

発症から長期間経過した一側性難聴者が示す残響下のモノラル受聴における文章了解度の改善と方向性マスキング解除について*

☆辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

1 はじめに

音声は室内で産出されたとき、その一部は直接耳に届く一方、大部分は部屋の壁などの面で反射して我々の耳に到達する。特に聴覚障害のあるヒトにとって、音が反射した成分である残響は音声明瞭度を下げる要因になることが知られている[1]。聴覚障害の中には、片側耳は正常であるが、対耳側に難聴がある場合がある[2]。このような状態を一側性難聴 (UHL; unilateral hearing loss) といい、難聴耳が重度難聴を呈するとき、片側聾 (SSD; single-sided deafness) として区別することもある。

一側性難聴により聴取に困難を要する場面は難聴側聴取・騒音下聴取・音源定位である[3]。騒音下での聴取について、音声とマスクが別の位置にあるとき音声聴取の閾値が改善する。これを方向性マスキング解除 (spatial release from masking; 以下 SRM) という。

SRM の主要な手がかりは両耳聴によってもたらされる[4]。モノラル受聴の SRM は、音声は呈示側に位置したときの信号対雑音比 (以下 SN 比) の改善により説明され[5]、音声は反対側にあるときは、頭部陰影効果が裏目に作用し音声の聴取が困難になる[6]。

残響による音声明瞭度の低下について、self-masking・overlap-masking の影響が指摘されている[7]。長い残響により音声の時間構造が崩れ、先行する音声の残響によって後続の音声はマスキングされる。また、残響は SRM の効果を減少させる[8]。両側の聴力障害者と同様に、一側性難聴者にとって残響は音声明瞭度を下げる要因となるはずだが、残響下の音声知覚や SRM の検討は進んでいない。

そこで本研究では、一側性難聴者の残響下での音声知覚・SRM を検討することを目的として、一側性難聴者と両側聴力正常者のモノラル受聴・両耳聴を対象に、文章了解度と SRM を測定した。

2 方法

一側性難聴者 16 名 (男性 3 名, 女性 13 名; 18~55 歳), 両側聴力正常者 28 名 (男性 10 名, 女性 18 名; 19~27 歳) を対象とした。Table 1 に一側性難聴者の属性を示す。

老化により、50~60 歳を境目に雑音下での聴取能力が低下する[9]。本稿では老化の影響を避けるために、50 歳以上の一側性難聴者のデータは除外した。

分析の対象とした一側性難聴者について、難聴の期間は 11 年~48 年で、先天的発症が 10 名、後天的発症が 3 名であった。難聴側は左が 5 名, 右が 8 名。良聴耳の平均聴力レベル (四分法) は 20 dBHL 以下で、難聴耳の程度は軽度難聴が 1 名, 高度難聴が 2 名, 重度難聴が 2 名, スケールアウト 8 名であった。

2.1 インパルス応答の収録

本研究では上智大学 10 号館講堂の両耳インパルス応答の畳み込みにより刺激音に残響を付与した。収録には 12 面体スピーカ (Brüel & Kjaer, OmniPower 4292) からの swept-sine 信号音源と、3 脚にセットしたダミーヘッド (Neumann, KU 81) を用いた。ダミーヘッドに対する音源の角度を変え、複数のインパルス応答を収録した。畳み込みには正面 (0°) と、左右 ($\pm 35^\circ$) 3 点の両耳インパルス応答を用いた。音源と受聴点の高さは床から約 1.35 m, 距離は約 3.00 m であった。インパルス応答の残響時間は約 1.6 秒であった。

2.2 文章了解度テスト

文章了解度 (speech reception threshold; 以下 SRT) テストでは、ターゲット文章は NTT-AT 音素バランス 1000 文[10]から 1) 話者が男性アナウンサーで、2) 人名を用いないもの、3) 話速が 7.5~9.0 モーラ/秒、4) 4~5 文節の、4 つの条件を満たす 130 文を選択し、20 文のリストを 6 つ、10 文のリストを 1 つ作成した。各文では、文節ごとにキーワードを設定

* Those with longstanding unilateral hearing loss indicate some improvement in release from masking of reverberation and spatial release from masking under reverberation for speech recognition comparing monaural listeners with normal hearing, by TSUJI, Shinya and ARAI, Takayuki (Sophia University).

Table 1 Demographics of the participants with unilateral hearing loss

対象	年齢	難聴の期間	難聴耳	平均聴力レベル		難聴の原因
				(良聴耳)	(難聴耳)	
01	26	26	左	5.00,	SO	不明
02	46	46	右	15.00,	SO	不明
03	37	37	右	7.50,	SO	不明
04	24	24	右	5.00,	78.75	小耳症
05	18	18	左	8.75,	38.75	真珠腫性中耳炎
06	27	27	右	18.75,	SO	アブミ骨形成不全
07	32	32	左	2.50,	SO	不明
08	29	19	左	3.75,	SO	突発性難聴
09	50	16	右	13.75,	SO	突発性難聴
10	29	11	右	3.75,	96.25	突発性難聴
11	55	55	右	21.25,	SO	不明
12	46	46	左	11.25,	SO	不明
13	50	7	右	8.75,	38.75	耳硬化症
14	33	33	右	7.50,	71.25	小耳症
15	26	20	右	17.50,	SO	ムンプス
16	48	48	右	10.00,	92.50	外耳道閉鎖症
平均	36.00	29.06		10.00,	94.77	
(SD)	(11.46)	(14.19)		(5.77)	(25.05)	SO: スケールアウト

した。Praatにより、音声130文の長時間平均スペクトルと白色雑音をマッチさせた speech-shaped noise (以下, SSN) をマスクに用いた。Matlabにより、両耳インパルス応答を畳み込み、刺激音声に残留を付与した。130文の刺激音声は、振幅をRMS正規化し、刺激の立ち上がり立ち下がり10msのコサイン関数による時間包絡を付与した。

One-up / one-down の階段法により、50%閾値[11]でSRTを測定した。実験参加者には呈示した刺激音声の復唱を求め、各文節に設定したキーワードを3つ以上復唱できれば音声の音圧を2dB下げ、復唱できなければ音圧を2dB上げた。音声とマスクのSN比は+10dBからスタートした。音声の音圧が8回増減した後、20回試行を行い、その20回のSN比を平均することでSRTを求めた。テストの前に、10文章リストの音声を使って練習を行った。

SRTは、SRMをみるために2回測定した。1回目はターゲット音声と雑音の両方に同位置(正面, 0°)のインパルス応答を、2回目はターゲット音声に左右(±35°; モノラル受聴では健聴側にした)雑音に正面(0°)の両耳

インパルス応答を畳み込んだ。1回目は6つの20文リストのうち3つを、2回目は残り3つのリストをターゲット音声として用いた。

2.3 手続き

実験は上智大学の防音室で行われた。本稿に関わる手続きは1)紙面によるデモグラフィック要因の収集、2)オーディオメータ(RION, AA-79S)による純音聴力測定、3)文章理解度テストであった(同時にgap検出テスト・メロディ聴取テストを行った)。

刺激音の呈示と回答の正誤・刺激音のSN比の記録にはMatlabのUIを用いた。刺激音はコンピュータからオーディオインタフェース(Roland, Rubix24)を介し、ヘッドホン(SENNHEISER, HDA 300)により呈示した。マスクの等価騒音レベルは65dB(A)とした。両側聴力正常者のうち半数にはヘッドホンにより両側呈示(binaural normal hearing; 以下BNH, n=14)し、もう半数には片側のみ呈示(monaural normal hearing; 以下MNH, n=14)した。MNHの呈示側は左右同数・ランダムに選択した。一側性難聴者(以下UHL, n=13)にはヘッドホンにより両側呈示した。

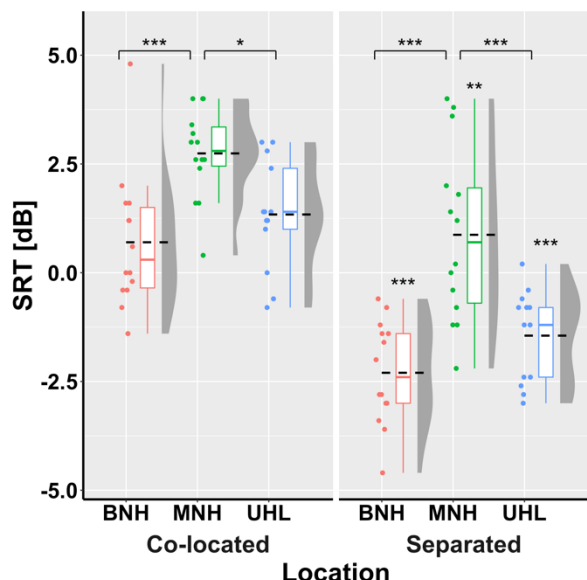


Fig. 1 Raincloud plots for the speech reception thresholds (SRT) including raw jittered data, box-whisker plots, and split-half violins for 3 hearing conditions; BNH ($n = 14$), MNH ($n = 14$), and UHL ($n = 13$). The solid and broken horizontal lines indicate the median and mean, respectively. SRT were measured in 2 conditions; target speech and masker were co-located (left) and separated (right). *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3 結果

Fig. 1にSRTのraincloud plotを記す。統計分析にはR(4.2.1)を用いた。SRTを応答変数、聴取条件・その他のデモグラフィック要因を説明変数として、線形混合モデルによるパラメータ推定を行い、変量効果は実験参加者とした。各説明変数の p 値の算出にはlmerTestパッケージを用いた。多重比較では、Bonferroni法で p 値を補正した。各群のSRTの推定周辺平均と95%信頼区画(以下 M , CI)の算出にはemmeansパッケージを用いた。Table 2に各群のSRT・SRMの M ・CIを記す。

同位置でのSRTは、BNHとMNH($M = 0.70$ vs. 2.74 ; $\beta = -2.04$, $s.e. = 0.49$, $t = -4.15$, $p < 0.001$), UHLとMNH($M = 1.34$ vs. 2.74 ; $\beta = -1.40$, $s.e. = 0.50$, $t = 2.80$, $p = 0.022$)の間に有意差がみられた。

別位置でのSRTは、BNHとMNH($M = -2.30$ vs. 0.87 ; $\beta = -3.17$, $s.e. = 0.56$, $t = -5.66$, $p < 0.001$), UHLとMNH($M = -1.45$ vs. 0.87 ; $\beta = 2.32$, $s.e. = 0.57$, $t = 4.06$, $p < 0.001$)の間に有意差がみられた。

SRMは同位置のSRTから別位置条件の

Table 2 Estimate marginal means and confidence intervals of the speech reception threshold (SRT) and spatial release from masking (SRM)

位置	条件	SRT (M) [dB]	CI		SRM (M) [dB]
			Low	High	
同位置	BNH	0.70	0.00	1.40	
	MNH	2.74	2.04	3.44	
	UHL	1.34	0.61	2.07	
別位置	BNH	-2.30	-3.10	-1.50	3.00
	MNH	0.87	0.07	1.67	1.87
	UHL	-1.45	-2.28	-0.61	2.79

M : 推定周辺平均, CI: 95%信頼区画

SRTの差分により求めた(Table 2)。聴取条件ごとに対応のある t 検定を行った結果、全ての聴取条件でSRTの改善は有意なもの(BNH, $p < 0.001$; MNH, $p = 0.003$; UHL, $p < 0.001$)であった。また、BNHとMNHのSRMの効果には有意差がみられた($M = 3.00$ vs. 1.87 ; $\beta = 1.35$, $s.e. = 2.53$, $t = 2.77$, $p = 0.049$)。

線形混合モデルを用いたパラメータ推定の結果、SRMには難聴の期間が有意に寄与していた($\beta = 0.22$, $s.e. = 0.08$, $t = 2.65$, $p = 0.046$)。SRMと難聴期間の回帰直線をFig. 3に示す。SRMと難聴期間に対するPearsonの相関係数は 0.37 (CI [-0.23 0.77])であった。

4 考察

本調査では一側性難聴者と両側聴力正常者のモノラル受聴・両耳聴を対象に、残響下の文章了解度テスト(2条件: 音声とマスクが同位置・別位置; モノラル受聴ではマスクに対して音声を聞こえる側 $\pm 35^\circ$ に置いた)を行って、一側性難聴者の音声聴取に残響が及ぼす影響、SRMの効果を検討した。

その結果、モノラル受聴(MNH・UHL)では残響下の音声聴取のため、BNHより大きい音圧を必要とした(Fig. 1, Table 2)。特に聴覚障害者では、残響は音声明瞭度を下げる要因となる[1]。本研究では、一側性難聴においても同様、残響がSRTを上げる要因となることが示された。

また、BNHと比べMNH・UHLは低いSRMを示した。非残響下で音声のenergetic maskingからのSRMの検討例では、モノラル受聴では両耳聴と比べSRMの効果が低く、そのSRMは音声が良い聴耳側にあったときのSN比の改善によって説明された[5, 6]。

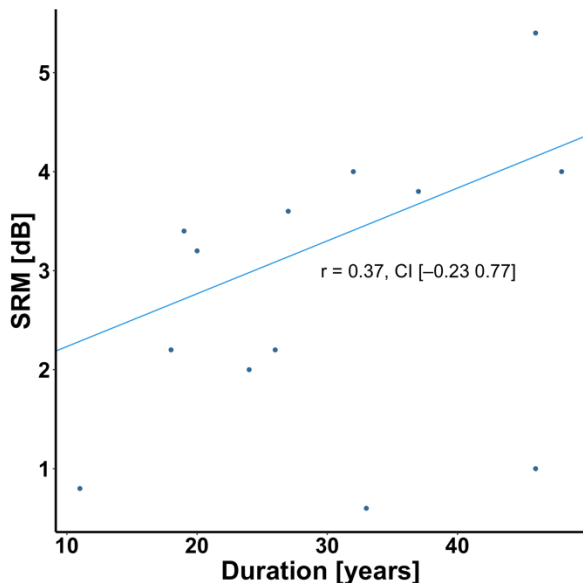


Fig. 2 Association of spatial release from masking (SRM) and duration of unilateral hearing loss (UHL). Correlation coefficient and 95% confidence interval are also given.

一方,同じくモノラル受聴であったMNHと比べて, UHLは有意なSRTの改善(同位置: $p < 0.05$; 別位置: $p < 0.001$)を示した。その差は両耳聴ほどではないが, 残響のマスクングからの解除が示された。また, UHLはMNHと比べ0.92 dBのSRMの向上を示した(有意差なし; $p = 0.49$)。その差は両耳聴ほど(BNH vs. MNH: 1.13 dB, $p < 0.05$)ではないが, 残響下でのSRMに改善がみられた。

一側性難聴では両耳間情報と代替し, 頭部伝達関数(head-related transfer function; 以下HRTF)によるスペクトラルキューや音圧のキューの活用によって音源方向を判断し得る[12, 13]。音源定位能力はトレーニングによって向上し[12], 音圧のキューによる音源定位と難聴期間・聴覚に関わる脳の構造の変化には相関がみられた[13]。本研究では, 一側性難聴者のSRMには難聴期間と有意な正の相関($p < 0.05$, $r = 0.37$)がみられ, 順応によってSRMは改善し得ると示唆された。

また, 両耳聴と違うモノラル受聴におかれたMNHに対して, UHLは29.06年(1SD: 14.19)と長い期間, 一側性難聴の状態だった。MNHとの比較から, 発症から長期間経過した一側性難聴者は, モノラル受聴でのキューへの適応によって, 残響によるマスクングから解除され, 残響下でのSRMの効果は改善すると示唆された。

本研究では, ダミーヘッドで収録した両耳インパルス応答(標準化HRTF)の畳み込みで残響を付与したことにより, MNHとUHLの比較を実現した。しかし, 標準化HRTFの畳み込みで作成した刺激は, 本人のHRTFとの誤差により実際の聴取とは違ったキューをもつ[14]。そのため, 今後, 実際の音場で残響下の文章理解度テストやSRMの効果を検討する必要がある。また, 音声の知覚において, マスカが雑音でなく音声の場合, 違った影響を与える(informational masking)ことが知られている[6]。残響下でのinformational maskingの影響も, 今後検討する必要がある。

謝辞

本研究は上智大学の重点領域研究から助成を受けた。

参考文献

- [1] A. K. Nábělek and D. Mason, *J Speech, Language, and Hear Res*, 24(3), 375–383, 1981.
- [2] ASHA (©1997-2023), “Type, Degree, and Configuration of Hearing Loss,” <https://hearingspecialistsofmichigan.com/wp-content/uploads/2014/09/AIS-Hearing-Loss-Types-Degree-Configuration.pdf> (2023/1/6).
- [3] E. Harford and J. Barry, *J Speech Hear Disord*, 30(2), 121–138, 1965.
- [4] R. Y. Litovsky, *Acoust Today*, 8(2), 18–25, 2012.
- [5] A. W. Bronkhorst and R. Plomp, *J Acoust Soc Am*, 83(4), 1508–1516, 1988.
- [6] A. M. Rothpletz et al., *J Speech, Lang Hear Res*, 55(2), 511–531, 2012.
- [7] R. H. Bolt and A. D. MacDonald, *J Acoust Soc Am*, 21(6), 577–580, 1949.
- [8] G. Kidd et al., *Acta Acust united with Acust*, 91(3), 526–536, 2005.
- [9] T. Goossens et al., *Hear Res*, 344, 109–124, 2017.
- [10] NTTアドバンステクノロジー株式会社, “音素バランス1000文,” 1999.
- [11] H. Levitt, *J Acoust Soc Am*, 49(2B), 467–477, 1971.
- [12] J. B. Firszt et al., *Hear Res*, 319, 48–55, 2015.
- [13] J. H. Kim et al., *Front Neurosci*, 15, 1–11, 2021.
- [14] 飯田, 小早川, 日本音響学会聴覚研究会資料, 51(1), 19–25, 2021.