

200400296 B

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発

(H-15 長寿-029)

平成 15 年度～平成 16 年度 総合研究報告書

主任研究者 川瀬 哲明

分担研究者 鈴木 陽一

平成 17 年 (2005 年) 3 月

## 目 次

### I. 総合研究報告書

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

川瀬哲明

II. 研究成果の刊行に関する一覧表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15

IV. 研究成果の刊行物、別刷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

音声聴取改善を目的とした新しい両耳補聴方式の開発 (H-15 長寿-029)

主任研究者 川瀬哲明

(東北大学医学部大学院医学系研究科耳鼻咽喉科学分野・助教授)

(研究要旨) 難聴耳における周波数選択性の劣化は、いわゆる上向性マスキング(低周波数音による高周波数音知覚に対するマスキング効果)を容易に引き起こす要因となっており、言葉の聞き取り悪化の主因の1つと考えられている。今回我々は、本現象に対する解決策として、新しい概念の両耳補聴方式の実用化へ向けた検討を行った。本補聴方式は、マスキングしやすい低周波数側の情報とマスキングされやすい高周波数側の情報を左右別々の耳から提示することで、一側耳からのみの提示ではマスキングにより伝わらなかった音情報の伝達改善を図るもので、まったく新しい補聴方式(両耳分離補聴)である。

その結果、①両耳分離補聴方式は、低周波数域にエネルギーが大きい信号がある条件下で、音声の情報伝達を改善しえること、②最も効果のある左右耳への音信号の分割周波数帯域は、音声、雑音の提示条件に左右されること(一般的にはエネルギーの大きな低周波数音のすぐ高周波数側)、③そのため、理想的には分割周波数が周囲音環境に応じて適応的に変化する動作の実現が望まれること、④両耳分離補聴では、高周波数提示側や正面からの音像に対する定位が低周波数提示側に偏倚する傾向が出現すること、⑤両耳間時間差を適切に設定することで、音声の明瞭度を劣化させずに音像知覚が改善する両耳分離補聴方式が実現可能なこと、⑥両耳分離補聴は、後迷路障害が軽微な外有毛細胞を中心とした内耳性難聴においてより効果が期待されること、⑦視覚情報(発話顔画像)を聴覚刺激と同時に提示することで、言葉の聞き取りのみならず、正面定位や分離補聴による違和感の軽減にも効果があることが明らかになった。

分担研究者 鈴木陽一  
東北大学電気通信研究所  
教授

な問題となるが、従来の補聴の考え方では解決するのに限界があった。

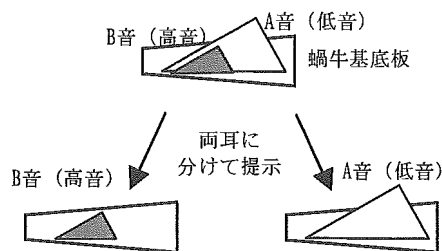
そこで、今回、本現象に対する解決策として、新しい概念の両耳補聴方式の開発と実用化へ向けた検討を行った。すなわち、マスキングしやすい低周波数側の情報とマスキングされやすい高周波数側の情報を左右別々の耳から提示することで(dichotic condition)、一側耳からのみの提示ではマスキングにより伝わらない音情報の伝達改善を図るという、まったく新しい補聴方式(dichotic hearing aid)を開発する。本補聴システムは、これまでの補聴器では補償し得なかった周波数選択性劣化に対する補償を両耳を用いて実現するものでこれま

#### A. 研究目的

難聴耳ではさまざまな聴覚特性が劣化するが、その中でも周波数選択性の劣化(聴覚フィルターの鈍化)は、いわゆる上向性マスキング(複数の音を検知する場合、高周波数側の信号検知が低周波数側に存在音により遮蔽されやすい現象)を容易に引き起こす要因となっており、言葉の聞き取り悪化の主因の1つであると考えられている。本特性は、補聴の際にも大き

でない効果が期待できる可能性がある。

図1には、本補聴方式の概念を示した。すなわち、エネルギーの大きい低周波数音に高周波数の信号音がマスキングされる条件下の信号聴取では、両耳に高周波数域の情報と、低周波数域の信号を分離して提示することで情報伝達が改善されうるといものである。



上記の条件下では、両耳に分けて提示し両耳合成能を利用する方が情報伝達量が改善されうる

図1

研究では、本補聴方式が有効な分割周波数とその効果、本補聴方式による音像定位、効果発現の要因解明、視覚情報の相補作用について検討するとともに、2年間の研究を総括し、今後の課題を考察した。

本補聴器の開発、並びに実用化は、中等度以上の難聴者において言葉の聞き取り改善効果が期待され、高齢化社会の中で増加することが予想される聴覚障害者の積極的な社会参加の促進、QOL改善、などに寄与するものと思われる。

## B. 研究方法

平成15年度年度には、①健聴者を対象とした分離補聴の有効性の検討、②音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域の予備的検討、③両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響の検討を、平成16年度には、④先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法の検討、⑤両耳間時間差の音像定位、語音明瞭度に与える影響に関する検討、⑥両耳分離補聴効果に与える、被験者（難聴者）の聴覚特性の影響に関する検討、⑦視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討を行なった。

(平成15年度)

## 1) 健聴者を対象とした両耳分離補聴の有効性の検討

方法の概略を図2に示す。

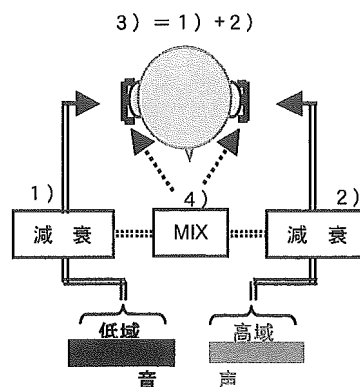


図2

図2に示すように、音声の高域成分と低域成分を分離し左右の耳に別々に提示した場合（両耳分離補聴方式 (Dichotic condition) : 図2、条件3)）と高域成分と低域成分を合成して両耳に提示した場合（通常の Diotic condition : 図2条件4)）における語音明瞭度を比較した。

今回検討の両耳分離補聴方式では、とくに低域にエネルギーの大きな音が存在する時にその優位性が期待されるので、まず予備実験として、下記の2条件について、検討を行った。

条件A) : 低域雑音下の言葉の聴取

1 kHz 狭帯域雑音  
提示下の語音了解度を dichotic condition (両耳分離補聴) と diotic condition で比較。分離周波数は

雑音周波数の1オクターブ高周波数である 2 kHz とした。

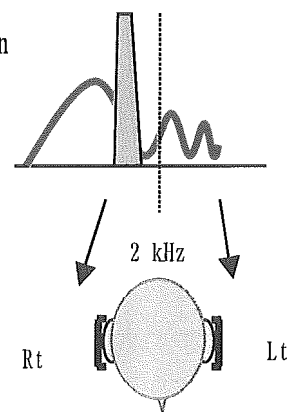


図3

条件B) : 低域優位増幅の影響

補聴臨床の現場では、周波数毎の増幅率を各難聴者の聴覚閾値の周波数特性に応じて調整

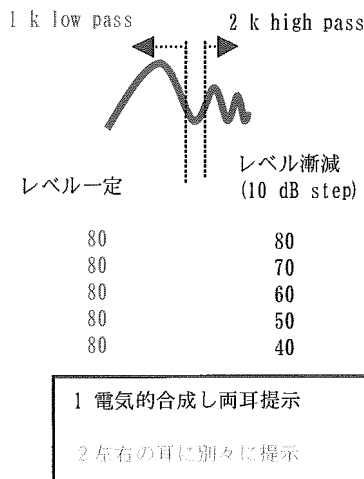


図 4

しており、難聴型によっては低音優位の増幅を設定する場合があります。

そこで、図 4 に示すように、音声を低周波数側と高周波数側に分離し、増幅量を調整することで相対的に低周波数優位の増幅条件を作成し、語音了解度に与える効果を dichotic condition (両耳分離補聴) と diotic condition で比較した。

また、一部の難聴者を対象に、分離補聴の効果も予備的に検討した。

### 2) 音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域の予備的検討

様々な聴取環境における音声明瞭度を測定し、音声明瞭度改善に有効な分割周波数を決定した。聴取者は老人性難聴者 4 名である。/u/ から始まる VCV 音を使用し、CV で提示される 67 音節 (拗音を除く) の正答率から明瞭度を算出した。提示音圧は、聴取者ごとの MCL (Most Comfortable Level) とし、ノイズとして、擬似音声雑音、走行時の車室内ロードノイズを S/N で 0、4 dB で提示した。/u/ のフォルマント周波数に着目し。左右耳の分割周波数を 800 Hz、1.6 kHz と設定した。

### 3) 両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響に関する検討

2) で採用した分割周波数の両耳分離補聴方式を用い、音像定位実験を行った。聴取者は上記実験に参加した老人性難聴者 4 名である。日常生活文 3 種類の音声にダミーヘッドの頭部伝

達関数を畳み込み、上記実験で採用した分割周波数による両耳分離補聴処理を行った。処理された音声を各聴取者に提示し、知覚した音声の方向を回答させた。提示音圧は、聴取者ごとの MCL とし、提示角度は、聴取者の左右 90°、左右 45°、正面の 5 種類である。

(平成 16 年度)

### 4) 両耳分離補聴方式における先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法

平成 15 度は、/u/ を先行母音とする VCV 音節を用いて本分割周波数決定法の有効性を確認した。平成 16 年度は、本分割周波数決定法の有効性を更に確認するために、先行母音の異なる VCV 音節を用いて、分割周波数の変化が明瞭度に与える影響について検討を行った。

刺激は 3 種類の先行母音/a/、/i/、/u/ からそれぞれ始まり、後続子音が拗音を除く 67 音節の VCV 音を用いた。両耳分離補聴処理条件 (Dichotic) では、VCV 音を高域通過フィルタ (HPF)、低域通過フィルタ (LPF) により、2 帯域に分割した。分割周波数条件は日本語母音のホルマント周波数 F1、F2 の分布を参考に、主に F2 の周波数付近の 6 種類を設定した。設定した分割パターンを、表 1 に示す。

表1 分割周波数パターン

パターン	左耳	右耳	遮断周波数 [kHz]
Diotic	APF	APF	-
Diotic-6dB	APF	APF	-
Dichotic0.8	LPF	HPF	0.8
Dichotic1.0	LPF	HPF	1.0
Dichotic1.2	LPF	HPF	1.2
Dichotic1.6	LPF	HPF	1.6
Dichotic2.0	LPF	HPF	2.0
Dichotic2.4	LPF	HPF	2.4

通常の両耳受聴条件 (Diotic) では前記 HPF および LPF の代わりに全域通過フィルタ (APF) を用いた。また、ラウドネスの加算効果を考慮し、刺激音のラウドネスを両耳分離補聴条件と

ほぼ等しくすることを目的とし、レベルを 6 dB 小さくしたパターン (Diotic-6dB) も加えている。刺激の提示音圧は聴取者ごとの MCL (Most Comfortable Level) とした。

#### 5) 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度の向上

両耳分離補聴により明瞭度が向上する可能性がある一方で、正面方向への音像定位が困難になる傾向があった (平成 15 年度)。音像定位感を調整する方法として、時間と強さの交換作用 (time-intensity trading) が知られているが、本作用を利用した音像定位補正の可能性、並びに、明瞭度への影響について検討した。

時間と強さの交換作用を利用するため、1.6 kHz 以下の低域成分を両耳に入力した。その際、明瞭度を低下させない範囲で、高域成分入力側に低域成分を入力する必要があったが、予備的な検討に基づき、低域成分減衰量 15 dB を両耳分離聴条件として設定し、正面方向音源から左右耳への入力信号に両耳間時間差 (ITD: Interaural Time Difference) を付与、正面方向からの音信号に対する音像定位を検討した。

両耳間時間差を  $-1\text{ms} \sim 1\text{ms}$  の範囲で  $1/4\text{ms}$  刻みに変化させた 9 条件および、より詳細な両耳間時間差として  $-3/8\text{ms} \sim 3/8\text{ms}$  までを  $1/16\text{ms}$  もしくは  $1/8\text{ms}$  の間隔で変化させた 8 条件、合わせて 17 条件について検討を行なった。

#### 6) 両耳分離補の効果に与える、被験者 (難聴者) の聴覚特性の影響

両耳分離補聴効果に影響すると思われる、順向性マスキング量および聴覚フィルタの帯域幅の 2 種類の聴覚特性に着目し、両耳分離補聴効果とそれぞれの聴覚特性との関係について検討を行った。

##### ①両耳分離補聴による語音明瞭度の検討

対象は 22 歳～70 歳の男女 9 名 (4 分法による平均聴力レベル  $8.8 \sim 80.0\text{ dB}$ )。8 名は難聴者 (Listener 1～8) であるが、残り 1 名 (Listener 9) は平均聴力レベルでは正常と判断されたものの、4、8 kHz で聴力低下が見られたため被検者に加えた

刺激音声は、発話訓練のある女性 1 名が発声

した母音/u/+67 単音節である。この音声を、母音/u/の第 1 ホルマントと第 2 ホルマントの間となる 0.8 kHz で低域成分と高域成分の 2 帯域に分割し、左右耳に分けて提示した (以下、Dichotic0.8 条件)。

刺激音は TDT System III を経由し、防音室内にいる聴取者にヘッドホン (Sennheiser HDA-200) により提示された。音声の提示レベルは MCL (Most Comfortable Level) である。MCL は防音室内で聴取者の両耳に Diotic 条件 (分割処理を行っていないもの) の刺激音声を提示し決定した。

ここで Dichotic0.8 条件におけるラウドネスの両耳加算を考えると、Diotic 条件よりも 6 dB 小さく知覚されることが予測されることから、提示レベルを 6 dB 小さくした条件 (以下、Diotic -6dB 条件) も設けた。

聴取者には聴き取った音声をそのまま回答用紙に記入するよう指示した。

##### ②両耳分離補聴効果と順向性マスキング

対象は明瞭度試験に参加した Listener 1～6、8、9 の計 8 名 (51～70 歳)。

提示刺激は、信号音が 1 kHz、2 kHz 純音 (トーンバースト)、マスキングが白色雑音を低域通過フィルタに通した低域通過雑音 (Low pass noise) である。フィルタの遮断周波数は、明瞭度試験と同様の 0.8 kHz とした。

以下、各条件の呼称はマスキングと信号音の組み合わせから Fc0.8-1k、Fc0.8-2k とする。マスキングと信号音の提示時間はそれぞれ 400 ms、50 ms である。

マスキングの終わりから信号音の始まりまでの時間間隔 (以下、信号遅延) は 5、20、80 ms とした。刺激音の提示方法は①と同様。

測定耳は、明瞭度試験の Dichotic0.8 条件において高域成分を提示した側とした。測定は変形上下法、二肢強制選択で行った。

##### ③両耳分離補聴効果と聴覚フィルタ幅との相関

対象は、明瞭度試験に参加した Listener 1、2、7～9 の 5 名 (22～70 歳) である。

提示刺激は、マスキングにノッチ雑音、プロー

ブ信号に 0.5、1、2 kHz 純音 ( $f_c$ ) を用いた。ノッチ雑音は、白色雑音にタップ長 8192 の FIR フィルタを用いて作成、プローブ信号の提示時間は 400 ms とした。測定は聴覚フィルタ簡易測定法で行い、最小可聴値  $T$  に 10 dB を加えた  $T+10$  [dB] のプローブ信号を知覚するまでに要するノッチ幅  $g$  を測定した。刺激音は、TDT SystemII および III を経由してヘッドホンにより防音室内の聴取者に提示した。

### 7) 視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討

難聴者の言葉の聞き取りに視覚情報は欠かせない。読唇効果の特徴の解析を通し、本補聴方法との相互作用を考察した。

#### ①VCV 音節における読唇効果の検討

対象は、健聴者 10 名 (男性 8 名, 女性 2 名)、難聴者 6 名 (男性 4 名, 女性 2 名)。提示刺激として、日本語単音節 100 音と、日本語単音節 100 音節に /a/, /i/, /u/ を先行母音としてそれぞれ付加した無意味 VCV 音 300 音 (以下、それぞれ /a/CV, /i/CV, /u/CV) を使用した。

映像、音声の収録は無響室内で行い、映像編集システムを用いて、各音節の継続時間、レベルが等しくなるようにした。

#### ②市販の補聴器を用いた両耳分離補聴装用感、音像定位感の検討

両耳分離補聴の音声聴取感想としては、「自然さ」にやや問題があったり、ヘッドフォン下の検査では、音像定位が低周波数域側に偏る傾向があった。

理想的な分離補聴の実用化には新たなハードウェアの開発が必要であるが、簡易的に市販のデジタル補聴器を用いて高域優位、低域優位の擬似両耳分離増幅を作成し、聴取時の違和感、音像定位などに関する主観的な効果を、上記①で使用した刺激を使用して検討した。

(倫理面への配慮)

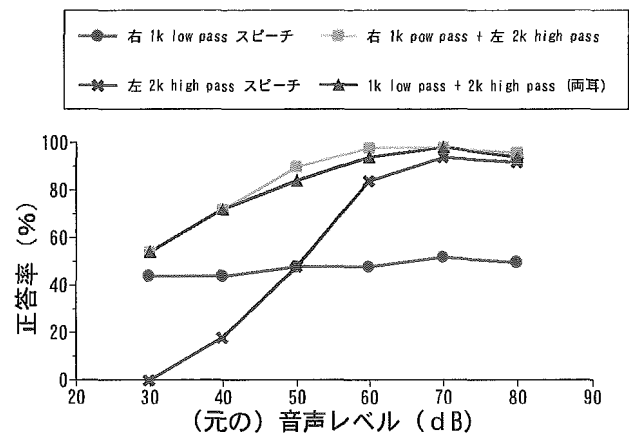
今回実施の研究における諸検査は非侵襲的なものであったが、被検者には検査の目的や内容を文書を用いて十分説明し、同意を得た上で

検査の実施を行った。また、結果の公表については、個人のプライバシーが侵されることがないようにした。

## C. 結果

### 1) 健聴耳における両耳効果

図 5 には、健聴耳を対象に右耳に 1 kHz low pass スピーチを単独で提示した場合 (monotic)、左耳に 2 kHz high pass スピーチを単独で提示した場合 (monotic)、両者を同時に提示した場合 (dichotic)、両者を合成したものを両耳に提示した場合 (diotic) の語音明瞭度を提示音



圧に対する正答率として表した。

図 5

1 kHz low pass スピーチ、2 kHz high pass スピーチをそれぞれ単独で提示した場合に比べ、両者を同時に提示した場合 (dichotic) には両耳合成効果が認められていることがわかるが、その正答率は、両者を合成し両耳に提示した場合 (diotic) とほぼ同等であった。すなわち、両耳効果は明瞭であるが、両耳分離聴の優位性は認められない。

そこで、両耳分離補聴の優位性が期待される、低周波数域にエネルギーの大きな入力が存在する条件として、A) 低域雑音下の言葉の聴取、B) 低域優位増幅の影響の条件下での両次分離補聴の優位性を検討した。

図 6 は、80 または 90 dB SPL 1 kHz 狭帯域雑音下に 80 dB の音声を聞く際の分離聴の効果を示した。

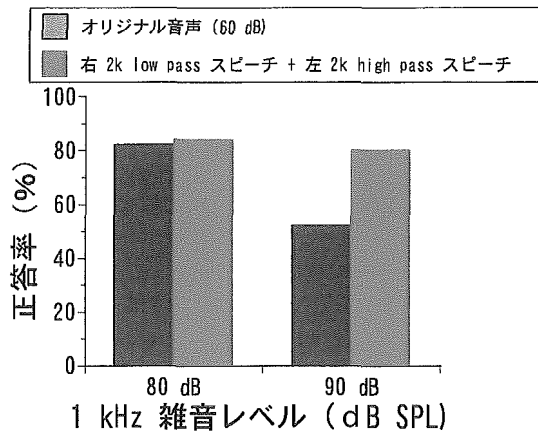


図 6

雑音レベルが 90 dB では、両耳分離聴で 25% 以上の正答率の改善が認められ、その優位性が観察されている。

図 7 は 80dB の 語音を 1 kHz 以下の成分と 2 kHz 以上の成分の 2 帯域に分離し、高域の提示レベルを次第に低下させていった際の正答率

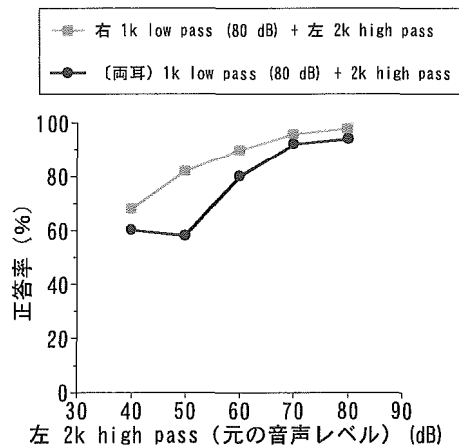


図 7

示したものである。高周波数域成分のレベルが下がるに従い、すなわち相対的に低域成分が増大するにともない、両耳分離聴の効果(図中■)が大きくなっていることがわかる。

一方、図 8 は実際の難聴患者に認められた分

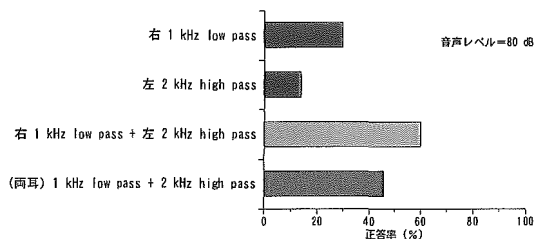


図 8

離聴の優位性を示す。語音を 1 kHz 以下の成分と 2 kHz 以上の成分の 2 帯域に分離し dichotic に提示した場合(両耳分離聴)のほうがわずかであるが両成分を合成し両耳に提示した場合に比べ正答率が高い。今回行ったすべての難聴患者で、必ずしも同様の傾向が認められたわけではないが、両耳分離聴の補聴臨床への応用の可能性を示唆するものであると思われる。

### 2) 音声明瞭度の改善に有効な周波数分割帯域

聴取者 4 名の明瞭度試験の平均を図 9 に示す。S/N が高い条件で、分割周波数 800 Hz (Dichotic0.8) での明瞭度が、他の条件の明瞭度に比べ上昇していることが分かる。特に静寂時では、他の全ての条件での明瞭度に比べ、10%以上上昇している。一方、分割周波数 1.6 kHz (Dichotic1.6) では、両耳に同じ信号を入力した条件 (Diotic) や、両耳に同じ信号を入力し、かつ、片耳入力の信号とラウドネスもあわせた条件 (Diotic-6dB) に比べてもそれほど明瞭度が上昇していない。

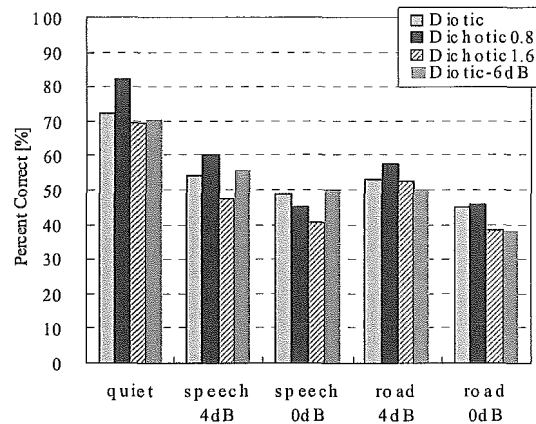


図 9

### 3) 両耳分離補聴方式の音像定位に与える影響

分割周波数 800 Hz とし、左耳に 0~800 Hz の音成分、右耳に 800 Hz 以上の音成分を提示した条件において、ある聴取者の音像定位実験結果を図 10 に示す。横軸が提示した音像の位置、縦軸が回答した音像の位置である。正面を 0° とし、右を正、左を負とした。また、円の面積は聴取者の回答数を表している。

この図から、低周波数成分を提示した耳側



(この図では左耳側)に音像を提示した場合は、聴取者の回答が提示した音像方向に比較的近いの比べ、高周波数成分を提示した耳側(この図では右耳側)に音像を提示した場合は、聴取者の回答は低周波数成分を提示した側に引きずられていることが分かる。更に、正面方向に音像を提示した場合も音像が左に偏って知覚されている。

なお、今回の実験では、低周波数成分提示耳と高周波数成分提示耳を左右入れ替えた条件でも同様の音像提示実験を行っており、得られた結果も、ここで図示した実験結果とほぼ同様であった。

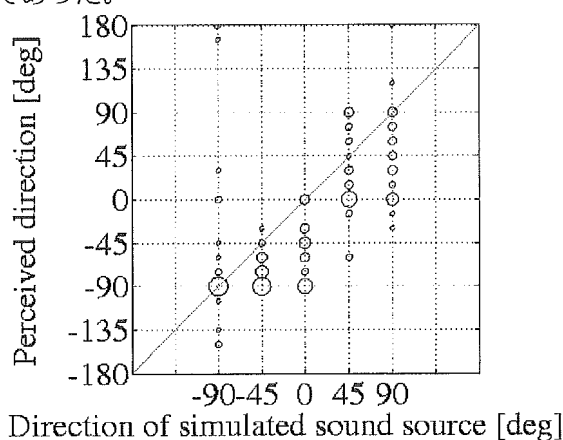


図 10

#### 4) 両耳分離補聴方式における先行母音のホルマント周波数に着目した分割周波数決定法:

聴取者ごとの明瞭度試験結果を図 11、図 12 に示す。先行母音/a/では、両聴取者において両耳分離処理では分割周波数を 1.0 kHz にした場合に最も明瞭度が向上し、分割周波数 2.0 kHz の場合に最も明瞭度が低下することがわかる。次に、先行母音/i/では、聴取者 L1 では分割周波数 0.8、1.0 kHz で明瞭度が向上する一方、聴取者 L2 では分割周波数の違いによる明瞭度変化はみられない。先行母音/u/では、分割周波数 0.8 kHz で明瞭度向上効果が最も高い。

ここで、母音のホルマント分布と照らし合わせて、本実験結果について考察すると、母音/a/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.9~1.2 kHz 付近、F2 が 1.2~1.8 kHz となっており、F2 の下限以下で、かつ、F1 の分布付近である

1.0 kHz で分割することで、F1 による F2 以上の高域成分へのマスキングが低減されたと考えられる。

また同様に、母音/u/のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.5 kHz、F2 が 0.8~1.6 kHz となっており、分割周波数が F1 と F2 の間となる 0.8 kHz の場合に、F1 による F2 以上の高域成分へのマスキングが低減され、明瞭度が最も向上したと考えられる。

一方、母音/i/の女声のホルマント分布は、F1 が 0.2~0.4 kHz、F2 が 2.4~3.2 kHz となっており、F1 と F2 の分布ははっきり分かれている。そのため、もともと F1 による F2 以上の高域へのマスキング効果が他の先行母音の場合に比べて小さく、分割周波数を F1 と F2 の間で変化させても明瞭度にはっきりした影響が現れなかったものと思われる。

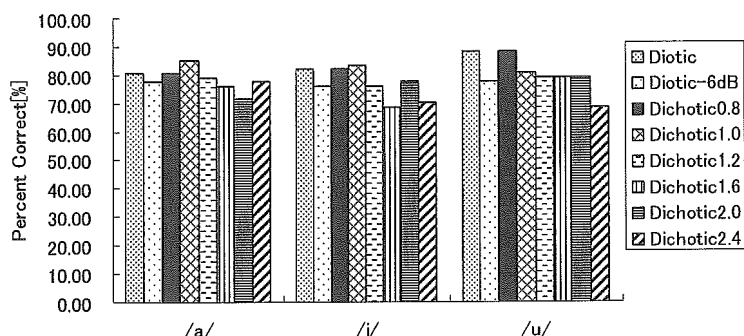


図 11 聴取者 L1 の明瞭度試験結果

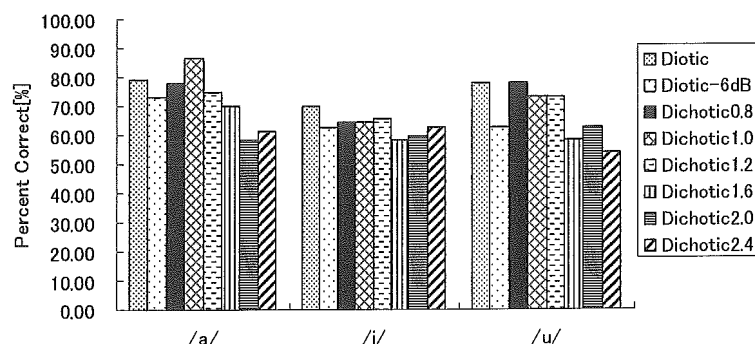


図 12 聴取者 L2 の明瞭度試験結果

5) 時間と強さの交換作用を用いた正面方向からの音信号の定位精度の向上

両耳間時間差と定位角度の関係の結果を図13、図14に示す。

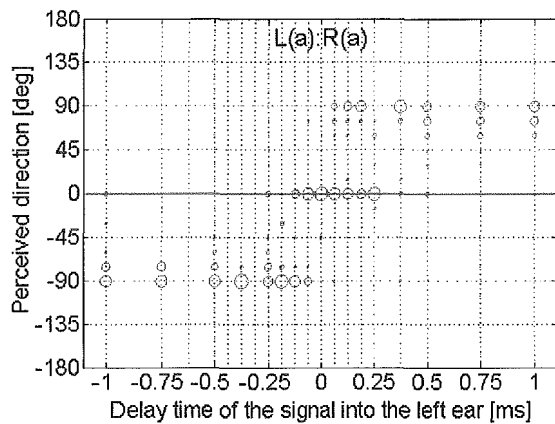


図13 両耳間時間差と定位角度（非分離聴条件）

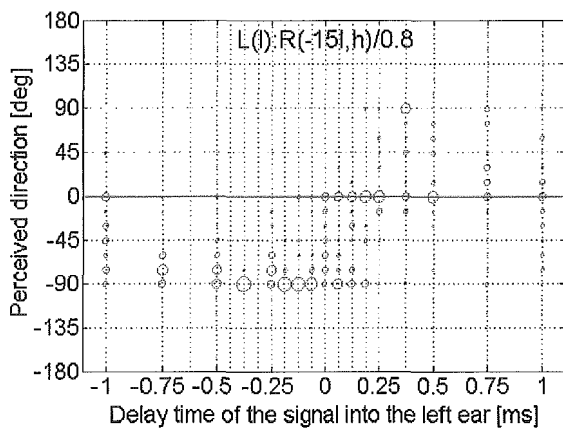


図14 両耳間時間差と定位精度（両耳分離補聴条件）

図13は、提示音声に分離補聴処理を行わず、両耳に時間差を加えて提示した場合、図14は、同じ被験者で両耳分離補聴処理を加えて時間差提示を行った場合の結果である。左耳に低周波数帯域成分を、右耳には高周波数帯域成分に低周波数低域成分減衰量15 dBで加えたものを提示している。

両耳間時間差の変化に伴い、音像の知覚角度が変化していることが観察できる。図13、14の正中音像(0度)に対する定位を比較すると、両耳分離補聴条件では、両耳間時間差がない場合、左右耳の入力信号レベルのバランスが偏ることで、音像が低域側(左側)に知覚されているが、左入力信号の遅延を0.25 ms程度に設定すると正面方向に定位できるようになることがわかる。また、両耳間時間差が大きくなると、

回答のばらつきが増している。これは、一つの音像に感じなくなるなど、音像が分離して知覚されている可能性が考えられる。

6) 両耳分離補の効果に与える、被験者(難聴者)の聴覚特性の影響

①両耳分離補聴による語音明瞭度

本項目に参加した被験者(難聴者)の明瞭度試験結果を図15に示す。図の横軸は聴取者、縦軸は正答率である。

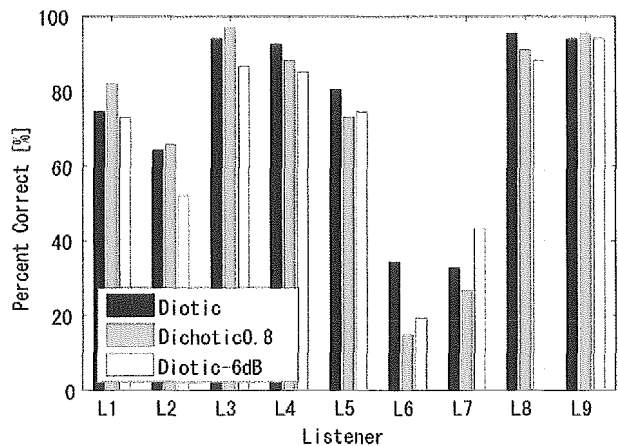


図15 被験者ごとの明瞭度試験の結果

②両耳分離補聴効果と順向性マスクング

図16に被験者ごとの信号遅延とマスクング量の関係を示す。

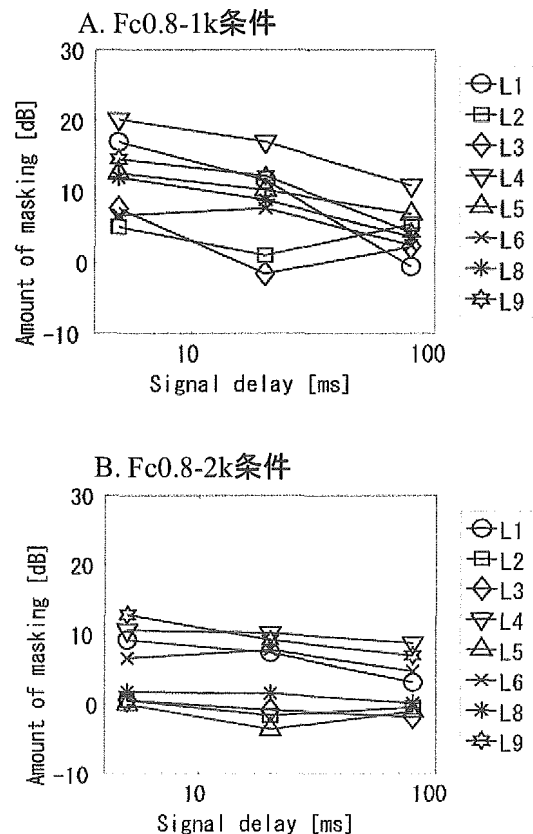


図16 信号遅延とマスクング量の関係

横軸は masker 提示終了後信号音が提示されるまでの delay 時間で、縦軸はマスキング量、すなわち信号音に対する閾値上昇効果である。masker が 800 Hz Low pass noise であり、マスキング効果は、Fc0.8-1k 条件で大きくなっている。また、delay 時間の延長と共に、マスキング量は減少するが、その関係は Fc0.8-1k 条件でより顕著である。

ここで、両耳分離補聴による明瞭度の変化量 (Dichotic0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差) と順向性マスキング量との相関を検討したが、Fc0.8-1k 条件の信号遅延 80 ms においてのみ相関が認められた ( $r = -0.674$ ,  $p < 0.05$ )。

次に、マスキング量の時間的変化が大きい Fc0.8-1k 条件に着目し、時間変化に伴うマスキング量の変化率と明瞭度の変化量との相関係数を算出した。マスキング量の変化率は、最小 2 乗法による近似直線の傾きとした。

被験者ごとの近似直線の傾きを表 2 に示す。

聴取者	傾き [dB/ms]	決定係数 $R^2$
Listener 1	-0.226	0.987
Listener 2	0.025	0.163
Listener 3	-0.033	0.082
Listener 4	-0.119	0.977
Listener 5	-0.071	0.946
Listener 6	-0.065	0.868
Listener 8	-0.105	0.962
Listener 9	-0.137	0.999

表 2 最小 2 乗法による近似直線の傾きと決定係数

その結果、全症例を対象にした場合は、マスキング量の時間変化率と明瞭度の変化量との相関は認められなかったが ( $r = -0.301$ ,  $p > 0.05$ )、聴取者 8 名のうち masker の周波数領域 (0.8 kHz 以下) の聴力損失が他の聴取者に比べ大きく、マスキング量が少なく表れた可能性がある Listener 2, 3, 6 (左右耳, 125~500 Hz において Listener 2: 45~50, Listener 3: 55~60, Listener 6: 40~60 dB HL, Listener 1, 4, 5, 8, 9: 10~30 dB HL) の 3 名を除く 5 名分のデータから再度相関係数を算出すると、強い相関が認められた ( $r = -0.968$ ,  $p < 0.01$ )。

これは、時間の経過とともにマスキング量が急激に減少する難聴者ほど、両耳分離補聴効果が得られることを意味している。

一般に、信号遅延がおよそ 20 ms 以下では、蝸牛応答の時間的な重なりがマスキングの主要な要因と考えられている。一方、信号遅延が 80 ms になってもマスキング量が多く見られる場合、蝸牛より中枢側の聴神経など後迷路における活動の残存など、蝸牛基板以外の部位におけるマスキングメカニズムの関与が大きいことが推察される。

したがって、マスキング量が急激に減少する、あるいは遅延時間 80 ms におけるマスキング量が少ない難聴者ほど両耳分離補聴効果が得られるという今回の結果は、蝸牛基板以外における神経活動が残っていないほど、すなわち外有毛細胞を中心とした内耳性難聴で、後迷路障害が軽微な症例ほど補聴効果が得られる可能性が考えられる。

### ③両耳分離補聴効果と聴覚フィルタ幅との相関

ノッチ幅測定の測定結果を図 17 に示す。

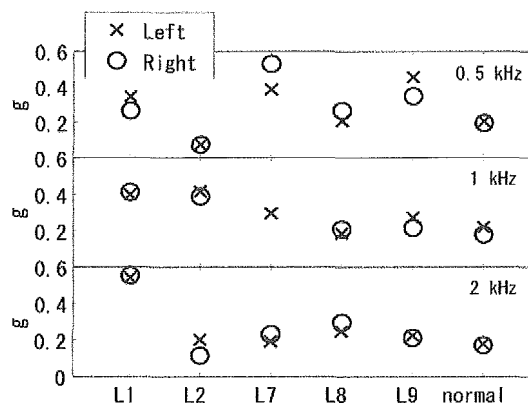


図 17 各被験者の測定周波数ごとのノッチ幅 (上段より、0.5 kHz、1 kHz、2 kHz) 縦軸は、ノッチ幅、横軸は被験者。5 人の難聴被験者と 1 名の健聴者のデータを示す。

Listener 1 の右耳、 $f_c$  が 2 kHz における測定では 3 回中 1 回、Listener 7 の右耳、 $f_c$  が 1 kHz における測定では 3 回中 3 回ともノッチ幅が最大値 0.6 となってもプローブ信号の知覚がなされなかったため、Listener 1 については測定できた 2 回分の平均値をその条件での域値とした。

次に、ノッチ幅と両耳分離補聴効果の関係を検

討するために、プローブ周波数ごとに左右耳のノッチ幅の平均値と明瞭度の変化量 (Dichotic0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差) の相関係数を算出した。

図 18 にノッチ幅  $g$  と両耳分離補聴による明瞭度の変化量の関係を示す。

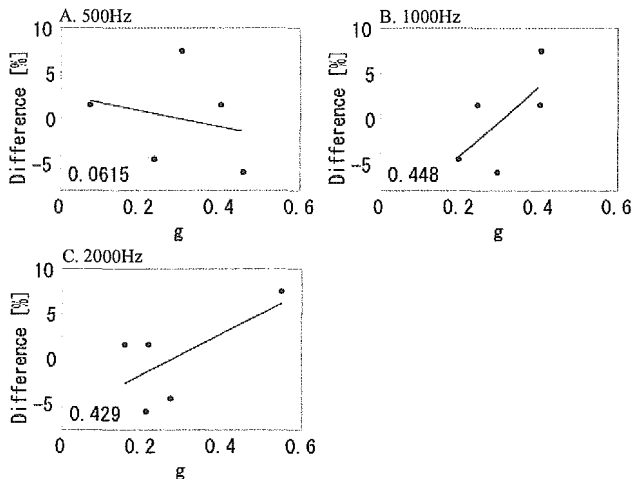


図 18 ノッチ幅  $g$  と両耳分離補聴による明瞭度の変化量の関係 (縦軸: Dichotic0.8 条件の明瞭度と Diotic 条件の明瞭度の差、横軸: ノッチ幅)

図中の直線および数値は、それぞれ最小 2 乗法による近似直線、決定係数である。いずれの周波数においても両者の間に相関は見られなかった。

続いて、両耳分離補聴による明瞭度の変化量を従属変数  $y$ 、0.5、1、2 kHz におけるノッチ幅を独立変数  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  とする重回帰分析を行い、以下のような回帰式が得られたが、

$$y = -11.17 - 5.3x_1 + 24.57x_2 + 18.36x_3 \quad (R^2 = 0.666)$$

重回帰分析においても、有意水準 5% で有意な回帰式は得られなかった。

したがって、本測定結果からは 0.5、1、2 kHz における聴覚フィルタ幅が両耳分離補聴における明瞭度の変化量に寄与しているとは言えなかった。本測定は聴取者が 5 名であるため、独立変数を 3 とした重回帰分析を行うには最低限のモデル数である。また、相関について調べるにもまだサンプルが少ないことから、サンプル数を増やし再度分析を行う必要があると考えられる。

## 7) 視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討

### ① VCV 音節における読唇効果の検討

健聴者、難聴者での明瞭度試験結果を図 19 に示す。

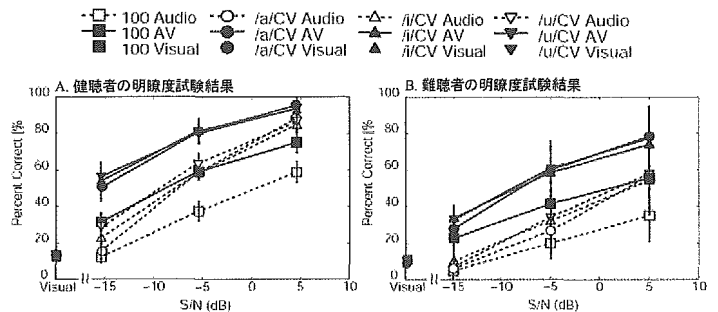


図 19 健聴者 (A)、難聴者 (B) における明瞭度試験の結果。横軸は、S/N 比、縦軸が正答率

100 は単音節 100 語、/a/CV、/i/CV、/u/CV はそれぞれ、100 音節に/a/、/i/、/u/が先行母音としてそれぞれ付加した無意味 VCV 音の結果を示す。

図 19 からは、V (視覚) 条件での明瞭度は健聴者、難聴者ともほとんど変わらないのに対し、A (聴覚) 条件、AV (聴覚・視覚) 条件では、健聴者の方が難聴者に比べ明瞭度が高くなっていることが分かる。

各条件間の明瞭度の差をより詳しく分析するために、全ての刺激音において、A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇分を算出し、その値から読唇情報の効果について検討を行った。各刺激音での A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇分を図 20 に示す。

まず、健聴者において、聴取者を繰り返し要因とし、刺激音と S/N の 2 要因、 $4 \times 3$  水準の分散分析を行った。その結果、刺激音と S/N の交互作用が有意となった ( $F(6, 54) = 12.57$ ,  $p < 0.01$ )。そこで、各 S/N において刺激音の単純主効果を検定したところ、S/N - 15 dB で刺激音の単純主効果が有意となった ( $F(3, 27) = 13.61$ ,  $p < 0.01$ )。この条件において、Bonferroni 法による多重比較検定を行ったところ、各 VCV 音と単音節の差が有意となった ( $/a/CV = /i/CV > /u/CV > 単音節$ ,  $p < 0.01$ )。

一方、難聴者でも同様の分散分析を行った結果、S/N - 15 dB で /u/CV が単音節よりも有意に大きいことが示された ( $p < 0.01$ )。

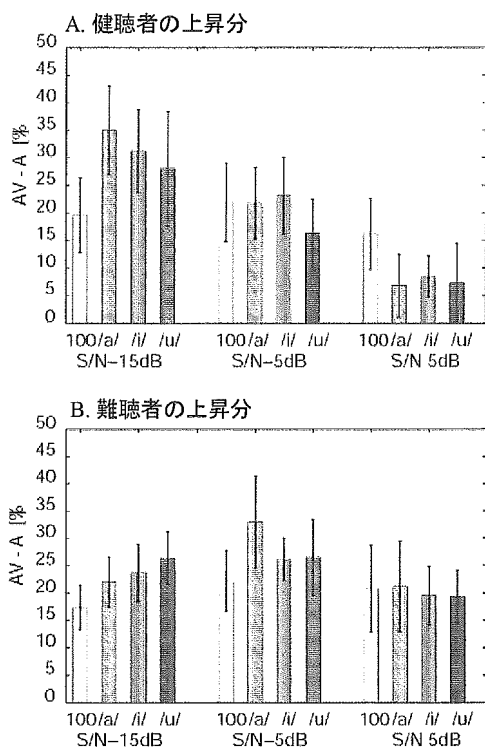


図 20 A 条件から AV 条件への明瞭度の上昇

以上のことから、特に音声情報取得が困難な低 S/N の環境では、健聴者、難聴者ともに、先行母音が存在することで、読唇情報の音声情報聴取に対する効果が顕著になることが示された。

また、明瞭度試験結果に対する読唇情報の影響を詳細に検討するために、各子音の聴き取りにおける読唇情報の寄与を次に分析した。

読唇情報の影響が特に大きいと思われる唇音群、唇音+/y/群と、母音・/h/群について、S/N が-15 dB における各刺激音での情報伝達率の変化を図 21 に示す。

まず、図 21 (A, D) を見ると、唇音群 (/m/, /b/, /p/) の聴き取りでは、健聴者、難聴者ともに、読唇情報を付加することにより、情報伝達率が増加していることが分かる。唇音群は調音位置が唇にあり、読唇情報により唇音であるか否かの区別が付きやすい。したがって、読唇情報が付加したことで、唇音であるという手がかりが増加し、情報伝達率が上昇したと考えられる。

次に、図 21 (B, E) を見てみると、唇音群と同じく唇が調音位置である唇音/y/群 (/my/, /by/,

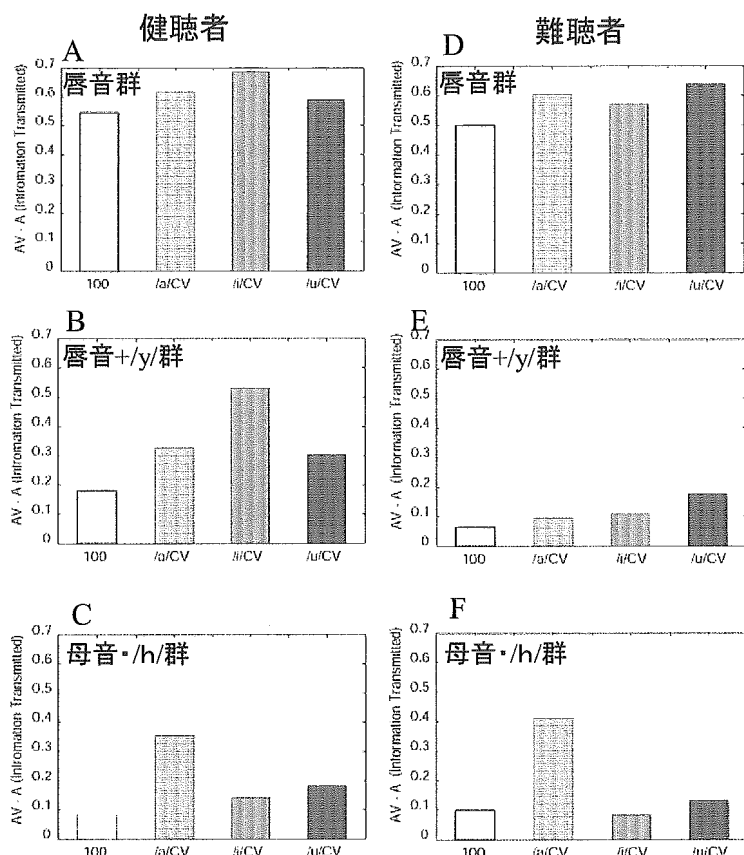


図 21 A 条件から AV 条件への情報伝達率の上昇分 (S/N -15dB)

/py/) では、健聴者と難聴者で情報伝達率の変化が異なっている。健聴者では、読唇情報を付加することにより、特に無意味 VCV 音で情報伝達率が上昇している。しかし、難聴者では健聴者ほど情報伝達率は上昇せず、単音節での上昇分と同程度となっている。これは、難聴者では拗音自体の正答率が低いことが原因として挙げられる。拗音であるという情報はほとんどが音声情報から取得される。健聴者では、読唇情報から唇音であるという情報が、音声情報から拗音の情報が得られ、両者の効果により情報伝達率が上昇したと考えられる。しかし、難聴者では、拗音であるという音声情報が取得困難であるため、読唇情報が付加されてもそれほど情報伝達率が上昇しなかったと考えられる。

最後に、調音点が唇でないクラスター群である母音・/h/群 (母音, /h/) の分析結果を、図 21 (C, F) を元に考察する。この図を見ると、/a/ CV 音では、健聴者、難聴者ともに読唇情報により情

報伝達率が大きく上昇している。/a/は日本語母音の中でも口を開いて発声する。したがって、/a/に続く音の発声において、口の動きがよりはっきりと見えるようになり、情報伝達率が上昇したと思われる。

以上のことから、特に唇音において読唇情報の寄与が大きいこと、また、先行母音の違いにより、後続音の聴き取りに対する読唇情報の寄与が異なることが示唆された。

以上より、通常の見聞効果による情報伝達の特徴が明らかになったが、両耳分離補聴における聴覚情報の改善は、逆に特に難聴者の唇音以外の音声情報の改善に寄与し、見聞効果の改善にも寄与しえることが推察された。

## ②市販の補聴器を用いた両耳分離補聴装用感、音像定位感の検討

現在まで、2名の被験者で行った結果では、いずれも、視覚情報の影響により、音像定位感が改善し、左右に分離して入力される感じが低減するという感想を得た。

引き続き、症例を増やして、定量的な解析を行う必要があるが、実際に話者との対面会話では、分離補聴に伴う問題点が視覚情報により、低減されるものと思われた。

## D. 考察

今回の研究では、両耳分離聴による dichotic condition での音声提示が、diotic condition に比べて、言葉の了解度が改善しえる場合があることが示された。

健聴人の場合、背景雑音がない条件下ではその優位性は示されないものの、低域にエネルギーが大きい信号がある条件下では（今回は低域雑音下の音声聴取、並びに相対的低域優位音声聴取）、両耳分離聴の優位性が示されることが明らかとなった。

しかし、本補聴方式の実用化にあたっては、比較的日常的な条件で、難聴者における本補聴方式の有効性を確認する必要がある。そこで、難聴者を対象に、VCV 音節の語音了解度を指標に本補聴方式の有効性を検討していった。その

結果は、先に示したとおりであるが、両耳分離補聴の効果は、提示音条件と分割周波数の関係によって影響を受けることが示された。すなわち、母音に続く CV 音の聴取では、先行母音の第1ホルマント (F1) 近傍の高周波数域側に分割周波数を設定して低域成分と高域成分の2帯域に分割した場合に、両耳分離補聴の補聴効果が大きくなることが示された。

したがって、FFT（フーリエ変換）等を用いて入力信号の周波数成分分析を行い、F1に代表されるような入力レベルの高い周波数成分の高域近傍で左右耳の分割周波数を決定することで、上向性マスキングの影響を最小にした両耳分離補聴方式を実現が可能であると考えられる。

一方、両耳分離補聴の効果は、難聴者の聴覚特性によっても左右されることが示され、特に、先行音によるマスキング効果が遷延化しない難聴耳で効果が大きいことが明らかに示された。この結果は、蝸牛基底板以外における神経活動が残っていないほど、すなわち外有毛細胞を中心とした内耳性難聴で、後迷路障害が軽微な症例ほど補聴効果が得られる可能性が考えられる。両耳分離補聴は、もともと、蝸牛における上向性マスキングの軽減を目的に開発されたものであり、分離補聴の補聴効果発現機序を考えても矛盾のない結果であったと思われる。

通常の両耳聴では、同じ入力信号の左右の耳に到達する時間差や強度差が効果的に利用され、音像定位の重要な手がかりとなっている。一方、両耳分離補聴では、信号の低周波数成分と高周波数成分が別々の耳に提示されるため、時間差や強度差の手がかりが使いにくい。そのため、単純に2帯域に音声分離して提示すると、正面や高周波数提示側の音は、低周波数側に偏る傾向があったが、低周波数成分提示側への音像定位は比較的良好であることが明らかになった。したがって、その音源の方向側の耳に低周波数成分音を提示するように両耳分離補聴の周波数帯域を動的に決定できれば、音声明瞭度だけでなく、音像定位もある程度正しく

行える両耳分離補聴方式が構築可能であることが示唆される。さらに、正中方向の音像に対しては、音像定位における時間と強さの交換作用 (time-intensity trading) を利用し両耳間時間差を適切に設定することで、音像知覚も改善することが示された。すなわち、これらの効果を利用することで、全方向の音像もある程度正しく定位させることが出来る両耳分離補聴方式の構築が可能となる。例えば、マイクロホンアレイ技術などを用いて、音信号の到来方向を事前に推定し、推定された方向側の耳には低周波数成分音を提示し、逆側の耳には高周波数成分音を提示するという方法である。この時、推定された方向が正面方向であれば、低周波数成分側の音信号を数 ms 遅らせることで、正面方向の音像も正しく定位出来るようになるであろう。

また、分離補聴の効果を高める為には、視覚情報の相補的効果の利用も重要である。両耳分離補聴では、情報伝達の改善のために、いわば、非日常的な音声の入力を行っている。ヒトの両耳聴では、左右の入力を合成することもできるが、異なる別の情報として処理することもできる。両耳分離補聴が効果的に作用するには、両耳から入力された音情報が、同一信号のから発せられたという処理がなされる必要がある。その点で、発声視覚情報の同時提示 (実生活では、人の顔を見て話を聞くこと) は、分離補聴の効果を効果的に引き出すものと考えられる。また、先に示された、分離補聴による音像定位の劣化や違和感などの低減にも有効であることは、言うまでもない。

## E. 結論

1) 両耳分離補聴方式は、低域にエネルギーが大きい信号がある条件下で、音声の情報伝達を改善しえるが、その効果は、音信号の分割周波数と、音声、雑音などの信号提示条件に影響を受ける。たとえば、VCV 構造を持つ CV 音知覚では、先行母音の第 1 ホルマントがマスクーとし

ての影響が大きい為、第 1 ホルマントと第 2 ホルマント間の周波数を分割周波数として低域成分と高域成分の 2 帯域に分割した場合に、両耳分離補聴の補聴効果が大きくなる。また、低域に高エネルギーマスクーを提示した場合には、マスクーの高周波数側での分離が効果的になる。

2) 両耳分離補聴では、高周波数提示側や正面からの音像に対する定位が低周波数提示側に偏倚する傾向が出現するが、両耳間時間差を適切に設定することで、音声明瞭度を劣化させずに、音像定位が改善する両耳分離補聴方式の実現できる。

3) マスキング特性との関係では、マスクーによる後刺激効果時間が短い難聴者で大きな両耳分離補聴効果が得られた。これは、両耳分離補聴効果が、内耳基底板上での興奮パターン広がりによるマスキングを軽減させていることを反映しているものと思われ、後迷路性難聴の要素が大きいと効果が期待できない可能性が示唆されるが、この点については、引き続き症例を重ねて検討することを今後の課題としたい。

4) 視覚情報による相補的効果の可能性に関する検討では、視覚情報の提示、すなわち、発話顔画像を聴覚刺激と同時に提示することで、言葉の聞き取りのみならず、音像定位や分離補聴による違和感の軽減されることが示唆された。

5) 効果的な本補聴様式の実用化のためには、周囲環境に応じて分離周波数を可変的に適応させる補聴器ハードウェアの開発が必要であるが、今後の継続研究課題としたい。

## F. 研究発表 (学会発表)

### 1 論文発表

・村瀬他：両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響, *Audiology Japan*, 48 (1), pp. 59-64, 2005.

### 2. 学会発表

・村瀬他, “先行母音のマスキングに着目した

- 両耳分離補聴とその効果”，音講論，  
pp. 401-402, 2004.
- ・中島他，“両耳分離補聴時の帯域分割周波数の違いが音像定位に与える影響”，音講論，  
pp. 403-404, 2004.
  - ・高橋他：異なる周波数成分をもつ信号による  
順向性マスキングの変化，日本音響学会聴覚  
研究会資料，H-2004-98, 563-566, 2004.
  - ・坂本他：難聴者における VCV 音節聴取時の読  
唇情報の影響，電子情報通信学会技術研究報  
告，TL-2004-17, 31-36, 2004.
  - ・Murase *et al.*，“Effect and sound localization with  
dichotic-listening digital hearing aids”，Proc. 18th  
International Congress on Acoustics，pp.  
1519-1522, 2004.
  - ・村瀬他，“両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度  
と方向知覚に与える影響”，信学技報，  
EA-2004-36, 2004.
  - ・村瀬他，“先行母音のホルマント周波数に応  
じた両耳分離補聴分割周波数の検討”，音講  
論，pp. 439-440, 2004.

#### G. 知的財産権の出願、登録状況

##### 1. 特許取得

「音響処理装置」

村瀬敦信，坂本修一，鈴木陽一，川瀬哲明，  
小林俊光

出願日：2004年9月17日

出願番号：特願 2004-272159

(特許の権利については、国立大学法人東北  
大学に譲渡契約(契約書番号 0390-1P1)し  
ている)

##### 2. 実用新案登録

なし.

##### 3. その他

なし.



研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
村瀬敦信、坂本修一、中島史絵、鈴木陽一、川瀬哲明、小林俊光	両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響	Audiology Japan	48	59-64	2005

## 両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響

村瀬 敦信<sup>1,3)</sup>, 坂本 修一<sup>1)</sup>, 中島 史絵<sup>1)</sup>

鈴木 陽一<sup>1)</sup>, 川瀬 哲明<sup>2)</sup>, 小林 俊光<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究科

<sup>2)</sup>東北大学大学院医学系研究科耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野

<sup>3)</sup>松下電器産業株式会社

要旨：感音難聴者では周波数選択性、時間分解能が低下する。特に周波数選択性の低下が生じると、低周波数帯域成分による高周波数帯域成分のマスクング（上向性マスクング）の影響が増大することが予想される。これに対する補聴処理として、入力音声を周波数軸上で左右耳に分割し提示する両耳分離補聴がある。本論文では先行母音による後続子音へのマスクングの低減を目的として、先行母音のホルマント周波数を考慮した2帯域分割両耳分離補聴の効果を検討した。分割周波数および騒音付加条件を変えた場合の明瞭度の変化を分析した結果、先行母音が/u/である女声 VCV 音節を用いた明瞭度試験において、(1) /u/のホルマント F1 と F2 の間となる800Hz で分割した場合、明瞭度が改善される (2) 騒音付加による S/N の変化により明瞭度が変化し、騒音が少ない環境下で明瞭度の向上効果が高いことがわかった。

－キーワード－

両耳分離聴, 感音難聴, 上向性マスクング, 音声明瞭度

### はじめに

感音難聴耳では周波数選択性や時間分解能などの聴覚特性が低下する。特に周波数選択性の低下が生じると、低周波数帯域成分による高周波数帯域成分へのマスクング（上向性マスクング）の影響が増大すると予想される。この上向性マスクングの影響の低減を目的として、周波数スペクトル上の山谷のコントラストを強調する方法<sup>1)</sup> や、臨界帯域幅毎に中心周波数方向へ帯域を圧縮する方法<sup>2)</sup> などいろいろな補聴方式が提案されている。その一つとして、入力音声を周波数軸上で相補的に分割し、左右耳に別々に振り分け提示する両耳分離補聴（Dichotic 受聴）方式が提案されている。この方法は、入力音とその音の上向性マスクングの影響を受ける周波数帯域を左右耳に分けて提示することで、周波数帯域間のマスクングを軽減し、両耳合成能を用いることで明瞭な

音声の聴取を可能とする方法である。実際に、2帯域分割<sup>3)</sup> から臨界帯域幅に即した18帯域分割<sup>4,5)</sup> などが試みられ、いくつかの例では、有効性も示されている。しかし、両耳分離補聴については分割周波数や帯域幅などの最適な分割条件、あるいは騒音環境下での効果などについて、先行研究でも見解が一致していない点も多く、まだ十分明確になっていない。

本研究では、通常音声で最も強い成分である第1ホルマントに着目し、それによるマスクングが、高次ホルマントや後続子音に与える影響を両耳分離補聴によって低減させたときの効果について調べることとした。そのため、第1次ホルマント成分と他成分の分離を目的とした2帯域分割に限定して検討を行うこととした。そして、分割周波数と騒音付加のレベルとを変化させた条件下において VCV 音節明瞭度の変化を調べ、ホルマントを考慮した最適な分割帯域について検討した。

表1 症例データ

症例	性別	年齢	MCL [dBA]	平均聴力レベル (4分法) (L,R) [dB]
A	女	69	60.0	(37.5, 32.5)
B	男	64	70.0	(41.3, 46.3)
C	女	66	76.0	(53.8, 52.5)
D	男	71	76.5	(61.3, 71.3)

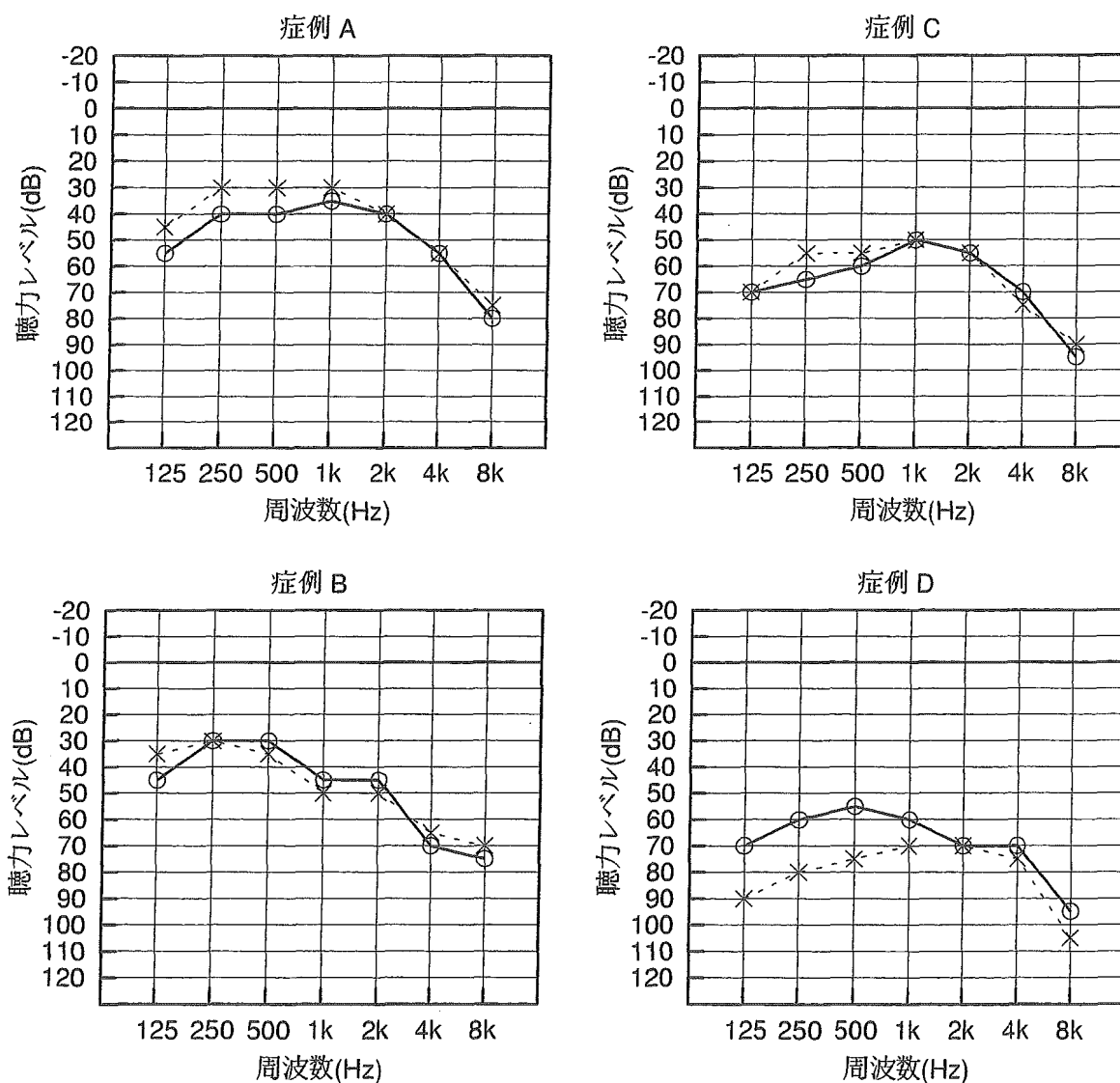


図1 オーディオグラム

## 対象

対象は60歳以上の感音難聴者4名(男性2名, 女

性2名, 64~71歳)である。どの症例も日常的に補聴器を使用していない。4症例のデータを表1に、オーディオグラムを図1に示す。

表2 両耳分離補聴処理分割パターン

パターン	左	右	遮断周波数 [kHz]
Diotic	APF	APF	-
Diotic-6dB	APF	APF	-
Dichotic 0.8	LPF	HPF	0.8
Dichotic 1.6	LPF	HPF	1.6

表3 騒音付加条件

条件	騒音の種類	S/N[dB] ( $L_{Aeq}$ )	S/N[dB] ( $L_{eq}$ )
quiet	-	-	-
speech 4dB	擬似音声 スペクトル騒音	4.0	4.0
speech 0dB	擬似音声 スペクトル騒音	0.0	0.0
road 4dB	高速道路走行時の車室内 騒音	4.0	-12.7
road 0dB	高速道路走行時の車室内 騒音	0.0	-16.7

## 方法

分割周波数および騒音付加条件を変えた場合の明瞭度の変化について音声明瞭度実験を実施した。

実験は東北大学電気通信研究所内の防音室で行った。音声刺激は先行母音が/u/で始まり、後続音が拗音を除く67音節のVCV音67個である。これらの刺激音を、発話訓練の経験のある女性1名に発声させ、サンプリング周波数48kHzで収録したものを使用した。両耳分離補聴処理受聴条件(Dichotic)では、分割周波数として/u/のF2の下限および上限<sup>7)</sup>となる0.8, 1.6kHzの2種類を設定し、VCV音を高域通過フィルタ(HPF)、低域通過フィルタ(LPF)により2帯域に分割した。通常の両耳聴受聴条件(Diotic)では前記HPFおよびLPFの代わりに全域通過フィルタ(APF)を用いた。ここでラウドネスの両耳加算効果を考えると、両耳に同じ音を与えたときの音の大きさは、各耳に与えた音の音圧レベルを約6dB高くしたものを片耳で聴いた場合の音の大きさと等しくなることが知られている<sup>8)</sup>。そこで、刺激音のラウドネスをDichoticとほぼ等しくすることを目的として、レベルを6dB低くしたパターン(Dichotic-6dB)を加えた。

また、騒音付加条件として、擬似音声スペクトル雑音<sup>9)</sup>と高速道路走行時の車室内騒音の2種類を設定した。S/NはそれぞれA特性を通じた条件で4dB, 0dBとなるよう調整した。

これらの音声を、ヘッドホン(Sennheiser HDA-200)で聴取者に提示した。刺激の提示音圧は聴取者ごとのMCL(Most Comfortable Level)とし、騒音なしで両耳に同じ音声を提示した際に決定した。

刺激の提示時間間隔は3sとし、聴取者には音声が聞こえた通りに回答用紙に記述するよう教示した。

## 結果

図2は、周波数分割条件および騒音付加によるS/Nが変化した場合の明瞭度に関する実験結果である。各症例の明瞭度試験結果および全症例の明瞭度試験結果の平均値を示している。同図より、Dichotic0.8は他のパターンより明瞭度が高く、Dioticと比較して騒音なし(quiet)で9%ほどの明瞭度向上がみられていることが分かる。しかし、騒音付加によりS/Nが低下するに従って明瞭度の向上効果が少なくなっている。一方、Dichotic1.6は全体的に他パターンより明瞭度が低い結果となった。また、聴取者を繰り返しとして、分割条件および騒音付加条件を2要因とする分散分析を行った結果、2要因の交互作用は有意でなく、主効果は有意であった。 $(p < .01)$ そこで、Bonferroniの補正を用いたt検定による多重比較を行ったところ、Dichotic0.8はDiotic-6dB, Dichotic1.6よりも有意に高く、一方で、Dichotic1.6はDioticよりも有意に低かった $(p < .05)$ 。

## 考察

実験の結果から、分割周波数の違いにより明瞭度に変化し、分割周波数0.8kHzの場合が最も良好であり、Dioticと比較して明瞭度が向上する傾向が示された。この結果をホルマント分布に照らして考察する。母音/u/のホルマント周波数はF1が0.2~0.5kHz, F2が0.8~1.6kHzに分布することが知られている<sup>7)</sup>。実験に用いた音声信号について短区間フーリエ変換による簡易的な周波数分析を行った結果、F1, F