

日本語母語話者の摩擦音知覚における音響の手がかりについて

平井 沢子[†] 安 啓一[‡] 荒井 隆行[‡] 飯高 京子[†]

[†]上智大学外国学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

[‡]上智大学理工学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: s-hirai@sophia.ac.jp, k-yasu@sophia.ac.jp, arai@sophia.ac.jp, k-iitaka@sophia.ac.jp

あらまし 英語母語話者は摩擦音/s/と/ʃ/の知覚において、成人は主として摩擦のスペクトル形状に基づいて判断するのに対して小児は摩擦のスペクトル形状よりもフォルマント遷移に注目して判断し、さらに小児は加齢に伴って摩擦のスペクトル形状に基づいて判断するようになることが報告されている(Nittrouer ら 1987;他)。我々は英語母語話者で認められた特徴を日本語母語話者において検証することを目的として研究を行っている。今回日本語母語話者の成人を対象として、自然音声/sa/と/ʃa/の子音部分に対する重み付き加算による連続体と、遷移部分のフォルマント周波数を変化させた合成母音/a/の連続体を組み合わせた刺激音を聴取させ、/sa/か/ʃa/かを同定させた。その結果、被験者の多くはフォルマント遷移よりも摩擦のスペクトル形状に基づいて判断している傾向が認められた。

キーワード 音声知覚, 摩擦音, 音響の手がかり, 手がかりのトレーディング, 発達の変化, 日本語母語話者

Acoustic Cues in Fricative Perception for Japanese Native Speakers

Sawako HIRAI[†], Keiichi YASU[‡], Takayuki ARAI[‡], and Kyoko IITAKA[†]

[†] Faculty of Foreign Studies, Sophia University 7-1, Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

[‡] Faculty of Science and Technology, Sophia University 7-1, Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

E-mail: s-hirai@sophia.ac.jp, k-yasu@sophia.ac.jp, arai@sophia.ac.jp, k-iitaka@sophia.ac.jp

Abstract In a series of studies for English native speakers, Nittrouer et al. (1987) and others have reported that adults are sensitive to fricative noise for the acoustic cues relevant to fricative identity, while, children are sensitive to vocalic transition. The difference between children and adults decreased as children increased in age. This study examined Nittrouer's findings for Japanese native adults. Subjects identified tokens from a /ʃ/-/s/ continuum followed by vocalic portions with formant transitions changing continuously from ones appropriate for /ʃ/ to those for /s/. The results showed that Japanese native adults were also more sensitive to fricative noise than to formant transition.

Keyword speech perception, fricatives, acoustic cues, cue trading, developmental change, Japanese native speaker

1. はじめに

語音は単純で不変な音響的特徴を手がかりとして知覚されるのではなく、音響信号の複数の特徴を統合し、言語学的な枠組みで判断されると考えられている[1],[2]。語音知覚のための音響的手がかりは複数あり、音の種類によって異なることが報告されているが[3]、聞き手は音声情報の音響的な手がかりのすべてに等しく注意を向けるのではなく、ある音響的特徴にはその他の特徴に対するよりも、より注意を向ける、すなわち“重み付け”をすることが知られている[4]。

一方、小児の語音知覚に関する研究では、成人と小児では音の種類によって語音知覚の様式が異なることが報告されており、音響的手がかりへの重み付けのパターンも成人と小児の間では異なることが報告されている[5]-[8]。

Nittrouer らは、摩擦音/s/と/ʃ/の知覚において、成人は摩擦のスペクトル形状に基づいて判断していたが、小児は摩擦のスペクトル形状よりもフォルマント遷移に基づいて判断したことから、小児と成人ではフォルマント遷移と摩擦のスペクトル形状への重み付けが異なると考えた[7]。さらに一連の実験の結果、小児は年齢が上がるにつれてフォルマント遷移よりも摩擦のスペクトル形状に基づいて同定するようになったことから、小児は母国語の言語経験の増加に伴って重み付けのパターンがより成人の知覚パターンに近づくことと推測している[9]-[12]。そして重み付けのパターンがより成人に近づくことを話しことばの情報処理の発達の変化ととらえ、“Developmental Weighting Shift(DWS)”と呼んでいる[12],[13]。

しかしながら、日本語母語話者については、このよ

うな発達的な変化はまだ検証されておらず、言語普遍的なものであるかどうかは明らかであるとはいえない。

そこで本研究においては、語音知覚能力の発達の特徴を明らかにすることを目的とし、日本語を母国語とする成人および小児を対象として、摩擦音知覚のための音響的手がかりについて検討する。すなわち Nittrouer らの一連の研究において英語母語話者に認められたように、日本語母語話者の成人と小児では /s/ と /ʃ/ の知覚において摩擦のスペクトル形状とフォルマント遷移への重み付けに違いがあるかどうか、さらに小児の場合、発達に伴い重み付けが成人のパタンに近づくかどうかを検証する。

本研究会においては、成人を対象とした実験結果について報告する。

2. 方法

2.1. 被験者

大学生および大学院生 10 名（男性 5 名、女性 5 名）で、年齢は 21 から 25 歳である。全員日本語を母語とし、言語および聴覚障害の既往はない。聴力については、25dBHL、500、1000、2000、4000、8000Hz のスクリーニング検査を右耳あるいは左耳のいずれかで通過した。



図 1 インターフェース

2.2. 機器

聴力スクリーニングおよび実験は遮音室（リオン AT-80）において実施した。聴力スクリーニングには、リオン AA-77 オーディオメータとヘッドフォン（Telephonics TDH-39P）を使用した。実験は、刺激音をコンピュータに保存し、USB AD/DA 変換器（ONKYO SE-55）経由で、アンプ・スピーカシステム（BOSE MMS-1）を通して提示し、反応をコンピュータに記録した（図 1）。

2.3. 刺激

刺激音は、まず子音部 C と母音部 V に分けてそれぞれを 9 種類ずつ合成し、それらを組み合わせて 81 種類を作成した。子音部 C の摩擦音については、実際の音声を基に作成した。また母音部 V については、Klatt（1984）によるフォルマント合成ソフトウェア XKL を用いて合成した[14]。

子音部に関しては、日本人男性話者（36 歳）1 名の発話する /ʃα/、/sα/ という単音節を用いた。発話をデジタル録音した後、目視で開始点から 100ms の区間をそれぞれの摩擦子音 /ʃ/、/s/ に関して切り出した。切り出された波形 /ʃ/ と /s/ は同一発話環境にて録音されていることから、両者の振幅は自然な比が保たれている。子音部については、/ʃ/ から /s/ にかけて 9 段階に連続的に変化する連続体 C_1, C_2, \dots, C_9 を作成するため、以下のように /ʃ/ と /s/ に対して波形レベルでの重み付き加算を行った：

$$C_i = (9-i)/8 * (/ʃ/\text{の波形}) + (i-1)/8 * (/s/\text{の波形})$$

ここで、 $i = 1, 2, \dots, 9$ である。すなわち、 C_1 は /ʃ/ そのものであり、 C_9 は /s/ そのものである。また、子音部 C_i の持続時間はすべて 100 ms である。図 2 に C_1, C_2, \dots, C_9 のスペクトル包絡の概略を示す。この図を見るとわかるように、/ʃ/ の C_1 から /s/ の C_9 までスペクトルが連続的に変化する（ただし、この図ではわかり易いように各線を少しずつプロットしながら示している）。

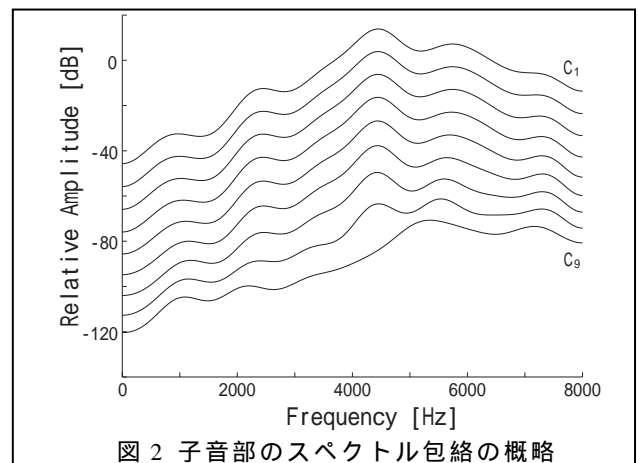


図 2 子音部のスペクトル包絡の概略

一方、母音部 V については /α/ に固定し、母音の冒頭にフォルマント遷移を付加することによって先行子音の知覚を与えることにした。そして、先行子音が /ʃ/ の場合のフォルマント遷移から、先行子音が /s/ の場合のフォルマント遷移までを 9 段階に連続的に変化する連続体 V_1, V_2, \dots, V_9 を作成した。そのフォルマント遷移に関する周波数は、Nittrouer (2002) の数値を用いた。その様子を図 3 に示す。この図において、横軸は時間、縦軸はフォルマント周波数である。/α/ の第 1 フォルマント (F_1) は、開始周波数の 450 Hz から 50 ms で定常

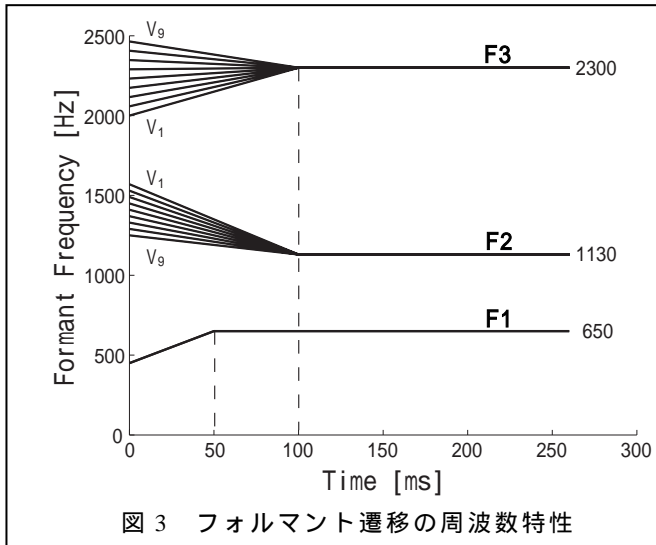


図3 フォルマント遷移の周波数特性

状態の 650 Hz に達するものとし、 V_1 から V_9 に渡って F1 曲線は同一のものを用いた。第 2 フォルマント(F2)の開始周波数は 1570 Hz から 40 Hz ステップで 1250 Hz まで 9 段階とし、開始周波数から 100 ms で定常状態である 1130 Hz に達するものとした。第 3 フォルマント (F3) の開始周波数は 2000 Hz から 58 Hz ステップで 2464 Hz まで 9 段階とし、開始周波数から 100 ms で定常状態である 2300 Hz に達するものとした。

これらのフォルマント周波数情報を基に、XKL によって母音を合成した。母音部の持続時間は Nittrouer (2002) に倣い 260 ms とした。また、基本周波数 (F0) は 120 Hz から 200 ms の間に徐々に 125 Hz まで上昇し、その後の 60 ms の間で 90 Hz にまで下降するものとした。最終的に、先行子音が /s/ である V_1 から、先行子音が /s/ である V_9 まで 9 種類の母音が合成された。

以上によって作成された子音部 C_i と母音部 V_j は、母音部の強さが子音部に比べ常に 11 dB 強くなるようにして、両者の波形をすべての組み合わせについて接続した。これにより、81 種類の単音節 C_iV_j が刺激音として作成された (C_1V_1 が最も /s/ らしい刺激音、 C_9V_9 が最も /sa/ らしい刺激音)。

2.4. 手続き

すべての被験者に同定実験と聴力スクリーニングを実施した。同定実験のインターフェースは図 1 の通りである。被験者を、机上のモニターに向かって左右のスピーカから耳の距離がほぼ等しい位置に着席させた。モニターには図 1 の様に “AXB” (A: さ, B: しゅ) あるいは “BXA” の文字を表示し、画面の表示に対応する 3 つの刺激音からなる系列を提示した。A は C_9V_9 , B は C_1V_1 , X は C_1 から C_9 と、 V_1 から V_9 の組合せの 81 種類である。A と B の提示順序はカウンターバランスをとったため系列は 162 通りになる。162

系列の順番はランダムにした。また最初の刺激音の開始から最後の刺激音の終了までを 1sec とした。

被験者に X が A, B のどちらに聞こえるかを判断させ、モニターの手前にあるボタンを押して反応させた。A, B のうち最初に提示された刺激に聞こえたと判断すれば左側のボタン、後から提示された刺激に聞こえたと判断した場合には右側のボタンを利き手で押すように教示した。また刺激の系列を聞き終わるまで真中のボタンの上に利き手を置き、聞き終わったらできるだけ速く左右いずれかのボタンを押すように指示した。

実験の前に被験者が手続きを理解するまで練習を行った。162 系列を 1 試行とし、1 施行終わるごとに数分程度の休憩をさせ、すべての被験者に 5 試行実施した。したがって 1 種類の刺激につき 1 被験者あたり 10 回ずつの同定反応が得られた。

2.5. 分析方法

刺激 C_iV_j ($i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,9$) は全部で 81 個あるが、それらに対する同定結果は i を x 軸に、 j を y 軸に、/s/ に同定した同定率を z 軸にすることによって 3 次元的に表現される。ところで、刺激 C_1V_1 は /s/、 C_9V_9 は /sa/ に同定されることが期待されるので、3 次元表現された結果のグラフは次式で示すような x と y を変数とするシグモイド関数によって近似される：

$$f(x,y) = \frac{1}{1 + \exp(-w_c \cdot x - w_v \cdot y + \alpha)}$$

そこで各被験者に対する実験結果ごとに、 $z=f(x,y)$ を用いてフィッティングを行った。その際、実験結果と上記モデル関数との 2 乗誤差が最小になるような w_c と w_v を求めた。ここで、 w_c と w_v はそれぞれ子音 C と母音 V に対する反応ごとの重み係数と解釈することができる。

同時に、この重み係数を使うと $f(x,y) = 0.5$ (同定率が 50%) となる音素境界を求めることができる。 $f(x,y)$ の定義式より、関数値が 0.5 という条件から次の関係が導かれる：

$$y = -\frac{w_c}{w_v}x + \frac{\alpha}{w_v} \\ = -\tan\theta \cdot x + \frac{\alpha}{w_v} \quad (\theta = \tan^{-1} \frac{w_c}{w_v})$$

この音素境界線を x - y 平面上にプロットすることによって、各被験者が子音部と母音部のどちらに重みを置いているかが分かる。つまり、音素境界線が x 軸に平行であればあるほど結果は母音部に依存し、 y 軸に平行であればあるほど結果は子音部に依存している。言い換えると、 θ が 0° に近いほど結果は母音部に依存し、 90° に近いほど結果は子音部に依存していることになる。分析ではこの音素境界線とその傾き θ を用いた。

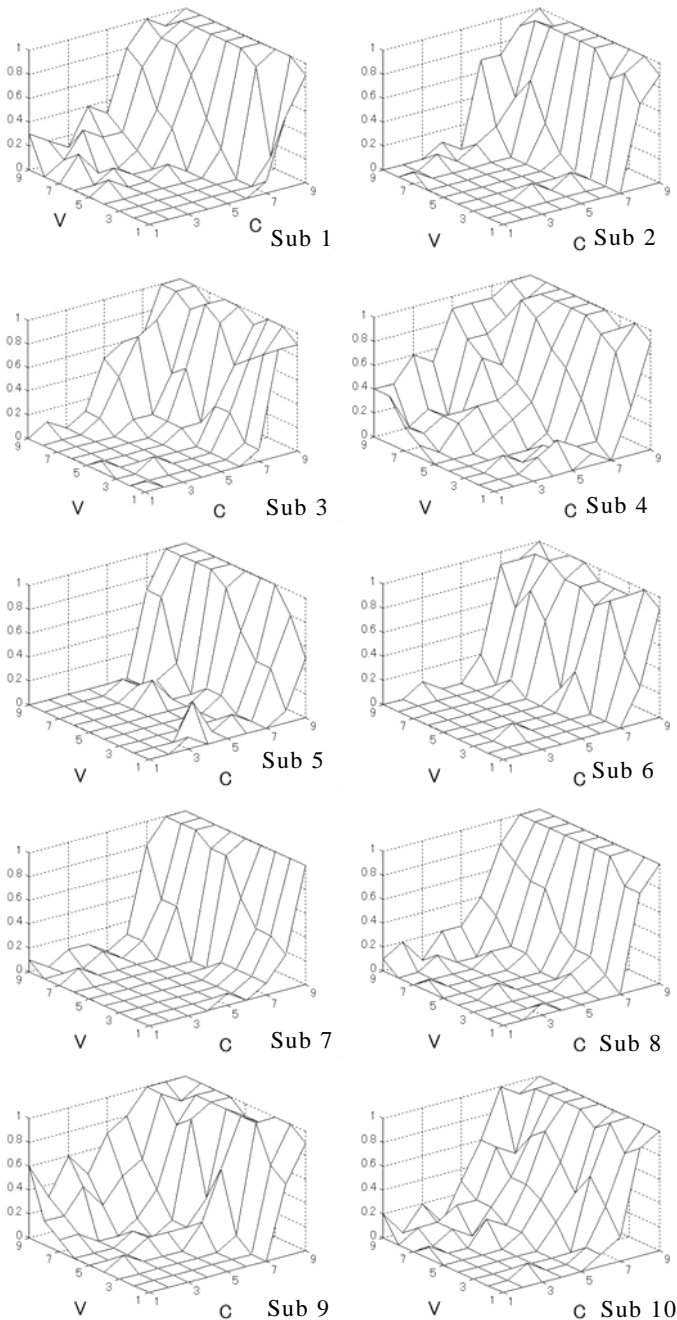


図3 全被験者の/s/反応率

3. 結果

被験者の/s/の反応率と摩擦のスペクトル形状およびフォルマント遷移との関係を3次元グラフに示した(図3)。x軸は C_i (摩擦のスペクトル), y軸は V_i (フォルマント遷移)に対応している。つまり, 座標 $(x,y)=(1,1)$ は最も/s/らしい音, $(9,9)$ は最も/ʃɑ/らしい音である。被験者2を例にとると, Vの変化によらず C_1 から C_6 までは/ʃɑ/と反応し, C_7 から C_9 までは/sɑ/と反応する傾向を示した。同様に, 被験者3,5,6,7,8,10もVに伴う変化が少なく, これらの被験者は摩擦のスペクトル形状に依存して同定している傾向が認められ

た。一方, 被験者4は C_4V_5 付近から/sɑ/の反応が増え, CだけでなくVの変化に伴って/sɑ/と同定する反応が増えている傾向がみられた。これと同様の傾向は被験者1,9にも認められた。

さらに, 第2.5節で示したように最小2乗近似によって得られた音素境界線を, 全被験者について重ね書きしたものを図4に示す(図中の番号は被験者番号)。この図を見るとわかるように, 多くの被験者に対する音素境界線はy軸に平行に近いことがわかる。つまり, 同定がかなり摩擦のスペクトル形状に依存していることがわかる。これに対して, 被験者番号1,4,9のように音素境界線が比較的x軸方向へ傾いているケースが見られた。音素境界線の傾きを表1に示す(降順)。この表を見ると, 上記の被験者では傾きが70度を切っていることがわかる。

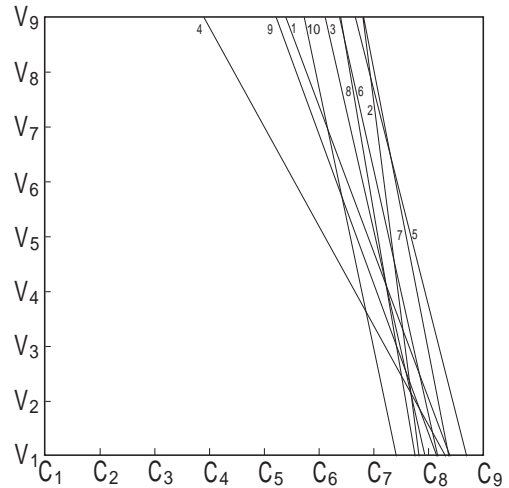


図4 全被験者の音素境界線(数字はSubject No.)

表1 音素境界線の傾き

Subject No.	[degree]
2	82.7
8	80.3
7	79.0
10	78.1
6	77.4
3	77.2
5	75.7
9	69.8
1	69.4
4	61.1

4. 考察

今回の実験の結果10名中7名の被験者は θ が70度以上であり, 摩擦のスペクトル形状への重み付けがフォルマント遷移への重み付けよりも大きいと考えられた。これらの被験者は, Nittrouerらの英語母語話者を対象とした実験結果と同様, /s/と/ʃ/の知覚においてフ

フォルマント遷移よりも摩擦のスペクトル形状に依存していると考えられた[9],[11],[12],[15]。これに対して、残りの3名(被験者番号1,4,9)は θ が70度未満であり、摩擦のスペクトル形状への重み付けの偏りは明らかではないと考えられた。

Nittrouerらは、成人の摩擦のスペクトル形状への重み付けが大きい反応傾向を、摩擦のスペクトル形状よりもフォルマント遷移への重み付けが大きい小児の場合と比較して、語音知覚の様式が成熟した結果と考えた。しかし、少数ではあるが成人にもフォルマント遷移への重み付けが比較的大きい知覚様式を示す例があることから、成人の反応傾向を語音知覚様式の成熟のみで説明することは難しい。

一方、今回のように複数の音響的特徴が含まれる場合には、それらの特徴の間の相対的な関係によって聴覚的な判断が変化する可能性がある[16]。すなわち、摩擦のスペクトル形状とフォルマント遷移の間で手がかりのトレーディング(cue trading)[17]が生じることが考えられる。手がかりのトレーディングは、刺激を語音として聴く場合(音声学的処理モード)に起こり、聴覚刺激として聴く場合(聴覚情報処理モード)には成立しないことが知られている。今回摩擦のスペクトル形状への重み付け傾向が明らかでなかった3名は、語音知覚の様式が成熟していないというよりは、刺激を聴覚情報処理モードで聴いたために手がかりのトレーディングが起こらず、摩擦のスペクトル形状に基づいた知覚が維持されなかった可能性がある。成人の語音知覚ではトレーディング関係が認められる場合とそうでない場合があることは先行研究でも報告されている[18]。

手がかりのトレーディングという視点で、Nittrouerら(1987)の結果を解釈すると、成人において摩擦のスペクトル形状に基づいた知覚が維持されたのは、手がかりのトレーディングが生じた結果であり、一方、小児は摩擦のスペクトル形状に基づいた知覚が維持されなかったのは、手がかりのトレーディングが成立しなかったためと考えられる。その理由としては、成人は音韻としての知覚の枠組みが十分に確立されているために刺激を語音知覚のモード(音声学的処理モード)で聴取しやすく、手がかりのトレーディングが生じたのに対し、小児は音韻知覚の枠組みが十分に確立されていないため、語音として特徴的でない、あいまいな刺激音を非音声知覚のモード(聴覚情報処理モード)で聴取したため、手がかりのトレーディングが生じなかった可能性が考えられる。Nittrouer(2002)の実験でも、4歳児群は摩擦のスペクトル形状よりもフォルマント遷移に依存した重み付けを示したが、6歳児、8歳児および成人群は摩擦のスペクトル形状に依存した

重み付けパターンを示した。6歳という時期は、多くの小児に音韻意識が認められるようになる時期であることを合わせて考えると興味深い。

しかしながら、今回成人の被験者に認められた摩擦のスペクトル形状に基づいた同定傾向が、手がかりのトレーディングによるものかどうかは、さらに摩擦のスペクトル形状やフォルマント遷移の特徴などを変化させた実験によって検証することが必要であろう。

今回、被験者の反応を摩擦のスペクトル形状とフォルマント遷移という2つの変数の関数として3次元の曲面に近似し、音素境界線を求めて反応における2変数への重み付けの程度を数値化して分析を行った。

Nittrouerらの一連の研究では摩擦のスペクトル形状を x 軸、 $/s/$ 反応率を y 軸にとり、反応をProbit分析によって曲線で近似して音素境界を求め、フォルマント遷移別の音素境界と音素境界における近似曲線の傾斜をそれぞれの変数への重み付けの指標としている[7]。すなわち、フォルマント遷移の変化に伴う音素境界の変化が大きいほどフォルマント遷移への重み付けが大きく、音素境界における近似曲線の傾斜が大きいほど摩擦のスペクトル形状への重みづけが大きいと考えた。また、Nittrouer(2004;2002)では、 $/s/$ 反応率と、摩擦のスペクトル形状、フォルマント遷移それぞれとの偏相関係数を求め、重み付けの指標としている。Nittrouerらのようにいずれかの変数が、2種類の離散した値の場合には2次元的な表現方法によって重ね合わせて表現することによって反応の傾向を分析することも可能であるが、今回の研究のように2つの変数が共に連続的に変化する場合には、2次元的な表現では相互作用を表すのが難しいと考えられた。本研究においては、それぞれの変数への重み付けを1つのパラメータ(音素境界線の傾き; θ)で表すことによって、反応と変数の関係を統合して分析することが容易になったといえる。

反応方法については、今回の実験ではAXB法を用いた。予備実験では、Xのみを提示した強制選択による同定とABX法、AXB法の3通りを試行した。その結果、実験者の印象ではあるが、Xのみで比較する音A,Bの提示がないと判断が難しく、ABXでは、Xの直前に提示される音に同定する傾向がみられ、AXB法では他の2法に比べて比較が容易であった。これは音響的情報を記憶に残しておいて言語学的比較をするという記憶への負担の差による影響と考えられた[20]。そこで、記憶の負担が知覚判断に及ぼす影響をできるだけ少なくするためAXB法を採用したが、負担の軽減のためには対比較(2IAX法や4IAX法)の手法も検討する必要がある[18][20]。

今回は摩擦音の単音節 $/s\alpha/$ と $/\zeta\alpha/$ の知覚について調

べたが、英語母語話者では後続母音が/i/、/u/の場合も同様の結果が得られている[9]。また、音の種類や音声環境により、DWS が認められた研究と[6],[19]、認められなかった研究があり[21]、日本語母語話者でも検証する必要がある。

今後は、まず日本語を母語とする小児を対象として /sα/ と /ʃα/ の知覚について実験を行い、今回の成人の反応と比較・検討する予定である。

5. 結論

日本語を母語とする成人の多くは /sα/ と /ʃα/ の知覚において、フォルマント遷移よりも摩擦のスペクトル形状に基づいて判断する傾向がみられ、Nittrouer らの英語母語話者を対象とした一連の実験と同様の結果が認められた。

被験者の中には摩擦のスペクトル形状へ依存した重み付けが明らかでない例があった。したがって、成人が摩擦音の知覚において摩擦のスペクトル形状へ依存する傾向は、語音知覚様式の成熟だけでなく、手がかりのトレーディングによる可能性も考えられた。しかし、手がかりのトレーディングについては、さらなる検証が必要である。

今後は日本語を母語とする小児を対象とし、摩擦音知覚の特徴を成人と比較・検討する。

謝 辞

本研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)課題番号 15530629 の助成を受けて行った。上智大学荒井研究室ならびに上智大学混声合唱団アマデウスコールのメンバーの協力を深謝する。

文 献

- [1] P. Bailey and Q. Summerfield, Information in speech: Observations on the perception of [s]-stop clusters, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 6, pp.356-563, 1980.
- [2] B. H. Repp, Phonetic trading relations and context effects: new experimental evidence for a speech mode of perception, *Psychological Bulltin*, vol.92, no.1, pp.81-110, 1982.
- [3] G. J. Borden, K. S. Harris, and L. J. Raphael, *Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*, 4th Ed., Williams & Wilkins, USA, 2003. 廣瀬肇(訳), 新ことばの科学入門, 医学書院, 東京, 2005.
- [4] D. H. Whalen, Perception of the English /s/-/ʃ/ distinction relies on fricative noises and transitions, not on brief spectral slices, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.90, pp.1776-1784, 1991.
- [5] P. W. Jusczyk, From general to language-specific capabilities: The WRAPSA model of how speech perception develops, *J. Phonetics*, vol.21, pp.3-28, 1993.
- [6] B. A. Morrongiello, R. C. Robson, C. T. Best, and R. K. Clifton, Trading relations in the perception of speech by 5-year-old children, *J. Exp. Child Psych.*, vol.37, pp.231-250, 1984.
- [7] S. Nittrouer and M. Studdert-Kennedy, The role of coarticulatory effects in the perception of fricatives by children and adults, *J. Speech Hear. Res.*, vol. 30, no.3, pp.319-29, 1987.
- [8] M. M. Parnell and J. D. Amerman, Maturational influences on perception of coarticulatory effects, *J. Speech Hear. Res.*, vol.21, pp.682-701, 1978.
- [9] S. Nittrouer, Learning to perceive speech: how fricative perception changes, and how it stays the same, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.112, no.2, pp. 711-719, 2002.
- [10] S. Nittrouer, Discriminability and perceptual weighting of some acoustic cues to speech perception by 3-year-olds, *J. Speech Hear. Res.*, vol.39, no.2, pp.278-297, 1996.
- [11] S. Nittrouer and M. E. Miller, Developmental weighting shifts for noise components of fricative-vowel syllables, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.102, no. 1, pp. 572-580, 1997b.
- [12] S. Nittrouer and M. E. Miller, Predicting developmental shifts in perceptual weighting schemes, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.101, no.4, pp. 2253-2266, 1997a.
- [13] S. Nittrouer, C. Manning, and G. Meyer, The perceptual weighting of acoustic cues changes with linguistic experience, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.94, no.3, pp.1865, 1993.
- [14] D. H. Klatt, The new MIT speech VAX computer facility, *Speech Communication Group Working Papers IV*, Research Laboratory of Electronics, MIT, Cambridge, pp.73-82, 1984.
- [15] S. Nittrouer, Age-related differences in perceptual effects of formant transitions within syllables and across syllable boundaries, *J. Phon.* vol.20, pp.1-32, 1992.
- [16] L. J. Raphael and M. F. Dorman, Acoustic cues for a fricative-affricate contrast in word-final position, *J. Phonetics.*, vol.8, pp.397-405, 1980.
- [17] B. C. J. Moore, *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 3rd Ed., Academic Press, London, 1989. 大串健吾(監訳), 聴覚心理学概論, 誠信書房, 東京, 1994.
- [18] C. T. Best, B. A. Morrongiello, and R. C. Robson, Perceptual equivalence of acoustic cues in speech and nonspeech perception, *Perception & Psychophysics*, vol.29, no.3, pp.191-211, 1981.
- [19] S. Nittrouer, The role of temporal and dynamic signal components in the perception of syllable-final stop voicing by children and adults, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.115, no.4, pp.1777-90, Apr 2004.
- [20] D. B. Pisoni and J. H. Lazarus, Categorical and noncategorical modes of speech perception along the voicing continuum., *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 55, pp. 328-333, 1974.
- [21] C. Mayo and A. Turk, Adult-child differences in acoustic cue weighting are influenced by segmental context: children are not always perceptually biased toward transitions, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol., 115, no.6, pp.3184-3194, 2004.