

## 聴覚特性の劣化した高齢者における無声破擦音の促音の知覚\*

☆川田拓明, 荒井隆行 (上智大院・理工),  
安啓一 (国リハ研究所), 柳澤絵美 (上智大院・理工)

## 1 はじめに

高齢者は若年者と比べ、言葉の聞き取りが悪くなる傾向があることが知られている。その原因の一つは加齢による聴覚特性の劣化であり、例えば最小可聴値の上昇や補充現象の出現、時間分解能の低下などがそれにあたる[1,2]。それらの聴覚特性の劣化によって、老人性難聴の高齢者では健聴者と比べて、ある音素を別の音素に知覚する異聴と呼ばれる現象が増加する[3]。その例の一つは、摩擦音、破擦音、破裂音の三つの子音の間で起こるものである。例えば、英語の場合、Gordon-Salant *et al.* [4]は“dish”-“ditch”において先行母音と摩擦子音との間の無音区間を 0 ms から 60 ms まで、10 ms 刻みで段階的に変化させた連続体を用いて若年者と高齢者を対象に識別実験を行った。その結果、若年者、高齢者、高齢難聴者の順で“ditch”を“dish”に異聴する割合が増加することを示し、その異聴が高い帯域における最小可聴値の上昇と関係があることを明らかにした。また、時間分解能の低下も異聴の原因として考えられると述べている。日本語でも同様の現象が報告されており、安ら [5]は高齢者に対して「いち」-「いし」の連続体を用いて識別実験を行い、時間分解能の低下が見られた参加者では「いち」を「いし」に異聴する傾向が見られたことを報告している。

この摩擦音と破擦音、破裂音は日本語の促音の調音時にも現れる子音である。促音の知覚には、子音部の長さが主たる手掛かりになっていることが知られており、例えば、「型」と「買った」では子音/t/における破裂直前の閉鎖持続時間の長さが違うだけで異なる意味になる。平田 [6]は若年健聴者に対し「いた」-「いった」の連続体を用いて識別実験を行

い、破裂子音/t/による閉鎖持続時間が伸びると「いた」から「いった」へと識別が変化することを示した。同様に、安ら[7]は、「いち」-「いっち」の連続体について若年健聴者を対象に識別実験を行い、若年者について子音/c/（音声表記では[tɕ]）による閉鎖持続時間が長くなると、「いち」から「いっち」へと識別が変化することを確かめている。

川田ら[8]は無声摩擦音の促音について、高齢者における聴覚特性の劣化がその識別とどのような関係性を持っているか調査した。結果として、最小可聴値の上昇や時間分解能の低下した高齢者が「いっし」から「いし」へと異聴する傾向を持つ可能性を示した。

本報告では、高齢者における聴覚特性の劣化と、無声破擦音の促音の知覚との関係を調査した。そのため高齢者と若年健聴者を対象に最小可聴値ならびに時間分解能の測定を行った後、破擦音の促音と非促音についての識別実験を行った。

## 2 実験

## 2.1 参加者

実験には、高齢者 42 名（男性 12 名、女性 30 名、60-79 歳、平均年齢 70.5 歳）、若年者 10 名（男性 6 名、女性 4 名、22-24 歳、平均年齢 22.9 歳）が参加した。参加者は全て日本語母語話者であった。

## 2.2 聴覚特性の測定

聴覚特性として、防音室内にて純音の最小可聴値と、帯域雑音に対する時間分解能の測定を行った。

## 2.2.1 最小可聴値の測定

全参加者に対して、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純音の最小可聴値を測定した。125 Hz から 8000

\* Perception of geminate affricate consonants by elderly people whose auditory properties are deteriorated, by KAWATA, Hiroaki, ARAI, Takayuki (Graduate School of Science and Technology, Sophia University), YASU, Keiichi (Research Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities), YANAGISAWA, Emi (Graduate School of Science and Technology, Sophia University).

Hz の帯域を、1 オクターブ間隔で測定した。高齢参加者のうち、6 分法の値が 30 dB 以下であった参加者を最小可聴値の上昇が見られない群に、30 dB を超えていた参加者を最小可聴値の上昇が見られる群に分類した。

## 2.2.2 時間分解能の測定

P. J. Fitzgibbons *et al.* [9], Strouse *et al.* [10] の方法を参考に、ギャップ検知法により全参加者の時間分解能を測定した。信号音は 0–8000 Hz の白色雑音とし、長さは 410 ms とした。等価騒音レベルが A 特性で 77 dB になるように呈示した。また、無音区間を挟むように信号音を二つ組み合わせることで、ギャップを作成した。2 肢強制選択法によりギャップ長に対する JND (Just Noticeable Difference) を測定した。2 つの刺激音のうち片方をギャップ長が 0 ms の基準刺激、もう片方をギャップのあるターゲット刺激とした。ターゲット刺激はギャップ長が 100 ms のものから開始し、two-up one-down の階段法 [11] によってギャップ長を伸縮した。2 回連続で正解した場合ギャップ長を  $1/\sqrt{2}$  倍にし、1 回不正解した場合  $\sqrt{2}$  倍にした。ギャップ長が 8 回伸縮した後、更に 50 回試行を続け、その 50 回のギャップ長の平均値を JND とした。刺激音は、PC に接続された USB サウンドアダプタ (Roland, UA-25EX) を経由し、ヘッドホン (SENNHEISER, HDA200) より両耳に同時に呈示した。高齢参加者のうち、ギャップ長の JND が 3.3 ms 未満であった高齢者を時間分解能の低下が見られない群に、3.3 ms 以上であった高齢者を時間分解能の低下が見られる群に分類した。

## 2.2.3 聴覚特性による参加者の分類

最小可聴値の上昇も時間分解能の低下も見られなかった群を高齢者群 [健聴] (18 名)、最小可聴値の上昇のみが見られた群を高齢者群 [聴力のみ低下] (3 名)、時間分解能の低下のみが見られた群を高齢者群 [時間のみ低下]

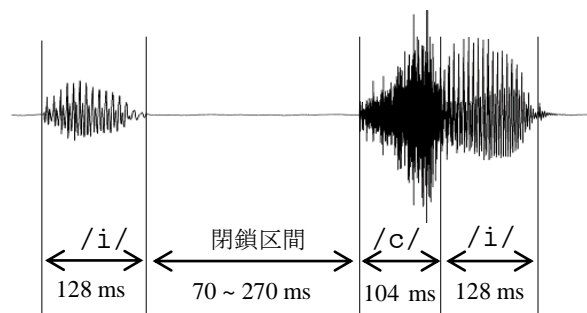


Fig. 1 「いち」—「いっち」連続体における例。実験で用いた連続体では、閉鎖区間を 70-270 ms の間で変化させた。

(15 名)、最小可聴値の上昇と時間分解能の低下が共に見られた群を高齢者群 [聴力・時間低下] (6 名) とした。また、若年者全体の群を若年者群とした。最小可聴値とギャップ検知の結果について、群ごとの平均値を Table 1 に示す。

## 2.3 識別実験

### 2.3.1 刺激

刺激として「いち」—「いっち」連続体を作成した。まず、刺激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 (24 歳) が発話した「いっち」をマイクロホン (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 で録音した後、16 kHz にダウンサンプリングした。なお、アクセントは平板型とした。音声波形における先行母音は 128 ms、後続母音は 125 ms であった。また、閉鎖区間は初めに 332 ms から 270 ms まで削除した後、更に 10 ms ずつ短くしていき、最短で 70 ms まで計 21 刺激を作成した。また、摩擦部は 104 ms であった (Fig. 1)。

### 2.3.2 実験手順

参加者に対して「いち」—「いっち」連続体刺激をランダムにしてから 1 つずつ呈示し、「いち」もしくは「いっち」のどちらに聞こえたかを強制選択させた。なお、連続体刺激

Table 1 各群の人数。また、各群における 6 分法により計算された最小可聴値とギャップ長の JND のそれぞれの平均値。括弧内は標準偏差。

	最小可聴値 [dB]	ギャップ長の JND [ $\text{ms}^{-1}$ ]
高齢者群 [健聴] (18 名)	15.4 (5.5)	2.51 (0.48)
高齢者群 [聴力のみ低下] (3 名)	33.3 (3.0)	2.50 (0.42)
高齢者群 [時間のみ低下] (15 名)	16.7 (6.7)	4.61 (1.21)
高齢者群 [聴力・時間低下] (6 名)	33.3 (3.6)	4.01 (0.45)
若年者群 (10 名)	2.6 (2.8)	2.39 (0.61)

Table 2 各群における識別境界と識別能のそれぞれの平均値. 括弧内は標準偏差. なお、識別境界は $-\beta_0/\beta_1$ 、識別能は $\beta_1/4$ で計算した値.

	識別境界 [ms]	識別能 [ $ms^{-1}$ ]
高齢者群 [健聴] (18名)	157.3 (14.7)	$2.6 \times 10^{-2}$ ( $1.0 \times 10^{-2}$ )
高齢者群 [聴力のみ低下] (3名)	143.0 (15.1)	$2.5 \times 10^{-2}$ ( $0.3 \times 10^{-2}$ )
高齢者群 [時間のみ低下] (15名)	156.1 (20.5)	$2.3 \times 10^{-2}$ ( $1.4 \times 10^{-2}$ )
高齢者群 [聴力・時間低下] (6名)	149.6 (20.7)	$1.7 \times 10^{-2}$ ( $0.3 \times 10^{-2}$ )
若年者群 (10名)	168.2 (17.7)	$2.6 \times 10^{-2}$ ( $1.6 \times 10^{-2}$ )

はそれぞれ合計 5 回呈示したため、試行回数は  $21 \times 5$  の計 105 回であった. 全ての試行を通して左側に「いっち」を、右側に「いち」をタッチパネル上の選択肢として表示した. 刺激音は PC に接続された USB サウンドアダプタ (Roland, UA-25EX) を経由し、ヘッドホン (SENNHEISER, HDA200) より両耳に同時に呈示した. なお、摩擦部において等価騒音レベルが A 特性で 78 dB になるように呈示した. 「いち」—「いっち」連続体のそれぞれの刺激において、参加者が「いっち」と反応した割合（「いっち」応答率）を参加者ごとに算出した. 次に、各参加者の「いっち」応答率に対してシグモイド関数

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_0 - \beta_1 x}} \quad (1)$$

によるフィッティングを行い、「いっち」反応曲線とした. ここで、 $x$  は閉鎖区間長を、 $\beta_0$ 、 $\beta_1$  は最尤法により求めた回帰母数の推定値を表す. 次に、「いっち」反応率が 0.5 となる閉鎖区間長を識別境界とした. 更に、識別境界における曲線(1)の傾きを識別能とした.

### 3 実験結果

まず、聴覚特性によって分類した各群における識別境界と識別能の平均値を Table 2 に示す. Fig. 4 には Table 2 の値をもとに導出した各群の「いっち」反応曲線を示した. 識別境界に対する群の違いによる影響を調べるために Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、有意な効果は得られなかった ( $\chi^2(4) = 15.71, p > 0.05$ ). また、識別能に対する群の違いによる影響を調べるために Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、群の違いによる効果が有意であった ( $\chi^2(4) = 19.32, p < 0.001$ ). Steel-Dwass 法により各群間の有意差検定を行ったところ、高齢者群[時間のみ低下]と若年者との間に 5%水準で有意差が認められた. また、高齢者群[聴力・時間低下]と若

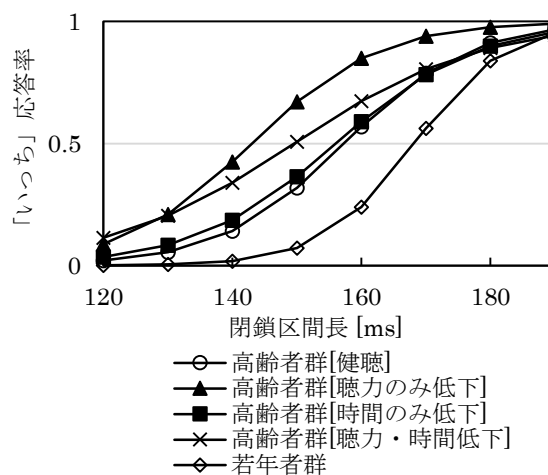


Fig. 4 閉鎖区間長 120-190 ms における各群の「いっち」反応曲線.

年者群との間に 1%水準で有意差が認められた.

各聴覚特性と識別境界、識別能との関係をプロットした図を Fig. 5 に示す. Fig. 5 におけるそれぞれの関係において相関係数を計算したところ、識別境界と最小可聴値との間 ( $r = -0.287, p < 0.05$ ), 識別能と最小可聴値との間 ( $\tau = -0.274, p < 0.01$ ), 識別能とギャップ長の JND との間 ( $\tau = -0.407, p < 0.001$ ) にそれぞれ有意な負の相関が得られた.

### 4 考察

識別境界は最小可聴値との間に有意な負の相関が得られた. また、群ごとの比較において群の違いによる有意な変化は見られなかったが、高齢者のいずれの群も若年者群と比べて小さな値を取る傾向が見られた. 以上のことから、最小可聴値が上昇した場合には識別境界が短い方へシフトし、「いち」から「いっち」への異聴を起こす傾向が示唆された. このような結果となった背景として、聴力の低下により先行母音の終端部と子音の開始の振幅が最小可聴値を下回り、その分だけ閉鎖区間が長く感じられたことで、通常よりも短い閉鎖区間で「いっち」へと識別が移った可能性が考えられる.

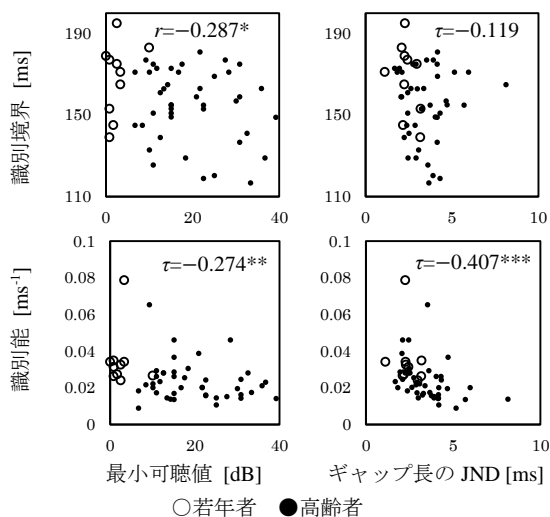


Fig. 5 各聴覚特性と識別境界，識別能との関係を表した図．一段目は識別境界と聴覚特性との関係を，二行目は識別能と聴覚特性との関係を示している．また， $r$ はPearsonの積率相関係数， $\tau$ はKendallの順位相関係数．\*は5%で，\*\*は1%で，\*\*\*は0.1%未満の水準で有意．

また，識別能は最小可聴値とギャップ長のJNDの両方との間に有意な負の相関が得られた．特にギャップ長のJNDとは中程度の相関が認められた．また，Table 2より，最小可聴値と時間分解能の両方が低下している場合に識別能が下がる傾向が見られた．群ごとの比較では，時間分解能の低下が見られる群である高齢者群[時間のみ低下]と高齢者群[聴力・時間低下]の2群において，若年者との間に有意差が認められた．従って，識別能は最小可聴値よりも時間分解能との関わりが深い可能性が考えられる．以上より，時間分解能の低下している高齢者は反応曲線の傾きが緩やかになり，「いち」と「いっち」の識別が困難になる傾向が示唆された．これは，時間分解能の低下によって先行母音の終端部と子音の開始部の知覚が曖昧になるためであると考えられる．Gordon-Salant *et al.* [4]は“dish”-“ditch”の識別実験において高齢者の中でも最小可聴値の上昇と時間分解能の低下が見られる場合に反応曲線の傾きが緩やかになり，識別能が低下することを示している．また，安ら [5]の行った「いし」-「いち」の識別実験においても，最小可聴値の上昇や時間分解能の低下が見られる群では識別能が低下する結果が示唆されている．本実験では，上記の結果を支持する形となった．

## 5 おわりに

聴覚特性の劣化と破擦音の促音の識別との関係を調査するため，若年者と高齢者を対象に識別実験を行った．結果として，最小可聴値の上昇した高齢者は「いち」を「いっち」に異聴する傾向が示唆された．また，最小可聴値の上昇と時間分解能の低下により識別能が低下し，「いち」と「いっち」の識別が難しくなる傾向が見られた．特に時間分解能の低下と識別能の低下との関係が顕著であった．

高齢者における促音の知覚実験として，これまでに無声摩擦音に対する調査が行われている[8]．今後，無声破裂音の促音の知覚についても同様に研究を行うことで，高齢者における無声子音からなる促音の知覚についてそのベースを作ることができる．将来的に，有声子音による促音や，撥音，長音に対する知覚についても研究を進めていきたい．また，上記のような特殊拍の知覚には発話速度も重要な手掛かりであるため，文中における知覚についての調査も必要である．

本研究では補聴器の装用がない高齢者を対象に実験を行った．実際に補聴器を使用している高齢者を対象に同様の調査を行うことで，補聴器への応用という観点に対して，より有用な結果が得られるであろう．

## 参考文献

- [1] 今泉，日音学誌，47(10)，754-759，1991．
- [2] 日本聴覚医学会編，聴覚検査の実際，南山堂，2004．
- [3] 中川 他，耳鼻咽喉科展望，51(3)，150-162，2008．
- [4] S. Gordon-Salant *et al.*, J. Acoust, Soc, Am., 119, 2455-2366, 2006．
- [5] 安 他，日音学誌，68，501-512，2012．
- [6] 平田，音声学会会報，194，23-28，1990．
- [7] 安 他，音講論（春），1613-1616，2011．
- [8] 川田 他，音講論（秋），1381-1384，2013．
- [9] P. J. Fitzgibbons *et al.*, J. Acoust, Soc. Am., 72(3), 761-765, 1981．
- [10] A. Strouse *et al.*, J. Acoust, Soc. Am., 104(4), 2385-2399, 1998．
- [11] H. Levitt, J. Acoust, Soc. Am., 49, 467-477, 1970．