

児童・成人を対象とした、

換声点(声区転換点)位置に関する調査研究

三重大学大学院教育学研究科  
教科教育専攻 音楽教育専修

大久保 友加里

2011年2月15日提出

# 目次

要旨、キーワード	3	
Abstract, Key word	4	
<b>序章</b>		
0-1. 用語の定義と説明	5	
0-2. 換声点に起因する問題と研究動機	8	
0-3. 換声点位置調査研究の意義	9	
0-4. 調査研究の目的	10	
<b>第1章 先行研究と本研究の位置付け</b>		
1-1. 換声点付近での発声上の問題に関する先行研究	11	
1-2. 換声点検出に関する先行研究	12	
1-3. 声区転換に関する先行研究	13	
1-4. 本研究の位置づけ	16	
<b>第2章 調査及び分析方法</b>		
2-1. 調査及び分析概要	17	
2-2. 調査対象	17	
2-3. 使用機器等	17	
2-4. 調査方法とその手順	18	
2-5. 分析方法	19	
<b>第3章 調査結果</b>		21

## 第4章 考察

4-1. 上・下行時の換声点位置の差	23
4-2. 統計的仮説検定とその結果	24
4-3. 換声点位置の平均音高(Hz)及び性差と世代差	26
4-4. 上・下行時の換声点位置の差の平均(cent)及び性差と世代差	28
4-5. 調査対象者についての詳細	30
4-6. 声域と換声点位置調査結果	32
4-7. 教材と換声点位置調査結果	34
4-8. 先行研究と本調査研究結果の比較	36
4-9. 展望	38

謝辞	41
----	----

参考・引用文献	42
---------	----

資料	44
----	----

## 要旨

**目的：**児童及び成人における換声点位置の平均やばらつきを統計的に検証する。

**背景：**歌唱時、換声点ショックが原因で音程が取れずに音痴歌唱となってしまう等の問題がある。発声指導や歌唱教材の制作及び選定などの際、換声点位置は重要な指標となる。しかし、従来のは科学的根拠の無い説のみであり、統計的に割り出された信頼できる指標が無かった。

**方法：**被験者は、変声前の小学4年生男子児童31名(平均年齢9.8±0.3歳)、女子児童23名(平均年齢9.9±0.3歳)、変声後の大学・大学院生の成人男性23名(平均年齢21.3±1.7歳)、成人女性31名(平均年齢21.1±1.2歳)である。被験者に音階を「あ」で母音唱してもらい、上行時と下行時の換声点位置の判定を検査者2名により聴取方式で行った。また、咽喉マイクと気導マイクを用いて同時にそれぞれが接続されているレコーダーにデジタル録音した。調査結果を基に、換声点位置の平均値とそのばらつきを算出した。

**結果：**以下は、換声点位置の上行時の平均値とばらつき及び下行時の平均値とばらつきである。

- ・男子児童：上行時[A4+4.7cent]、最低[E♭4-E4]・最高[G5-A♭5]  
下行時[A♭4+95.3cent]、最低[F4-E4]・最高[E5-E♭5]
- ・女子児童：上行時[B♭4+32.4cent]、最低[E4-F4]・最高[E5-F5]  
下行時[A♭4+93.3cent]、最低[F4-E4]・最高[E♭5-D5]
- ・成人男性：上行時[F4+76.1cent]、最低[C4-D♭4]・最高[B♭4-B4]  
下行時[E♭4+67.7cent]、最低[B3-B♭3]・最高[A♭4-G4]
- ・成人女性：上行時[G4+92.0cent]、最低[D♭4-D4]・最高[B4-C5]  
下行時[G4+7.9cent]、最低[E♭4-D4]・最高[C5-B4]

## キーワード

声区、裏声、ファルセット、表声、地声、換声点、換声点位置、換声点ショック、YUBA メソッド

## Abstract

**Purpose** : To statistically verify the mean values and the scatters of vocal register break positions for the schoolchildren and the adults.

**Background** : There are problems such as off-key singing caused by vocal-register-shock in singing. The vocal register break position is a very important indicator of the vocal-register-shock phenomenon when we teach singing, make and select teaching materials for singing. Conventional opinions are without scientific basis, lacking trustworthy indicators based on statistically calculations.

**Method** : Subjects are 31 boys before the change of voice ( $9.8\pm 0.3$  years old) and 23 girls ( $9.9\pm 0.3$  years old) of the fourth grade of elementary school, and 23 adult males after the change of voice ( $21.3\pm 1.7$  years old) and 31 adult females ( $21.1\pm 1.2$  years old) from among university and postgraduate students. Two judges identified the vocal register break positions listening to the subject's singing of a major scale with "A" vowel, ascending and descending. Their singing was digitally recorded using a pharyngolaryngeal microphone and a condenser microphone simultaneously which connected to each recorder. The mean values and the scatters of vocal register break positions were made clear based on the result of this research.

**Result** : The mean values and the scatters of the vocal register break positions of ascending and descending are shown below:

- Boys : ascending [A4+4.7cent], lowest [E<sub>4</sub>-E4]•highest [G5-A<sub>5</sub>]  
descending [A<sub>4</sub>+95.3cent], lowest [F4-E4]•highest [E5-E<sub>5</sub>]
- Girls : ascending [B<sub>4</sub>+32.4cent], lowest [E4-F4]•highest [E5-F5]  
descending [A<sub>4</sub>+93.3cent], lowest [F4-E4]•highest [E<sub>5</sub>-D5]
- Adult males : ascending [F4+76.1cent], lowest [C4-D<sub>4</sub>]•highest [B<sub>4</sub>-B4]  
descending [E<sub>4</sub>+67.7cent], lowest [B3-B<sub>3</sub>]•highest [A<sub>4</sub>-G4]
- Adult females : ascending [G4+92.0cent], lowest [D<sub>4</sub>-D4]•highest [B4-C5]  
descending [G4+7.9cent] , lowest [E<sub>4</sub>-D4]•highest [C5-B4]

Vocal-register-shock is physically or auditorily felt impact when the vocal registers(the natural and the falsetto voice) switch with each other.

The expression "vocal-register-shock" was coined by Prof. Toru Yuba.

## Key word

vocal register, falsetto voice, natural voice, register break, register break position, vocal register shock, The YUBA Method

## 序章

### 0-1. 用語の定義と説明

#### ●裏声(ファルセット)/ falsetto voice :

輪状甲状筋が閉鎖筋群に対して優勢に働き、声帯の辺縁部が振動した時に生じる声のシリーズで、ファルセットともいう。基本波に対する高調波のエネルギーが表声に比べて相対的に弱い傾向にある。Tab.1 参照。

#### ●表声(地声)/natural voice :

閉鎖筋群が輪状甲状筋に対して優勢に働き、声帯全体が振動した時に生じる声のシリーズで、地声ともいう。基本波に対する高調波のエネルギーが裏声に比べて相対的に強い傾向にある。Tab.1 参照。

#### ●声区/register :

“According to Manuel Garcia the younger, a register is a series of homogeneous sounds produced by one mechanism. These sounds differ essentially from another series of sounds equally homogeneous produced by another mechanism. Each register was held to display definite modifications of *timbre* and strength.”<sup>1</sup> [1]

マヌエル・ガルシア二世によると、声区とは、一つのメカニズムが作り出す同質の音のシリーズである。これらの音は、他のメカニズムが作り出す別の同質の音のシリーズとは本質的に違って、これらの声区ははっきりと明確に、それぞれ異なる<音質>と強さを示す。<sup>2</sup> [2]

#### ●換声点/register break :

“the point of separation between the two register mechanisms.”<sup>3</sup> [3]

二つの発声(裏声と表声)メカニズムが変わるところ。<sup>4</sup> [4]

---

<sup>1</sup> Cornelius L. Reid, *BEL CANTO Principles and Practices*, COLEMAN-ROSS COMPANY, INC., 1974, P.64 より引用。

<sup>2</sup> コーネリウス・L・リード(渡部東吾訳)『ベル・カント唱法 その原理と実践』音楽之友社、1987、p.75

<sup>3</sup> Cornelius L. Reid, *A Dictionary of vocal Terminology*, Joseph Patelson Music House, Ltd., 1983, p.306 より引用。

<sup>4</sup> コーネリウス・リード(移川澄也 訳・監修)『声楽用語辞典 コーネリウス・リードによる解剖と分析』有限会社キックオフ、2005、P.306

●**換声点ショック/register shock :**

弓場の造語であり、「裏声と表声の変わり目で起こる筋肉運動の急激な変化による身体上の衝撃や、それに起因した音声からくる聴覚上の衝撃」と定義している。

また、彼は、換声点ショックの発生メカニズムとして、裏声を作る主役である輪状甲状筋と表声を作る主役である閉鎖筋群の力関係の急激な入れ替わりや、輪状披裂関節での披裂軟骨の複雑な動きによる物理現象をあげている<sup>5</sup>。〔5〕

●**周波数(振動数)/frequency :**

“周期的な波形が1秒間に何回くりかえされるかをいう”<sup>6</sup>。“単位記号には Hz(ヘルツ)を用いる”<sup>7</sup>。〔6〕

●**セント/cent :**

“半音の100分の1の音程”<sup>8</sup>。“半音は100セント、全音は200セントそして1オクターヴは1200セントである”<sup>9</sup>。〔7〕

●**相加平均/arithmetic mean :**

“あい加えてから数値の個数で割って作り出す平均値”<sup>10</sup>。統計学では、mean(ミーン)とするのが一般的である<sup>11</sup>。〔8〕

●**相乗平均/geometric mean :**

“あい乗じて(掛けて)から数値の個数で開いて(累乗根をとって)作り出す平均値”<sup>12</sup>。〔8〕

●**標準偏差/standard deviation :**

“平均値のまわりの各データ  $x_i$  の散らばりの度合を表す量”<sup>13</sup>。〔9〕

---

<sup>5</sup> 弓場徹『『換声点ショックの改善と消滅』-VOICE』YUBA メソッド通信-Vol.1、2005

<sup>6</sup> 『新音楽辞典 楽語』音楽之友社、1977、p.294 より引用。

<sup>7</sup> 前述の〔6〕、p.294 より引用。

<sup>8</sup> 久野和宏・野呂雄一・井研治・堀康郎・成瀬治興・吉久光一・大石弥幸・岡田恭明・佐野泰之『一音・振動との出会い—音響学ABC』技報堂出版株式会社、2009、p.186 より引用。

<sup>9</sup> 前述の〔7〕、p.186 より引用。

<sup>10</sup> 大村平『今日から使える統計解析』株式会社講談社、2005、p.10、p.7 より引用。

<sup>11</sup> 前述の〔8〕、p.7

<sup>12</sup> 前述の〔8〕、p.10 より引用。

<sup>13</sup> 奥村晴彦『パソコンによるデータ解析入門』株式会社技術評論社、1986、p.19 より引用。

●中央値/median :

メジアン。“データを大きさの順に並べたときの中央の値”。<sup>14</sup> [10] “データに他と非常にかげ離れた値(outlier,異常値,はずれ値などという)が混入している可能性のある場合は、中央値の方が平均値より安定した結果を与えることがあ”<sup>15</sup>。[9]

●最頻値/mode :

モード。“度数の最も多い階級値の値”<sup>16</sup>。[10]

Tab.1 主な内喉頭筋の役割とその神経支配表<sup>17</sup> [11]

主な内喉頭筋の役割とその神経支配

弓場 徹 作図

運動神経支配		機能面からの名称	学術上の名称、位置や形状からの名称	機能
第X番迷走神経・第XI番神経	上喉頭神経外枝	伸展筋 [裏声を出す主働筋]	輪状甲状筋 (前筋) ※直部と斜部がある	甲状軟骨と輪状軟骨との距離を縮め、声帯を伸展させる。声の高さや振動性能を調節する主役であり、裏声を作る主働筋である。
	下喉頭神経	閉鎖筋群 [表声を出す主働筋等]	内甲状披裂筋 (内筋1、声帯筋ともいう)	声門を閉鎖すると同時に声帯を収縮させ短くする。表声を作る主働筋で、振動性能に大きく影響を与える。披裂軟骨を前方に引く。
			外甲状披裂筋 (内筋2)	声門の約2/3にあたる声帯ヒダ部分を閉鎖する。披裂軟骨を前方に引く。
			外側輪状披裂筋 (側筋)	披裂軟骨を内転させ、声門全体の約2/3にあたる声帯ヒダ部分を閉鎖する。
			披裂間筋 ※横筋と斜筋がある	披裂軟骨を引き寄せ声門全体を閉鎖させる働きを持つが、斜筋の働きについては、解明されていない。
	開大筋	後輪状披裂筋 (後筋)	呼吸時、披裂軟骨を外転させ、声門を開大する。	

※実践的な立場から、裏声・表声という2つの声区説を支持している。第3声区にあたるグロッタル・フライという発声音があるが、シリーズとしての性格に乏しく、歌唱や発話発声上の有用さが不明なため除外している。

<sup>14</sup> 藤崎恒晏『パソコンで学ぶ やさしい確率・統計1』森北出版株式会社、1993、p.7より引用。

<sup>15</sup> 前述の [9]、p.24より引用。

<sup>16</sup> 前述の [10]、p.22より引用。

<sup>17</sup> 『言語聴覚療法シリーズ14・音声障害』株式会社建帛社、2011出版予定より引用。



## 0-2. 換声点起因する問題と研究動機

今日、小中学校の音楽の授業内容で、最も多くを占めるのは、歌唱に関するものではないだろうか。小学校において現在の「音楽」にあたる科目名が、明治5年から昭和16年までは「唱歌」であったという歴史もあり、“器楽や創作、鑑賞の活動においても、歌うことがそれぞれ他の活動のよりどころになり、支えになっていることを考えれば、歌唱活動は依然として、音楽学習における中心的な役割りを果しているといつて差支えない〔12〕<sup>18)</sup>。

しかし身体の一部である「喉」を楽器として扱う歌唱において、無理な発声や間違った指導は、音声障害を招き日常会話にも困難を生じさせる場合がある。一例として、表声を無理に高音まで押し上げたり、あるいは裏声のまま低音まで下げてきたり、といった換声点付近での発声を挙げることができる。

ミュージカルを学ぶ小中学生を対象に行われた講習の参加者17人中16人が歌唱時の換声点を意識しており、うち15人は換声点ショックが原因で音程が取りにくいなどといった問題意識をもっていた。さらに高等学校への出前授業の時、4名の音痴矯正を音楽科教諭から弓場が依頼された時のことである。YUBAメソッド<sup>19)</sup>による数分間程度の発声トレーニングで4名全員がほぼ音程通りに歌えるようになったが、その原因は全て、換声点付近での発声バランスの失調であった。

教育の現場で換声点に関する問題が非常に多い〔13〕<sup>20)</sup>ことから、換声点ショックの改善に関する理論・実践研究が不可欠だと考えたが、そのような研究はすでに行われている〔5〕<sup>21)</sup>〔14〕<sup>22)</sup>。換声点ショックの改善や、発声能力を高めるためのトレーニングにおいては、はじめに裏声と表声を分離する必要がある、両声(裏声と表声)を、各個人にとってより効果的な音域で強化するために、分離の基準となる換声点位置を明確にする必要がある。本調査研究を行うことによって、声区分離を行う際の参考となる有用な情報が得られると考えている。

また、トレーニングを効率良く行うためには、個々の換声点位置に応じた個人別指導が望ましいものの、学校教育現場では、集団を指導する場面が圧倒的に多い。そのため実際の現場での発声指導の際や、歌唱発声用教材を制作したり指導に向けた歌唱教材を選定する際の指標となるような、世代別での換声点位置の平均やばらつき等を示し、その有用性について考究する必要性を確信したことが本研究を行う上での強い動機となった。

---

18 浜野政雄『新版 音楽教育学概説』音楽之友社、1973、p.87より引用。

19 弓場徹の開発した“発声能力を飛躍的に高める方法”のこと。1.4.参照。

20 虫明眞砂子「児童に対する歌唱指導の研究(Ⅰ)-発声について-」『岡山大学教育学部研究集録』、2002

21 前述の〔5〕

22 馮芳「YUBAメソッドによる換声点ショックの改善に関する検証」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2006

### 0-3. 換声点位置調査研究の意義

今日まで、様々な換声点位置が主張されてきているが、これらは統計的に研究された結果を拠り所としたものではない。本研究において統計処理を行い割り出した結果は、これらの主張を検証することに役立つのみならず、今後の洗練された議論を先導すると考えられる。

輪状甲状筋と閉鎖筋群の拮抗する筋肉を協調運動させることで声区融合を行い、換声点ショックを小さくして歌唱能力を向上させる(Fig.1 参照。)ことには合理性があるが、その前提となるのが裏声と表声を分けて発声する声区分離である<sup>23</sup> [11]。声区を分離し発声させることにおいては、換声点位置を知ることが欠かせない。本研究において出された換声点位置に関する調査結果は、声区分離を行う際の参考となる有用な情報だと言える。

本研究における調査結果は、歌唱発声用教材の制作や指導に向けた歌唱教材の選択時の客観的な目安になるものである。また、換声点よりも上の音域を使って歌唱教材を作ることが良い、あるいは、換声点よりも下の音域を使って地声だけで歌える歌唱教材を作る方が良い、といった歌唱教材に関する意見に対して抗弁する根拠となるものである。

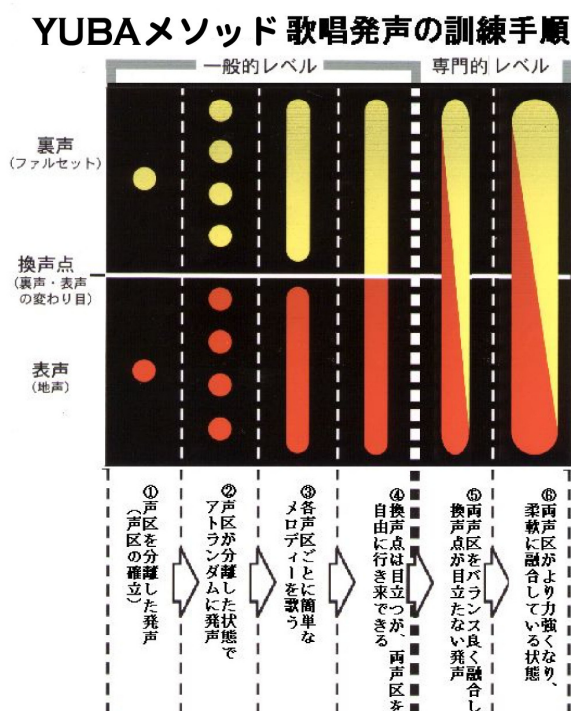


Fig.1 YUBA メソッド歌唱発声の訓練手順<sup>24</sup> [15]

<sup>23</sup> 前述の [11]

<sup>24</sup> 『JOHNS6 特集音の世界と耳鼻咽喉科・音楽・音声・環境音』株式会社東京医学社、2002、p.1086 のものを、カラーで示している。

#### **0-4. 調査研究の目的**

本調査研究は、児童及び成人における換声点位置の平均やばらつきを統計的に検証することを目的とする。

## 第1章 先行研究と本研究の位置付け

### 1-1. 換声点付近での発声上の問題に関する先行研究

虫明・秋山(1994)<sup>25</sup>は、アナウンサーの発声上の問題の一つとして“地声と裏声が違う音色になる”ことを挙げ、呼吸法を中心としたヴォイストレーニング法をもとにアナウンサーの発声改善に取り組んだ結果、発声面や声質に良好な変化が認められたことを報告している。しかし受講者レポートでは、“地声と裏声の境目の部分がはっきりしていてその音が不安定になる”とあり、換声点は発声訓練後も残る問題点で、今後の課題といえる。〔16〕

村尾(1995)<sup>26</sup>は、幼児の調子外れは声区を超える時に多く見られると述べ、幼児の歌唱における、換声点問題の重要性を指摘している。地声でピッチを上げて裏声に持ち込むために、制御不能になり途中で音程がめちゃくちゃになってしまうという現状がたくさんあると述べている。〔17〕

虫明(2000)<sup>27</sup>は、小学校の授業見学の際、喉に力を入れて大声を張り上げて歌っている多くの児童と、その指導教員も喉を痛めつつ声を出していることを目の当たりにした経験から、音声治療法と音声障害の予防法について検討している。声帯結節の症状の一つとして“声区転換が上手にできない、声がすぐひっくり返る、音があたらない”ことを挙げ、職業に起因する音声障害および小児の音声障害が多いことから、幼少時から教育機関において発声教育を行う必要があるが、具体的実践方法については今後の課題であると述べている。〔18〕

さらに虫明(2002)<sup>28</sup>は、教育現場での発声用語の内容に対する認識の薄さ、中でも頭声的発声を理解する上で必要な胸声の正しい理解が不十分であることを指摘し、小学校学習指導要領における“自然で無理のない声”について考察を行っている。また今後の課題として、児童の声の衛生面を配慮し、無理のない発声の具体的指導方法の研究開発が必要であると述べている。〔13〕

飯塚(2002)<sup>29</sup>は、「換声点に起因する発声上の問題」に関するアンケートの実施で、「換声点をはっきりと感じるか？」の問いに対し71.4%が「感じている」、うち78.6%が「換声点が目立つことで困る」との回答が得られたことから、換声点問題の重要性について述べているが、換声点位置のデータは示されていない。〔19〕

---

<sup>25</sup> 虫明眞砂子・秋山啓「話声と歌声に関する研究(I)-声楽発声の立場から実施したアナウンサーに対するヴォイストレーニングについて-」『岡山大学教育学部研究集』、1994

<sup>26</sup> 村尾忠廣『「調子外れ」を治す』音楽之友社、1995

<sup>27</sup> 虫明眞砂子「話声と歌声に関する研究(II)-音声障害を起こさないための手立て-」『岡山大学教育学部研究集録』、2000

<sup>28</sup> 前述の〔13〕

<sup>29</sup> 飯塚育代「換声点の定義に関する問題とその解決に向けて」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2002

馮(2006)<sup>30</sup>は中国での教員時代、換声点問題の解決方法を見いだせず、小学生の歌唱指導に苦勞していた経験から、YUBA メソッドの声区分離と声区融合による発声指導前後における換声点ショックの度合いを比較検討した。被験者 3 名全員の換声点ショックが改善され、音声分析用ソフトで視覚化されたデータによって、被験者の換声点の有無は判断可能であるが、音階のどの位置で換声点ショックが起きているかの的確な判断は難しい。〔14〕

教育現場では換声点に関連した問題がたくさんあり、重要視されていることが分かる。特に、換声点を越えた無理な発声は、音声障害を引き起こす要因にもなりかねず、早急に解決すべき問題の一つである。

## 1-2. 換声点検出に関する先行研究

田邊(1991)<sup>31</sup>らは従来、聴覚を頼りに経験的に判断していた換声点位置について、FFT 表示した「ア」音の標本を拡大表示するという手法によって客観的にその位置を示すことができたと述べている。この研究では、換声点位置を客観的に図示することに焦点を当てているため、被験者の換声点位置の平均などのデータは出されていない。〔20〕

さらに田邊(1993)<sup>32</sup>は、換声点の特定方法について最長距離法によるクラスター分析を用いて換声点位置の平均値と標準偏差を算出しているが、被験者が 5 人と少なく、また年齢や性別など不明な点がある。〔21〕

今泉(1993)<sup>33</sup>らは、従来の病的音声の音響分析的評価は、発声の可制御性を評価するという視点に乏しいと指摘し、音響分析システム SONG を用いた歌声解析によって、3名のソプラノ歌手の声区転換の際に喉頭調節が変化し、声門開放率が大きくなると共に EGG 振幅が減少すること、またそれに伴いヴィブラート特性も変化したことを報告している。しかし声区転換の音高位置については述べていない。〔22〕

田邊・村尾(1995)<sup>34</sup>は、裏声と表声については実に様々な捉え方がなされ、音楽様式の違いや男女の差によって裏声に関する発声の感覚が異なると指摘し、教育的立場から、幼児の発声及び声域について「裏声と学習効果」という視点の研究が求められていると述べている。FFT 解析により、西洋音楽を歌う歌手・邦楽を歌う歌手・児童の換声点を特定し、その音高を Hz 単位で示しているが、被験者数が少ないためか平均値や標準偏差を出すまで

---

<sup>30</sup> 前述の〔14〕

<sup>31</sup> 田邊隆・木村勢津・三原壽「音声の倍音構造分析による発声指導の研究」『愛媛大学教育実践研究指導センター紀要』第 9 号、1991

<sup>32</sup> 田邊隆「発声指導における換声点の特定に関する研究」『愛媛大学教育学部紀要教育科学』第 40 巻第 1 号、1993

<sup>33</sup> 今泉敏・斉田晴仁・廣瀬肇・新美成二・志村洋子「音響分析による声の可制御性の評価-声区とヴィブラートについて-」社団法人電子情報通信学会、1993

<sup>34</sup> 田邊隆・村尾忠廣「FFT 解析による裏声-表声の換声点の特定化」『音楽情報科学』11-2、1995

には至っておらず、この研究の段階で換声点位置の一般的な傾向を示すことは、まだ早計だと述べている。[23]

森(2004)<sup>35</sup>らは、裏声を骨導音声の歪み率から判別するという手法において、換声点を検出できたことを報告している。その結果について、男性の場合は換声点についての発声者本人の感覚及び他者による意見と、実験結果とがほぼ一致したと述べているが、女性の場合は換声点の判別が難しく本人も認識していない場合があり、換声点検出が困難だという。論文中には一人の被験者の換声点位置に関するデータが示されているのみである。[24]

さらに森(2004)<sup>36</sup>らは、話者を識別するため換声点後の裏声判別を可能にすることを目的とした実験において、骨伝導マイクロホンを用いての換声点の検出が話者識別率の向上のために役立つという結果を得た。この研究では、換声点位置の特定に成功したことが報告されているが、換声点位置についての明確なデータを出し整理することは研究目的とは関連性がないためか行われていない。[25]

これらの先行研究は、工学的な手法によって換声点を検出できることを意味している。つまり換声点及び裏声と表声は、何らかのアルゴリズムを設定することによって視覚的にも識別可能だと言える。

### 1-3. 声区転換に関する先行研究

Reid (1950)<sup>37</sup>は、男女共に換声点位置(Register‘break’)を同じ位置 E4(329.6Hz)に設定しており<sup>38</sup>、換声点は、必ず D4(293.7Hz)から F4(349.2Hz)の付近にあると説明している(“The crossing point referred to is known as the ‘break’, and may always be located in the vicinity of D to F above middle C.”<sup>39</sup>)<sup>39</sup>が、その科学的根拠は述べられていない。[1]

田中(1980)<sup>40</sup>は、幼児の出しやすい声域は「胸声区」で、それより高い声で歌うためには境界区(換声点)Great Break を超える必要があるということを確認するために調査を行った。その結果、A4(440.0Hz)を超えられる幼児と超えられない幼児で、歌唱力の差が生じていたと述べているが、換声点位置の調査は行っていない。[26]

---

<sup>35</sup> 森幹男・萩原慎洋・谷口秀次・高橋謙三・佐川晋也「骨導音声による歌声の評価」FIT2004(第3回情報科学技術フォーラム)、2004

<sup>36</sup> 森幹男・榎本由希・萩原慎洋・谷口秀次・高橋謙三「骨導音声を用いた話者識別と裏声判別」社団法人 電子情報通信学会、2004

<sup>37</sup> 前述の [1]

<sup>38</sup> Fig.2 参照。

<sup>39</sup> 前述の [1]、p.67 より引用。

<sup>40</sup> 田中正子「幼児の音楽教育を再検討する その1 幼児の声域について」『仏教保育カリキュラム』12月号、1980

志村(1980)<sup>41</sup>は、声区の転換(換声)は、幼児の歌唱の問題の1つであり、声域を拓げるためにその指導方法の検討に意義があると述べている。〔27〕

さらに志村(1981)<sup>42</sup>は、幼児120名の声域調査の結果を明確に示し、A4(440.0Hz)またはAis4(466.2Hz)の音以上の音域を歌った幼児に音質の変化が確認されたことを報告している。今後、声区の転換点についての指導方法の検討に取り組むことが重要だと述べているが、その位置に関する統計的データは示されていない。〔28〕

吉富(1983)<sup>43</sup>は、幼児の歌唱可能最高音を測定した結果、A4(440.0Hz)より高音を出せた被験児は全てファルセットによるもので4歳児全体の10.4%、5歳児全体の19.7%が発声できたと報告している。発声可能最低音・最高音の平均値や標準偏差など、声域に関するデータが性別・年齢別に出されているが、換声点位置の情報は含まれていない。〔29〕

Cooper(1995)<sup>44</sup>は、自身の研究結果において、一般的に児童の声区の転換が生じると考えられているG4(392.0Hz)またはA4(440.0Hz)の辺りよりも、全て下方に換声点があると述べている(“The criterion pattern in the present study was pitched entirely below the register shift that generally occurs around G4 or A4,...”<sup>45</sup>)。しかし、これら全ての換声点位置の音高自体が割り出したプロセスが不明確なため、客観的に信頼性のあるものとは考えにくい。〔30〕

Phillips(1996)<sup>46</sup>は中声区をC4(261.6Hz)～C5(523.3Hz)に設定している(“Between these two pure registers is the middle voice(c1-c2) which is a combination of both lower and upper registers.”<sup>47</sup>)ことから、C4及びC5が換声点と読み取れる<sup>48</sup>が、中声区の定義が不明確である。〔31〕

小笠原(1999)<sup>49</sup>は、幼児の歌唱可能声域調査において換声点がF4(349.2Hz)、G4(392.0Hz)付近にあり、これを越えられるか否かが広い音域を獲得することと関係すると述べている。また、1.5年間にわたる幼児の歌唱可能声域の発達に関する詳細なグラフ

---

41 志村洋子「幼児の歌唱能力とその指導に関する研究(その1)」『埼玉大学紀要 教育学部(教育科学)』第29巻、1980

42 志村洋子「幼児の歌唱能力とその指導に関する研究(その2)」『埼玉大学紀要 教育学部(教育科学)』第30巻、1981

43 吉富功修「幼児の歌唱可能声域の研究-課題曲を用いて-」『愛媛大学教育学部紀要 第I部 教育科学』第29巻、1983

44 Cooper, N. A. “Children’s singing accuracy as a function of grade level, gender, and individual versus unison singing” *Journal of Research in Music Education*, 44(4),222-231. 1995

45 前述の〔1〕、p.67より引用。

46 Phillips, K. H, *Teaching kids to sing*, New York, NY: Schirmer Books., 1996

47 前述の〔31〕、p.43より引用。

48 Fig.3参照。

49 小笠原恵美子「幼児の歌唱に関する研究-歌唱可能声域の発達についての一考察-」『音楽教育研究論集創刊号』、1999

を示すとともに、F<sub>4</sub>、G<sub>4</sub>を超える広い声域をもつ幼児はF<sub>4</sub>までを表声で発声し、F<sub>4</sub>、G<sub>4</sub>、A<sub>4</sub>(440.0Hz)で音質、音程ともに少し不安定になり、B<sub>4</sub>(493.9Hz)、C<sub>5</sub>(523.3Hz)付近できれいな裏声で発声する傾向があったことを報告している。しかし換声点について厳密な調査は行なっていないと述べている。〔32〕

弓場(2005)<sup>50</sup>は、換声点で意に反して起こる様々な問題を取り上げ、声区融合による換声点消滅を行い高音域から低音域まで音質的に統一のとれた発声ができるようにする重要性を主張している。また、裏声と表声をコントロールする内喉頭筋の制御と、それをサポートする協働筋のトレーニングによる声づくりが必要であると述べ、換声点ショックの改善方法について、科学的裏づけとともに詳しく説明しているが、換声点の位置がどの付近にあるのかについては取り上げていない。〔5〕

Miyamoto(2005)<sup>51</sup>は、換声点ショックが不正確歌唱の原因となっている可能性があるとして述べ、D<sub>4</sub>(293.7Hz)～D<sub>5</sub>(587.3Hz)に換声点位置が存在する可能性があるとして述べているが換声点の平均値は示されていない(“The criterion pitches were selected by the investigator in an attempt to span the tones across the vocal register break(D<sub>4</sub>-D<sub>5</sub>),...”<sup>52</sup>)。〔33〕

木岡(2006)<sup>53</sup>は、YUBA メソッドの幼児向け教材(CD 付き)による幼児の声域変化に関する測定調査により、トレーニング後、幼児が換声点周辺での発声難を克服したことが、高音方向への声域拡張に大きく影響したと述べている。志村(1980, 1981)<sup>54</sup>や小笠原(1999)<sup>55</sup>の先行研究から、平均的に換声点となりうる F<sub>4</sub>(349.2Hz)～A<sub>4</sub>(440.0Hz)を幼児の換声点とみなし考察を行ったとあるが、換声点の平均音高の科学的データを基にしたものではない。〔34〕

前述のごとく、研究の一部で声区転換の実態等を述べたものや、換声点位置の情報を応用した研究は存在するが、それらは、統計的に出された換声点位置のデータに基づいたものではない。

---

<sup>50</sup> 前述の〔5〕

<sup>51</sup> Karen,A.Miyamoto “THE EFFECT OF A REMEDIAL SINGING METHOD ON THE VOCAL PITCH ACCURACY OF INACCURATE ELEMENTARY SINGERS ” *Research and Issues in Music Education*, 2005

<sup>52</sup> 前述の〔1〕、p.67より引用。

<sup>53</sup> 木岡尚美「YUBA メソッドの幼児向け教材を用いた発声指導が、保育園児の声域に与える影響」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2006

<sup>54</sup> 前述の〔27〕〔28〕

<sup>55</sup> 前述の〔32〕



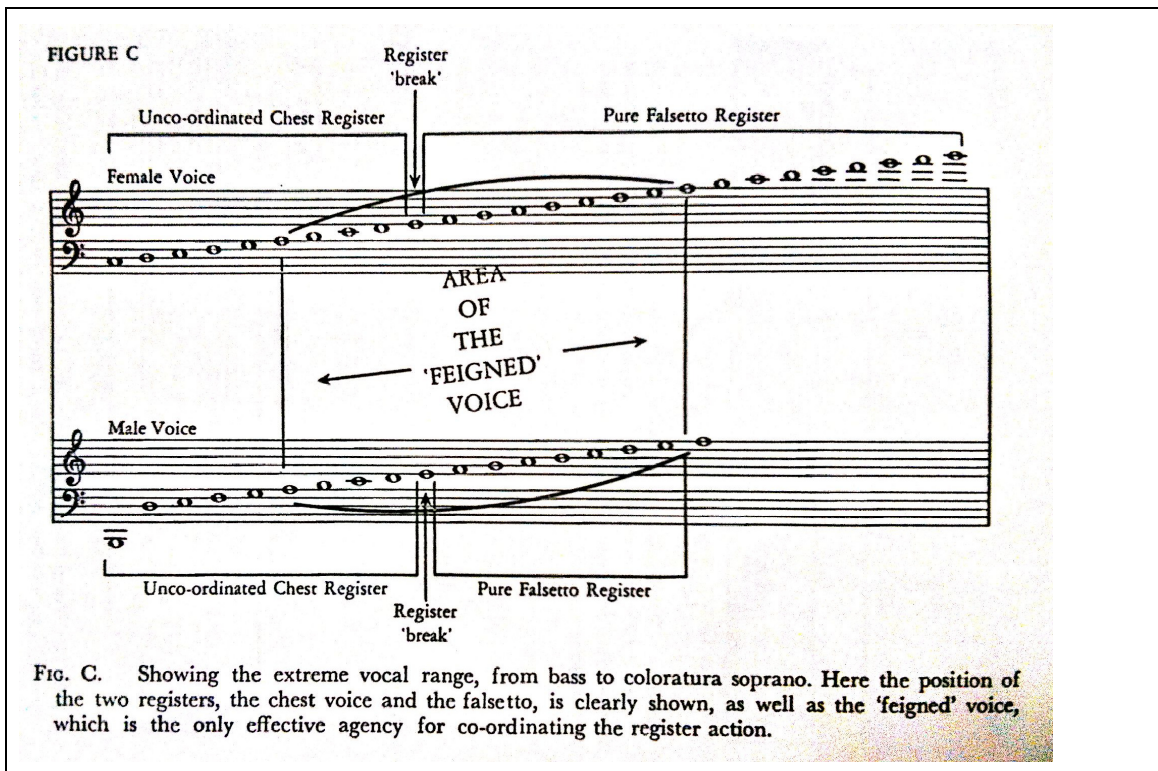


Fig.2 Cornelius L. Reid, *BEL CANTO Principles and Practices* より引用

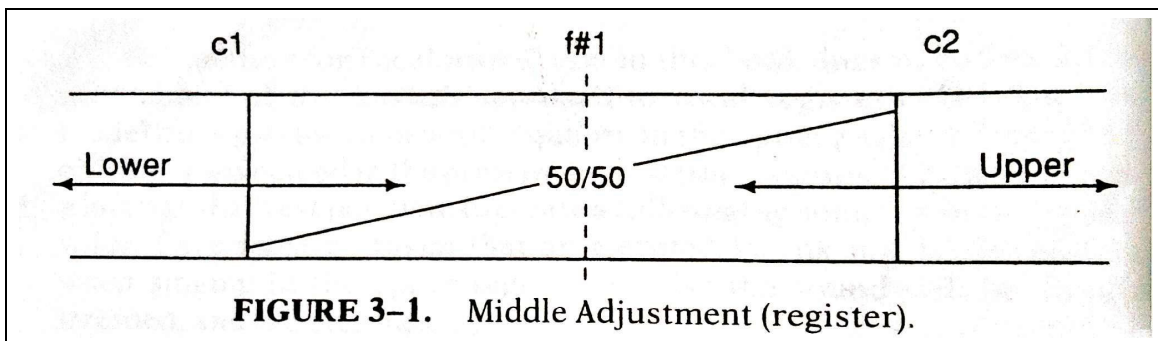


Fig.3 Phillips, K. H, *Teaching kids to sing* より引用

#### 1-4. 本研究の位置づけ

先行研究より、換声点に関する問題が歌唱学習者や教育者に共通の重要なものであるが、換声点位置を調査し、その平均やばらつき等を統計的に算出した先行研究は国際的にも存在していない。

そこで本研究では、変声前の男子児童と女子児童(小学生)、及び変声後の成人男性と成人女性(大学生・大学院生)を調査の対象とし、上行時及び下行時における換声点位置の平均値やばらつき等を求めることとした。

## 第2章 調査及び分析方法

### 2-1. 調査及び分析概要

音階上行発声時及び下行発声時それぞれにおいて、換声点位置を調査した。また、調査終了後、性別(男・女)及び世代(児童・成人)ごとに、換声点位置の平均とばらつきを求めた。

### 2-2. 調査対象

被験者は、変声前の小学4年生の男子児童31名(平均年齢 $9.8\pm 0.3$ 歳)、及び同校の小学4年生の女子児童23名(平均年齢 $9.9\pm 0.3$ 歳)、変声後の大学・大学院生の成人男性23名(平均年齢 $21.3\pm 1.7$ 歳)、及び同大学・大学院生の成人女性31名(平均年齢 $21.1\pm 1.2$ 歳)である。以降、これらを男児、女児、男性、女性と略記する。なお、上記の被験者の他に、換声点位置の特定が何らかの理由により不可能であった協力者<sup>56</sup>が数名いるが、今回は調査対象外とみなし、結果のデータ等に含まないものとした。

### 2-3. 使用機器等

調査及び分析に用いた機器、ソフトウェアを以下に示す。

- ・学校用オルガン YAMAHA MODEL SE-200
- ・サイレントアンサンブルピアノ YAMAHA HQ100SXG
- ・ステレオヘッドホン YAMAHA HPE-170
- ・エレクトレットコンデンサ型咽喉マイク なんず SH-12iK<sup>57</sup>
- ・デジタル オーディオ レコーダー KENWOOD MGR-A7
- ・高音質 HD レコーダー、三脚 SONY PCM-D1
- ・ノート型パソコン TOSHIBA dynabook NXE/76 HE
- ・表計算ソフトウェア Microsoft Office Excel 2007

---

<sup>56</sup> 4-5.で詳しく述べる。

<sup>57</sup> マイク部を皮膚に密着させるべく、甲状軟骨の右傍(向って左)に喉元と首を挟むような状態で装着することで、騒音をほとんど拾うことなく喉の振動を直接拾い収録できるマイク。

## 2-4. 調査方法とその手順

まず、換声点を検出するために、被験者に対して裏声と表声の出し分けの指導を行い、息漏れの裏声と、息漏れの無いハッキリとした表声を出し分けられる事を確認した。(※ YUBA メソッド歌唱発声の訓練手順①<sup>58)</sup>)

次に、被験者に長音階をオルガンまたはピアノによるガイドメロディーに合わせて「あ」で母音唱させ<sup>59)</sup>、長音階において上行発声時及び下行発声時の換声点位置を判別した。さらに、必要がある場合には、換声点位置が相対音における半音幅の箇所(ミファ又はシド)に当たるよう母音唱させ、最終的に半音単位で上行発声時及び下行発声時の換声点位置を特定した。以降、それぞれ上行時、下行時と略記する。なお、本来なら換声点位置を何らかの機器によって特定できることが望ましいが、共同研究(教育学部 弓場研究室、工学部 野呂研究室)により、換声点を視覚的に表示するためのソフトウェアが現在研究開発途中であるため、本研究においては検査者 2 名での聴取による判定を行うこととした。この時、被験者にははっきりした声で発声するよう指示し、咽喉マイクと気導マイク<sup>60)</sup>を用い、両方同時にレコーダーにデジタル録音した。

換声点位置は、Fig.4 のように調査用紙に、音符を用いて半音単位で記入した。なお、「番号」「組」「氏名」「生年月日」欄は、個人情報保護のため掲載していない。

2010年7月20日(火) 12:20~12:29		19歳7ヶ月	
番号	組	氏名	性別
			男

上行|下行

母音:[ | あ | あ ]

Fig.4 換声位置調査用紙

<sup>58)</sup> 0-3.の Fig.1 参照。

<sup>59)</sup> 先行研究(前述の [20])より、音声の音色変化を倍音構造で示す場合、5 母音のうちでも顕著な形で図示できる開口母音の「あ」を用いることとした。

<sup>60)</sup> 高音質 HD レコーダーPCM-D1 内蔵のコンデンサマイク。

## 2-5.分析方法

以下、換声点位置の算出及び表記方法について述べる。なお Fig.5 では、仮に上行時の換声点が A4・B♭4、下行時の換声点が A4・A♭4 の場合を例に①、②の計算方法を説明している。なお、音名と周波数(Hz)の対応表(資料 1)及び音階の図(資料 2-a、2-b)を、参照のために巻末につけている。

Fig.5 の①は、上・下行時の換声点を挟む 2 つの音符を周波数に置き換えたものである。

②は、上・下行時ごとの①の積の平方根つまり相乗平均であり、換声点位置を表している。各種統計量を算出するため、本論では半音幅の中間位置を換声点位置と定めることとした。また、人間の音の高さに対する感覚や概念が対数軸に従うものであり、数学的に、半音の中心位置を簡易に捉えられるため、相乗平均を用いている。

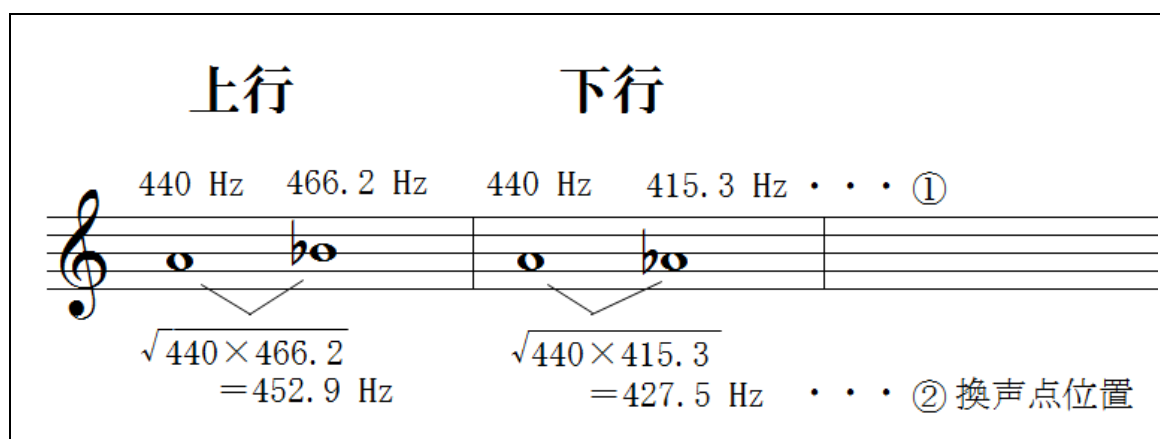


Fig.5 換声点位置の計算方法

②のデータから、男児、女児、男性、女性ごとに被験者一人一人の換声点位置をヒストグラム化し、ばらつきを表した。

以下に、4つの被験者集団(男児、女児、男性、女性)それぞれの換声点位置の平均の算出及び表記方法について述べる。なお Fig.6 では、仮に④で、集団の上行時の換声点位置の平均が A4-B♭4、下行時の換声点位置の平均が A4-A♭4 と算出できる場合を例に③、⑤の計算方法を文字式を用いて説明している。

Fig.6 の③は、②の方法で被験者全員の換声点位置を算出した後、集団ごとに上・下行時の換声点位置の平均(geo)を求めたものとする。周波数軸上(Hz)での相乗平均と、対数軸上(cent)での相加平均は等しいため、換声点位置の平均をこのような方法で算出している。

④は、音名と周波数(Hz)の対応表(資料 1)に従い、換声点位置の平均を挟む 2 音の周波数を半音単位の音符で表したものである。

また⑤は、それに対応した音高をドイツ音名+cent<sup>61</sup>に置き換え表したものである。

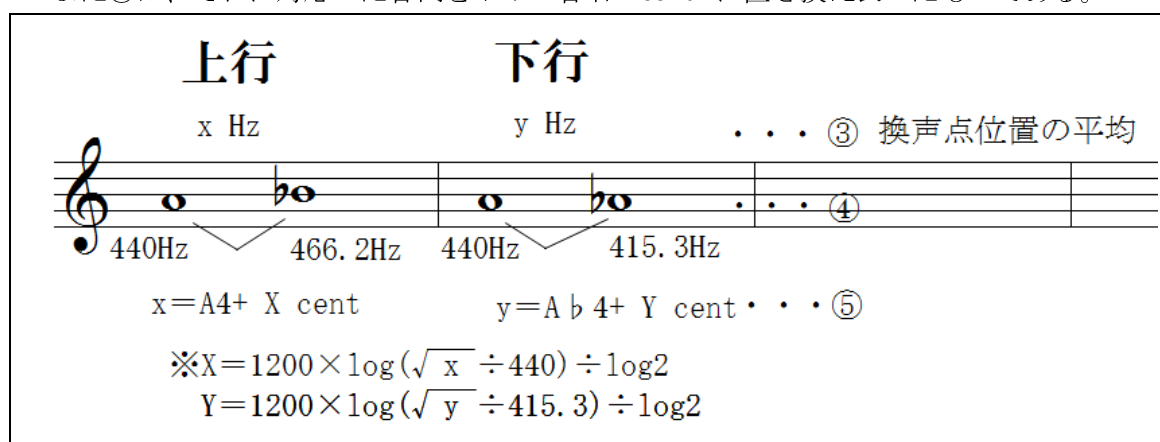


Fig.6 換声点位置の平均の計算方法

<sup>61</sup> Microsoft Office Excel 2007 を用い計算式:  $1200 \cdot \log_2(\text{換声点位置の周波数} / \text{基準とする周波数})$ により求めた。

### 第3章 調査結果

以下は、換声点位置の上行時の平均値とばらつき及び下行時の平均値とばらつきである。

- ・ 男子児童：上行時[A4+4.7cent]、最低[E♭4-E4]・最高[G5-A♭5]  
下行時[A♭4+95.3cent]、最低[F4-E4]・最高[E5-E♭5]
- ・ 女子児童：上行時[B♭4+32.4cent]、最低[E4-F4]・最高[E5-F5]  
下行時[A♭4+93.3cent]、最低[F4-E4]・最高[E♭5-D5]
- ・ 成人男性：上行時[F4+76.1cent]、最低[C4-D♭4]・最高[B♭4-B4]  
下行時[E♭4+67.7cent]、最低[B3-B♭3]・最高[A♭4-G4]
- ・ 成人女性：上行時[G4+92.0cent]、最低[D♭4-D4]・最高[B4-C5]  
下行時[G4+7.9cent]、最低[E♭4-D4]・最高[C5-B4]

Fig.7～Fig.10 は、2010年7月6日、8日に行った児童の換声点位置調査結果である。また、Fig.11～Fig.14 は、2010年7月20日～10月29日に行った成人の換声点位置調査結果である。各グラフ中の縦軸は音名を、横軸は人数を示しており、換声点位置の平均音高をグラフ上にレッドラインで表示した。また、換声点位置の平均周波数(Hz表記)<sup>62</sup>とそれに対応した音高(ドイツ音名+cent)さらに、その値が位置する音符を五線上に半音幅で示したものを Fig.内右上部に表示してある。

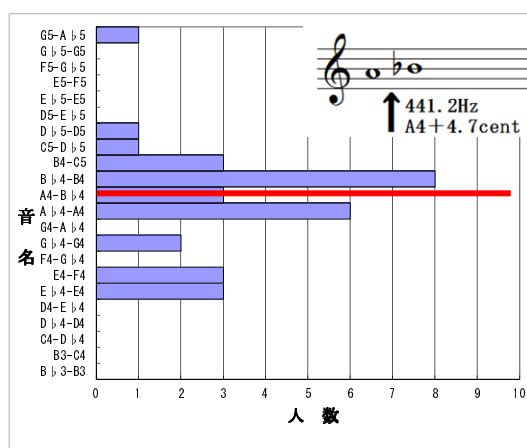


Fig.7 男児(上行)

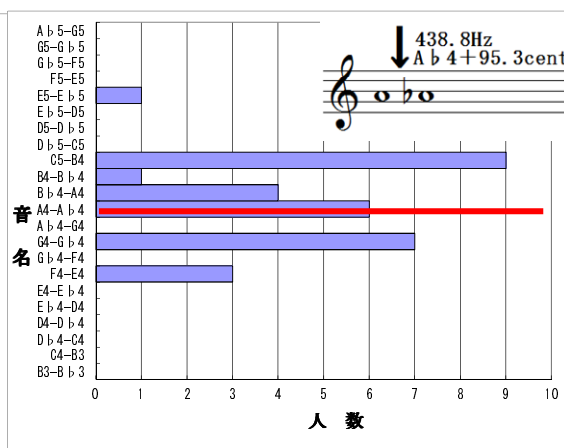


Fig.8 男児(下行)

<sup>62</sup> 換声点位置に関する個人データ及び各項目ごとの各種統計量(最小値、最大値、平均値、標準偏差、中央値、最頻値)及びデータ区間ごとのヒストグラムを、参照比較するために資料3-10として巻末につけている。なお、標準偏差は、対数軸上に変換して求めたものを採用している。単位は cent とした。中央値は、対数軸上に変換して求めた中央値を、Microsoft Office Excel 2007 を用い計算式:  $2^{(\text{cent 値}/1200)}$  により周波数軸上に戻すことにより求めた。単位は Hz とした。

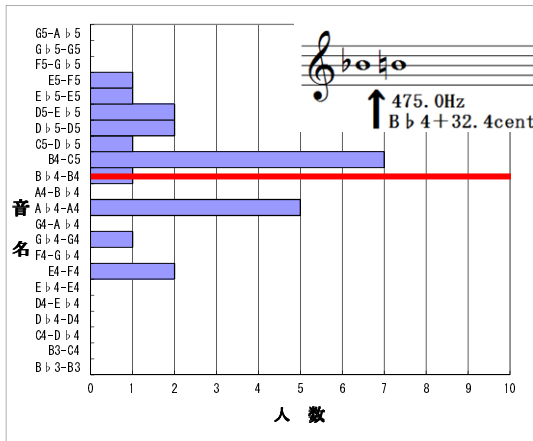


Fig.9 女兒(上行)

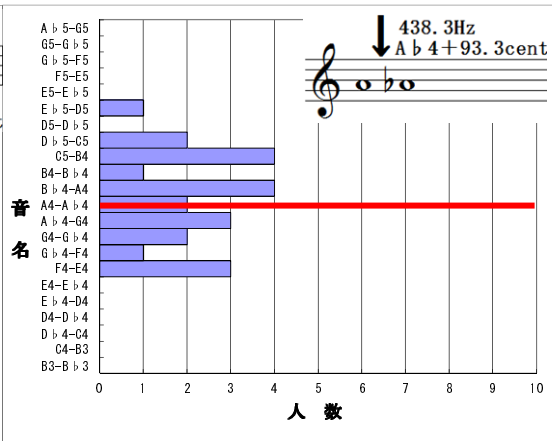


Fig.10 女兒(下行)

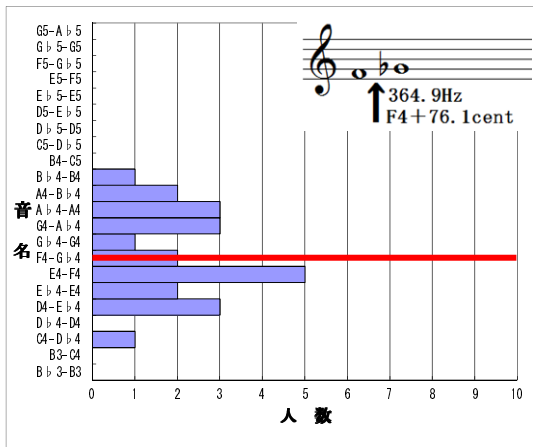


Fig.11 男性(上行)

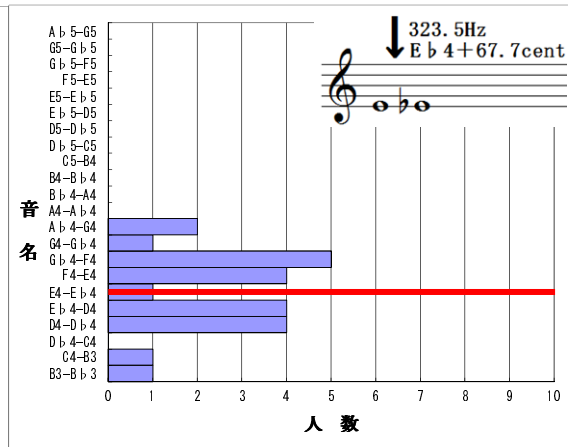


Fig.12 男性(下行)

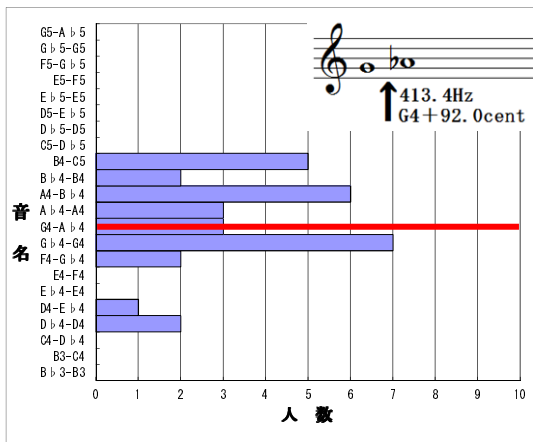


Fig.13 女性(上行)

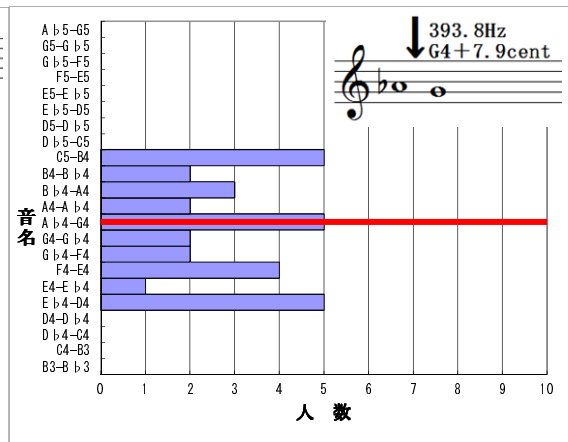


Fig.14 女性(下行)

## 第4章 考察

### 4-1. 上・下行時の換声点位置の差

上・下行時の換声点位置の差に関する分析方法について述べる。

Fig.5 の②<sup>63</sup>で求めた換声点位置を、1Hz を基準に cent に換算<sup>64</sup>し、換声点位置とした。換算したデータを基に、各被験者の上行時の換声点位置から下行時の換声点位置を減じ、上下差とした。なお、cent は本来、2 音間の音程を表す単位であり、音の絶対的な高さを表すものではない。

被験者全員の上下差を算出した後、男児、女児、男性、女性の集団ごとの上下差の平均(mean)を求めた。周波数軸上(Hz)での相乗平均と、対数軸上(cent)での相加平均は等しいため、上下差の平均をこのような方法で算出している。

---

<sup>63</sup> 2-5.で詳しく述べた。

<sup>64</sup> Microsoft Office Excel 2007 を用い計算式: $1200 \cdot \log_2(\text{換声点位置の周波数}/1)$ により求めた。



## 4-2.統計的仮説検定とその結果

統計解析ソフトウェア R<sup>65</sup> [35] を用い、換声点位置及び上下差における平均値の差に関する  $t$  検定(両側検定)と、はずれ値の影響を受けにくくするために、それに対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)を行った。なお、本研究における統計的仮説検定は、全て有意水準を 0.05 として行っている。

Tab.2 には、各項目における換声点位置の平均値の差(cent)及び、それに関する  $t$  検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)による  $p$  値を示した。

Tab.2 換声点位置の平均値の差 (cent)及び各種検定による  $p$  値

		男児		女児		男性	
		上行	下行	上行	下行	上行	下行
女児	上行	cent	127.7				
		$p(t)$	.2005 n.s.				
		$p(W)$	.08167 n.s.				
	下行	cent		1.7			
		$p(t)$		.9823 n.s.			
		$p(W)$		.9435 n.s.			
男性	上行	cent	328.8	456.5			
		$p(t)$	.0002292***	$2.359 \times 10^{-5}$ ***			
		$p(W)$	.0003593***	$6.569 \times 10^{-5}$ ***			
	下行	cent		527.8	526.1		
		$p(t)$		$5.118 \times 10^{-10}$ ***	$2.387 \times 10^{-8}$ ***		
		$p(W)$		$5.556 \times 10^{-8}$ ***	$1.128 \times 10^{-6}$ ***		
女性	上行	cent	112.9	240.6	216.0		
		$p(t)$	.1572 n.s.	.01247*	.006092**		
		$p(W)$	.1799 n.s.	.00745**	.006735**		
	下行	cent		187.1	185.4	340.4	
		$p(t)$		.01347*	.02707*	$3.379 \times 10^{-5}$ ***	
		$p(W)$		.02599*	.04189*	.0002574***	

n.s.  $0.05 < p$ , \*  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\*  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

<sup>65</sup> R Development Core Team (2010).R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

また、Tab.3 には、各項目における換声点位置の上下差の平均値<sup>66</sup>の差(cent)及び、それに関する  $t$  検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)による  $p$  値を示した。

Tab.3 換声点位置の上下差の平均値の差 (cent)及び各種検定による  $p$  値

		男児	女児	男性
女 児	cent	129.4		
	$p(t)$	.1524 n.s.		
	$p(W)$	.0188*		
男 性	cent	199.0	69.6	
	$p(t)$	.01902*	.4573 n.s.	
	$p(W)$	.005834**	.3797 n.s.	
女 性	cent	74.2	55.2	124.8
	$p(t)$	.319 n.s.	.522 n.s.	.1182 n.s.
	$p(W)$	.1757 n.s.	.1657 n.s.	.2261 n.s.

n.s.  $0.05 < p$ , \*  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\*  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

<sup>66</sup> 換声点位置の上下差に関する個人データ及び各種統計量(最小値、最大値、平均値、標準偏差、中央値、最頻値)及びグラフを、参照比較するために、資料 11-15 として巻末につけている。

### 4-3.換声点位置の平均音高(Hz)及び性差と世代差

Tab.4 は、男児、女児、男性、女性それぞれの換声点位置の平均周波数(Hz)と、男児と女児間及び男性と女性間における差 [同年代における性差。本論では性差と呼ぶこととする。] を、cent<sup>67</sup>、半音数<sup>68</sup>及び鍵盤上のレッドライン<sup>69</sup>で示し、性差に関しての *t* 検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)の結果を示している。

Tab.4 換声点位置の平均周波数(Hz)と性差

児童				成人			
		上行	下行		上行	下行	
平均	男児(Hz)	441.2	438.8	平均	男性(Hz)	364.9	323.5
	女児(Hz)	475.0	438.3		女性(Hz)	413.4	393.8
性差	(cent)	127.7	1.7	性差	(cent)	216.0	340.4
	(半音数)	約 1.28	約 0.02		(半音数)	約 2.16	約 3.40
	(鍵盤幅)				(鍵盤幅)		
	( <i>t</i> 検定)	n.s.	n.s.		( <i>t</i> 検定)	**	***
	(Wilcoxon.検定)	n.s.	n.s.		(Wilcoxon.検定)	**	***

n.s. 0.05 < *p*, \* 0.01 < *p* ≤ 0.05, \*\* 0.001 < *p* ≤ 0.01, \*\*\* *p* ≤ 0.001

男児は女児に比べ、上行時の平均音高が 127.7cent(約 1.28 半音)低く、下行時の平均音高が 1.7cent(約 0.02 半音)高いが、差があるとは言い難い。その結果に対し *t* 検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られなかった。

男性は女性に比べ、上行時の平均音高が 216.0cent(約 2.16 半音)低く、下行時の平均音高が 340.4cent(約 3.40 半音)低い。その結果に対し *t* 検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られた。





<sup>67</sup> 平均周波数(Hz)を、Microsoft Office Excel 2007 を用い計算式:1200・log<sub>2</sub>(換声点位置の周波数/1)により cent に換算し、差を求めた。

<sup>68</sup> 差(cent)の値を 100 で割ることにより求めた。

<sup>69</sup> 求めた半音数を、レッドラインで鍵盤上に表示した。

Tab.5 は、男児、女児、男性、女性それぞれの換声点位置の平均周波数(Hz)と、男児と女性間及び女児と女性間における差 [同性における世代差。本論では世代差と呼ぶこととする。] を、cent、半音数及び鍵盤上のレッドラインで示し、世代差についての  $t$  検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)の結果を示している。

Tab.5 換声点位置の平均周波数(Hz)と世代差

男子				女子			
		上行	下行		上行	下行	
平均	男児(Hz)	441.2	438.8	平均	女児(Hz)	475.0	438.3
	男性(Hz)	364.9	323.5		女性(Hz)	413.4	393.8
世代差	(cent)	328.8	527.8	世代差	(cent)	240.6	185.4
	(半音数)	約 3.29	約 5.29		(半音数)	約 2.41	約 1.85
	(鍵盤幅)				(鍵盤幅)		
	( $t$ 検定)	***	***		( $t$ 検定)	*	*
	(Wilcoxon.検定)	***	***		(Wilcoxon.検定)	**	*

n.s.  $0.05 < p$ , \*  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\*  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

男性は男児に比べ、上行時の平均音高が 328.8cent(約 3.29 半音)低く、下行時の平均音高が 527.8cent(約 5.29 半音)低い。その結果に対し  $t$  検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られた。



女性は女児に比べ、上行時の平均音高が 240.6cent(約 2.41 半音)低く、下行時の平均音高の差が 185.4cent(約 1.85 半音)低い。その結果に対し  $t$  検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られた。

Tab.4 及び Tab.5 より、男児と女児の間には換声点位置の平均音高の差はあまりみられず、男性と女性の間、男児と男性の間、女児と女性の間には明確な差がみられた。そのうちでも男児と男性の間に最も顕著な差がみられたのは、女子に比べ男子に、変声期前後での生理的变化が大きいためと考えられる。

#### 4-4. 上・下行時の換声点位置の差の平均(cent)及び性差と世代差

Tab.6 は、男児、女児、男性、女性それぞれの換声点位置の上下差の平均(cent)と、男児と女児間及び男性と女性間における差〔同年代における性差。本論では性差と呼ぶこととする。〕を、cent、半音数及び鍵盤上のレッドラインで示し、性差についての  $t$  検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)の結果を示している。

Tab.6 換声点位置の上下差の平均(cent)と性差

児童			成人		
平均	男児(cent)	9.7	平均	男性(cent)	208.7
	女児(cent)	139.1		女性(cent)	83.9
性差	(cent)	129.4	性差	(cent)	124.8
	(半音数)	約 1.29		(半音数)	約 1.25
	(鍵盤幅)			(鍵盤幅)	
	( $t$ 検定)	n.s.		( $t$ 検定)	n.s.
	(Wilcoxon.検定)	*		(Wilcoxon.検定)	n.s.



n.s.  $0.05 < p$ , \*  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\*  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

男児と女児の上下差の平均の差は、129.4cent(約 1.29 半音)で、 $t$  検定では有意差が得られなかったが、対応する Wilcoxon の順位和検定では有意差が得られた。

男性と女性の上下差の平均の差は、124.8cent(約 1.25 半音)で、 $t$  検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られなかった。

Tab.7 は、男児、女児、男性、女性それぞれの換声点位置の上下差の平均(cent)と、男児と男性間及び女児と女性間における差〔同性における世代差。本論では世代差と呼ぶこととする。〕を、cent、半音数及び鍵盤上のレッドラインで示し、世代差に関しての *t* 検定(両側検定)と、対応する Wilcoxon の順位和検定(両側検定)の結果を示している。

Tab.7 換声点位置の上下差の平均(cent)と世代差

男子			女子		
平均	男児(cent)	9.7	平均	女児(cent)	139.1
	男性(cent)	208.7		女性(cent)	83.9
世代差	(cent)	199.0	世代差	(cent)	55.2
	(半音数)	約 1.99		(半音数)	約 0.55
	(鍵盤幅)			(鍵盤幅)	
	( <i>t</i> 検定)	*		( <i>t</i> 検定)	n.s.
	(Wilcox.検定)	**		(Wilcox.検定)	n.s.

n.s.  $0.05 < p$ , \*  $0.01 < p \leq 0.05$ , \*\*  $0.001 < p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

男児と男性の上下差の平均の差は、199.0cent(約 1.99 半音)で、*t* 検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られた。

女児と女性の上下差の平均の差は、55.2cent(約 0.55 半音)で、*t* 検定と対応する Wilcoxon の順位和検定ともに有意差が得られなかった。

また、資料 12-15 では、上行時の換声点位置が下行時よりも高い人数と下行時の換声点位置が上行時よりも高い人数の割合は、男児が 11 : 15、女児が 19 : 4、男性が 15 : 1、女性が 17 : 10 と、男児にのみ下行時の換声点位置が上行時よりも高い傾向がみられた。

#### 4-5. 調査対象者についての詳細

以下は、換声点位置調査において、その特定がやや困難あるいは不可能であった協力者についてその詳細を示した。

Tab.8 では、調査被験者のうちで換声点位置の特定がやや困難であった者の数を示した。( )内の人数は、調査被験者数である。また、特定がやや困難であった理由を記述した。

Tab.8 調査被験者の予備情報

男 児 3名 (31名)	換声点がやや不明確。
女 児 3名 (23名)	1名は、換声点がやや不明確。 2名は、上行・下行時にやや換声点の変動。
男 性 1名 (23名)	上行時の換声点がやや不明確。
女 性 2名 (31名)	1名は、下行時の換声点がやや不明確。 1名は、上行・下行時にやや換声点の変動。

Tab.9 では、換声点位置特定が何らかの理由により不可能であった協力者の数を示した。( )内の人数は、調査協力者数である。また、特定が不可能であった理由を記述した。

Tab.9 調査不可能者の予備情報

男 児 1名 (32名)	裏声傾向が強い。
女 児 1名 (24名)	裏声が出せない。
男 性 3名 (26名)	1名は、裏声・表声が混ざっている。 1名は、上行・下行時に極端に換声点の変動。 1名は、換声点付近で音程が取れなくなる。
女 性 10名 (41名)	1名は、表声をはっきりしない。 9名は、裏声・表声が混ざっている。

男児の約 3%、女児の約 4%は、換声点位置特定が不可能であり、調査対象者のほとんどは換声点位置を特定することが可能であった。男性の約 12%、女性の約 24%は換声点位置特定が不可能であった。このことから男女共に児童よりも成人のほうが換声点位置を特定することが困難な傾向があると考えられる。また、特定が不可能であった者のうち、男性は、換声点の有ることは確認できているにも関わらず上行・下行時に極端に換声点の変動したり(1 例)、換声点付近で音程が取れなくなる(1 例)といった原因で、その位置が特定できないことが 3 例中 2 例であるのに対し女性に関しては、全員が換声点そのものを確認できなかった。このことは、前述の先行研究 [24] <sup>70</sup>にあるように、女性の場合は換声点検出が困難だという事実と合致する。(本調査では女性の約 24%(41 人中 10 人)。

---

<sup>70</sup> 1-2.で詳しく述べた。



#### 4-6. 声域と換声点位置調査結果

換声点位置と声域との関連を考察するため、換声点位置が特定できた者のうち数名の声域を Fig.15 に示した。上下にのびるブルーバー及びレッドバーは、各被験者の発声可能声域である。また、▲の上方向の頂点は上行時の換声点位置を、▼の下方向の頂点は下行時の換声点位置を示している。

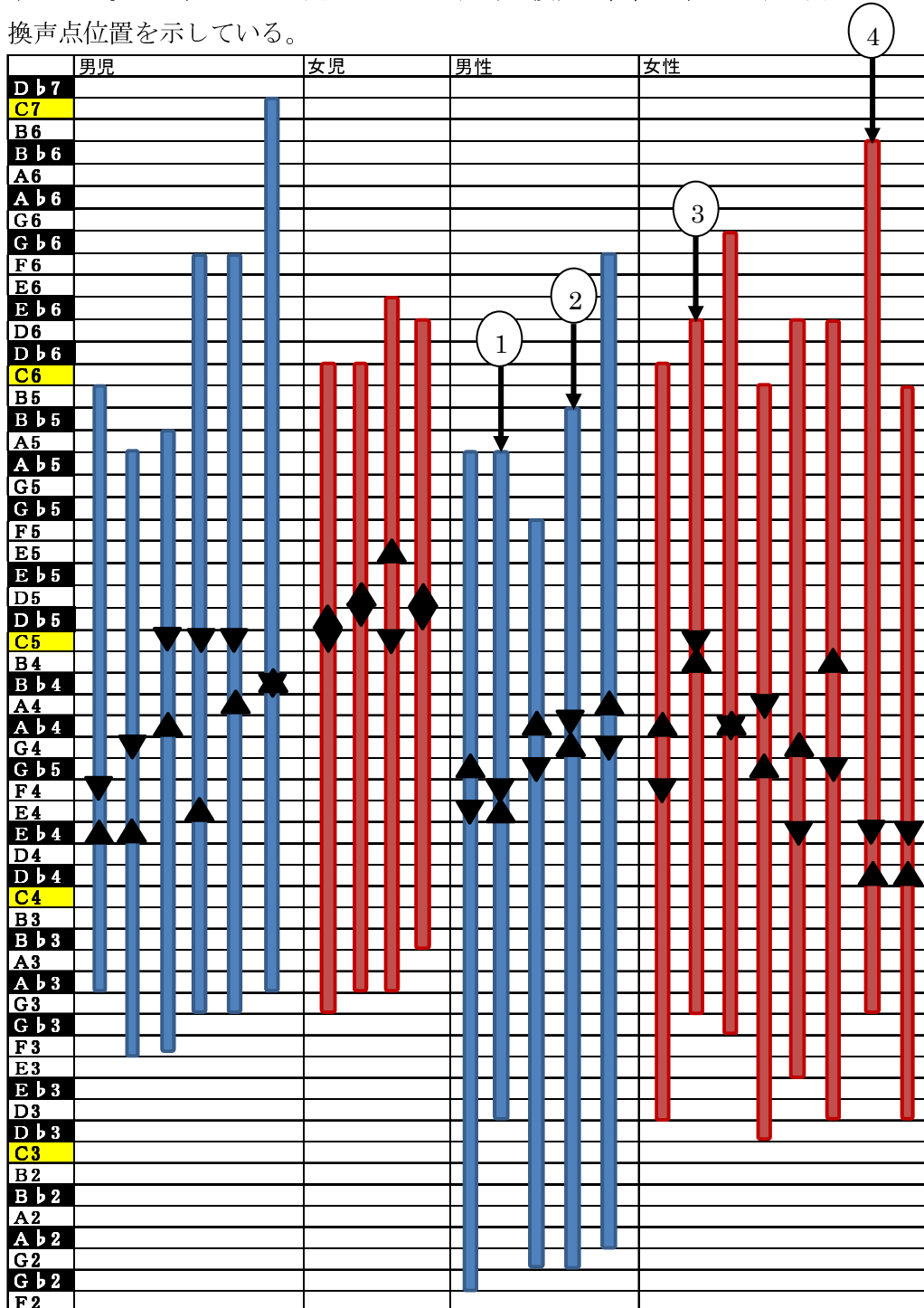


Fig.15 音名表記による換声点位置と各被験者の声域

本調査によって、全員が表声、裏声共に減 5 度以上の声域を持っており、両声区を合わせると 2 オクターブ以上の発声が可能であることがわかった。

Fig.15 より、比較検討を容易にするために上行時と下行時の換声点位置が同じである①～③の被験者を抽出した。被験者①は裏声 16 半音・表声 15 半音、被験者③は裏声 15 半音・表声 17 半音となっており両者は、裏声と表声の声域はほぼ同じだが、被験者②は裏声 15 半音・表声 25 半音であり、表声が裏声よりも約 1.7 倍声域が広い。また、上行時と下行時の換声点位置が同じである被験者は①～③の 3 名のみであったため、換声点位置の上下差が半音である被験者のうち、裏声の半音数が最も多い被験者④を例として挙げた。上行時の換声点位置を声区の境目と考えた場合、裏声が 33 半音と表声が 7 半音であり、裏声は表声の約 4.7 倍もの声域をもっており、下行時の換声点位置を声区の境目と考えた場合、裏声が 32 半音と表声が 8 半音であり、裏声は表声の 4 倍もの声域をもっていることになる。

今回は、時間等の制約があり被験者全員の声域調査を行うことができなかったが、もしも換声点位置と共に全被験者の声域データが得られたならば、換声点位置と声域との関連に対する考察がより深まったと考えられる。

#### 4-7. 教材と換声点位置調査結果

以下に示すのは、村尾忠廣「調子外れ」を治す<sup>71</sup>〔17〕からの引用である。

“現状の教材が中途半端に地声と裏声の境界の音域を使っているために、結果的に粗野に響いたり、調子外れの原因となっているのです、地声で地声の音域の歌を歌う、ということはもっとも自然なことでしょう。…中略…裏声は途中で地声からひっくり返るのではなく、裏声でないと出せないような高い音から歌い下りてくれば、弱々しくはなりません。その意味で現状の教材の音域は中途半端なのです。裏声を使う以上、もっとキーを高くして歌い始めから裏声にしてしまったらどうでしょうか。”<sup>72</sup>

そこで、今回児童の調査を行った小学校において、調査当時使用されていた音楽教科書<sup>73</sup>〔36〕に掲載されている歌唱教材の音域<sup>74</sup>を調べ、Tab.10 の二重線左部分に示した。教材の重複(共通)音域とは全ての歌唱教材に共通した音域の範囲、最大音域とは歌唱教材全体の最高音及び最低音を示している。Tab.10 の二重線右部分には、今回の調査によって得られた児童の換声点位置の平均範囲を示した。

Tab.10 歌唱教材の音域及び、児童の換声点位置の平均範囲

教材の重複(共通)音域	教材の最大音域	児童の換声点位置の平均範囲
		

<sup>71</sup> 1-1. で詳しく述べた。


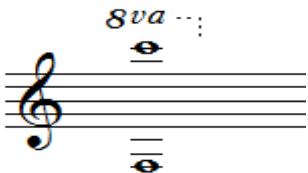
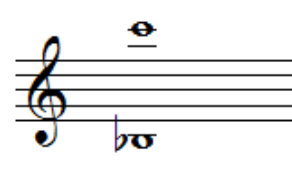
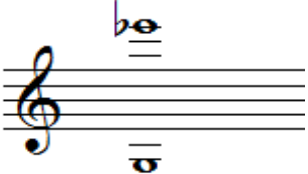
<sup>72</sup> 前述の〔17〕、pp.82-83より引用。

<sup>73</sup> 『新編 新しい音楽4』東京書籍 平成22年2月10日発行

<sup>74</sup> 歌唱教材音域一覧を、参照比較するために資料16として巻末につけている。

さらに、今回の調査によって得られた児童の声域を Tab.11 に示した。重複声域とは、声域調査を行った児童全体に共通した声域の範囲、最大声域とは、児童の発声可能最高音及び発声可能最低音を示している。

Tab.11 児童の声域

	重複声域	最大声域
男児		
女児		

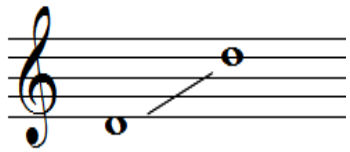
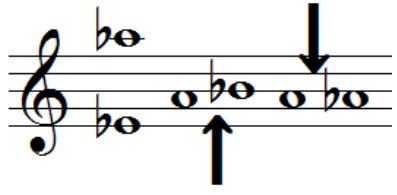
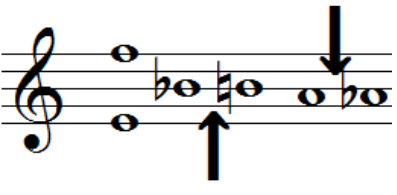
Tab.10 より、児童の調査結果による換声点位置の平均は、男児、女児共に教材の重複音域内に含まれていることから、児童は本教材の歌唱時に、換声が起こっている可能性が非常に高いと言える。しかし、Tab.10 及び Tab.11 より、調査対象とした児童の声域からみて、使用教材の音域は、十分に歌唱可能な音域で構成されており、適切であると考えられる。

村尾は、裏声のみあるいは表声のみでの歌唱により調子外れが改善されることがあると述べているが、小学校のような集団指導が中心となる現場においては、個人間で換声点位置及び上下差に差があること、少なからず男女でも差があることから、そのような教材の選択はほぼ不可能に近い。また、本教材の音域をみると、平均で 13 半音(1 オクターヴと 1 半音)となっているのが現状である。ここで現実的な改善策としては、換声点ショックを改善し、裏声、表声の両声を用いた歌唱ができるような発声指導が最も望ましいと言える。

#### 4-8. 先行研究と本調査研究結果の比較

1-3.で述べた「声区転換に関する先行研究」より、幼児及び児童の換声が起こりうると判断できる範囲(〔26〕〔28〕〔29〕〔30〕〔32〕〔33〕〔34〕)<sup>75</sup>と、児童を対象とした今回の調査で得られた換声点位置の範囲及び上行時・下行時の平均を Tab.12 に示した。

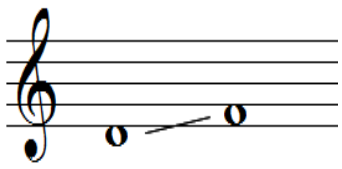
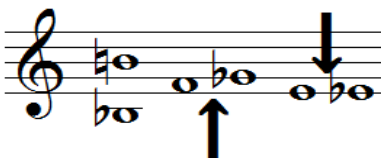
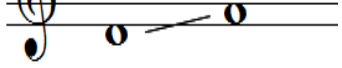
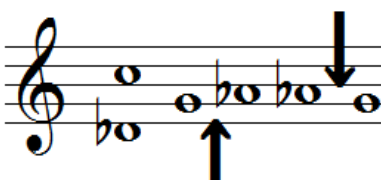
Tab.12 先行研究及び調査結果による換声点位置(児童)

	先行研究	調査結果
男児		
女児		

<sup>75</sup> 1-3.で詳しく述べた。なお、〔31〕の研究は、三声区説を支持しているため、この考察では除外することとした。

さらに、1-3.で述べた「声区転換に関する先行研究」より、成人の換声が起こりうる判断できる範囲(〔1〕)<sup>76</sup>と、成人を対象とした今回の調査で得られた換声点位置の範囲及び上行時・下行時の平均を Tab.13 に示した。

Tab.13 先行研究及び調査結果による換声点位置(成人)

	先行研究	調査結果
男性		
女性		

本調査研究より、換声点位置における個人差は非常に大きく<sup>77</sup>、上行時と下行時でその位置が異なるケースが多い<sup>78</sup>ということが分かった。

また、先行研究から判断できる換声点位置は、統計に基づいたものでないことから、これを一般的な換声点位置だとは言い難い。本研究によって始めて、ある一定の母数を確保し統計的に処理した科学的信頼性の高い結果が得られたと考えている。

<sup>76</sup> 1-3.で詳しく述べた。

<sup>77</sup> 資料 3-10 参照。

<sup>78</sup> 資料 11-15 参照。

## 4-9. 展望

本調査研究で得られた結果は、換声点位置の集団の平均や、集団におけるばらつきを示している。これは、歌唱発声指導時の一つの指標となり、歌唱教材の作成・選定に非常に役立つと確信している。

今回の調査においては、検査者の聴取による判定で行ったが、将来的にソフトウェアによる換声点判別が可能になれば、声区分離時の発声音高を自動設定してボイストレーニングするという、オーダーメイド的な歌唱発声トレーニングが可能となる。

そのため現在、弓場研究室(教育学部)と野呂研究室(工学部)の間で、裏声・表声・換声点位置を視覚表示するソフトウェアのプログラム開発を行っている。発声時に咽喉マイクで録音したものを視覚化できるこのプログラムは、数値解析ソフトウェア octave<sup>79</sup> [37] を用いて記述されており、一定時間毎の解析結果が赤い点(+)で表示される。Fig.16~Fig.19のように、裏声と判別される程度を縦軸に数値化して表示することができる。縦軸の値が大きい程、裏声と判断され、ここでは仮に裏声判別指標(Trial Criterion)と表記することとする。また、横軸は秒単位の時間(time[s])を示している。なお、プログラムの詳細については特許に関連した内容となるためここでは説明を省略する。

換声点位置の特定が可能であった男児 A (Fig.16)及び男性 B (Fig.17)、換声点位置の特定が不可能であった<sup>80</sup>女児 C (Fig.18)及び女性 D (Fig.19)の計 4 名の発声時の録音をこのソフトウェアを用いて解析し、その結果を次に示した。

---

<sup>79</sup> URL <http://www.gnu.org/software/octave/>

<sup>80</sup> 4-5.で詳しく述べた。

Fig.16 は、男児被験者 A の、上行発声を録音し分析した結果である。1 秒～約 1.6 秒の少し手前の部分が表声発声、約 1.6 秒の少し手前～2 秒の部分が裏声発声である。矢印に示すように約 1.6 秒の少し手前で裏声判別指標の値に大きな変化が現れており、録音から聴き取り特定した換声点と一致している。グリーンラインで示すように、変化の中間値あたりに閾値を設定すれば、裏声と表声の判別が可能と考えられる。

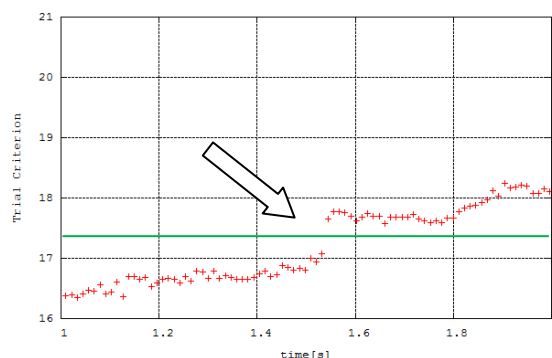


Fig.16 男児 A による上行発声の分析結果

Fig. 17 は、男性被験者 B の、下行発声を録音し分析した結果である。1 秒～約 1.4 秒の少し手前の部分が裏声発声、約 1.4 秒の少し手前～2 秒の部分が表声発声である。矢印に示すように約 1.4 秒の少し手前で裏声判別指標の値に大きな変化が現れており、録音から聴き取り特定した換声点と一致している。表声が低く、裏声が高い値となっており、Fig. 16 と同じ傾向がみられる。グリーンラインで示すように、変化の中間値あたりに閾値を設定すれば、裏声と表声の判別が可能と考えられる。

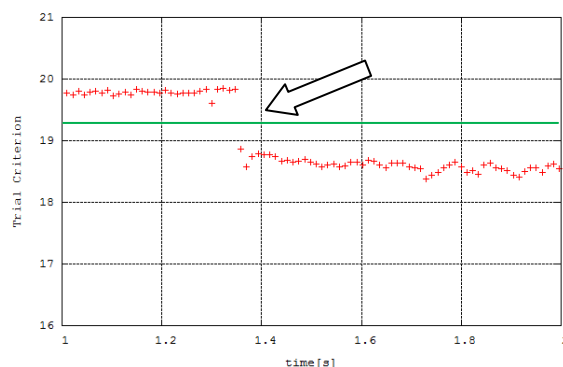


Fig.17 男性 B による下行発声の分析結果



Fig.18 は、換声点位置の特定が不可能であった女児 C(裏声が出せない)の、上行発声を録音し分析した結果である。録音からも換声点を特定することができず、分布の様子は下部(表声域)に偏りがみられ、Fig.16 や Fig.17 のように裏声判別指標の値に大きな変化がない。そのため、閾値を設定することは難しいと判断できる。

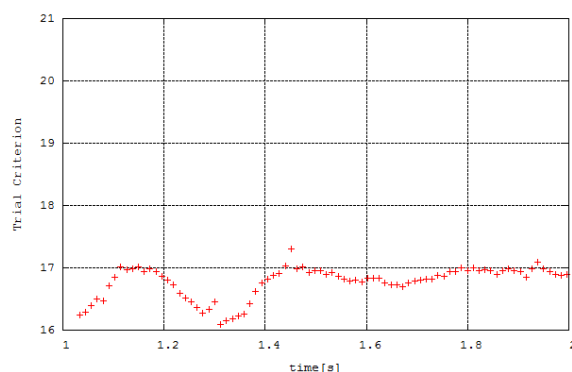


Fig.18 女児 C による上行発声の分析結果

Fig.19 は、換声点位置の特定が不可能であった女性 D(裏声・表声が混ざっている)の、下行発声を録音し分析した結果である。分布の様子は水平に近く、やはり裏声判別指標の値に大きな変化はみられない。録音からも換声点を特定することができず、そのため女性 D に対しても、閾値を設定することが難しいと判断できる。

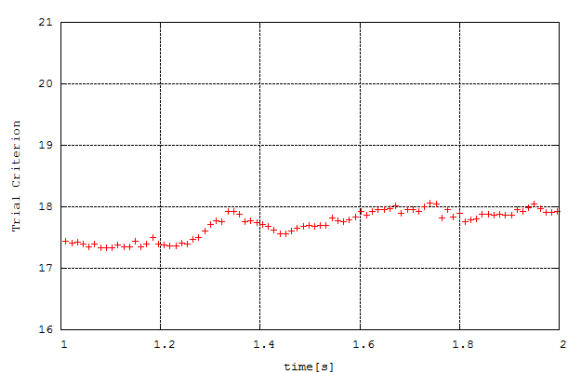


Fig.19 女性 D による下行発声の分析結果

今回の調査では被験者全員に対して、このソフトウェアを用いた発声時の波形をみることはできなかったが、聴覚的印象とこのソフトウェアによる表示には、高い整合性が認められる。将来的には、このソフトウェアの開発を進めることで、裏声・表声・換声点の自動認識が可能となることが期待される。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である弓場徹教授には大変有益な助言を賜るなど多くご指導頂きましたのみならず、検査者の一人としての確かな判定をして頂きましたことに、深く感謝申し上げます。

調査施行にご理解とご協力を頂き、温かく応援して下さりました高瀬瑛子教授、音声波形の解析等で大変お世話になりました工学部の野呂雄一准教授、統計処理ソフト R を用いた  $t$  検定及び Wilcoxon の順位和検定についてご指導頂きました情報教育課程の奥村晴彦教授、統計解析を中心にご指導頂きました数学教育コースの玉城政和准教授、米国での研究発表において、示唆に富んだたくさんのご意見を頂きました YUBA メソッドの研究者である Karen Miyamoto 博士、同じく YUBA メソッドの研究者であり、数々の有益なご指摘を頂きました Alicia Saldena 博士、いつも温かく支えて下さりました音楽教育コースの他の先生方、論文完成まで本当にたくさんの方々の力添えを頂きました同じ弓場研究室の佐藤佑有子さん、中村真規さん、山本恵理さん、調査機器の設置や解析ソフトウェアの操作等をご教示頂きました野呂研究室の金丸圭吾さん、桜川夏木さん、福島結香さん、そして、その他ご協力頂きました多くの方々に、心より感謝申し上げます。

今回の調査を遂行するにあたり、突然のお願いにも関わらず温かく受け入れて下さりました津市立白塚小学校の宮本隆校長先生、多くの要望に快く応えて下さりました河合幸彦先生に、深く感謝申し上げます。

そして白塚小学校 4 年生の皆様、三重大学吹奏楽団の皆様、三重大学エレクトーンサークル 23-two・three-の皆様、音楽教育コースの皆様をはじめ、快く調査に協力して下さりました全ての方々に、心より感謝申し上げます。

## 参考・引用文献

- [ 1 ] Cornelius L. Reid, *BEL CANTO Principles and Practices*, COLEMAN-ROSS COMPANY, INC., 1974
- [ 2 ] コーネリウス・L・リード(渡部東吾訳)『ベル・カント唱法 その原理と実践』音楽之友社、1987
- [ 3 ] Cornelius L. Reid, *A Dictionary of vocal Terminology*, Joseph Patelson Music House, Ltd., 1983
- [ 4 ] コーネリウス・リード(移川澄也 訳・監修)『声楽用語辞典 コーネリウス・リードによる解剖と分析』有限会社キックオフ、2005
- [ 5 ] 弓場徹『換声点ショックの改善と消滅』-VOICE』YUBA メソッド通信-Vol.1、2005
- [ 6 ] 『新音楽辞典 楽語』音楽之友社、1977
- [ 7 ] 久野和宏・野呂雄一・井研治・堀康郎・成瀬治興・吉久光一・大石弥幸・岡田恭明・佐野泰之『一音・振動との出会い—音響学 ABC』技報堂出版株式会社、2009
- [ 8 ] 大村平『今日から使える統計解析』株式会社講談社、2005
- [ 9 ] 奥村晴彦『パソコンによるデータ解析入門』株式会社技術評論社、1986
- [ 10 ] 藤崎恒晏『パソコンで学ぶ やさしい確率・統計 1』森北出版株式会社、1993
- [ 11 ] 『言語聴覚療法シリーズ 14・音声障害』株式会社建帛社、2011 出版予定
- [ 12 ] 浜野政雄『新版 音楽教育学概説』音楽之友社、1973
- [ 13 ] 虫明眞砂子「児童に対する歌唱指導の研究(I)-発声について-」『岡山大学教育学部研究集録』、2002
- [ 14 ] 馮芳「YUBA メソッドによる換声点ショックの改善に関する検証」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2006
- [ 15 ] 『JOHNS6 特集音の世界と耳鼻咽喉科-音楽・音声・環境音』株式会社東京医学社、2002
- [ 16 ] 虫明眞砂子・秋山啓「話声と歌声に関する研究(I)-声楽発声の立場から実施したアナウンサーに対するヴォイストレーニングについて-」『岡山大学教育学部研究集録』、1994
- [ 17 ] 村尾忠廣『「調子外れ」を治す』音楽之友社、1995
- [ 18 ] 虫明眞砂子「話声と歌声に関する研究(II)-音声障害を起こさないための手立て-」『岡山大学教育学部研究集録』、2000
- [ 19 ] 飯塚育代「換声点の定義に関する問題とその解決に向けて」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2002
- [ 20 ] 田邊隆・木村勢津・三原壽「音声の倍音構造分析による発声指導の研究」『愛媛大学教育実践研究指導センター紀要』第9号、1991
- [ 21 ] 田邊隆「発声指導における換声点の特定に関する研究」『愛媛大学教育学部紀要教育科学』第40巻第1号、1993
- [ 22 ] 今泉敏・斉田晴仁・廣瀬肇・新美成二・志村洋子「音響分析による声の可制御性の評価-声区とヴィブラートについて-」社団法人電子情報通信学会、1993
- [ 23 ] 田邊隆・村尾忠廣「FFT 解析による裏声-表声の換声点の特定化」『音楽情報科学』11-2、1995
- [ 24 ] 森幹男・荻原慎洋・谷口秀次・高橋謙三・佐川晋也「骨導音声による歌声の評価」FIT2004(第3回情報科学技術フォーラム)、2004
- [ 25 ] 森幹男・榎本由希・荻原慎洋・谷口秀次・高橋謙三「骨導音声を用いた話者識別と裏声判別」社団法人 電子情報通信学会、2004

- [26] 田中正子「幼児の音楽教育を再検討する その1 幼児の声域について」『仏教保育カリキュラム』12月号、1980
- [27] 志村洋子「幼児の歌唱能力とその指導に関する研究(その1)」『埼玉大学紀要 教育学部(教育科学)』第29巻、1980
- [28] 志村洋子「幼児の歌唱能力とその指導に関する研究(その2)」『埼玉大学紀要 教育学部(教育科学)』第30巻、1981
- [29] 吉富功修「幼児の歌唱可能声域の研究-課題曲を用いて-」『愛媛大学教育学部紀要 第I部 教育科学』第29巻、1983
- [30] Cooper, N. A. "Children's singing accuracy as a function of grade level, gender, and individual versus unison singing" *Journal of Research in Music Education*, 44(4), 222-231. 1995
- [31] Phillips, K. H. *Teaching kids to sing*, New York, NY: Schirmer Books., 1996
- [32] 小笠原恵美子「幼児の歌唱に関する研究-歌唱可能声域の発達についての一考察-」『音楽教育研究論集創刊号』、1999
- [33] Karen, A. Miyamoto "THE EFFECT OF A REMEDIAL SINGING METHOD ON THE VOCAL PITCH ACCURACY OF INACCURATE ELEMENTARY SINGERS" *Research and Issues in Music Education*, 2005
- [34] 木岡尚美「YUBA メソッドの幼児向け教材を用いた発声指導が、保育園児の声域に与える影響」三重大学大学院教育学研究科教科教育専攻音楽教育専修修士論文、2006
- [35] R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- [36] 『新編 新しい音楽4』東京書籍 平成22年2月10日発行
- [37] URL <http://www.gnu.org/software/octave/>

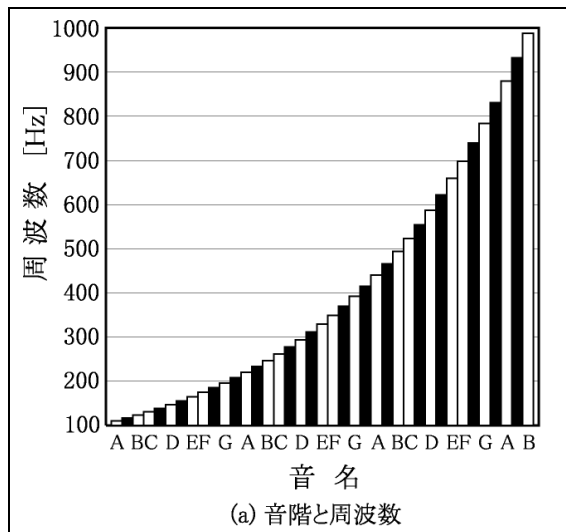
## 資料

### 1. 音名と周波数(Hz)の対応表

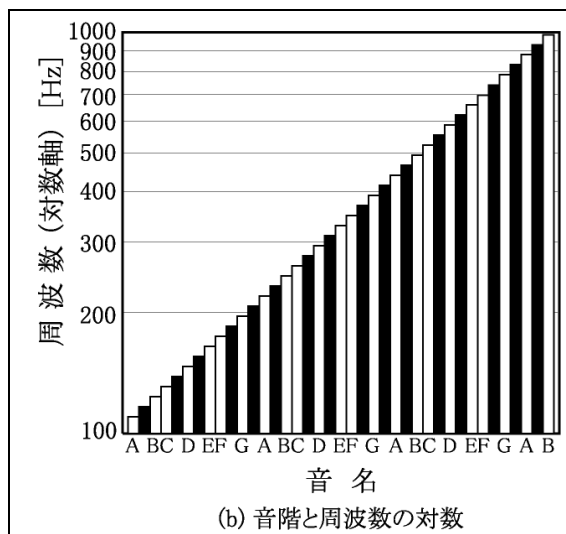
周波数(Hz)	音名
55	A1
58.27	B♭1
61.74	B1
65.41	C1
69.3	D♭1
73.42	D1
77.78	E♭1
82.41	E1
87.31	F2
92.5	G♭2
98	G2
103.8	A♭2
110	A2
116.5	B♭2
123.5	B2
130.8	C3
138.6	D♭3
146.8	D3
155.6	E♭3
164.8	E3
174.6	F3
185	G♭3
196	G3
207.7	A♭3
220	A3
233.1	B♭3
246.9	B3
261.6	C4
277.2	D♭4
293.7	D4
311.1	E♭4
329.6	E4
349.2	F4
370	G♭5
392	G4
415.3	A♭4
440	A4
466.2	B♭4
493.9	B4
523.3	C5
554.4	D♭5
587.3	D5
622.3	E♭5
659.3	E5
698.5	F5
740	G♭5
784	G5
830.6	A♭5
880	A5
932.3	B♭5
987.8	B5
1046.5	C6
1108.7	D♭6
1174.7	D6
1244.5	E♭6
1318.5	E6
1397	F6
1480	G♭6
1568	G6
1661	A♭6
1760	A6
1865	B♭6
1976	B6
2093	C7

### 2. 音階の図<sup>81</sup>

#### 2-a. 音階と周波数



#### 2-b. 音階と周波数の対数



<sup>81</sup>前述の [7] p.186 より引用。

### 3.男児の換声点位置(音名表記、Hz 表記)及び各種統計量(stdev を除き\*全て Hz 表記)

#### 男子児童

31

N	上行			下行		
	音名	周波数(Hz)	換声点位置	音名	周波数(Hz)	換声点位置
4A-1	A4-B ♭ 4	440.0 - 466.2	452.9	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-2	G ♭ 4-G4	370.0 - 392.0	380.8	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-3	G ♭ 4-G4	370.0 - 392.0	380.8	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-4	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-5	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4A-6	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4A-7	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4A-8	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4A-9	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4A-10	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B4-B ♭ 4	493.9 - 466.2	479.8
4A-11	E ♭ 4-E4	311.1 - 329.6	320.2	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-12	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4A-13	E ♭ 4-E4	311.1 - 329.6	320.2	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-14	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-15	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-16	E ♭ 4-E4	311.1 - 329.6	320.2	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-17	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-1	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-2	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4B-4	A4-B ♭ 4	440.0 - 466.2	452.9	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-6	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4B-7	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-8	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4B-9	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4B-10	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-11	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-12	A4-B ♭ 4	440.0 - 466.2	452.9	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-13	C5-D ♭ 5	523.3 - 554.4	538.6	E5-E ♭ 5	659.3 - 622.3	640.5
4B-14	D ♭ 5-D5	554.4 - 587.3	570.6	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4B-15	G5-A ♭ 5	784.0 - 830.6	807.0	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4B-17	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
min	E ♭ 4-E4	311.1 - 329.6	320.2	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
max	G5-A ♭ 5	784.0 - 830.6	807.0	E5-E ♭ 5	659.3 - 622.3	640.5
geo	A4-B ♭ 4	428.7 - 454.2	441.2	A4-A ♭ 4	451.6 - 426.3	438.8
stdev		-	452.9		-	427.5
med	E4-F4	-	339.4	D ♭ 4-C4	-	263.1
mode	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	G4-G ♭ 4	392.0 - 493.9	380.8

※stdevは、centを単位とする

min: 最小値

max: 最大値

geo: 平均値 (相乗平均)

stdev: 標準偏差

med: 中央値

mode: 最頻値

4. 女兒の換声点位置(音名表記、Hz 表記)及び各種統計量(stdev を除き\*全て Hz 表記)

女子児童

23

N	上行			下行		
	音名	周波数(Hz)	換声点位置	音名	周波数(Hz)	換声点位置
4A-1	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-2	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	A ♭ 4-G4	415.3 - 392.0	403.5
4A-3	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	G ♭ 4-F4	370.0 - 349.2	359.5
4A-4	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4A-5	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-6	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4A-7	D ♭ 5-D5	554.4 - 587.3	570.6	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4A-8	C5-D ♭ 5	523.3 - 554.4	538.6	A ♭ 4-G4	415.3 - 392.0	403.5
4A-9	A ♭ 4-A4	415.3 - 440.0	427.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
4A-10	D5-E ♭ 5	587.3 - 622.3	604.5	D ♭ 5-C5	554.4 - 523.3	538.6
4A-11	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4A-12	E5-F5	659.3 - 698.5	678.6	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-1	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4B-3	B ♭ 4-B4	466.2 - 493.9	479.8	A4-A ♭ 4	440.0 - 415.3	427.5
4B-4	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	A ♭ 4-G4	415.3 - 392.0	403.5
4B-5	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-6	G ♭ 4-G4	370.0 - 392.0	380.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4B-7	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B4-B ♭ 4	493.9 - 466.2	479.8
4B-8	D ♭ 5-D5	277.2 - 293.7	285.3	G4-G ♭ 4	392.0 - 370.0	380.8
4B-9	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4B-11	D5-E ♭ 5	587.3 - 622.3	604.5	D ♭ 5-C5	554.4 - 523.3	538.6
4B-12	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B ♭ 4-A4	466.2 - 440.0	452.9
4B-13	E ♭ 5-E5	622.3 - 659.3	640.5	E ♭ 5-D5	622.3 - 587.3	604.5
min	D ♭ 4-D4	277.2 - 293.7	285.3	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
max	E5-F5	659.3 - 698.5	678.6	E ♭ 5-D5	622.3 - 587.3	604.5
geo	B ♭ 4-B4	461.5 - 488.9	475.0	A4-A ♭ 4	451.2 - 425.9	438.3
stdev		-	508.4		-	452.9
med	G ♭ 4-G4	-	370.1	D4-D ♭ 4	-	282.6
mode	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4

※stdevは、centを単位とする

min: 最小値

max: 最大値

geo: 平均値(相乗平均)

stdev: 標準偏差

med: 中央値

mode: 最頻値

5.男性の換声点位置(音名表記、Hz 表記)及び各種統計量(stdev を除き\*全て Hz 表記)

成人男性

23

N	上行			下行		
	音名	周波数 (Hz)	換声点位置	音名	周波数 (Hz)	換声点位置
1	D4-E♭4	293.7 - 311.1	302.3	D4-D♭4	293.7 - 277.2	285.3
2	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
3	D4-E♭4	293.7 - 311.1	302.3	D4-D♭4	293.7 - 277.2	285.3
4	D4-E♭4	293.7 - 311.1	302.3	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
5	C4-D♭4	261.6 - 277.2	269.3	C4-B3	261.6 - 246.9	254.2
6	E♭4-E4	311.1 - 329.6	320.2	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
7	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
9	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	D4-D♭4	293.7 - 277.2	285.3
10	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	E4-E♭4	329.6 - 311.1	320.2
11	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
12	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
13	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
14	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
15	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
16	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	G4-G♭4	392.0 - 370.0	380.8
17	F4-G♭4	349.2 - 370.0	359.5	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
18	B♭4-B4	466.2 - 493.9	479.8	B3-B♭3	246.9 - 233.1	239.9
19	E♭4-E4	311.1 - 329.6	320.2	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
20	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
21	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
24	F4-G♭4	349.2 - 370.0	359.5	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
26	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	D4-D♭4	293.7 - 277.2	285.3
27	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3

min	C4-D♭4	261.6 - 277.2	269.3	B3-B♭3	246.9 - 233.1	239.9
max	B♭4-B4	466.2 - 493.9	479.8	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
geo	F4-G♭4	354.5 - 375.6	364.9	E4-E♭4	333.0 - 314.3	323.5
stdev		-	359.5		-	339.3
med	C4-D♭4	-	270.0	B3-B♭3	-	238.7
mode	E4-F4	329.6 - 349.2	339.3	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5

※stdevは、centを単位とする

min:最小値

max:最大値

geo:平均値(相乗平均)

stdev:標準偏差

med:中央値

mode:最頻値



6.女性の換声点位置(音名表記、Hz 表記)及び各種統計量(stdev を除き\*全て Hz 表記)

成人女性

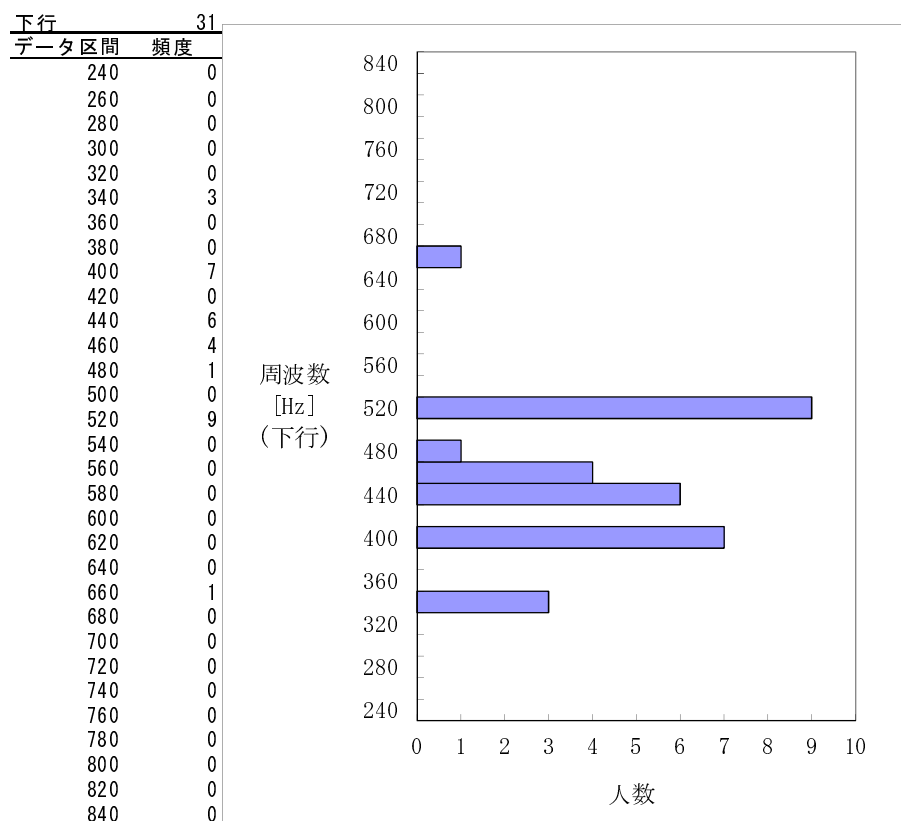
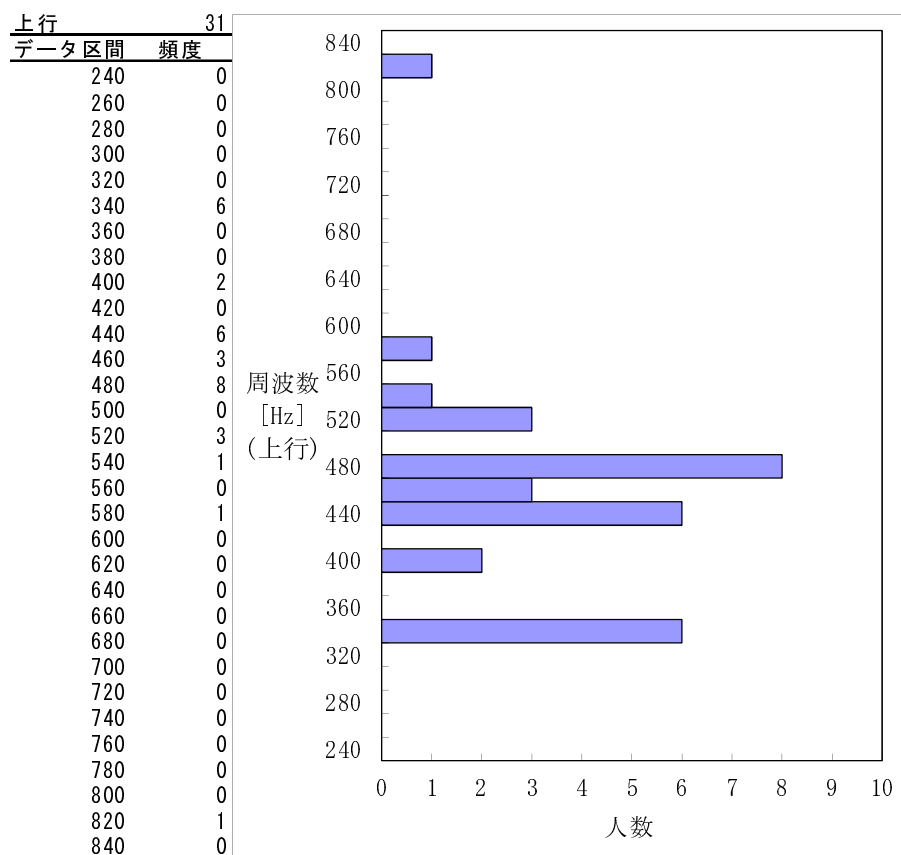
31

N	上行			下行		
	音名	周波数(Hz)	換声点位置	音名	周波数(Hz)	換声点位置
1	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
2	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
3	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
4	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	A4-A♭4	440.0 - 415.3	427.5
6	F4-G♭4	349.2 - 370.0	359.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
8	B♭4-B4	466.2 - 493.9	479.8	B♭4-A4	466.2 - 440.0	452.9
10	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
11	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
12	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	B♭4-A4	466.2 - 440.0	452.9
13	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
14	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	E4-E♭4	329.6 - 311.1	320.2
16	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	B4-B♭4	493.9 - 466.2	479.8
17	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
18	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
19	F4-G♭4	349.2 - 370.0	359.5	G4-G♭4	392.0 - 370.0	380.8
22	A♭4-A4	415.3 - 440.0	427.5	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
23	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	A4-A♭4	440.0 - 415.3	427.5
24	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
27	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
28	D4-E♭4	293.7 - 311.1	302.3	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
29	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	G♭4-F4	370.0 - 349.2	359.5
30	D♭4-D4	277.2 - 293.7	285.3	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
31	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
32	D♭4-D4	277.2 - 293.7	285.3	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
33	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
34	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	F4-E4	349.2 - 329.6	339.3
35	B♭4-B4	466.2 - 493.9	479.8	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5
36	G4-A♭4	392.0 - 415.3	403.5	B♭4-A4	466.2 - 440.0	452.9
38	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
39	A4-B♭4	440.0 - 466.2	452.9	B4-B♭4	493.9 - 466.2	479.8
41	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	G4-G♭4	392.0 - 370.0	380.8
min	D♭4-D4	277.2 - 293.7	285.3	E♭4-D4	311.1 - 293.7	302.3
max	B4-C5	493.9 - 523.3	508.4	C5-B4	523.3 - 493.9	508.4
geo	G4-A♭4	401.6 - 425.5	413.4	A♭4-G4	405.4 - 382.6	393.8
stdev		-	427.5		-	403.5
med	D♭4-D4	-	277.8	E4-E♭4	-	312.8
mode	G♭4-G4	370.0 - 392.0	380.8	A♭4-G4	415.3 - 392.0	403.5

※stdevは、centを単位とする

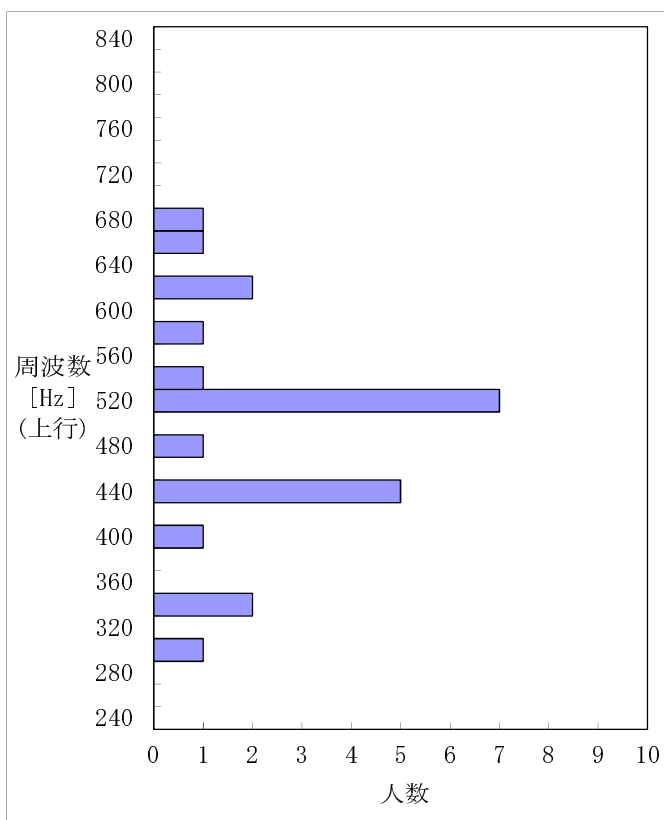
min: 最小値  
max: 最大値  
geo: 平均値(相乗平均)  
stdev: 標準偏差  
med: 中央値  
mode: 最頻値

### 7.男児の換声点位置(Hz 表記)と人数の分布

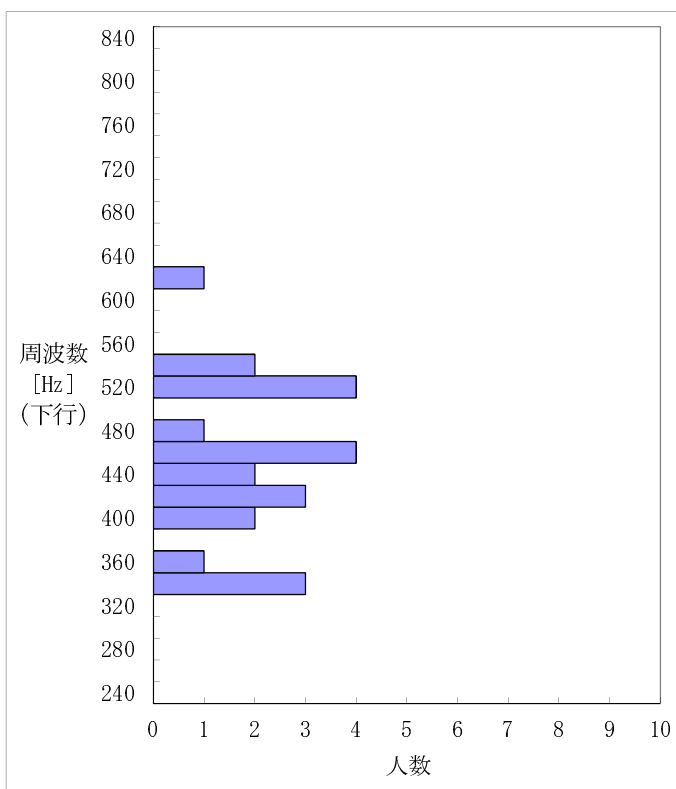


### 8. 女児の換声点位置(Hz 表記) と人数の分布

上行		23
データ区間	頻度	
240	0	
260	0	
280	0	
300	1	
320	0	
340	2	
360	0	
380	0	
400	1	
420	0	
440	5	
460	0	
480	1	
500	0	
520	7	
540	1	
560	0	
580	1	
600	0	
620	2	
640	0	
660	1	
680	1	
700	0	
720	0	
740	0	
760	0	
780	0	
800	0	
820	0	
840	0	

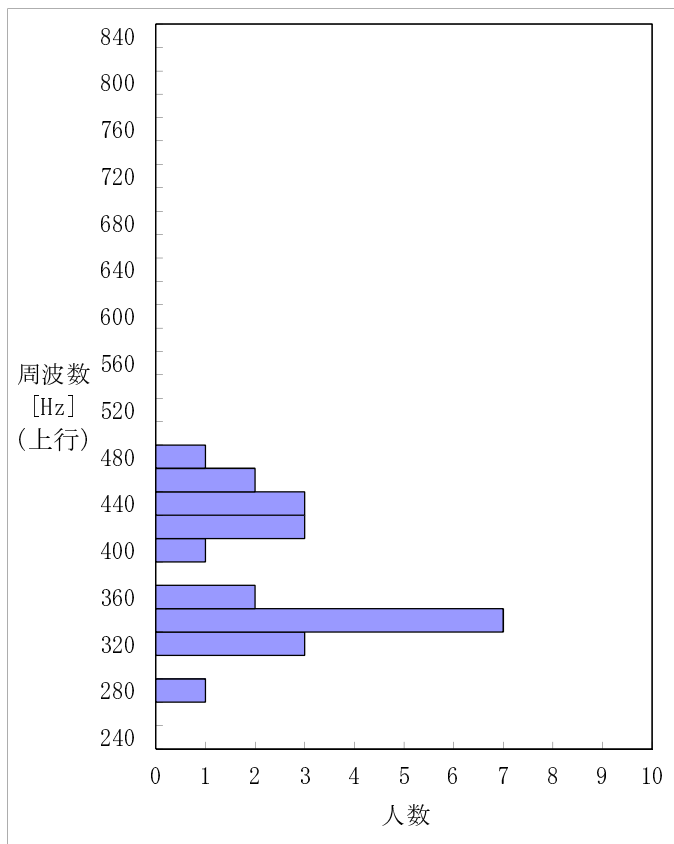


下行		23
データ区間	頻度	
240	0	
260	0	
280	0	
300	0	
320	0	
340	3	
360	1	
380	0	
400	2	
420	3	
440	2	
460	4	
480	1	
500	0	
520	4	
540	2	
560	0	
580	0	
600	0	
620	1	
640	0	
660	0	
680	0	
700	0	
720	0	
740	0	
760	0	
780	0	
800	0	
820	0	
840	0	

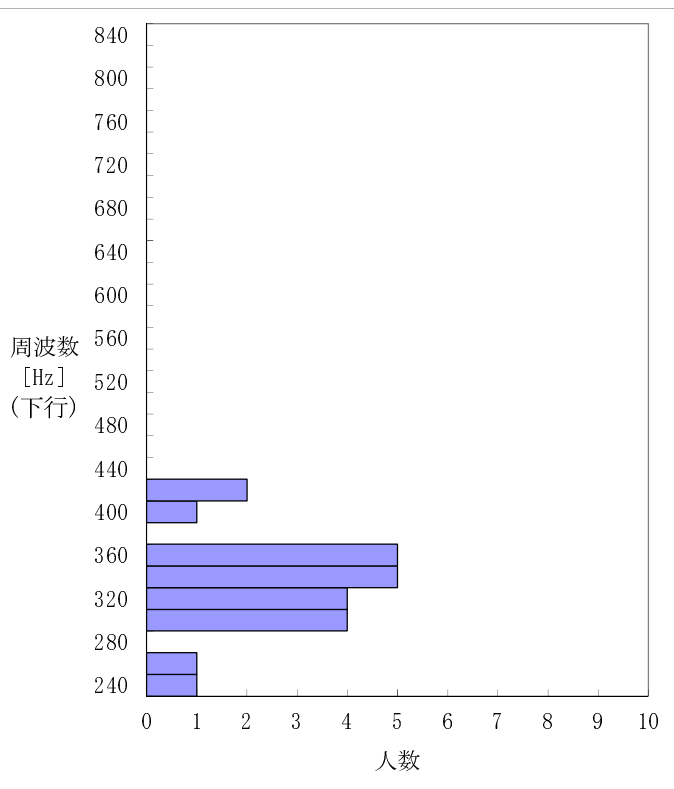


### 9.男性の換声点位置(Hz表記) と人数の分布

上行	23
データ区間	頻度
240	0
260	0
280	1
300	0
320	3
340	7
360	2
380	0
400	1
420	3
440	3
460	2
480	1
500	0
520	0
540	0
560	0
580	0
600	0
620	0
640	0
660	0
680	0
700	0
720	0
740	0
760	0
780	0
800	0
820	0
840	0
880	0
900	0
920	0

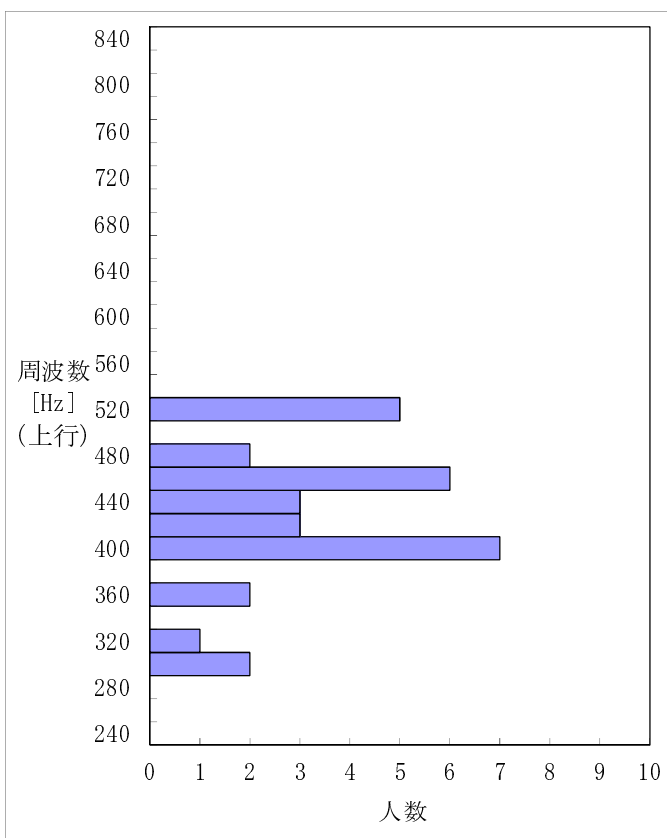


下行	23
データ区間	頻度
240	1
260	1
280	0
300	4
320	4
340	5
360	5
380	0
400	1
420	2
440	0
460	0
480	0
500	0
520	0
540	0
560	0
580	0
600	0
620	0
640	0
660	0
680	0
700	0
720	0
740	0
760	0
780	0
800	0
820	0
840	0
880	0
900	0
920	0

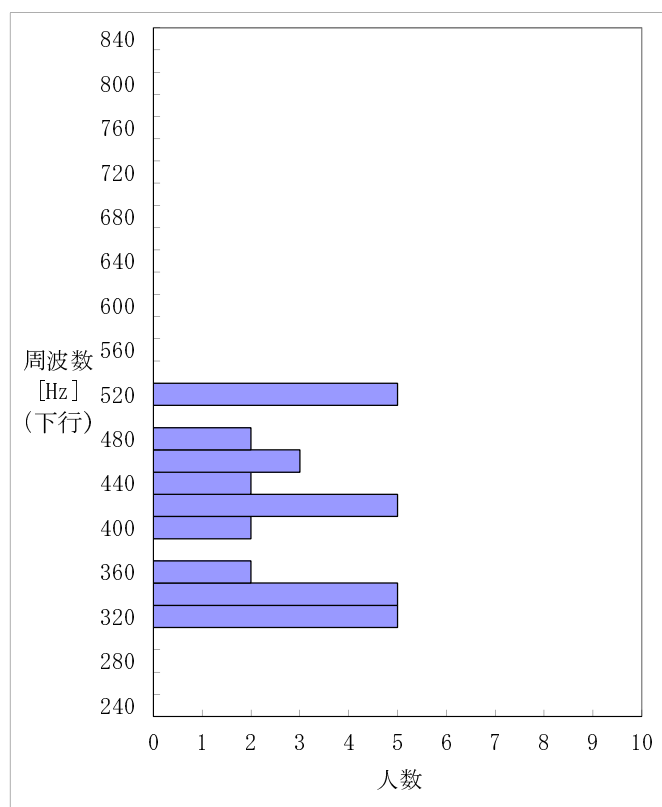


### 10.女性の換声点位置(Hz表記)と人数の分布

上行		31
データ	区間	頻度
240		0
260		0
280		0
300		2
320		1
340		0
360		2
380		0
400		7
420		3
440		3
460		6
480		2
500		0
520		5
540		0
560		0
580		0
600		0
620		0
640		0
660		0
680		0
700		0
720		0
740		0
760		0
780		0
800		0
820		0
840		0



下行		31
データ	区間	頻度
240		0
260		0
280		0
300		0
320		5
340		5
360		2
380		0
400		2
420		5
440		2
460		3
480		2
500		0
520		5
540		0
560		0
580		0
600		0
620		0
640		0
660		0
680		0
700		0
720		0
740		0
760		0
780		0
800		0
820		0
840		0



11. 男児、女児、男性、女性の換声点位置の上下差及び各種統計量(全て cent 表記)

N	男子児童 上行-下行	女子児童 上行-下行	成人男性 上行-下行	成人女性 上行-下行
1	300	400	100	200
2	200	400	-100	200
3	0	300	100	-200
4	0	-400	0	300
5	-100	400	100	100
6	300	200	100	100
7	200	200	0	100
8	-100	500	700	400
9	-100	400	300	0
10	100	200	0	-500
11	-100	200	200	300
12	0	500	300	100
13	-300	200	0	400
14	400	200	200	0
15	-200	400	300	-100
16	-300	-700	0	100
17	-300	-500	1200	-200
18	-700	100	100	-500
19	200	-500	600	500
20	-200	200	0	0
21	0	200	0	600
22	-100	200	300	-100
23	200	100	300	400
24	100			-100
25	-100			0
26	0			200
27	-200			300
28	-300			-200
29	500			-200
30	1000			-100
31	-100			500

min	-700	-700	-100	-500
max	1000	500	1200	600
mean	9.6774194	139.13043	208.69565	83.870968
stdev	305.89196	335.39547	292.19085	274.58669
med	0	200	100	100
mode	-100	200	0	100

min:最小値

max:最大値

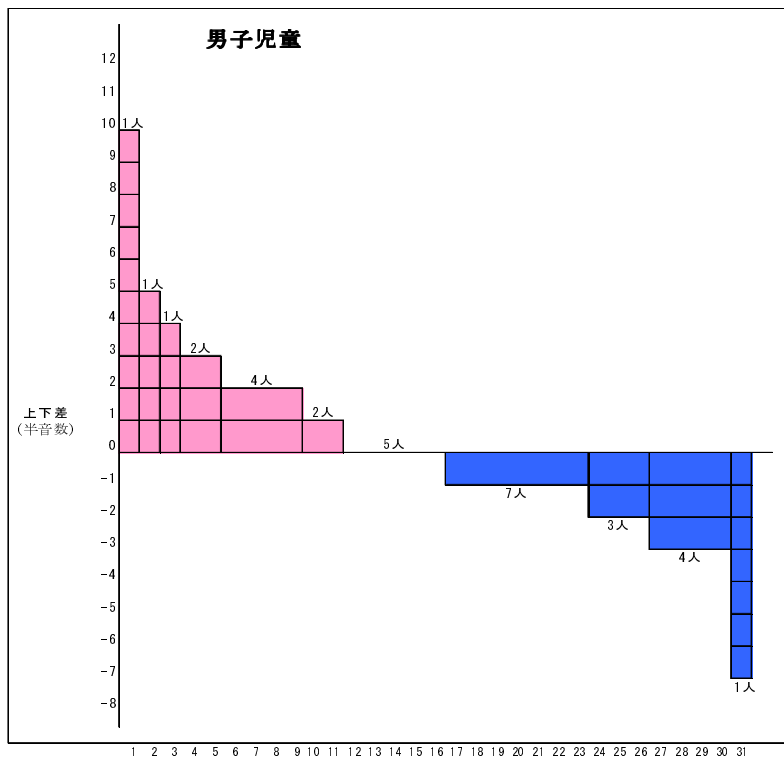
mean:平均値(相加平均)

stdev:標準偏差

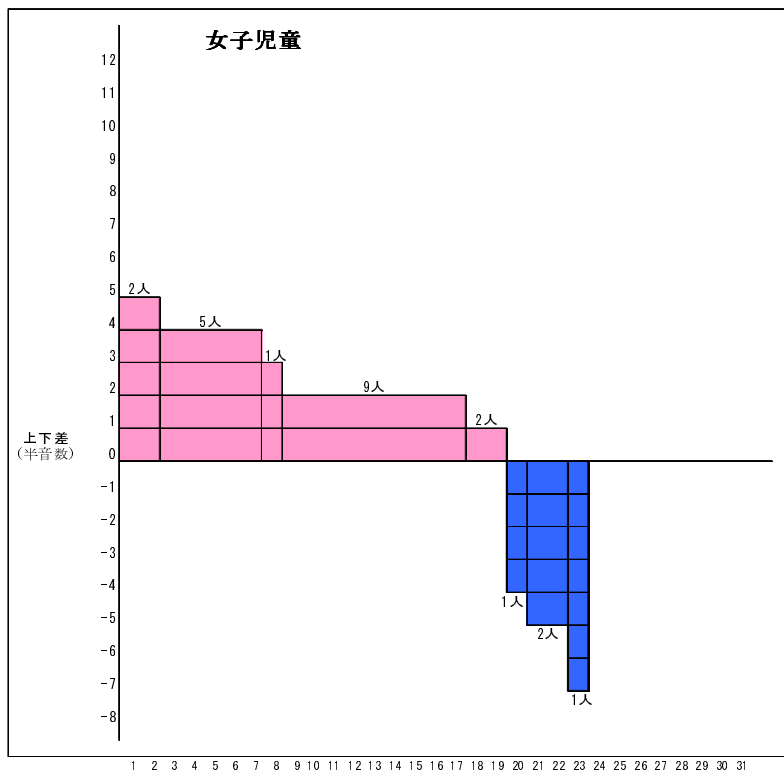
med:中央値

mode:最頻値

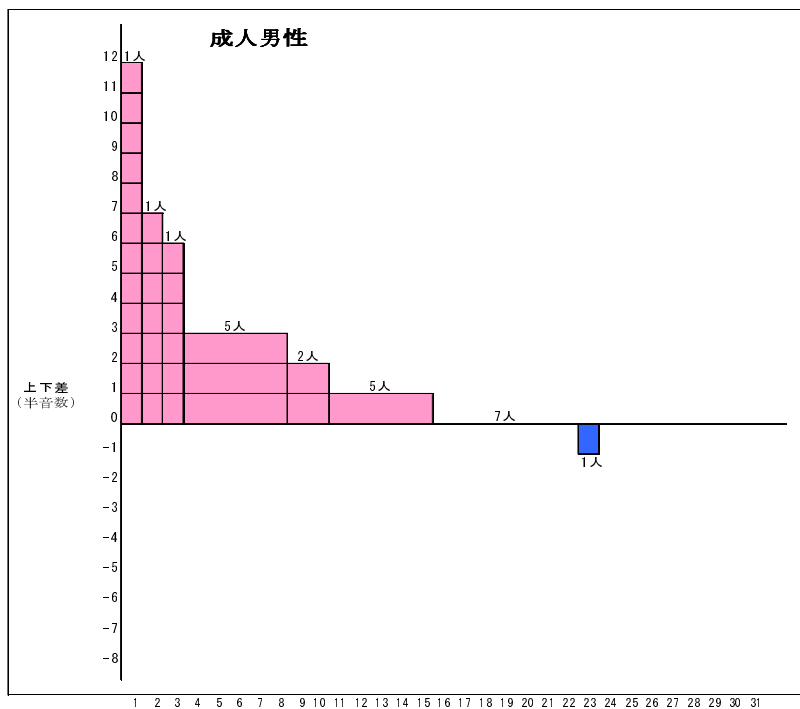
### 12. 男児の換声点位置の上下差(半音数) と人数の分布



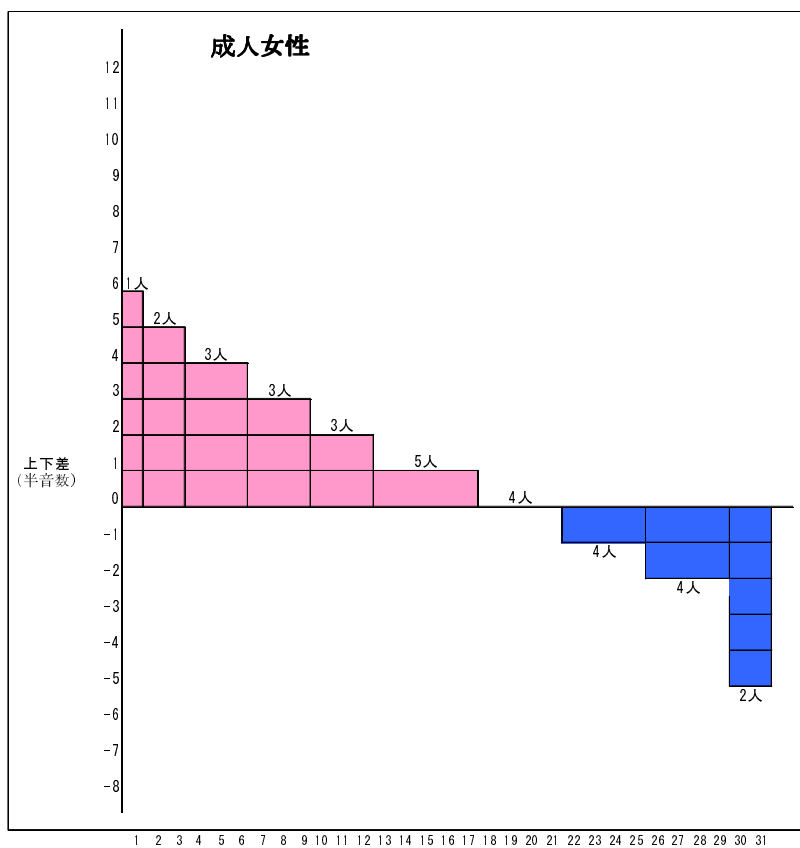
### 13. 女児の換声点位置の上下差(半音数) と人数の分布



#### 14. 男性の換声点位置の上下差(半音数) と人数の分布



#### 15. 女性の換声点位置の上下差(半音数) と人数の分布





## 16.歌唱教材<sup>82</sup>の半音数及び音域一覧

曲名	半音数	音域	曲名	半音数	音域
緑のそよ風	15		月のさばく	16	
世界じゅうの 子どもたちが	12		プパポ	14	
さくらさくら ★	13		とんび★	12	
あの 青い空の ように	14		茶色の小びん	12	
体遊びの歌	14		地球はみんなの ものなんだ	15	
まきばの朝★	14		トゥモロー	17	
サイクリング ヤホホ!	10		大きな古時計	15	
歌とゆめと	10		紙ひこうき	17	
月の夜	9		まきばの子牛	14	
パフ	10		ふしぎな笛	10	
もみじ★	14		ほろ馬車	12	
赤とんぼ	17		君が代	14	

※★は共通教材。

<sup>82</sup> 『新編 新しい音楽 4』東京書籍 平成 22 年 2 月 10 日発行