

■イブニングセミナー

人工内耳と聴覚認知

田中美郷*

要旨: 人工内耳 (cochlear implant) は一種の電子装置であり, その一部は内耳に埋め込まれ, 一部は通常の補聴器のように体外に装着される。マイクロホンで受けたことばの音声学的特徴をスピーチ・プロセッサで抽出し, この情報を電極を通じて電気的に内耳の聴神経を刺激して脳に伝える仕組みになっている。この点通常の補聴器による情報伝達とは全く異なる。人工内耳による入力情報は, 上述のように理論的に構成された人工的な, 不自然なものであるが, それにもかかわらずことばとして認知できるのは, 脳の能動的情報処理に負うところが大きい。

神経心理学 15; 172-176, 1999

Key word: 人工内耳, 聴覚認知, 聴能の発達, 先天聾, 後天聾
cochlear implant, auditory cognition, auditory development, congenital deafness, acquired deafness

I 内耳における音の分析機構

内耳のうち聴覚に関係するのは蝸牛である。蝸牛 (cochlea) はその名の通りかたつむりの形をしており, 内部は内耳液 (外リンパと内リンパ) で充たされている。この液体に浸されて蝸牛の基底部から蝸牛頂に向けて, 基底板と呼ばれる膜が帯状に内腔に張られている。基底板上にはコルチ器があり, この装置には外有毛細胞と内有毛細胞があって, 基底板の基部から頂部に向かって前者は3列, 後者は1列に並行している。有毛細胞は音の物理的情報を神経生理学的情報に変換する感覚細胞である。

音には周波数と強さといった物理的属性がある。音は鼓膜から耳小骨連鎖を経て内耳に伝わるが, この際前庭窓にはまっているアブミ骨がピストン運動することによって, 空気の振動は液体 (外リンパ) の振動に変換される。外リンパが振動すると基底板に波動が生じ, この波動は蝸牛頂へ向かって進行する。この進行波は入力音の周波数に応じて基底板上の特定の場所で

最大振幅に達し, その後急速に減衰する。人間の耳は, 16 ~ 20,000Hz の間の空気の振動を音として聞き得るが, 基底板の振動様式をみると, 低音では蝸牛頂に近づいて振幅が最大になり, 周波数が高くなるにつれて最大振動部位は蝸牛の基部方向へ移る。すなわち低音は蝸牛頂側で, 低音は基底回転側で分析される。

しかしこれだけでは蝸牛における周波数分析は大まか過ぎる。近年になって, 外有毛細胞に actin があって細胞が伸び縮みすることが発見され, このような感覚細胞の能動的活動が関与して, 蝸牛では音の基本的性質の細かい分析がなされていると考えられるようになった (本庄, 1997; 田中康夫, 1996)

II 人工内耳の構造と原理

人工内耳はマイクロホン, スピーチ・プロセッサ (音声学的情報のコード化), 送信コイル (発信アンテナ) (以上体外部), 受信コイル (受信アンテナ), レシーバ・スティミュレータ (集積回路よりなる) 並びに電極によって構成

1999年5月6日受理

Cochlear Implantation and Auditory Cognition

* 帝京大学文学部, Yoshisato Tanaka: Faculty of Literature, Teikyo University

(別刷請求先: 〒168-0063 東京都杉並区和泉 3-60-16 田中美郷)

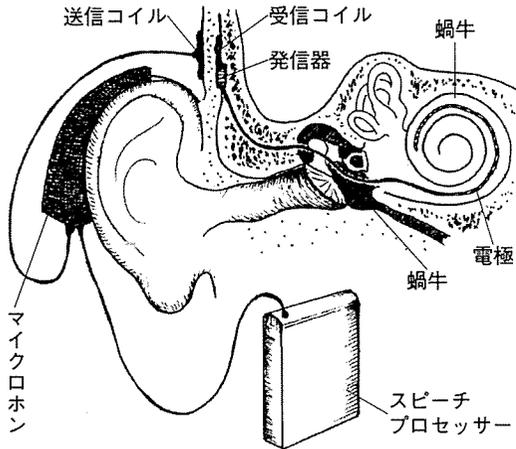


図1 人工内耳の構成

されている（図1参照）。このほかに聴覚特性テスト・作動プログラム作成装置が加わる。

レシーバ・スティミュレータは側頭骨に固定され、電極は蝸牛に挿入される。電極は単チャンネル方式と多チャンネル方式があるが、聴神経に提供できる情報を多くするために、今日では多チャンネル方式が普及している。マイクロホンから入ったことはスピーチ・プロセッサで音声学的情報としてコード化され、頭皮上に置かれた送信アンテナから体内の受信アンテナに送信される。受信信号は集積回路を経て電極に送られ、コード信号によって選択された電極が発火し、矩形波パルスによって内耳の聴神経を刺激する（本庄，1997）。この電極の選択には先に述べた聴覚生理学と音声学の知識が応用されている。

このように、人工内耳では本来蝸牛が行なう情報処理をコンピュータに代行させているが、しかしその情報処理は生理学的なそれとは異なる。このような不自然な情報伝達にもかかわらず、人工内耳が中途失聴者で顕著な効果をあげ得ていることには中枢の情報処理の役割が大きい。

Ⅲ 人間の聴覚系の情報処理

人間の脳における聴覚情報処理には、並列的処理、直列的ないし階層的処理、ボトムアップ処理およびトップダウン処理の4種が係わり合

っている（田中美郷，1992）。並列的処理とは、複数の情報を並列して処理する方法で、たとえば蝸牛では基底板の波動の生じる場所と波動の大きさにより、音の周波数と強さが並行して分析される。末梢で分析された情報は聴覚伝導路を上向し、上位構造においてさらに分析・合成が繰り返されていくが、このような情報処理をボトムアップ処理という。ボトムアップの過程には幾重にもわたる階層があって、末梢の雑多な入力情報はこれらの階層で分析・合成され、必要な情報だけが抽出されて高次化されていくと考えられるが、このようなプロセスを階層的処理という。必要な情報の抽出ないし分析・合成には不要な情報の排除が必要である。このために階層のすべての段階で中枢ないし上位からの抑制（lateral inhibition）が作用する。この処理をトップダウン処理という。トップダウン処理の信号の発信に関しては特定の領域が脳にあるわけではなく、「聴く（to listen to）」とか「判断する」「推理する」などといった能動的な脳ないし“こころ”の働きが中心的役割を果たしていると考えられる。人工内耳の効果を考えるには、このような情報処理の理解が必要である。

Ⅳ 人工内耳はなぜ役立つか

人工内耳の対象は補聴器が役立たないほど重度な難聴を有する人である。人工内耳が最初に試みられた頃は、聴覚生理学者から厳しい批判があった。その先鋒に立ったのはKiang（1972）である。当時は人工内耳における脳の役割については誰も考えが及んでいなかった。House（1973）が単チャンネル人工内耳を埋め込んだ頃はその効果に顕著なものはなかったが、多チャンネル方式に改良されることにより劇的な効果が認められるようになった。ただしすべての聾者に等しく効果があるわけではない。効果を左右する要因については不明な部分が多いが、唯一コンセンサスの得られている点は、失聴年齢が低ければ低いほど、そして失聴期間が長ければ長いほど人工内耳の効果は期待できなくなるということである。この問題は従来の補聴器

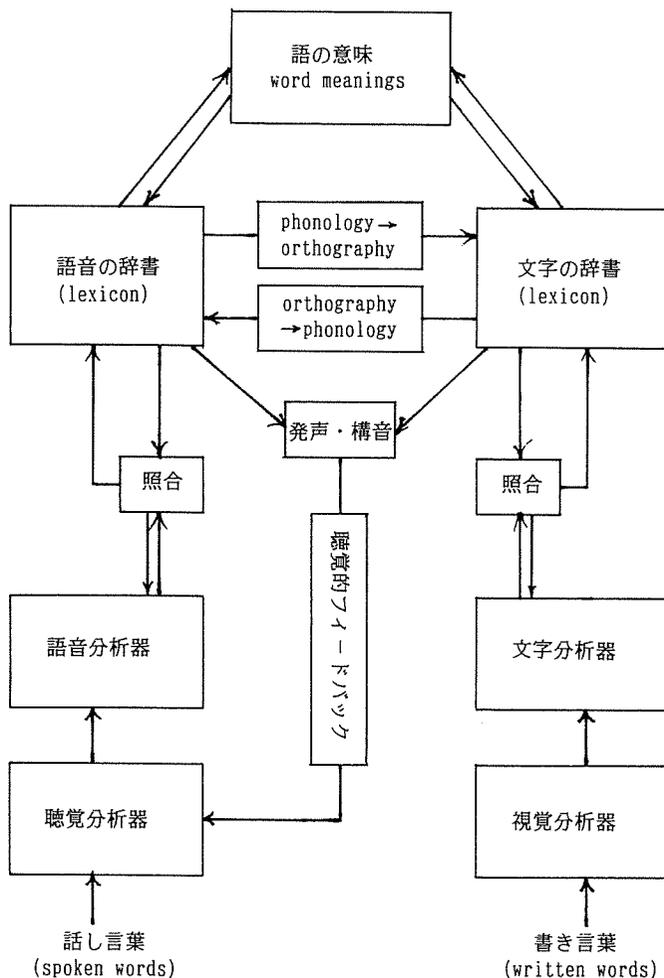


図2 健聴者における言語の認知理解図式

を活用しての聴覚障害児教育でもすでに論じられてきた（鈴木ら，1979）だけに，目新しいものではないが，要は年齢が低いほど脳の可塑性が高く，それゆえに中途失聴では失聴年齢が低ければ一旦学習した聴覚機能は短期間で退化する一方，先天性高度難聴も含めて長年にわたり放置した場合には，人工内耳手術を受けても，脳の可塑性が低下しているために聴能訓練の効果が期待できないということである（鈴木ら，1979）。

1. 成人の中途失聴者の場合

聴覚に欠陥がない幼児では聴覚的チャンネルを通じて言語やことばを習得する。次いで文字を習得することによって書字言語が発達し，聴

覚的言語認知・理解と視覚的言語認知・理解の間には，語音の辞書（lexicon）と文字の辞書のレベルにおいて図2に示すような相互関係が発達してくると考えられる。人工内耳を必要とする患者の聴覚系の欠陥は図2でいえば聴覚分析器にあるが，人工内耳による入力はかなり異質な，不鮮明なものと考えられる。これが正しく認知されるには，入力と同じ聴覚情報がすでに聴覚的辞書があって，それと人工内耳による入力を照合する（トップダウン処理）ことにより認知でき，意味レベルにボトムアップすると考え得る。ただし入力情報が単語や文の場合には，意味もトップダウン処理に関与すると考えねばならない。

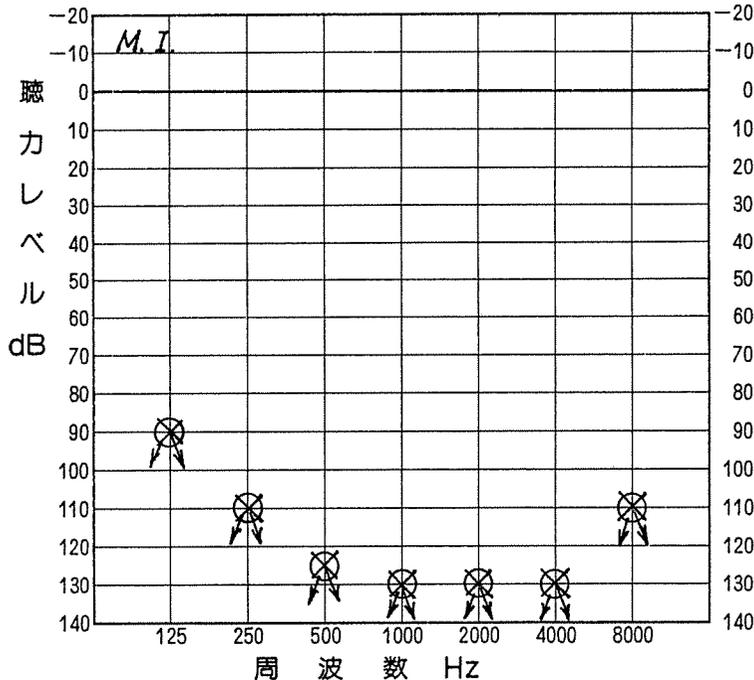


図3 症例1のオーゾグラム

2. 幼少児の場合

人工内耳で最も議論の多いのは幼少児の場合である。しかしこの問題に深入りするのとは本稿の目的からそれるので、これについては別著(田中美郷, 1998)にゆずり、ここでは先天性重度難聴児ないし聾児における人工内耳の効果を見例(2例)に基づいて述べる。ただしこれら2例の聴覚機能および言語発達の詳細については他(田中美郷, 印刷中)で報告したので、ここでは聴覚的認知の問題にしばって概略を述べるに止めたい。

1) 症例1: M.I., 男児, 先天性重度難聴

1歳6カ月より補聴器を装用するが全く効果なし。2歳9カ月時著者の臨床で図3に示すように両耳も130 dBで残存聴力を認めず、ジェスチャーによるコミュニケーションを認め、2歳11カ月よりコミュニケーションおよび言語指導にキューサインを使用した。文字も覚え始め、これらによって言語は急速に発達し始め、視覚に依存するコミュニケーション・モードをフルに活用してコミュニケーションは円滑かつ活発になった。4歳0カ月時右耳にNucleus 22チャンネル人工内耳埋込術施行。術後人工

内耳にスイッチを入れてまず観察されたのは、驚きと喜びの入り混じったアッ! という発声であった。当初は音や音声に反応はしても、ことばはもちろん環境音の認知は全く不能であった。人工内耳により純音閾値は45 dB程度にまで改善したものの、コミュニケーションは依然としてキューサインや読話、ジェスチャーなどに頼り、「聴く」という姿勢も余りみられなかった。その後聾学校および家庭での聴能訓練により、環境音が漸次認知できるようになり、自発的発声語や傾聴態度も発達してきた。

これまでの過程をみると図2の聴覚系のことばの知覚・認知・理解および聴覚的フィードバック機構は術前は全く未発達であったといえる。4歳10カ月時、口を隠すと発音が全く聴取できないので、文字やキューサインを活用してトップダウン方式の言語指導(田中美郷, 印刷中)を進めたところ、聴覚的言語理解が漸次可能になった。

2) 症例2: K.G., 女児

1歳9カ月時先天性重度難聴と判り、直ちに補聴器装用、聴能訓練および言語指導開始、1歳11カ月より聾学校で聴覚口話法による教育

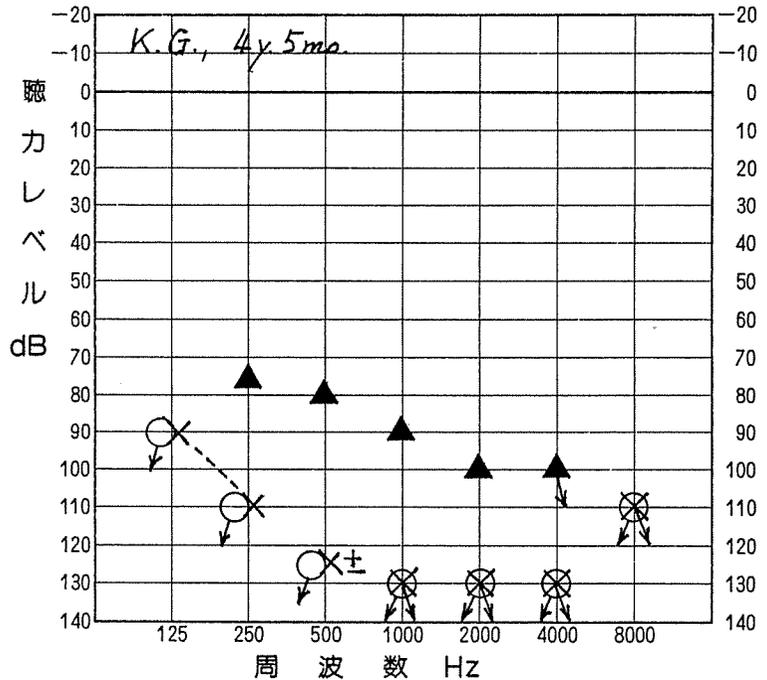


図4 症例1のオーディオグラム

開始。音声には反応しないが太鼓の音は聴く。4歳11カ月時、130dB以上の重度難聴ではあるが低音域に残存聴力のあることが判明した(図4)。5歳6カ月時右耳にNucleus 22チャンネル人工内耳埋込術施行。本例は症例1とは異なり、術後音入れを行うや「うるさい」と連発、その後の聴能の発達は、手術年齢が比較的高いにもかかわらず、症例1よりも明らかに良好であった。

これらの知見は、たとえわずかな残存聴力でも、乳幼児期の早期から補聴器によって活用してであると、人工内耳を装着した場合に好結果をもたらすことを示唆している。人工内耳は補聴器の一種とみた方がよい。子どもの場合は聾学校とのチームワークが必要である。

文 献

- 1) House WF, Urban J: Long term results of electrode implantation and electronic stimulation

of the cochlea in man. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 82; 504-517, 1973

- 2) 本庄巖編著: 脳からみた言語, 中山書店, 1997
- 3) Kiang NYS, Moxon EC: Physiological considerations in artificial stimulation of the inner ear. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 81; 714-730, 1972
- 4) 鈴木篤郎, 田中美郷: 幼児難聴. 医歯薬出版, 1979, pp.220-227
- 5) 田中美郷: 高次聴覚機能障害の種類と鑑別診断. *失語症研究* 12; 117-126, 1992
- 6) 田中美郷: 難聴児のリハビリテーション—早期発見・診断・治療教育のシステム化に向けて(人工内耳も含めて). *耳展* 41; 527-532, 1998
- 7) 田中美郷, 小寺一興, 北義子, 齊藤宏: 人工内耳を装着した先天性重度感音難聴幼児2例の聴能・言語発達経過. *音声言語医学* 40-4, 印刷中
- 8) 田中康夫: 誘発耳音響放射の臨床. 金原出版, 1996, pp.21-26