

## 高齢者を対象とした無声摩擦音・破擦音連続体の識別実験 —若年者の実験結果との比較— \*

☆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

高齢者は加齢と共に言葉の聴き取りが悪くなる傾向があるが、最小可聴値の上昇や時間処理の低下、補充現象の出現など様々な聴覚特性の劣化が要因として挙げられる。音声を音素毎に聴覚特性と対応付けて分析し、異聴の原因となる聴覚特性の劣化を探し出すことによって補聴処理への応用などが期待される。

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、摩擦部の立ち上がり時間  $A$  および定常部の持続時間  $S$ 、立ち下がり時間  $F$  が識別のキューとなることが報告されている [1-3]。Kluender and Walsh (1992), Mitani *et al.* (2006) [1, 2] では  $A$  と  $S$  が、天野ら (2009) [3] では  $A$  と  $S+F$  が識別のキューとなることを示している。

本報告の1つ目の目的は、若年者 [4] と高齢者を対象とした実験で無声摩擦音・破擦音の知覚がどのような違いか比較検討することである。高齢難聴者 (以下, EHI) は高齢健聴者 (以下, ENH) に比べて最小可聴値が上昇しているため摩擦の開始部のレベルが最小可聴値以下となり、 $A$  が短く知覚される可能性がある。安ら (2009) [4] では健聴条件 (YNH) に加えて最小可聴値の上昇を広帯域雑音で模擬し (模擬難聴条件, YHI), 若年健聴者を対象として  $A, S$  を変化させた場合の識別実験を行った。実験の結果, YNH・YHI 共に無声摩擦音・破擦音の識別には  $A, S$  のいずれもがキューになっていることを示された。YHI では, YNH に比べて音素境界が  $A, S$  共に長くなる方向に移動した [4]。そこで, 本報告では ENH および EHI を対象に無声摩擦音・破擦音連続体の識別実験を行い, 高齢者は若年者に比べて知覚がどのように変化するか, そしてその原因はどのような聴覚特性の劣化にあるのかを検討した。

本報告の2つ目の目的は, 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,  $A, S$  に加えて母音と摩擦部の間の無音区間 (silent interval: 以下,  $SI$ ) を変化させた場合に高齢者での知覚を調査することである。Dorman *et al.*, (1980) は, “dish” と “ditch” の識別実験を YNH を対象に行った [5]。無声摩擦音・破擦音が単語中において先行する母音に続く

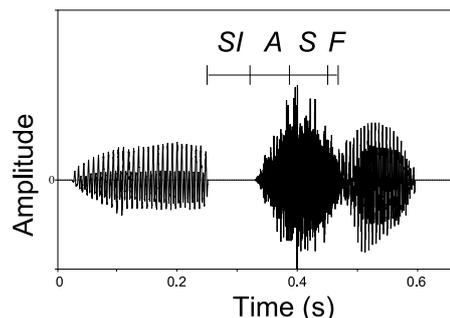


Fig. 1 実験に使用した摩擦音・破擦音連続体の時間波形の例:  $SI = 80$  ms,  $A = 90$  ms,  $S = 90$  ms,  $F = 22$  ms, 先行母音/i/ ( $V_1$ ) の持続時間 229 ms, 後続母音/i/ ( $V_2$ ) の持続時間 146 ms。

際には,  $SI$  が短い場合は無声摩擦音と, 長い場合は無声破擦音と知覚された [5]。

EHI においては, 時間処理の低下によって, 雑音中に出現する gap 長の閾値が増加する事が知られている [6]。Gordon-Salant *et al.*, (2006) [7] は, “dish” と “ditch” における  $SI$  を変化させた際の識別実験に加えて,  $SI$  の弁別域 (just noticeable difference, 丁度可知差異: 以下, JND) を測定した。その結果, 音素境界における  $SI$  も  $SI$  の JND も YNH, ENH, EHI の順で長くなることを示した [7]。EHI で音素境界における  $SI$  が長くなったことは時間処理の低下が関与している可能性があるとして報告している。一方,  $SI$  が同じでも EHI は ENH よりも最小可聴値が上昇しているため,  $SI$  に続く摩擦部の知覚の開始が遅れることが予想される。よって, EHI は ENH に比べてより長い無音区間が知覚され, 音素境界における  $SI$  が長くなると考えられる。さらに  $A, S$  を伸ばさせると摩擦部の持続時間が増加するため, 摩擦音から破擦音へと識別が変化するためにはより長い  $SI$  が必要になると予想される。そこで, 高齢者を対象に  $A, S, SI$  を変化させた刺激の知覚実験を行うことによってどのような聴覚特性が摩擦音・破擦音の知覚に関係しているかどうかを調査した。

本報告では以上の背景を踏まえ ENH, EHI を対象に 3 つの実験を行った。実験 1 として CV における  $A, S$  を変化させた場合の識別実験を行った。実験 2

\* Identification of voiceless fricative/affricate continuum by elderly listeners: Comparison with young listeners, by YASU, Keiichi, 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

	人数	3 分法 (dB HL)	2-8 kHz (dB HL)
ENH	5	21.7	32.7
EHI	7	32.6	49.8
その他の難聴者	1	30.0	51.7

では VCV の刺激を用いて  $SI$  を変化させ、識別実験を行った。実験 3 では、弁別実験によって  $SI$  の JND を求めた。これらの実験を通して、高齢者においてどのような聴覚特性の劣化が無声摩擦音・破擦音の異聴に影響を及ぼしているかを調査した。

## 2 高齢者を対象とした聴取実験

### 2.1 参加者

実験には 65-79 歳の高齢者 13 名 (男性 6 名, 女性 7 名, 平均年齢 74.0 歳) が参加した。オーディオメータ (RION AA-79S) を用いて聴力検査を行い、聴力型から参加者を 3 つの群に分類した。ENH は 125-4 kHz において最小可聴値が 35 dB HL 以下, EHI は高周波数域での最小可聴値の上昇が認められる場合, その他の難聴者は低音域や特定の周波数において最小可聴値が上昇している場合とした。Table 1 に参加者の平均聴力レベル (ENH 5 名, EHI 7 名, その他の難聴者 1 名) および 2-8 kHz の聴力レベルを示す。

### 2.2 刺激

実験 1 で使用する CV の刺激は, 前報 [4] と同じく日本語母語話者の男性 (31 歳) が発話した / $fj$ / の摩擦部を用いた。摩擦部の振幅包絡をヒルベルト変換により抽出し, 摩擦の立ち上がり時間を 0-90 ms, 摩擦定常部の持続時間を 0-180 ms でそれぞれ 10 ms 毎に変化させ, 原音声を振幅包絡で割った信号と掛け合わせるにより音声波形を再合成した。立ち下がり時間  $F$  については, 原音の 22 ms のままとした。Mitani *et al.* [2] では後続母音が / $i$ /, / $u$ /, / $a$ / に変化する場合について実験を行い, 母音間の差はあまり見られないことを示している。そのため, 今回も前報 [4] と同じく / $i$ / を後続母音として使用し, 実験を行った。

実験 2, 3 で使用する VCV の先行母音 / $i$ / (以下,  $V_1$ , 後続母音は  $V_2$ ) については, / $ij$ / 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,  $V_1$  と CV の間の無音区間  $SI$  を 0-100 ms の 11 段階で 10 ms 毎に変化させた。/ $ij$ /, / $ij$ / のアクセントは尾高型である。

### 2.3 手順

すべての実験は遮音室内で行われた。音声の呈示レベルは健聴者を対象とした実験 [4] と同じ 60 dB HL に固定され, PC に接続された USB Audio Adaptor

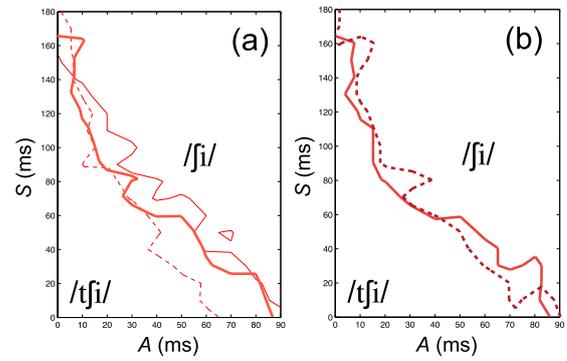


Fig. 2 実験 1 の等高線図のうち, 反応率が 50% となる音素境界を示す。(a) 本報告における高齢者全体の平均 (太実線), 安ら (2009) [4] における若年者 (YNH: 点線, YHI, 実線)。(b) 本報告における ENH (太点線) と EHI (太実線)。横軸は  $A$ , 縦軸は  $S$ 。

(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」の間こえたと思う方のボタンを強制的に選択してもらった。使用した CV の刺激は 146 (立ち上がり, 持続時間の組み合わせ+オリジナルの / $tʃj$ /) 刺激でありランダムに呈示された。

実験 2 では, VCV の刺激を用いて / $ij$ / もしくは / $ij$ / の識別実験を行った。 $A = 20, 40, 60$  ms,  $S = 0, 40, 80, 120$  ms の 12 通りのそれぞれの組み合わせに対して,  $V_1$  と  $C$  の間の  $SI$  を 0-100 ms の 11 通りで変化させた。使用した刺激は合計  $12 \times 11 = 132$  刺激である。

実験 3 は  $SI$  に対する弁別実験を行った。A-X 法によって  $SI = 0$  ms の基準音声に対して  $SI$  を 0-100 ms にランダムに変化させた音声を呈示し, 「同じ」か「違う」かを判断させた。使用した刺激は実験 2 と同様で 132 刺激である。

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 90 分であった。

## 3 結果

実験 1 では, (1) 若年者 [4] と高齢者では音素境界に差が見られる, (2) 高齢者において CV 刺激における無声摩擦音・破擦音の識別には  $A$  と  $S$  の両方がキューとなる, という 2 つの予測を立てた。Fig. 2 に実験 1 の結果を示す。図の横軸は  $A$  および  $S$ , 各線は / $fj$ / と / $tʃj$ / の反応率が 50% と等しくなる音素境界を示す。

Table 2 実験2: 音素境界における  $SI$  (ms)

		(a) ENH A (ms)			(b) EHI A (ms)		
		20	40	60	20	40	60
		0	7.6	15.0	12.1	—*	—*
S (ms)	40	15.3	19.5	19.5	23.5	28.2	25.3
	80	26.3	32.2	33.1	41.7	47.6	67.9
	120	37.5	39.6	50.7	70.6	88.2	83.5

\* 音素境界が現れなかった条件

Fig. 2 (a) において若年者における健聴条件と高齢者全員の平均を比較すると、高齢者のほうがYNHに比べて音素境界がA, S共に長くなる方向に移動した。この結果は予測の(1), (2)を支持した。音素境界がAおよびSの変化のどちらの影響も受けたことは(予測2), 若年者を対象とした実験[4]と同じ傾向を示した。一方, Fig. 2 (b) において高齢者2群の音素境界はほぼ重なった。

実験2では, (3) VCVの刺激において, ENHに比べてEHIでは $SI$ が長くなる方向に音素境界が移動する, (4) 後続するA, Sが長くなると $SI$ が長くなる方向に音素境界が移動する, という予測を立てた。A, Sの各組み合わせにおける反応曲線をシグモイド関数にあてはめ, 音素境界における $SI$ を求めた(Table 2)。(a)(b)を比較した場合, EHIのほうが音素境界の $SI$ が長い傾向が見られ, Gordon-Salant *et al.* (2006) [7]と同様の傾向を示した(予測3)。AとSが長い条件では, 音素境界の $SI$ が長くなる傾向が見られ, 予測(4)が支持された。

実験3では, (5) VCVの刺激において, ENHに比べてEHIでは $SI$ のJNDが長くなる, (6) 後続するAおよびSが長くなると $SI$ のJNDが長くなる, という予測を立てた。A, Sの各組み合わせにおける反応曲線から求めた $SI$ のJNDをTable 3に示す。ENHよりもEHIのほうが $SI$ のJNDが長くなる傾向が見られ, 予測(5)が支持され, これは先行研究[7]と同じ傾向であった。また, 後続するAおよびSが長くなると $SI$ のJNDが長くなる傾向が見られ, 予測(6)を支持する結果となった。

## 4 考察

### 4.1 CV 刺激における若年者と高齢者の比較

A, Sを変化させたCV刺激の識別結果をYNH[4]と高齢者全体で比較したところ, 音素境界がA, S共に長い方向に移動した(Fig. 2 (a))。一方, Fig. 2 (b)ではENHとEHIの音素境界には明確な差がなかった。よってYNHとENHを比較すると, 同じ健聴条件にもかかわらずENHの方がA, S共に長い方向に音素境界が移動することがわかった。このことから,

Table 3 実験3:  $SI$ のJND (ms)

		(a) ENH A (ms)			(b) EHI A (ms)		
		20	40	60	20	40	60
		0	25.7	25.9	19.5	53.6	33.1
S (ms)	40	17.6	25.0	25.0	50.3	38.2	49.1
	80	32.1	35.1	47.7	60.2	64.0	83.7
	120	32.4	47.6	54.0	61.7	87.9	66.2

高齢者が摩擦音・破擦音を識別する際には最小可聴値の上昇以外の聴力特性が影響していることが示唆された。

また, カテゴリ知覚の程度を観察するために音素境界における反応曲線の傾きを求めた。その結果, ENH, EHI, YHIは同程度の傾きを示し, YNHでは3群よりも傾きが急になる傾向がみられた。ここから, YHIの模擬難聴条件では高齢者におけるのカテゴリ知覚を模擬できていたと考えられる。

### 4.2 時間処理と摩擦音・破擦音知覚の関係

Gordon-Salant *et al.* (2006) [7] においてはENHよりEHIのほうが $SI$ のJNDが長くなる傾向がみられたが, これはEHIにおける時間処理能力の低下が原因であると考察している。今回の実験(Table 3)においても同じ傾向が観測された。Table 2 (a)(b)のどちらの群でもA, Sを長くすると音素境界における $SI$ が長くなる傾向が見られ, 特にEHIではENHよりもその傾向が強かった。これはA, Sが長くなり摩擦部が長くなるとより摩擦音として識別されるが, それがまた摩擦音から破擦音へ識別が変わるためにはより長い $SI$ が必要になるためと考えられる。このようにA, S,  $SI$ それぞれの変化に対してインタラクションがあり, 識別に影響を及ぼしていることが考えられる。また, 実験1のCVの識別実験ではENHとEHIの音素境界に明確な差が生じなかったが, 実験2のVCVの識別実験においてはENHとEHIに差が生じた。このことから, 無声摩擦音・破擦音を識別する際に $SI$ は最小可聴値の上昇や時間処理の低下の影響を受ける可能性があることが示唆された。

$SI$ は母音 $V_1$ からの順向性のマスキング, 摩擦部からの逆向性マスキングの影響を受けると考えられる。Yasu *et al.* [9, 10] においては, CV刺激に対して後続母音からの逆向性マスキングの影響を軽減させるために, 音声の定常部を抑圧する定常部抑圧処理[12–14]を用いて母音の定常部を抑圧した場合の無声摩擦音・破擦音の識別について高齢者を対象に比較を行った。その結果, Yasu *et al.* [9, 10]では処理の有無による識別結果には差が見られなかったが, 今回用いたVCVの刺激においては継時マスキングも知覚に影響を与えているものと考えられる。

### 4.3 A, Sとラウドネスの関係

刺激が200 ms以下の場合には、ラウドネスの知覚における temporal integration (TI) [8] が識別や弁別に関係する可能性がある。今回の実験では A, S を変化した場合の音素境界は ENH と EHI で明らかな差はみられなかった。そこで、今回使用した刺激について TI によるラウドネスのモデルが当てはまるかどうかを調査した。予備実験として CV 刺激において (a) S を変化した場合の A の JND, および (b) A を変化した場合の S の JND を今回の実験と同じ参加者を対象として測定した。実験の結果, ENH および EHI の (a) A の JND の平均値はそれぞれ 59.7 ms, 46.7 ms となった。一方, (b) S の JND の平均値はそれぞれ 13.7 ms, 21.2 ms となった。いずれの実験結果も参加者の人数の関係から有意差については議論できないが, A の JND については EHI のほうが短くなる傾向が示唆された。考えられうる理由としては, EHI において聴覚の補充現象が出現して TI が促され, 無声摩擦音・摩擦音を聴取する際に ENH と比較して立ち上がり部の変化をより敏感に知覚した可能性が考えられる。今後は TI の知覚をモデル化し, ENH から EHI の識別結果が予測できるかどうかを検討する。

### 4.4 $V_1$ が無声摩擦音・破擦音の知覚に及ぼす影響

先行研究 [5, 7] においては  $V_1$  として “dish” と “ditch” のものをそれぞれ使用することを検討しているが, 今回の刺激を作成した際に /ɪʃi/ の先行母音 /i/ は /ɪʃi/ の /i/ に比べて  $SI$  が短い場合でも 「いっし」 もしくは 「いっち」と促音として識別されやすかった。そのため, 今回は /ɪʃi/ ではなく /ɪʃi/ の  $V_1$  を刺激として用いた。 $V_1$  の影響を調査するため, 若年健聴者 1 名を対象として, (a)  $V_1$  の立ち下がりを変えたときの識別, (b)  $V_1$  の持続時間を変えたときの識別, (c)  $V_1$  の振幅を変えた際の識別について予備的な調査を行った。その結果, (a)-(c) いずれの要因も無声摩擦音・破擦音の識別に影響を及ぼす可能性が示唆された。

今回の刺激では, 摩擦音から破擦音へと変化し, さらに  $SI$  が 100 ms 付近では促音として知覚された。今回は刺激を呈示する際にキャリアセンテンスを用いなかったが, 話速を制御した際の識別結果も検討する必要がある。天野・平田 (2008) [11] では話速と単語中の無音区間に着目し, 促音と非促音の知覚範疇境界を求めた。今回の実験では  $SI$  の変化による摩擦音・破擦音の境界について議論したが,  $SI$  の変化による促音, 非促音のカテゴリ知覚については, 今後検討してゆきたい。

## 5 おわりに

高齢者における最小可聴値の上昇や時間処理の低下が無声摩擦音・破擦音の識別・弁別にどのように影響を及ぼすかを若年者の実験結果 [4] と比較調査した。実験 1 の CV を用いた実験結果から, 高齢者は若年者と同じく A, S の両方を摩擦音・破擦音の識別のキューとして使用することが示唆された。また, 若年者に比べて高齢者のほうが若干ながら音素境界が A, S 共に長くなる方向に移動する傾向が示された。また, 実験 2, 3 の VCV の刺激に対しては, ENH よりも EHI のほうが音素境界と JND おける  $SI$  が長くなった。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。以上から, 高齢者において最小可聴値の上昇や時間処理の低下などの聴覚特性の低下が無声摩擦音・破擦音の識別に影響を及ぼすことが示唆された。今後は, 今回取り上げたもの以外を含め, 高齢者での異聴の原因となる聴覚特性を検討したい。

**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] Kluender and Walsh, *Psychonomic Soc.*, 51(4), 328–333, 1992.
- [2] Mitani *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 120(3), 1600–1607, 2006.
- [3] 天野ら, 音講論 (秋), 547–548, 2009.
- [4] 安ら, 音講論 (秋), 1365–1368, 2009.
- [5] Dorman *et al.*, *J. Phonetics*, 8, 394–405, 1980.
- [6] Glasberg *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 81(5), 1546–1556, 1987.
- [7] Gordon-Salant *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(4), 2455–2466, 2006.
- [8] Exner, *Pflugers Archiv*, 13, 228–253, 1876.
- [9] Yasu *et al.*, *Proc. of Japan-China Joint Conf. on Acoust.*, 2007.
- [10] 安ら, 音講論 (秋), 589–590, 2007.
- [11] 天野, 平田, 音講論 (春), 499–500, 2008.
- [12] 荒井ら, 音講論 (秋), 1, 449–450, 2001.
- [13] Arai *et al.*, *Acoust. Sci. Tech.*, 23(4), 229–232, 2002.
- [14] Hodoshima *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(6), 4055–4064, 2006.