

歌手が知覚するラウドネス

—聴者との比較—

吉武奈津子・中山一郎

1. はじめに

歌唱において、我々が歌手の声を聴取する際、発声する歌手自身が知覚する声の大きさ（ラウドネス）と、聴者である我々が知覚する大きさは、どのような関係にあるのであろうか。

この問題に関しては、例えば声楽のレッスンなどで、歌う本人は相当に大きな声を出しているつもりでも、先生に“もっと大きな声を出すよう”に求められたりすることによって、発声者と聴者間の大きさの知覚に差異があることが経験的に知られている。つまり、発声者が例えば2倍の大きさと感じて発声しても、聴者は2倍の大きさには感じていないであろうと推察される。

しかしながら、声の大きさに関するこの知覚の差異を明確にした研究は、話し声については行われているが¹⁾ 歌声についてはほとんど行われていない。

そこで本研究では、ソプラノ歌手を発声者とし、歌手の発声音の物理量（発声音圧）と歌手自身の大きさの知覚との関係を明らかにするために、一対比較 MP (Magnitude Production) 法を、また、歌手の発声音の物理量と聴者の知覚との関係を明らかにするために一対比較 ME (Magnitude Estimation) 法^{2,3)} を用いて、日本語の5母音について物理量と知覚量の関係の定量化を試みた。

2. 実験方法

2-1 実験1：発声者の物理量と知覚量

2-1-1 発声方法

発声音素は日本語の5母音とし、それぞれの母音について、発声者が標準と感じる大きさ（以後、標準音と記す）と、それに対して1/4、1/2、2、3倍と感じる大きさ（以後、比較音と記す）を一対で発声した。即ち、MP法で発声したことになる。発声音高はすべてC[#]₅ (554Hz, nominal) とし、発声の長さは1秒～2秒程度（平均1.6秒）であった。発声者は大学で声楽教育を担当する20代後半から30代のプロのソプラノ歌手6名である。調音は、日本語を意識して発声することを教示した以外は発声者にまかせた。なお、発声は発声者の納得のいくまで繰り返し行わせた。

2-1-2 発声音の録音

発声音の録音はすべて無響室内（大阪大学産業科学研究所）で行った。発声者の口唇前方1mの位置に設置したコンデンサマイクロホン（Brüel&Kjaer Type 4134）によって発声音をDATレコーダ（SONY TCD-D10）に録音した。標準音の発声音圧レベルは口唇前方1mの位置で67dB(A)～81dB(A)（発声者平均73.7dB(A)）であった。

2-2 実験2：発声者の物理量と聴者の知覚量

2-2-1 素材音

前節で録音したものをパーソナルコンピュータ (NEC PC-9821Ap) に搭載した A/D・D/A 変換ボード (CANOPUS / Sound Master) に取り込み、標準音と比較音の間を 1.2 秒、比較音から、次の標準音の間を 8 秒で編集した後、光磁気ディスク・エディター (AKAI DD1000 i) に取り込み、被験者ごとにランダム化したリストを作成したものを素材音とした。A/D・D/A 変換ボード、及び光磁気ディスク・エディターともサンプリング周波数は 32KHz とした。

2-2-2 呈示方法

作成した素材音を光磁気ディスク・エディターからパッチパネルを通じて防音室内のヘッドホンアンプ (STAX SRM-1/MK-2) を通し、ヘッドセット (SR- Λ) で呈示 (両耳受聴) した。素材音は標準音と比較音が 1 対で呈示され、呈示レベルは平均で約 73.5dB(A) であった。

2-2-3 被験者

被験者は大阪芸術大学音楽学科、及び音楽教育学科の学生、及び教員の 11 名と、大阪府立大学の学生 1 名の合計 12 名で、うち男性は 3 名 (音楽経験者 1 名、未経験者 2 名)、女性は 9 名 (音楽経験者 8 名、未経験者 1 名) である。

2-2-4 評価方法

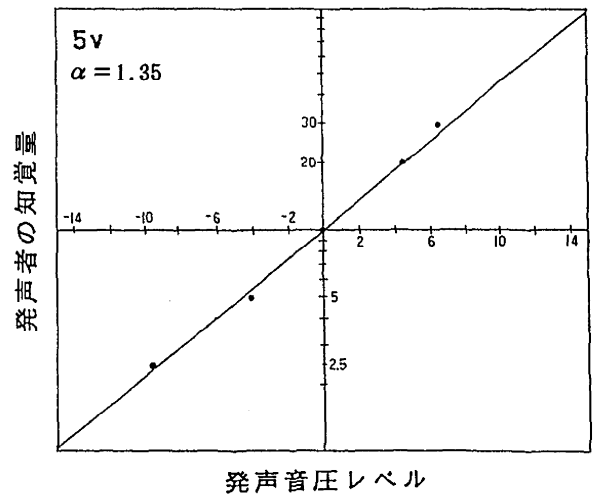
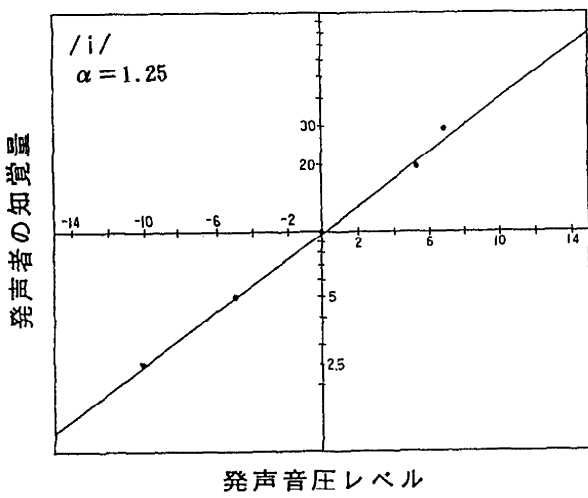
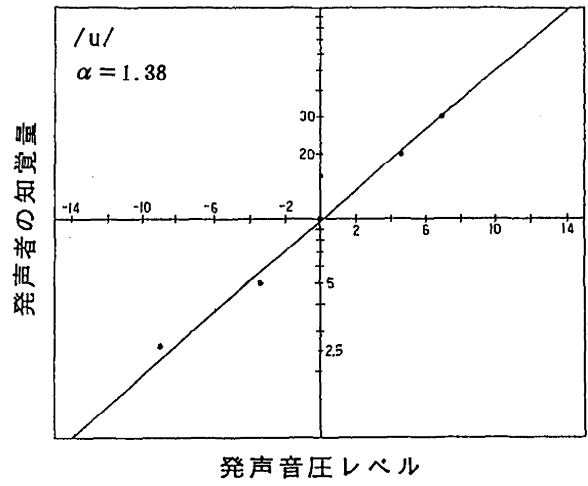
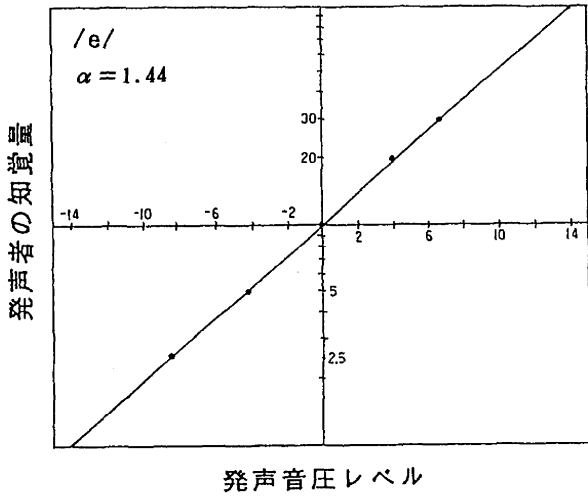
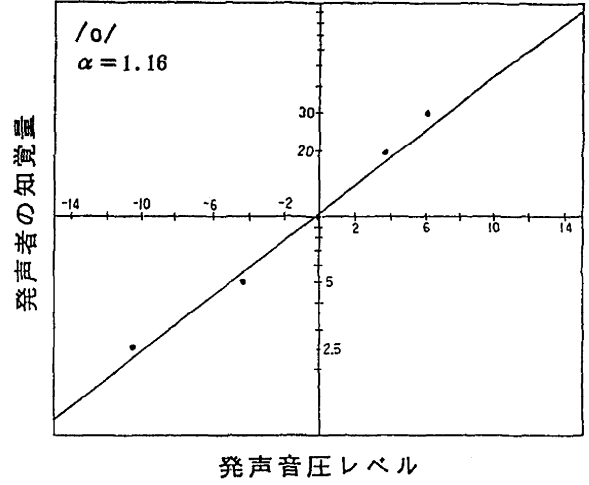
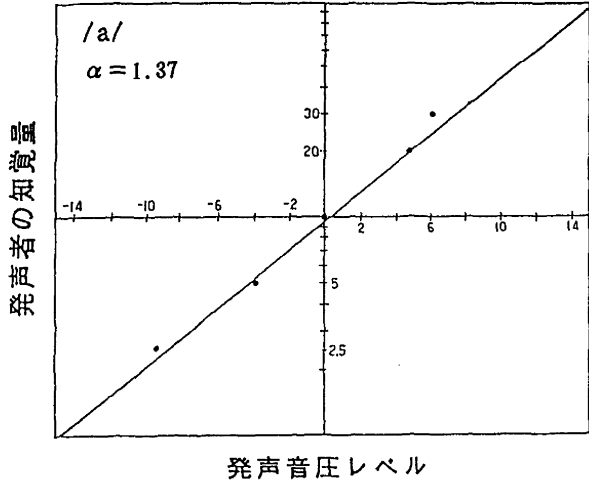
実験に先立ち、紙面に記した線分の長さを用いて⁴⁾ ME 法の練習を行い、続いて 6 対の練習試行の後、本実験を行った。評価方法は、標準音の大きさを 10 とした時に比較音がどのような大きさに感じられたかを数値 (但し、ゼロ、及びマイナスの数値を除く) で回答するよう教示した。

3. 結果と考察

歌手の発声音圧と被験者の回答をそれぞれ分散分析^{5) 6)} したところ、被験者の回答に関しては発声者、母音、いずれの因子についても有意な効果が認められなかった。よって、被験者の回答を発声者、母音にわたって平均した。また、発声音圧に関しては、母音による有意な効果は認められなかったが、発声者の違いによる効果が認められた。しかし、これを、発声者の個人的な特性に起因するものと考え、ソプラノ歌手の知覚の特性を求めるといふ本来の目的のために、発声音圧に関しても発声者、母音にわたって平均した。

ところで、被験者は音楽経験者群と未経験者群に分けられるが、この 2 つのグループによる有意な効果があるかどうか確かめるために t 検定⁷⁾ を行ったところ、有意な効果は認められなかったので、ひとまとめにして処理した。

得られた結果を述べ、それらについて考察する。まず、歌手の発声音圧レベルと歌手自身の知覚量の関係は、両対数軸上で、発声者間でも母音間でも高い相関の回帰直線で表すことが可能であり、その傾き、即ちベキ指数は 5 母音の平均値で 1.3 であることが明らかになった。結果を図-1 に示す。このことは、歌手が自らの声を 2 倍の大きさに感じるためには約 4.5dB 必要とすることを意味する。これまでに Lane, Catania & Stevens (1960) により、ベキ指数は 1.1 であるという結果が得られており、Lane らはこれを “vocal effort” と名付けているが、この 1.1 と、今回の 1.3 の違いの原因として、Lane らの研究が話し声についてのものであることが考えられる。しかしながら、この違いについては今後、更なる検討が必要である。なお、歌唱音の大きさの知覚について、Nakayama ら (1989)⁸⁾ が母音/a/ について行っているが、彼らは発声音圧測定を外耳道入口で行っており、Lane らや今回の実験との比較は単純には行えない。



5vは5母音の平均
 α は直線の傾き(ベキ指数)

図-1 母音ごとの歌手の物理量(音圧レベル)と知覚量の関係

次に、歌手の発声音圧と聴者の知覚量の関係についても、発声者、母音ともに高い相関の回帰直線で表されることが明らかになった。母音ごとにまとめた図-2では、5母音平均でベキ指数約0.6の直線で表され、また、発声者ごとにまとめた図-3でもベキ指数は0.5~0.7(平均0.64)であった。これは聴者が発声者の声を2倍の大きさに感じるためには約10dB必要であるということを意味している。このベキ指数0.6は話し声を対象とした

「Stevensのベキ法則」に一致しており、歌声についてもベキ法則があてはまることが明らかになった。以上の結果を、まとめて図-4に示す。同図から歌手が2倍の大きさと感じて発声した場合でも聴者は2倍には感じてはならず、歌手は自己発声音を相対的に過大に評価し、聴者は歌手の声を過小に評価していることが明らかになった。しかし、今回の結果から絶対的な知覚量の差を求める事はできない。

以上、歌手と聴者のラウドネス知覚の違いについて述べてきたが、この差の原因について考察する。著者の内観では、歌唱の際に自己発声音が頭部で共鳴するために、ある程度大きな声を出すと、室内の反射特性も加わって自分の声をうるさいと感じる事がある。今回の実験では発声は無響室で行っているため、反射音は考慮に入れる必要はないが、骨導音と少なからず関係があると考えられる頭部での共鳴は、今回見られた歌手の過大知覚の原因の一つであると推測される。つまり、歌手は共鳴に助けられて、自分が表現したい大きさに達したと誤認するために、実際にはそれほどの音圧ではないにも関わらず、十分であると判断してしまった可能性がある。その結果として、歌手は自己発声音を過大に評価し、聴者は歌手の声を過小に評価しているものと考えられる。

次に、歌手の個人差について考察する。個人差の要因として、発声者側の要因と聴者側の要因が考えられる。発声者側の要因として、まず、解剖学的な要因が考えられる。つまり、声帯、及び周辺の筋肉、骨格をはじめ、発声と共鳴に関わる全ての器官の個人差によって生じるダイナミックレンジ、音色等の違いである。一方、聴者側の要因としては、発声音の音色の差が考えられる。例えば、発声者が3倍の大きさの比較音を発声する際、発

声者によっては、「りきみ」などにより標準音と比較音の音色が極端に違ってしまう事がある。大きさの知覚の第一要因は音の強さであるが、第二要因として音色⁹⁾があげられるのは周知の事実であり、この、歌手の熟練度に関係すると考えられる発声音の音色の違いが、大きさの知覚に影響を及ぼしている事が推測される。

しかし、ここにあげた様々な要因の差にも関わらず、発声者、あるいは母音にわたって平均した後で求めたベキ指数は、ほぼ一定であった。また、前述のように被験者の声楽経験の有無によってデータが左右される事もなかった。これらのことから、今回の結果はソプラノ歌手の知覚特性と、聴者という人間全般の知覚特性をほぼ反映したものであると考えられる。

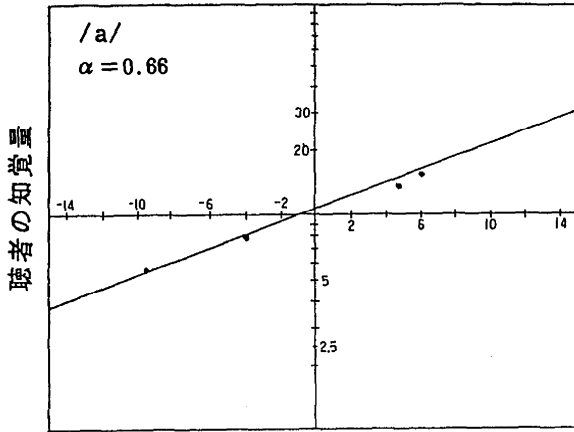
4. 結論

今回の研究より以下のことが明らかになった。

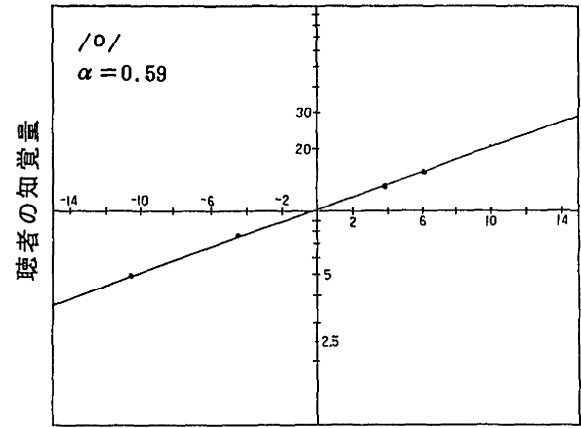
- (1) 歌手の発声音圧と歌手自身の知覚量の関係は、両対数軸上でベキ指数1.3の直線で表される。即ち、歌手は自己発声音を2倍の大きさに感じるためには約4.5dB必要とする。
- (2) 歌手の発声音圧と聴者の知覚量の関係は、同じくベキ指数0.6の直線で表される。即ち、聴者が歌手の声を2倍の大きさに感じるためには約10dB必要とする。

謝辞

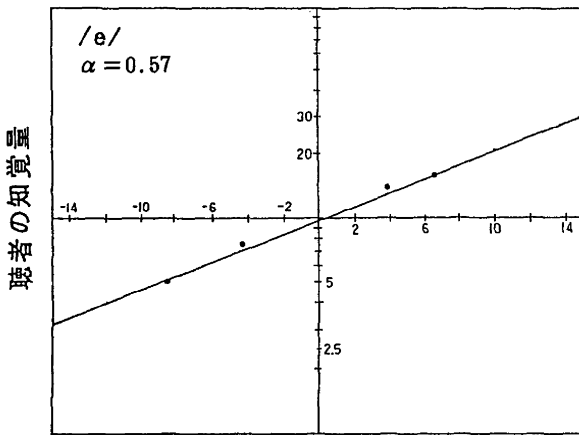
発声者の方々、被験者の皆様、そしてデータの解析とまとめにご協力いただいた本学音楽工学実験ラボの皆様、に心より感謝いたします。



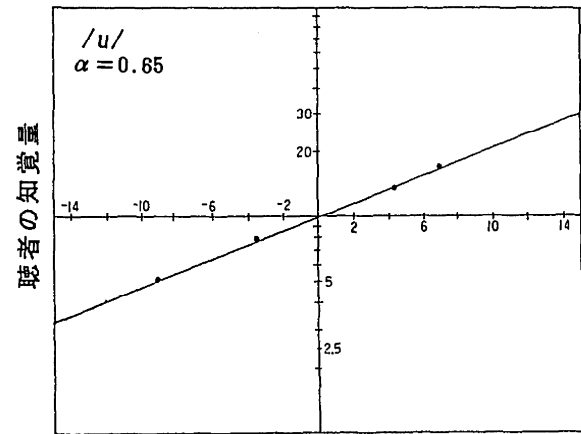
発声音圧レベル



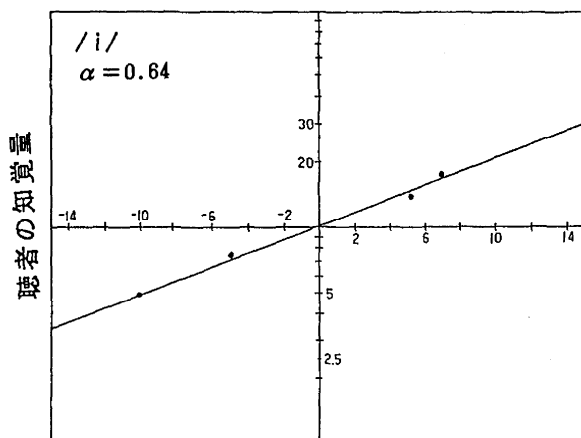
発声音圧レベル



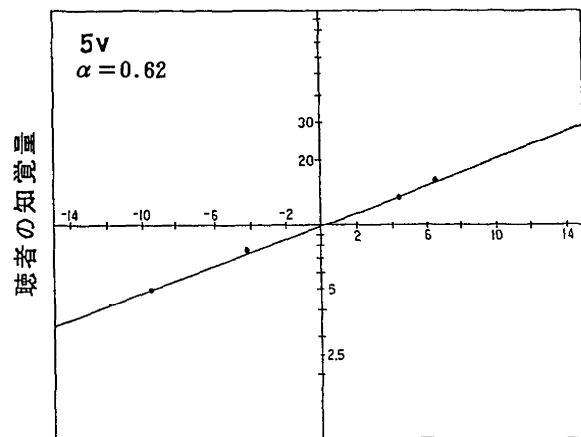
発声音圧レベル



発声音圧レベル



発声音圧レベル



発声音圧レベル

5vは5母音の平均

α は直線の傾き(ベキ指数)

図-2 母音ごとの歌手の物理量(音圧レベル)と聴者の知覚量の関係

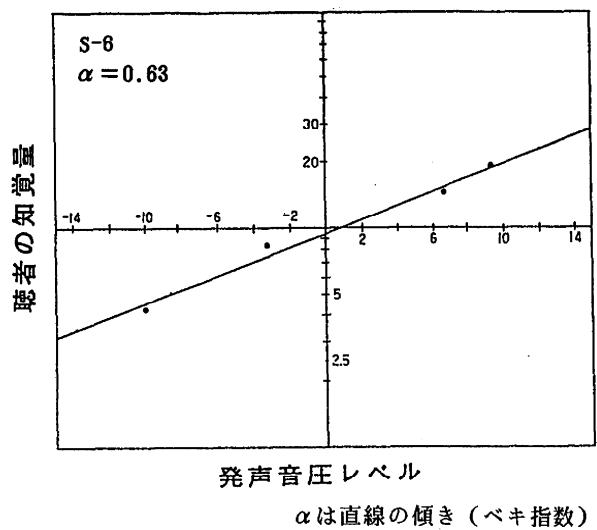
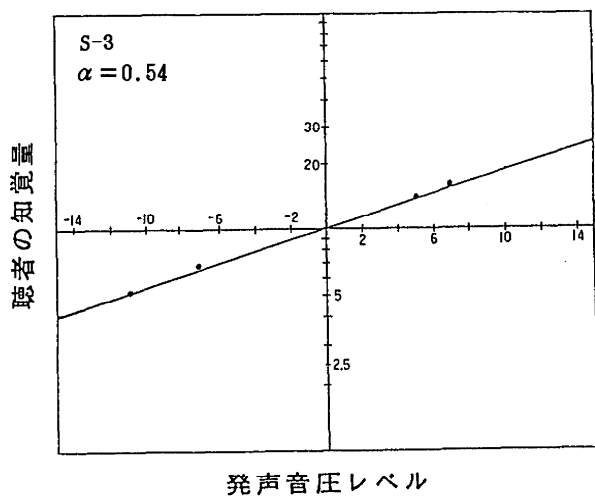
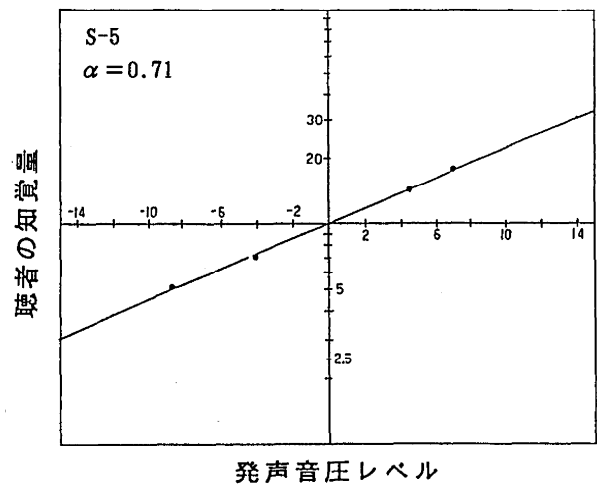
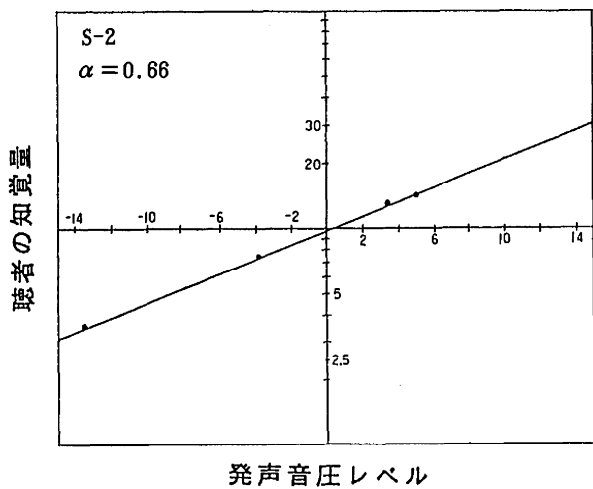
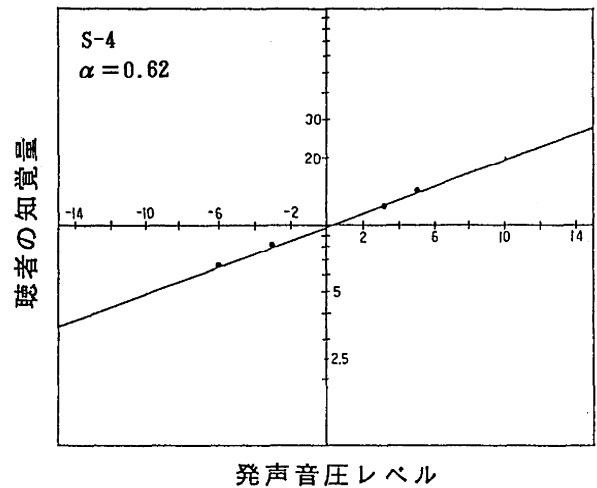
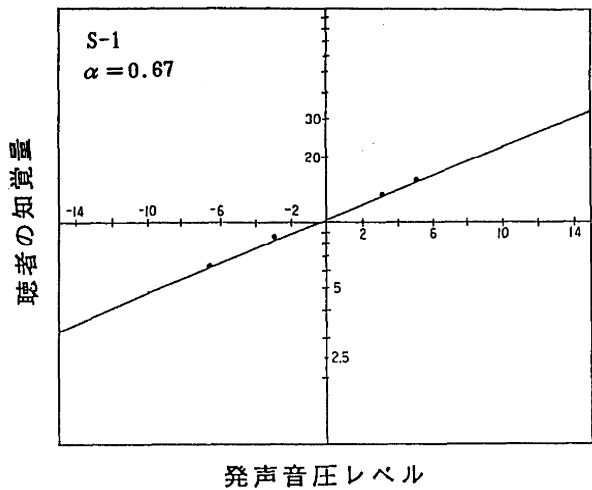


図-3 歌手ごとの歌手の物理量（音圧レベル）と聴者の知覚量の関係

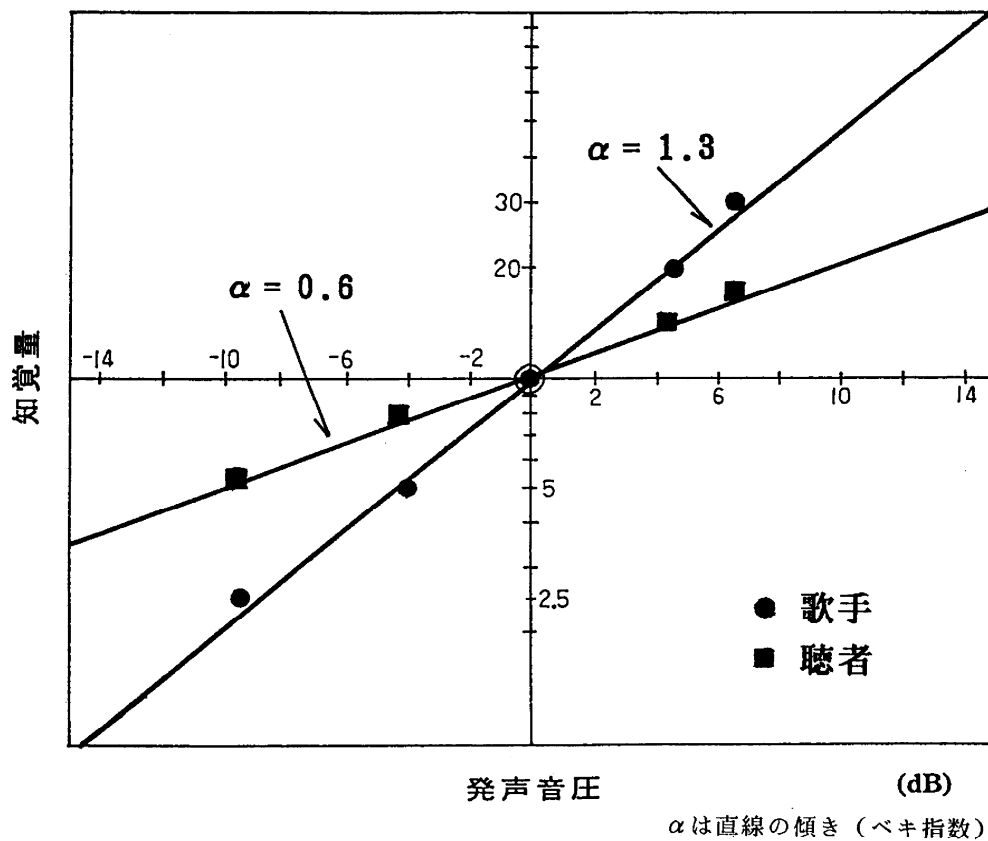


図-4 歌手と聴者の比較

参考文献

- 1). H.L.Lane, A.C.Catania, and S.S.Stevens, "Voice Level:Autophonic Scale,Perceived Loudness, and Effects of Sidetone," J. Acoust. Soc. Amer. 33, 160-167 (1961).
- 2). 柿崎祐一, 知覚判断(培風館, 東京, 1974), pp.73-100
- 3). 泉 清人, "大きさ," 聴覚ハンドブック, 難波精一郎編(ナカニシヤ出版, 京都, 1984), pp.90-138.
- 4). P.H.Lindsay and D.A.Norman (中溝幸夫, 箱田裕司, 近藤倫明共訳), 情報処理心理学入門 I (サイエンス社, 東京, 1983), pp.259-279
- 5). 大村 平, 実験計画と分散分析のはなし(日科技連出版社, 東京, 1984)
- 6). 渡辺 守, "撥音／ん／の歌唱時における周波数下降について," 大阪芸術大学芸術学部音楽学科卒業論文(1992)
- 7). 大村 平, 統計のはなし(日科技連出版社, 東京, 1969)
- 8). I. Nakayama *et al*, "Perception of loudness in autophonic production by singers," Proc. 1st. Int. Conf. on Music Percep. & Cog. (Kyoto, Japan) KD3-1, 359-364 (1989).
- 9). P.H.Lindsay and D.A.Norman (中溝幸夫, 箱田裕司, 近藤倫明共訳), 情報処理心理学入門 I (サイエンス社, 東京, 1983), p.149