

音響分析による開鼻声の定量的評価

—小児合成音声を用いた言語聴覚士の聴覚的評価との関連の検討—*

◎春日梨恵（上智大・理工），片岡竜太（昭和大・歯），荒井隆行（上智大・理工），
今井智子（北医大・心理科），△木村智江（昭和大・医）

1 はじめに

1.1 口蓋裂と開鼻声

口蓋裂とは口腔と鼻腔を遮断する役割を担っている口蓋に先天的に裂が生じている状態をさし、400～500人に1人の割合で出生する[1]。口蓋裂の手術後、鼻咽腔閉鎖機能の獲得が不十分な場合に生じる言語障がいが開鼻声である[1]。開鼻声は鼻咽腔閉鎖機能不全により呼気が鼻腔に抜けてしまうため、常に鼻にかかったような発声になる。口蓋裂の治療において開鼻声の重症度評価は重要であり、その程度により医学的処置や言語訓練が必要であるかが判断される。開鼻声の評価方法には空気力学的方法やファイバ・スコープ、MRIを用いた診断方法もあるが、言語聴覚士による聴覚的評価方法が最も多く用いられている[2]。しかしこの聴覚的評価方法には言語聴覚士の経験や個人の基準に個人差があるため、主観的評価になりやすいという問題がある[3]。

1.2 研究背景

これまで Kataoka *et al.* [3]により、以下のことが報告された。まず、口蓋裂による開鼻声の分析方法に 1/3 オクターブ分析が適していることを明らかにした。1/3 オクターブ分析は人間の聴覚フィルタの臨界帯域が 1/3 オクターブであることから聴覚に関する分析と相性がよく、リアルタイムの分析が可能である。したがって臨床応用に適しており、低年齢児への応用も可能である[3]。また、1/3 オクターブ分析により開鼻声の母音/i/における音響的特徴と、開鼻声の聴覚的重症度評価への影響を明らかにした[3]。開鼻声の母音/i/の音声

スペクトルを健常者のものと比較すると、その違いは F1-F2 間と、F2, F3 領域に現れる。F1-F2 間では、開鼻声の音声スペクトルのレベルが健常者のものより強く、開鼻声の重症度が増すごとにスペクトルレベルも増加する。また、F2, F3 領域では、開鼻声の音声スペクトルのレベルが健常者のものより弱く、開鼻声の重症度が増すごとにスペクトルレベルも減少する[3]。

1.3 目的

本研究では、開鼻声の母音/i/における重症度の定量的評価を目的としている。これまでの研究では、開鼻声の母音/i/における上述の音響的特徴と重症度評価との関連は認められたが、それぞれの要因が開鼻声の聴覚的評価にどの程度影響するのかは明らかになっていない[3]。したがって、開鼻声の母音/i/において音響的特徴である各スペクトルレベルの値と開鼻声重症度の聴覚的評価を定量的に関連付けることによって、開鼻声の重症度を定量的に評価する。これにより開鼻声重症度の定量的評価が可能となれば、言語聴覚士による聴覚的評価において、個人の基準を統一することが可能となり、臨床応用にも臨める。

2 実験

2.1 刺激

実験に用いた刺激は、10歳の男児と女児から得た母音/i/の発声を用いて作成した。男児、女児ともに開鼻声、鼻炎などの障がいはみられない。録音は防音室で行われ、単一指向性マイクロフォン(SONY ECM-23, F5)を使って音声を PC に録音した。このとき、マイクロ

* Quantitative evaluation of hypernasality by acoustic analysis –the relationship with the Perceptual evaluation of synthesized speech in children by speech therapists, by KASUGA, Rie (Sophia University), KATAOKA, Ryuta (Showa University), ARAI, Takayuki (Sophia University), IMAI, Satoko (Health Science University of Hokkaido) and KIMURA, Tomoe (Showa University).

フォンは口唇と約 15 cm 離して先端を口唇と垂直に設置した。また、録音には USB デジタルオーディオプロセッサ (ONKYO SE-U33GX) を通し、16 bit で量子化され、録音時のサンプリング周波数は 44.1 kHz に設定した。母音 /i/ の発声は 2 回ずつであり、録音されたサンプルの持続時間はすべて 3 秒以上であった。

録音された母音 /i/ のピッチ安定部から 0.8 秒間を切り出して音声スペクトルの加工を行い、実験の刺激を作成した。音声スペクトルの加工には 1/3 オクターブイコライザを用い、音声 を 1/3 オクターブ分析した後、各周波数帯域のスペクトルレベルを変化させた。作成した実験刺激の音声スペクトルのレベル変化方法は以下の 3 つに分類される。第一に、F1-F2 間の音声スペクトルレベルを +3~+12 dB まで +3 dB ずつ変化させ、全 4 サンプルを作成した。第二に、F2, F3 領域の音声スペクトルレベルを -3~-12 dB まで -3 dB ずつ変化させ、全 4 サンプルを作成した。第三に、F1-F2 間の音声スペクトルレベルを +3~+12 dB まで +3 dB ずつ変化させると同時に、F2, F3 領域の音声スペクトルレベルを -3~-12 dB まで -3 dB ずつ変化させた、全 16 サンプルを作成した。F1-F2 間のレベル変化については、特にスペクトルの谷に注目してレベル変化を行った。これより、男児、女児のサンプルともに 24 サンプルが得られ、実験には音声スペクトルの加工を行わない元のサンプルを加えた計 25 サンプルが使用された。男児サンプルの加工前の音声スペクトルと、加工を行う周波数、スペクトルレベル変化の範囲を Fig. 1 に矢印で表し、同様に女児のサンプルを Fig. 2 に表した。

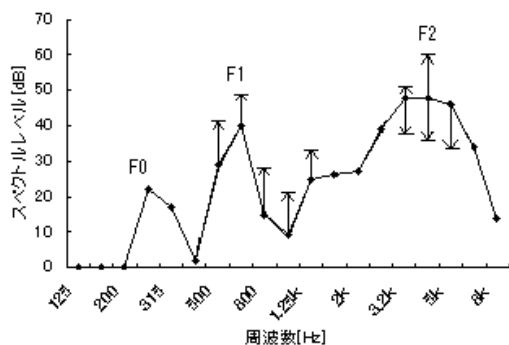


Fig. 1 音声スペクトルとレベル変化範囲 (男児)

2.2 聴取実験

実験の聴取者は勤続年数 8~11 年、平均 9.7 年の言語聴覚士 3 名である。男児のサンプル、女児のサンプルともに 25 サンプルずつ、全 50 サンプルを 2 セット聴き、開鼻声の重症度を評価した。重症度の評価方法は 1~4 の等間隔尺度評価で行い、1 は開鼻声がないことを示し、2 は軽度の開鼻声、3 は中等度の開鼻声、4 は重度の開鼻声であるとした。

実験は男児 25 サンプルの開鼻声重症度評価を行ってから、女児 25 サンプルの開鼻声重症度評価を行い、これを再び繰り返した。サンプルは PC により提示され、16 bit のデジタルオーディオプロセッサにより変換され、ヘッドフォンを用いて両耳で聴取させた。各サンプルを音圧が一定になるよう、各 1/3 オクターブ帯域 (125 Hz~8 kHz) のスペクトルレベル平均値が同じになるように正規化した。サンプルは 60 dB SPL で再生され、順序はランダムであり、評価が終わるまで何度でも再生可能である。

3 結果

3.1 平均評価値

実験結果の開鼻声重症度評価値は、すべての聴取者で開鼻声がないことを表す 1 から、重度の開鼻声を表す 4 にまでわたった。男児の加工音声サンプル実験では、各聴取者の重症度評価値における平均標準偏差は 0.51~0.74 で、平均 0.62 であった。また、聴取者間信頼度は 0.42 となった。同様に女児の加工音声サンプル実験では、平均標準偏差は 0.48~0.68 で、平均 0.56 であり、聴取者間信頼度は 0.43 となった。

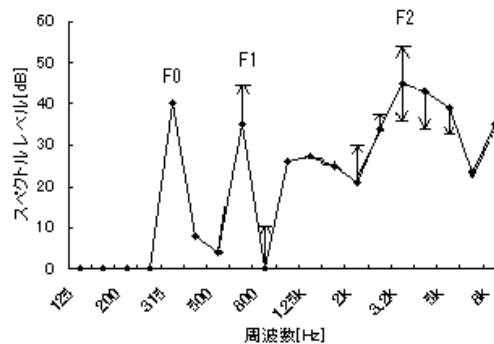


Fig. 2 音声スペクトルとレベル変化範囲 (女児)

男児、女児の実験の聴取者間信頼度がともに 0.50 以下であったため、各サンプルの聴取実験による相対的な評価値を算出した。平均値が 2.5、標準偏差が 0.5 となるように正規化をした後、平均値を取った。算出された開鼻声重症度の平均評価値とその分布に基づき、各サンプルを重症度の異なる新たな 4 つのグループに分けた。

3.2 男児の音声サンプル

男児のサンプルでは、正規化された平均評価値から 1.0 以上 2.0 未満を開鼻声がないグループ、2.0 以上 2.5 未満を軽度の開鼻声のグループ、2.5 以上 3.0 未満を中等度の開鼻声のグループ、3.0 以上を重度の開鼻声のグループとした。これらのグループごとに 1/3 オクターブスペクトルのレベル平均値を算出し、それらの比較を行った。Fig. 3 に各グループの平均スペクトルを示した。また一元配置分散分析により、開鼻声重症度の異なる 4 つの平均スペクトル間での有意差が認められた ($p < 0.05$)。各音声スペクトルを比較すると F2 のスペクトルレベルに変化が見られた。軽度の開鼻声重症度では、開鼻声がないスペクトルより F1-F2 間の谷が深く (500 Hz~1.25 kHz 間で平均 2.82 dB)、また F2 領域のスペクトルレベルが低く (2.5 kHz~5 kHz 間で平均 1.03 dB) になった。中等度、重度のスペクトルでは重症度が高くなるに連れて F2 のスペクトルレベルが高く (2.5 kHz~5 kHz 間でそれぞれ平均、中度 : 1.61 dB、重度 : 2.92 dB) になった。このとき、F1-F2 間には違いが見られなかった。

3.3 女児の音声サンプル

女児のサンプルでは、正規化された平均評価値から 2.0 以下を開鼻声がないグループ、2.0 から 3.0 未満を軽度の開鼻声のグループ、3.0 以上 3.5 未満を中度の開鼻声のグループ、3.5 以上を重度の開鼻声のグループとした。これらのグループごとに 1/3 オクターブスペクトルのレベル平均値を算出し、それらの比較を行った。Fig. 4 に各グループの平均スペクトルを示した。同様に、一元配置分散分析により、開鼻声重症度の異なる 4 つの平均スペクトル間での有意差が認められた ($p < 0.05$)。各音声スペクトルを比較すると男児の音声サ

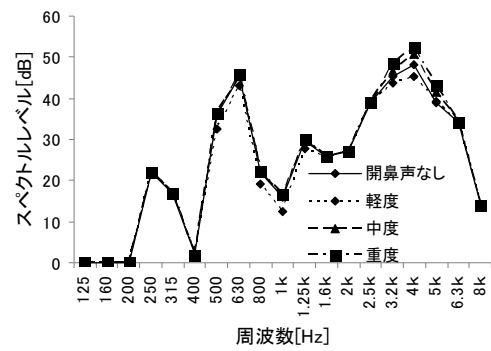


Fig. 3 重症度別音声スペクトル (男児)

Table 1 分散分析表 (男児)

	自由度	分散	P 値	F 値
重症度間	18	1059.01	$P < 0.001$	1.79
誤差	57	1.57		

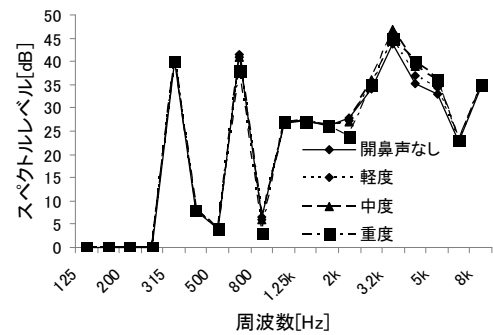


Fig. 4 重症度別音声スペクトル (女児)

Table 2 分散分析表 (女児)

	自由度	分散	P 値	F 値
重症度間	18	1060.23	$P < 0.001$	1.79
誤差	57	0.90		

ンプルによる実験と同様に、F2 領域のスペクトルレベルに変化が見られた。F2 領域のスペクトルレベルは開鼻声なし、軽度、中度、重度の順で高くなり重症度が高く (2.5 kHz~5 kHz 間でそれぞれ平均、軽度 : 1.42 dB、中度 : 2.5 dB、重度 : 2.91 dB) になった。中度と重度のスペクトルでは、F2 のスペクトルレベルは中度の方が高く (3.2 kHz で 2 dB) だったが、F2 以降のスペクトルレベルは重度の方が高く (4~5 kHz 間で 1.33 dB) になった。また、F1-F2 間に違いは見られなかった。

4 考察

4.1 加工音声による開鼻声評価

本実験では小児の健常者から得た母音の /i/ の音声を用いて実験刺激となる加工音声を作

成した。加工音声の評価値はすべての言語聴覚士によって、1（開鼻声なし）から4（重度）にわたった。従って小児の健常な音声スペクトルに開鼻声の音響的特徴を加工した音声は、聴覚的に4段階の開鼻声重症度を持つことが確認された。

しかしこれらの音声の開鼻声重症度評価値はばらつきが大きく、各言語聴覚士によって異なっていた。これは加工音声の持つ、声らしくない不自然さや、スペクトルレベルの操作によって啞声成分といった他の声の特徴が目立ってしまうことが開鼻声重症度評価をより難しくしてしまう要因になると考えられる[5, 6]。本実験では、開鼻声の音響的特徴に基づきスペクトルレベルを変化させることを優先的に行ったが、これらの問題点を制御した加工音声の作成が求められる。

4.2 重症度の異なる音声スペクトル

男児、女児の実験ともに、開鼻声重症度が異なる小児の加工音声スペクトルのレベル差は有意であることがわかった。また、特にF2領域のスペクトルレベルの変化が開鼻声の聴覚的重症度に深く関連していると考えられる。本実験ではF2のスペクトルレベル増加がみられ、これは先行研究でも確認された[1]。しかし先行研究では開鼻声の音響的特徴として、F1からF2にかけてのスペクトルレベル増加、F2, F3領域のスペクトルレベル減少が確認されたが[1]、本実験では見られなかった。スペクトルレベル変化の際に谷に着目せず、全体的なレベル増加を行えば、F1-F2間にも違いが見られる可能性がある。また男児の開鼻声がない音声スペクトルと軽度である音声スペクトルの関係と、女児の重度と軽度の音声スペクトルの関係が先行研究[1]に反した結果となった。これは、上記に述べた本実験で用いた加工音声の開鼻声重症度評価の難しさによると考えられる。

4.3 標準偏差と聴取者間信頼度

本実験において聴取者間信頼度が低くなってしまった原因として、合成音声による開鼻声重症度評価が難しいことや、聴覚的判断の基準が個々で違うことが顕著に現われていると考えられる。したがって、健常な音声の評価基準として定めれば聴取者間信頼度は高く

なると予想される。また標準偏差が女児の方が小さく、聴取者間信頼度が高かったことから、男児よりも女児の実験サンプルの方が評価しやすかったことが考えられる。

4.4 開鼻声の定量的評価

これらの結果から、本実験において小児の男児、女児の健常音声をもとに、開鼻声の聴覚的判定が、なし、軽度、中度、重度となる音声スペクトルレベルを定量的に求めることができた。しかしこれらの結果は先行研究との相違があり、すべての音声に対応しているとは言い難い。また、加工音声の開鼻声重症度の評価の難しさもあり、すべての音声に対応した定量的開鼻声評価を行うためには、さらなる研究が必要であるといえる。

謝辞

本研究を行うにあたって、実験に参加していただきました言語聴覚士の先生方に感謝を申し上げます。お忙しい中、ご協力をありがとうございました。

本研究は文部科学省科学研究費萌芽研究（課題番号16659561）と基盤研究B（17390543）の補助及び、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」の助成を受けました。

参考文献

- [1] 岡崎恵子他, “口蓋裂の言語臨床,” 医学書院, 1997.
- [2] 片岡竜太, 日本口蓋裂学会誌, 13 (2), 204-216, 1988.
- [3] Kataoka *et al.*, J. Acoust. Soc. Am., 109 (5), 2181-2189, 2001.
- [4] Kataoka *et al.*, Cleft Palate-Craniofacial Journal, 33 (1), 43-50, 1996.
- [5] Imatomi *et al.*, Proc. Eurospeech, 3, 1075-1078, 1999.
- [6] 今富撰子他, 音声言語医学, 44 (4), 304-314, 2003.
- [7] Whitehill *et al.*, Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 45, 80-88, 2002.
- [8] Kreiman, *et al.*, J. Acoust. Soc. Am., 122(4), 2354-2364, 2007.