

一側性難聴者が伴奏下のメロディ聴取のために両耳聴より大きな音圧を  
必要とすることについて  
——残響の影響・方向性マスキング解除の検討——\*

☆辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

## 1 はじめに

片耳は正常であるが, 対耳側に難聴がある状態を一側性難聴 (UHL; unilateral hearing loss) という。難聴耳の程度は軽度から重度と多様な様相を呈し[1], 重度難聴の場合, 片側聾 (SSD; single-sided deafness) と呼ばれる。

一側性難聴により聴取困難になる場面は, 1) 難聴側聴取, 2) 騒音下聴取, 3) 音源定位の3点に集約される[2]。特定の場面では困難が生じる一方で[3], 静寂下や良耳側での聴取に関しては大きな問題は生じない。

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, 音声の聴取閾値は改善する。これを方向性マスキング解除 (spatial release from masking; 以下 SRM) という。

SRM を得るための主要な要因は, 両耳間の時間差と強度差である[4]。一側性難聴では両耳間の情報が損なわれ, 本来は SRM の手がかかりをもたらす頭部陰影効果が裏目に作用し, 患耳側の聴取が困難になる[5]。

加えて, 室内では残響によって音の聴取が影響される。最適な残響時間が音楽の聴こえを豊かにする[6]一方, 空間知覚の能力が損なわれたリスナにとって, 残響の感じ方は両側聴力正常者と異なったものになっている[7]。

一側性難聴者の音楽の聴取について, これまでの検討では, 難聴の発症直後, 聴こえが「不自然・不快・不明瞭」になり音楽活動が大きく影響された[8]。音楽において残響時間は最も考慮されるべき要素の一つ[7]だが, 一側性難聴者を対象に音楽にかかる残響の影響を検討した例はほとんどない。

そこで本稿では, 一側性難聴者・両側聴力正常者のモノラル受聴・両耳聴を対象に, 残響下での伴奏付きの音楽からメロディを聴取する能力を検討するために聴取実験を行った。

## 2 方法

### 2.1 対象

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。

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。

### 2.2 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 ( $0^\circ$ ) 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。

### 2.3 メロディ聴取テスト

楽器の音源は University of Iowa musical instrument samples database[10]より, メロディにはクラリネット・ピアノ, 伴奏にはピアノを用いた。加えて, マスカとして, メロディに用いたピアノ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

\* Those with unilateral hearing loss require more sound pressure of melody than binaural listeners to hear out a melody from accompaniment: Investigation of the effect of reverberation and spatial release from masking, by TSUJI, Shinya and ARAI, Takayuki (Sophia University).

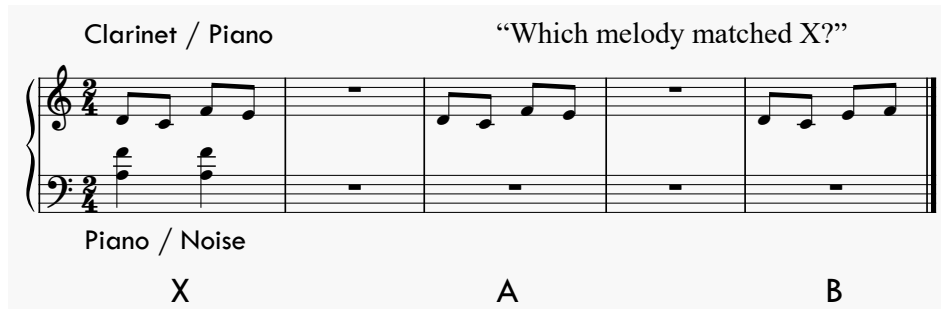


Fig. 1 Example of the stimuli in the melody test (central pitch: D4, key: D minor)

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、基準音を主音とする長 / 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。伴奏には選ばれた調性のI度の、主音を除いた重音を用いて、主音を挟む音域に置いた。メロディ聴取テストの譜例を Fig. 1 に示す。

Two-up / one down の階段法により、70.7% 閾値[11]でメロディ聴取の閾値 (signal-to-masker ratio threshold; 以下 SMR) を測定した。実験参加者には伴奏あり刺激 (X) の後、メロディのみ刺激 (A, B; どちらが正解かはランダム) を呈示して、伴奏あり刺激のメロディはどちらだったか2肢強制選択法により選択させた。正解ならメロディの音圧を 2 dB 下げ、不正解なら音圧を 2 dB 上げた。メロディとマスクの音圧の比 (signal-to-masker ratio; 以下 SN 比) は+10 dB で開始した。音圧が 8 回増減した後 20 回試行を行い、その 20 回の SN 比を平均して SMR を求めた。メロディがクラリネット・伴奏がピアノと、メロディがピアノ・伴奏がノイズの 2 通りで行った。

閾値は、SRM をみるために 2 回測定した。1 回目はメロディとマスク (伴奏) の両方に同位置 (正面,  $0^\circ$ ) のインパルス応答を畳み込み、2 回目はメロディに左右 ( $\pm 35^\circ$ ; モノラル受聴では健聴側にした) 雑音に正面 ( $0^\circ$ ) の両耳インパルス応答を畳み込んだ。

#### 2.4 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) ピアノ伴奏下メロディ聴取テスト, 4) 雑音下メロディ

聴取テストであった (同時に gap 検出テスト・文章理解度テストを行った)。3, 4) は SRM の効果をみるためにそれぞれ 2 回行った。

刺激音の呈示と回答の正誤・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 65 dB (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、もう半数には片側呈示 (monaural normal hearing; 以下 MNH,  $n=14$ ) した。MNH では呈示側が左右同数になるよう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。

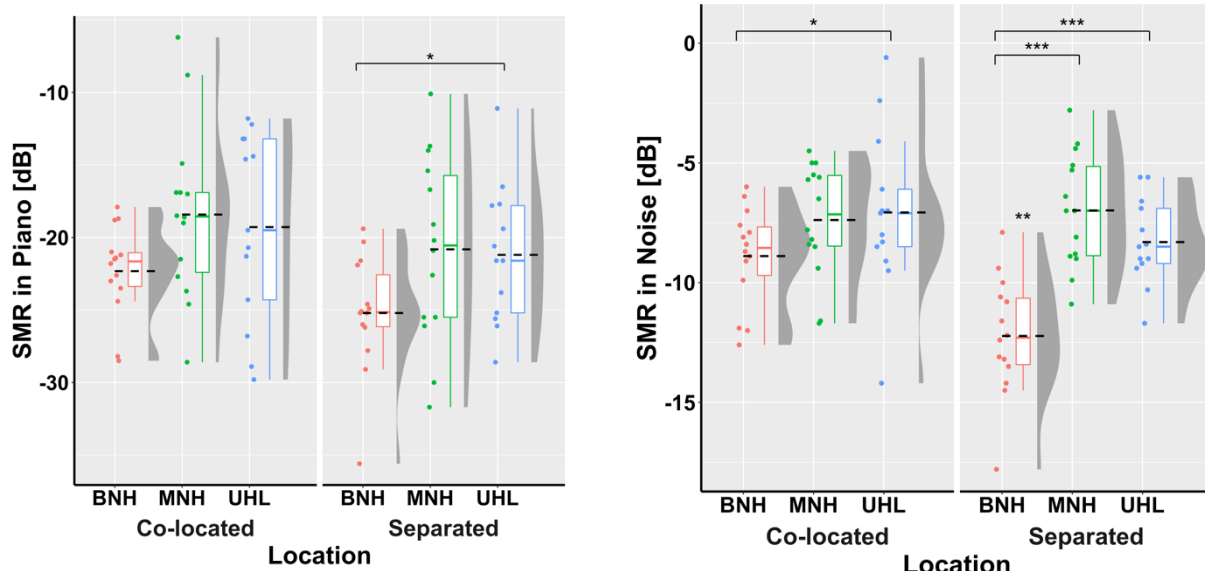
### 3 結果

Fig. 2 にメロディ聴取テストで得られた SMR の raincloud plot を記す。

統計分析には R (4.2.1) を用いた。SMR 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った。変量効果は実験参加者とした。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 SMR 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 1 に SMR・SRM の  $M$ ・CI を記す。

同位置条件でのピアノ伴奏下メロディ聴取テストでは聴取条件の間に有意差はみられなかった。雑音下メロディ聴取テストでは BNH と UHL の間に有意差がみられた ( $M=-9.0$  vs.  $-6.3$ ;  $\beta=-2.66$ ,  $s.e.=0.92$ ,  $t=-2.88$ ,  $p=0.020$ )。

別位置条件でのピアノ伴奏下メロディ聴取テストでは、BNH と UHL の間に有意差がみられた ( $M=-25.4$  vs.  $-20.1$ ;  $\beta=-5.29$ ,  $s.e.=1.88$ ,  $t=-2.81$ ,  $p=0.024$ )。雑音下メロディ聴取



**Fig. 2** Raincloud plots for the melody-to-masker ratio thresholds (SMR) in piano accompaniment (left) and in noise (right) 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. SMR were measured in 2 conditions; target melody and masker were co-located (each left panel) and separated (each right panel).  $***p < 0.001$ ,  $**p < 0.01$ ,  $*p < 0.05$

テストでは BNH と MNH ( $M = -12.5$  vs.  $-7.4$ ;  $\beta = -5.11$ ,  $s.e. = 0.78$ ,  $t = -6.57$ ,  $p < 0.001$ ), BNH と UHL ( $M = -12.5$  vs.  $-8.7$ ;  $\beta = -3.73$ ,  $s.e. = 0.76$ ,  $t = -4.90$ ,  $p < 0.001$ ) の間に有意差がみられた。

SRM は同位置の SMR から別位置条件の SMR を差分して求めた。聴取条件ごとに対応のある  $t$  検定を行った結果、マスカが雑音のとき、BNH の SMR の改善は有意 ( $p = 0.003$ ) であり、BNH と MNH の間で SRM に有意差がみられた ( $M = 3.46$  vs.  $-0.40$ ;  $\beta = 3.78$ ,  $s.e. = 1.37$ ,  $t = 2.77$ ,  $p = 0.028$ )。

**Table 1** Estimate marginal means and confidence intervals of the melody-to-masker ratio thresholds (SMR) and spatial release from masking (SRM)

マスカ (位置)	条件	SMR (M) [dB]	CI		SRM (M) [dB]
			Low	High	
ピアノ (同位置)	BNH	-22.5	-25.3	-19.8	
	MNH	-19.2	-21.9	-16.2	
	UHL	-18.2	-21.2	-15.3	
ピアノ (別位置)	BNH	-25.4	-28.0	-22.9	3.03
	MNH	-21.6	-24.2	-18.9	3.06
	UHL	-20.1	-22.9	-17.4	1.92
ノイズ (同位置)	BNH	-9.0	-10.2	-7.96	
	MNH	-6.9	-8.4	-5.51	
	UHL	-6.3	-7.7	-4.93	
ノイズ (別位置)	BNH	-12.5	-13.5	-11.4	3.46
	MNH	-7.4	-8.53	-6.17	-0.32
	UHL	-8.7	-9.86	-7.59	2.25

M: 推定周辺平均, CI: 95%信頼区画

#### 4 考察

本研究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、残響下の音楽における伴奏下のメロディ聴取テスト (2条件:メロディとマスカが同位置・別位置;モノラル受聴ではマスカに対してメロディを聞こえる側±35°に置いた)を行って、残響がメロディの聴取に及ぼす影響・SRMの効果を検討した。

モノラル受聴 (MNH・UHL) ではメロディ聴取のために、BNH より大きい音圧を必要とした (Fig. 2, Table 1)。UHL はピアノ伴奏下でのメロディ聴取 (別位置;  $p < 0.05$ ), 雑音下でのメロディ聴取 (同位置;  $p < 0.05$ , 別位置;  $p < 0.001$ ) で BNH と有意差を示した。過去の検討では、聴覚障害のある高齢者は音楽にかかる残響に鈍感で、残響時間について、有意な好みを示さなかった[7]。また、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ことが知られている[12]。一側性難聴者を対象として音楽に関する質問紙調査をした結果、難聴の発症後に、音楽が「不明瞭」な聴こえになっていた[8]。本研究では、一側性難聴者にとって、残響が音楽のメロディ聴取を妨げる要因となることが示された。

マスカに対してメロディに別位置 (モノラル受聴では聞こえる側±35°) のインパルス

応答を畳み込んだとき, BNHでは有意なSRMの効果がみられた(雑音下;  $p < 0.01$ )が, MNH・UHLでは有意な改善がみられなかった(Fig. 2)。また, BNHとMNHのSRMには有意差がみられた( $p < 0.05$ )。音声のSRMの検討例では, モノラル受聴では両耳聴よりSRMが低く, その効果は, 音声が良い聴耳側に位置したときのSN比の改善で説明された[13]。一方, 本研究では, 同じモノラル受聴でもマスクが雑音のとき, UHLはMNHと比べ2.57 dBのSRMの向上を示した(有意差なし;  $p = 0.23$ )。その差は両耳聴ほどではないが(BNH vs. MNH: 3.78 dB), 残響下でのSRMに改善がみられた。

過去の検討では, 一側性難聴を発症した後, 時間経過により音楽の聴こえが改善し, 適応があると示唆された[8]。一側性難聴では両耳間情報の代わりに, 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を活用し, 音源の方向を判断し得る[14, 15]。また, 音源定位の能力はトレーニングにより向上し[14], 音圧のキューによる音源定位と難聴の期間・聴覚に関わる脳の構造の変化には相関がみられた[15]。一側性難聴のある子どものSRMを検討した例では, 年齢を重ねるとともに, SRMに改善を示した[16]。両耳聴と違う受聴環境におかれた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。本研究では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, メロディ聴取に関するSRMの効果は改善し得るということが示唆された。

## 5 今後の課題

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[17]。今後, 実際の音場での残響下のメロディ聴取能力やSRMの効果を検討する必要がある。

本研究で用いたインパルス応答の残響時間は約1.6秒であった。例えばクラシック音楽

では古典派よりもロマン派の音楽は長い残響時間が好ましい[6]とされるように, 音楽での最適な残響時間は様々である。残響時間を様々に変え, 一側性難聴者の音楽聴取を検討することが必要である。

## 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] 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).
- [2] E. Harford and J. Barry, *J Speech Hear Disord*, 30(2), 121–138, 1965.
- [3] V. Colletti *et al.*, *Br. J. Audiol.*, 22(2), 113–118, 1988.
- [4] R. Y. Litovsky, *Acoust Today*, 8(2), 18–25, 2012.
- [5] A. M. Rothpletz *et al.*, *J Speech, Language, and Hear Res*, 55(2), 511–531, 2012.
- [6] W. Kuhl, *Acta Acust united with Acust*, 4(2), 618–634, 1954.
- [7] P. N. Reinhart and P. E. Souza, *Trends Hear* 22, 233121651775070, 2018.
- [8] S. Tsuji and T. Arai, *Acoust. Sci. Technol.* 41(6), 833–836, 2020.
- [9] T. Goossens *et al.*, *Hear Res*, 344, 109–124, 2017.
- [10] University of Iowa Electric Musical Studios, “Musical Instrument Samples Database.” <http://theremin.music.uiowa.edu/> (2023/1/6).
- [11] H. Levitt, *J Acoust Soc Am*, 49(2B), 467–477, 1971.
- [12] A. K. Nábělek and D. Mason, *J Speech, Language, and Hear Res*, 24(3), 375–383, 1981.
- [13] A. W. Bronkhorst and R. Plomp, *J Acoust Soc Am*, 83(4), 1508–1516, 1988.
- [14] J. B. Firszt *et al.*, *Hear Res*, 319, 48–55, 2015.
- [15] J. H. Kim *et al.*, *Front Neurosci*, 15, 1–11, 2021.
- [16] N. E. Corbin *et al.*, *J Speech, Language, and Hear Res*, 64(11), 4495–4512, 2021.
- [17] 飯田, 小早川, 日本音響学会聴覚研究会資料, 51(1), 19–25, 2021.