

音楽経験の有無が音高錯覚現象の知覚に与える影響の比較 —子供を対象とした結果の解析—

田鎖 佑弥^{1,a)} 森勢 将雅^{1,b)}

概要：基本周波数と声道長の変換を特定条件下で行うことで、基本周波数の高さを知覚する高さが逆転する、音高錯覚現象が確認されている。本稿では、5歳から15歳の子供を音楽経験の有無によって区別し、主観評価実験を実施することで結果を比較した。その結果、音楽経験の有無によらず、音高錯覚を起こすよう調整した発話群の平均正答率は40%を下回り、音高錯覚を起こさないよう調整した発話群の平均正答率は80%を上回った。

1. はじめに

基本周波数の上昇・下降は、知覚する高さに影響を及ぼす。特定条件下において、基本周波数の高さを実際に知覚する高さが逆転する、音高錯覚現象が確認されている [1]。本稿では、音楽経験の有無が、高さの知覚に影響を及ぼすという仮説のもと、子供の音楽経験の有無が、音高錯覚現象の知覚に影響を及ぼすのか調査をした。その結果、音楽経験の有無によらず音高錯覚を起こし、その程度には有意差がないことが示された。

音高錯覚において子供と大人を比較した実験 [2] では、感情の読み取りが発達とともに変化する心理実験 [3] に着目した。その結果、子供と大人は変わらず音高錯覚を起こすことが確認された。本稿では、音楽経験の有無が音高の知覚に差異を生じさせると仮説をたて、子供の音楽経験の有無が音高錯覚の知覚に影響を及ぼすのか、主観評価によって検証をする。

2. 音高錯覚について

本セクションでは、音高錯覚を起こす音声の条件について説明する。音高錯覚は、基本周波数をメル軸上のピッチで係数を加算する変換と、スペクトル包絡の周波数伸縮を組み合わせることで確認される現象である。スペクトル包絡を伸縮する変換は、声道長 (Vocal-tract length: VTL) の伸縮に相当する [4]。具体的には、基本周波数は ± 20 mel、スペクトル包絡の伸縮率は 0.86 から 1.14 までの変化量において、音高錯覚を起こすことが確認された。

本稿では、音楽経験のある子供は音楽経験のない子供と比べて、高さに対する知覚が異なる、と仮説をたてる。音楽を経験することは、高さに対する知覚を育む可能性があり、高さに対する知覚の差異が、音高錯覚の知覚に影響を及ぼすのか検証をする必要がある。この仮説を検証するため、音高錯覚を起こすよう調整した発話群 (以下、Reversal)、音高錯覚を起こさないよう調整した発話群 (以下、Pitch Shift) を子供に聴取させ、音楽経験の有無で結果を比較する。

3. 主観評価実験

3.1 実験刺激の作成

実験刺激は、音声分析合成システム WORLD [5] (D4C edition [6]) を用い、ピッチと VTL を表 1 の条件で変換することで作成した。話者は、男女 2 名ずつ合計 4 名とした。声道長の伸縮は、Long (伸縮率 1.14)、Middle (伸縮率 1.00)、Short (0.86) の基準で調整した。音声の大きさが知覚に影響しないように、等価騒音レベルをペア単位でそろえた。

3.2 実験条件

本稿は、大人と子供の音高錯覚の知覚を比較した実験 [2] で得られた結果について解析をした。本実験は、日本科学未来館で、5歳から15歳の子供とその保護者を対象とするイベントとして実施をした。表 2 は、実験条件を示している。実験は、1 グループ 2 名から 4 名で構成されるグループを、最大 4 組同時に実施した。実験環境は、4 組が同時に実験を開始しても十分な間隔を確保できる面積の部屋で実施し、毎回の実験後に消毒を行うことで感染症対策をし

¹ 明治大学

^{a)} cs222027@meiji.ac.jp

^{b)} mmorise@meiji.ac.jp

表 1 実験刺激の条件

ペア	A (Gender/Pitch/VTL)	B (Gender/Pitch/VTL)
01*	F/-10/Short	F/+10/Long
02*	F/+10/Long	F/-10/Short
03	F/-15/Middle	F/+15/Middle
04	F/+10/Short	F/-10/Long
05	F/-10/Long	F/+10/Short
06	M/-10/Short	M/+10/Long
07	M/+10/Long	M/-10/Short
08*	M/+15/Middle	M/-15/Middle
09*	M/+10/Short	M/-10/Long
10	M/-10/Long	M/+10/Short

[2] より引用

発話時間: min 3.73 s, max 4.73 s

サンプリング周波数: 44.1 kHz, 量子化ビット数: 16 bit

* 音高錯覚を起こすよう調整した発話

た。実験音源は、あらかじめ室内に取り付けられたスピーカーを用いて提示した。

実験刺激は、Reversal を 8 発話、Pitch Shift を 12 発話用意し、変換元を同じくする発話でペアをそれぞれ 4 組、6 組作成し、ランダムイズすることで提示をした。5 歳から 15 歳の子供が被験者であることから、発話時間の総和を 2 分 30 秒とし、集中力が持続するよう配慮した。実験を開始する直前に、錯視を用いるなどして音高錯覚について説明をした。その後、本番音声と同じ手法で作成した練習音声を 1 ペア再生し、実験を開始した。全ての工程を終えるのに要した時間は、およそ 20 分ほどである。

表 2 実験条件

評価者数	24 名 (経験有 11 名, 経験無 13 名)
評価音声ペア	10 ペア (2 発話 × 10 ペア)
Reversal のペア数	4 ペア (01, 02, 08, 09)
Pitch Shift のペア数	6 ペア
サンプリング	44.1 kHz/16 bit
再生環境	十分な間隔を確保できる部屋
再生機材	室内取り付けのスピーカー

[2] より引用し一部改変

3.3 評価方法

音声の評価は、2 つの発話を聴取し、回答することを 1 セットとした。これを 10 セット、合計 20 発話聴取するまでを一連の作業とする。1 セット中の発話間には 1 秒の空白時間があり、セット間には 5 秒の回答時間が設けられている。またセット開始時に 0.1 秒の合図音を設けている。評価の回答方法は、ペアになっている発話のどちらが高い声かを、各ペアを聴取した後に用紙に記入させることで集計した。以下では、Pitch Shift の結果に対して、スミルノフ・グラブス検定を実施し、外れ値を除いたものを評価データとすることで、検定と考察をする。

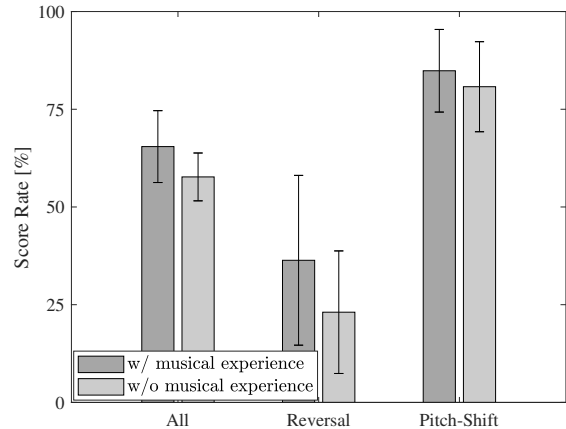


図 1 主観評価における音楽経験の有無による平均正答率

4. 結果と考察

4.1 結果

子供の音楽経験の有無による主観評価結果を図 1 に示す。図は、各条件における子供の音楽経験の有無による平均正答率を示しており、エラーバーは 95% 信頼区間を示している。

Reversal の平均正答率は、音楽経験の有無によらず、40% を下回っている。Pitch Shift の平均正答率は、80% を上回っている。また、すべての条件で音楽経験がある子供の平均正答率が高い傾向にある。以下では、音楽経験の有無によって、音高錯覚の知覚に影響があるのか検証をする。

4.2 検定

得られたデータが正規分布に従うか、シャピロ・ウィルク検定を用いて検証した。音楽経験のある子供の Reversal ($p = 0.019 \leq 0.05$), Pitch Shift ($p = 0.002 \leq 0.05$), 音楽経験のない子供の Reversal ($p = 0.012 \leq 0.05$), Pitch Shift ($p = 0.027 \leq 0.05$) のすべてのパターンで p 値が有意水準を下回った。この結果から、得られたデータは正規分布に従うとはいえず、以降ではノンパラメトリック検定を用いる。

標本間の分散の均質性を求めるため、音楽経験の有無に対してルビーン検定を実施した。その結果、Reversal における音楽経験の有無で、分散に有意な差があるとは言えないことが確認された ($p = 0.188 \geq 0.05$)。Pitch Shift における音楽経験の有無においても、分散に有意な差はみられなかった ($p = 0.512 \geq 0.05$)。また、音楽経験のある子供の Reversal と Pitch Shift 間において、分散に有意傾向がみられた ($p = 0.002 \leq 0.05$) が、音楽経験のない子供の Reversal と Pitch Shift 間において、分散に有意な差はみられなかった ($p = 0.253 \geq 0.05$)。

マン・ホイットニーの U 検定を、音楽経験の有無に対して実施し、有意差検定をした。Reversal における音楽経

験の有無では、平均に有意な差があるとは言えないことが確認された ($p = 0.325 \geq 0.05$). Pitch Shift における音楽経験の有無でも、平均に有意な差があるとは言えないことが確認された ($p = 0.643 \geq 0.05$). また、音楽経験のある子供の Reversal と Pitch Shift の平均スコアには、有意な差が確認され ($p = 0.001 \leq 0.05$), 音楽経験のない子供の Reversal と Pitch Shift の平均スコアにおいても、有意な差が確認された ($p = 8.74 \times 10^{-5} \leq 0.05$).

4.3 考察

本セクションでは、検定結果をもとに、音楽経験の有無において比較と考察をする。音楽経験のある子供も音楽経験のない子供も、Reversal と Pitch Shift の平均に有意差がみられたことから、音楽経験の有無によらず、音高錯覚を起こすということが考えられる。音楽経験のある子供と、音楽経験のない子供の Reversal と Pitch Shift の平均に、有意な差が確認できなかったことから、音高錯覚を起こす程度は同程度であると考えられる。音楽経験のある子供において、Reversal と Pitch Shift の分散に有意な差が確認されたことから、音高錯覚の知覚に個人差がある可能性が示された。

本稿では、音楽経験の有無によらず音高錯覚を起こし、その程度に有意差はないという結果が得られた。つまり、音楽経験の有無によって音高錯覚の知覚に有意差は確認されず、仮説が支持されるには至らなかった。しかし、音楽経験のある子供の Reversal と Pitch Shift 間の分散に有意差が確認されたことから、音高錯覚の知覚に個人差がある可能性が示されたため、データ数を増やすことで仮説が支持されるのか、検証する必要がある。

5. おわりに

本稿では、子供における音楽経験の有無が音高錯覚の知覚に与える影響について、主観評価で比較した。本実験では、音楽経験の有無によらず、Reversal と Pitch Shift の平均に有意差が確認され、かつ音楽経験の有無による平均に有意差はみられなかった。そのため、音楽経験の有無に関係なく、子供は音高錯覚を起こす可能性が示された。しかし、音楽経験のある子供において、音高錯覚の知覚に個人差がある可能性が示されたため、今後データを増やすことで検証をする必要がある。

謝辞 本研究は、科研費 JP21H04900, 19K12736, 21K19794 の支援を受けた。

参考文献

[1] T. Uchida, "Reversal of relationship between impression of voice pitch and height of fundamental frequency: Its appearance and disappearance," *Acoust. Sci. & Tech.*, 40(3), 198–208 (2019).

- [2] 田鎖佑弥, 森勢将雅, "音高錯覚現象における大人と子供の比較," 日本音響学会 2022 年春季研究発表会, pp. 685–686, (2022).
- [3] M. Kawahara, D. A. Sauter & A. Tanaka, "Culture shapes emotion perception from faces and voices: changes over development," *Cognition & Emotion*, 35(6), 1175–1186 (2021).
- [4] D. R. R. Smith & R. D. Patterson, "The interaction of glottal-pulse rate and vocal-tract length in judgements of speaker size, sex, and age," *J. Acoust. Soc. Am.*, 118(5), 3177–3186 (2005).
- [5] M. Morise, F. Yokomori, and K. Ozawa, "WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications," *IEICE transactions on information and systems*, E99-D(7), pp. 1877–1884 (2016).
- [6] M. Morise, "D4C, a band-aperiodicity estimator for high-quality speech synthesis," *Speech Communication*, 84, pp. 57–65 (2016).