文書で実験について事前に説明し、同意書に署名を得た。

刺激は図1に示すように、1文字が1.1度×1.1度で3文字を同時に、持続時間90msで呈示した。中心に固視点となる“十”字をおき、これから最も離れた文字までが1.3度になるようにした。コントロール課題では、どの被験者にも読むことのできないハングル文字を用いて、被験者にはよく注意してみるように教示した。黙読課題では平仮名を用い、被験者には3文字を左上から順番に黙読するように教示した。

脳波記録のための刺激系列は、コントロール課題のみを繰り返すブロックAと黙読課題のみを繰り返すブロックBを32秒ごとに2回ずつ交互に繰り返す形のブロックデザイン (ABAB) とした。各ブロック内では刺激間隔3秒で9つの課題刺激を連続に呈示した。ブロック (課題) の切り替えを示すために、課題説明を含めた警告刺激を1試行として、各ブロックの冒頭に持続時間300msで呈示した。その4.7秒後に課題刺激の提示を開始した。脳波を記録せずに反応時間のみを記録

するセッションも2つのブロックAとBの繰り返し2回(A'B'A'B')で行った。ブロックA'では刺激が短時間呈示されて消去された後、1文字目の黙読の時点でのみボタンを押すように教示した。これにより得られた反応時間を黙読開始時間の指標と考へてRT1とした。ブロックB'では、3文字目の黙読の時点でのみボタンを押すように教示した。このブロックにおいて得られた反応時間を、黙読終了時間の指標としてRT2とした。反応時間のみを計測するセッション(A'B'A'B')と、ボタン押しをせずに脳波計測に専念するセッション(ABAB)とを交互に組み合わせて2回ずつ行った。

電極は国際10-20法<sup>14)</sup>に基づく頭皮上21箇所と、眼球運動をモニターするための2箇所の電極(水平方向:EOGxと垂直方向:EOGy)とを、ペーストで装着した。電極抵抗は実験中5k $\Omega$ 以下になるように保った。全てのチャンネルで鼻尖に置いた電極を基準電極とした。脳波はゲイン500倍、周波数帯域0.05-100Hzの条件で増幅され、サンプリング周波数1000HzでAD変換してパーソナルコンピューターに保存した。

分析は全て記録終了後オフラインで行った。刺激前100msから刺激後2000msまでを分析区間として脳波を切り出し、刺激前100msをベースラインとして振幅を補正した後に、振幅の絶対値が100microvoltを超えるものをアーチファクトのある試行として以降の分析から除いた。こうして得られた脳波から、条件ごとに刺激の時点時刻をゼロとして加算平均した後、15Hzのローパスフィルターを適用して事象関連電位を得た。振幅の計測は刺激前の振幅の平均値をゼロとし、解析の対象となる事象関連電位成分については、総平均波形におけるその頂点潜時について $\pm 20$ msの区間の平均振幅を各被験者の振幅値として反復測定分散分析により条件間の有意差検定を行った。

## 結 果

反応時間は、黙読開始時刻の指標となるRT1が673 $\pm$ 169ms、黙読終了時刻の指標となるRT2

は1376 $\pm$ 237msであった(図3)。事象関連電位の結果では、時間的に最も早く目立つ電位は図2,3に“#”で示した潜時約170msの陰性電位で、両側の後側頭部から後頭部にかけて左半球優位に分布し、波形上、コントロール課題よりも黙読課題で振幅が大きく観測された。これは、いわゆるN170として報告されてきているものであると考えられた<sup>15)-17)</sup>。この電位に引き続き、刺激後300ms付近に、N170とほぼ同様の頭皮上分布を示す陽性電位が観測され、総平均波形上では黙読課題よりもコントロール課題においてその振幅が大きかった。さらにその後には、図2,3に“\*”で示したRT1に近い潜時付近から始まる、かなり持続の長い陰性電位が、後側頭部から後頭部にかけて左半球優位に観測された。この持続陰性電位は黙読課題でのみ観測され、頂点潜時は左後側頭部で約590msであった。この持続陰性電位の左右差と課題間の差について反復測定分散分析を行った。要因は電極(T5/T6)と課題(黙読課題/コントロール課題)とし、epsilonがいずれの場合も1であったために自由度の補正は行わなかった。その結果、電極( $F_{1,10} = 8.34, p = 0.0159$ )、課題( $F_{1,10} = 20.9, p = 0.001$ )ともに有意であった。相互作用は有意ではなかった( $F_{1,10} = 2.17, p = 0.17$ )。平均値比較を黙読課題のT5とT6について行ったところ、 $F = 35.3, p = 0.0015$ と有意に差があった。

## 考 察

本研究では、新たに開発された黙読のパラダイムを用いて、音韻変換に関連する脳内過程を、反応時間と事象関連電位により検討した。最も目立った事象関連電位の所見は、左後側頭部に最大振幅を呈した比較的持続の長い陰性電位であった。これはコントロール課題では全く観測されなかった(図2,3)。事象関連電位と反応時間との関連をみると(図3)、この持続陰性電位の開始時刻は黙読開始時刻の指標であるRT1と近いところにあり、かつ、黙読終了時刻の指標となるRT2の時間帯には基線に戻っており、黙読過程と非常に

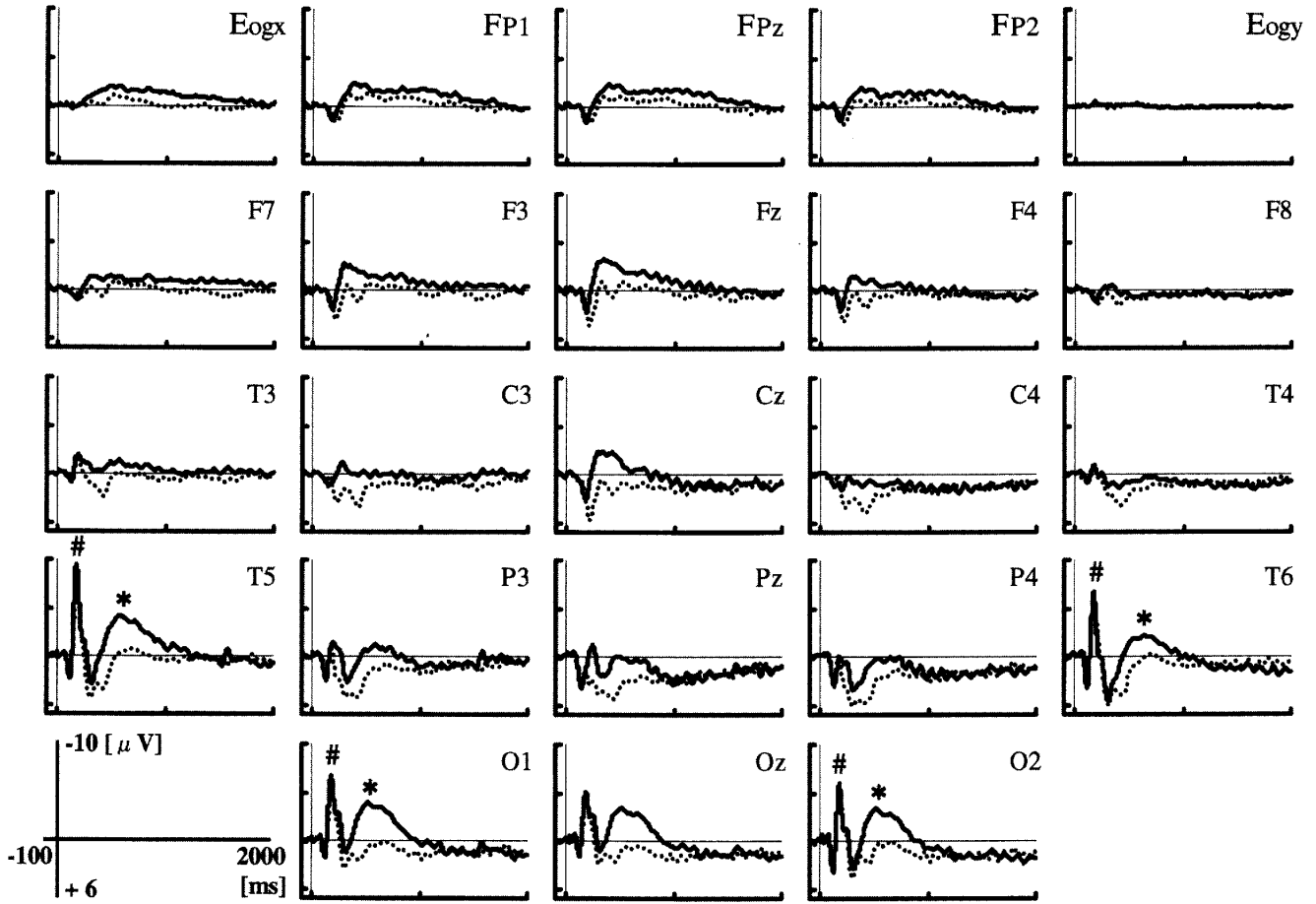


図2 事象関連電位の被験者総平均波形

黙読課題を実線で、コントロール課題を破線で示す。“#”にN170がみられ、“\*”に黙読課題に特異的な持続陰性電位がみられる。

深い関連のあることが示唆された。さらに、その電位分布が優位半球の視覚連合野直上に最大振幅を示した。以上から、この電位は、黙読の際に視覚情報を音韻情報に変換する過程に関連しているものと推定され、これまでに報告の見られない全く新しい知見である。

一般に長潜時を扱う事象関連電位においても、短潜時の誘発電位の解析に倣って、持続の短い成分にまず着目することが通常である。しかし、目的によっては、本研究のように、持続の長い事象関連電位成分を記録・解析している例もある<sup>18) - 20)</sup>。Rösler<sup>18) - 19)</sup>は単純な視覚認知から視覚性記憶課題にわたる様々なパラダイムを用いて、持続の長い陰性電位を観察した。さらに、この持続の長い陰性電位が、課題によって特異的に用いられて

いる大脳皮質の活動と密接に関連し、また、その振幅が課題の難易度により変化することも繰り返して報告されている<sup>18) - 19)</sup>。本研究もパラダイムの詳細は異なるが、持続陰性電位の発生メカニズムとしてはRöslerの想定したものと同様のものであると考えられる。本研究の持続陰性電位が視覚連合野の直上で最大電位を持つことや、左半球優位であることは、言語機能とのかかわりの上で、これまでの漢字や仮名の読みに関する研究結果とも矛盾せず<sup>21) - 23)</sup>、きわめて意義深い新知見である。

欧米圏で押韻判別課題遂行時における事象関連電位の検討では、頭頂部において右半球優位の緩徐な陽性波が課題依存性に見られると報告されてきた<sup>7) - 9)</sup>。一方、本研究では欧米のアルファベ

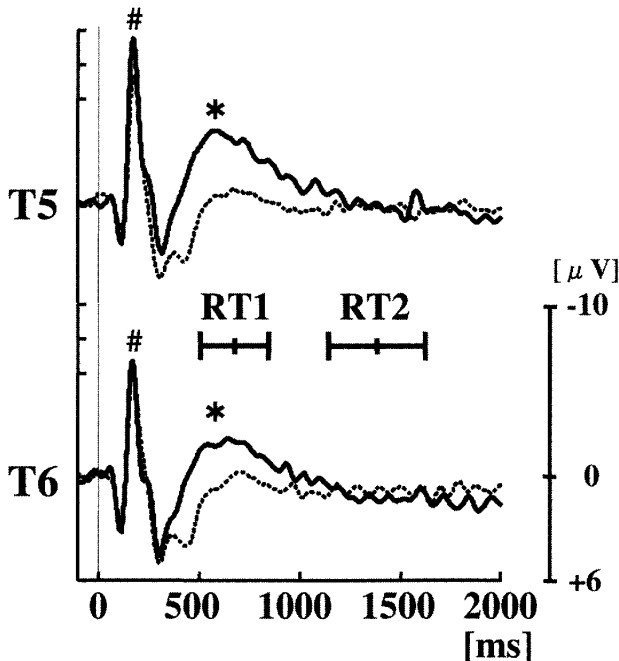


図3 図2の電極部位T5とT6における事象関連電位の総平均波形と反応時間との重ね合わせた図  
RT1とRT2を平均値と1標準偏差について示した。

ット文字には無い仮名文字の特質を生かしたパラダイムを用いており、このため、黙読に特異的な持続陰性電位が優位半球に大きく記録できたと考えられる。

持続陰性電位よりも早い潜時に観測されたN170は、視覚で単語または非単語を刺激として用いた先行研究でも同様に報告されている<sup>15)–17)</sup>。Comptonら<sup>24)</sup>は視覚刺激を用い、単語と非単語とで最も早く電位差がみられた潜時は70 ms～100 msであると報告した。本研究における2つの課題間で、最も早く事象関連電位に差のある潜時がどのくらいかは、極めて興味のあるところである。しかし、本研究で用いた課題はブロックデザイン(ABAB)であり、1つのブロック内に同じ課題が繰り返されるため、次の刺激がどちらの課題の刺激であるかは予め被験者には分かっている。このため本研究の結果には、ランダムな刺激系列を用いた先行研究の結果よりも、注意や予期などによるトップダウン効果<sup>25)–26)</sup>が強く影響

していると考えられる。したがって、事象関連電位の相違が最も早くみられる潜時帯について、先行研究と正しく比較検討することは現段階では困難である。

脳損傷症例の解析など様々な方法論により、音韻情報の分析には、ウェルニッケ野<sup>27)</sup>、島<sup>28)</sup>、supra-marginal gyrus<sup>29)</sup>などが関わっていることが示されてきた。実験パラダイムによってはブローカ野の関与も報告されている<sup>2)–6)</sup>。これらを含めた領域のうち、どの部位がどれくらいの割合で、本研究に観測された持続陰性電位と関与しているかは重要な問題である。しかし、事象関連電位の発生源を求めることは、現在の解析結果のみからは困難であり、さらに進んだ信号処理ないしは、他の機能画像法などと組み合わせた研究が必要となると思われる。これは今後の課題であろう。

## 結 論

欧文アルファベットにはみられない平仮名の特性をうまく利用した新たなパラダイムを開発し、これを用いてハングル文字を対照とした平仮名黙読の際の、反応時間と多チャンネルの事象関連電位を記録・解析した。全く新しい知見として、コントロール課題には見られない黙読課題に特異的な持続陰性電位が、後側頭部から後頭部にかけて左半球優位に観察された。この持続陰性電位は、黙読の際に行われる音韻変換に関連した脳電位であろうと推定した。

## 謝 辞

高次脳機能の研究を行うチャンスを与えていただき、多方面に渡ってご指導いただきました中田力教授、同分野の助手である諏訪園秀吾先生に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) Chen Y, Fu S, Iversen SD, Smith SM and Matthews PM: Testing for dual brain processing

- routes in reading: a direct contrast of Chinese character and pinyin reading using fMRI. *J Cogn Neurosci* 14: 1088 - 1098 2002.
- 2) Burton MW, Small SI and Blumstein SE: The role of segmentation in phonological processing: an fMRI investigation. *J Cogn Neurosci* 12: 679 - 690 2000.
- 3) Demonet JF, Chollet F, Ramsay S, Cardebat D, Nespoulous JL, Wise R, Rascol A and Frackowiak R: The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* 115: 1753 - 1768 1992.
- 4) Demonet JF, Price C, Wise R and Frackowiak RSJ: A PET study of cognitive strategies in normal subjects during language tasks. Influence of phonetic ambiguity and sequence processing on phoneme monitoring. *Brain* 117: 671 - 682 1994.
- 5) Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E and Gjedde A: Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science* 256: 846 - 849 1992.
- 6) Zatorre RJ, Meyer E, Gjedde A and Evans AC: PET studies of phonetic processing of speech: review, replication, and reanalysis. *Cereb Cortex* 6: 21 - 30 1996.
- 7) Rugg MD: Event-related potentials in phonological matching tasks. *Brain Lang* 23: 225 - 240 1984.
- 8) Rugg MD: Event-related potentials and the phonological processing of words and non-words. *Neuropsychologia* 22: 435 - 43 1984.
- 9) Lovrich D, Simson R, Vaughan HG Jr and Ritter W: Topography of visual event-related potentials during geometric and phonetic discriminations. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 65: 1 - 12 1986.
- 10) Fujimaki N, Takeuchi T, Kobayashi T, Kuriki S and Hasuo S: Event-related potentials in silent speech. *Brain Topogr* 6: 259 - 267 1994.
- 11) 藤巻則夫, 栗城眞也, 中島啓幾: カタカナ文字黙読時の事象関連電位. *医用電子と生体工学* 33: 275 - 282 1995.
- 12) 黄 孔良, 加藤和夫, 小林哲夫, 栗城眞也: 仮名文字照合課題遂行時における事象関連電位. *医用電子と生体工学* 35: 71 - 81 1997.
- 13) Huang K, Kato K, Kobayashi T and Kuriki S: Event-related potentials during comparison of Japanese Kana symbol. In: Hashimoto I, Kagiki R (eds) *Recent Advances in Human Neurophysiology*. Elsevier Science BV, Amsterdam, 631 - 638 1998.
- 14) Jasper HH: Report of the committee methods of clinical examination in electroencephalography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 10: 370 - 375 1958.
- 15) Bentin S, Mouchetant-Rostaing Y, Giard MH, Echallier JF and Pernier J: ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *J Cogn Neurosci* 11: 235 - 260 1999.
- 16) Curran T, Tucker DM, Kutas M and Posner MI: Topography of the N400: brain electrical activity reflecting semantic expectancy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 88: 188 - 209 1993.
- 17) Neville HJ, Kutas M, Chesney G and Schmidt AL: Event-related brain potentials during initial encoding and recognition memory of congruous and incongruous words. *J Mem Lang* 25: 75 - 92 1986.
- 18) Rösler F, Heil M and Hennighausen E: Slow potentials during long-term memory retrieval. In Heize HJ, Munte TF, and Mangun GR (eds) *Cognitive Electrophysiology*. Birkhauser, Boston, pp149 - 168 1994.
- 19) Rösler F, Heil M and Roder B: Slow negative brain potentials as reflections of specific modular resources of cognition. *Biol Psychol* 45: 109 - 141 1997.
- 20) Walter WG, Cooper R, Aldridge VJ, McCallum WC and Winter AL: Contingent negative variation; an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain. *Nature* 203: 380 - 4 1964.
- 21) Sakurai Y, Momose T, Iwata M, Sudo Y, Ohtomo K and Kanazawa I: Different cortical activity in reading Kanji words, Kana words and Kana nonwords. *Brain Res Cogn Brain Res* 9:

- 111 - 115 2000.
- 22) Nakada T, Fujii Y and Kwee IL: Brain strategies for reading in the second language are determined by the first language. *Neurosci Res* 40: 351 - 358 2001.
- 23) Nakada T, Fujii Y, Yoneoka Y and Kwee IL: Planum temporale: where spoken and written language meet. *Eur Neurol* 46: 121 - 125 2001.
- 24) Compton PE, Grossenbacher P, Posner MI and Tucker DM: A cognitive - anatomical approach to attention in lexical access. *J Cogn Neurosci* 3: 304 - 312 1991.
- 25) Hermann CS and Knight RT: Mechanisms of human attention: event - related potentials and oscillation. *Neurosci Biobehav Rev* 25: 465 - 476 2001.
- 26) Knight RT, Grabowecky MF and Scabini D: Role of human prefrontal cortex in attention control. *Adv Neurol* 66: 21 - 34 1995.
- 27) Selenes DA, Knopman DS, Niccum N and Rubens AB: The critical role of Wernicke's area in sentence repetition. *Ann Neurol* 17: 549 - 557 1985.
- 28) Damasio H and Damasio AR: Localization of lesions in conduction aphasia. In: *Localization in Neuropsychology*. Edited by Kertesz A, New York, Academic Press, pp 231 - 243 1983.
- 29) Benson DF, Sheremata WA, Bouchard R, Segarra JM, Price D and Geschwind N: Conduction aphasia. A clinicopathological study. *Arch Neurol* 28: 339 - 346 1973.

(平成15年2月3日受付)

---