

一側性難聴者の残響下での時間分解能の検討 —狭帯域雑音による無音検出課題を用いて—*

☆辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

1 はじめに

一側性難聴 (UHL; unilateral hearing loss) とは片耳は正常だが, 対耳側に軽度以上の難聴を有する状態である[1]。その程度が重度難聴の場合, 片側聾 (SSD; single-sided deafness) と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[2]。加えて, 室内では特に聴覚障害のあるヒトにとって, 残響が音声明瞭度を低下させる要因となる[3]。残響による音声明瞭度の低下について, 長い残響により音声の時間構造が崩れる self-masking, そして先行する音声の残響によって後続の音声がマスキングされる overlap-masking の影響が指摘されている[4]。残響下において, 過去の検討では一側性難聴者は雑音下の音声聴取のために両耳聴と比べ, より大きな信号対雑音比 (SN 比) を必要とした[5]。この調査では同時に広帯域雑音による残響下の無音検出課題を実施したが, 聴取条件間で有意差はみられなかった。しかし, 近年では良聴耳の時間分解能が両側聴力正常者と比べ劣っていることが困難の原因の一つであると指摘されている[6, 7]。

非残響下の検討例では, gap を同じ帯域の狭帯域雑音で挟んだ無音検出課題 (以下 within-channel 課題) には一側性難聴者と両側聴力正常者で有意差はみられなかったが, 違った帯域の狭帯域雑音で挟んだ無音検出課題 (以下 between-channel 課題) では一側性難聴者は有意に高い閾値 (劣った時間分解能) を示した[8]。聴覚系のより末梢の方で時間分解処理が行われる within-channel 課題に対して, 高次での処理が行われる between-channel 課題[9]を用いて, 残響下での時間分解能について, 詳しく検討する余地が残されている。

そこで本研究では, 一側性難聴者の残響下での時間分解能を検討することを目的として,

無響下と残響下で, 一側性難聴者と両側聴力正常者のモノラル受聴・両耳聴を対象として, 狭帯域雑音による無音検出課題を実施した。

2 方法

一側性難聴者 6 名 (男性 2 名, 女性 4 名; 22–38 歳) が本研究に参加した。本稿では両側聴力正常者のデータのうち, 10 名 (男性 5 名, 女性 5 名; 18–24 歳) を対象とした。

対象のうち 1 名の一側性難聴者について, 患耳側の純音聴力検査が他の一側性難聴のある参加者と違う傾向を示した (125, 250 Hz で 30 dB HL, 500 Hz で 60 dB HL, その他はスケールアウト) ので, 本稿では分析の対象から外した。

分析の対象とした一側性難聴者について, 難聴の期間は 20–38 年で, 先天的発症が 4 名, 後天的発症が 1 名であった。難聴側は左が 1 名, 右が 4 名。良聴耳の平均聴力レベル (四分法) は 20 dB HL 以下で, 難聴の程度は高度難聴が 1 名, スケールアウトが 4 名であった。

2.1 両耳インパルス応答

無響の刺激は, Kayser et al. (2009) [10]によるデータベースより, 音源をダミーヘッドに対して仰角 0° ・方位角正面 (0°)・距離 3.00 m に置いて収録した無響室の両耳インパルス応答を使用した。

残響を付与した刺激は上智大学 10 号館講堂で収録した両耳インパルス応答の畳み込みによって作成した[5]。10 号館講堂の収録では 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。畳み込みには音源をダミーヘッドに対して正面 (0°) に置いて収録した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, 残響時間は約 1.6 秒であった。

* An investigation of temporal resolution under reverberation for those with unilateral hearing loss: Using gap detection tasks of narrow band noise, 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	25	25	右	3.75,	77.50	小耳症
02	38	38	右	5.00,	SO	不明
03	27	20	右	12.50,	SO	ムンプス
04	28	28	右	18.75,	SO	アブミ骨形成不全
05	22	22	右	10.00,	97.50	ムンプス
06	33	33	左	6.25,	SO	不明
平均	28.83	27.67		9.38,	102.50	
(SD)	(5.78)	(6.83)		(5.63)	(13.23)	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

2.2 刺激音

白色雑音 (0–8000 Hz) に対し、2 つの中心周波数 (1000 Hz, 2000 Hz) で帯域幅 1/4 オクターブ・4 次の Butterworth フィルタをかけて狭帯域雑音を作成した。

Within-channel では中心周波数 2000 Hz の、2 つの狭帯域雑音の間に gap を挿入して刺激を作成した。Between-channel では gap に対して先行する刺激は中心周波数 2000 Hz の狭帯域雑音、後続する刺激は中心周波数 1000 Hz の狭帯域雑音とした。

いずれの課題でも、gap に対して先行する狭帯域雑音の時間長は 300 ms で固定し、後続する狭帯域雑音は 250–350 ms の間でランダムになるようにした。コサイン関数によって、先行する狭帯域雑音の終わりに 1 ms の立ち下がり、後続する狭帯域雑音の始まりに 1 ms の立ち上りを付与した。また、刺激全体の立ち上がり立ち下がりにはコサイン関数による 10 ms の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) 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) gap 検出テストであった (同時に文章理解度テストを行った)。

Two-up / one-down の階段法により、70.7% 閾値[11]で gap 検出の弁別閾 (just noticeable difference; 以下 JND) を測定した。実験参加者には基準刺激・gap ありの刺激をランダムな順で呈示し、二肢強制選択法 (two-alternative forced choice; 2AFC) により、gap あ

り刺激はどちらだったかを選択させた。急激な音の立ち上がりや立ち下がりが選択の手がかりにならないように (gap 以外のキューを排除するために)、基準刺激では gap 長を 1 ms とした[9]。Within-channel では、無響下の場合 gap 長は 20 ms、残響下の場合 gap 長は 40 ms からスタートした。Between-channel では、無響下・残響下のどちらも gap 長は 100 ms からスタートした。2 回連続で正解なら gap 長を 1.2 倍し (i.e., 難易度 up)、不正解の場合 gap 長を 1/1.2 倍した (i.e., 難易度 down)。

刺激の呈示、回答・応答時間の記録には Matlab の UI を用いて、マウスによりスクリーン上のボタンをクリックしてもらうことで回答を収集した。Gap 長の増減が 4 回折り返した後 8 回折り返すまで試行を行い、最後の 8 回折り返したときの gap 長を平均して JND を求めた。テストの前に実験参加者には説明を行い、UI による回答の手順を練習させた。練習は参加者が回答の手順を理解するまで繰り返すことができた。

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, HDA300) によって呈示した。刺激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 = 5) し、もう半数には片側のみ呈示 (monaural normal hearing; 以下 MNH; 呈示側は左右同数・ランダムに選択した, n = 5) した。一側性難聴者 (以下 UHL, n = 5) にはヘッドホンにより両側呈示した。

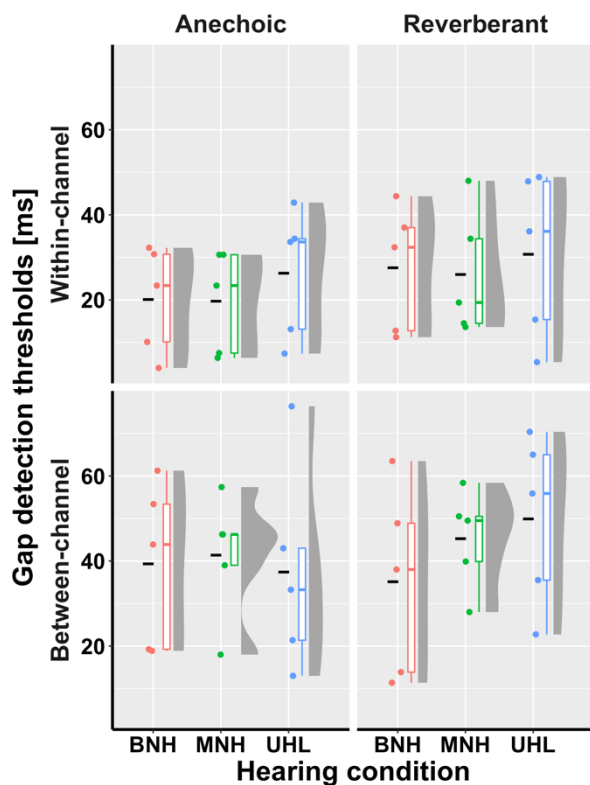


Fig. 1 Raincloud plots for the gap detection thresholds including raw jittered data, box-whisker plots, and split-half violins for three hearing conditions; BNH (n = 5), MNH (n = 5), and UHL (n = 5). The solid and broken horizontal lines indicate the median and mean, respectively.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3 結果

Fig. 1にJNDのraincloud plotを記す。統計分析にはR(4.2.1)を用いた。Within-channel, between-channel それぞれの結果に対して、JNDを応答変数、聴取条件(BNH / MNH / UHL)・聴取環境(無響 / 残響下)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。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JND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JNDの M ・ CI を、パラメータ推定の結果をTable 3に示す。各パラメータが負の方向に寄与するときはJNDの低下(i.e., 時間分解能は優れる方向に作用される)を、正の方向に寄与するときはJNDの上昇(i.e., 時間分解能は劣る方向に作用される)を意味する。

線形混合モデルを用いたパラメータ推定の

Table 2 Estimate marginal means and confidence intervals of the just noticeable difference (JND) in the within- and between-channel task.

聴取条件	課題	環境	JND (M) [ms]	CI	
				Low	High
BNH	Within-channel	無響	20.1	7.1	33.1
		残響	27.6	11.40	43.7
	Between-channel	無響	39.3	19.8	58.8
		残響	35.1	16.9	53.3
MNH	Within-channel	無響	19.7	6.4	33.0
		残響	26.0	9.8	42.1
	Between-channel	無響	41.4	22.2	60.5
		残響	45.2	27.1	63.4
UHL	Within-channel	無響	26.3	13.0	39.5
		残響	30.7	14.6	46.9
	Between-channel	無響	37.4	18.3	56.5
		残響	49.9	31.7	68.1

M : 推定周辺平均, CI : 95%信頼区画

Table 3 Results from regression models analyzing just noticeable difference of within- and between-channel task BNH (n = 5), MNH (n = 5), and UHL (n = 5)

		推定値	標準誤差	T 値	P 値
Within-channel	切片	20.10	6.03	3.34	<0.01
	聴取 (MNH)	-0.40	8.52	-0.05	0.96
	聴取 (UHL)	6.18	8.52	0.73	0.48
	環境 (残響下)	7.45	2.45	3.04	<0.01
	MNH:残響下	-1.18	3.47	-0.34	0.73
Between-channel	切片	39.33	8.51	4.62	<0.001
	聴取 (MNH)	2.05	12.03	0.17	0.87
	聴取 (UHL)	-1.93	12.03	-0.16	0.88
	環境 (残響下)	-4.20	3.28	-1.28	0.20
	MNH:残響下	8.08	4.64	1.74	0.08
	UHL:残響下	16.70	4.64	3.60	<0.001

* コロンは交互作用を示す

結果, within- / between-channel のどちらも, 聴取条件間では有意差がみられなかった

Within-channel 課題では残響がJNDに対し, 有意に正の方向に寄与していた(i.e., どの聴取条件でも無響下の測定と比べ, 残響下ではJNDが有意に上昇すると推定された)。聴取条件間と残響の交互作用はみられなかった。

Between-channel 課題では, 残響がJNDに与える影響は全体としては有意ではなかった。しかし, 聴取条件 UHL と残響に有意な正の交互作用がみられた(i.e., UHLの残響下での測定では, JNDは有意に上昇すると推定された)。

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、無響下・残響下での狭帯域雑音による無音検出課題 (within-channel 課題: 刺激は中心周波数 2000 Hz の狭帯域雑音; between-channel 課題: gap に対して先行する刺激は中心周波数 2000 Hz・後続する刺激は中心周波数 1000 Hz の狭帯域雑音) を行って、一側性難聴者の時間分解能を検討した。

本研究の within-channel 課題では、無響 / 残響下ともに聴取条件の間で有意差はみられなかった。MNH・UHL を対象に、狭帯域雑音による無音検出課題を行い時間分解能を検討した結果、within-channel 課題では有意差がみられなかったという過去の検討[6]と同様の結果となった。

また、BNH・MNH・UHL を対象に白色雑音 (0–8000 Hz) を用いて残響下の within-channel 課題を行った検討では、JND は 4.98–5.70 ms と、非残響下で白色雑音を用いて測定される JND (約 2–3 ms) より上昇していた[5]。本研究では、JND を応答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結果、within-channel 課題において、残響は JND を有意に上昇させる要因と推定された ($p < 0.01$, Table 3)。

過去の between-channel 課題を用いた時間分解能の検討例では、MNH と比べて、UHL は有意に低い時間分解能を示した[6]。Between-channel 課題では聴覚系のより高次で時間分解の処理が行われる[9]ことから、一側性難聴者では時間分解能に関わる脳の高次の処理が両側聴力正常の場合とは違っていると考えられている[6]。

本研究では、between-channel 課題の JND を応答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結果、BNH にとって残響は JND を上昇させる要因ではないと推定された。一方で、MNH では有意差はないが残響による JND の上昇が推定され (推定値: 8.08; $p = 0.08$, Table 3), UHL では残響が JND を上昇させる有意な要因であると推定された (推定値: 16.70; $p < 0.001$, Table 3)。残響下で、一側性難聴者は雑音下音声聴取のために両耳聴と比べ、より大きな SN 比を必要とするという結果[5]と、本研究での between-channel 課題の

結果は関連している可能性がある。今後対象を増やし、時間分解能について更なる検討を進める必要がある。

また、本研究では主に機縁法により一側性難聴者の参加者を募集したため、年齢や性別、難聴側といった要因をコントロールすることが困難であった。時間分解能を詳細に検討するには年齢や性別といった測定に影響する要因を統制しなければならない[7]。今後の、より詳細な時間分解能の検討では、医療機関と協同して参加者を募集するなど、参加者の要因を統制することが必要である。

謝辞

本研究は上智大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を受けた (2021-52)。実験にご参加いただいた方々に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] ASHA (©1997-2023), “Type, degree, and configuration of hearing loss,” <https://www.hearingspecialistsofmichigan.com/assets/pdf/hearing-loss-types-degree-configuration.pdf> (2023/7/25).
- [2] E. Harford and J. Barry, *J Speech Hear Disord*, 30(2), 121–138, 1965.
- [3] A. K. Nábělek and D. Mason, *J Speech, Language, and Hear Res*, 24(3), 375–383, 1981.
- [4] R. H. Bolt and A. D. MacDonald, *J Acoust Soc Am*, 21(6), 577–580, 1949.
- [5] S. Tsuji and T. Arai, *Acoust Sci Technol*, (in press).
- [6] S. K. Mishra *et al.*, *J Assoc Res Otolaryngol*, 16(6), 773–782, 2015.
- [7] E. Gürses *et al.*, *Auris Nasus Larynx*, 47(5), 785–792, 2020.
- [8] D. P. Phillips *et al.*, *J Acoust Soc Am*, 101(6), 3694–3705, 1997.
- [9] H. Kayser *et al.*, *EURASIP J Adv Signal Process*, 298605, 2009.
- [10] H. Levitt, *J Acoust Soc Am*, 49(2B), 467–477, 1971.