

## F F T解析による裏声—表声の換声点の特定化

田邊 隆 ・ 村尾 忠廣  
愛媛大学 ・ 愛知教育大学

訓練された歌手の場合、裏声と表声の換声点は聴き手だけでなく、歌手本人にも気づかれないことがある。このことは、洋楽の発声に限らず、邦楽の声についても言える。清元や新内の高音は確かに裏声のようだが、途中のどこかでいつの間にか表の声に変わり、人間の耳にははっきりした「境目」が無いように思える。問題は、本当に徐々に変わって裏—表の声が溶け合って「境目」が無いのか、それとも、声帯の振動の仕方を変える明確な「境目」がありながら耳ではそれを特定できない、ということなのだろうか。また、音楽の様式によって「境目」ということに何か違いがあるのだろうか。

本研究では、「F F Tデータの主成分分析による換声点の特定化」(田邊1994)の手法を用い、西洋音楽・邦楽・児童の発声について、0~8kHzのサンプリングを行い、裏声と表声の換声点を特定することができた。

## Specification of Register of Naturally Voiced Falsetto by Fast Fourier Transformation

*Takashi Tanabe*                      *Tadahiro Murao*  
Ehime University              Aichi University of Education

It is quite difficult to specify a register break in the voice of trained singers. This is not only a matter of Western singing. Hearing Kiyomoto or Shinnai of Japanese traditional Music, for example, we can identify the very high tone of singing as falsetto, but often miss the boundary of falsetto and modal voice. Is this because there is a wide range of boundary named "mixed voice"? Or, due to the difficulty of our hearing, can we not specify the point of changing register?

In order to clarify the problem mentioned above, we analyzed the Western style singing, Japanese traditional singing, and children's singing voice by Principal Component analysis of F F T. The scope of Sampling-data is 0~8 kHz. The result shows there are specific vocal registers in all of style singing voices.

### 1. はじめに

本研究は、歌唱における「調子外れ」の問題について研究している村尾と、女声の換声点を特定

する研究を行っている田邊との共同研究である。

裏声(頭声)と表声(地声)については、意識・無意識に拘わらず、実に様々な捉え方がなされ、次のように幾つか具体例としてあげることができ

る。

音楽の様式の視点から例をあげるならば、邦楽において、新内は裏声が売り物であるのに対し、長唄では原則的に裏声を禁じていながら実際は裏声を用いていると言える。また西洋においても、女性と男性とでは、裏声に関する発声の感覚が異なる。近年注目を集めているcountertenorのドミニク・ビス (dominique visse 仏) の高音域の声などはその問題を再認識する一例と言える。

また教育的立場から、幼児の発声及び声域については、「裏声と学習効果」という視点の研究が求められている。一方、現代の若者の発声に変化が見られる点、すなわち女性の低音域化と男性の高音域化傾向も、社会現象との関連から捉えることもできる。

実際、聴覚的に裏声と表声の「境目」を判断し特定することは、きわめて困難であるが、女声に限定して行われた「音声の倍音構造による発声指導の研究」(1991)、及び「FFT解析による音楽表現の評価及び測定方法の理論化に関する研究」(1994)等により、裏声と表声の「境目」である「換声点」を特定することが可能となった。そこで、この換声点の特定方法を西洋音楽・邦楽・児童の発声について応用し、多様な様式、唄い方における裏声と表声の「換声点」を明らかにすることとした。なお、FFT解析データをデシベル表

示する独自のソフトを、コルグ社から提供を受けたことが、換声点の特定の方法を見出す直接のきっかけとなったことを感謝申し上げる。

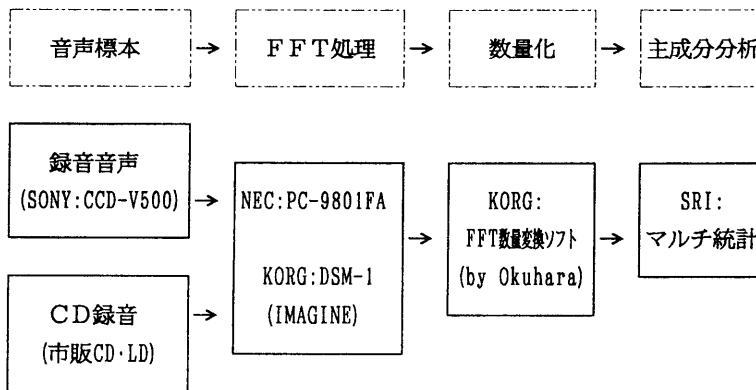
## 2. 換声点特定の方法

### 2-1. 音声のデータ処理

音声の処理方法は、<図1>で示した通りであるが、まず音声を0~8kHz(最大16秒)サンプリングでFFT処理し、そのFFT処理データを主成分分析して「換声点」を特定した。当初、16kHz以下また32kHz以下のサンプリングで行っていたが、換声点の周波数を特定する上ではむしろ8kHz以下のサンプリングを行った方が、基音付近の詳細なデータが得られ、的確に判断できることもあり、0~8 kHzのサンプリング表示で行った。

### 2-2. 換声点の特定方法

換声点を特定するためには、音声標本が、低音域から高音域まで、同一母音で推移している必要がある。音が推移する途中で、母音が変わる音声標本は、厳密に換声点を特定することができない。これは、各母音によりフォルマントが異なるためである。女声の換声点を検出する上で特定し



<図1: データ処理の流れ>

やすい母音は、5母音の中でも、開口母音の|a|, |o|である。

音声の処理上、最も換声点を特定しやすい標本は、|a|の発声によるボルタメントである。しかし、ボルタメントでは一般的に高音域に近づくほど、強い音で発声する傾向にあるため、音量的な影響も否めない。また、初心者のボルタメント標本の採取は、発声上の難しさもある。

次に、換声点を特定できる標本は、半音階または音階的な標本である。この標本の利点は、各音高に対して比較的安定したデータが得られる点であり、難点は、標本の音高数だけ処理時間を多く要する点にある。

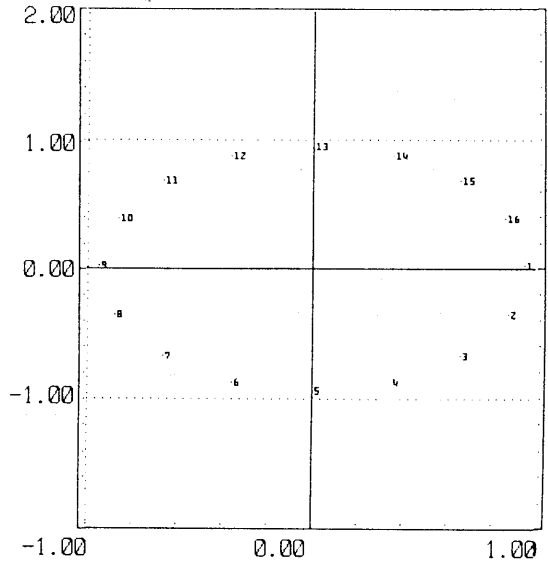
<表1>は、ボルタメント標本のデータの推移

| 数値=<br>dB | 時間軸 (サンプリング = 1~16 ms) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|           | ①                      | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ | ⑬ | ⑭ | ⑮ |
| 1         | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2         | 0                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3         | 0                      | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4         | 0                      | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5         | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 6         | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 7         | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 8         | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 9         | 1                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| 10        | 2                      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 |
| 11        | 3                      | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 12        | 4                      | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 13        | 5                      | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 509       | 2                      | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 510       | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 511       | 0                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 512       | 0                      | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

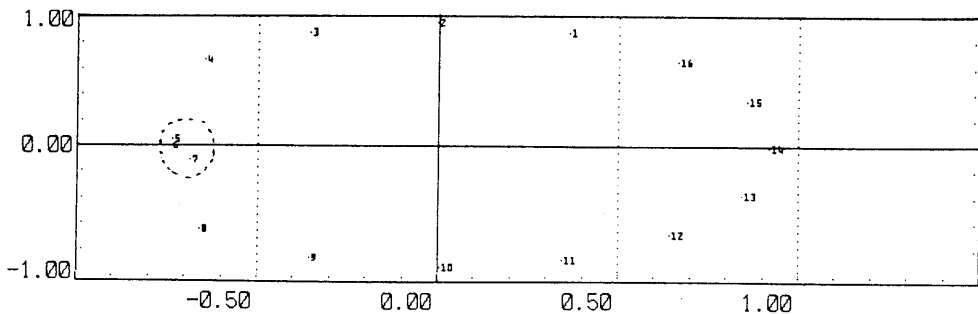
<表1:ボルタメント模擬データ>

を主成分分析した場合に、どのような表示になるかを確認するために、実際の音声データを模擬し、人為的に作ったものである。その結果は<図2-1>で表される。一般に主成分分析では、グルーピングした捉え方をするが、換声点特定においては、時間的推移の「軌跡」にも注目する。

試みに、時間軸 (サンプリング地点) の「5~7」の第2倍音群を削除すると、<図2-2>で示すように、軌跡に変化が生じていることが分かる。これは、時間軸「5~7」の区間に音色の変化が現れたことを意味している。実際の音声標本で、軌跡が変化する部分と熟練者の聴覚的な判断とを照合することにより、音色変化の「境目」が特定できる。



<図2-1:表1に基づく時間的推移(軌跡)>



<図2-2:時間軸「5~7」の第2倍音群を削除した場合の軌跡>

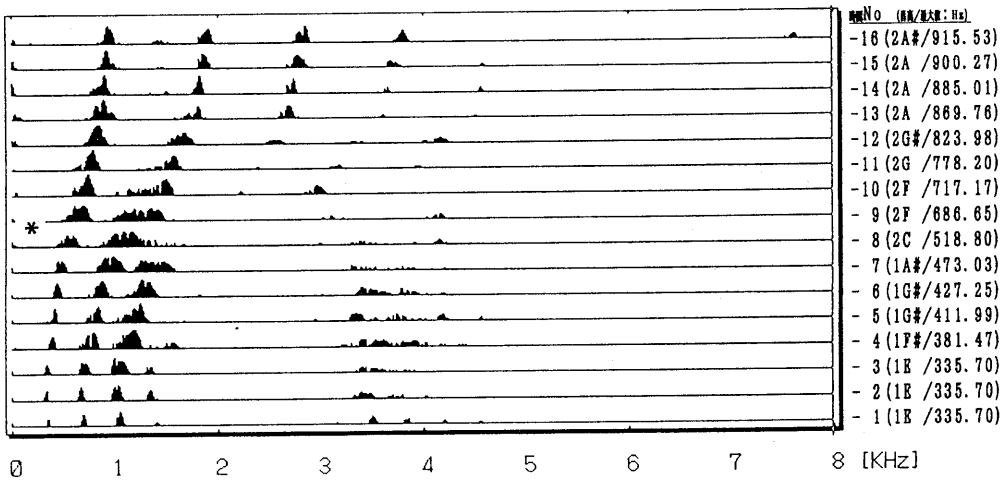
### 2-2-1. ボルタメントの音声標本

<図3-1>は、Soprano のボルタメント（1点 E～2点A#音<以下 1E～2A#と略す>）|a|の上昇型の標本である。このようにFFT図の段階で、倍音の分布状況の変化から、換声点（\*印）の位置を視覚的に捉えることができる。しかし、より客観的に判定する意味で、FFT図で得られたデータ (dB) をさらに主成分分析する。<図3-2>は、その主成分分析した結果である。

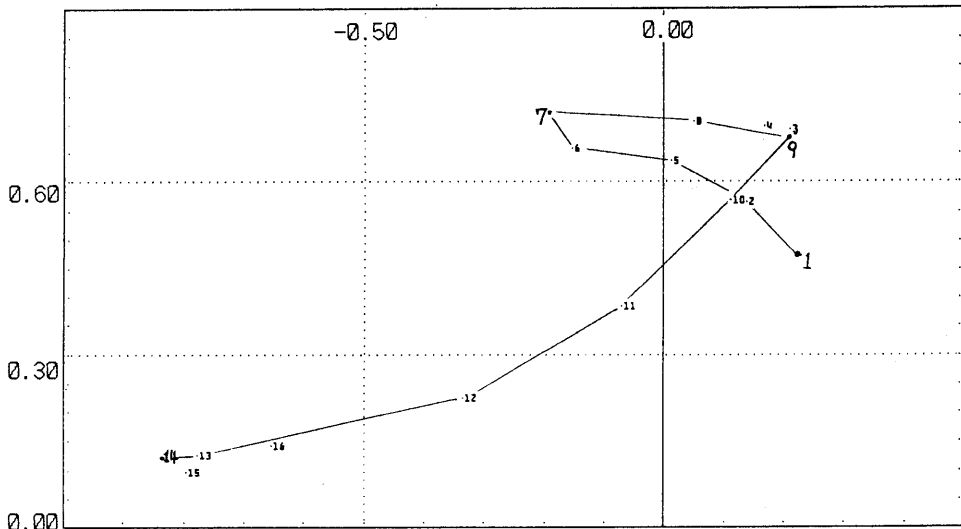
時間軸の軌跡を辿ると、その方向性から3分類

できる。すなわち、①「1-2-(3-4)-5-6-7」、②「7-8-9」、③「9-10-11-12-13-14-(15)-(16)」である。①から③で方向が変化する「7」と「9」は、「換声点」と判断できる。実際のFFT図でも分かるが、「7～9」は第3～4倍音の欠如が見られる。

実際に換声点を特定するためには、「7～9」区間の拡大を行い、さらに細部を検討する必要があるが、「7～9」（1B～2F音：503.55～686.65 Hz）と特定する段階では、「換声点」というより「換声区」との言い方がより適している。



<図3-1: FFT図 (Soprano-KIM, |a|, 1E～2A#) >



<図3-2: 主成分分析 (Soprano-KIM, |a|, 1E～2A#, SAMP=1~330) >

## 2-2-2. 音階的な音声標本

理想的には、半音階で広範囲にサンプリングすることが求められる。しかし、幼児にとっては、半音階で発声することに困難さが伴う。また市販CD盤の無伴奏部分で、必ずしも半音階の標本が採取できるとは限らない。

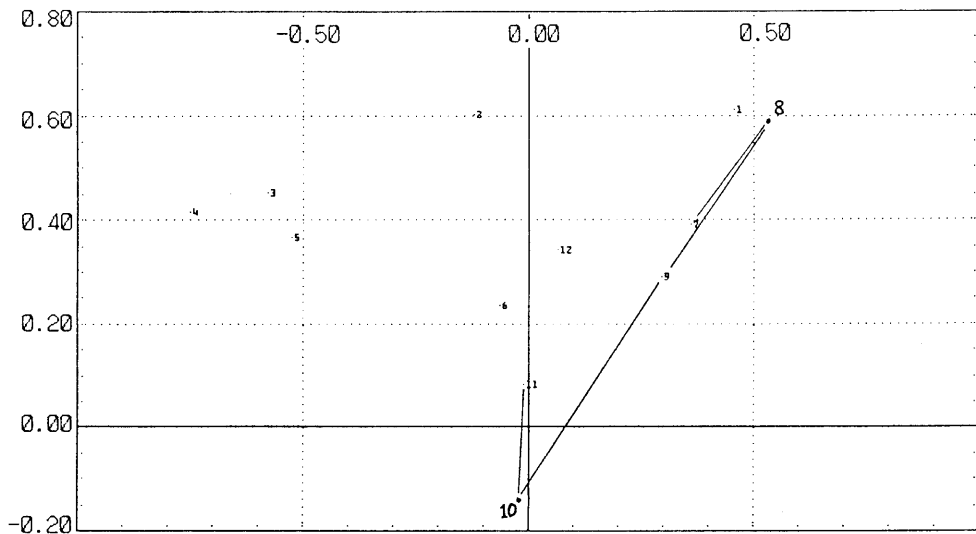
<図4>は、Soprano の半音階 (1G#~2G音) |a| の上昇型の標本である。同様に軌跡の方向が転換する地点を見ると、大きな変化として「8 (=2D#音)」があり、小さな変化として「4 (=1B音)」が認め

られる。

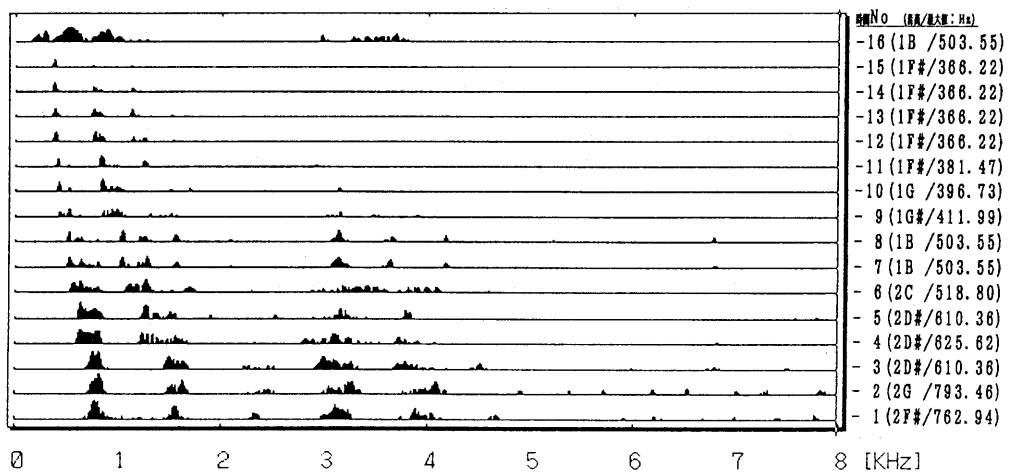
## 3. 西洋音楽・邦楽・児童における換声点の特定

### 3-1. カウンターテノール (ドミニク・ヴィス)

処理音域は、1F~2A音 (350.96~885.01 Hz) である。主成分分析の結果、換声区が1G#~2D#音 (427.25~625.65Hz) で、換声点は1B音 (503.55Hz) と特定できる。<図5>では時間軸「8~10」の区間にあ



<図4 : 主成分分析 (Soprano-UR, |a|, 1G#~2G, SAMP=1~330) 半音階>



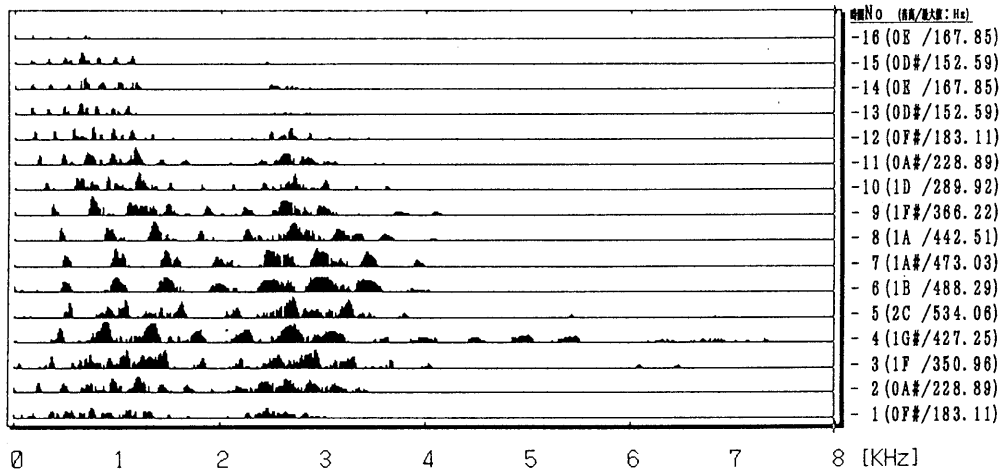
<図5 : FFT図 (D. VISSE, |a|, 1F~2A, SAMP=1~500) >

### 3-2. テノール (D. ゴンザレス)

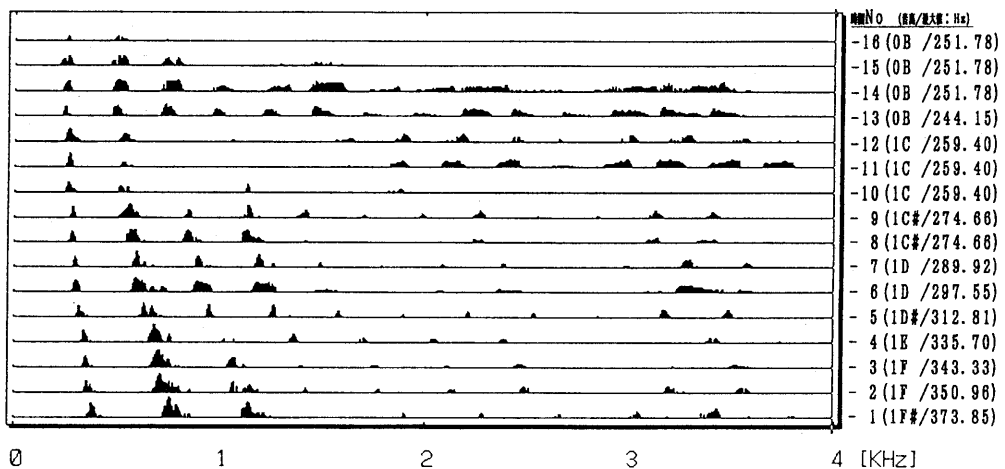
<図6>の標本は0C#~2C#音のボルタメントである。<図6>で得られた換声区をさらに拡大し主成分分析を行った結果、一般的に感じられるように換声点の位置は、上昇時の方が高い現象を、ここでも認められた。すなわち、上昇時では換声点が1A~1A#音(442.51~457.77 Hz)であるのに対し、下降時は1G音(396.73Hz)であった。さらに低い0B音(244.15Hz)付近でも換声点を見い出せた。

### 3-3. テノール (A. クラウス)

<図7>は、周波数軸を2倍に拡大しFFT表示した。標本が0G#~1G#音と狭い音域であるため、高音域における換声点を検出することはできないが、時間軸「10~12」の第3と第5倍音が、欠落していることが分かる。主成分分析の結果からは、時間軸「10」が換声点となり、音高は1C音(259.40 Hz)である。



<図6 : FFT (D. Gonzales, |a|, 0C#~2C#, SAMP=1~500) >



<図7 : FFT (×2) (A. kraus, |a|, 0G#~1G#, SAMP=1~500) >

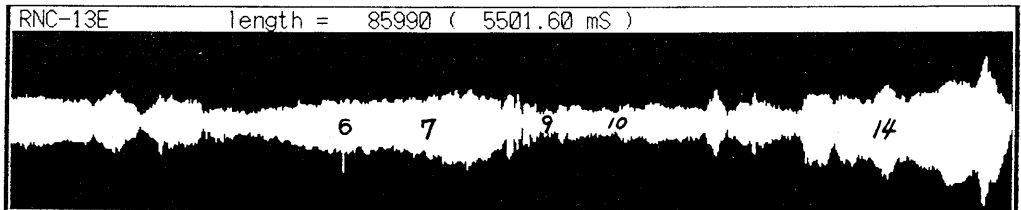
### 3-4. 新内節『蘭蝶—若木仇名草』

『えんでこそ〜』の「ん」の部分で、<図8-1>で示すように各カ所で主成分分析を試みた。<図8-2>で示すように、倍音の含まれ方にかなりの差がある。裏声と表声の「境目」が明確である。

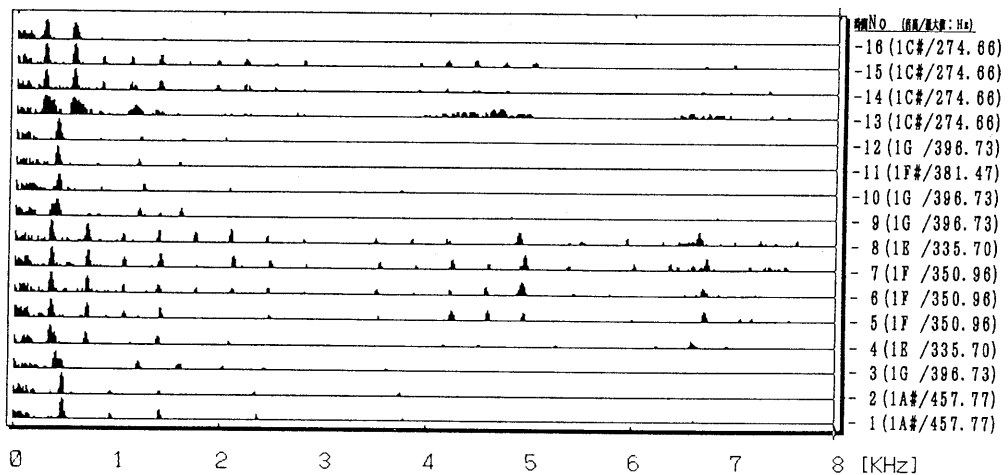
以下異なる5カ所についてそれぞれ換声点を求めると<1：下降時/1F#音(366.22Hz)>、<2-1：上昇時/1F#~1A音(366.22~411.99Hz)>、<2-2：下降時/1D#~1F音(335.70~350.96Hz)>、<3：上昇時/1F#音(366.22Hz)>、<4：下降時/1F音(350.96Hz)>であった。したがって換声区としては1D#~1A音であり、換声点は1F~1F#と特定できる。

### 3-5. 5歳児の音声(音階による標本)

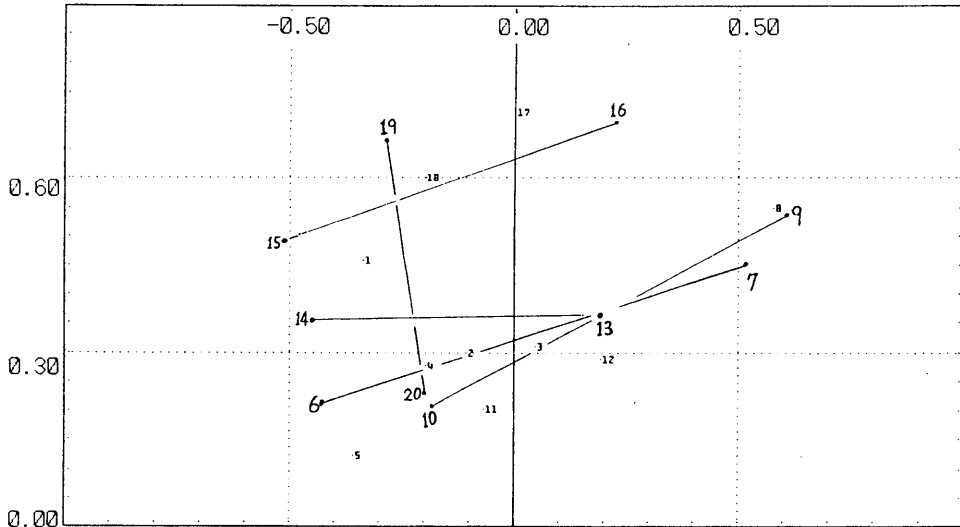
DATによる録音は、1E~0F音と1E~3C音の2種類が採取された。採取された全ての音に対し、主成分分析を試みた。標本は、C-Majorの音階で採取されているが、音程が不安定であるため、派生音の音高も出現している。処理は、特に各音声の立ち上がりの部分を用いて分析を行った。主成分分析結果を<図9>に示したが、換声点はこの図の時間軸「6~7(1D-1D#音/289.92-320.44Hz)」、「9~10(1D#-1F#音/320.44-366.22Hz)」、「13~14(1B-2C音/488.29-549.32Hz)」、「15~16(2D-2E音/595.10-656.13Hz)」、「19~20(2F-2G#音/701.91-839.24Hz)」の音高にある。



<図8-1：波形(新内節「ん」の部分)>



<図8-2：FFT図(新内節「ん」の部分)>



＜図9：主成分分析（5歳児-5SA, |a|, OF~3C（立ち上りの喋語=0G~2G#）＞

#### 4. まとめ

これまで、女声に関する換声点特定の調査で得ていた「声種」と「換声点の位置」との関連性を、本研究でも同様に推測された。まず、換声点が1カ所ではなく複数存在する。次に、高音域を得意とする歌手ほど換声点が高い位置に存在する傾向にあるのではないかと。また、西洋音楽の発声の方が新内（邦楽）より、換声点を特定することが難しい。すなわち西洋音楽系では、発声の熟練程度と換声点特定の困難さとの関連が感じられる。

本研究の段階で、一般的な傾向を示すことはまだ早計と思われる、当然歌手の個人差も考慮しなければならない。換声点特定の研究は、血液検査のようなものと考えられる。検査結果のより高い信頼性は、今後の課題であり、さらに特定された結果をどう読むかが、最も重要な点となる。

裏声と表声の問題にこだわることは、それぞれの音楽様式の中で、声の出し方にこだわることであり、各音楽様式にこだわることにつながると思う。

#### ＜音声資料＞

- ①Dominique Visse : Songs for Seven Centuries~ J. Offenbach: 'Griserie' :KING RECORD <KICC-135> (1994)
- ②Alfredo kraus : F. List: Drei Petrarca-Sonette~ '2. Sonetto: Benedetto' :CAPRICCIO <10272> (1989)
- ③Olmacio Gonzales : G. Rossini: 'La Donna Del Lago' ~ :CBS/SONY <72DC-536-7> (1985)
- ④新内節『蘭蝶 — 若木仇名草』：浄瑠璃=新内勝英太夫：日本古典芸能大系11第15巻「語り物の音楽II」日本ビクター
- ⑤5歳児の標本（DAT録音）は、小川容子氏からの提供。<1994 NAGOYA>

#### ＜参考文献＞

- ①村尾忠廣：『【調子外れ】を治す』音楽之友社 (1995)
- ②中山一郎：『伝統芸能における日本語音声の音響的特徴—音韻論的比較研究—』平成2年度文化芸術審議会「日本語における韻律の現象とその教育に関する総合研究」E-4調査報告書 (1991)
- ③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)
- ④田邊 隆：『FFT解析による音楽表現の評価及び測定方法の理論化に関する研究』平成5年度文部省（一般研究C）研究報告書 (1994)