中枢における言葉の認知と表出の相互作用

児嶋久剛・平野 滋・楯谷一郎・井上真郷
内藤 泰・庄司和彦

Interaction between Perception and Production in the Central Cortical Processing of Speech

Hisayoshi Kojima, Shigeru Hirano, Ichiro Tateya,
Masato Inoue, Yasushi Naito and Kazuhiko Shoji

There is a close relationship between perception and the production of language. In order to examine that of the central nervous system in the brain, a PET study was performed on healthy adults. The auditory association area, the Broca's area, was extensively activated during listening to speech. Neural activity was also observed in the cerebellum, in addition to Broca's area, motor area, and the supplementary motor area during reading aloud with auditory feedback. However, little activity in the auditory association area was noted compared with that during passive listening. These results suggest that one's own speech is not processed for perception by the auditory association area during speaking. During reading aloud with distorted feedback of input speech, activity increased in the auditory association area and in the motor area but was reduced in the supplementary motor area. Through these observations, we have found two different speech modes; feedforward control managed primarily by the supplementary motor area and feedback control by the auditory association area. It is suggested that interactions among functional areas of the brain for speech take place through numerous trial and errors during the language acquisition period and while the neural network is established. A PET study on patients with various functional voice disorders was also performed. It showed distinct differences in the activities of functional areas compared with those of healthy adults. Investigation of central cortical processing in the brain is important to elucidate the pathogenesis of patients with hearing and speech disorders.

Key words : 言語中枢, 表出, 認知, PET, 機能性発声障害

はじめに

言語の認知と表出の間には密接な相互作用が存在し, これなくしては中枢での言語機能は発達し得ない. 先天聾の子が聴覚の刺激なしに成長すると重大な構音障害をきたすことはよい例である.

言語処理にかかわる中枢の研究はフランスの外科医ブローカに端を発する¹⁾. その後ウエルニッケ²⁾, ペンフィールド³⁾ やその研究を引き継ぐ多くの研究者がこの分野の研究にかかわった. これらの研究結果をまとめたのが図1である⁴⁾. 脳には外側溝, 中心溝と呼ばれる特徴的な溝が二つあるが, 言語処理にかかわる中枢は外側溝の周囲に存在する. 耳に音が入るとまず一次聴覚野に運ばれる. ウエルニッケ野を含む上側頭回は聴覚連合野と呼ばれ, 言語処理といった高次の情報処理機能がおこなわれる. 一方, 言葉を話す場合にはまず, ブローカ野で言葉のもととなる内言語が生成される. 上前頭回の内側中部の補足運動野で発話運動を企画し, 中心前回の運動野が活動して発声構音器官

を動かすとされている. しかし, これまでの研究では活動中の脳を侵襲なく観察することが技術的に問題であったためにこれ以上の成果をなかなかあげることができなかった. ところが, 近年の脳機能画像法といった技術革新によりこれが評価できるようになってきた. われわれはその一つであるポジトロン断層法を用いることで言語中枢における表出と認知の中枢機構, とりわけ今まで手のつけられていなかった脳機能局在の相互作用を解明しようと試みた.

言語処理にかかわる脳の機能局在

言葉を聞いてそれを声を出さずに頭の中で繰り返しているときの中枢処理機構をみたのが図2である⁵⁾. 健常人12人で統計的に有意な活動を示した部位を描出したものであるが, 従来認知に関与するといわれていたウエルニッケ野だけでなく聴覚連合野全体が, しかも左だけでなく右も強く活動している. もう一つの注目すべき点は声を出していないにも関わらずブローカ野が活動していることであり, 認知と発話の中枢機構に何らかの相互作用があることが示

唆された。

一方、発話中の脳活動を示したのが図3である⁶⁾。文章を読んでいるために視覚野が活動している。また、言葉の表出に関与するといわれていたブローカ野が活動しているが、これに加えて小脳、運動野、補足運動野などに活動が見られる。興味あるのは自ら発する声を聞いているにもかかわらず聴覚連合野が賦活されていないことである。従来からの研究と考えあわせるとブローカ野で言葉がつくられ、補足運動野で構音運動を企画し、運動野の指令によって構音器官が運動して言葉を表出するというプロセスは理解できる。また小脳は運動調節にかかわっていると考えられるが、不思議なことは発話時には自分の発する声を聞いているにもかかわらず聴覚連合野が働かないのである。ここに認知と表出の中枢相互作用を解明する手がかりがあると思われる。

フィードバック制御と前向き制御

言葉を話すという動作も随意運動のひとつである。そこで、すこし本題からそれるが、随意運動を習熟する過程を考えてみる⁷⁾。たとえば箸を持って豆のような小さいものをつまむ運動を想定してみると、初めてその運動を行おうとするときは、絶えず試行錯誤しながら行うが、運動に慣れてくると次第にすばやくスムーズに行えるようになる。試行錯誤によって誤差を調整しながらおこなう運動はフィードバック制御(図4a)、すばやくおこなう運動は前向き制御(図4b)と呼ばれている。未熟なときの運動はどうしてもフィードバック制御にならざるを得ないが、運動の指令を出す前向き制御装置が賢くなればすばやい運動がおこなえる。つまり、われわれが運動を習熟する過程は図4cのようになると考えられる。未熟なときにはフィードバック制御で運動するが、繰り返しのフィードバック制御での誤差調節が、同時に前向き制御装置を調整した結果、最終的にフィードバック制御のない前向き制御で正確な運動がより早くおこなえるようになるのである。言葉を話すという過程においても同様の制御が働いていると考えられる。我々が観察した健康人での発話時の脳機能で聴覚連合野が活動しなかったのは、前向き制御で発話しているからであろうと思われる。

発話運動と聴覚フィードバック

それでは、発話中に聴覚フィードバックがかかると構音運動にどのような変化が生じるのであろうか?これに関しては、delayed auditory feedbackを用いた心理実験がよい手がかりを与えてくれる^{8,9)}。すなわち、自ら発した声を100~300ミリ秒の遅延回路を通して聞かせると、話者はしどろもどろにしか話せなくなる。このことは、構音動作が速すぎてこれをその都度聴覚を介してフィードバックしながら話しつづけることは不可能であることを示す。

そこで、話者の発する声を加工して聞かせてやるという方法を用いてフィードバック制御時の発話時脳活動を観察す

ることを試みた。健康成人6名を対象に、日常会話文のリストを音読してもらい、その時の脳活動をPETを用いて観察した¹⁰⁾。音読に際しては2つの課題を設けた。課題1では、自分の声を300Hzローカットフィルターを通して歪ませ、課題2では100ミリ秒の遅延回路を通して被験者に聞かせながら音読を続けさせた。その結果、いずれの課題においても一次聴覚野、ブローカ野、運動野、小脳に加え聴覚連合野に有意な活動を認めた(図5, 6)。また、先の通常の発話時にみられた補足運動野の活動は消失していた。これらの歪み処理語音の聴取による言語では、課題1では流暢に発話できるのに対し課題2では発話運動が大きく障害された。PETで観察された2つの課題での脳活動の差をみると、課題2で聴覚連合野と運動野の活動がより強く認められた(図7)。すなわち、課題2での自分の声の聞こえ方が予期するものと大きくずれたために、課題1より聴覚連合野が強く反応し過剰な運動野の活動を招いたものと考えられた。前述の通常の発話時に聴覚連合野の活動が認められなかったことを考え合わせると、みずから発した声が予期せぬ聞こえ方をするとき聴覚フィードバックが働くものと考えられ、この中枢神経機構は言語獲得期に自分の声を聞きながら構音の修正を行う言語の学習に不可欠なものと推察された。

運動に関連する領域では、課題1, 2で運動野の活動上昇と補足運動野の活動低下が認められたが、特に補足運動野の抑制は注目に値する。この領域は運動のプログラミングに関与するとされており¹¹⁾、獲得された言語様式ではこのプログラムに沿った発話運動がおこなわれているのに対し、予期する声と違った声がモニターされるや聴覚連合野が活動を増すと同時にあらかじめプログラムされた運動企画はキャンセルされて、より運動野に負担のかかる従来とは異なった運動様式を採用するようになるものと考えられた。

言語発達期にある幼少児の脳では、あらかじめ企画されたプログラムどおりの運動領域、すなわち補足運動野は未形成であり、おそらくこの時期には聴覚連合野の活動が極めて活発で、運動野に繰り返しフィードバックをかけながら発話を行っているものと考えられ、ひとたびプログラムができてしまうと聴覚フィードバックは不要になるものと考えられた。

疾患の病態解明の足がかり

中枢における病態が不明な疾患に痙攣性発声障害という病気がある。この病気は喉頭に何の器質的な変化もないにもかかわらず、声を出そうとするとつかえつかえして出せないというものである。一部では、この病気は喉頭に限局した形の筋緊張異常、ジストニアであるともいわれている。そこでこの両者の発話時の脳機能を比較した。図8は痙攣性発声障害の例であるが、発話時にも言語認知機構である聴覚連合野の活動が認められる。健康者の通常発話と明らかに異なった所見である。

それに対しジストニアの発声障害をみると、聴覚連合野は活動しておらず、補足運動野に活動が認められる(図9)。小脳も活動しているが、健常者と比較すると小脳の活動が強く、運動の過剰な調節を疑わせる所見が得られた。症例数が十分でなく推論しかできないが、この2つの疾患には脳機能画像上明らかな違いがある可能性が考えられた。

ま と め

本論文では、言語獲得期には発話時の聴覚フィードバックが重要で、逆に言語機能が確立されると発話時に聴覚の抑制がおこるという認知と表出の相互関係を明らかにした。この結果は聴覚言語障害のリハビリテーションを考える上でも重要な資料になると思われる。

また、これを観察することで、従来機能的発声障害といわれていたような病態の不明な発声障害を解明する可能性があることがわかった。

本研究の一部は、平成12年度厚生科学研究費感覚器障害研究事業補助金、及び、平成12年度文部省科学研究費(基盤研究(B)(2)、課題番号11470356)によりなされた。

文 献

- 1) Broca P: Sur le siege de la faculte du langage articule. Bull Soc Anthropol Paris 6: 377~393, 1865.
- 2) Wernicke C: Der aphasische symptomenkomplex. Cohn & Weigert, Breslau, 1874.
- 3) Penfield W & Roberts L: Speech and brain mechanism. Princeton University Press,

Princeton, 1959.

- 4) 平野 滋ほか: 発話時の発話関連領域と聴覚領の脳活動—ポジトロン断層法による観察—. 耳鼻臨床 89: 1401~1406, 1996.
- 5) Hirano S et al: Cortical activation by monaural speech sound stimulation demonstrated by positron emission tomography. Exp Brain Res 113: 75~80, 1997.
- 6) Hirano S et al: Cortical speech processing mechanisms while vocalizing visually presented languages. NeuroReport 8: 363~367, 1996.
- 7) Ito M: A new physiological concept on cerebellum. Rev Neurol (Paris) 146: 564~569, 1990.
- 8) Chase RA: Effect of delayed auditory feedback on the repetition of speech sounds. J Speech Hearing Dis 23: 583~590, 1958.
- 9) Lee BS: Effects of delayed speech feedback. J Acoust Soc Am 22: 824~826, 1950.
- 10) Hirano S et al: Cortical processing mechanisms for vocalization with auditory verbal feedback. NeuroReport 8: 2379~2382, 1997.
- 11) Roland PE et al: Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. J Neurophysiol 43: 118~136, 1980.

別刷請求先 〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町 54
 京都大学大学院研究科感覚運動系病態学講座
 聴覚・言語病態学 児嶋久剛

図1 言語機能に関する脳の機能局在。(文献4より改変)

図2 言語聴取時の脳活動。
矢印1：聴覚連合野，矢印2：ブローカ野。

図3 発話時の脳活動。
矢印1：運動野，矢印2：補足運動野，矢印3：ブローカ野，矢印4：視覚野，矢印5：小脳。

(a) フィードバック制御装置

(b) 前向き制御装置

(c) 適合制御装置

図4 随意運動の制御装置。(文献7より改変)

図5 課題1（ローカットフィルタ）における脳活動。
矢印1：運動野，矢印2：聴覚連合野，矢印3：ブローカ野，矢印4：視覚野，矢印5：小脳。

図6 課題2（遅延回路）における脳活動。
矢印1：運動野，矢印2：聴覚連合野，矢印3：ブ
ローカ野，矢印4：視覚野，矢印5：小脳。

図7 課題2－課題1.
矢印1：運動野，矢印2：聴覚連合野。

図8 痙攣性発声障害患者の発話時の脳活動。（上段）補
足運動野（破線矢印）の活動を認めず。（下段）聴
覚連合野（矢印）の活動を認める。

図9 ジストニア患者の発話時の脳活動。（上段）補足運
動野（矢印）の活動を認める。（中段）聴覚連合野
の活動を認めず。（下段）小脳の活動が強い。