総 説

PET による言葉の中枢処理機構の観察

— 文献的考察 —

平野 滋・内藤 泰・児嶋 久剛

Speech Processing System Demonstrated by Positron
Emission Tomography (PET)

— A Review of the Literature —

Shigeru Hirano, Yasushi Naito and Hisayoshi Kojima

(Kyoto University)

We review the literature on speech processing in the central nervous system as demonstrated by Positron Emission Tomography (PET). Activation study using PET has been proved to be a useful and non-invasive method of investigating the speech processing system in normal subjects. In speech recognition, the auditory association areas and lexico-semantic areas called Wernicke's area play important roles. Broca's area, motor areas, supplementary motor cortices and the prefrontal area have been proved to be related to speech output. Visual speech stimulation activates not only the visual association areas but also the temporal region and prefrontal area, especially in lexico-semantic processing. Higher level speech processing, such as conversation which includes auditory processing, vocalization and thinking, activates broad areas in both hemispheres. This paper also discusses problems to be resolved in the future.

Key words : speech processing, PET, activation study, auditory cortices

はじめに

言葉はヒトのみが有する高度のコミュニケーション手段であるが、言葉の認知から表出に至る過程は単にコミュニケーションの手段に留まらず、個人の思考や自我といった精神活動をも反映するものであり、その中枢処理機構の解明は聴覚、音声を扱う我々耳鼻咽喉科医にとっても興味深いところである。しかし従来その機構の複雑さに対処する有効な観察手段を持ち得なかったために、研究の中心は言語障害者、特に失語症患者の病巣との関連についてであった。すなわち、1865年、Broca¹⁾は運動性言語野として左下前頭回の後 1/3 を同定し、1874年

には、Wernicke²⁾が感覚性言語野として左上側頭回後方部を同定し、それぞれがBroca野、Wernicke野と称されるようになったのは周知の通りである。しかしこれらの観察では脱落症状と病巣部位とを参照して当該部位の脳機能を推測するに留まっていた。近年、ポジトロン断層法³⁾ (Positron Emission Tomography : PET) や機能的MRI、脳磁図⁴⁾などの発達により正常人を対象にした言語研究が可能となり、言葉の中枢処理という分野の解明が、飛躍的に進む可能性がでてきている。本稿では、それらのうち一定の成果のあがっているPETによる言語研究の現状を文献的に解説し、現在までに解明されて

いる点と今後の問題点について考察する。

聴覚野・言語野の解剖

PET による聴覚・言語野のこれまでの研究を理解するためには、まず大脳皮質内のこれらの機能に関与する部位を正確に把握しておく必要がある。図 1 は左半球における、主に病巣研究によって明らかにされた大脳皮質内の機能的分化を示す。聴覚野は側頭葉に位置し、一次聴覚野である横側頭回 (Heschl 回) が外側溝 (Sylvius 裂) の中に隠れるように存在している。側頭葉の上 1/3 が上側頭回で、聴覚連合野とも称され、聴覚に関連した高次機能を有するとされている。言語認知に関与する感覚性言語野 (Wernicke 野) の位置については諸説あり、通常、左聴覚連合野の後方 1/3 とされている⁵⁾ が、さらに後上方の頭頂葉内の角回、縁上回に位置するとの意見もあり⁶⁾、一定していない。運動性言語野 (Broca 野) は言語表出に関与しており、左前頭葉の下前頭回後方にあり、さらにその後方には構音器官や喉頭の運動野が存在する。運動野の前方に位置する補足運動野も言語表出に関与しているとされ、前頭葉前方に位置する前頭前野は最も高次の統合の場で、人格を含めた精神活動や運動行為の制御に大きく関与しているとされている。

これらの領域は右半球にも同様に存在しており、両者は脳梁により連絡している。なお、本来優位半球である左半球にしか存在しない Broca 野についても、右半球においては便宜上右 Broca 野と称されることがある。これらの領域は相互の線維連絡によって言語の認知や表出に関与しているものと考えられている。

図 1 左大脳半球における聴覚、言語に関与する部位

脳賦活試験 (activation study)

PET は、脳における神経活動を局所脳血流量やグルコース代謝量の変化を指標として検出し画像化する方法である。脳血流の検出には、古くは ^{133}Xe が、最近ではより解像度の高い ^{15}O がトレーサーとして用いられ、グルコース代謝測定には ^{18}FDG が用いられる^{7,8)}。言語による脳活動の観察では、言語刺激時の局所脳血流量や代謝量の変化を検出し有意に賦活化される部位を同定するという手法がとられ、脳賦活試験と呼ばれている⁹⁾。この方法は、ヒトの脳で非侵襲的に脳機能を調べることを可能にした。以下、脳賦活試験によりこれまで得られた知見について述べる。

聴覚言語の処理

言葉の聴取では、最も基本的な言語的要素である音韻の認知から、単音節、単語、文章の認知へと進むに従い、意味付けを含めた高次処理が加わっていく、テープの逆回し言葉や意味の全くわからない外国語を聞いた場合でも言葉として感知されるのは、言葉の持つ独特の音韻の認知によるものと考えられる。

音韻の認知については、Kushner ら¹⁰⁾ や Kawashima ら¹¹⁾ は、未知の外国語の聴取で両側の上側頭回 (聴覚連合野) が賦活されることを示した。また、Friberg ら¹²⁾ は逆回し言葉の聴取で両側の聴覚連合野、中側頭回、角回、縁上回などの賦活を示し、普通の言葉の聴取に比しより広範な聴覚野、言語野が賦活されることを報告した。これらの報告は、音韻の認知に際しても両側の聴覚連合野が大きな役割を有していることを意味し、逆回し言葉のような難解な言語音ではより多くの部位の神経活動が働くことを示すものである。

純音や雑音では一次聴覚野の賦活に留まり聴覚連合野は賦活されないのに対し、言葉では聴覚連合野まで賦活することが、PET による観察^{13,14)} やてんかん患者の術中活動電位の測定¹⁵⁾ から確認されており、聴覚連合野が言葉の処理に関与していることは疑いないと思われる。

単音節や単語の聴取においても同様で、Nishizawa ら¹⁶⁾ は単語の聴取で両側の聴覚連合野、角回や、Broca 野、前頭前野の賦活を ^{133}Xe を用いた PET による観察で認め、さらにこれらの反応が左半球優位であることを示した。ただし、言葉の聴取のみで運動性言語野である Broca 野や高次機能の場である前頭前野が強く賦活されるかはなお議論の余地があるが、これは ^{133}Xe の解像度

に問題があった可能性もある。1988年, Petersen ら¹⁷⁾は脳血流への移行に優れ解像度のよい¹⁵O トレーサーを用い, 被験者全員の脳血流量の変化の平均をとり, 標準脳地図¹⁸⁾上に統計学的に有意な賦活部位を描出する方法を用い, 個人差を排した結果を示した。その結果, 単語の聴取では両側の聴覚連合野と左側頭頭頂葉境界部(おそらく角回や縁上回), および左前帯状回が賦活されることを報告した(図2)。聴覚連合野では左半球の方がより広範囲に賦活されており, Nishizawa ら¹⁶⁾の報告と同様に, 言語に対する左半球優位性が示された。また帯状回は注意に関連した部位であり, この観察で言葉の認知にも参加することが明らかにされた。一方, Broca 野や前頭前野の賦活がない点で Nishizawa らの結果と矛盾しているが, これは Petersen らの厳密な検定のためと考えられ, 簡単な言葉の聴取では Broca 野や前頭前野の賦活は微弱なものと考えられる。一方, Mazziotta ら¹⁹⁾²⁰⁾は話を聞いて記憶するときに, Broca 野と左前頭前野の賦活を確認しており, これらが言語に関するより高次の処理に関与していることを示唆した。

Wernicke 野について: いわゆる Wernicke 野は言葉の脳内辞書, 意味付けの場と考えられるが, その位置については諸説あり, PET でもその同定の試みがいくつかなされている。Howard ら²¹⁾は有意味単語とその逆回

図2 単語聴取時の賦活部位

両側の上側頭回(聴覚連合野)の賦活を認め(矢印), 左側ではより広範で強い賦活を認める(Petersen SE, et al: 1988¹⁷⁾より転載)。

し単語の聴取の差から, 左聴覚連合野の中部(図3)がいわゆる Wernicke 野に相当するとした。一方, Demonet ら²²⁾は同様の目的で, 種々の無意味単語を呈示し, その単語の中で /d/ が /b/ より前に来るものを聞き分け

図3 (A)逆回し言葉に対し, 両側聴覚連合野(矢印)の賦活を認める。(B)言葉から逆回し言葉の反応を引き算すると左上側頭回(聴覚連合野)中部の賦活(矢印)が残り, この部位がいわゆる Wernicke 野に相当するとした(Howard D, et al: 1992²¹⁾より転載)。

るという課題(音韻の認知作業)と, 形容詞+名詞の種々のペアを呈示していき, あらかじめ指示しておいた条件に合致するものを当てさせる(意味の認知作業)という2つの課題を比較し, 角回と縁上回がいわゆる Wernicke 野に相当すると報告している. これは Howard ら²¹⁾とは異なった結果である. PET による観察でも, いわゆる Wernicke 野の位置についてはさまざまに報告されており, これらをまとめると図4のようになる. これは被験者間の個人差や課題による違いに起因するとも推測さ

図4 脳内辞書の位置
言語の形態に応じて辞書の方が異なる。

れるが, 果たして Wernicke 野という意味付けの場が従来言われてきたように特定の限局した部位にあるのかどうかについても疑問を投げかけるものである. Penfield ら²³⁾は Wernicke 野という言葉を使わず, 聴覚連合野後方から角回, 縁上回を含めた広い範囲を「後言語野」とし, 同様に Broca 野周辺を「前言語野」と称している.

Broca 野との関わりについて: Wise ら²⁴⁾は, カテゴリー課題や造語の課題を用いて言語処理の高次機能を評価した結果, 呈示される種々の名詞のペアの中から, 同じ範疇のもの(fruit-apple など)を聞き分ける, あるいは, 呈示された種々の動詞-名詞のペアの中から, 意味的に妥当なもの(eat-orange など)を聞き分ける, というカテゴリー課題では両側の聴覚連合野が賦活されるのに対し, 呈示された名詞に関連する動詞を発話せずに想定する(flower に対し grow など)課題では, 左聴覚連合野後方と Broca 野, 補足運動野の賦活を認めた(図5). これは, 言葉を想定するという作業がたとえ発話がなくても Broca 野や補足運動野といった言語表出に関わる部位を賦活する点では大変興味深い. 同様に Naito ら¹⁴⁾は, 聴取した言葉を発話せずに頭の中で復唱するとき, 聴覚連合野とともに Broca 野が賦活することを示した.

Petersen ら¹⁷⁾は言語の表出についても検討しており, 聴取した言葉を発話して復唱するときには Broca 野や

図5 (A)名詞のペアを用いたカテゴリー課題. (B)動詞-名詞のペアを用いたカテゴリー課題. いずれも両側上側頭回(聴覚連合野)(矢印)の賦活を認める. (C)名詞に関連する動詞を想定させると, 左聴覚連合野後方(矢印a)と Broca 野(矢印b), 補足運動野(矢印c)の賦活を認めた(Wise R, et al : 1991²⁴⁾より転載).

両側の口の運動野が、聴取した名詞から関連する動詞を考えて言う時にはさらに左前頭前野が活動することを見出した。

まとめ：最近では、より複雑な課題をかけてより高次の言語処理を調べようとする研究がなされており²⁵⁾²⁶⁾、例えば、文法的認知には左半球が、比喻表現の認知には右半球が主に関与すること²⁵⁾などが報告されているが、課題が複雑になりすぎてその意義が不明瞭になっている感が否めない。現時点では、聴覚言語の認知には、聴覚連合野から角回、縁上回を含めたいわゆる後言語野が、表出には前言語野の Broca 野や、補足運動野、口の運動野などの運動に関連した部位が主に関与していることは確かで、概ね認知と表出の担当部位は脳の前後で色分けされるようである。しかし、認知に際しての Broca 野の関与や、表出における聴覚連合野からのフィードバックなどの相互作用の可能性も考えられる。

視覚言語の処理

視覚言語に関する PET による観察は Ingvar ら²⁷⁾に始まる。彼らは声を出して読書する時に、左半球優位に視覚連合野が賦活し、さらに聴覚連合野や前頭前野も賦活することを示した。聴覚連合野の賦活は他の報告²⁸⁾²⁹⁾でも認められ、読書時の言葉の脳内参照によるのか、あるいは、単に自分の声を聞くことによるのかは不明であ

るが、少なくとも声のフィードバックがあると推測される。前頭前野の役割については、無意味単語の読書では賦活せず、有意義単語の読書では左半球優位に賦活することが確かめられている³⁰⁾³¹⁾(図 6)。

視覚言語の脳内辞書については、Howard ら²¹⁾は、有意義単語と無意味単語を読むときの差から、左上側頭回下方に位置する左中側頭回の後方部をその場所とし、聴覚言語の辞書の場合とは異なることを報告した(図 4)。また、Law ら³²⁾は、日本人を対象に、漢字とカナに対する脳内辞書の違いについても検討し、漢字の辞書が中側頭回後方にあるのに対し、カナの辞書は角回、縁上回に位置すると報告している(図 4)。漢字は文字自体が意味を有しているのに対し、カナはむしろ音韻の要素が強いとされ³³⁾、これらに対する辞書の場合が異なる事は予想通りといえるが、これを画像上に明らかにした点で意義深いと思われる。

このように、視覚言語の処理は聴覚言語の処理とは概ね異なる機構を有することが明らかにされている。また、視覚、聴覚いずれの場合にも、言葉の認知や表出には脳の複数の部位が協同して働いていることがわかる。

思考から言葉への変換

以上の PET による観察は、主に言語刺激に対する反応をみたものであるが、実際には言葉は思考を経て形成

図 6 視覚言語の認知で賦活される部位

(A) 視覚連合野(矢印), (B) 左前頭前野(矢印) (Petersen SE, et al : 1990³¹⁾ より転載)。

されるものであり, 思考から言葉への変換機構がこれらの研究では最も重要な部分と考えられる. PET でもこの点についての解明の試みがいくつか^{34)~38)} なされている.

Pawlik ら³⁴⁾ は社会問題についての自分の意見を自由に話させたとき, 左聴覚連合野後方や左角回などの聴覚野と Broca 野, 口の運動野に加え, 前頭前野や小脳の賦活を PET で見出した. 最近, 小脳障害者や失語症患者の研究³⁹⁾⁴⁰⁾ で, 小脳には感情や学習といった精神活動に関わる働きのあることが解ってきているが, Pawlik らの結果は, 小脳が言葉の形成にも密接に関係することを示すものといえる. また, Frith ら³⁵⁾³⁶⁾ は, 職名を言う, あるいは /a/ から始まる単語を自発的に言うとき, 左前頭前野や両側前帯状回, 記憶の場とされる左傍海馬回などの活動を報告しており, Tamas ら³⁷⁾ は, 被験者に前日に起こった事を思い出して言うように指示した時, Broca 野, 左側頭葉, 補足運動野, さらに小脳, 前頭葉, 頭頂葉などにも及ぶ広範な賦活を PET で観察した.

Roland ら⁴¹⁾⁴²⁾ は, より日常的な脳活動として, 日常会話中の脳血流量の変化を計測した. その結果, 極めて広範な脳活動が観察され, 聴覚連合野, 視覚連合野, 角回や, 運動野, 補足運動野, Broca 野, 前頭前野, さらに知覚野などの賦活を認めている(図 7). ここで注目すべき点として, 右の聴覚連合野は賦活されたのに対し左では賦活されなかったことを挙げているが, この意味付けについては明確にされていない. また, 検査中被験者は閉眼していたにも拘わらず視覚連合野の賦活を認めたのは, 会話中に視覚の記憶が動員されるものとされている.

このように, 思考に基づく自発言語では聴覚野, 言語野に加え, 他の多くの部位が関与しており, これらが協同して思考を形成しているものと考えられる. しかし PET による脳賦活試験では, その賦活範囲が広すぎ, かえって各部位の意義が不明瞭になる場合も少なくない.

PET による脳活動観察の問題点と今後の課題

以上のように, PET を用いた言語研究によって, 言葉の中枢処理についてはかなりの部分が解明されてきた. 聴覚言語の認知では, 聴覚連合野の役割や言葉の辞書の場合, また, 視覚言語の認知では, 視覚連合野に加え前頭前野や聴覚野の関与が明らかとなり, 表出に際しての

CONVERSATION

図 7 会話時の大脳皮質の活動

右半球(上)と左半球(下)での賦活部位を黒塗り以示してある(Roland PE : 1993⁴²⁾ より転載).

Broca 野や運動野の役割もある程度解明されてきた. 更に聴覚言語と視覚言語での処理の違いも解ってきた. しかし, 従来の観察では言語の認知と表出, 認知の中でも聴覚と視覚とを分けて把えようとする傾向があり, これらの相互作用を含めた包括的な言語体系の解明にはなお至っていない. 例えば聴覚言語の認知に際しても, 多くの場合, 言葉を聞いたときにはその持つイメージが視覚像として想起され, 聴覚系のみならず視覚系も認知に関与していることは容易に推測される. また, 表出に際しては, 自分の言葉を聞くことで聴覚野からのフィードバックが絶えず起こり, これがヒトの思考を励起しているものと考えられる. 言葉と思考の関連についてはいくつかの重要な知見が得られてきているが, 聴覚野や視覚野, 言語野と思考に関わる領域との相互作用が極めて重要な意義を持つと考えられ, これらの検討が今後望まれる.

また, 言語の経時的処理の過程については未だ不明な点が多い. 聴覚言語が一次聴覚野から連合野, いわゆる Wernicke 野へと順次処理されていくのか, あるいは,

同時に並行処理されるのかは未だ不明であり、自発言語の際に脳のどこから活動が開始されるのかも明らかでない。言葉は経時的に変化しながら次々に脳に入力、あるいは脳から出力されていくものであり、おそらくは言語、思考に関連する部位が並行して活動していると推測されるが、その経時の変化については、時間分解能に優れた脳磁図による検討が不可欠と考えられる。しかし PET による脳賦活試験は言葉の中枢処理機構を解明する上で有効な手段であり、課題をうまく設定することで、今後新たな発見につながるものと期待される。

稿を終えるにあたり、御校閲いただきました京都大学大学院医学研究科感覚運動系病態学講座本庄 巖教授に深謝いたします。

文 献

- 1) Broca P : Sur le siege de la Faculte du langage articule. *Bulletins de la Societe d'Anthropologie de Paris* **6** : 377~393, 1865.
- 2) Wernicke C : The symptom complex of aphasia (1874). Reprinted in English in *Proc Boston Colloq Philos Sci* **4** : 34~97, 1968.
- 3) 米倉義晴, 鳥塚莞爾 : 脳の画像診断における SPECT と PET. *日本医師会雑誌* **96** : 226~232, 1986.
- 4) 藤木暢也, 内藤 泰 : 脳磁図 (MEG) の聴覚研究への応用—文献の考察を中心に—. *耳鼻臨床* **88** : 1197~1204, 1995.
- 5) Bogen JE and Bogen GM : Wernicke's region—where is it? *Ann NY Acad Sci* **280** : 834~843, 1976.
- 6) Marie P and Fox C : Les aphasies de guerre. *Rev Neurol* **24** : 53~87, 1917.
- 7) Frackowiak RSJ, Lenzi GL, Jones T, et al : Quantitative measurement of regional cerebral blood flow and oxygen metabolism in man using ^{15}O and positron emission tomography; theory, procedure and normal values. *J Comput Assist Tomogr* **4** : 723~736, 1980.
- 8) Phelps ME, Huang Sc, Hoffman EJ, et al : Tomographic measurement of local cerebral glucose metabolic rate in humans with (F-18) 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose; validation of method. *Ann Neurol* **6** : 371~388, 1979.
- 9) 百瀬敏光, 佐々木康人 : PET および三次元 MRI を用いた脳機能地図. *BME* **8** : 48~54, 1994.
- 10) Kushner M, Schwartz R, Alavi A, et al : Cerebral activation by nonmeaningful monaural verbal auditory stimulation. *Brain Res* **409** : 79~87, 1987.
- 11) Kawashima R, Itoh M, Hatasawa J, et al : Changes of regional cerebral blood flow during language stimulation. *Personal communication. Department of Radiology and Nuclear Medicine, The Research Institute for Tuberculosis and Cancer, 1991.*
- 12) Friberg L and Lassen NA : Language and the cerebral hemisphere; impact of stimulus relevance and absence of lateralized activation response as revealed by rCBF studies. *Brain Work and Mental Activity* (ed by Lassen NA, Ingvar DH, Raichle ME, et al). pp 294~308, *Quantitative Studies with Radioactive Tracers*, Munksgaard, Copenhagen, 1991.
- 13) Lauter JL, Herscovitch P, Formby C, et al : Tonotopic organization in human auditory cortex revealed by positron emission tomography. *Hear Res* **20** : 199~205, 1985.
- 14) Naito Y, Okazawa H, Honjo I, et al : Cortical activation with sound stimulation in cochlear implant users demonstrated by Positron Emission Tomography. *Cogn Brain Res* **2** : 207~214, 1995.
- 15) Creutzfeldt O, Ojemann G and Lettich E : Neuronal activity in the human lateral temporal lobe. *Exp Brain Res* **77** : 451~475, 1989.
- 16) Nishizawa Y, Olsen TS, Larsen B, et al : Left-right cortical asymmetries of regional cerebral blood flow during listening to words. *J Neurophysiol* **48** : 458~466, 1982.
- 17) Petersen SE, Fox PT, Posner MI, et al : Positron emission tomographic studies of cortical anatomy of single word processing. *Nature* **331** : 583~589, 1988.
- 18) Talairach J and Tournoux P : *Co-Planner Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. Thieme, Stuttgart, 1988.
- 19) Mazziotta JC, Phelps ME, Carson RE, et al : Tomographic mapping of human cerebral metabolism; auditory stimulation. *Neurology* **32** : 921~937, 1982.
- 20) Mazziotta JC, Phelps ME and Carson RE : Tomographic mapping of human cerebral metabolism; subcortical responses to auditory and visual stimulation. *Neurology* **34** : 825~828, 1984.
- 21) Howard D, Patterson K, Wise R, et al : The cortical localization of the lexicons. *Brain* **115** : 1769~1782, 1992.
- 22) Demonet JF, Chollet F, Ramsay S, et al : The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* **115** : 1753~1768, 1992.
- 23) Penfield W and Roberts L : *Speech and Brain Mechanism*. Princeton University Press, Princeton, 1959.
- 24) Wise R, Chollet F, Hadar U, et al : Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain* **114** : 1803~1817, 1991.
- 25) Bottni G, Corcoran R, Sterzi R, et al : The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of

- language a positron emission tomography activation study. *Brain* 117 : 1241~1253, 1994.
- 26) Demonet JF, Price C, Wise R, et al : 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.
 - 27) Ingvar DH and Schwartz MS : Blood flow patterns induced in the dominant hemisphere by speech and reading. *Brain* 97 : 273~288, 1974.
 - 28) Larsen B, Orgogozo JM, Rougier A, et al : Regional cortical blood flow with the 254 channels gamma-camera ; a stereo-tactic study. *Acta Neurol Scand Suppl* 60 : 234~235, 1979.
 - 29) Larsen B, Skinhoj E and Lassen NA : Corical activity of left and right hemisphere provoked by reading and visual naming ; a rCBF study. *Acta Neurol Scand Suppl* 72 : 6~7, 1979.
 - 30) Snyder AZ, Petersen S, Fox P, et al : PET studies of visual word recognition. *J Cereb Blood Flow Metab* 9 : 576, 1989.
 - 31) Petersen SE, Fox PT, Snyder AZ, et al : Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science* 249 : 1041~1044, 1990.
 - 32) Law I, Kanno I and Fujita H : Functional anatomical correlates during reading of morphograms and syllabograms in the Japanese language. *Biomed Res* 13 : Suppl 1 : 51~52, 1992.
 - 33) Soma Y, Sugishita M, Kitamura K, et al : Lexical agraphia in the Japanese language ; pure agraphia for Kanji due to left posteroinferior temporal lesions. *Brain* 112 : 1549~1561, 1989.
 - 34) Pawlik G, Heiss WD, Beil C, et al : Three-dimensional patterns of speech-induced cerebral and cerebellar activation in healthy volunteers and in aphasic stroke patients studied by positron emission tomography of 2(18F)-fluorodeoxyglucose. *Cerebral Vascular Disease*, Vol 6 (ed by Meyer JS, Lechner H, Reivich M, et al). pp 207~210, Excerpta Medica, Amsterdam • New York • Oxford, 1987.
 - 35) Frith CD, Friston K, Liddle PF, et al : Willed action and the prefrontal cortex in man ; a study with PET. *Proc R Soc Lond [Biol]* 244 : 241~246, 1991.
 - 36) Frith CD, Friston K, Liddle PF, et al : A PET study of word finding. *Neuropsychologia* 29 : 1~12, 1991.
 - 37) Tamas LB, Shibasaki T, Horikoshi S, et al : General activation of cerebral metabolism with speech ; a PET study. *Int J Psychophysiol* 14 : 199~208, 1993.
 - 38) Parks RW, Loewenstein DA, Dodrill KL, et al : Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test ; a PET scan study. *J Clin Exp Neuropsychol* 10 : 565~575, 1988.
 - 39) Fiez JA, Petersen SE, Cheney MK, et al : Impaired non-motor learning and error detection associated with cerebellar damage. *Brain* 115 : 155~178, 1992.
 - 40) Metter EJ, Kempler D, Jackson CA, et al : Cerebellar glucose metabolism in chronic aphasia. *Neurology* 37 : 1599~1606, 1987.
 - 41) Roland PE and Friberg L : Localization of cortical areas activated by thinking. *J Neurophysiol* 53 : 1219~1243, 1985.
 - 42) Roland PE : Language. *Brain Activation*. pp 269~290, Wiley-Liss, New York, 1993.

原稿受付 : 平成7年10月18日
 原稿採択 : 平成7年11月15日
 別刷請求先 : 平野 滋
 〒606-01 京都市左京区聖護院川原町54
 京都大学大学院医学研究科感覚運動系病態学講座
 聴覚・言語病態学領域