

# 撥音 /ん/ の歌唱時における周波数下降を 決める要因について

渡辺 守      山田真司      中山一郎

日本語の母音 (a, i, u, e, o) に、撥音 /ん/ (m, n, ŋ) を付加した音節列を、プロのソプラノ歌手に、様々な条件のもとで同一音高で発声させ、二つの音の基本周波数を比較した。その結果、ほとんどの場合で /ん/ は、母音より弁別閾以上に下降していた。また、/ん/ の周波数下降に影響を与える要因について、分散分析によって調べた結果、/ん/ の周波数下降量は、/ん/ の種類、発声の音高、発声時の意識等の要因より、むしろ発声者の違いによる要因に大きく依存していることがわかった。

## 1. はじめに

撥音 /ん/ (以後、/ん/ と略記) とは、音声学上、有声音に属し、調音点の違いによって、/m/, /n/, /ŋ/ に細分される<sup>1)</sup>。

西洋の歌曲には、/m/, /n/, /ŋ/ 等の有声音が比較的長い音符に割り振られて、持続音として使われている歌曲はほとんどないが、日本語の歌曲においては、この /ん/ が長い音符に割り振られていることが、しばしばある。例えば、山田耕作作曲の「曼珠沙華」という曲の中に、「ゴンシヤン、ゴンシヤン、ナンボンカ」という歌詞が使われており、この歌詞の /ん/ の中には、長い音符に割り振られているものがある。

このような /ん/ が長い音符に割り当てられている曲を、一般の歌手や、学生等が歌う場合に、まわりの音と同一音高であるにもかかわらず、/ん/ の高さが低く聞こえたり、調性から外れて聞こえることがある。例えば、

歌唱練習を行う場合において、発声者自身は、この撥音 /ん/ を楽譜に書かれている通りの音高で歌っていたつもりでも、録音を聞いてみると /ん/ の高さが下がっていることに気付くことがある。

このような、/ん/ の歌唱音の高さが、歌手自身に気付かず、下がってしまう現象は、著者の一名を含む、数名の音楽家が経験的に知っている事柄であるが、これが一般的な現象であるかどうかは定かではない。この現象が、実際に、一般的に起こることなのかを検討するためには、歌唱技術の未熟なレベルの歌手から、プロのレベルの歌手までを用いて分析を行う必要があるが、今回の実験では、まずプロのレベルではどうなのかについて、分析を行うこととした。

このような現象を解明するためには、心理、物理の両側面からのアプローチが必要である。音の高さの知覚に影響を与える物理的要因として、基本周波数、強さ、スペクトル構造などが挙げられるが、第一義的には、基本周波数が高さを最も大きく規定することは良く知られている。そこで本研究では、/ん/ が下がって聞こえる現象を解明する第一段階として、基本周波数という物理的要因に絞って研究を行うこととした。具体的には、歌唱された /ん/ が物理的に低い基本周波数で歌唱しているのかを、“先行母音+ /ん/” のテキストをプロのソプラノ歌手に同一音高で歌唱させ、その2音の基本周波数を調べることにした。また、同時にどのような条件の場合に /ん/ の周波数が下がりやすいのかについても検討を行った。

過去に、歌唱音声について、母音間での高さの知覚の

差異に関する研究や、/ん/の物理的音響特性についての研究は報告されているが<sup>34)</sup>、/ん/の歌唱時における周波数下降に関する研究は行われていない。

このように、声楽家が経験的に抱いている現象を定量的に分析することにより、声楽の教育、指導方法、または、作曲家の作曲技法等の貢献が期待される。

## 2. 実験の方法

### 2. 1. 発声テキストと発声者

調音点がそれぞれ異なる3種類の/n/ (/m/, /n/, /ŋ/) に、先行母音 (/a/, /i/, /u/, /e/, /o/) を付加し、それらをランダムに配置した発声テキストを Fig.1 に示す。

/n/は、後続する子音によって調音点が異なる。後続子音が、/p/, /b/等の両唇の場合には、/n/の調音点も両唇となり、音素記号/m/で表される。また、後続子音が/t/, /s/等の舌音の場合には、調音点は歯茎となり、このときの音素記号は/n/で表される。更に、後続子音が、/k/, /g/の軟口蓋音の場合には、調音点は口蓋となり、音素記号は/ /と表される。実際には、更に詳細な分類もあるが、今回はこの3種類の音素に分けて実験を行った。

Fig. 1 に示すような発声テキストを、4種類の音高 (ais<sup>1</sup>, cis<sup>2</sup>, e<sup>2</sup>, g<sup>2</sup>) でプロのソプラノ歌手に歌唱させた。歌唱に際して、音節間に切れ目なく、両音節を同一音高で、約2秒づつ発声するよう教示した。また、歌唱時の意識として、日本語の歌詞を明確に伝えることを意識した場合と (以後、日本語と略記)、響きを重点をおいて発声する場合 (以後、響きと略記) の2通りの意識のもとで歌唱させた。

このような2種類の意識を設定した理由は、Nakayama et al.の研究<sup>35)</sup>によって、日本語を意識する場合の方が、響きを意識する場合に比べて、ずっと明瞭度が増すという結果が得られていることから、今回調べる/n/の基本周波数にも、このような意識の要因が影響を及ぼすかを調べるためである。以上のように、今回変化させた要因は「/n/の種類」、「先行母音」、「発声

a	m	i	n	o	ŋ	e	m	u	n
a	ŋ	i	m	o	n	e	ŋ	u	m
a	n	i	ŋ	o	m	e	n	u	ŋ

Fig. 1 発声テキスト

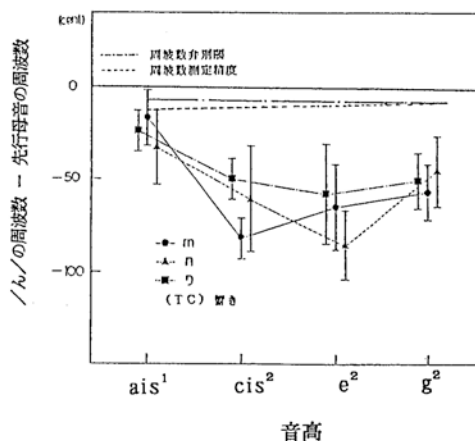


Fig. 2 /n/の周波数下降の例 (先行母音にわたる平均)

の音高」、「発声時の意識」、「発声者」の5つである。

### 2. 2. 歌唱音の収録と基本周波数の測定

歌唱はすべて無響室で行わせ、歌唱音声は、口唇前方約1mに設置したコンデンサーマイクロフォンを通じてDATに収録した。

得られた音声試料を、サンプリング周波数32KHzのA/D変換によりコンピュータに取り込み、周波数分析を行った。この周波数分析には、ポイント数、8192ポイント、ハミング窓を用いたFFT分析を適用した。(なお、この測定方法の周波数測定精度は3.9Hzである)

各母音、/n/の基本周波数は、定常部内の4ヶ所で測定した基本周波数を平均した値と定めた。このようにして求められた/n/の基本周波数から先行母音の基本周波数を引いた値をセントに換算した。このセント値は、/n/が先行母音の周波数より下がっている場合にはマイ

ナスの値をとる。

### 3. 基本周波数の測定結果

求められたデータから、

- 1) /ん/の基本周波数は、実際に、先行母音の基本周波数より下降しているか、
- 2) もし、下降するのならば、その周波数を決定する要因はなにか、また、どの要因の時に下降しやすいのか、

について分析を行った。

/ん/の周波数下降の典型的な例を Fig. 2 に例示する。なお、後述のように、5次元の分散分析の結果、先行母音による影響は有意と認められなかったため、同図においては、先行母音の条件にわたる平均をとった。Fig. 2の縦軸の0セントの値は先行母音の基本周波数の値を示しており、マイナスの値をとるほど、/ん/の周波数が先行母音より下がっていることを表している。

Fig. 2から、/ん/の周波数が先行母音の周波数より下降していることは明かである。また、この下降量は、周波数測定精度、純音の周波数弁別閾よりも大きいことも明かである。他の発声者、発声時の意識の場合にも同様の周波数下降が見られた。しかし、例外として、最も高い音高であるg<sup>2</sup>の場合においては、/ん/の周波数が先行母音の周波数より上昇するケースのある発声者がいたが、このことについては後で考察を行う。

### 4. 分散分析の結果

次に、どのような要因が周波数下降量を大きく決定づけるのかを検討するために、まず、「/ん/の種類」、「先行母音」、「発声の音高」、「発声時の意識」、「発声者」の5つの要因で、5次元配列の分散分析を行った。

(Table1) 検定の結果、主効果の中で危険率1%未満で有意であったのは、「/ん/の種類」、「音高」、「発声の意識」、「発声者」の4つの要因であった。また、交互効果の中で危険率1%未満で有意であったのは、「母音×音高」、「音高×発声者」、「種類×音高×発声者」、「母音×音高×発声者」の4つの要因であった。

Table 1 5次元分散分析の結果

表中の \*\* は危険率 1% 未満で有意であることを示す。  
また \* は危険率 5% 未満で有意であることを示す。

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
んの種類 (A)	10411.8	2	5205.9	8.23**
先行母音 (B)	1339.6	4	334.9	0.53
音高 (C)	33278.5	3	11092.8	17.54**
意識 (D)	27498.5	1	27498.5	43.48**
発声者 (E)	151862.4	5	30372.5	48.03**
A×B	9852.2	8	1231.6	1.95
A×C	5663.8	6	944.0	1.49
A×D	1153.3	2	576.7	0.91
A×E	13608.6	10	1360.9	2.15*
B×C	19713.7	12	1642.8	2.60**
B×D	1286.1	4	321.5	0.51
B×E	16260.9	20	813.0	1.29
C×D	5216.7	3	1738.9	2.75*
C×E	120271.1	15	8018.1	12.68**
D×E	8042.4	5	1608.5	2.54*
A×B×C	18199.0	24	758.3	1.20
A×B×D	11289.9	8	1411.2	2.23*
A×B×E	25665.0	40	641.6	1.01
A×C×D	6559.5	6	1093.2	1.73
A×C×E	60531.6	30	2017.7	3.19**
A×D×E	7158.8	10	715.9	1.13
B×C×D	8715.6	12	726.3	1.14
B×C×E	65409.0	60	1090.2	1.72**
B×D×E	9333.1	20	466.7	0.74
C×D×E	14789.1	15	985.9	1.56
A×B×C×D	5398.5	24	244.9	0.36
A×B×C×E	67215.9	120	560.1	0.89
A×B×D×E	16958.4	40	424.0	0.67
A×C×D×E	14797.4	30	489.9	0.77
B×C×D×E	20007.0	60	333.5	0.53
誤差	75891.5	120	632.4	
総平方和	853179.0			

声者」であった。以下に、これら有意であった効果に関して、どのような時に、/ん/の周波数下降が起こりやすいかをくわしく検討する。

#### 4. 1. /ん/の種類の効果

/m/, /n/, /ŋ/, それぞれに関して、/ん/以外の要因すべてにわたって平均した周波数の下降の様子を、Fig. 3に示す。Fig. 3から、/ŋ/, /n/, /m/の順に周波数下降量が大きくなることがわかる。また、周波数下降量は、/ŋ/と/n/の間では、危険率1%未満、/ŋ/と/m/の間では、危険率5%未満で有意差が認められた。このことは、/ŋ/, /n/, /m/の順

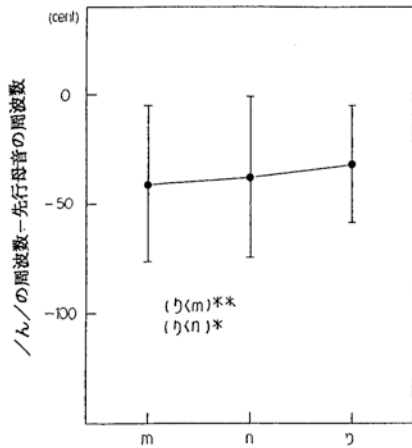


Fig. 3 /ん/の種類による周波数下降の差異

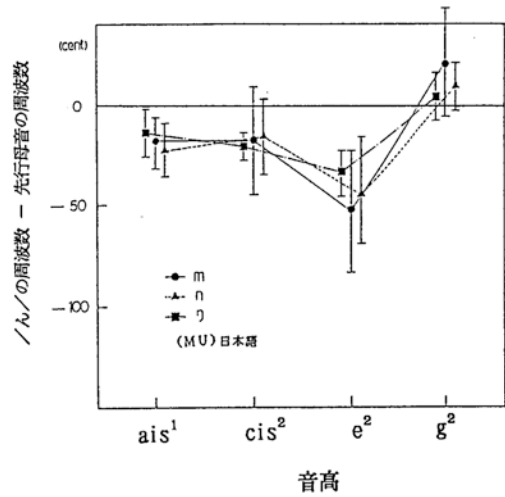


Fig. 5 /ん/の基本周波数が先行母音より上昇している例

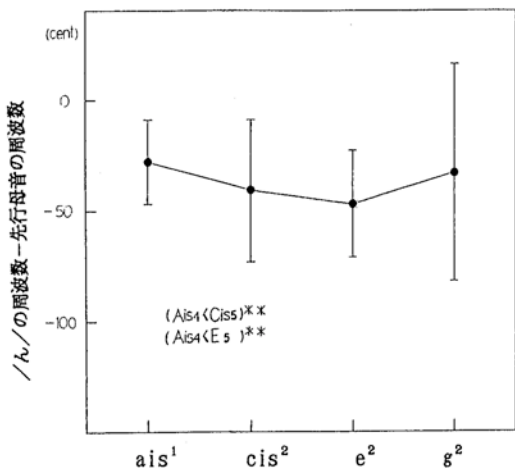


Fig. 4 発声の音高による周波数下降の差異

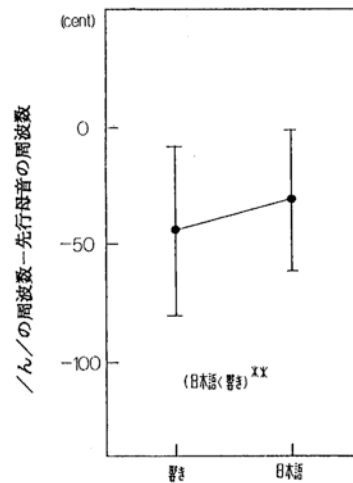


Fig. 6 発声時の意識による周波数下降の差異

に調音点が浅く、口の開きが小さくなることと、周波数の下降との関連を示唆させるが、このことについては、更に検討が必要である。

#### 4. 2. 音高の効果

各音高に関して、発声の音高以外の要因をすべて平均した周波数下降の様子を、Fig. 4に示す。同図から ais¹, cis², e²と音高が上昇するにつれて周波数下降量が大き

くなることがわかる。実際、有意水準95%のt検定の結果、cis²とe²との間には有意差はなかったものの、[ais¹]に比べ[cis²]、[ais¹]に比べ[e²]が、有意な差があることが確認された。また、Fig. 2と同様の先行母音のみにわたって平均した図を検討した結果、g²以外の音高においては、先行母音よりも周波数が上昇した例はみられなかったが、最も高い音高のg²において周波数が上昇するケースがみられた。Fig. 5にその様子を示す。以上の

検定結果および発声者の内観から、 $g^2$ という、ソプラノにとって高い音高を歌唱する場合には、“りきみ”が生じる場合が多く、このりきみによって、他の音高に比べて高さの制御がしにくくなっていることが推察される。

#### 4. 3. 発声時の意識の効果

発声時に日本語の歌詞を明確に伝達することを意識した場合、および、響かすことを意識した場合について、発声時の意識以外の要因をすべて平均した周波数下降の様子を Fig. 6 に示す。Fig. 6 から、“日本語”を意識した場合より、“響き”を意識した方が、周波数の下降量が大きいことがわかる。実際、有意水準95%のt検定によっても、有意差があることが確かめられた。

前述のように、“響き”を意識して歌唱するより、日本語を意識して歌唱した方が、歌詞の明瞭度が向上することが、過去に示されているが<sup>3)</sup>、このことと、今回“日本語”を意識した場合の方が“響き”を意識した場合より周波数下降量が少なかったこととの関連については、まだ明かではない。

#### 4. 4. 発声者の効果

発声者の効果が有意であったことから、 $\text{/ん/}$ の周波数下降量の程度は、個人差が大きいことを示している。今回の実験で使用した発声者は、いずれもプロのソプラノ歌手であるが、このようなレベルの歌手であっても、周波数下降の程度が大きいということは、学生等の歌手を加えた場合、さらに周波数の下降が大きくなることが予想される。

以上の結果、今回変化させた5つのパラメータの中で、 $\text{/ん/}$ の周波数下降に影響を与えているものは、先行母音を除く「 $\text{/ん/}$ の種類」、「音高」、「意識」、「発声者」の4つの要因であった。しかし、どの要因が最も $\text{/ん/}$ の周波数下降に影響を与えているのかについては、上記の分析結果だけでは明らかではない。そこで次に、主効果の要因を絞って検討を行うこととし、次元数を落とした分散分析を行うこととした。

#### 4. 5. $\text{/ん/}$ の周波数下降における各要因の効果の大きさ

まず、5次元の分散分析で、有意な要因と認められた4つの要因で、先行母音毎の4次元の分散分析を行った。その結果の、有意水準95%で、各要因が主効果として有意であった例数を、全体の例数の比で以下に示す。

「 $\text{/ん/}$ 種類」：2/5

「音高」：0/5

「意識」：5/5

「発声者」：5/5

上記の結果から、音高の要因は他の要因と比べてその効果が小さいことがわかる。続いて、音高の要因を除いた3要因による3次元の分散分析を「先行母音」×「音高」の計20通り行った。その結果、各要因が主効果として有意であった割合は、

「 $\text{/ん/}$ の種類」：0/20

「意識」：4/20

「発声者」：5/20

であった。上記の結果より、 $\text{/ん/}$ 種類の要因は、他の2要因に比べて効果が小さいことがわかる。

最後に、「意識」、「発声者」の2要因による2次元配列の分散分析を、他の要因の組み合わせ60通り行った。その結果、各要因が主効果として有意であった割合は、

「意識」：4/60

「発声者」：11/60

であった。この結果から、発声者の要因の方が効果が大きいことがわかる。

以上の結果より、 $\text{/ん/}$ の周波数下降に最も大きく影響を与えていると考えられる要因は、発声者の要因であることがわかった。

今回の実験で用いた $\text{/ん/}$ の種類は代表的な3種類であるし、音高も、ソプラノがカバーする音域の中で広い範囲にわたって変化させている。しかし、今回の結果で、発声者の要因による周波数下降量が、変化させた $\text{/ん/}$ の種類、音高等の要因の下降量よりも大きく変化していたことは意味深いと考えられる。つまりこの結果は、各発声条件における発声機構の生理的メカニズムの違いによって起こる周波数下降のバラツキより、個々人の周波

数下降のバラツキの方が大きいことを意味しており、プロの歌手であっても、/ん/という歌詞を発声するときの周波数制御能力の違いがあることを示していると考えられる。まして、はじめに述べた、/ん/が下がって聴こえた歌手などでは、もっと周波数の制御が行えていないことが予想される。

しかし、このことは決して悲観的なことではないと考えられる。なぜなら、今回の、/ん/の周波数下降量が大きい歌手と、下降が最小にとどめることのできた歌手との間の違いをつきとめることによって、この違いが生理的な原因でない限り、矯正指導によって、すべての歌手が/ん/が下がらないような、あるいは下がる量が最小になるような歌唱技術を身に付けられると考えられるからである。

## 4. まとめ

プロのソプラノ歌手に“先行母音+/ん/”から成る音節を同一音高で発声させ、2つの音の周波数の差について検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 多くの場合、/ん/の基本周波数は、先行母音より下降する。
- 2) 発声者により、/ん/の周波数下降量はかなり異なる。
- 3) /ん/の調音点の違いにより下降量は変化し、/ŋ/, /n/, /m/の順に周波数が下降量は大きくなる。
- 4) 歌唱する音高が高くなるほど/ん/の周波数下降

は起こりやすくなるが、力みが生じるような音高になると、周波数制御自体が難しくなる。

- 5) 日本語の歌詞を明確に伝えることを意識すると、周波数下降量は減少する。

今回は、基本周波数という物理量のみについて検討を行ったが、今後、強さスペクトル構造等の要因も検討対象に加え、「高さ」の知覚にとって、今回の結果の周波数下降がどのような意味をもつのか検討して行きたい。また、より一般的に検討するために、声楽を専攻する学生等を発声者として用いた場合、どのような結果になるのかについても検討して行きたい。

### 謝辞

本研究のデータ処理に御協力していただいた安東泰宏氏、今川大介氏、杉村信彦氏、杉村清美氏、及び、御議論くださった大阪芸術大学音楽工学実験ラボ内の皆様へ感謝いたします。また、発声にご協力くださった歌手の皆様へ謝意を表します。

### 文献

- 1) 杉藤美代子, 講座日本語と日本語教育 (明治書院, 東京, 1990).
- 2) J. Sundberg, "Perception of Singing," in *The Psychology of Music*, D. Deutsch, Ed. (Academic Press, Orland, 1982), Chap. 3.
- 3) 高橋 準二, 音階歌唱によるピッチのずれと母音の発音 (音楽研究 Vol. 2, 大阪音楽大学, 1984), pp. 7-22.
- 4) Gloria J. Borden and S. Harris (広瀬 聖輔訳), *ことばの科学入門* (MRCX メディカルリサーチセンター, 東京, 1984). pp. 112-126.
- 5) I. Nakayama, M. Yanagida, Y. Kakita, T. Uehata, "Intelligibility of Japanese Sung Vowels," *J. Acoust. Soc. Jpn.* (E) 14, pp. 409-415 (1993).
- 6) 森 敏昭, 吉田 寿夫, *心理学のためのデータ解析テクニカルブック* (北大路書房, 京都, 1990).