

一側性難聴者の患側のメロディ聴取が残響により妨げられることについて*

◎辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

1 はじめに

室内において、特に残響時間が長い環境で音声明瞭度が影響されるが[1]、一方で、適度な残響によって音楽の印象は向上することが知られている[2]。しかし、高齢者や聴覚障害者では残響が音楽にもたらす効果が健聴者と違っているという議論がなされている[3-5]。

聴覚障害の中には片側耳は正常である一方、対側耳にのみ軽度以上の難聴を有する場合がある。このような難聴は一側性難聴 (UHL; unilateral hearing loss) と呼ばれる。

両耳に届く音の間には時間差・強度差が生じ、健聴者ではそれらをキューにすることにより、特に、ターゲットとマスカが違う方向から到来するとき聞こえに改善がみられる。これを方向性マスキング解除 (SRM; spatial release from masking) という。一方で、一側性難聴者では両耳間のキューが得られず、頭部陰影効果が裏目に作用することで難聴側聴取が影響される (i.e., ターゲットが患側に位置するとき、SRM は負の値を取る) [6]。

一側性難聴によって音楽体験も影響される。例えば、一側性難聴の発症前と比べて、発症後の音楽が「不自然・不快・不明瞭」に感じられることが明らかになっている[7,8]。それに関わる要因として、我々はこれまでに残響の影響について検討を行った[5]。その結果、一側性難聴により、残響下で音楽のメロディ聴取 (選択的聴取) が影響されるということが示唆された[5]が、非残響下との比較など、検討の余地は多く残されている。

そこで本研究では、1) 両耳聴、2) 一側性難聴の発症直後の模擬、3) 一側性難聴者に対し、様々な条件下でのメロディ聴取テストを実施している。本稿では、無響 / 残響下のテスト結果とその SRM について議論する。

2 方法

一側性難聴者 9 名 (男性 3 名, 女性 6 名; 28-48 歳), 両側聴力正常者 16 名 (男性 5 名, 女性 11 名; 20-22 歳) が本研究に参加した。

一側性難聴者の難聴の期間は 1-48 年で、先天的発症が 4 名、後天的発症が 5 名だった。難聴側は左が 6 名、右が 3 名。全て、良聴耳の平均聴力レベル (四分法) は 20 dB HL 以下であった。患耳側の平均聴力レベルは軽度・中等度・高度難聴がそれぞれ 1 名ずつ、残りは重度難聴であった (Table 1)。一側性難聴の模擬群との比較のため、軽度・中等度の一側性難聴者のデータは分析対象から外した。

2.1 両耳インパルス応答

残響を付与した刺激は上智大学の 10 号館講堂の両耳インパルス応答[5]の畳み込みにより作成した。音源と受聴点 (ダミーヘッド) の高さは床から約 1.35 m, 距離は約 3.00 m, 残響時間は約 1.6 秒であった。

無響の刺激は Kayser ら[9]のデータベースより、ダミーヘッドを音源に対して仰角 0°, 距離 3.00 m に置いて収録された無響室での両耳インパルス応答を使用した。

無響・残響の両者で、ダミーヘッドに対する音源の角度を変え、複数収録されたインパルス応答のうち正面 (0°)・左右 (±35°) 3 点の両耳インパルス応答を用いた。

2.2 メロディ聴取テスト

メロディの音源は University of Iowa musical instrument samples database[10]より、クラリネットを用いた。マスカとして、メロディに用いた音源の長時間平均スペクトルにマッチさせた白色雑音を用いた。

テストの各試行では、5 つの基準音 (D4-F#4, $F_0 = 294-370$ Hz) のうち 1 音をランダムに選び、基準音が主音の長 / 短音階をランダムに選択した。選ばれた音階から第 7 音・主音・第 1 音・第 2 音の 4 音をランダムに並び替えメロディとした。また、メロディの 2 番目・3 番目、または 3 番目・4 番目の音を入れ替えて、不正解のメロディを作成した。

テストの各条件の冒頭では、マスカの等価騒音レベルは 65 dB (A) として、メロディとマスカの音圧比 (SN 比; signal-to-noise ratio) は -20 dB (A) とした (i.e., メロディは 45 dB

* Reverberation interferes with melody perception on the impaired ear side in individuals with unilateral hearing loss, by TSUJI, Shinya and ARAI, Takayuki (Sophia University).

Table 1 Demographics of participants with unilateral hearing loss.

対象 (P#)	年齢 (years)	難聴の期間 (years)	難聴耳	平均聴力レベル (dB HL)* (良聴耳, 難聴耳)		難聴の原因
01	31	21.0	左	5.00,	SO	突発性難聴
02	48	48.0	左	10.00,	SO	不明
03	28	28.0	左	6.25,	SO	ムンプス
04	28	22.0	右	13.75,	SO	ムンプス
05	34	34.0	左	5.00,	108.75	不明
06	44	1.5	右	5.00,	70.00	突発性難聴
07	28	28.0	右	6.25,	SO	不明
08	45	20.0	左	13.75,	33.75	メニエール病
09	40	1.0	左	10.00,	67.50	外耳道・鼓膜の切除
平均	36.22	22.61		8.33,	92.22	
(SD)	(8.11)	(14.81)		(3.64)	(28.23)	SO: スケールアウト

* 難聴耳の平均聴力レベルは、SO = 110 dB HL として算出

(A) で呈示した)。実験参加者にはメロディが聞こえたかどうかを尋ね、4 音が聞き取れるまでメロディの音圧を 4 dB ずつ上げる試行を繰り返した。聞き取れた SN 比から three-up / one-down の階段法により、79.4% 閾値[11]でメロディ聴取の閾値 (MMR; melody-to-masker ratio threshold) を測定した。実験参加者には雑音を重畳した刺激を呈示した後、1 つのメロディのみ刺激 (正解, または不正解のどちらかはランダム) を呈示し、雑音下で聞こえたメロディと同じか違うかを 2 肢強制選択法により選択させた。3 回連続で正解した場合はメロディの音圧を 2 dB 下げ、不正解なら音圧を 2 dB 上げる操作を繰り返した。SN 比の増減が 2 回折り返した後、6 回折り返すまで試行を行い、最後の 6 回の SN 比を算術平均することで MMR を求めた。

両耳インパルス応答の畳み込みには Matlab を用いた。刺激の立ち上がりとしち下がりには 10 ms のコサイン関数によって時間包絡を付与した。

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) による純音聴力の測定, 3) メロディ聴取テストであった (同時に文章了解度テストを行った)。

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, Rubix22) を介し、ヘッドホン (SENNHEISER, HD 300 PRO) により呈示した。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, $n = 8$) し、もう半数には片側のみ呈示 (monaural normal hearing; 以下 MNH, $n = 8$) した。MNH では刺激を呈示する側の耳は左右同数になるようランダムに選択し、反対側の耳には耳栓 (3M, 1100 foam-type earplugs) を装用させ刺激の陰影聴取を防ぎ、一側性難聴の状態を模擬した。一側性難聴者 (以下 UHL, $n = 7$) にはヘッドホンにより両側呈示した。

SRM を測定するために、正面 (0°) の両耳インパルス応答を畳み込んだマスクに対して、ターゲットの位置を以下のように設定した。

- 1) 同位置: ターゲットを正面 (0°) に置いた。
- 2) 同側条件: UHL では健聴側, MNH では音の呈示側, BNH では左側の 35° に置いた。
- 3) 対側条件: UHL では難聴側, MNH では音の非呈示側, BNH では右側の 35° に置いた。

なお、聴取実験での刺激には辻・荒井[12]と同様に帯域制限の有無が含まれており、無響・残響を付与した刺激のそれぞれで、MMR は 9 回測定された。本稿では帯域制限のない刺激で得られた MMR について議論する。

3 結果

Fig. 1 に MMR とその SRM の平均値・95% 信頼区画を記す。

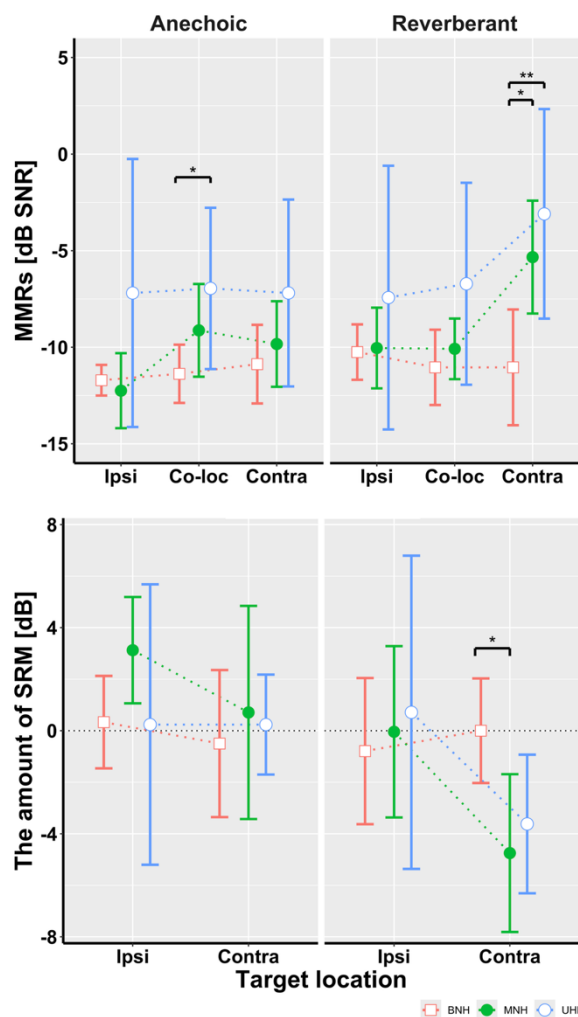


Fig. 1 Melody-to-masker ratio thresholds (MMRs; top row) and spatial release from masking (SRM; bottom row) for three hearing conditions; BNH ($n = 8$), MNH ($n = 8$), and UHL ($n = 7$). Symbols and error bars indicate the mean and 95% confidence intervals, respectively, for each hearing condition, as described in the legend. ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

統計分析には R (4.2.2) を用いた。MMR を応答変数、聴取条件を説明変数として、線形混合モデルを用いた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 MMR の推定周辺平均と 95%信頼区画 (以下 M , CI) の算出のために emmeans パッケージを用いた。Table 2 に各群の SRT の $M \cdot CI$ を、Table 3 に線形混合モデルによって推定されたパラメータの結果を記す。

無響下での MMR は、ターゲットとマスクが同位置にあるときの測定で BNH と UHL の間に有意差がみられた ($M = -11.38$ vs. -6.95 ; $\beta = -4.42$, s.e. = 1.65, $t = -2.68$, $p < 0.05$)。

Table 2 Estimate marginal means (M) and 95% confidence intervals (CI) of the melody-to-masker ratio thresholds (MMRs) for each of the binaural normal hearing (BNH), monaural normal hearing (MNH), and unilateral hearing loss (UHL) groups.

聴取条件		SRT (M) [dB]		CI		SRM (M) [dB]
				Low	High	
Anechoic	Ipsi	BNH	-11.71	-14.93	-8.49	0.33
		MNH	-12.25	-15.47	-9.03	3.12
		UHL	-7.19	-10.64	-3.75	0.24
	Co-loc	BNH	-11.38	-13.72	-9.03	
		MNH	-9.12	-11.47	-6.78	
		UHL	-6.95	-9.46	-4.44	
	Contra	BNH	-10.88	-13.51	-8.24	-0.50
		MNH	-9.83	-12.47	-7.20	0.71
		UHL	-7.19	-10.00	-4.38	0.24
Reverberant	Ipsi	BNH	-10.25	-13.51	-6.99	-0.79
		MNH	-10.04	-13.30	-6.78	-0.04
		UHL	-7.43	-10.92	-3.94	0.71
	Co-loc	BNH	-11.04	-13.67	-8.41	
		MNH	-10.08	-12.71	-7.45	
		UHL	-6.71	-9.53	-3.90	
	Contra	BNH	-11.04	-14.26	-7.82	0.00
		MNH	-5.33	-8.56	-2.11	-4.75
		UHL	-3.10	-6.54	0.35	-3.62

M : 推定周辺平均, CI: 95%信頼区画

残響下では、対側条件で BNH と MNH ($M = -11.04$ vs. -5.33 ; $\beta = -5.71$, s.e. = 2.18, $t = -2.61$, $p < 0.05$), BNH と UHL ($M = -11.04$ vs. -3.10 ; $\beta = -7.95$, s.e. = 2.26, $t = -3.51$, $p < 0.01$) の間で MMR に有意差がみられ、BNH と MNH の間で SRM の値に有意差がみられた ($M = 0.00$ vs. -4.75 ; $\beta = 4.75$, s.e. = 1.52, $t = 3.11$, $p < 0.05$)。その他の条件では MMR・その SRM に有意差はみられなかった。

線形混合モデルを用いたパラメータ推定の結果、MNH では、同側条件での MMR の改善 (SRM) が有意であること ($\beta = -3.13$, s.e. = 0.71, $t = -4.41$, $p < 0.001$)、同側条件と残響の間に有意な正の交互作用がみられる (i.e., 残響下での同側条件では、無響と比べ SRM 値が有意に減少する) と推定された ($\beta = 3.17$, s.e. = 1.00, $t = 3.16$, $p < 0.01$)。また、MNH・UHL では対側条件と残響の間に有意な正の交互作用がみられる (i.e., 残響下での対側条件では、無響と比べ SRM のとるマイナス値が有意に大きくなる) と推定された (MNH: $\beta = 5.46$, s.e. = 1.00, $t = 5.45$, $p < 0.0001$; UHL: $\beta = 3.86$, s.e. = 1.51, $t = 2.55$, $p < 0.05$)。その他の要因や交互作用は有意でなかった。

4 考察

無響・残響下の両者で、BNH と比べて UHL は高い MMR (低いメロディの明瞭度) を示し、無響の同位置・残響下の対側条件で MMR に有意差がみられた (Fig. 1)。中途発症の一側性難聴者を対象とした質問紙調査では、一側性難聴の発症によって、発症前と比べて音楽が「不明瞭」に感じられると報告された[7, 8]。本研究では MMR の測定を通して、そのような結果に対する一つのエビデンスが得られた。

残響の影響について、BNH ではその影響が有意でなかった一方、MNH の同側条件・対側条件、UHL の対側条件で残響との間に有意な交互作用がみられた (i.e., 残響により SRM 値が有意に低下すると推定された) (Table 3)。一側性難聴者の音声明瞭度に関する検討でも同様に、残響は SRM 値を下げる要因であり、その影響は対側条件で顕著であると示されている[6]。本研究では、音楽に関する明瞭度においても、残響により患側の聴取が特に影響されることが示唆された。

我々のこれまでの検討では、発症から長期が経過した一側性難聴者では残響に適応し、音声明瞭度に改善がみられることが示唆された[5, 6]。しかし、本研究では UHL と MNH の間で MMR に有意差はみられなかった (Fig. 1)。さらに、無響下の同側条件での SRM について、UHL では有意でないが MNH では有意であると推定された (ただし、BNH でも有意でないと推定された) (Table 3)。一方で、残響による SRM 値への影響について、UHL では同側条件で交互作用は有意でなく、対側条件で MNH と比べ小さいと推定された (Table 3)。関連して、Kim ら[13]の音源定位についての研究では、MNH の成績は左右非対称だったが (i.e., 同側の成績が良いが対側の成績は悪い) が、発症から長期経過した UHL では成績が左右対称に近付いたと報告された。以上より、一側性難聴で得られるキューに適応した結果、音源定位では健側 / 患側の成績が対称的になると示唆されている[13]。本研究では、MNH と比べ UHL は音の呈示位置による影響が小さく (Table 3)、音楽の聞こえでも健側 / 患側の間で対称的な成績に近付くと示唆された。

謝辞

本研究では、実施にあたって JSPS 科研費 24K23899 の助成を受け、上智大学「人を対象

Table 3 Results from regression models analyzing melody-to-masker ratio thresholds (MMRs).

		推定値	標準誤差	T 値	P 値
BNH	切片	-11.37	0.59	-19.44	<0.0001
	位置 (左側)	-0.33	0.65	-0.51	0.61
	位置 (右側)	0.50	0.65	0.77	0.44
	環境 (残響下)	0.33	0.65	0.51	0.61
	左側:残響下	1.12	0.92	1.22	0.22
	右側:残響下	-0.50	0.92	-0.54	0.59
MNH	切片	-9.13	0.60	-15.25	<0.0001
	位置 (呈示側)	-3.13	0.71	-4.41	<0.0001
	位置 (非呈示側)	-0.71	0.71	-1.00	0.32
	環境 (残響下)	-0.96	0.71	-1.35	0.18
	呈示側:残響下	3.17	1.00	3.16	<0.01
	非呈示側:残響下	5.46	1.00	5.45	<0.0001
UHL	切片	-6.95	1.89	-3.68	<0.01
	位置 (良聴耳側)	-0.24	1.07	-0.22	0.82
	位置 (患耳側)	-0.24	1.07	-0.22	0.82
	環境 (残響下)	0.24	1.07	0.22	0.82
	良聴耳側:残響下	-0.48	1.51	-0.31	0.75
	患耳側:残響下	3.86	1.51	2.55	<0.05

* コロンは交互作用を示す

とする研究」に関する倫理委員会の承認を受けた (2024-148)。実験にご協力いただいた方々へ感謝申し上げます。

参考文献

- [1] A. K. Nábělek and D. Mason, *J. Speech, Language, Hear. Res.*, 24(3), 375–383, 1981.
- [2] W. Kuhl, *Acta Acustica united with Acustica*, 4(2), 618–634, 1954.
- [3] P. N. Reinhart and P. E. Souza, *Trends Hear.* 22, 233121651775070, 2018.
- [4] Roy *et al.*, *Cochlear Implants Int.*, 16(sup 3), S105–S113, 2015.
- [5] S. Tsuji and T. Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 44(6), 419–430, 2023.
- [6] S. Tsuji and T. Arai, *J. Acoust. Soc. Am.*, 157(4), 3070–3086, 2025.
- [7] S. Meehan *et al.*, *J. Am. Acad. Audiol.*, 28(5), 444–462, 2017.
- [8] S. Tsuji and T. Arai, *Acoust. Sci. Tech.*, 41(6), 833–836, 2020.
- [9] H. Kayser *et al.*, *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, 298605, 2009.
- [10] University of Iowa Electric Musical Studios, “Musical Instrument Samples Database.” <http://theremin.music.uiowa.edu/> (2025/7/13).
- [11] H. Levitt, *J. Acoust. Soc. Am.*, 49(2B), 467–477, 1971.
- [12] 辻, 荒井, 音講論 (春), 713–716, 2025.
- [13] J. H. Kim *et al.*, *Front. Neurosci.*, 15, 1–11, 2021.