

号の混入が少なく、はっきりとした反応が得られた。

感音難聴者と健聴者では、自覚閾値以下の音に対して有意な反応が出ることはなかった。ただし、fMRIでは、難聴者の一部で統計学的には有意と判定される状況が閾値下の刺激条件で見られた(C-2-3)。

C-1-2 言語音に対する聴覚野の反応

C-1-2-1 人工内耳装用成人

人工内耳装用成人3症例に対して、各種の音韻や韻律の対比刺激を提示し、NIRSによって反応を記録するとともに、記録終了後に被検者に弁別できたかどうかを尋ねたところ、異聴の有無にかかわらず、弁別のできた刺激の組についてはNIRSの反応も有意に出ており、弁別できなかった刺激対についてはNIRSの反応が有意に出なかった。

音韻の違いが抑揚の違いとして誤認されることはなかったが、他の音韻や、既知の音韻としては記述できない音に異聴されている場合もあった。韻律の対比刺激は、音韻の変化として聴取されることがあった。

反応の側性を調べると、音韻対比刺激を音韻の違いとして聴取した際のLIは、抑揚対比刺激を抑揚の違いとして聴取した際のLIより大きく、両者のLIの範囲に重なりはなかった。

抑揚対比刺激を音韻の変化として異聴した場合

のLIは、抑揚変化として聴取した場合のLIより大きい値(左寄り)となっていた。両者間のLIの範囲に重なりはなかった。前者のLIは、音韻対比刺激を弁別して聞いた場合のLIの範囲に含まれていた。すなわち、刺激内容に関わらず、LIは知覚内容を反映していた。

一部の被検者では英語の「Ra」と「La」の弁別が可能で、NIRSの記録もこれを裏付けていた。被検者は50歳代以降の日本人であるため、元来英語のR/Lの弁別ができていたとは考えにくい。おそらくなんらかの別の音韻に異聴したためにこれらの差が区別できるようになったものと思われる。

C-1-2-2 人工内耳装用小児

C-1-2-2-1 音韻・抑揚対比に対する反応

成人に使用している1語/秒の提示パラダイムで人工内耳装用児に刺激を提示すると、数分経過すると順応が生じ、音声刺激が音声として知覚されなくなるという現象が確認された。これを緩和するために、刺激ブロックを短くしたり、単語提示頻度を減らす試みを行ったが、脳反応はかえって検出しにくくなった。したがって、脳反応の記録には成人と同様なパラダイムを使用した。

人工内耳装用児において、自覚的な弁別がない音韻対に対しても有意な脳反応が得られることがあり、人工内耳装用成人とは異なっていた。表出の間

題である可能性も残るが、弁別を意識化できていない可能性も大きい。そのため、複数の方法を用いて弁別能力をできるだけ正確に推定するとともに、脳機能の計測を継続的に同一被検者にて行い、その発達の変化を合わせて調べた。その結果、成人例とは異なり、主観的弁別の有無と脳反応の有無が対応せず、弁別できない場合であっても有意な反応が得られる場合が多いことを確認した。

脳記録を開始して7ヶ月目には、音韻対の自覚的弁別が可能になり、それと共に音韻対に対して左側頭葉優位の反応が生じ、同時に抑揚対の反応が右優位にシフトした。しかしながら、この時もまだ分析合成音声による抑揚の自覚的弁別能力は認められなかった。

C-1-2-2-2 長・短母音に対する反応

長・短母音に対しては、範疇間対比刺激(BC)に対しては左聴覚野近傍に有意な反応が得られ、範疇内対比刺激(AB, CD)に対しては左右ともに有意な反応は得られなかった。

同時に記録したボタン押しによる行動指標では、範疇間対比刺激に対しては正反応率 18.3% (誤反応率8.3%) であり、範疇内対比刺激に対しては正反応率 1.7% (誤反応率 0%) であった。したがって、範疇間刺激対の弁別は十分に可能とは判断しがたいが、弁別不能と判定される範疇内刺激に比べると若

干成績が良い。

脳反応では、範疇間対比刺激に対しては有意であった。範疇内対比刺激については、有意な脳反応が出現しなかった。

C-1-2-3 成人外国語学習者

言語学習のモデルとして、成人してから第2外国語として日本語を学習し、日本に5年以上滞在して日常的に日本語を使用し、流暢に日本語を話せる韓国人被検者(以下、韓国人)において、日本語に特有な音韻である長・短母音に対する脳反応と行動指標の関係を検討した。

C-1-2-3-1 脳反応記録

韓国人では、範疇境界をまたぐ長・短母音の刺激に対して、日本語を母語とする成人(以下、日本人)にみられる左右差がなかった。また、範疇境界を越えない刺激に対する反応と、それを越える刺激に対する反応の間にも有意差がなかった。日本人成人との群間比較で有意差があった(ANOVA, $p=0.0012$)。

C-1-2-3-2 行動指標

韓国人においては、同定実験で長・短母音の音韻境界は 192 ± 7.5 ms(標準偏差)であり、日本人(198 ± 6.9 ms)と有意差がなかった。同定曲線のBC間の傾きは日本人 $1.8\%/ms$ であり、韓国人の $1.7\%/ms$ との差はない。弁別実験では日本人より若干成績が悪いが、音韻境界付近で成績が高くなる

現象は同じであった。この結果からは、韓国人は長・短母音を日本人と同じ基準で範疇知覚しているということになる。しかしながら、同定実験の反応時間を調べると、韓国人(586 ms)の方が日本人(482 ms)より100 msも余計に時間がかかっていた($p < 0.05$)。

C-1-2-3-3 脳反応と行動指標の相関

AB(範疇内刺激), BC(範疇間刺激), CD(範疇内刺激)各条件下の脳反応と、同定実験での同定率曲線の傾きの相関を見ると、日本人で0.51, 韓国人で-0.28であった。弁別実験との相関では、日本人は0.57であり、韓国人は0.07であった。共に、日本人では $p < 0.01$ で有意であり、韓国人では $p > 0.05$ であった。

C-1-2-4 健聴小児(データベース)

C-1-2-4-1 音韻・抑揚対比刺激

小児においても成人と同様の刺激で音韻対比ないし抑揚対比に対する反応を得ることができた。乳児については睡眠中でも十分な反応が記録でき、動きのアーチファクトが混入しないので、覚醒下の記録より有利であった。月齢ないし年齢毎の横断的検査で音韻対比と抑揚対比の反応の違いを調べると、これらの反応のLIに有意差が生じるのは生後11ヶ月以降であり、集団としての統計では11-12ヶ月の群から有意な左右差が認められた。

個人の縦断的データでも同様の傾向を示し、1歳

代の早い時期までに左右差が有意になるようである。

C-1-2-4-2 長・短母音

日本語に特有な音韻である長・短母音についてNIRSで記録を行うと、他の音韻と同様に、まず左右差のない反応が出現し、左聴覚野に優位な反応は満1歳以降に発達するという結果が得られた。

乳幼児を4-8ヶ月、10-12ヶ月、14-15ヶ月の3グループに分けて刺激条件による脳反応の違い、左右差そしてその発達的变化を検討した。

4-8ヶ月の乳幼児ですでに、長・短の範疇をまたぐ対比刺激の条件BCに対する脳反応が他の条件より大きかった。しかし、この時点では日本語を母語とする成人にみられるような左右差がなかった。上述の音韻・抑揚対比に対する反応が10ヶ月群までは左右差がないことと一致している。10-12ヶ月でもまだ脳反応に明確な左右差はみられなかったが、14-15ヶ月では音韻境界をまたぐ条件BCでの脳反応に左優位な傾向が見られた。

1人の女兒について約3ヶ月間隔で縦断的に検討した所、11ヶ月から14ヶ月の間で反応の左への側性化がみられた。

C-2 fMRIによる聴皮質からの記録

C-2-1 帯域雑音と純音の反応の違い

12人の健聴成人被検者について帯域雑音と純音の反応を調べたところ、反応の広がりには違いが認められ、帯域雑音では脳表の近くまで反応が広がっており、NIRSの結果と対応していた。

人工内耳術前の成人被検者については、残聴のある250 Hzについて、+10 dB SLの帯域雑音と振音で比較した。両刺激とも、含まれる周波数範囲としては1/3オクターブで同じであるが、振音は健聴者における純音の反応に似て、側頭葉のやや内側に反応が生じた。

C-2-2 音韻・抑揚対比刺激の反応

NIRSによって聴性言語機能の左右機能分化を調べるのと同じ刺激を用い、健聴成人についてfMRIの反応を調べた。基準区間に対する音韻対比区間の反応で最も大きなものは、ウェルニッケ野ないし左聴覚野近傍に見られた。一方、基準区間に対する抑揚対比区間の反応で最も大きなものは、右聴覚野近傍に見られた。

C-2-3 閾値付近の刺激に対する反応

1 kHz帯域雑音の刺激では、健聴者では刺激音圧が10 dB SLで半数近くに反応が見られ、20 dB SL以上で賦活の出現率がようやく8割を超えた。4 kHz帯域雑音では少し応答率が下がり、10 dB SLでは1

割程度であるが、20 dB SLでは7割を超えた。

内耳性難聴被検者では0 dB SL(聴覚閾値)以下の低音圧の刺激では、2割程度の被検者を除いて聴覚野に有意な賦活領域を認めなかった。4 kHzの-10 dB SLの刺激で統計的に有意とされる反応が生じた2名については、脳の他の部位にも同様な「反応」が多数認められ、聴覚野に見られる反応のみが有意な反応だと判定する根拠に乏しかった。

難聴被検者では10 dB SL(聴覚閾値上10 dB)では賦活を認める例が8割以上になり、20 dB SLでは全員に有意な反応を得た。このため、10 dB SLでは健聴者群との間に有意差があった(χ^2 検定、 $p < 0.05$)。4 kHzの刺激でも同様に、20 dB SL以上で健聴者群と難聴者群共に賦活領域の出現率が7割を超えるが、10 dB SLでは難聴者群の反応出現率が8割に対して、健聴者群では1割であり、群間で出現率が異なった($p < 0.01$)。

いずれの群も、0 dB SLでの反応出現率は、1〜2割であった。

人工内耳術前患者では、残聴があった250 Hzで検査し、0 dB SLと10 dB SLについては反応が見られたが、-10 dB SLでは反応は出現しなかった。

C-2-4 読話刺激に対する反応

1. 20秒毎に無音のビデオによる発話の視覚刺激をON/OFFすることにより、左聴覚連合野の反応(t

の最大値は5.92, corrected- $p = 0.075$, cluster-level corrected- $p < 0.001$, $K_e=196$)が認められた。しかしながら、被検者は読話では表現内容を全く読み取れなかった。

2. 被検者によって活動に差があった。10年以上の補聴器使用歴のある被検者では比較的大きな活動が認められたが、失聴期間が1年に満たない被検者では有意な反応が出ず (corrected- $p > 0.05$)、有意傾向 ($t = 4.17$, uncorrected- $p < 0.001$)を示す領域が小さく聴覚野に認められたのみであった。

C-3 人工内耳症例における聴覚心理検査

C-3-1 人工内耳装用成人

C-3-1-1 規則合成音声による検討

聴覚心理検査により、音韻と韻律の相互作用ならびにこれらの聞き取りへの他の音声特性の影響を4項目に分けて調べた。すなわち、1) 声のピッチの変化幅、2) 話速、3) 音圧、4) 話者の性別である。

C-3-1-1-1 声のピッチの変化幅

通常の男声の発話と、声のピッチの変化幅の大きな男声の発話で聴取結果を比較したところ、ピッチの変化幅の大きな発話の方が音韻の聴取成績とピッチ・アクセントの聴取成績がともに高くなった。

C-3-1-1-2 話速

通常の話速の男声発話と、話速が通常の1.5倍遅

い男声発話で聴取結果を比較したところ、話速が遅い発話の方が音韻の聴取成績が良かった。しかし、ピッチ・アクセントの聴取成績は通常の話速の方が成績が良く、最適条件が異なっていた。

C-3-1-1-3 音圧

通常音圧(快適音圧)の男声を基準として、これより大・小の音圧との間で聴取結果を比較したところ、音韻の聴取はMCLで最も成績が高いが、ピッチ・アクセントの聴取はMCLよりもやや小さな音圧で提示したときに最も成績が高くなった。

C-3-1-1-4 話者の性別

通常男声と通常女声で聴取結果を比較したところ、男声の方が音韻、ピッチ・アクセントともに聴取成績が高かった。

C-3-1-2 自然発声音声による検討

C-3-1-2-1 自由回答課題

3症例における自由回答課題の結果のうち、「あさ」という単語にピッチ・アクセントをつけて提示し、聞こえた通りに答えてもらった結果、韻律対比を音韻の違いに異聴したり、韻律も音韻も違くと異聴するケースが存在した。特にMCLないしそれより大きいレベルの提示において、ピッチ・アクセントを間違えた方は音韻を正答し、ピッチ・アクセントを正しく答えた方では音韻を誤答するなど、同じ音韻でもピッチ・アクセントによって別々の音韻として聞いている組合せ

が認められた。症例によって、ピッチ・アクセントの聞き違いが多い者と、音韻の聞き違いが多い者がいた。後者では、最低音圧ではピッチ・アクセントにかかわらず「あさ」を「赤」と聞いていたが、高い音圧では、ピッチ・アクセントが影響して、同じ音韻を別々の音韻として聞いていた。

C-3-1-2-2 択一課題

C-3-1-2-2-1 アクセント型・音圧による音韻聴取の違い

択一課題においても、韻律・音圧が音韻聴取に影響することを確認できた。択一課題にすることで正反応率が上昇し、被検者にとっては精神的に楽に行える検査となったが、症例によってはほとんど誤りがなくなり、被検者毎の解析には適さなくなったため、統計処理としては共通の符号化法(SPEAK)を用いている3被検者分をまとめて分析した。同じ音圧・アクセント型では同じ音韻を計5試行で提示した。このような5試行を1データセットと呼ぶ。3症例をあわせると、全部で56データセットが存在した。このうち、51データセットでは3回以上一定した回答が得られ、この回答を最頻回答と呼ぶ。この51データセット中、最頻回答に誤りが見られたのは9データセットあり、これらのデータセットを分析の対象とした。

誤りの種類について分類して集計すると、同じ音韻の刺激でもピッチ・アクセントが違ふことで別の音

韻に聞こえたという聞き違いは、5セットのデータに見られた。そのほとんどが、高低型の「朝」を「赤」と聞いたものであった。ピッチ・アクセントの違いを音韻の違いとしても聞いていたことになる。ピッチ・アクセントが低高型の「麻」は間違えて効くことは少なく、間違いやすいアクセント型と音韻の組み合わせが存在した。このような間違いはMCL以上の提示音圧でも起こっていた。

アクセント型にかかわらず音韻を聞き間違えたのは4セットあったが、これらはすべて音圧がMCL未満の提示であった。

C-3-1-2-2-2 提示音圧が音韻・アクセント聴取に及ぼす影響

提示音圧によって音韻およびピッチ・アクセントの聴取成績がどのように変化するかを検討した。正反応率を音韻とピッチ・アクセント別に集計し、ANOVAの結果、交互作用が有意であった ($F(3,6) = 5.18, p < 0.05$)。提示音圧が低くなると、音韻の正反応率が70%以下まで低下した(チャンスレベルは50%)。音圧を上げると90%以上の正反応率となった。音韻とピッチ・アクセントを別々にANOVAを適応すると、音韻の聞き取りについては、音圧の主効果が見られた。ピッチ・アクセントについては、音圧の主効果は有意ではなく、最低音圧と最高音圧で正反応率は変わらず、中間の音圧で若干成績が下がる傾向が見られ

た。

C-3-1-2-2-3 他の音声符号化法による聴取

ACEの使用者による聴取では、被検者によって差が大きく、成績の悪い方の被検者はSPEAKと同等の結果であったが、短期間のみの装用であったため、ACEに十分に慣れていなかった可能性もある。もう1名は非常に成績が良かったが、ピッチ・アクセントによる音韻の異聴はやはり認められた。これ以外に、ないはずの子音を語頭に聞く異聴も散見された。

CISの使用者ではピッチ・アクセントの聴取は100%正答であった。刺激のピッチ・アクセント型は子音の聴取には影響しなかったが、母音の聴取には大きく影響した。すなわち、自由回答時の母音正反応率が、高低型では88.2%なのに対し、低高型では11.8%に低下した。

C-3-2 人工内耳装用小児

成人と同様、ピッチ・アクセント型や音圧の違いを、音韻の違いとして異聴する場合が存在した。音韻とピッチ・アクセントでは、聴取成績がピークになる音圧が異なるが、傾向は成人と必ずしも一致しなかった。今回検査した被検者では、ピッチ・アクセントはどの音圧でもほぼチャンスレベルであった。

行動的応答の信頼性を評価する目的で、4種類の反応を求め、脳記録との対応を調べた(上述脳記録の項を参照)。特に、成人に対して適用してきたセ

ッション後報告(刺激の種類の数と発話内容を質問)では信頼度の評価が困難であるため、2刺激を継時提示し、その後異同弁別を求める方法と、NIRS測定中に、ボタン押し(両手人差し指による反応)により異なる刺激を検出したときに反応を求める方法では、正反応率だけではなくて誤反応率も求まるため、弁別能力の程度が評価可能である。また、被検者によっては、NIRS記録中にボタン押しをさせた方が体動等が減少し、脳記録のアーチファクトが減少する場合もあった。

C-4 高度データ処理

C-4-1 シミュレーション

主成分分析と独立成分分析によって、脳活動を反映するものとして作成・混合しておいた信号成分を、擬似観測信号からほぼ元の形で分離・抽出することができた。主成分分析によって分離した信号と元の疑似誘発信号の相関係数が0.877であったのに対し、ICAによって分離した信号の相関係数は0.997と非常に高い値を示した。

C-4-2 実データへの適用

無相関化前処理として、因子分析によって累積寄与率を98%として次元縮約を行ったのち、JADEの適用を行った。主成分分析後にFast-ICA適用を行った場合、データによって解の収束ないし一定の収束

解を得ることができない場合があったのに対し、因子分析適用後のJADE適用では常に一定の収束解を得ることができ、過渡的な反応と、比較的持続的な反応、さらにアーチファクト成分に分離することができた。過渡的な反応成分の活動重心を算出したところ、横側頭回付近に推定することができた。

C-5 人工内耳出力のスペクトログラム表示

自然音声を刺激とした場合は、音声のソナグラムに類似の電流-時間パターンが見られた。しかし、基本周波数とその倍音構造や喉頭パルスは見られなかった。音声基本周波数の高低によるピッチ・アクセントは、人工内耳の低音のチャンネルに基本周波数の変化として出現することはなかった。しかし、低音圧ではピッチの上下に伴う強弱の変化がはっきり表示された。これは低音圧でもピッチ・アクセントの聴取成績が悪化しないことと対応すると思われる。MCL以上では、ピッチ・アクセントによる強弱の違いは、低音圧の時ほどには目立たなくなった。

MCL以上では、子音/s/と/k/に対応する信号もよく観察されたが、特にSPEAKの符号化法では、低音圧では子音/s/の高音部や/k/のパルスがはっきりしなくなった。人工内耳のマップのパラメータによっては、MCLから15 dB下の音圧では子音が全く観測されない場合もあった。子音直後の母音部分に調音結合と思われる変化が見られたが、これも低音圧で

アクセントのないシラブルでは不明確になった。母音のフォルマントについても、低音圧ではフォルマント構造がはっきりしなくなった。これらは、低音圧で音韻の聞き取りが悪化するという聴覚心理実験の結果とよく対応する。

D. 考察

D-1 NIRS法による脳活動の記録

D-1-1 健聴者・児脳反応データベース

健常幼児の言語発達は段階を追って進むことが知られており、小児人工内耳症例でも若年手術例では、ほぼ同様の段階を踏むと想定されている。しかし学童期までに健聴児と同程度の音声言語能力を獲得するためには、人工内耳の手術年齢が日本耳鼻咽喉科学会のガイドライン(1998)では2歳以降とすることを推奨されていることを考慮すると、健聴児より短い年月で言語聴取能力を発達させる必要があり、通常のように行動や発話で発達をモニターするだけでは十分に早期に言語発達の問題を捉えることができない可能性がある。このため、患児の表出能力のいかんにかかわらず客観的に聴性の言語能力の発達段階を判定できる方法が必要である。このような観点から、NIRSによって言語音刺激に対する健聴児の聴性誘発反応のデータベースを構築した。

過去の研究によって、音韻対比と抑揚対比の

NIRSによる脳反応を比較することで、成人右利き被験者の85%で聴覚性言語機能の左優位の局在が明らかにできることが示されている。本研究ではそれを人工内耳装用者ならびに小児に応用した。言語機能のうち、文法や脳内辞書、固有名詞の処理などは前頭葉、頭頂葉、側頭極などが関与していることが報告されているが、本研究では比較的低次の音韻や抑揚の弁別にかかわる反応を記録しており、主に聴覚野近傍の聴覚連合野の機能と考えられる。自然発話を刺激に用いると、発話のどの成分に対する反応か決定しづらいことがあるので、そのような要因を除外するため、刺激音声の多くは分析再合成単語を用いた。さらに、単なる音韻よりも単語の中に埋め込んだ音韻の比較をするような実験構成をとることで、言語的文脈を与え、刺激音声の単なる物理的な細かい差異に基づく反応を出にくくし、短期記憶に基づく比較機能を含めた言語的な反応を捉えやすくした。

D-1-1-1 音韻・抑揚対比の反応データベース

単語環境においた音韻と抑揚対比に対する反応が生後半年ですでに統計的に有意になっているにもかかわらず、群としてはこの時期の反応に側性化はなく、満1歳近くではじめて左右に機能分化することを見いだした。

音韻の弁別に関する反応は、脳波等による先行

研究からは、今回はデータとして採用していない新生児期にすでに観察されている。しかし、言語特異的な反応が前面に出てきたことを示唆すると思われる左への側性化をNIRSの反応が明瞭に示すのは満1歳頃であることを、今回の研究は明らかにした。従来より、生後6ヶ月頃から母語以外の音韻への感受性が失われ始めるが、生後1年目くらいまでは十分な刺激を与えることで、感受性を取り戻せると言われている。母語の音韻学習がほぼ終了して単語に注目し始める時期が満1歳頃であり、音韻・抑揚対比の脳反応の側性化に有意差が出現した時期と一致した。

D-1-1-2 長・短母音対比の反応データベース

長・短母音に対する脳反応は、すでに4ヶ月—8ヶ月の乳児のNIRSの結果に成人と類似した傾向がみられ、長・短母音の範疇境界をはさんでいる刺激対において、ヘモグロビン変化量が他の条件に比べ大きいことが観察され、日本語特殊音韻に対する範疇判断がすでに発達していることを見いだした。この結果は、8ヶ月齢までに母語の長・短音韻の範疇的違いに対応した神経基盤が形成されていることを示唆するものと考えられる。一般的に生後6ヶ月—10ヶ月前後ではほぼ母語の音韻カテゴリーが形成される(Jusczyk, 1997)ので、これによく対応している。

しかし、長・短母音の範疇に対する反応の左への

側性化が明瞭になるのはようやく14ヶ月齢以降であった。この結果は、獲得が困難とされている特殊拍である長・短母音(天野、1986)の音韻範疇についても、0歳半ばですでに成人に近い弁別能力が形成されている可能性を示唆する一方で、音韻境界をまたぐ刺激への反応が左に側性化するのは満1歳を数カ月過ぎてからであり、この頃によく言語特異的と言える反応が前面に出てくものと考えられる。先に述べた音韻・抑揚の側性化の出現時期(11-12ヶ月齢、佐藤他、2003)からは数ヶ月の遅れがあり、この時期の言語発達を細かく見る指標として使える可能性がある。

D-1-1-3 外国語学習との関連

成人してから日本語を学習した韓国人についての検査の結果は、主要な行動的な指標では母語話者と同等の範疇知覚があると認められても、脳反応はそれに対応せず、中途失聴の人工内耳装用成人の結果とは整合しない結果になり、また、乳児期に脳反応が弁別行動より先行することとも逆の関係になった。このことは、言語敏感期との関連では、母語にない音韻の聴取は発達期に学習しないと言語に特化した皮質を活性化しにくいことを示唆し、成人の外国語学習を難聴小児の言語発達のモデルとするのは必ずしも適切ではないことになる。むしろ、言語獲得前失聴で言語学習の敏感期を過ぎた者(今回

の研究対象外)に近い可能性がある。

韓国人において長・短母音の同定における反応時間が母語話者より100 msも長いことも考慮すると、この弁別能力が必ずしも言語的な文脈で有効に利用できるものかどうかはやや疑問である。この点はさらに厳密な心理実験を追加して検討する必要があるが、もしそうだとすると、韓国人の長・短母音に対する行動と脳反応とは、どちらも母語話者のような言語的なものではないという意味で対応している可能性は残る。

このことは、中途失聴の人工内耳装用成人では、少なくとも我々が検査した音韻については、失聴前に母語で使われていた言語に特化した脳部位がそのまま人工内耳経由の言語音聴取にも使われているために、音韻対比の聴取で健聴者と同じように左優位な反応が出現していることを示唆すると考えられる。よく言われているように、人工内耳を使うことは新たに外国語を習うようなものであるということが、少なくとも言語敏感期以降に人工内耳手術をした患者については必ずしも当てはまらないことをも示唆する。すなわち、中途失聴者における人工内耳埋め込み後、比較的早期の言語音聴取は、以前聞こえていた頃と同じ脳内の言語音分析回路の入力に人工内耳出力が接続できるようになって始めて可能になるものと考えられ、成人の外国語学習とは本質的に異なった過程であると言える。そのような接続が成立す

るためには脳の可塑性がもちろん必要であり、ある程度の訓練も必要となろうが、うまく接続がつかない部分も出てくるのが想定される。

一方、成人の外国語学習と同じように、人工内耳装用開始後に新規に音韻を弁別する能力が発達して言語的に聞き取りができようになるという変化が生じる可能性はあるものの、韓国人の結果からは、言語敏感期を過ぎると困難が伴い、長年月が必要となることが推測され、日本人が英語のR/Lの弁別の習得におけるような特別な訓練を要する可能性もある。このような可能性があることは、術後数年にわたって人工内耳の聴取成績と脳活動の変化が継続して見られるという先行研究(Giraud et al, 2001)からもうかがえる。

したがって、先述のような脳内の言語音分析回路への入力側での適切な変化が生じない場合には、人工内耳によって言語音を聞き取るのは、まさに未知の外国語の音韻を学習するのと同程度以上の困難があり、術後長年月かかって発達するものであり、成人において訓練によっても人工内耳の成績が比較的上がりにくいのはこのような背景があると考えられ、被検者によっては訓練効果に一定の限界があることにもなると思われる。

いずれにせよ、年齢と言語の学習ないし訓練履歴によっては、行動に見られる範疇弁別に対応した脳反応が出現しない場合もあることになり、データの解

釈に注意を要する。(人工内耳装用小児については後述。)

D-1-2 聴覚障害症例での脳記録

D-1-2-1 人工内耳症例の閾値付近の脳反応

健聴被検者においては、自覚的聴覚閾値の帯域雑音に対して全員で有意なNIRSによる反応がすでに記録されているが、閾値下の音に対する有意な反応はなかった。中等度感音難聴症例においても、NIRSとfMRI共に、閾値下の音に対する脳反応は、アーチファクトと見なせるもの以外は得られなかった。fMRIを重度難聴者に施行した結果、0 dB SL(自覚閾値)での反応が得られたが、閾値未満の-10 dB SLでは反応が見られず、健聴者等と同じく、脳機能計測から自覚閾値が判定できることを示唆する結果であった。

人工内耳装用小児においても、NIRSによる閾値と自覚閾値は一致していた。

しかるに、人工内耳装用成人でスピーカ法ならびに電流レベルを設定して刺激する方法のいずれにおいても、NIRS計測によって自覚閾値下の刺激に対して反応が得られた。これが実験条件による人工産物(アーチファクト)でないことは、以下のようないくつかの理由による。

健聴被検者では1/3オクターブの帯域雑音については閾値の反応が得られるが、純音では閾値の

反応が得にくかった。しかし、人工内耳の周波数フィルター幅は1/3オクターブ以上であり、この帯域内であれば純音も帯域雑音も区別できない。したがって研究の初期には純音聴力検査に使われているのと同じ純音の断続音も使用していたが、スピーカ法による検査のため、防音室内で定在波が大きいと刺激音圧が安定しない可能性があり、途中からは人工内耳の閾値検査に使用されているのと同様な振音ないしは1/3オクターブの帯域雑音を刺激に用いた。したがって、防音室内の定在波のために、頭位によって提示音圧が変動したから自覚閾値下の刺激に脳反応が生じたように見えた、という可能性は除外される。

閾値下の音に対しても、頻度は低いものの、スピーチプロセッサがT-レベルを越える電気刺激出力を出していることを確認した。さらに電流レベルを指定した刺激でも、自覚閾値下の刺激にて脳反応が得られた。したがって、刺激方法としては問題がないものと思われる。

NIRSの反応様式を検討したところ、閾値下の反応ではヘモグロビン量が減少する方向のものが多かった。このような反応は、体性感覚野で自覚閾値下の刺激に対して抑制反応が生じるというfMRIの先行研究の結果と相同である可能性がある。実際、少なくとも1症例は大きな楽音様の耳鳴があるため、聴覚野は常に活動していると思われ、人工内耳の電気刺

激によって自覚的に新規な音が検出される以前に耳鳴が抑制されると、全体としては外来刺激によって脳活動が減少するために負方向の反応が出現するという可能性は十分に考えられる。外来刺激が大きくなり、自覚閾値を越え、耳鳴の減少と同程度かそれ以上に脳が賦活されるようになると、ある程度の大きさの脳領域を平均すると脳反応が消失するように見えるか、正の反応が出現するようになる、ということが考えられ、それに該当すると思われるデータも得られている。

そもそも耳鳴の大きい人工内耳症例では、自覚閾値の決定自体が容易ではなく、再現性に問題があり、同じ日の検査でも電流レベルで±3程度以上の変動があった。この理由のみでもある程度の閾値下と見える反応は生じることになる。

しかし、負に振れる反応、あるいは、脳反応が出ながらも自覚されにくいことについては、人工内耳による電気刺激が通常の蝸牛有毛細胞経由の刺激とは質的に異なるものであるからであるという可能性もある。そのような違いの一つの可能性としては、電気刺激は比較的広い同調範囲(特徴周波数)の多くの神経に同期した放電を誘発するのに対して、有毛細胞の活動は10本程度の聴神経にしか同期した放電を起こさないことや、人工内耳電極の蝸牛内挿入による副損傷のため、内有毛細胞の自発活動が消失していて、自発活動を元にした側抑制や帰還抑制

が働いていない可能性などがある。いずれにしても、一部の人工内耳装用者については、脳反応と自覚閾値の対応が単純ではないことになる。

その対策として、音刺激においては調べたい周波数の上下3オクターブを除去した雑音を常時負荷して誘発反応を計測すると、自覚閾値以上でのみ反応が得られるようになった。直接電流刺激でTレベルを決定する場合も同様に、Tレベルを決定したい電極から十分に離れた電極に低頻度で電気刺激を持続的に加えておき、離れた部位の聴覚野の自発活動をある程度抑制した条件で脳反応を記録すれば、自覚閾値に対応した反応が得られる可能性がある。ただし、小児人工内耳被検者については閾値下の反応は出ていないので、このような対策が一般に小児に対してどの程度必要なのかは不明である。

D-1-2-2 人工内耳症例の言語刺激の脳反応

人工内耳症例においては、自覚的な弁別の可否とNIRSの有意な反応の有無がよく対応していた。ただし、ここでの自覚的な弁別は、区別がつくという意味であり、必ずしも音韻として同定できることを意味せず、従来のように聞いた音を既知の音韻に対応させて答えを得る検査とは必ずしも結果が一致しない。

韻律のみが異なる合成単語対の聞き取りでは、韻律の違いではなくて音韻の違いとして聞き誤っている場合があることが観察された。そのような場合の脳

反応は、韻律(抑揚)に対応した右優位ではなく、音韻に対応した左優位な反応が生じていた。したがって、NIRSによって弁別に相当する反応が得られ、被検者の自覚的な聴取内容を具体的に知ることはできないものの、その性質は他覚的に捉えられることが判明した。

ところが、人工内耳装用小児例では成人とは異なり、脳反応と自覚的な音韻弁別には対応が見られなかった。ただし、自覚的な弁別が見られるようになる頃には、音韻対比刺激に対する反応が左へ側性化しており、このことが行動と対応している可能性はある。

長・短母音に対するNIRSによる脳反応は、日本語母語話者と同様に、音韻境界をまたぐ刺激に対して左側頭葉に大きな反応が生じており、長・短母音に対して言語特異的な反応を示しているといえるであろう。しかしながら、聴覚心理測定をすると、今回の被検者については音韻境界をまたぐ刺激に対してやや応答確率が高いものの、成人母語話者のような確実な弁別行動は示されず、他の音韻・抑揚検査の結果と同様、脳反応の方が行動より、刺激の弁別が良好である。

このように、人工内耳装用児では自覚的に弁別できない刺激も脳は弁別していることになり、表出の問題である可能性も残るが、弁別を意識化できていない可能性が大きい。健聴児でも長・短母音の範疇的

弁別に対応する脳反応は早期から見られるのに (C-1-2-4-2)、行動上では3歳以降に意識化される (為川ら、1998)こととも照応する部分もあると考えられる。この点は言語発達期と言語獲得後の音声学習の本質的な相違を反映していると思われる。

すなわち、表出が未成熟な小児では、行動指標では潜在的な聴取能力を推定しえないため、将来の行動的な弁別能力を早期に予測するためには、NIRS等を用いて客観的に弁別能力を検査する必要があることが示唆される。聴性の弁別ができることがその後の行動発達に必須であるため、行動上弁別できなくとも潜在的に訓練効果が見込まれるような刺激の選定にNIRSが利用可能であり、NIRSを難聴児のリハビリテーションに役立てることができると思われる。ただし、成人の外国語学習者の結果からは、言語敏感期を過ぎた成人とそれ以前の小児という違いはあるにしても、脳反応が出ない音刺激に対しても長期的に弁別行動が発達しないと断定することはできない。数ヶ月単位ではある程度の予測ができるのが妥当であろう。

音韻の学習が進み、言語的な文脈で捉えられるようになると音韻対比の反応が左に側性化してくると考えられ、その時期が、単純な音韻では満1歳、長・短母音ではそれより数ヶ月遅いことが本研究で明らかになった。それをこの症例に当てはめると、検査開始7ヶ月目以降に音韻対比に対する反応の側化

指数が比較的安定して左に寄るようになり、聴覚性言語脳の発達過程を観察しえたものと考えられ、行動的な弁別とも対応するように見える。しかしながら、この時期でも8歳という年齢にもかかわらず患児の長・短母音の自覚的弁別は不確かであり、行動との対応が悪い。ここには健聴児が長・短母音を意識できるまで年月がかかるのと同様な過程が働いている可能性があり、認知的な発達の問題よりも前の情報処理過程で聴覚野の弁別と意識的弁別のずれが生じているのではないかと思われる。

D-2 fMRIによる聴覚野の記録

D-2-1 帯域雑音と純音の反応の違い

NIRSもfMRIも共に脳活動によって血液動態が変化することを捉える計測法であるため、同程度の感度を有することが期待される。実際、撮像騒音が聞こえない重度難聴者では自覚閾値の音圧においてfMRIによって有意な反応が記録され、健聴者におけるNIRSによる記録と同じ結果となった。さらに、fMRIでは空間分解能が高いため、音の種類による反応場所の違いを明らかにすることができ、NIRSで音の種類による反応の違いを説明できると思われる結果を得た。

D-2-2 音韻・抑揚対比刺激の反応

fMRIにて、音韻対比刺激に対しては左、抑揚対比

刺激については右の側頭平面・上側頭回により強い反応が見られ、NIRSの結果を検証できたこととなり、またNIRSで見られた反応の位置を特定できた。しかし、fMRIでは有意な反応が出ない被検者もあり、有意な反応を検出できる確率はNIRSの方が高かった。

D-2-3 閾値付近の刺激に対する反応

MRIの騒音は、刺激音が聞き取りにくいばかりか、繰り返し暴露によって騒音難聴を引き起こしかねないレベルである。今回の研究に使用した装置は傾斜磁場コイルが真空中にあるため、撮像騒音が従来機種にくらべて33 dB低減されており、耳栓なしに検査を施行しても騒音難聴を生じないレベルである。しかし通常の会話のレベルよりは大きく、健聴者の聴覚検査にはなお問題がある。また、今回被検者として採用した中等度難聴者においても撮像騒音が聴取されるため、正確な閾値付近の反応を得るために、間欠撮像を採用した。

聴力閾値付近の音圧で刺激を提示して聴覚野の賦活を観察すると、難聴者の方が1 kHzと4 kHz共により小さい感覚レベル(10 dB SL)で賦活が出現した。この理由として、MRI検査室内の環境騒音と補充現象の2つの影響が考えられる。健聴者では環境騒音が完全に遮蔽されずに脳反応のS/N比を下げている可能性があるが、難聴者では騒音が聴取されにく

く、その結果、同じ感覚レベルでは提示刺激のS/N比が上昇するために小さい感覚レベルでも聴覚野の賦活が検出された可能性がある。また、補充現象があると、難聴者は聴取閾値上同じレベルの刺激音に対して健聴者よりラウドネスが大きくなるため、より小さいレベルでも賦活した可能性も考えられた。内耳性難聴者では自覚閾値上10 dBの刺激で8割以上、20 dBで全被検者に有意な反応が出現したことは、内耳性難聴者ではfMRIにより聴力閾値がある程度の精度で推定できる可能性を示唆する。臨床的には、成人においては機能性難聴の精査等に適用できると思われる。幼小児の他覚的聴力検査に適用するためには、何歳までなら自然睡眠ないし麻酔下で反応が得られるかを今後確認する必要がある。

NIRSもfMRIも共に脳活動によって血液動態が変化することを捉える計測法であるため、同程度の感度を有することが期待される。実際、重度難聴者では自覚閾値の音圧においてfMRIによって有意な反応が記録され、健聴者におけるNIRSによる記録と同じ結果となった。しかし、中等度以下の難聴では撮像騒音の影響を避けられないために間欠撮像を用いざるを得ない。これによって検出力が低下し、fMRIでは自覚閾値の10ないし20 dB上でようやく有意な反応が生じたと考えられる。空間分解能が高いために反応部位が細かく同定できるという利点はあるものの、健聴者でも全員で自覚閾値の音刺激に反応

が得られるNIRSより、fMRIは総合的には感度が低いという結果になった。このため、聴覚刺激を用いる検査については、脳の表面近くに反応が出現することが判明していれば、fMRIよりもNIRSの方が適した検査であるといえることができる。

D-2-4 読話刺激に対する反応

2人の人工内耳術前に検査を行い、異なる結果をえた。両被検者とも術後の言語音聴取成績は良好であるが、その理由は異なるのかもしれない。読話ビデオで聴覚野ないし聴覚連合野によく反応が出た被検者は、長期間の難聴があり、最近の数年は補聴器をほとんど使用できない状態であった。自覚できてはいないものの、読話を活用していた可能性があり、人工内耳使用時もそれが活用されるものと思われる。もう一人は読話を十分には使用していないが、難聴期間が短いために語音聴取成績が良いと思われる。中途失聴者では読話時の脳活動が高いとしても、先天難聴者で言われているように聴覚入力を受け付けなくなることはないと言えるが、読話関連の脳活動が側頭葉に認められるかどうかによって術後成績を予測することはできないようである。

D-3 人工内耳症例における聴覚心理検査

音の高低(ピッチ)変化が音韻の聴取に影響を与えることが判明したため、音声の音韻以外のパラメータの音韻聴取への影響を考慮する必要が生じた。

人工内耳は音声のうち音韻の聴取に最適化するように設計されていると思われるが、日本語ではピッチ・アクセントによって区別を行う同音単語も多く、人工内耳でピッチ・アクセントの聴取も効果的に行えるようにすることも重要である。

D-3-1 人工内耳装用成人

D-3-1-1 規則合成音声による検討

規則合成音声を用いると、いくつかの音声の特徴が簡便に変更でき、パラメータの違いによる聴取の変化を調べやすい。声のピッチの変化幅、話速、提示音圧、話者の性別の設定を変更すると、男声でピッチ変化をつけてゆっくりした音声聞き取りやすかった。これらは一般的に難聴者の聞き取りで言われていることと一致する。人工内耳装用者においては母音の聴取成績が男声の方がすぐれていることが知られている(J Acoust Soc Am. 1998; 103(2): 1141-9)が、本研究で、人工内耳装用者において子音やピッチ・アクセントの聴取においても男声の優位性があることが示された。したがって、検査時にはこれらの因子を一定にしない限り、再現性のある結果にはならない。人工内耳の聴取検査は、言語聴覚士の肉声で行われることが多いが、検査者が異なる成績を直接比較することは厳密にはできないことになる。

音韻の聞き取りとピッチの聞き取りで最適な音圧と

話速が異なっていた。ピッチ判断が話速に依存することは、基本周波数の情報が直接得られない音声符号化法による人工内耳を使用する場合は、何らかの特徴の変化スピードが手がかりになっているためと思われる。しかし、正確な理由については、使用した規則合成ソフトウェアの詳細について調べないと不明であり、自然発話にどの程度凡化できる結果であるかも未知である。音圧の影響に関しては、次に自然音声を用いて検証した。

D-3-1-2 自然発声音声による検討

すでに抑揚が音韻の違いとして認識されることがあることを示したが、使用した音声は分析合成音であった。分析合成音は規則合成より多くの変数を指定できるため、合成の手間はかかるが、より厳密な分析に耐えるものにできる。しかし、そのようにして作成した音声は、当然のことながら実音声とは種々の相違があるため、一般性・妥当性を確認するために、自然発話音声単語を用いた聴覚心理実験を行う必要があった。

D-3-1-2-1 ピッチ・アクセントの聴取

抑揚ではなくピッチ・アクセントを用いた理由は、正答・誤答共に該当する有意味単語がある対称的なデザインとするためであり、また日本語(東京方言)では、同音異義語のうちで12%がピッチ・アクセントのみで弁別され、日本語の聞き取りに重要である

からでもある。

規則合成音による結果では、ピッチ・アクセントの聴取は音圧に依存したが、自然発話による検査では、音圧に依存しなかった。このことは、両者でピッチ・アクセントの判断に使える情報が異なり、自然発話の方がその冗長性によって手がかりが多く、広い音圧範囲で比較的均一な正答率を得られたものと思われる(D-3-1-2-4で詳述)。

アクセント型の違いは、音響的には基本周波数の変化、振幅包絡、時間構造など複数のパラメータの違いに反映されるが、とりわけ基本周波数はアクセント型の知覚と強く関連する特徴で、健聴者と多くの補聴器着用者にとっては直接的な主要な手掛かりである。

健聴者では、ピッチは場所情報あるいは時間情報に基づいて知覚される。人工内耳では、音声符号化法にもよるが、活動電極数が多くとも22本であるため、基本周波数に対応する場所情報が非常に限定される。本研究の被検者の多くが使用していた符号化法のSPEAKでは、通常の話者の基本周波数に相当する範囲を受け持つ電極は2本程度であり、また、フォルマント情報をより良く符号化するために高域強調がかかっている、人工内耳出力をスペクトログラム様表示として観測すると、基本周波数の成分に対しては電気刺激が出ていないことも多く、今回刺激に用いた単語の前後の2シラブルで音声の基本周波

数を直接場所情報、すなわち低周波数領域の刺激電極の違いとして読み取ることはできなかった。

SPEAKによる符号化では、1電極当たりの刺激頻度が最高250 Hzに限られ、フォルマント情報を伝えつつ基本周波数を時間情報として伝達することは困難である。このようにSPEAKでは、場所情報・時間情報のどちらによっても音声のピッチ情報を十分に符号化できない。ACEによる符号化では、刺激周波数の上限は高くなるが、基本周波数情報が的確に伝わらないこともあるようで、韻律の聞き取りには個人差が大きかった。ただし、聴取成績の悪い症例は、ACEを使用した期間が短かったので、十分に慣れていなかった可能性もある。

CISを使用した被検者では、ピッチ・アクセントの聴取は100%正答であった。CISでは高い刺激頻度によって時間情報としてピッチの伝達が可能とされている。ただし、今回は調べていないが、電気刺激の時間間隔を変えて周波数を弁別する先行研究では、せいぜい300 Hz程度までしか十分な弁別ができないため、この方法で符号化するにしても、女声の一部や小児の音声の高い基本周波数情報を十分に伝えることはできないはずである。

D-3-1-2-2 アクセント型が音韻聴取に及ぼす影響

同じ音圧でアクセント型の違う2つの刺激単語を、音韻の違う刺激対として異聴した例が認められ、韻律は、音韻聴取に影響した。健聴者および人工内

耳装用者において基本周波数が音韻知覚に影響することはすでに報告されている(Fujimura, 1971; Massaro & Cohen, 1976; Whalen et al., 1993; Faulkner & Rosen, 1999; Loizou et al., 1998)。しかし人工内耳装用者でこのような現象が生じる原因としては、人工内耳に特有なものがある可能性もある。ことに、今回の被検者の多くが使用したSPEAKでは、基本周波数判断のための主要な情報が明示的には表出されていないため、本来は副次的な情報から韻律を判断することになり、それが音韻聴取のための手がかりと一部重複するなどの理由で干渉を起さずと考えられる。別の可能性としては、韻律の副次的な作用によって、特定音韻の特徴を示す変数が特に影響を受け、情報の欠落か変容がスピーチプロセッサにおいて生じてしまうことである。この2つの可能性の内では、おそらく前者の方が主要因になっていると考えられる。というのも、自由回答の課題では被検者によって音韻の間違が多い場合と韻律の間違が多い場合があり、後者の原理では説明できない。MCL以上の提示でアクセント型が音韻聴取に干渉しやすいことは、ピッチ・アクセントによる情報の欠落がMCL以上で低音圧より起きやすくないといけないことになり、論理的な説明が困難である。また、択一課題では自由回答課題とは間違いの分布が同一被検者でも異なることも、前者の理由がより可能性として大きいことを示唆する。

健聴者においてもささやき声に伴うピッチ感覚は、全体の声のスペクトラムの重心に近いとされている。SPEAK符号化による人工内耳の刺激が基本周波数情報を欠いているため、ピッチの判断として全体のスペクトログラムの重心がピッチ判断に使用されることはあり得ると思われる。しかしスペクトログラムの形は音韻のフォルマント構造に密接に関係するため、この手掛かりに依存すると、音声のピッチと音韻を完全に分離することが困難になる。逆に、フォルマント周波数は個人差があり、それを補正するために健聴者では音声の基本周波数が利用される。人工内耳で基本周波数の情報が独立して得られないと、基本周波数に差がある場合の音韻の判断が正確に行われず、結果的にピッチの変化が音韻の判断に影響することになる。

ピッチ・アクセントによって音韻の聞き取りが変化する現象はCISによっても観測され、ピッチ・アクセントのない大多数のシラブルで母音の異聴が生じていた。被検者数が少ないので一般化することはできないが、符号化方式によって誤りやすい特徴が異なる可能性はある。

D-3-1-2-3 音圧が音韻聴取に及ぼす影響

同一の音声刺激を異なる音圧で提示したとき、音韻について得られる正反応率が音圧によって異なり、高音圧ほど成績が良かった。

人工内耳装用者に対する音声刺激の提示音圧を音響レベルで上昇させることは、人工内耳からの電気刺激の出力に対して、以下の2つの変化を及ぼす。1つは、スペクトラム形状の変化であり、高音圧ほどスペクトラムの弱い部分の情報がスピーチプロセッサの閾値以上になり、刺激に使われる電極数が増える(ただし、処理方式固有の上限がある)。もう1つは、各電極の電流量が増大し、ある程度の音圧までは、より広い範囲の強度変化を伝えることができる。ただし、自動利得調整(AGC)と出力制限・飽和が関係するため、単純な対応関係ではない。また、後述するように、刺激電流レベルの増大によって、生体の側でも複雑な効果が生じる。

健聴者では提示レベルが多少低下しても周波数帯域間の相対的な音量の大小関係は保たれるが、電極図で人工内耳の出力を確認すると、摩擦子音のように高い周波数帯域に弱いエネルギーが分布する音韻では、低音圧になるとそのような帯域を受け持つ電極は刺激電極として採用されず、全く情報として伝えられなくなっていた。被検者によっては子音に続く調音結合も、低音圧でピッチ・アクセントがない場合には十分に符号化されておらず、これらがピッチ・アクセントに依存した音韻(子音)の異聴と関連している可能性がある。しかし、低音圧ではむしろアクセント型にかかわらない音韻の間違いが多くっており、全体に聞き取りが悪くなる影響の方がアク

セント型別の影響より大きく、影響が特定の音韻とアクセントの組み合わせとして出る可能性は低いと思われる。

各電極の電流量の増大に関しては、それによって活動ニューロン数が増加することが、聴神経(Kral et al., 1998)、下丘(Rebscher et al., 2001; Snyder et al., 1990)、皮質聴覚野(Bierer & Middlebrooks, 2002)の各レベルにおいて報告されている。この効果は、音韻の聴取に対して相反する2つの側面から影響を与える。1つは、刺激頻度と刺激される聴神経細胞数の増加によって信号がより正確に伝達され、語音聴取成績が上昇するという側面である。もう1つは、電極刺激によって放電する神経細胞が広範囲にわたることによって生じる周波数特異性の低下により、語音聴取成績が低下するという側面である(Franck et al., 2003)。どちらの側面がより強く影響するかという点には、個人差や刺激差、人工内耳の設定による差が存在するが、合成音声による結果ではMCLより上の音圧では正反応率が低下しており、自然発話音声を用いた結果では、音圧の上昇と共に成績の単調な上昇が認められた。

D-3-1-2-4 音圧がアクセント聴取に及ぼす影響

ピッチ・アクセント聴取の正反応率は音圧と無相関であり、音圧との関係が音韻とは異なっていた。この効果の違いは、両者の知覚に用いられる手がかり

が異なることに起因すると考えられる。前述のようにSPEAKでは、場所情報・時間情報のどちらによっても音声のピッチ情報を十分に符号化できないので、ピッチ・アクセントの知覚には基本周波数以外の手がかりを用いているはずである。アクセント型は基本周波数以外にも、シラブル(モーラ)の相対的音量やスペクトログラムの形状、持続時間などに反映されており、これらの特徴を手がかりとして用いることも可能である。持続時間の違いはどのような音声符号化法を使用しても保たれるが、今回用いた2モーラの単語では必ずしも有用な手掛かりになるかどうかは不明である。シラブル間の相対的音量は、特に低い提示レベルにおいて、スピーチプロセッサが40 dB SPL以下の信号をあまり符号化しない閾値効果によって、顕著になる。一方、高音圧ではAGCと飽和効果によって、シラブル間の相対的音量差は明確でなくなる傾向がある。

しかるに、MCL + 10 dBの高音圧では、ピッチ・アクセントの聴取は最低音圧と同じくらい良好である。これは、厳密な証明には刺激を操作した実験等が必要であるが、高音圧になるとスペクトラムに含まれる何らかの情報が判断しやすくなり、ピッチ・アクセントの手掛かりとして使われた可能性が高い。高音圧でピッチ・アクセントと音韻の聴取が干渉することは、これらが少なくとも部分的には手掛かりを共有していることを示唆している。先天性難聴児の人工内耳に