

両耳分離聴が高齢者の方向知覚に与える影響

村瀬 敦信^{1,3)}, 中島 史絵¹⁾, 坂本 修一¹⁾

鈴木 陽一¹⁾, 川瀬 哲明²⁾, 小林 俊光²⁾

¹⁾東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究所

²⁾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

³⁾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キング (上向性マスキング) の影響が増大することが予想される。この周波数帯域間のマスキングを低減し, 明瞭度の向上を図る補聴処理として, 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。ホルマント周波数を考慮した2帯域分割両耳分離補聴について, 分割周波数の違いが方向知覚に与える影響に関する検討を行った。その結果, 両耳分離処理条件により音像定位の傾向が異なることがわかった。健聴者において, 両耳分離処理条件では低域成分提示耳側に音像が片寄る傾向があり, 正面方向からの音源に対して, 低域と高域の2つの音像に分離して知覚されることが示唆された。難聴者では, 個々の聴力特性や両耳分離補聴条件の違いによって, 音像定位知覚に影響を与える可能性が示唆された。

—キーワード—

両耳分離聴, 感音難聴, 上向性マスキング, 音像定位

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のマスキング (上向性マスキング) の影響が増大すると予想される。この上向性マスキングの影響を低減し, 音声聴取時における聞こえの改善をはかろうとするものに, 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¹⁾ や, 臨界帯域幅ごとに中心周波数方向へ帯域を圧縮する方法²⁾ 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, 両耳分離補聴処理方法がある。この方法は, 入力信号を周波数帯域ごとに左右耳にわけて提示することにより, 周波数帯域間のマスキングを軽減し, 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ものであり, さまざまな従来研究によりその有効性が

示されている^{3~5)}。我々も先行母音による後続子音へのマスキ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方式を提案し, 両耳分離補聴が明瞭度向上に有効であることを報告した⁶⁾。

一方, 両耳補聴では人間の音像定位能力を活用し, 音源到来方向知覚による危険音の察知などが有効となる。しかし両耳分離補聴では, 入力信号を周波数帯域ごとに左右耳に分けて提示することから, 両耳への入力信号のバランスが変化し, 音像定位知覚に大きく影響を及ぼすと考えられる。

本報告では前記両耳分離補聴を用いた場合の空間知覚への影響について検討を行った。

対 象

実験に先立って, 実験内容について東北大学電気通信研究所内に設置されている「人間対象の研究に

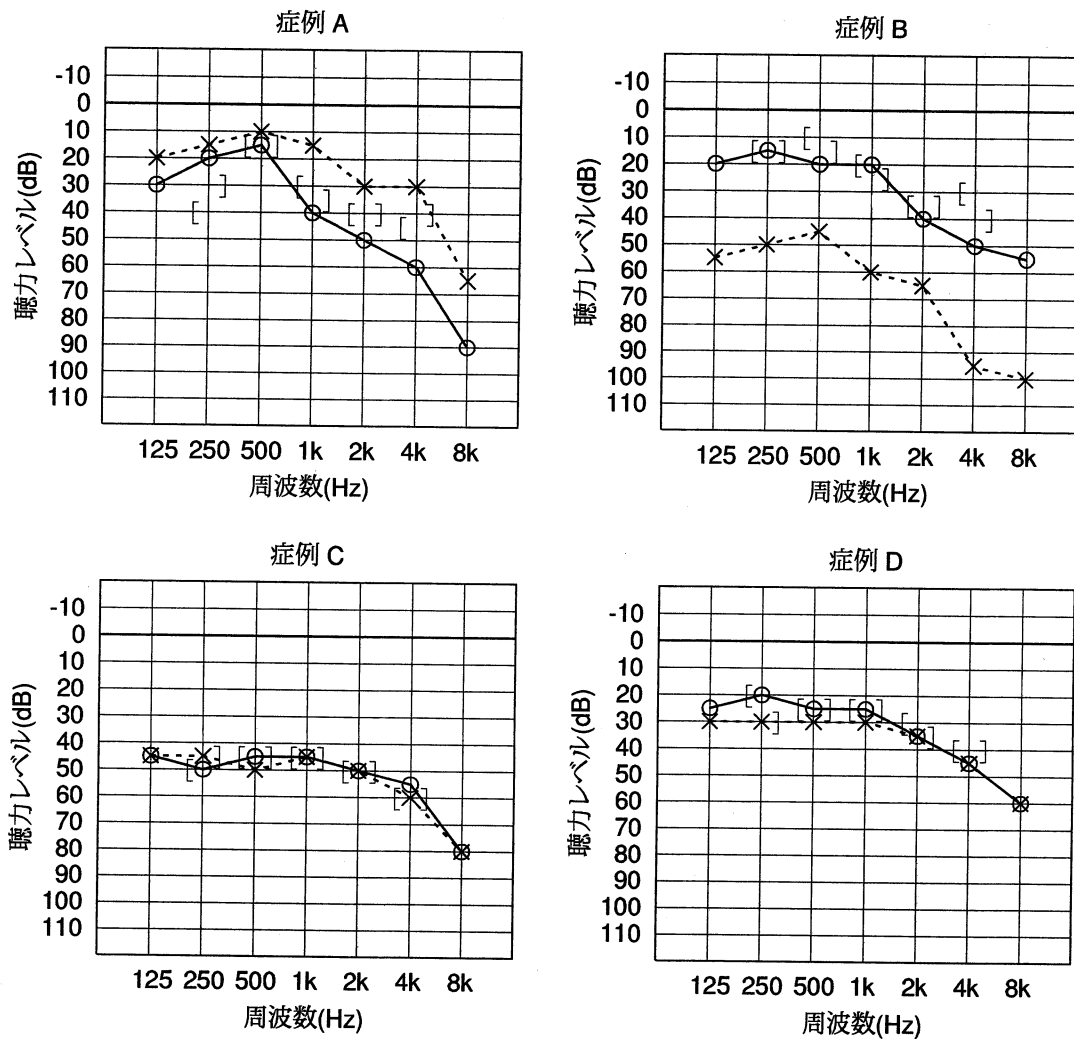


図1 オーディオグラム

表1 症例データ

症例	性別	年齢	MCL [dBA]	平均聴力レベル (L,R) [dB]
A	男	73	62.0	(17.5, 36.3)
B	男	68	64.5	(56.7, 26.7)
C	女	66	73.5	(48.3, 46.7)
D	女	69	63.2	(31.7, 28.3)

関する倫理委員会」で承認を受けた。対象は健聴者6名(22~24歳の男性4名, 女性2名)と高齢難聴者4名である。全ての対象に対し書面および口頭で検査内容に対する十分な説明を行い, 全ての対象から実験への参加に同意する承諾を書面で得た上で実験を行った。いずれの難聴者も日常的に補聴器を使

用していない。4分法に基づく平均聴力レベルを含む症例のデータを表1に, オーディオグラムを図1に示す。なお, 症例Bは左真珠腫性中耳炎の手術既往があり, 左耳に約30dBの気導骨導差を認めた。

方 法

提示刺激は補聴器適合評価用CD(TY-89)⁷⁾に収録された日常生活文リストから抜粋した表2に示す3種類の音声である。この音声に頭部伝達関数を畳み込みこむことで音源方向を模擬した。頭部伝達関数とは, 反射波が全くない空間(自由空間)における, 頭部や耳介の影響を含め, 音源から聴取者の鼓膜までの音の伝達特性を表した伝達関数であり, 人が音像の定位位置を判断するための物理的情報を包含している⁸⁾。本論文で用いた頭部伝達関数は, ダ

表2 実験に使用した音声

おふろがわかしてありますよ
家の前をはいてくださいな
電話でタクシーを呼びましょう

表3 両耳分離補聴処理分割パターン

分割パターン	左	右	遮断周波数 [kHz]
L(a):R(a)	APF	APF	-
L(l):R(h)/0.8	LPF	HPF	0.8
L(l):R(h)/1.6	LPF	HPF	1.6
L(h):R(l)/0.8	HPF	LPF	0.8
L(h):R(l)/1.6	HPF	LPF	1.6

ミーヘッド（高研，SAMRAI）により測定されたもので、正面0度、左右前方斜め45度、左右真横90度の全5方向である（以降、右側を正、左側を負として表現）。この頭部伝達関数をサンプリング周波数48kHz、時間応答長256タップのFIRフィルタとして、音源信号に畳み込み演算することで、両耳位置における各方向からの到達音を作成した。その後、表3に示す条件で両耳分離補聴用のフィルタ処理を行った。表3中のa, h, lはそれぞれ全域通過フィルタ（APF）、高域通過フィルタ（HPF）、低域通過フィルタ（LPF）を表す。

両耳分離補聴条件（Dichotic）では、0.8kHzと1.6kHzの2種類を分割周波数とし⁹⁾、音声を高域通過フィルタ、低域通過フィルタにより2帯域に分割した。これらフィルタ処理を計算機上で実施し、実験に用いる音声刺激を予め作成した。

実験は東北大学電気通信研究所内の防音室で行った。3種の音声、5種の音源方向、5種の分割パターンの組み合わせ（75条件）について、音声刺激をTucker-Davis Technologies（TDT）System IIIを用いて、ランダム順序でそれぞれ10回ずつ、ヘッドホン（Sennheiser HDA-200）により聴取者に提示した。およそ2秒の音声刺激を提示後、健聴者は5秒、難聴者は8秒の回答時間を設定し、15回の試行

に分けて実施した。音声提示音圧はMCL（Most Comfortable Level）とし、聴取者には音声が聞こえてきた方向を回答するように教示した。聴取者によって記入された回答は、頭部中心を原点とした位置座標で表され、この位置座標から定位角度を求めた。今回使用した頭部伝達関数は本人のものでないため、前後誤判定が発生することが考えられる⁹⁾。そこで、前後誤判定が生じることを考慮し、音像の提示方向と知覚方向が耳軸をはさんで逆の場合には、知覚された音像位置について耳軸をはさんで対称に折り返し、頭部前方角度に置換して分析を行った。

結 果

図2および3にそれぞれ全健聴者、全高齢難聴者の結果を示す。図において、円の面積は回答された回数に比例して描かれている。

両図から、健聴者、難聴者ともに両耳分離補聴処理条件によって音像定位の傾向が異なることが確認できる。

全健聴者の結果について、L(a) : R(a)の条件では提示方向と知覚方向がほぼ一致している。一方、両耳分離補聴条件では、ほとんどの分割パターンにおいて、音像の提示位置に関わらず、正面を境に左側と右側の2つの方向に音像が分かれて知覚されており、どちらかというとき音像の提示方向側に分布が片寄っている。

全難聴者の結果について、L(a) : R(a)の条件では健聴者に比べ提示方向の変化による定位角度の変化が少なくなり、知覚方向のばらつきが多くなっている。一方、両耳分離補聴条件では、提示方向に関わらず、全体的に低域成分を提示した側に音像が片寄って知覚される傾向が見て取れる。正面の音源に対しても正面方向ではなく低域側に寄っている。

難聴者ごとの結果を図4から7に示す。これらから難聴者により、両耳分離補聴条件と音像提示方向に対する定位知覚方向が変化するように見受けられる。

次に、正面方向からの音源に対する音像知覚に着目し定位知覚方向結果の分析を行った。日常の会話など正対することが多く、補聴器として実用化する際に正面方向からの到来音源の定位方向知覚が重要

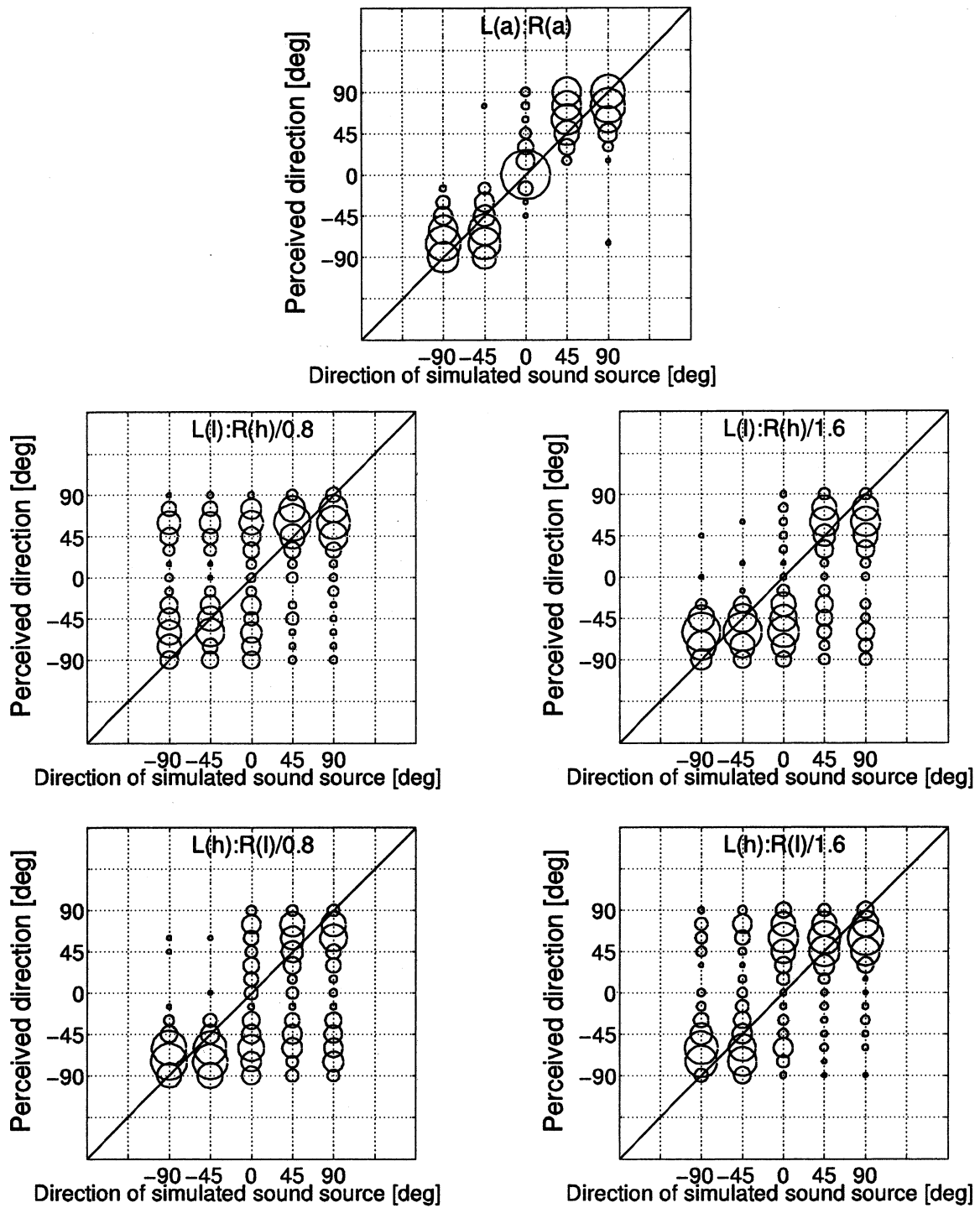


図2 音像定位知覚結果 (全健聴者)

になると考えられる。そこで、正面方向からの提示音が正面以外の方向に知覚された割合を指標とすることとし、音声が正面0度から提示された際に、聴取者の定位知覚角度の絶対値が45度より大きい割合として正面誤判断率なる評価指標を定めて分析を行

った。

健聴者の正面誤判断率について、刺激音声、両耳分離条件を要因とする2要因、 3×5 の分散分析を行ったところ、交互作用は有意でなく、両耳分離条件の主効果が有意であった ($F(4, 20) = 28.55, p$

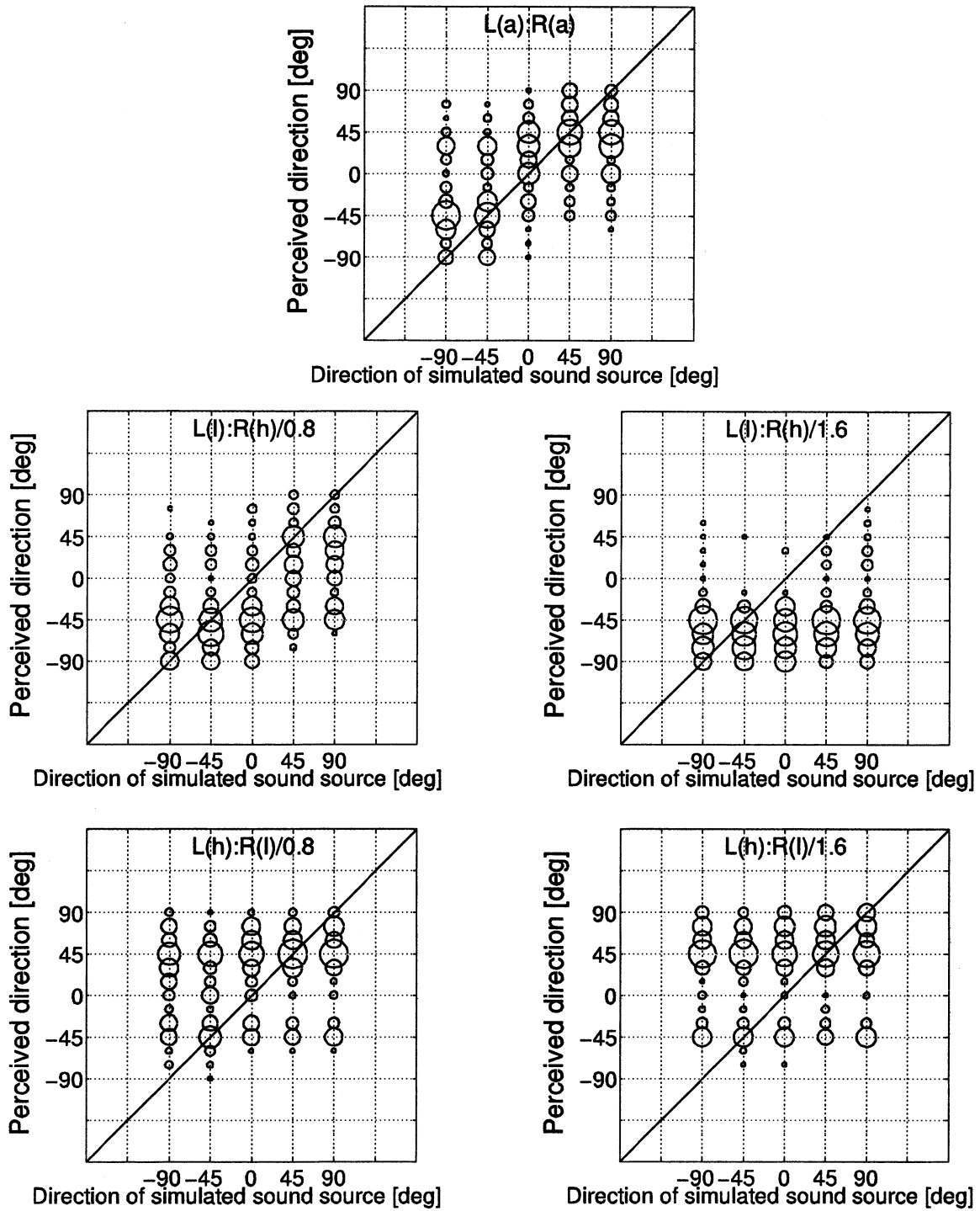


図3 音像定位知覚結果（全難聴者）

<.01)。両耳分離条件の主効果に対して Bonferroni の補正を用いた *t* 検定による多重比較検定 (MSE = 0.047, *p* < .05) を行ったところ, L(a) : R(a) とそれ以外の条件間に有意差が認められた。

また, 難聴者についても同様の分散分析を行った

結果, 両耳分離処理の主効果のみが有意であった ($F(4, 12) = 4.23, p < .05$)。同じく多重比較検定 (MSE = 0.094, *p* < .05) の結果, L(l) : R(h)/1.6 と L(a) : R(a) 間に有意差がみられた。

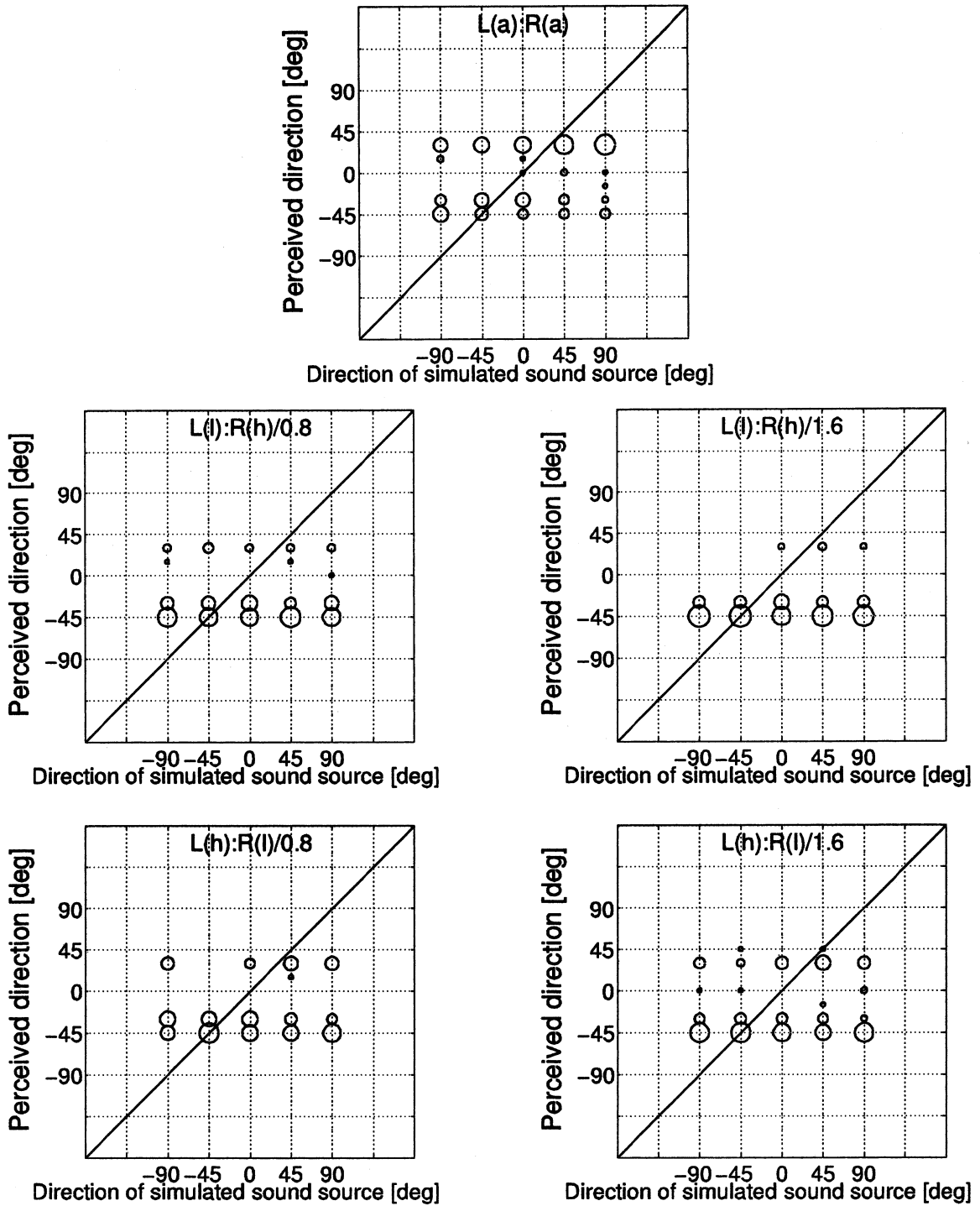


図4 音像定位知覚結果 (症例 A)

考 察

1) 健聴者と難聴者それぞれの全体的傾向

健聴者の結果について、L(a) : R(a)の条件では提示方向と知覚方向がほぼ一致している。一方、両

耳分離補聴条件では、音像提示位置に関わらず、正面0度を境に左右両側に音像が分かれて知覚されている。この理由として、音像が高域成分と低域成分で分離して知覚された可能性が考えられる。また、分散分析の結果から、両耳分離条件では正面から到

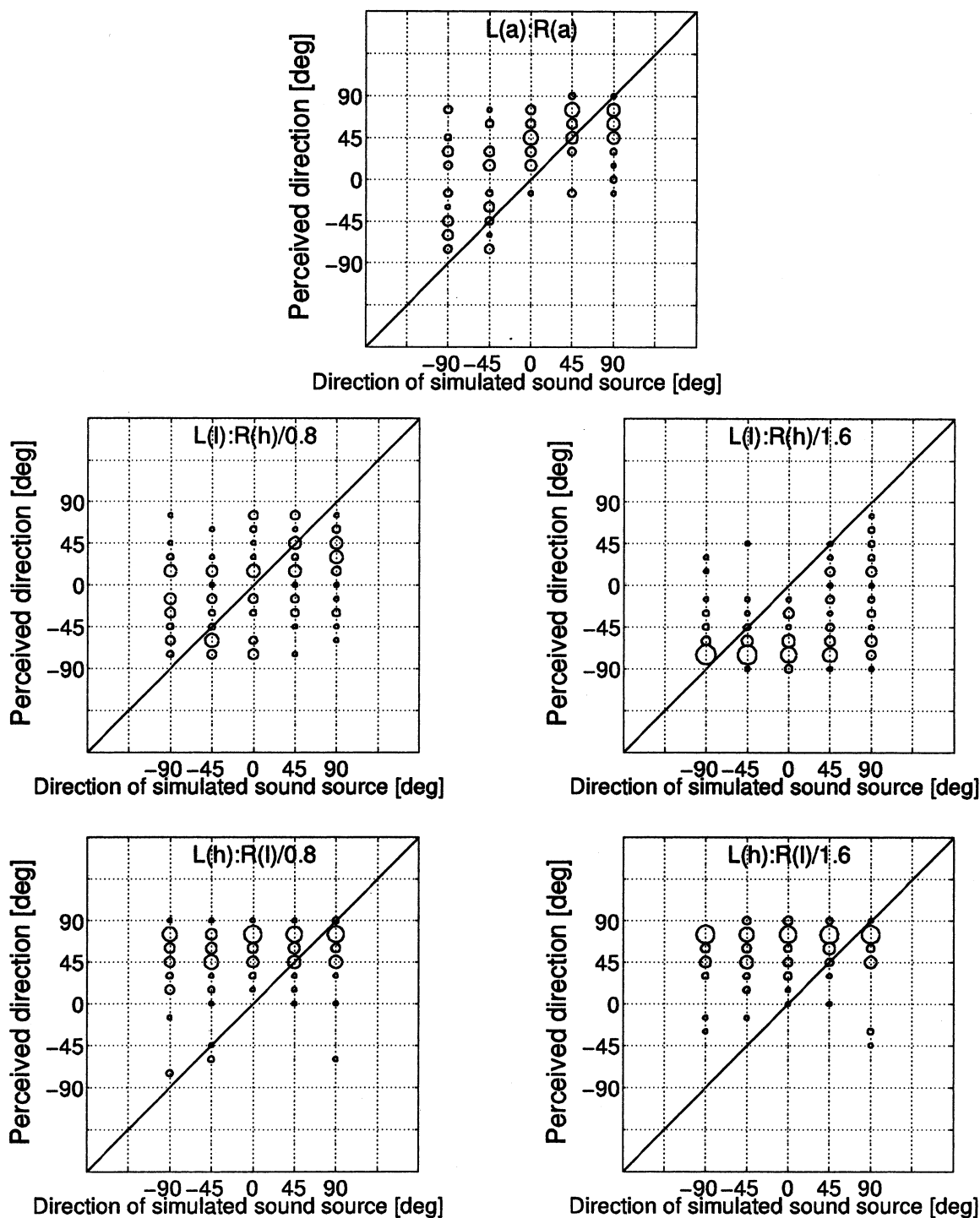


図5 音像定位知覚結果 (症例B)

来する音を正面に正しく知覚することが困難であることが示唆される。

全難聴者の結果について、L(a) : R(a)の条件では全体的に健聴者と比べて知覚方向がばらけており、正面に定位しにくくなっている。さらに両耳分

離補聴条件では、音声提示方向に関わらず低域成分が入力された側に音像が知覚される傾向が見受けられる。これは健聴者では知覚されていた音声の高域成分が、難聴者においては聴力の低下に伴い、両耳間時間差を知覚できるほど十分には聴取できなかった

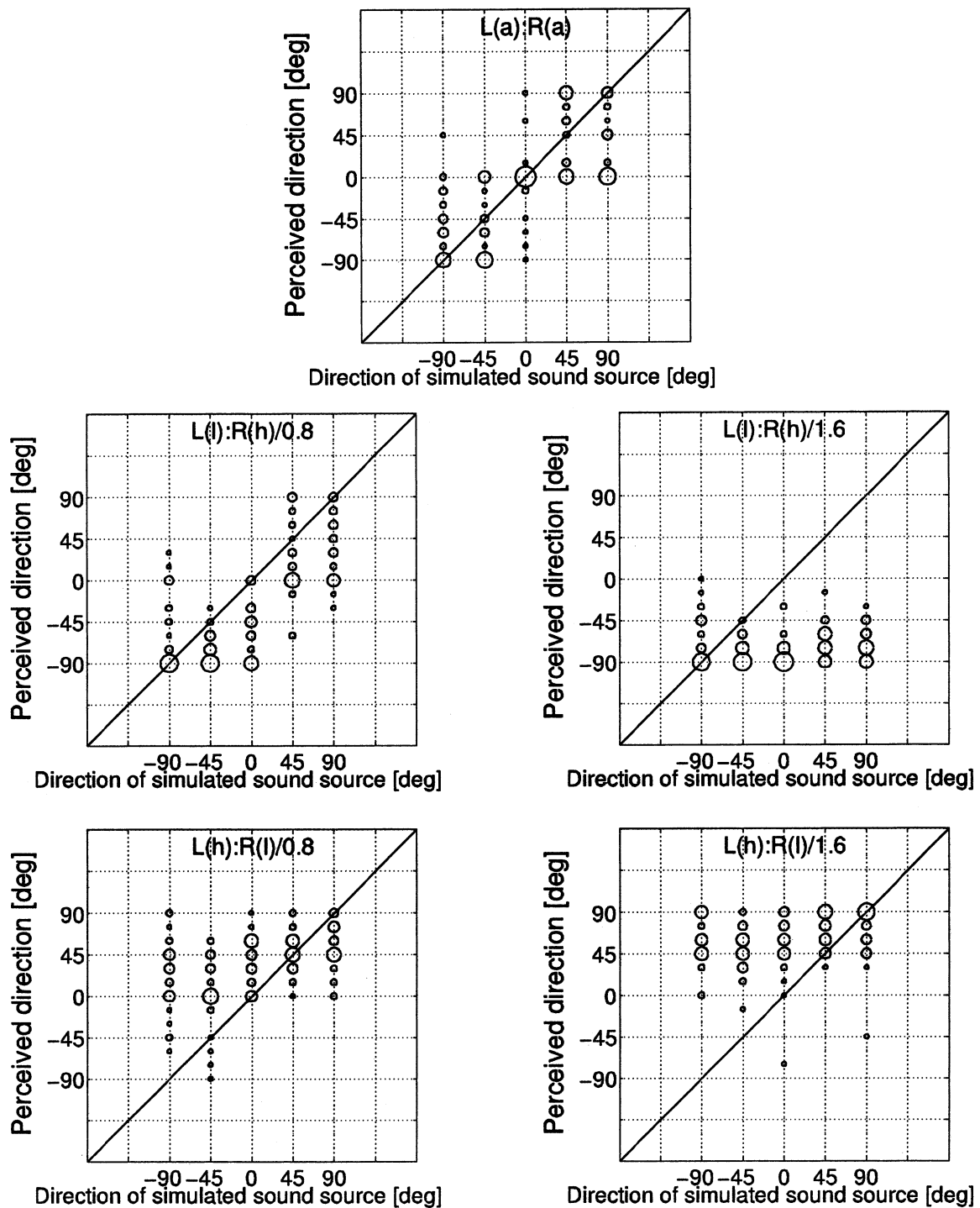


図6 音像定位知覚結果 (症例C)

たためと考えられる。

2) 症例A, 症例Bに関する考察

症例Aでは音源の提示方向に関わらず、音像は左側-45度および右側45度付近に知覚される傾向が見られた。特に左耳に低域成分が入力される場合に

左側に定位する割合が増加していた。これは、症例Aでは右耳の聴力損失が左耳に比べ大きいため、左側に片寄って知覚されたためと考えられる。

症例BではL(a):R(a)において、左側に音像を提示した際には回答がすべての方向にばらついて分

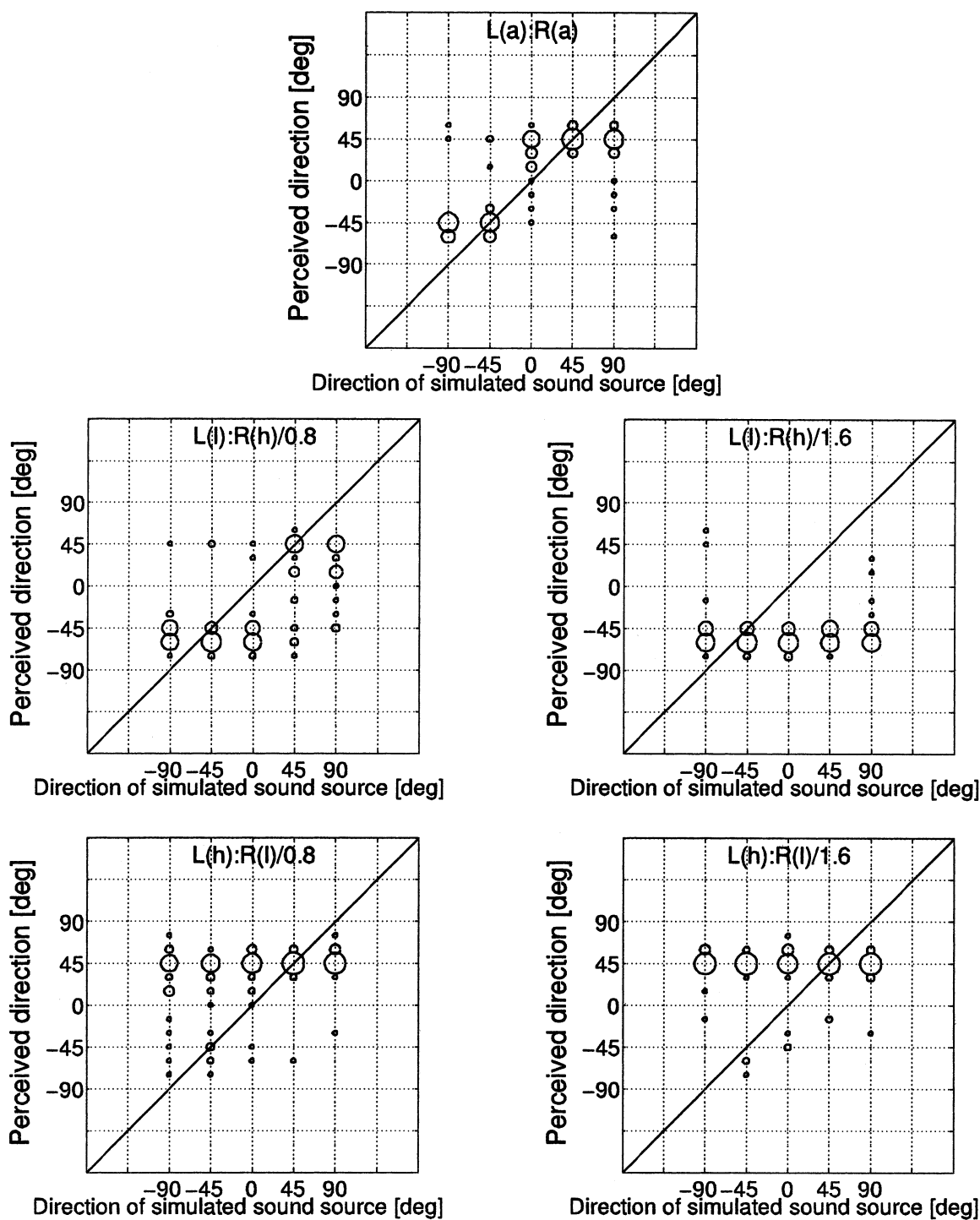


図7 音像定位知覚結果（症例D）

布しているのに対し、右側に音像を提示した際は比較的正しい位置に音像を知覚している。症例Bでは左右耳の聴力損失差がおよそ30dBあり、聴力損失の小さい右側では正しく定位知覚されるが、左側では音源方向による両耳間レベル差が少なくなって

しまうため、知覚方向がばらついたものと考えられる。一方、両耳分離条件では、聴力損失の少ない右側に低域を提示した場合、右側に片寄って音像が知覚されている。

これら二つの症例において共通する点の一つとし

て、左右の聴力損失が異なっていることが挙げられる。このことから考えると、左右耳で聴力損失の程度が異なる場合、両耳分離補聴は定位知覚に大きく影響を及ぼし、聴力のよい片耳に片寄って知覚される可能性が示唆される。

3) 症例 C, 症例 D に関する検討

症例 C, 症例 D では、比較的類似した定位傾向が観測された。

L(a) : R(a) の場合、正面以外の方向から音像を提示した際に、ほとんどの解答が音像を提示した側と同じ側に見られていた。したがって、この 2 名の症例では、左右のどちら側から音像が提示されているかの判別は可能であったと思われる。

両耳分離処理条件では、L(l) : R(h) / 0.8 の場合を除き、ほぼ共通して低域成分が入力された片耳側に主に音像が知覚されるという傾向が見られた。一方、L(l) : R(h) / 0.8 では、正面に音像を提示した場合には、低域成分が入力された片耳側に音像を知覚する傾向が見られるものの、正面以外に音像を提示した場合、L(a) : R(a) の場合と同様に、ほとんどの場合音像を提示した側と同じ側に音像を知覚していた。このことから、L(l) : R(h) / 0.8 の分割パターンであれば、提示方向の左右の違いを判別できる可能性があることが示唆される。

4) 分割周波数についての考察

両耳分離条件の分割周波数の違いに着目すると、1.6kHz で分割した場合に比べ、0.8kHz で分割したものは、高域成分入力耳側へも音像を知覚しているように見受けられる。これは音声スペクトルの分布から、1.6kHz よりも 0.8kHz で分割した方が、高域成分入力耳側への入力成分が増加するため、高域成分側の持つ音像定位の手がかりがより利用可能となったためと考えられる。

分割周波数によって音像定位の傾向が異なることを考えると、明瞭度の観点からだけでなく、音像定位の観点からも、分割周波数を適切に決定することが重要であることが示唆される。

ま と め

両耳分離補聴が有効となる分割条件での音像定位への影響を調べた結果、両耳分離処理条件により音像定位の傾向が異なることがわかった。

健聴者において、両耳分離処理条件では低域成分提示耳側に音像が片寄る傾向があり、正面方向からの音源に対して、低域と高域の 2 つの音像に分離して知覚されることが示唆された。

難聴者では、健聴者に比べて知覚方向のばらつきが多く、個々の聴力特性や両耳分離補聴条件の違いによって、音像定位知覚に影響を与える可能性が示唆された。

謝 辞

本研究の一部は厚労省科研費長寿科学研究事業 (H15 長寿-029) の補助による。

Effect of dichotic presentation on sound localization by the elderly

Atsunobu Murase^{1,3)}, Fumie Nakajima¹⁾, Shuichi Sakamoto¹⁾, Yôiti Suzuki¹⁾, Tetsuaki Kawase²⁾, and Toshimitsu Kobayashi²⁾

¹⁾Research Institute of Electrical Communication and Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

²⁾Departments of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Tohoku University Graduate School of Medicine

³⁾Matsushita Electric Industrial Co., Ltd

Sensorineural hearing loss is commonly accompanied by reduced frequency selectivity and temporal resolution. The reduction of frequency selectivity causes marked disadvantages through masking, particularly masking of middle and high frequency components by intense low frequency components: the so-called upward spread of masking. Splitting the frequency spectrum into two complementary parts to reduce masking between contiguous frequency bands and presenting them dichotically might improve speech intelligibility. We studied sound image localization perceived under dichotic listening conditions. We conducted sound image localization tests using speech samples of daily conversation in six young adults with normal hearing and four elderly per-

sons with impaired hearing. Head-related transfer functions (five directions, non-individualized) were convolved to achieve directivity of the speech samples. The results showed that localization errors varied with the dividing conditions and whether hearing was impaired. The sound image of hearing impaired listeners tended to be located on the side of the low-frequency portion. Normal-hearing listeners tended to perceive two sound images, one of which corresponded to the low-frequency part, and the other to the high-frequency part.

参考文献

- 1) T Bear, BCJ Moore : Evaluation of a Scheme to Compensate for Reduced Frequency Selectivity in Hearing-Impaired Subjects. Modeling sensorineural hearing loss : pp329-341, 1997
- 2) Keiichi Yasu, Masato Hishitani, Takayuki Arai, et al : Critical-band based frequency compression for digital hearing aids. *Acoust Sci & Tech* **25** : 1, 2004
- 3) T Lunner, S Arlinger, and J Hellgren : 8-channel Digital Filter Band for Hearing Aid Use : Preliminary Results in Monaural, Diotic and Dichotic Modes. *Scand Audiol* **S38** : 75-81, 1993
- 4) DS Chaudhari, PC Pandey : Dichotic Presentation of Speech Signal for Reducing the Effect

of Spectral Masking in Bilateral Sensorineural Hearing Impairment. ISSOPA, 1999

- 5) 川瀬哲明, 小林俊光, 坂本修一・他 : 補聴における Dichotic Listening の積極的活用の可能性について。日本音響学会講演論文集 : 515-516, March, 2002
- 6) 村瀬敦信, 坂本修一, 中島史絵・他 : 両耳分離聴が高齢者の音声明瞭性に与える影響。 *Audiology Japan* **48** : 59-64, 2005
- 7) 米本 清 : 補聴器適合評価用 CD(TY-89) の特徴。 *JHONS* **11** : 1395-1401, 1995
- 8) Jens Blauert, 森本政之, 後藤敏幸 : 空間音響 : 鹿島出版会, 1986
- 9) M Morimoto and Y Ando : On the simulation of sound localization. *J Acoust Soc Jpn* **1** : 167-174, 1980

(原稿受付 平成17.10.26)

別冊請求先 〒224-8539 横浜市都筑区佐江戸町600
番地

松下電器産業(株) AV コア技術開発センター

村瀬 敦信

Reprint request :

Atsunobu Murase

Audio Technology Group, AV Core Technology Development Center, Matsushita Electric Industrial Co. Ltd., Saedo-cho, tsuzuki-ku, Yokohama, Kanagawa, 224-8539 Japan

