

## 高齢者の聴覚特性の劣化が無声摩擦音・破擦音連続体の弁別 および識別に及ぼす影響\*

☆安啓一, 荒井隆行 (上智大・理工), 小林敬 (オークランド大), △進藤美津子 (上智大・外国語)

### 1 はじめに

無声摩擦音・破擦音+母音の CV 音節 (Fig. 1 の右半分に対応) の知覚において, Howell and Rosen (1983) は摩擦部の立ち上がりの長さを変化させた刺激を用いて健聴者を対象とした聞き取り実験を行い, 立ち上がりの長さ (以下,  $A$ ) が摩擦音・破擦音の識別の手がかりとなっていることを示した [1]。さらに Kluender and Walsh (1992) [2] は  $A$  と摩擦定常部の持続時間 (以下,  $S$ ) を独立して操作し, どちらのパラメータも識別に影響を与えることを示した。Mitani *et al.* (2006) も日本語に対して実験を行い, 同様の結論を得た [3]。天野ら (2009) [4] は  $A$  と  $S$ +立ち下りの長さ (以下,  $F$ ) の組み合わせが境界をよく表現していると述べた。一方, 無声摩擦音・破擦音に先行する母音 (Fig. 1 の左側) がある場合には, 摩擦部の長さと同音区間 (silent interval: 以下,  $SI$ ) の長さが無声摩擦音・破擦音の識別の手がかりであると言われている [5, 6]。

摩擦音・破擦音の識別に影響を与える聴覚特性としては, 1. 最小可聴値の上昇, 2. 聴覚における時間処理の低下 [7], 3. 補充現象 [8] などが挙げられる。これらの影響が考えられる聴覚障害者を対象とした実験としては, Dorman *et al.* (1985) [9] が “shop”, “chop” の摩擦部の  $A$  を変化させた音声を用いて若年健聴者 (以下, YNH), 高齢健聴者 (以下, ENH), 高齢難聴者 (以下, EHI) を対象として識別実験を行ったところ, 各参加者間において摩擦音・破擦音の境界および反応曲線の傾きに同じ傾向が見られた。Gordon-Salant *et al.* (2006) [6] では, Dorman *et al.* (1980) [5] と同様に “dish”, “ditch” の対において  $SI$  を変化させ, YNH, ENH, EHI を対象として実験を行った。その結果, ENH, EHI の順番で, 破擦音から摩擦音への異聴が増加した。さらに, 反応曲線の傾きは YNH, ENH, EHI の順番で緩やかとなり, カテゴリ知覚の低下が起きていることを示した。識別実験の他にも弁別実験を行い, YHI, ENH, EHI の順番で弁別閾 (just noticeable difference: 以下, JND) が増加した。また, 時間処理の測定を行う目的で弁別実験を  $SI = 0$  ms の音声を基準として  $SI$  を変化させる 2AFC,

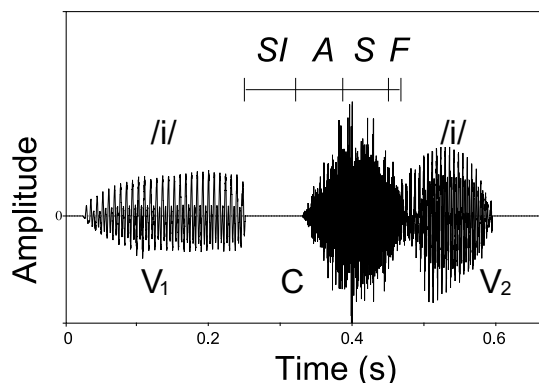


Fig. 1 実験に使用した摩擦音・破擦音連続体の時間波形の例:  $SI = 80$  ms,  $A = 90$  ms,  $S = 90$  ms,  $F = 22$  ms, 先行母音 /i/ ( $V_1$ ) の持続時間 229 ms, 後続母音 /i/ ( $V_2$ ) の持続時間 146 ms。

3I2AFC を行った。その結果 YHI, ENH, EHI の順で時間処理の低下が観測され, 摩擦音から破擦音へと異聴が増加した原因として考えられると述べた [6]。

著者らによる若年者を対象とした実験 [10] および高齢者を対象とした実験 [11] では模擬難聴環境条件 [10], 高齢者 [11] において音素境界が  $A$ ,  $S$  共に長くなる方向に移動した [10, 11]。また, VCV の刺激に対しては, ENH よりも EHI のほうが  $SI$  が長い方向へ音素境界が移動した。後続する  $A$ ,  $S$  が長くなるとよりその傾向が強く観測された。聴覚特性による参加者の分類には純音聴力閾値のみで行っており, 刺激の呈示レベルは実験を通して一定であった。

本報告の目的は, 高齢者においてどのような聴覚特性が無声摩擦音・破擦音の弁別および識別に影響を及ぼしているかを調査することである。聴覚特性測定のために純音聴力検査に加えて摩擦音による最小可聴値の測定, ラウドネススケール [12] を行った。その上で, CV による摩擦音・破擦音連続体の識別実験 (実験 1) を行った。また VCV 音声の識別実験 (実験 2) および弁別実験 (実験 3) により  $SI$  の弁別閾を求め, 時間処理の低下の有無を調査した。CV, VCV 音声についてはラウドネスおよび時間処理の影響を調査するために  $V_1$  および子音の振幅を 10 倍にした刺激も使用した。

\*Discrimination and identification of voiceless fricatives/affricates by elderly listeners: Effect of degradation of auditory properties, by YASU, Keiichi (Graduate School of Science and Technology, Sophia University), ARAI, Takayuki (Faculty of Science and Technology, Sophia University), KOBAYASHI, Kei (The University of Auckland) and SHINDO, Mitsuko (Faculty of Foreign Studies, Sophia University)

Table 1 実験参加者の平均聴力レベル

群	人数 (名)	補充現象 有(名)	摩擦音閾値 (dB HL)	純音聴力閾値 (dB HL)
ENH	12	0	13.8	18.5
EHI	8	3	42.5	29.6

## 2 高齢者を対象とした聴取実験

高齢者を対象に CV 音声の識別実験(実験1), VCV 音声による識別実験(実験2), VCV 音声による弁別実験(実験3)の3つの実験を行った。

### 2.1 参加者

実験には 63–83 歳の高齢者 20 名(男性 8 名, 女性 12 名, 平均年齢 73.5 歳)が参加した。すべての参加者は以下の聴覚特性の測定を行った。

### 2.2 聴覚特性の測定

聴覚特性の測定を 3 つ行った。まず初めに純音聴力検査をオーディオメータ (RION AA-79S) を用いて両耳とも行った。次に, 男性発話による摩擦音 /j/ ( $A = 60$  ms,  $S = 120$  ms) を 450 ms 毎に繰り返した音声を用いて摩擦音の最小可聴閾値を両耳とも測定した。最後に, 補充現象の程度を測定するために Madsen 方式 [12] でラウドネススケール (中心周波数は 4 kHz) を行った。

測定後, 摩擦音閾値が 30 dB HL 未満の場合は ENH, 30 dB HL 以上の場合は EHI と分類した。Table 1 に参加者の平均聴力レベル, 摩擦音閾値 (ENH 12 名, EHI 8 名) を示す。ラウドネススケールの結果, 補充現象が見られたのは 3 名であり, すべて EHI 群であった。補充現象が見られた群を  $EHI_r$  (3 名), 見られなかった群を  $EHI_{nr}$  とした。

### 2.3 刺激

実験1で使用される CV の刺激は, 前報 [10, 11] と同じく日本語母語話者の男性 (31 歳) が発話した /ji/ を基に作成した。A を 0–90 ms, S を 0–180 ms でそれぞれ 10 ms 毎に変化させた。F については, 原音の 22 ms のままとした。使用した CV の刺激数は 146 ( $A, S$  の組み合わせ+オリジナルの /ji/) であった。

実験2で使用される VCV の先行母音 /i/ (以下,  $V_1$ , 後続母音は  $V_2$ ) については, /iji/ と発話した際の  $V_1$  を実験に使用した。後続する CV は実験1と同様の刺激を使用し,  $(A, S) = (20, 0), (40, 80), (60, 120)$  [ms] の 3 通りに対して,  $V_1$  と CV の間の  $SI$  を 0–100 ms の 11 段階で 10 ms 毎に変化させた。さらに各条件で  $V_1$  と C の呈示レベルを基準の 54 dB HL および振幅が 10 倍の 74 dB HL に設定した。使用した刺激は合計  $3 \times 11 \times 4 = 132$  刺激である。/iji/, /ijfi/ のアクセントは尾高型である。

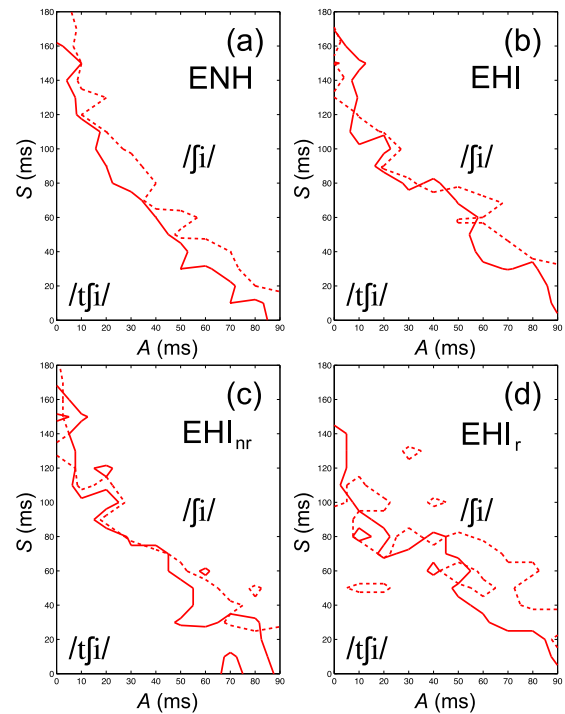


Fig. 2 実験1: 横軸 A, 縦軸 S に対する /j/ と /tj/ の音素境界線 (反応率が 50%)。 (a) ENH, (b) EHI, (c)  $EHI_{nr}$ , (d)  $EHI_r$  の結果を示す。子音部の呈示レベルは 54 dB HL (破線), 74 dB HL (実線)。

実験3で使用される刺激は実験2で使用される VCV のうち  $V_1$  は 54 dB HL,  $(A, S) = (60, 120)$  [ms] のみを用いた。

### 2.4 手順

すべての実験は遮音室内で行われた。刺激は PC に接続された USB Audio Adaptor (ONKYO MA500U) とオーディオメータ (GN Resound AURICAL) を経由し, 受話器 (GN Resound AURICAL 付属) より両耳に呈示した。

実験1の識別実験においては, 1つの刺激を呈示後, 実験参加者には PC のタッチパネル上で「し」もしくは「ち」の聞こえたと思う方のボタンを強制的に選択してもらった。刺激はランダムに呈示され, 子音部のレベルは基準の 54 dB HL, 74 dB HL 順で呈示した。

実験2では, VCV の刺激を用いて /iji/ もしくは /ijfi/ の識別実験を行った。音声の呈示順は子音部の呈示レベルが 54 dB HL ( $V_1C_1$ ), 子音部の振幅が基準の 10 倍である 74 dB HL ( $V_1C_{10}$ ),  $V_1$ , 子音ともに振幅が基準の 10 倍 ( $V_{10}C_{10}$ ),  $V_1$  の振幅が基準の 10 倍 ( $V_{10}C_1$ ) の順番で行った。

実験3では, Gordon-Salant *et al.* (2006) [6] の手法にならない  $SI = 0$  ms の VCV 音声を基準に,  $SI$  の JND を測定した。2 up 1 down で 3IFC を行い, 8 回正誤を折り返した後, 100 試行までの  $SI$  の平均値を

Table 2 実験2: 音素境界における  $SI$  (ms)

VC amp.	(A, S) [ms]	$E_{all}$	ENH			EHI					$E_{nt}$	$E_t$
			all	$EHI_{nt}$	$EHI_t$	all	$EHI_{nt}$	$EHI_t$	$EHI_{nr}$	$EHI_r$		
V1C1	(20, 0)	—*	—*	—*	—*	—*	2.8	—*	0.0	107.7	—*	—*
	(40, 80)	42.8	33.1	22.6	61.8	60.7	0.0	76.8	50.1	202.3	25.0	71.6
	(60,120)	58.6	45.7	34.7	77.0	94.7	61.2	121.6	70.7	—*	38.4	93.7
V1C10	(20, 0)	—*	3.8	6.4	0.0	—*	—*	—*	—*	—*	3.1	—*
	(40, 80)	45.7	36.0	33.7	47.5	59.1	47.1	63.8	55.0	80.3	35.3	58.4
	(60,120)	71.3	55.7	48.8	77.0	89.9	87.8	90.3	81.4	—*	56.5	88.5
V10C1	(20, 0)	6.8	5.0	5.0	4.9	13.7	10.0	21.3	—*	85.7	6.1	4.7
	(40, 80)	21.6	16.1	18.4	10.5	41.6	20.0	49.7	26.0	89.6	18.9	29.6
	(60,120)	38.0	30.6	31.3	29.5	52.8	59.9	48.1	30.5	430.0	36.9	38.4
V10C10	(20, 0)	7.9	7.5	8.0	6.7	7.5	—*	10.9	9.7	10.8	8.4	8.2
	(40, 80)	31.6	28.4	28.2	28.6	28.4	30.0	39.0	35.0	55.4	28.6	35.1
	(60,120)	44.8	40.5	46.7	28.4	40.5	55.4	47.8	45.0	51.2	49.2	40.5

\* /f/の反応率が全ての  $SI$  の条件で 50%を下回り, 反応曲線と音素境界が交差しなかった条件

JND とした [13].

本実験に先立ち, 実験に慣れるために参加者は各実験の冒頭に練習試行を 10 回以上手順を理解するまで繰り返した。合計実験時間は休憩込みで約 120 分であった。

### 3 結果

Fig. 2 は実験 1 の  $A$  と  $S$  に対する /f/ と /ʄ/ の音素境界線 (反応率 50%) である。(a) ENH, (b) EHI, (c)  $EHI_{nr}$ , (d)  $EHI_r$  の結果を示す。

Table 2 に実験 2 の結果を示す。Table 2 は ( $A, S$ ) = (20, 0), (40, 80), (60, 120) [ms] の各条件における  $SI$  の音素境界での値を示す。各条件における /f/ の反応曲線をシグモイド関数によってフィッティングし, /f/反応率が 50%の音素境界に対応する  $SI$  を求めた。V1C1, V1C10, V10C1, V10C10 の各条件を示す。

Fig. 3 に実験 3 の結果である参加者の摩擦音閾値 (dB HL) 対  $SI$  の JND (ms) の散布図を示す。JND が長い参加者から短い参加者まで幅広くばらついた。参加者全員の弁別閾の平均値は 39.7 ms (標準誤差 7.13) であった。また, 摩擦音閾値と  $SI$  の弁別閾の相関係数は 0.40 ( $p = .08$ ) であった。

### 4 考察

#### 4.1 CV の識別結果について

実験 1 (Fig. 2) では  $A, S$  を増加させると破擦音から摩擦音に識別が変化した。この傾向は前報 [10, 11] と同じ傾向であり, Fig. 2 (a)–(d) の各条件においても  $A = 0 - 20$  ms の立ち上がりが極端な箇所を除けば音素境界は  $1.3 A + S$  の重み付けで表現される。天野ら (2009) [4] での健聴者における知覚範疇境界の直線による近似に近い結果となった。

また, EHI (Fig. 2 (a)) は ENH (Fig. 2 (b)) より

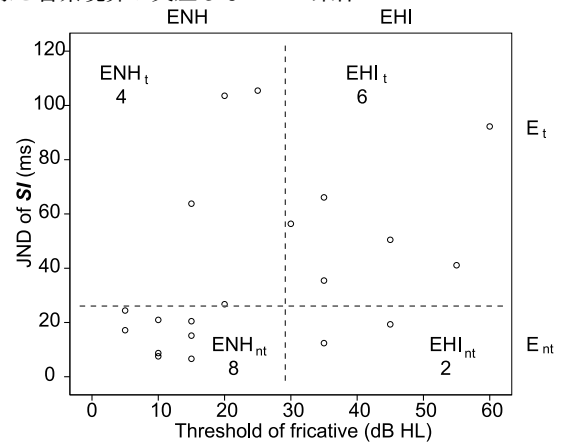


Fig. 3 参加者の摩擦音閾値 (横軸) 対  $SI$  の JND (縦軸) の散布図。図中の数字は人数を示す。

も CV 音声を破擦音として識別しやすいことがわかった。また (d)  $EHI_r$  のほうが, (c)  $EHI_{nr}$  よりも  $A, S$  が長い方向に音素境界が移動し, 破擦音として識別される傾向がみられた。補充現象によって知覚される  $A$  の傾きが増加することにより, 破擦音として識別された可能性がある。立ち上がりの傾きと識別の関係については, Mitani *et al.* (2006) にて言及されており, 更なる検討が必要である。ラウドネスの知覚における temporal integration (TI) [14] の議論も含め, 知覚される傾き対反応率の相関を測定し, 傾きが識別に影響を及ぼすかどうかを調査する。

Fig. 2 (a)–(d) において破線と実線を比較して子音部分の呈示レベルが異なる条件を比較すると, 音素境界の位置には大きな差は見られなかった。ENH (Fig. 2(a)) と EHI (Fig. 2(b)) を比較すると, EHI のほうが  $A$  および  $S$  が長い位置に音素境界が移動する傾向が見られた。

#### 4.2 VCV の識別結果について

実験 2 において  $SI$  が短い場合は摩擦音, 長い場合は破擦音と識別され, 先行研究 [5, 6] と同様の傾向が見られた。また,  $SI$  に後続する  $A, S$  が長くなると, より  $SI$  が長い方向に音素境界が移動した。この結果

は前報 [11] と同じ傾向であった。Table 2 より、EHI では  $SI$  が長い方向に音素境界が移動し、より摩擦音として識別していることが示された。この結果も前報 [11] および、先行研究 [6] と同様の傾向であった。

Table 2 の全体平均 ( $E_{all}$ ) から  $(A, S) = (20, 0)$  [ms] では、 $V_1$  の振幅を 10 倍にすると  $SI$  が長い位置に音素境界が移動するが、 $(A, S) = (40, 80), (60, 120)$  [ms] では子音の振幅が大きい条件で音素境界での  $SI$  が長くなった。

#### 4.3 VCV の弁別結果と識別結果との関係

実験 3 の結果 (Fig. 3) を基に  $SI$  の JND が 25 ms 未満の参加者を時間処理が正常な群 10 名 ( $E_{nt}$ , 平均 15.3 ms), 25 ms 以上を時間処理が低下している群 10 名 ( $E_t$ , 平均 64.1 ms) に分類した。Table 2 より、 $SI$  の弁別閾が低下している  $ENH_t$ ,  $EHI_t$  では  $SI$  が長い方向に音素境界が移動し、より摩擦音として識別しやすいことが示された。以上から、VCV 音声の弁別実験と識別実験に相関の傾向が見られた。 $EHI_r$  では  $EHI_{nr}$  に比べて  $SI$  が長い方向に音素境界が移動し、補充現象が影響を及ぼすことが示唆された。

#### 4.4 CV と VCV の比較

実験 2 での  $(A, S) = (20, 0), (40, 80), (60, 120)$  [ms] の条件を実験 1 での識別結果と対応させると、実験 1 において  $(20, 0)$  [ms] では破擦音、 $(40, 80)$  [ms] は境界付近、 $(60, 120)$  [ms] は摩擦音と識別されている。実験 2 では  $(20, 0)$  [ms] は  $SI = 0$  ms 付近で摩擦音と識別され、 $(60, 120)$  [ms] は  $SI$  が増加するにつれて、摩擦音から破擦音へと変化する。以上から CV 単体で呈示された場合と  $SI$  が CV に先行する場合は識別結果が変化することが示された。

#### 4.5 摩擦音の閾値について

純音聴力検査の結果から参加者を分類したところ、高音漸傾群は ENH と同じ参加者が分類された。純音聴力検査でも摩擦音閾値を測定しても参加者の分類が可能であることが示された。

#### 4.6 音声強調との関係について

補聴器では振幅を増加させることによって子音強調などを行う処理が実用化されているが、振幅の変化によって識別が影響を受けることが考えられる。Plomp *et al.* (1988) [15] は、自動利得制御の機能を持った補聴器を用いて音声明瞭度を測定し、圧縮前後で子音の明瞭度に差がないことを示したが、子音の増加率によっては異聴が増加する可能性が考えられる。

## 5 おわりに

高齢者における聴覚特性と無声摩擦音・破擦音の弁別および識別の関係を調査した。純音聴力閾値、摩擦音閾値の測定、ラウドネススケーリングを行い、CV 刺激に対して摩擦音・破擦音の識別実験、VCV 刺激に対して弁別・識別実験を行った。実験 1 の CV の識別結果から、 $A, S$  の両方が摩擦音・破擦音の識別関係していた。 $ENH$  よりも  $EHI$  のほうが音素境界が  $A, S$  共に長くなる方向に移動し、 $EHI_r$  ではよりその傾向が増した。実験 2 の VCV の刺激に対しては、 $SI = 0$  ms から長くなるにつれて摩擦音から破擦音へと識別が変化した。 $ENH$  よりも  $EHI$  のほうが音素境界における  $SI$  が長くなった。また、後続する  $A, S$  が長いほど、音素境界における  $SI$  も長くなった。実験 3 の VCV 刺激の弁別実験を基に時間処理の低下の有無で参加者を分類した。弁別閾を元に実験 2 の結果を分析すると、時間処理の低下、補充現象がみられた参加者では  $SI$  が長い方向に音素境界が移動し、より摩擦音として知覚しやすいことが示唆された。

**謝辞** 本研究の一部は文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学研究プロジェクト」の支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] Howell and Rosen, *J. Acoust. Soc. Am.*, 73(3), 976–984, 1993.
- [2] Kluender and Walsh, *Psychonomic Soc.*, 51(4), 328–333, 1992.
- [3] Mitani *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 120(3), 1600–1607, 2006.
- [4] 天野ら, 音講論 (秋), 547–548, 2009.
- [5] Dorman *et al.*, *J. Phonetics*, 8, 394–405, 1980.
- [6] Gordon-Salant *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(4), 2455–2466, 2006.
- [7] Glasberg *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 81(5), 1546–1556, 1987.
- [8] Villchur, *J. Acoust. Soc. Am.*, 56, 1601–1611, 1974.
- [9] Dorman *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 77(2), 664–670, 1985.
- [10] 安ら, 音講論 (秋), 1365–1368, 2009.
- [11] 安ら, 音講論 (春), 609–612, 2010.
- [12] Kießling, *Audiologische Akustik*, 34(2), 82–89, 1995.
- [13] 鶴木ら, 聴覚研究会資料, 34(8), 607–612, 2004.
- [14] Exner, *Pflugers Archiv*, 13, 228–253, 1876.
- [15] Plomp, *J. Acoust. Soc. Am.*, 83(6), 2322–2327, 1988.