

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*

◎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

無声摩擦音と無声破擦音の聴き取りに重要なキューについて、以前より様々な研究が行われている。これらの音素については、時間領域での音響的特徴について議論されることが多い。摩擦開始部の立ち上がり時間を A 、摩擦定常部の持続時間を S 、立ち下がり時間を F とする (Fig. 1) と、摩擦部分の全体の持続時間 $T = A + S + F$ と表すことができる。これらの音響的特徴と無声摩擦音・破擦音の識別・生成について、先行研究を取り上げながらこれまでに議論されている点と本研究の目的を説明する。

Howell and Rosen (1983) [1] は英語母語話者が発話した無声摩擦音の A を連続的に変化させた音声を若年健聴者に呈示し、摩擦音・破擦音間で識別がカテゴリカルに遷移することを示した。Dorman *et al.* (1985) [2] は shop-chop の単語対に対して Howell らと同様の音声信号処理方法を用い、若年健聴者・高齢健聴者・高齢難聴者を対象に実験を行った。実験の結果、各参加者群間に差はみられず、難聴者であっても健聴者と同様の知覚傾向を示した。

Kluender and Walsh (1992) [3] は Howell and Rosen [1] の実験で T と A 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解らないことを指摘し、 A と $A + S$ という2つのパラメータを操作した場合の知覚実験を健聴者に対して行った。その結果、 $A + S$ は A に比べて摩擦音・破擦音識別のための十分な音響的特徴であることを示した。

Mitani *et al.* (2006) [4] は日本語母語話者が発話した無声摩擦音に対して、Kluender and Walsh と同様に A と $A + S$ を変化させた実験を行った。さらに、 A の時間包絡を直線的に変化させる以外に曲線の場合も検討している。その曲線の変化率を変え、摩擦の開始部に白色雑音を加えて健聴者に対して実験を行った。実験の結果、無声摩擦音・破擦音の識別の際には、雑音にマスクされずに残った立ち上がり部分の音圧増加率も手がかりとしていることを示し、 $A + S$ および知覚される立ち上がりの増加率の間に相互作用が認められることを示した。

無声摩擦音・破擦音の生成の立場では、山川ら

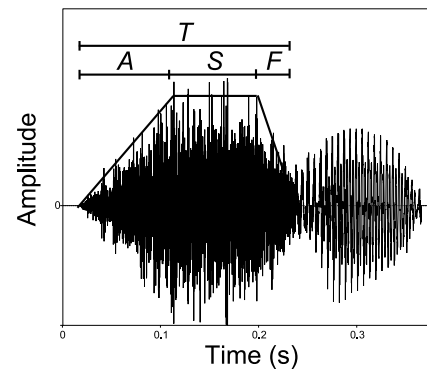


Fig. 1 実験に使用した摩擦音・破擦音連続体の時間波形の例: 立ち上がり時間 $A = 90$ ms, 摩擦の定常部 $S = 90$ ms, 立ち下がり時間 $F = 22$ ms, 母音/i/の持続時間 146 (ms)

(2009) [5] が日本語コーパスの摩擦音・破擦音の $A \cdot S \cdot F$ の関係について調査している。その結果、 A と $S + F$ の組み合わせが生成範疇境界を示す有効な音響的特徴である可能性の高いことが示された。

一方、安ら (2007) [6, 7] は Howell and Rosen [1] に準じた方法で作成した日本語刺激で高齢者を対象に実験を行い、最小可聴値の上昇が認められる高齢難聴群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ることを示した。これは前述の Dorman *et al.* [2] とは異なる結果であった。

本研究では摩擦音・破擦音の異聴の原因を調査するため、呈示する無声摩擦音・破擦音を A と S について独立に操作した連続体を作成し、識別への影響を調べた。さらに、音声知覚に影響を与える聴覚特性である① 閾値の上昇、② 補充現象、③ 継時マスキングの増加などの聴覚特性のうち、閾値の上昇に着目し、若年健聴者を対象としたマスキングノイズを用いた模擬的な閾値上昇の環境下で摩擦音・破擦音の識別にどのような影響を及ぼすかを考察する。

2 若年健聴者を対象とした模擬難聴下での聴取実験

2.1 目的

雑音環境での若年健聴者を対象とした実験を行うにあたって、以下の仮説を立てた。

*Identification of voiceless fricative/affricate continuum by young normal-hearing listeners in noise, 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)

- 仮説1：健聴者・難聴者（付加雑音の有無）にかかわらず、摩擦音・破擦音の識別には A と S の両方を手がかりとして使用している。
- 仮説2：雑音がない状態から増加する（難聴の程度が強くなる）と、摩擦音から破擦音への異聴が増加する

仮説1については、先行研究である Kluender and Walsh [3] や Mitani *et al.* [4] の実験結果から導かれるものである。仮説2は、難聴者において無声摩擦音から無声破擦音への異聴が増加したことから [6, 7], また、雑音によって T 全体がマスクされ、その結果 A と F が短く識別されると仮定することにより先行研究と同様の異聴が再現できると考えたものである。

2.2 参加者

若年者28名（男性7名、女性21名、平均年齢21.7歳）が実験に参加した。オージオメータ（RION AA-79S）を用いて聴覚スクリーニングを行い、全ての参加者の純音閾値が125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hzの全ての周波数において20 dB HL以内であることを確認した。

2.3 刺激

刺激は、日本語母語話者の男性（31歳）が発話した / $ʃi$ / をマイクロフォン（SONY ECM-23F5）および 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 で記録した。先行研究 [4] の結果によると、後続母音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おり、著者らの先行研究 [6, 7] では後続母音として / i / を用いたことから、今回の実験でも後続母音 / i /（持続時間146 ms）の一種類のみとした。音声信号を16 kHz にダウンサンプリングした後、摩擦部分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 で変化させ、原音声のキャリア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。実験に使用した刺激は 146 （立ち上がり、持続時間の組み合わせ+オリジナルの / $ʃi$ /） $\times 3$ （雑音呈示レベル）= 438 刺激である。

2.4 手順

すべての実験は防音室内で行われた。音声の呈示レベルは60 dB HL に固定され、PC に接続された USB Audio Adaptor（Roland EDIROL UA-3FX）とオージオメータ（GN Resound AURICAL）を経由し、受話器（GN Resound AURICAL 付属受話器）より両耳

に呈示された。付加雑音（模擬難聴）の条件ごとに3つのセッションを設け、各セッション間では参加者に十分な休憩を取らせた。付加雑音としてホワイトノイズを用い、雑音レベルが大きい条件順で実験が行われた（(1) 雑音レベル60 dB HL, (2) 雑音レベル54 dB HL, (3) 付加雑音なし）。実験参加者は音声呈示された後、「し」もしくは「ち」のどちらに聞こえたかどうかを判断し、PCの画面上で聞こえたと思う方のボタンを強制的に選択した。本実験に先立ち、実験に慣れるために練習を数回行った。合計実験時間は休憩込みで45–60分であった。

3 結果および考察

実験の結果を Fig. 2 の上段に示す。図の横軸は A および S 、縦軸は / $ʃi$ / の反応率を示す。同じく、等高線図を Fig. 2 の下段に示す。図は左から、(a) 付加雑音なし、(b) 雑音レベル54 dB HL, (c) 雑音レベル60 dB HL の結果を示す。

Fig. 2 の下段の等高線図を見ると音素境界線は A , S 両方の影響を受けていることから、仮説1が支持された。また、本実験の結果は、Mitani *et al.* [4] の結果と同じ傾向であることが示唆された。

Fig. 2 (a) より、雑音を付加しない条件において、立ち上がり時間が極端に急な場合 ($A = 0$ ms) では摩擦定常部の時間 S に関係なく / $ʃi$ / に識別された。この結果は先行研究とは異なり、立ち上がりが極端な条件では A を判定に用いていることが示された。 S が長い条件 (150–180 ms 程度) においては単音節の持続時間が長くなるため、「ちし」のように知覚され、最終的に「ち」と回答したと判断された可能性もある。なおこの場合、「ち」の母音は無声子音に挟まれた高母音であり、無声化環境にあるので、破擦音として知覚された可能性が考えられる。内観報告において、「ちし」と聞こえたい参加者もみられた。

Fig. 2(a), (b), (c) と順を追って確認すると、全体的に摩擦音から破擦音 (/ $ʃi$ / → / $tʃi$ /) への異聴が増加することから、仮説2を支持する結果となった。この結果は著者らによる高齢の健聴者・難聴者を対象とした先行研究 [6, 7] において、高齢難聴者にみられた傾向と一致した。一方、立ち上がり時間が短い場合 ($A = 0$ ms) において破擦音から摩擦音 (/ $tʃi$ / → / $ʃi$ /) への異聴が観察された。雑音のレベルが上昇することによって「ちし」のうち「ち」の部分が知覚されなくなり、「し」と判断されたと考えられる。

A および S を操作した連続体に加え、/ $tʃi$ / の原音も刺激に追加したが、(a), (b), (c) の各条件において / $ʃi$ / の反応率はそれぞれ 0.0, 0.0, 0.29 とほぼ破擦音として識別された。

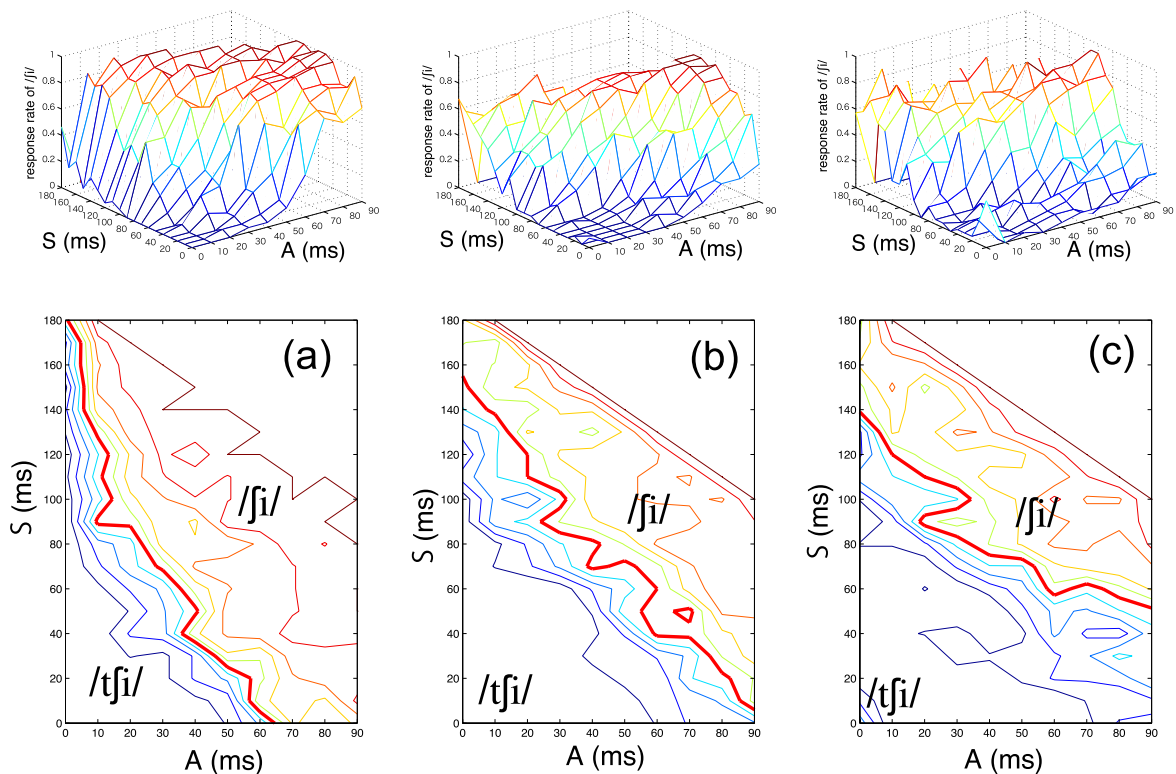


Fig. 2 実験結果の3次元図(上段)および等高線図(下段)。(a) 付加雑音なし, (b) 雑音レベル 54 dB HL, (c) 雑音レベル 60 dB HL の結果を示す。横軸は A (ms), および S (ms), 縦軸は /ji/ の反応率を示す。等高線図において太線は /ji/ の反応率が 50% ($R = 0.5$) の場合を示す。

3.1 実験結果に対するフィッティング

次に, 実験結果のうち雑音を付加しない条件である Fig. 2 (a) に対し, 2 変数のシグモイド関数を用いて実験データのフィッティングを考える。フィッティングに用いた式は以下の通りである:

$$R(A, S) = \frac{1}{1 + \exp(k - aA - bS)}$$

R は /ji/ の反応率を示す。フィッティングを行った場合, R 軸に垂直な平面と曲面との交線は直線となる。Fig. 2 (a) の等高線図では, 各線は直線的ではなく, 曲線あるいは折れ線として捉えたほうがより近似精度が高まると考えられる。そのため, 場合分けによって2つのシグモイド関数を使用し, 平均二乗誤差が最小になる条件を求めた。Fig. 3 に2つのシグモイド関数によるフィッティングの結果を示す。フィッティング後の等高線図が折れ線で表現されることが分かる。/ji/ の反応率が 50% ($R = 0.5$) の際の折れ線は以下の式で表される:

$$S = \begin{cases} -4.5A + 180 & \text{if } 0 \leq A \leq 20 \\ -2A + 130 & \text{if } 20 < A \leq 90 \end{cases}$$

上記の式において折れ線の傾きは両条件において -1 よりも急であることから, S の方が影響が大きいことが示唆された。

3.2 フィッティング結果からの付加雑音条件の予測

最後に, 付加雑音がない条件の実験結果から雑音を付加した条件の結果の予測を行った。雑音レベルが上昇した場合に, A および F の時間が短く知覚されると仮定し, 雑音にマスクされずに残った知覚される立ち上がり時間を A' , 立ち下がり時間を F' とした際の予測結果を Fig. 4 に示す。 A' , F' の差を横軸とした。雑音環境での /ji/ の反応率の予測を行った結果, 広範囲の A , S の条件において予測した値と実際に雑音条件での結果とが近づくことが分かった。Mitani *et al.* [4] の実験においては A' が変化すると摩擦音・破擦音の識別にも影響を及ぼすという結果であった。本報告の結果からも A' が識別に影響を及ぼすことが確認された。同様に実験結果から A と S の間には相互作用が見られたことから, Mitani *et al.* [4] の結果は支持された。本実験の結果では摩擦音・破擦音の識別の際には A および F が時間が短く知覚され, A' , S および F' を手がかりとする可能性が示唆されたが, 今後さらなる検討が必要である。

4 おわりに

本実験の結果から, 摩擦の立ち上がり時間 A と摩擦定常部の持続時間 S , 立ち下がり時間 F が無声摩

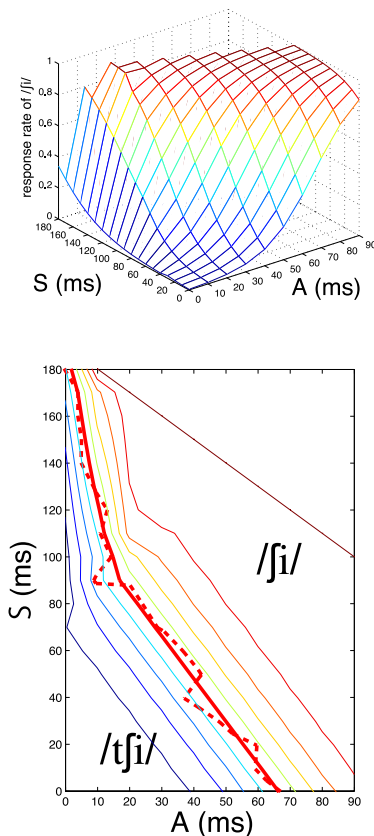


Fig. 3 2つの2変数シグモイド関数による Fig. 2(a) に対するフィッティング結果。上段は3次元図、下段は等高線図を示す。等高線図において、太い破線と太い実線はフィッティング前およびフィッティング後の /ji/ の反応率が50%の場合を示す。

擦音・破擦音同定の際に手がかりとなることが示唆された。また、今回の実験結果では A が極端な場合 ($A = 0$ ms) には S にかかわらず破擦音に識別され、雑音が付加されることによって破擦音から摩擦音へ異聴することが確認された。雑音が付加された条件と雑音を付加しない条件とを比較すると、雑音が付加された条件では摩擦音から破擦音への異聴が増加し、著者らによる高齢者を対象とした実験結果 [6, 7] と同じ傾向を示した。今後、識別のモデル化を行うことによって A が極端な場合も説明できるようにさらに検討を行う予定である。

また、雑音を付加しない条件に対してシグモイド関数によるフィッティングを行い、2つシグモイド関数を場合分けすることによってより実験結果に近似することが確認された。フィッティングから得られた等高線の折れ線の傾きから、 S の影響を受けることが考えられる。さらに、雑音を付加しない条件から付加した条件の結果の予測を行ったところ、広範囲の A , S において雑音を付加した条件での結果と一致することが示された。これは Mitani *et al.* [4] の結果を支持

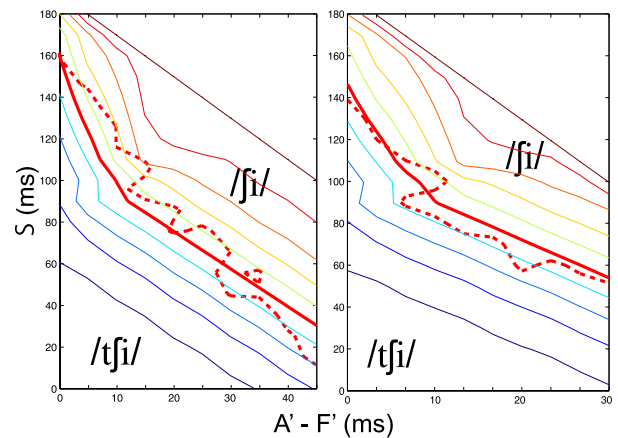


Fig. 4 雑音を付加しない条件の結果をフィッティングした後の折れ線データから2つの雑音環境での知覚を予測した結果。左は雑音レベルが 54 dB HL の場合、右は雑音レベルが 60 dB HL の場合を示す。横軸は A' と F' の差、太い破線および太い実線はそれぞれ実験値と予測値において /ji/ の反応率が50%の場合を示す。

するものであった。また、 A および F が時間が短く知覚される可能性が示唆されたが、今後さらなる検討が必要であると考えられる。

今後は補充現象や継時マスキングなどの今回の実験では考慮しなかった聴覚特性に着目し、高齢者・難聴者を対象に含めた実験を行う予定である。また、破擦音の破裂の有無や、CVC などの単語の語尾における摩擦音・破擦音の識別についても検討を行う予定である。

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。実験に参加して下さった皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] Howell and Rosen, J. Acoust. Soc. Am., 73 (3), 976–984, 1993.
- [2] Dorman *et al.*, J. Acoust. Soc. Am., 77 (2), 664–670, 1985.
- [3] Kluender and Walsh, Psychonomic Soc., 51 (4), 328–333, 1992.
- [4] Mitani *et al.*, J. Acoust. Soc. Am., 120 (3), 1600–1607, 2006.
- [5] 山川ら, 音講論 (春), 321–322, 2009.
- [6] Yasu *et al.*, Proc. of JCA (The Japan-China Joint Conference on Acoustics), 2007.
- [7] 安ら, 音講論 (秋), 589–590, 2007.