

## 高齢者における聴覚特性の劣化が無声摩擦音・破擦音の識別に及ぼす影響\*

安 啓一<sup>\*1</sup> 荒井隆行<sup>\*1</sup> 小林 敬<sup>\*2</sup> 進藤美津子<sup>\*3</sup>

【要旨】 高齢者を対象に、子音持続時間もしくは子音と先行母音間の無音区間長を主に変化させた「シ」-「チ」(CV), 「イシ」-「イチ」(VCV) 連続体の識別実験を行った。その結果、若年者同様、CV では子音が長くなると「チ」→「シ」、VCV では無音区間が長くなると「イシ」→「イチ」に聞こえが変化した。また、1) 摩擦音閾値の上昇、2) 補充現象の存在、3) 時間分解能の低下に着目すると、1) の場合、CV では子音が短いと「チ」→「シ」、長いと「シ」→「チ」の異聴が現れ、更に 2) を伴うと傾向が強まった。VCV では、1)-3) すべてが存在する場合、「イチ」→「イシ」の異聴が最も顕著だった。

キーワード 高齢者、聴覚障害、摩擦音、破擦音、聴覚の時間分解能、最小可聴値、補充現象

Elderly listeners, Hearing impairment, Fricatives, Affricates, Auditory temporal resolution, Absolute threshold of hearing, Loudness recruitment

## 1. はじめに

若年者を対象とした無声摩擦音・破擦音の識別について、今まで様々な研究が行われている。摩擦開始部の立ち上がり時間を  $R$ 、摩擦定常部の持続時間を  $S$ 、立ち下がり時間を  $F$ 、摩擦部の全体の持続時間を  $T = R + S + F$ 、先行母音  $V_1$  と摩擦部の間の無音区間長を  $SI$  (silent interval)、子音部を  $C$ 、母音部を  $V$  とすると (図-1)、先行研究では特に  $R$  と  $S$ 、 $SI$  に着目して実験が行われている。無声摩擦音・破擦音+母音の CV 音節 (図-1 の右半分のみの場合) の知覚において、Howell and Rosen [1] は  $R$  を変化させた刺激を用いて英語を母語とする若年健聴者を対象とした聴き取り実験を行い、 $R$  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。Kluender and Walsh [2] は、Howell and Rosen [1] の実験では  $R$  と  $S$  が同時に変化しているために、どちらのパラメータが識別に影響を及ぼしているかが分からないことを指摘した。そして、若年健聴者に対して  $R$  と  $R + S$  という二つのパラメータを操作した場合の識別実験を行い、 $R$  に比べて  $R + S$  がより明確に摩擦音・破擦音の音素境界を示すと述べている [2]。

摩擦部の持続時間だけでなく、立ち上がりにおける振

幅の増加率という観点からも議論されている。Mitani *et al.* [3] は若年者に対する識別実験において、日本語母語話者が発話した無声摩擦音に対して、Kluender and Walsh [2] と同じく  $R$  と  $R + S$  を変化させ若年健聴者に対して呈示した。その結果、まず、主に  $R + S$  によって摩擦音・破擦音の識別がなされることを示した。更に、摩擦の開始部に白色雑音を加えて摩擦開始部における時間包絡が直線的に立ち上がる以外に指数関数的に立ち上がる場合についても検討した。そして、加算された雑音よりも振幅が大きく、マスクされずに残った摩擦部の立ち上がりにおける振幅の増加率も、無声摩擦音・破擦音を識別する上での手がかりになっていることを示した [3]。

若年者における無声摩擦音・破擦音の識別は、知覚的側面のみならず生成面とも絡めて議論されている。生成の立場では、Howell and Rosen [1] は英語母語話者における無声摩擦音・破擦音の生成範ちゅう境界と知覚範ちゅう境界には相関が認められることを報告した [1]。日本語の無声摩擦音・破擦音の生成については、山川ら [4, 5] が日本語コーパスの摩擦音 [s]・破擦音 [ts] の  $R$ 、 $S$ 、 $F$  の関係について調査している。分析の結果、破擦音 [ts] は  $R + S + F$  が短く、摩擦音 [s] は長いことが分かり、 $R$  と  $S + F$  の組み合わせが生成範ちゅう境界を示す有効な音響的特徴である可能性の高いことを示した [4, 5]。更に、天野ら [6] は若年健聴者に対して行った摩擦音・破擦音連続体の識別実験結果から知覚範ちゅう境界を求めた。その結果、やはり摩擦部の長さが短いと破擦音 [ts]、長いと摩擦音 [s] として識別され、 $R$  と  $S + F$  の組み合わせが境界を表すのに適切であると述べ、知覚と生成の範ちゅう境界が一致することを示している [7]。

\* Identification of voiceless fricatives/affricates by elderly listeners: Effect of degradation of auditory properties, by Keiichi Yasu, Takayuki Arai, Kei Kobayashi and Mitsuko Shindo.

<sup>\*1</sup> 上智大学理工学部情報理工学科

<sup>\*2</sup> Section of Audiology, School of Population Health, The University of Auckland, New Zealand

<sup>\*3</sup> 上智大学言語聴覚研究センター

(問合せ先: 安 啓一 e-mail: k-yasu@sophia.ac.jp)

(2011年6月30日受付, 2012年5月7日採録決定)

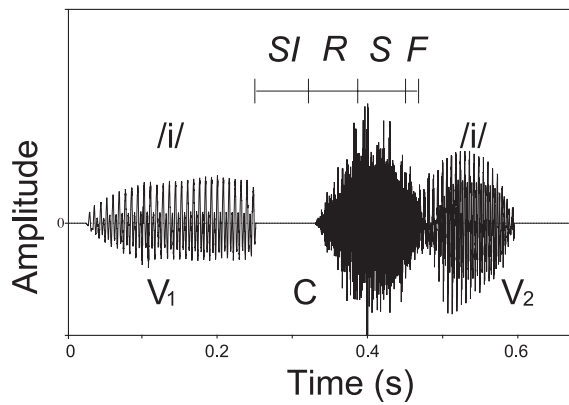


図-1 実験に使用した摩擦音・破擦音連続体の時間波形の例  
 $R = 90$  ms,  $S = 90$  ms,  $F = 22$  ms,  $SI = 80$  ms, 先行母音 [i] ( $V_1$ ) の持続時間 229 ms, 後続母音 [i] ( $V_2$ ) の持続時間 146 ms。

ところで、高齢者は若年者と比較して、加齢と共にことばの聴き取りが悪くなることが知られている。原因として最小可聴値の上昇 [8] や聴覚フィルタの広がり [9]、聴覚における時間分解能の低下 [10, 11]、補充現象 [12] の出現など様々な聴覚特性の劣化が挙げられる。Ginzel *et al.* [13] は摩擦音・破裂音の例ではあるが、加齢による識別の変化を調査するため若年者及び高齢者に対して、[s]-[t] 連続体が語頭に存在し、それに母音が続く刺激（以下、子音と母音からなる刺激を CV 刺激とする）を用いた識別実験を行い、高齢者においては摩擦音から破裂音へと識別される割合が増加することを示した。Dorman *et al.* [14] は語頭に摩擦音が存在する “shop”-“chop” の単語対に対して、Howell and Rosen [1] と同じ音声処理法で  $R$  を変化させた刺激を用いて若年健聴者、高齢健聴者、高齢難聴者に対して実験を行った。難聴者は健聴者とは異なる識別傾向を示すことが予想されたが、それに反して参加者間で識別結果に差は見られなかった。安ら [15, 16] は Howell and Rosen [1] に準じた方法で  $R$  を変化させた日本語単音節を用いて実験を行った。その結果、最小可聴値の上昇が認められる高齢難聴者においては摩擦音から破擦音への異聴が有意に認められた [15, 16]。また、若年健聴者と高齢健聴者で摩擦音・破擦音の識別に違いが認められたことから、例えば時間分解能の低下などの最小可聴値以外の聴覚特性の劣化が破擦音への異聴に影響を及ぼしていることが示唆された。

一方、無声摩擦音・破擦音が語中にあるなど先行母音  $V_1$  が存在する場合（図-1 の  $V_1$  が先行する場合で、以下 VCV 刺激）では、CV 単独で呈示する場合に比べ異なる識別結果となりうるということが報告されている [17, 18]。若年健聴者を対象にして行われた実験のうち、Repp *et al.* [17] は単語 “shop” の直前に母音で終わる別の単語

が接続されると、先行母音と子音間の無音区間長である  $SI$  が長くなるに従い、聞こえが “shop” から “chop” に変化することを示した。これは先行する  $V_1$  と “shop” の間の無音区間が破擦音に先行する閉鎖として知覚されることにより、結果として摩擦音が破擦音として識別されたためと考えられる。Dorman *et al.* [18] は “dish”-“ditch” において、 $SI$  の長さを連続的に変えて若年健聴者に対し識別実験を行った。その結果、 $SI$  が短い場合には無声摩擦音 [ʃ] から成る “dish”， $SI$  が長い場合は無声破擦音 [tʃ] から成る “ditch” と知覚されることを報告した [18]。Gordon-Salant *et al.* [19] では、Dorman *et al.* [18] と同じく “dish”-“ditch” の対において  $SI$  を変化させ、若年者のみならず高齢者に対しても実験を行った。その結果、若年健聴者に比べて、高齢健聴者、高齢難聴者の順で、“dish” と回答する割合が増加した。また、 $SI$  に対する反応曲線の傾きがやはり同様の順で緩やかとなり、無声摩擦音と無声破擦音との識別能の低下が起こっていることを示した。更に、聴覚における時間分解能の測定のため  $SI$  の弁別閾 (just noticeable difference: 以下、JND) を測定した結果、同じく若年健聴者、高齢健聴者、高齢難聴者の順で時間分解能の低下が観測された。このことから、時間分解能の低下が摩擦音から破擦音へと識別が変化した原因として考えられると結論づけている [19]。

このように高齢者を対象とした無声摩擦音・破擦音に関する先行研究において、純音聴力閾値の上昇 [14] や時間分解能の低下 [19] などの聴覚特性の劣化が単独では扱われていた。しかし、複数の聴覚特性について系統的に扱われておらず、聴覚特性間の関連性を踏まえた議論も行われてこなかった。また、語頭と語中に摩擦部がある場合において、それぞれの識別結果が同じ参加者間で比較検討されていない。そこで本論文では、高齢者が無声摩擦音・破擦音を識別する上でどのような聴覚特性の劣化が影響を及ぼすか、また摩擦音が語頭・語中にあることで識別がどう変わるかについて系統的に調査することを目的に実験を行った。本研究を通して、摩擦音及び破擦音の知覚と聴覚特性の劣化の関係について調査する。そして、本研究が高齢者・聴覚障害者における聞こえの劣化の原因解明に寄与し、聴覚特性にきめ細かに対応した補聴処理へと応用されることを目的としている。聴覚特性としては、純音と摩擦音の最小可聴値、 $SI$  の JND に基づく時間分解能低下の有無、ラウドネススケーリング (Kießling, 1995, as cited in Brand and Hohmann, 2002) [20] に基づく補充現象の有無に着目した。また、語頭・語中の無声摩擦音・破擦音の識別実験としては、CV 刺激（実験

1) 及び VCV 刺激 (実験 2) の連続体を用いた。識別実験の結果を聴覚特性と関連付けながら考察することによって、異聴との関係を明らかにすることを試みた。

## 2. 実 験

実験 1 として CV 刺激, 実験 2 として VCV 刺激の二つの識別実験を行った。また, 参加者に対して, 純音と摩擦音による最小可聴値,  $SI$  の JND, 補充現象の程度を確認するためのラウドネススケージング [20] の 3 種類の聴覚特性に関する測定を行った。

### 2.1 参加者

実験には高齢者 59 名 (男性 17 名, 女性 42 名, 62–83 歳, 平均年齢 72.2 歳) が参加した。すべての参加者は東京都千代田区在住の日本語母語話者であった。

### 2.2 刺 激

実験 1, 実験 2 とも摩擦音・破擦音の連続体を刺激として使用した。実験 1 では, CV 刺激として [ji]–[tʃi] 連続体を用いた。先行研究 [3] の結果によると, 後続母音 (図-1 参照, 以下  $V_2$ ) の違いによる摩擦音・破擦音の識別には差がないことが示されている。著者らの先行研究 [15, 16] において  $V_2$  として [i] を用いていることから, 今回の実験でも  $V_2$  として [i] の 1 母音のみを用いた。実験 2 では, VCV 刺激として [ifi]–[itʃi] 連続体を用いた。VCV 刺激の先行母音  $V_1$  については, 著者らによる先行研究で使用した日本語の最小対立語が存在する [i] とし, 後続する  $CV_2$  は実験 1 で作成した刺激から選択した ( $R, S$  の組み合わせは後述する)。

まず, 刺激の作成のために音声の録音を行った。日本語母語話者の男性 (31 歳) が発話した [ji], [ifi], [tʃi] をマイクロホン (SONY ECM-23F5) 及び PCM レコーダ (D&M Professional marantz PMD660) を用いてサンプリング周波数 48 kHz, 量子化精度 16 bit で録音した後, 16 kHz にダウンサンプリングした。[ji] の  $C$  の持続時間は 310 ms, 後続母音  $V_2$  の持続時間は 229 ms であった。更に, 持続時間を操作した CV 刺激に先行して, [ifi] ( $V_1$  の持続時間 = 226 ms,  $C = 630$  ms,  $V_2 = 249$  ms) の  $V_1$  を切り出して接続させることによって VCV 刺激を作成した。作成した VCV 刺激のアクセントは尾高型である。

次に, 実験 1 の CV 刺激で使用する摩擦音連続体の作成法について説明する。録音した [ji] の摩擦音における時間振幅包絡をヒルベルト変換により抽出し, 抽出した包絡でもとの時間波形を割ることにより摩擦開始部の立ち上がり, 摩擦定常部の時間包絡を一定にした。そしてその摩擦部と,  $R$  では振幅が 0 から 1 に直線的に変化し  $S$  では振幅が 1 で一定であるような時間包絡とを掛け合わせるにより, 摩擦部の音声波形

を再合成し連続体刺激を作成した。 $R$  を 0–90 ms,  $S$  を 0–180 ms の範囲で 10 ms ごとに変化させた。なお,  $C$  の長さが不自然にならないように  $R + S \leq 180$  の制限を設けた。また, 摩擦開始部の立ち上がり, 摩擦定常部, 立ち下がりの境界については時間振幅包絡から目視で判断し設定した。 $F$  は原音の 22 ms のままとし, 時間包絡についても原波形をそのまま用いた。なお,  $C$  の時間包絡を操作していない [tʃi] ( $R = 44$  ms,  $S = 64$  ms,  $F = 20$  ms,  $V_2 = 144$  ms) も刺激として追加し, 合計 146 刺激を実験に用いた。更に, 子音の振幅増幅が聴覚特性の劣化に与える影響を確かめるため, 同じ  $R, S$  の組み合わせで  $C$  の振幅のみを 10 倍にした刺激を同数作成した。以下,  $C$  の振幅が 1 倍のものを  $C^1$ , 10 倍にしたものを  $C^{10}$  とする。刺激数は  $C^1V$  及び  $C^{10}V$  で合計 292 である (レベル 2 条件  $\times$  146 刺激 = 292 刺激)。なお, 原音の [tʃi] については,  $C$  の振幅を 10 倍にせずにそのまま使用した。

実験 2 の VCV 刺激は実験 1 の CV 刺激のうち,  $C$  が短い刺激 ( $R = 20$  ms,  $S = 0$  ms, 以下  $C_{short}$ ), 中程度の刺激 ( $R = 40$  ms,  $S = 80$  ms, 以下  $C_{middle}$ ), 長い刺激 ( $R = 60$  ms,  $S = 120$  ms, 以下  $C_{long}$ ) の三つの  $R, S$  の組み合わせを選択した。そして,  $V_1$  と  $CV_2$  の間の  $SI$  を 10 ms ごとに 0–100 ms の範囲で 11 段階変化させた。更に, CV 刺激で  $C$  の振幅を 10 倍したのに加え  $V_1$  の振幅も 10 倍にした刺激を作成した。これは,  $V_1$  の振幅増幅がマスク等により直後の  $SI$  に与える影響を調査するためである。 $V_1$  と  $C$  をそれぞれ 1 倍, 10 倍の振幅とし, 合計 4 通りで組み合わせた。以後  $C^1$  及び  $C^{10}$  同様,  $V_1$  の振幅が 1 倍のときを  $V_1^1$ , 10 倍のときを  $V_1^{10}$  とした。振幅の組み合わせは,  $V_1^1C^1, V_1^1C^{10}, V_1^{10}C^1, V_1^{10}C^{10}$  の 4 通りとなり, 刺激数を合計すると 132 である ( $C$  の長さ 3 条件  $\times SI$  の長さ 11 条件  $\times V_1$  と  $C$  の振幅の組み合わせ 4 条件 = 132 刺激)。

### 2.3 聴覚特性の測定

参加者の聴覚特性を調べるため, 聴取実験に先立って以下の測定を行った。聴覚測定はすべて聴力検査室 (RION AT-81) 内にて行った。

#### 2.3.1 最小可聴値の測定

最小可聴値の測定は, 2 種類の刺激に対して行った。一つ目は刺激として純音を使い, 純音閾値をオーディオメータ (RION AA-79S) を用いて極限法により片耳ずつ測定した。二つ目は, 実験に使用する摩擦音に対する最小可聴値 (摩擦音閾値) を片耳ずつ測定した。後者の測定では実験に用いる刺激のうち, CV 刺激における摩擦音 [j] ( $R = 60$  ms,  $S = 120$  ms,  $F = 22$  ms,  $T = 202$  ms) を切り出して使用した。摩擦音に続いて

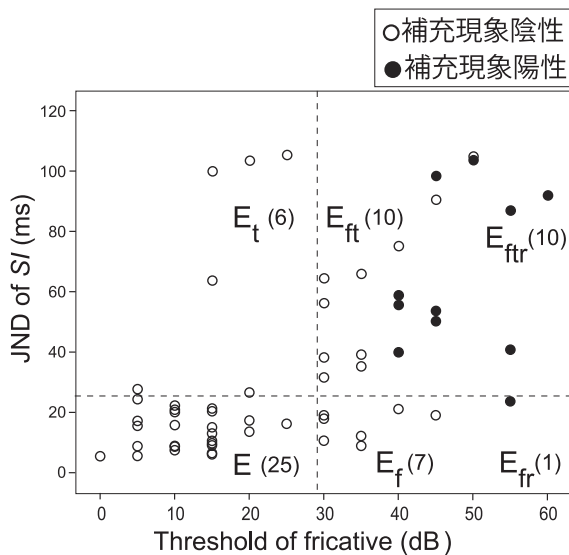


図-2 聴覚特性の測定結果から参加者の分類結果を示す散布図  
横軸は摩擦音閾値の分布を聴覚閾値レベル (dB) で示したもので、縦軸は SI の JND (ms) である。黒丸は補充現象が陽性、白丸は補充現象が陰性の参加者を示す。縦・横軸に並行な各点線は参加者を分類する際の境界を示す。図中の記号は参加者群を表し、括弧内の数字は人数を示す。各特性については 2.3.4 項及び表-1 参照。

表-1 摩擦音閾値、時間分解能、補充現象の各聴覚特性による実験参加者の分類結果 (括弧内の数字は人数を示す)

摩擦音閾値	時間分解能			
	正常		低下	
	補充現象 陰性	補充現象 陽性	補充現象 陰性	補充現象 陽性
正常	E (25)	-	E <sub>t</sub> (6)	-
上昇	E <sub>f</sub> (7)	E <sub>fr</sub> (1)	E <sub>ft</sub> (10)	E <sub>ftr</sub> (10)

無音区間 248 ms を加え、合計 450 ms の長さのものを繰り返し刺激として用いた。そして、純音閾値と同じく極限法によって最小可聴値を測定した。

純音閾値と摩擦音閾値を比較したところ、2 及び 4 kHz における純音閾値の平均値と摩擦音閾値がほぼ一致した。そこで、今回は実験の刺激と対応させるため摩擦音閾値を参加者の分類に採用した。図-2 の横軸に各参加者の摩擦音閾値の分布を聴覚閾値レベルとして示す。基準値は ISO 389-3 に掲載されている語音聴力レベルで代用した (0 dB = 14 dB SPL)。横軸に直交する点線は参加者を分類する境界であり、30 dB 未満の場合は摩擦音閾値が正常な群、30 dB 以上は摩擦音閾値が上昇した群とした (縦軸については、次節にて説明する)。30 dB は軽度難聴と中等度難聴の境界であり、また 65 歳における平均聴力レベルであることから群を分けることに使用した [8]。ただし、今回使用した ISO 389-3 と聴覚レベルは基準値が異なるため、厳密には対応しない。

### 2.3.2 聴覚における時間分解能の測定

時間分解能の測定では実験 2 で使用する VCV 刺激の一部を使用し、無音区間長 SI を変化させ、SI に対する JND を求めた。あらかじめ摩擦音として識別されていた、C<sub>long</sub> を刺激とした。Gordon-Salant *et al.* [19] の手法にならない、3 区間 3 肢強制選択法 (three-interval three-alternative forced choice, 3I3AFC) を用いた。その際、三つの刺激のうち二つを同じ基準刺激、残りの一つをターゲット刺激とした。基準刺激は SI = 0 ms の VCV 刺激を常に用いることとし、ターゲット刺激については two-up one-down の階段法 [21, 22] によって SI が一番長い 100 ms から 10 ms ごとに減少させた。参加者は呈示される三つの刺激のうち、違うと判断したものを一つ選びタッチパネル上のボタンを押すことで回答した。2 回連続して正解したら SI を 10 ms 減少させ、1 回でも誤ると 10 ms 増加させた。SI の値が安定するまで 8 回増減を折り返した後、更に 100 試行を進め、その 100 試行における平均値を JND とした。

図-2 の縦軸は各参加者の SI の JND (ms) の分布を示す。横軸に並行な点線は、参加者を SI の JND によって分類する際の境界を示す。この境界は Gordon-Salant *et al.* [19] において時間分解能の低下の境界となっていた JND である 25 ms を参考にし、SI の JND が 25 ms 未満の参加者は時間分解能が正常、25 ms 以上の場合には時間分解能が低下しているとした。また、図中の E (高齢者, elderly listeners の略) で始まる記号は参加者群を表し、括弧内の数字は群内の人数を示す。各特性については 2.3.4 項及び表-1 にて説明する。

ところで、SI の JND を測定する方法は、gap 検出 [10, 11] などの一般的な時間分解能測定法とは刺激や手続きがやや異なる。本研究において音声を用いて SI の JND を測定した理由としては、時間分解能の測定と CV 刺激及び VCV 刺激の識別実験で同じ母音や摩擦成分を用いることによって、識別実験結果をより直接的に分類できると考えたからである。

### 2.3.3 補充現象の測定

補充現象の有無を測定するために、オージオメータ (GN Resound AURICAL) を用いて Madsen [20] によるラウドネススケールを行った。刺激には摩擦音・破擦音の周波数帯域を考慮して中心周波数 4 kHz の狭帯域雑音を使用し、持続時間は 1.5 s とした。あらかじめこの測定で使う刺激と同じ刺激で最小可聴値と不快レベルを測定し、その間を呈示レベルの範囲 (ダイナミックレンジ) とした。

次に、刺激の呈示方法を示す。各刺激は 1 試行当たり 1 s の無音区間を挟んで 2 回呈示された。呈示レベ

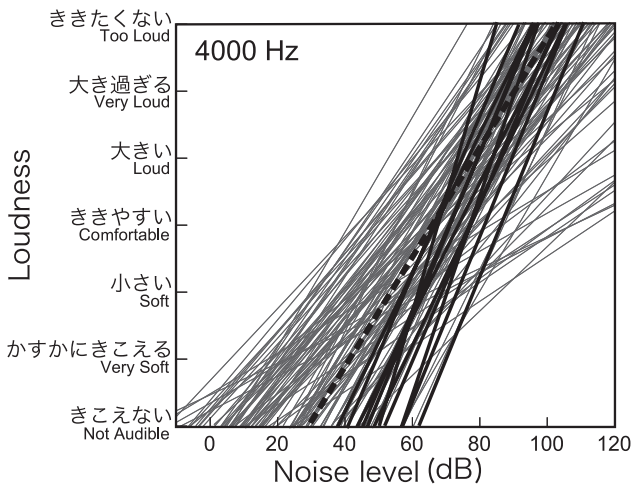


図-3 オージオメータ (GN Resound AURICAL) によって測定された、参加者の 4,000 Hz におけるラウドネススケールリング [20] の結果  
 横軸は聴覚閾値レベルで校正した刺激呈示レベル (dB)、縦軸は 7 段階の主観評価の結果で、各参加者の結果を直線近似した。細線は補充現象が陰性 (48 名)、太線は補充現象が陽性 (11 名) を示す。点線は補充現象の有無を判定するための基準を示す。

ル (図-3 の横軸) は参加者ごとのダイナミックレンジにあわせて 8-10 点にステップ分けされた。参加者は呈示された音のラウドネスを、図-3 の縦軸で示した 7 段階の選択肢で回答した。なお、同じレベルに対する試行回数は 2 回とし、呈示レベルはランダムに変化させた。同じレベルを 2 試行とも同じラウドネスと回答した場合のみを有効回答とし、そうでない場合は無効とした。測定の結果、各参加者で有効な測定点は最低で 4 点以上であった。

図-3 にラウドネススケールリングの結果を示す。横軸は聴覚閾値レベルで校正した刺激の呈示レベル (dB)、縦軸はラウドネスを示す 7 段階評価の選択肢である。実線は、各参加者が回答したラウドネス測定点のうち有効な点を直線によって近似したものであり、-10 dB から 120 dB の範囲に拡張して描画している。図中の点線は、健聴者や難聴者の測定結果 [20] を基にした、補充現象の有無を判定するための基準を示す。各参加者の直線の傾きが点線よりも急であり、かつ、直線の開始が 30 dB 以上の場合に補充現象が陽性と判定した。図-3 の直線のうち、太線は補充現象が陽性の参加者、細線は陰性の参加者を示す。また、図-2 における黒丸はラウドネススケールリングによって補充現象が陽性と判断された参加者を示しており、全員が摩擦音閾値が上昇している群に属していた。

2.3.4 聴覚特性による参加者の分類

聴覚特性の測定結果から、参加者を分類した結果を表-1 に示す。高齢者を表す記号 E に、摩擦音閾値の上昇が認められた群には添字の f を、時間分解能の低下

が認められた群には添字の t を、補充現象が認められた群には添字の r をそれぞれ付与した。括弧内の数字はそれぞれの群の人数を示す。以上から、聴覚特性の劣化が認められなかった群を添字無しの E、摩擦音閾値の上昇のみが認められた群を E<sub>f</sub>、摩擦音閾値の上昇と補充現象が認められた群を E<sub>fr</sub>、時間分解能の低下のみが認められた群を E<sub>t</sub>、摩擦音閾値の上昇と時間分解能の低下が認められた群を E<sub>ft</sub>、摩擦音閾値の上昇、時間分解能の低下、補充現象が認められた群を E<sub>ftt</sub> とした。参加者のうち、E<sub>fr</sub> は 1 名のみであったため、次節以降ではその 1 名を除く 58 名分の結果を取り扱った。

2.4 手順

実験はすべて聴力検査室 (RION AT-81) 内にて行われた。PC に接続された USB サウンドアダプタ (ONKYO MA500U) とオージオメータ (GN Resound AURICAL) を経由し、受話器 (GN Resound AURICAL 付属) より両耳に同じ刺激を同時に呈示した (diotic 受聴)。刺激に対し、C<sup>1</sup> の定常部の呈示レベルが聴覚閾値レベルで平均 54 dB になるように、基準となる正弦波によってオージオメータ上でキャリブレーションを行った。

実験 1 では CV 刺激を用いた識別実験を行った。実験は C<sup>1</sup>、C<sup>10</sup> の順番で 1 セッションずつ行い、各セッションでは刺激はランダムに呈示された。一つの刺激を呈示後、実験参加者には PC のタッチパネル上で「シ」もしくは「チ」のうち聞こえたと思う方のボタンを強制的に選択するよう指示した。刺激数は合計 292 刺激であった。

実験 2 では VCV 刺激を用いた識別実験を行った。V<sub>1</sub>、C の振幅の組み合わせ、V<sub>1</sub><sup>1</sup>C<sup>1</sup>、V<sub>1</sub><sup>1</sup>C<sup>10</sup>、V<sub>1</sub><sup>10</sup>C<sup>10</sup>、V<sub>1</sub><sup>10</sup>C<sup>1</sup> に対応する 4 セッションをこの順番で行った。各セッション内では刺激はランダムに呈示された。一つの刺激を呈示後、実験参加者には PC のタッチパネル上で「イシ」もしくは「イチ」のうち聞こえたと思う方のボタンを強制的に選択するよう指示した。刺激数は合計 132 刺激であった。

実験 1、2 のそれぞれにおいて、参加者は実験の冒頭で手順に慣れるための練習試行を 10 回以上行った。練習試行は参加者が実験方法を理解するまで続けた。実験時間は聴覚測定と休憩を含めて、合計 120 分程度であった。

3. 結果

3.1 実験 1: CV 刺激の識別実験結果

図-4 の 1 段目は実験 1 の CV 刺激の C<sup>1</sup> 条件において、R と S の変化に対する「シ」反応率の平均値 p(R, S) を 3 次元表示したものである。同様に 3 段目

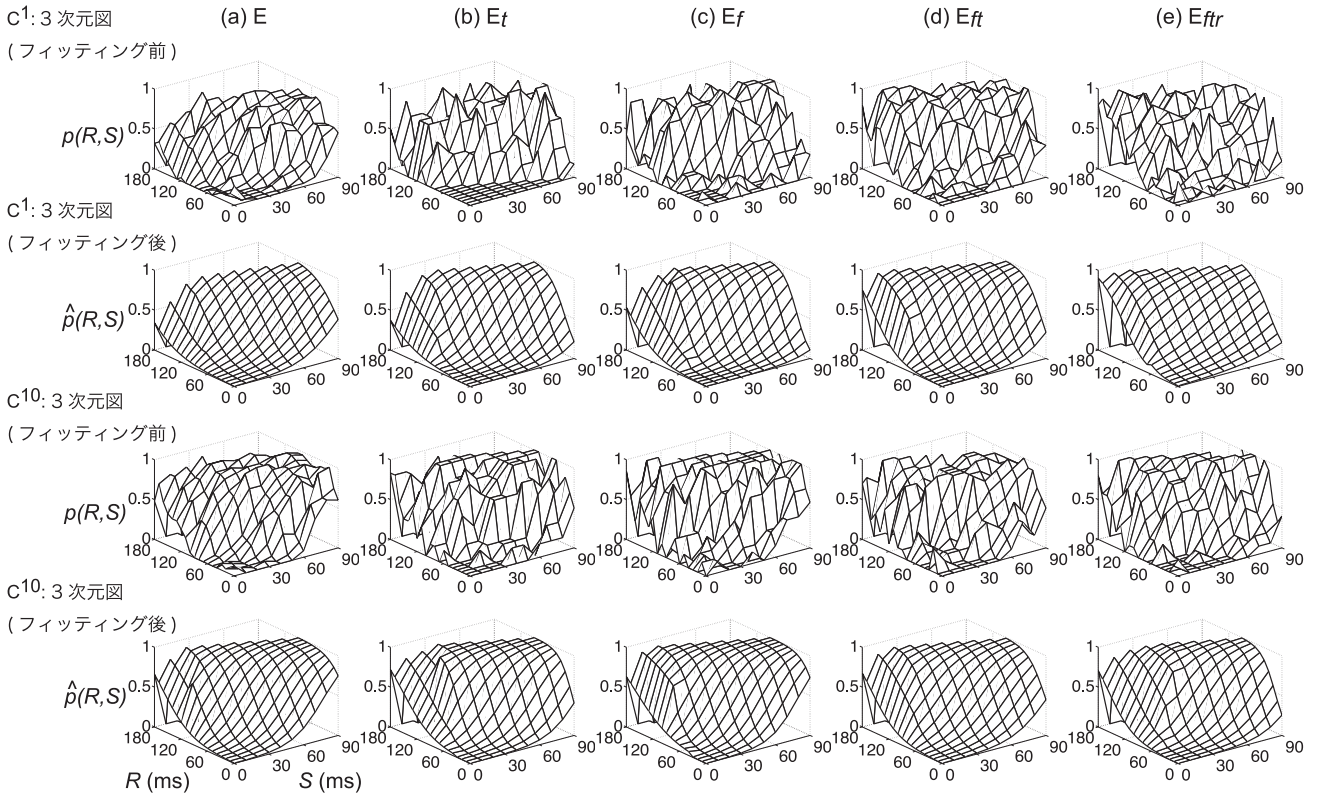


図-4 実験1: R, S の変化に対する「シ」反応率の平均値  $p(R, S)$  を3次元で表示した図  
 (a) E, (b) E<sub>t</sub>, (c) E<sub>f</sub>, (d) E<sub>ft</sub>, (e) E<sub>fttr</sub> の各参加者群に対して、1段目と3段目はそれぞれCのレベルが54dB (C<sup>1</sup>) と74dB (C<sup>10</sup>) の  $p(R, S)$  を示す。2段目と4段目はそれぞれ1段目と3段目の  $p(R, S)$  をシグモイド関数によってフィッティングを行った  $\hat{p}(R, S)$  である。

は C<sup>10</sup> 条件における「シ」反応率の平均値  $p(R, S)$  である。(a) E, (b) E<sub>t</sub>, (c) E<sub>f</sub>, (d) E<sub>ft</sub>, (e) E<sub>fttr</sub> 参加者群ごとに結果を示している。すべての参加者群及び C<sup>1</sup> 及び C<sup>10</sup> 両子音振幅において、R, S が増加すると  $p(R, S)$  が増加し、「チ」から「シ」に知覚が変化することが分かった。

図-4 の2段目と4段目は、それぞれ1段目と3段目の  $p(R, S)$  に対してシグモイド関数によってフィッティングを行った後の値  $\hat{p}(R, S)$  を示す。ここで、最も基本となるシグモイド関数は以下のように表される：

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (1)$$

R, S 平面に並行な平面で切った  $p(R, S)$  の断面図を観察した結果、R = 20ms 付近を境界に形状が変化することから、異なる特性を持つ領域に分けられると考えた。そのため、シグモイド関数を領域によって切り替えることによりフィッティングの近似が良くなるものと考え、複数のシグモイド関数を組み合わせることによるフィッティングを検討した。そして R の範囲によって二つのシグモイド関数を切り替えることとした。

このとき、フィッティング後の値  $\hat{p}(R, S)$  は以下の式で表すことができる：

$$\hat{p}(R, S) = \begin{cases} f(a_1R + b_1S + k_1), & R > R_0 \\ f(a_2R + b_2S + k_2), & R_0 < R \end{cases} \quad (2)$$

ここで  $a_1, a_2, b_1, b_2, k_1, k_2, R_0$  はパラメータであり、フィッティング時にこれらのパラメータに対して二乗誤差が最小になる条件を求めた。

図-5 はシグモイド関数によるフィッティング後の  $\hat{p}(R, S)$  が0.5となる [ʃ] と [tʃ] の音素境界を、R-S 平面上で表示したものである。参加者群 E と E<sub>t</sub> の比較を (a)、E と E<sub>f</sub> の比較を (b)、E と E<sub>ft</sub> の比較を (c)、E と E<sub>fttr</sub> の比較を (d) に示す。図中の実線は (a) E<sub>t</sub>, (b) E<sub>f</sub>, (c) E<sub>ft</sub>, (d) E<sub>fttr</sub>, 破線は E を示す。上段は C のレベルが 54 dB (C<sup>1</sup>), 下段は 74 dB (C<sup>10</sup>) に対する結果を示す。図-5 においても図-4 と同様に R 及び S が短い場合には破擦音、R 及び S が長い場合には摩擦音として同定されていることが分かる。

### 3.2 実験2: VCV 刺激の識別実験結果

次に実験2の結果を図-6、表-2に示す。図-6は SI (横軸) に対する「シ」反応率  $p(SI)$  に対して、式(1)の

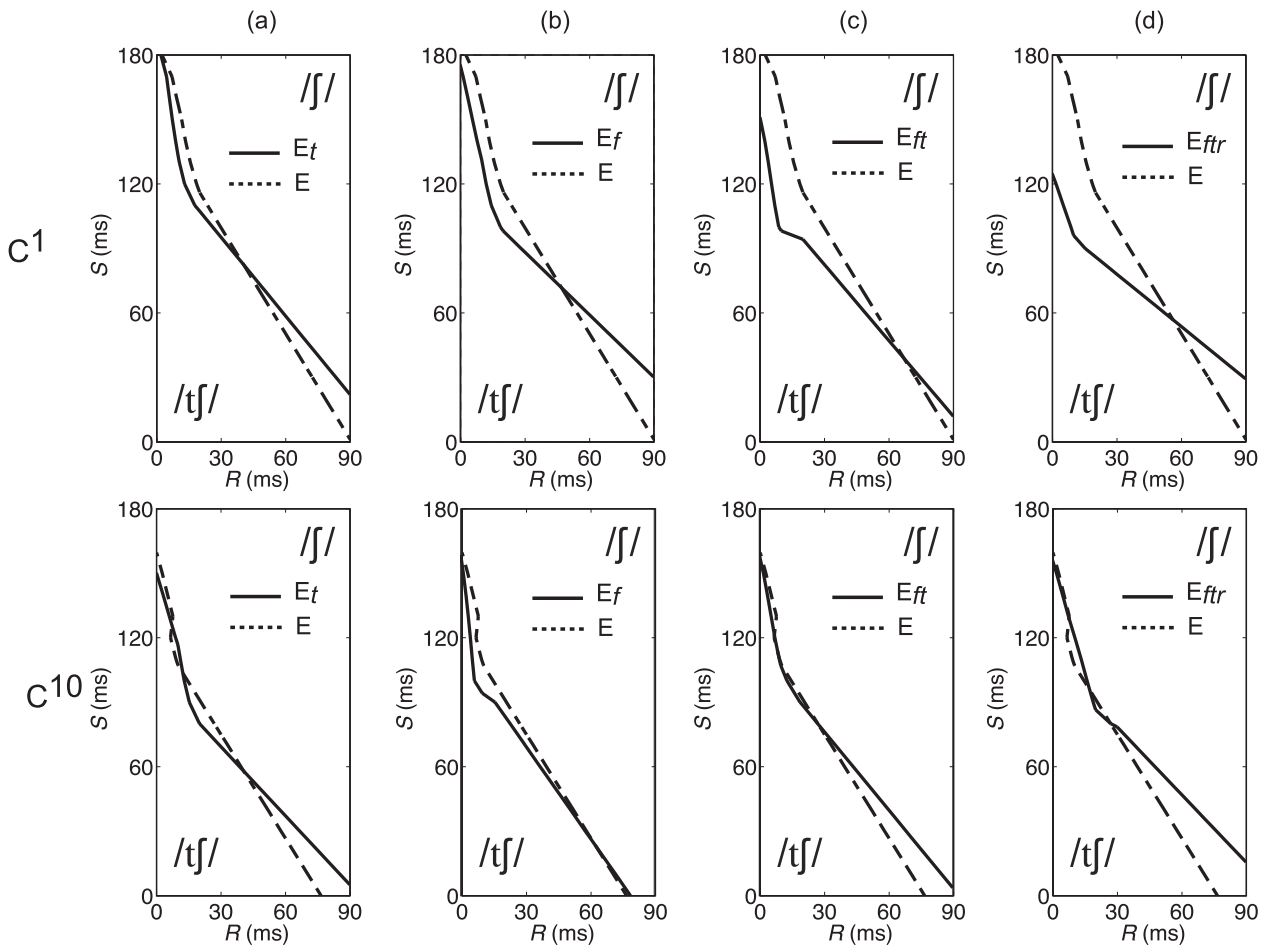


図-5 実験1：シグモイド関数によるフィッティング後の「シ」反応率  $\hat{p}(R, S)$  が0.5となる [ʃ] と [tʃ] の音素境界を、 $R$ - $S$  平面上で表示したもの。参加者群  $E$  と  $E_t$  の比較を (a)、 $E$  と  $E_f$  の比較を (b)、 $E$  と  $E_{ft}$  の比較を (c)、 $E$  と  $E_{fttr}$  の比較を (d) に示す。図中の実線は (a)  $E_t$ 、(b)  $E_f$ 、(c)  $E_{ft}$ 、(d)  $E_{fttr}$ 、破線は  $E$  を示す。上段は  $C$  のレベルが 54 dB ( $C^1$ )、下段は 74 dB ( $C^{10}$ ) に対する結果を示す。

シグモイド関数を次式でフィッティングした結果  $\hat{p}(SI)$  (縦軸) である。

$$\hat{p}(SI) = f(a_3 SI + k_3) \tag{3}$$

ここでも実験1と同様に、フィッティングの際には  $a_3, k_3$  をパラメータとして、2乗誤差が最小になる条件を求めた。図-6において、 $V_1, C$  の振幅ごとに1段目から  $V_1^1 C^1, V_1^1 C^{10}, V_1^{10} C^1, V_1^{10} C^{10}$  の各条件を段ごとに示す。また、左から参加者群 (a)  $E$ 、(b)  $E_t$ 、(c)  $E_f$ 、(d)  $E_{ft}$ 、(e)  $E_{fttr}$  の結果を示す。各プロットにおいて点線は  $C_{short}$ 、破線は  $C_{middle}$ 、実線は  $C_{long}$  を表している。図-6から、 $SI$  が短い場合は摩擦音として知覚される傾向が強いことが分かる。 $SI$  が増加することによって  $E_{fttr}$  の一部の条件を除くすべての参加者群及び  $V_1$  と  $C$  の振幅のすべての組み合わせにおいて、「シ」反応率が低下し  $SI$  が十分に長いと破擦音として同定される割合が増加した。

次に、表-2に  $\hat{p}(SI) = 0.5$  となる音素境界における

$SI$  の値を参加者群ごとに示す。 $V_1, C$  の振幅ごとに1段目より  $V_1^1 C^1, V_1^1 C^{10}, V_1^{10} C^1, V_1^{10} C^{10}$  の各条件の結果を  $C_{short}, C_{middle}, C_{long}$  ごとに示す。また、左から参加者群 (a)  $E$ 、(b)  $E_t$ 、(c)  $E_f$ 、(d)  $E_{ft}$ 、(e)  $E_{fttr}$  の結果を示す。表中では、図-6より反応曲線が常に  $\hat{p}(SI) < 0.5$  である条件をマイナスで、 $\hat{p}(SI) \geq 0.5$  の場合をプラスの記号で示した。表-2から、 $C_{middle}, C_{long}$  の条件では、 $E$  よりも  $E_t, E_f, E_{ft}$ 、更に  $E_{fttr}$  のほうが音素境界における  $SI$  が大きくなる傾向があった。

## 4. 考 察

### 4.1 実験1：CVの識別結果について

図-4、図-5より、すべての参加者群及び  $C^1, C^{10}$  両子音振幅において  $R, S$  が増加すると、破擦音から摩擦音に識別が変化した。これらの結果は若年健聴者による先行研究 [1-3, 6, 7, 23, 24] や、以前の著者らによる高齢者を対象に行った実験 [25] と同じ傾向を示した。

図-5 (b) の  $C^1$  において、 $R > 50$  ms では  $E$  よりも

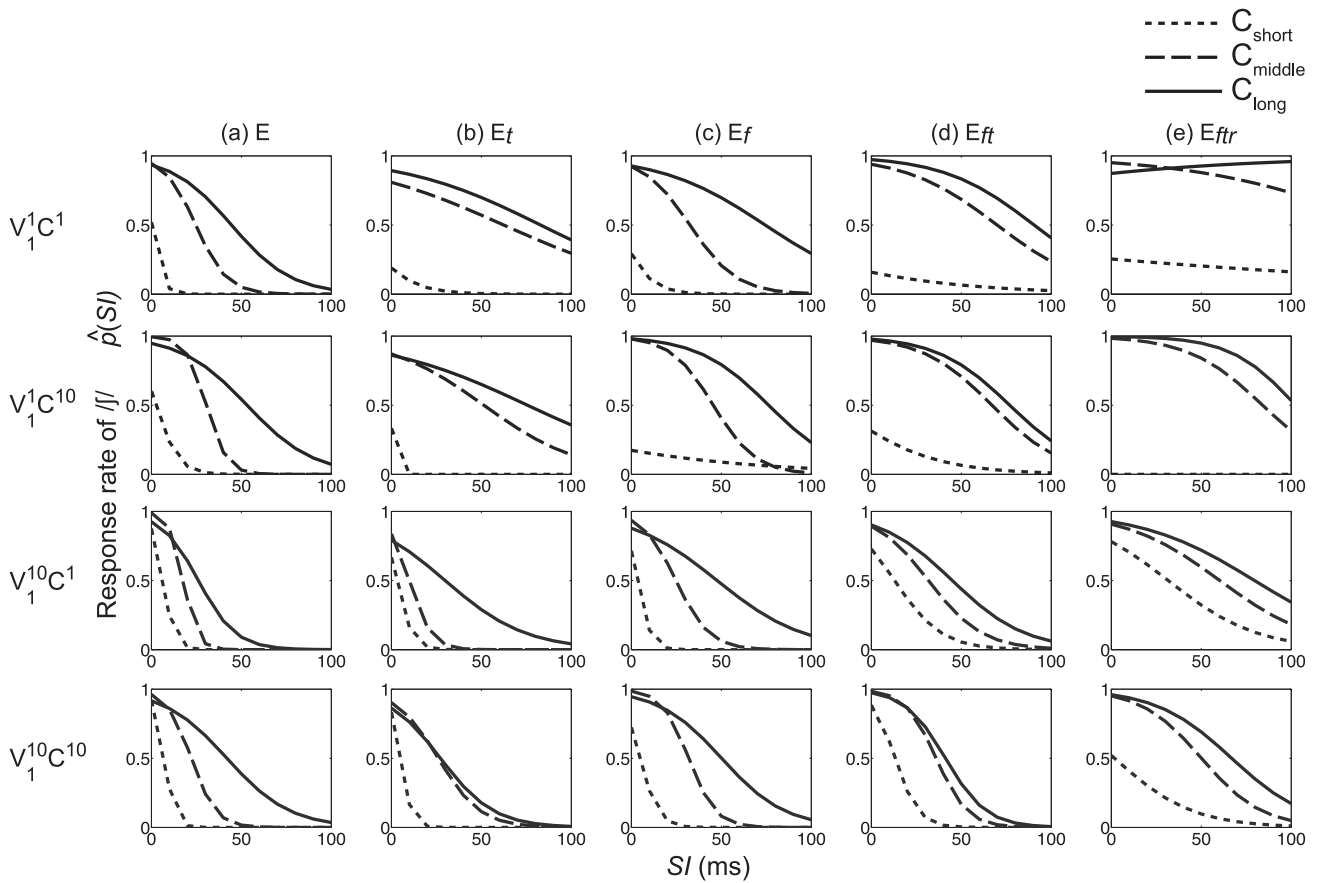


図-6 実験 2:  $SI$  (横軸) に対する「シ」反応率  $p(SI)$  をシグモイド関数によってフィッティングした結果  $\hat{p}(SI)$  (縦軸)  
 $V_1, C$  の振幅ごとに、1 段目から  $V_1^1 C^1, V_1^1 C^{10}, V_1^{10} C^1, V_1^{10} C^{10}$  の各条件を段ごとに示す。また、左から参加者群 (a) E, (b)  $E_t$ , (c)  $E_f$ , (d)  $E_{ft}$ , (e)  $E_{fttr}$  ごとの結果を示す。図の点線は  $C_{short}$ , 破線は  $C_{middle}$ , 実線は  $C_{long}$  を表している。

表-2 実験 2:  $\hat{p}(SI) = 0.5$  となる音素境界における  $SI$  値  $V_1, C$  の振幅ごとに 1 段目から  $V_1^1 C^1, V_1^1 C^{10}, V_1^{10} C^1, V_1^{10} C^{10}$  の各条件の結果を  $C_{short}, C_{middle}, C_{long}$  ごとに示す。また、左から参加者群 (a) E, (b)  $E_t$ , (c)  $E_f$ , (d)  $E_{ft}$ , (e)  $E_{fttr}$  ごとの結果を示す。図-6 より反応曲線が常に  $\hat{p}(SI) < 0.5$  の場合をマイナス,  $\hat{p}(SI) \geq 0.5$  の場合をプラスの記号で示した。

	C	$SI$ [ms] when $\hat{p}(SI) = 0.5$				
		(a) E	(b) $E_t$	(c) $E_f$	(d) $E_{ft}$	(e) $E_{fttr}$
$V_1^1 C^1$	short	0.2	-	-	-	-
	middle	24.6	62.5	32.5	69.9	+
	long	44.5	82.9	74.4	90.5	+
$V_1^1 C^{10}$	short	2.6	-	-	-	-
	middle	30.5	51.4	45.5	67.1	84.1
	long	53.1	75.6	76.3	76.9	+
$V_1^{10} C^1$	short	6.3	3	3.4	12.9	31.6
	middle	17.8	9.9	24.8	31.7	60.3
	long	26.1	29.9	47.7	45	79.6
$V_1^{10} C^{10}$	short	7.2	5	4.9	13.2	1.8
	middle	22.1	26.1	31.8	36	50.1
	long	42	27.3	50.2	41.2	66.9

摩擦音閾値のみが上昇している  $E_f$  のほうが破擦音として識別される割合が大きかった。このような結果となった背景として、摩擦音の開始部の振幅が最小可聴値以下になることにより、結果として摩擦部をより短く知覚し、破擦音として識別した可能性が考えられる。同様の実験を行っている先行研究において、Dorman *et al.* [14] では参加者群間で差が見られなかったが、安ら [25] による高齢者での実験では、純音閾値が上昇した群において破擦音への識別が増加する傾向が見られた。

一方図-5 (b) の  $C^1$  において、 $R < 50$  ms の領域では、E よりも  $E_f$  のほうが摩擦音として識別される割合が大きかった。先に  $E_f$  に関し、 $R$  が長い場合において摩擦部をより短く知覚する可能性があると言ったが、それゆえに  $E_f$  は  $R$  を長めに補正して判断していることも考えられる。特に  $R < 20$  ms の領域は、実際に発話される平均的な  $R$  と比較して極端に短い。そのため、 $E_f$  が  $R$  を短く知覚した際、 $R$  が音響的にそもそも短いのか、それとも聴覚特性の劣化によって短く



知覚してしまっているのかを判断できずに結果的に摩擦部の持続時間を過剰に長く補正してしまっていることが考えられる。 $R$ が短い領域において摩擦音として知覚される割合が増加しているのは、このような過剰矯正 [26] が一因となっているのかも知れない。

摩擦音閾値が上昇し、時間分解能の低下も見られる  $E_{ft}$  では、図-5(c)  $C^1$  において、 $R < 70$  ms で  $E$  よりも摩擦音として識別される領域が増加した。 $E_t$  (図-5(a) 上段) 及び  $E_f$  (図-5(b) 上段) においては  $R$  が短い場合に  $E$  よりも摩擦音として識別される領域がわずかに増加するだけであったが、 $E_{ft}$  においてはその領域が拡大した。一方  $C^{10}$  において、 $E_{ft}$  (図-5(c) 下段) は  $E_t$  (図-5(a) 下段)、同様に  $R > 30$  ms で摩擦音から破擦音への異聴が増加した。

摩擦音閾値の上昇、時間分解能の低下に加えて補充現象が認められた  $E_{ftr}$  では、図-5(d) の  $C^1$  において、 $R < 60$  ms の領域で、 $E_{ftr}$  のほうが摩擦音として識別される割合が大きいが  $R > 60$  ms では  $E_{ftr}$  のほうが破擦音として識別される割合が大きく、 $C^{10}$  において、 $R > 30$  ms の領域では  $E$  よりも破擦音として識別される領域が増加した。図-5 の  $E_{ftr}$  は他の  $E_t$ 、 $E_f$  及び  $E_{ft}$  よりも  $E$  との差が大きいため、聴覚特性の劣化が重なることにより、 $E$  からの異聴が増加することが確認された。

自然に発話されたままの破擦音「チ」( $R = 44$  ms,  $S = 64$  ms,  $F = 20$  ms,  $V_2 = 44$  ms) の破擦音への反応率は、 $C^1V$  において  $E$  が 1.00,  $E_t$  が 1.00,  $E_f$  が 0.86,  $E_{ft}$  が 0.90,  $E_{ftr}$  が 1.00 であった。 $C^{10}V$  では  $E$  が 0.88,  $E_t$  が 1.00,  $E_f$  が 0.86,  $E_{ft}$  が 0.90,  $E_{ftr}$  が 0.90 であった。このように、すべての群において、ほぼ破擦音として識別していることが確認された。 $[tʃ]$  の  $R$ 、 $S$  に近い長さの CV 刺激 ( $R = 40$  ms,  $S = 60$  ms) での破擦音への反応率は  $C^1$  で  $E$  が 0.60,  $E_t$  が 0.67,  $E_f$  が 1.00,  $E_{ft}$  が 0.90,  $E_{ftr}$  が 0.60 であり、 $E_f$  を除き自然に発話されたままの破擦音「チ」よりも低くなった。これは、自然に発話されたままの破擦音「チ」には摩擦開始部に先行して、閉鎖の解放時に見られるバーストが存在したため、より破擦音として識別され易かったと考えられる。Dorman *et al.* (1980) は “dish”-“ditch” 対において、バーストの有無で破擦音の同定率を比較し、バーストが存在するほうが破擦音の同定率が高いことを示した [18]。本論文での結果は、Dorman *et al.* (1980) の結果を支持するものとなった。

#### 4.2 実験 2 : VCV の識別結果について

図-6 に示す「シ」反応率の結果から、 $E_{ftr}$  の一部の条件を除くすべての参加者群及び  $V_1$  と  $C$  のレベルのす

べての組み合わせにおいて  $SI$  が増加することによって摩擦音から破擦音へと識別が変化することが分かる。これは Dorman *et al.* [18] の若年健聴者の結果、及び Gordon-Salant *et al.* [19] の若年健聴者・高齢健聴者・高齢難聴者の結果と同様の傾向であった。

また、 $SI$  に後続する  $R$ 、 $S$  が長くなると (図-6 の点線から、破線、実線になるに従い)、より摩擦音として識別される傾向が強まった。この結果は Dorman *et al.* [18] による若年健聴者の実験結果と同じ傾向であり、本論文により高齢者でも聴覚特性の劣化にかかわらず同様の傾向を示すことが確認された。

ここで  $SI$  と  $C$  の長さ ( $R$ 、 $S$ ) に着目すると、両者は識別の際の音響の手がかりとなっており、トレーディング [27] の関係が成り立つことが分かった。 $C_{long}$  の条件で  $SI$  が短い場合は摩擦音、 $C_{short}$  で  $SI$  が長い場合は破擦音として識別された。これは  $C$ 、 $SI$  の両方が摩擦音あるいは破擦音と知覚され易い条件の組み合わせであり、特徴が強められた結果であると考えられる。Repp *et al.* (1978) は、“shop”-“chop” 連続体に先行する  $SI$  と摩擦部間のトレーディングの関係について指摘しており [17]、本研究の結果は Repp *et al.* (1978) の結果を支持するものであった。

以上は聴覚特性を基にした参加者群には分けず参加者全体での考察であったが、次に聴覚特性ごとに考察を行う。時間分解能の低下に着目すると、表-2 の  $V_1C^1$  の条件において  $C_{middle}$ 、 $C_{long}$  では、 $E_t$  は  $E$  よりも摩擦音への異聴が増加した。Gordon-Salant *et al.* は高齢者の時間分解能の低下が摩擦方向への異聴の原因の一つであると述べた [19]。つまり  $E_t$  は、時間分解能低下の影響で  $V_1$  に対する順向性マスクングが増加したことによって  $SI$  がマスクされ、 $E$  よりも  $SI$  を短く知覚し、その結果、摩擦音として識別したと考えられる。

更に、補充現象が陽性であった  $E_{ftr}$  は、どの参加者群よりも摩擦音への異聴が著しかった。補充現象の寄与は他の聴覚特性に比べて大きいことが示唆された。時間分解能の低下と補充現象の関係については、補充現象が陽性だが時間分解能の低下が見られなかった  $E_{fr}$  は人数が 1 人だったために実験結果からは除いたため、考察には至らなかった (表-1)。今後、参加者の人数を増やし、 $E_{ftr}$  と  $E_{fr}$  を比べることによって、時間分解能の低下と補充現象の関係を切り分けられ、補充現象の寄与を明らかにできると考えられる。

$SI$  及び子音全体の長さ  $T$  と聴覚特性の関係については、図-6 によると、参加者群  $E$  よりも  $E_{ftr}$  のほうが  $T$  の寄与が大きいことが分かる。このように  $SI$ 、 $T$  のような音響の手がかり間のトレーディング関係のみ

ならず聴覚特性との間にも同様の関係が見られることが確認された。

4.1 節にて考察した CV 刺激では、E に比べて何等かの聴覚特性の劣化が認められた群 ( $E_t$ ,  $E_f$ ,  $E_{ft}$ ,  $E_{ftr}$ ) では摩擦音から破擦音へと識別が変化する傾向が見られた。一方 VCV 刺激では E に比べ破擦音から摩擦音へと識別される割合が増加した。VCV 刺激の CV は CV 刺激と全く同じものを用いているのにもかかわらず、聴覚特性の劣化が認められると CV と VCV では摩擦音・破擦音の識別が逆転する現象が観察された。逆転する現象については、4.4 節にて先行母音との関係を考慮し考察した。

#### 4.3 子音・母音の振幅の関係

VCV 刺激を用いた実験 2 において、表-2 の  $C_{short}$  の条件に着目すると聴覚特性の劣化が認められたすべての群において  $V_1^1$  の刺激では「シ」の反応曲線が常に  $\hat{p}(SI) < 0.5$  であるマイナスであった。一方で、 $V_1^{10}$  の条件では  $\hat{p}(SI) \geq 0.5$  であった。考えられる理由としては、 $V_1$  の振幅が 10 倍になることで順向性マスキングが増加し、時間分解能の低下の影響で後続する  $SI$  が短く知覚されることによって摩擦音への識別が増加したことが挙げられる。ただし、 $SI = 0$  ms 付近では  $V_1$  によって C がマスクされていることになり、C が短くなることで破擦音への知覚が増加する可能性も考えられる。しかし、 $SI = 0$  ms において摩擦音の割合は最大になっているため、順向性マスキング以外にも摩擦音への知覚が増えた原因があると考えられる。

$C_{middle}$  及び  $C_{long}$  では、 $V_1^{10}C^1$ ,  $V_1^{10}C^{10}$  は  $V_1^1C^1$  に比べていずれの群でも  $\hat{p}(SI)$  が減少し、破擦音と識別される割合が強まった。一方で、C の振幅が増幅された  $V_1^1C^{10}$  ではいずれの群においても識別にあまり変化は見られなかった。

#### 4.4 $V_1$ が無声摩擦音・破擦音の知覚に及ぼす影響

本研究で用いた VCV 刺激の  $V_1$  である [i] は 1 条件のみであった。そこで  $V_1$  の音響パラメータを変化させることによって摩擦音-破擦音の識別に影響を及ぼすかどうかを検討した。本研究における VCV 刺激を作成した際に「イチ」の  $V_1$  に「チ」を接続したところ、「イシ」の  $V_1$  を接続した場合に比べて  $SI$  が短い場合でも「イチ」と破擦音として識別され易かった。そのため、VCV 刺激では「イチ」ではなく「イシ」の  $V_1$  を用いた。なぜ、 $V_1$  の違いによってこのような知覚の違いが生じるかを確かめるため「イシ」と「イチ」の  $V_1$  を比較したところ、「イシ」よりも「イチ」における  $V_1$  の立ち下がりのほうが傾きが緩やかであることが観察された。4.2 節の最後に触れた、聴覚特性の劣化によって「イシ」への異聴が増加したことについ

ては、考えられる原因として「イシ」の  $V_1$  を使用したため、聴覚特性の劣化により C よりも  $V_1$  を識別のキューとすることによって、より「イシ」に知覚され易くなった可能性がある。

$V_1$  の影響を調査するため、若年健聴者 1 名を対象として、1)  $V_1$  の立ち下がりの傾きをパラメータとした VCV 刺激の識別について補助的な調査を行った結果、 $V_1$  の立ち下がりが緩やかなほど破擦音として識別され易いことが分かった。また、若年健聴者 19 名を対象として、2)  $V_1$  の持続時間を変化させたときの VCV 刺激の識別について実験を行ったところ、 $V_1$  の持続時間が短いほうが、より破擦音として識別され易くなることが分かった [24]。

ところで、参加者の中には実験 2 の後に「いっし」、「いっち」の促音が聞こえたと報告した者もいた。天野・平田 (2008) [28, 29] 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ちゅう境界を求めた。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、非促音の知覚については、話速の変化による影響を含め、若年健聴条件・模擬難聴条件で行った実験を安ら [24] にて報告済みである。

#### 4.5 子音の組み合わせと $SI$ の関係

破裂音については、過去に“slit”-“split”連続体の識別実験が若年健聴者を対象として行われている [14, 30]。“slit”の“s”と“lit”の間の  $SI$  を伸長した際に、 $SI = 0-50$  ms で“slit”，50 ms 以上で“split”と識別され、 $SI$  が長くなると破裂音が知覚された [30]。更に高齢者を対象とした実験では  $SI$  が長くなるにつれ、高齢難聴者、高齢健聴者、若年健聴者の順番で破裂音が識別され易くなった [14]。高齢難聴者の音素境界における  $SI$  は 50-55 ms，若年健聴者では 60-90 ms，高齢健聴者では両者の中間であった。摩擦音・破擦音の連続体である“dish”-“ditch” [14, 19] や本論文で扱った「イシ」-「イチ」でも  $SI$  を長くすると徐々に破裂音の特徴を帯び始め、摩擦音から破擦音に識別が変化する傾向がある。一方で、若年者もしくは高齢健聴者のほうが破擦音として識別し易いものに対して、高齢難聴者は  $SI$  が長い場合でも摩擦音として識別された。“slit”-“split”連続体では  $SI$  が増加するにつれて高齢難聴者のほうがより破裂音として識別され、摩擦音・破擦音の識別とは逆の傾向であった。以上から、聴覚特性の劣化によって、対になる子音の組み合わせにより識別の手がかりが変わることが分かった。

## 5. ま と め

本論文では、高齢者における聴覚特性と無声摩擦音

[j]・破擦音 [tʃ] の識別の関係を調査した。最小可聴値の測定, 時間分解能の低下の有無の測定, ラウドネススケーリングによる補充現象の有無の測定を行った上で, CV 刺激と VCV 刺激に対して摩擦音・破擦音の識別実験を行った。実験 1 の CV 刺激の識別結果では, すべての参加者において, 摩擦開始部の立ち上がり時間, 摩擦定常部の持続時間の増加に伴い破擦音から摩擦音へと識別が変化した。また, 高齢健聴者に比べて聴覚特性が劣化した群では立ち上がり時間が短いと摩擦音, 長いと破擦音への異聴が増加し, 補充現象が認められた群ではよりその傾向が増した。摩擦部の振幅が 10 倍に増幅されると, 立ち上がり時間が長い場合において破擦音へと異聴する群が見られた。実験 2 の VCV 刺激においては, 先行母音と摩擦部の間の無音区間長が増加すると摩擦音から破擦音へと識別が変化した。また, 高齢健聴者と比較して時間分解能の低下が見られた群, 摩擦音閾値の上昇が見られた群, その両方が見られた群では摩擦音への異聴が増加し, これらの聴覚特性の劣化に加えて補充現象が見られた群では更に異聴が増加する傾向が見られた。

以上から, 摩擦音閾値の上昇, 時間分解能の低下, 補充現象の存在は無声摩擦音・破擦音の識別において, 個々に影響を及ぼすと同時に, 聴覚特性の劣化が重複して見られた場合, 異聴が増加することが確認された。

今後は高齢者・聴覚障害者における聴こえの劣化の原因解明に向けて, さらなる聴取実験を行いたい。そして, 高齢者・聴覚障害者の聴覚特性に対応した摩擦音・破擦音知覚のモデル化を検討する。更にモデル化によって得た知見から補聴器のアルゴリズムへと応用したい。考えられる補聴処理としては, 主に母音の振幅を抑圧する定常部抑圧処理 [31-34] 等による子音強調処理が挙げられる。この処理により, 子音や無音区間に対する母音からの順向性マスキングの影響を軽減することが可能になると考えられる。このような高齢者・聴覚障害者の異聴の軽減を課題として取り組み, 聴こえに関する知見を深めてゆきたい。

#### 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。ご協力いただいた社団法人千代田区シルバー人材センター及び参加して下さった皆様に感謝致します。なお, 本論文の一部は日本音響学会研究発表会で報告した内容 [安 啓一, 荒井隆行, 小林 敬, 進藤美津子, “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及び識別に及ぼす影響,” 音講論集, pp. 497-500 (2010.9)] を含んでいる。

#### 文 献

- [1] P. Howell and S. Rosen, “Production and perception of rise time in the voiceless affricate/fricative distinction,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 73, 976-984 (1983).
- [2] K.R. Kluender and M.A. Walsh, “Amplitude rise time and the perception of the voiceless affricate/fricative distinction,” *Percept. Psychophys.*, 51, 328-333 (1992).
- [3] S. Mitani, T. Kitama and Y. Sato, “Voiceless affricate/fricative distinction by frication duration and amplitude rise slope,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 120, 1600-1607 (2006).
- [4] 山川仁子, 天野成昭, 板橋秀一, “語頭の摩擦音/s/と破擦音/ts/の生成範疇境界を表す変数,” 音講論集, pp. 321-322 (2009.3).
- [5] 山川仁子, 天野成昭, 板橋秀一, “音声強度パタンの自動推定に基づく [s] と [ts] の生成範疇境界を表す変数の決定,” 音講論集, pp. 313-314 (2010.3).
- [6] 天野成昭, 山川仁子, 板橋秀一, “語頭の摩擦音 [s] と破擦音 [ts] の知覚範疇境界,” 音講論集, pp. 457-458 (2009.9).
- [7] 天野成昭, 山川仁子, “日本語母語話者における摩擦音 [s] と破擦音 [ts] の知覚・生成範疇境界,” 音講論集, pp. 415-416 (2010.9).
- [8] 立木 考, 聴力検査 (南山堂, 東京, 1972), p. 210.
- [9] B.R. Glasberg and B.C.J. Moore, “Derivation of auditory filter shapes from notched-noise data,” *Hear. Res.*, 47, 103-138 (1990).
- [10] P.J. Fitzgibbons and S. Gordon-Salant, “Auditory temporal processing in elderly listeners,” *J. Am. Acad. Audiol.*, 7, 183-189 (1996).
- [11] A. Strouse, D.H. Ashmead, R.N. Ohde and D.W. Grantham, “Temporal processing in the aging auditory system,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 104, 2385-2399 (1998).
- [12] E. Villchur, “Simulation of the effect of recruitment on loudness relationships in speech,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 56, 1601-1611 (1974).
- [13] A. Ginzl, C.B. Pedersen, P.E. Spliid, E. Andersen, “The role of temporal factors in auditory perception of consonants and vowels: A study of different age groups,” *Scand. Audiol.*, 11, 93-100 (1982).
- [14] M.F. Dorman, K. Marton, M.T. Hannley and J.M. Lindholm, “Phonetic identification by elderly normal and hearing-impaired listeners,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 77, 664-670 (1985).
- [15] K. Yasu, T. Arai, K. Kobayashi and M. Shindo, “Perceiving continuum of voiceless affricate/fricative by changing rise time of consonant for elderly and younger participants,” *Proc. Jpn.-Chin. Jt. Conf. Acoust.* (2007.6).
- [16] 安 啓一, 小林 敬, 荒井隆行, 進藤美津子, “高齢者・若年者による無声摩擦・破擦音の知覚—聴力型・継時マスキングの影響—,” 音講論集, pp. 589-590 (2007.9).
- [17] B.H. Repp, A.M. Liberman, T. Eccardt and D. Pesetsky, “Perceptual integration of acoustic cues for stop, fricative, and affricate manner,” *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 4, 621-637 (1978).
- [18] M.F. Dorman, L.J. Raphael and D. Isenberg, “Acoustic cues for a fricative-affricate contrast in word-final position,” *J. Phonet.*, 8, 394-405 (1980).
- [19] S. Gordon-Salant, G.H. Yeni-Komshian, P.J. Fitzgibbons and J. Barrett, “Age-related differences in identification and discrimination of temporal cues in speech segments,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 119, 2455-2466 (2006).
- [20] T. Brand and V. Hohmann, “An adaptive proce-

ture for categorical loudness scaling,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **112**, 1597–1604 (2002).

- [21] 鷗木祐史, 伊藤一仁, 石本祐一, Chin-Tuan Tan, “様々な周波数のノッチ雑音マスキングデータの測定と聴覚フィルタ形状の推定,” 音響学会聴覚研資, **34**(8), pp. 607–612 (2004).
- [22] H. Levitt, “Transformed up-down methods in psychoacoustics,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **49**, 467–477 (1970).
- [23] 安 啓一, 荒井隆行, 小林 敬, 進藤美津子, “若年健聴者を対象とした模擬難聴下での無声摩擦音・破擦音連続体の同定実験,” 音講論集, pp. 1365–1368 (2009.9).
- [24] 安 啓一, 山崎寛之, 荒井隆行, 小林 敬, 進藤美津子, “若年健聴者を対象とした語頭および語中の無声摩擦音・破擦音連続体の識別実験—高齢者による識別実験との比較—,” 音講論集, pp. 1613–1616 (2011.3).
- [25] 安 啓一, 荒井隆行, 小林 敬, 進藤美津子, “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—,” 音講論集, pp. 609–612 (2010.3).
- [26] J.J. Ohala and E.E. Shriberg, “Hypercorrection in speech perception,” *Proc. ICSLP 90*, pp. 405–408 (1990).
- [27] C. Best, B. Morrongiello and R. Robson, “Perceptual equivalence of acoustic cues in speech and non-speech perception,” *Percept. Psychophys.*, **29**, 191–211 (1981).
- [28] 天野成昭, 平田由香里, “文中の促音と非促音の知覚範疇境界,” 音講論集, pp. 499–500 (2008.3).
- [29] 天野成昭, 平田由香里, “発声速度に依存しない促音と非促音の知覚範疇境界,” 音講論集, pp. 437–438 (2008.9).
- [30] M.F. Dorman, L.J. Raphael and A.M. Liberman, “Some experiments on the sound of silence in phonetic perception,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **65**, 1518–1532 (1979).
- [31] 荒井隆行, 木下慶介, 程島奈緒, 楠本亜希子, “音声の定常部抑圧の残響に対する効果,” 音講論集, pp. 449–450 (2001.10).
- [32] T. Arai, K. Kinoshita, N. Hodoshima, A. Kusumoto and T. Kitamura, “Effects on suppressing steady-state portions of speech on intelligibility in reverberant environments,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **23**, pp. 229–232 (2002).
- [33] N. Hodoshima, T. Arai, A. Kusumoto and K. Kinoshita, “Improving syllable identification by a pre-processing method reducing overlap-masking in reverberant environments,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **119**, 4055–4064 (2006).
- [34] 小林 敬, 安 啓一, 程島奈緒, 荒井隆行, 進藤美津子, “母音のエネルギー定常部抑圧による高齢者に対する音節強調の検討,” 音響学会誌, **64**, 278–289 (2008).

## 安 啓一



2002 年上智大学理工学部電気・電子工学科卒業, 2004 年同大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程修了, 2005 年同大学大学院博士後期課程中退。2005 年～2008 年同大学理工学部電気・電子工学科助手。2011 年同大学大学院理工学研究科理工学専攻情報学領域博士後期課程満期退学。現在, 同大学理工学部研究プロジェクト・リサーチアシスタント。高齢者・聴覚障がい者のための音声信号処理等の研究に従事。日本音響学会, 日本音声学会, 日本音声言語医学会, IEEE 等各会員。

## 荒井 隆行



1989 年上智大学理工学部電気・電子工学科卒業, 1994 年同大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士後期課程修了。同年上智大学助手。1992～1993 年及び 1995～1996 年 Oregon Graduate Institute of Science and Technology (USA) 客員研究員。1997～1998 年 California 大学 Berkeley 校付属研究機関 International Computer Science Institute (USA) 客員研究員。2003～2004 年 Massachusetts Institute of Technology (USA) 客員研究員。1998 年上智大学専任講師, 現在同大学教授。音声コミュニケーション等の研究に従事。日本音響学会, アメリカ音響学会, 電子情報通信学会, IEEE, 日本音声学会等各会員。博士 (工学)。

## 小林 敬

1992 年上智大学理工学部機械工学科卒業, 1994 年同大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。ソニー株式会社 (1994～2004 年) にてソフトウェア開発及び補聴器などの電気商品の開発設計に従事しながら, 2001 年より上智大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士後期課程で音声コミュニケーションを専攻。2005 年より上智大学理工学部共同研究員。2008 年上智大学より博士 (工学) を授与。2007 年よりオークランド大学 (ニュージーランド) 研究員。Tinnitus Research Initiative の耳鳴りプロジェクトやオージオロジーの研究に従事。日本音響学会会員。博士 (工学)。

## 進藤美津子

1980 年お茶の水女子大学大学院人文科学研究科修了。1985 年～1995 年帝京大学薬学部専任講師・医学部耳鼻科言語聴覚士兼任。1995 年～2001 年広島県立保健福祉短期大学教授。2001 年～現在上智大学言語聴覚研究センター教授。言語聴覚障害学, 中枢性聴覚障害の研究に従事。日本音声言語医学会, 日本聴覚医学会等会員。博士 (医学)。