

はじめに

可聴音工学に関する究極の問題は、音のきこえと音の物理的性質（特に音のきこえと音の物理的性質とを区別する必要のあるときは、前者を音、後者を音波とよぶ）との関係を解明し、その結果に基づいて音波の性質を制御し、目的とする音を制作することである。

上述の問題を究明するには、音のどのような側面について、どのような尺度を用いて、どのような評価方法によって評価すればよいのか、音波の性質をどのように数値化すればよいのか、さらにこれらの研究結果に基づいて音の評価システムを構成するにはどのような手法を用いればよいのか、ということが問題となる。

本報告書は、これらの問題に関する音の評価システムに関する調査委員会の基礎的な考え方の討議をまとめたものである。

第1章 音の諸側面と音色

1.1 評価対象音の分類

本委員会では、われわれが聴くことのできる音のすべてを評価対象として、音の評価システムのあり方の一般的な問題について討議を重ねてきた。現在、具体的に考えられる評価対象音を、音の評価に関係する種々の観点から分類すると表1.1のようになる。

表1.1 評価対象音の分類

(1) 音楽・音声・物音 音楽：楽器（機械楽器、電気楽器、電子楽器）の単音 楽器の音楽演奏音 音声：話声、歌声、合成音声 物音：機械の音、拡声器のビビリ音、放送等の効果音など
(2) 生の音・再生音 生の音：録音、再生の過程を経ないすべての音 再生音：マイクロホンなどにより録音し、伝送回路を経て拡声器などにより再生した音で、これらの電気音響変換器および伝送回路による歪を受けた音
(3) 自然音・人工音
(4) 受動的聴取音・能動的聴取音 受動的聴取音：環境音楽など 能動的聴取音：收音音響構成音など

(5) 騒音・快い音
(6) 単一音源・複数音源
(7) 音の時間構造による分類 音色が時間と共に変化しないもの 音色が時間と共に変化するもの
(8) 直接伝搬音・反射伝搬音 建築物内の音（ひびき、明瞭度が問題となる）
(9) 電話の音声
(10) P A音の音声・音楽
(11) 信号音：横断歩道の盲人用信号音、劇場の開幕音など
(12) 警笛音
(13) 診断のための音（官能検査） 聴音……聴診音、機械音（正常音、異常音が問題となる） 打音……打診音 物体音（タイルの接着状態、西瓜の熟れ具合、鋳物のす、拡声器・バイオリンの胴等の固有振動音など）

1. 2 音の諸側面

音には、音の大きさ、音の高さ、音の長さ、音色の四つの性質（属性ともよばれている）があるとされている。

音の大きさは、J I S Z 8 1 0 6 音響用語（一般）に次のように記されている。

番号	用語	意 味	対応英語（参考）
1 0 0 9	音の大きさ	音の強さに関する聴感上の属性。小から大に至る尺度上に配列される。 備考1.量記号はN、単位はソーン。 2.音の大きさのレベル40ホンの音を1ソーンとし、正常な聴力をもつ人がそのn倍の大きさと判断する音の大きさをnソーンと定義する。	loudness

また American National Standard ; Psychoacoustical Terminology,1960 (以下ANSと省略する) のLoudnessの項には、次のように記されている。

Loudness: Loudness is that attribute of auditory sensation in terms of which sounds may be ordered on a scale extending from soft to loud. The unit of loudness is the sone.

NOTE 1 : Loudness depends primarily upon the sound pressure of the stimulus, but it also depends upon the frequency and waveform of the stimulus.

NOTE 2 : The calculated loudness of a steady sound, in sones, is related to the loudness level, in phons, by the equation

$$n_s = 2^{(L-40)/10}$$

where n_s is the loudness in sones and L is the loudness level in phons. An approximate equivalent of the relation is given by

$$\log_{10} n_s = 0.03(L-40)$$

NOTE 3 : The specified relation defines the value of the sone (unit of loudness) as the loudness of a sound for which the loudness level is 40 phons.

NOTE 4 : A twofold change in loudness corresponds to an interval of 10 phons.

NOTE 5 : Experimental confirmation of this relation exists over the range 20 to 120 phons, and its use outside this range should be recognized as extrapolation.

NOTE 6 : Since loudness values obtained by subjective judgment may differ from those determined by other means, the conditions under which the loudness values were determined must be stated explicitly. Specific details and procedures for calculating loudness values from octave and one-third octave band sound measurements are given in ISO Recommendation R532(1966). (注: 現在は ISO Standard 532-1975(E)となっている)
Method for Calculating Loudness Level.(A, R131)

音の高さは、JIS Z8109およびANSには次のように記されている。

番号	用語	意味	対応英語 (参考)
4001	音の高さ	聴覚上の音の性質の一つで、高低で表現されるもの。 備考1. 音の高さは主として音の周波数に依存	pitch

		<p>するが、音圧や波形などにも関係がある。</p> <p>2. ある音の高さは正常な聴覚の人が聞いて、それと同じ高さをもつと思われる特定の音圧の純音の周波数で表すことがある。</p> <p>3. 音の高さの単位にはメル (mel) を用いる。感覚レベルが40 dBで周波数が1000 Hzの純音の高さを1000メルとし、正常な聴覚をもつ人が1メルのn倍の高さと判定する音の高さをnメルとする。</p>	
--	--	---	--

Pitch : Pitch is that attribute of auditory sensation in terms of which sounds may be ordered on a scale extending from low to high. The unit of pitch is the mel.

NOTE 1 : Pitch depends primarily upon the frequency of the sound stimulus, but it also depends upon the sound pressure and waveform of the stimulus.

NOTE 2 : The pitch of a sound may be described by the frequency or frequency level of that pure tone having a specified sound pressure level that is judged by subjects to produce the same pitch. (A)

音の大きさ、音の高さについては、ソーン尺度、メル尺度が作られていて、広く使用されており、またこれらの音の性質については音と音波の性質との関係も相当の程度まで解明されてきている。まだ問題が残されてはいるものの、本委員会ですらにこれらに関する問題を先ず第一に取り上げる必要は無いと考えられた。音の長さについては、上記の二側面に比べると、解明されていない問題は多く残されているが、音の評価で先ず問題になるのは、音色の評価である。そこで本委員会では、音色の評価を先ず取り上げることにした。

音色については、JIS Z8109 およびANSには次のように記されている。

番号	用語	意味	対応英語 (参考)
4002	音色 (ねいろ)	<p>聴覚上の音の性質の一つで、二音の大きさ及び高さがともに等しくてもその二音が異なった感じを与えるとき、その相違に対応する性質。</p> <p>備考 音色は音のスペクトル、波形、音圧及びそれらの時間的変化などに関係がある。</p>	timbre

Timbre : Timbre is that attribute of auditory sensation in terms of which a subject can judge that two sounds similarly presented and having the same loudness and pitch are dissimilar.

NOTE : Timbre depends primarily upon the spectrum of the stimulus, but it also depends upon the waveform, the sound pressure, the frequency location of the spectrum, and the temporal characteristics of the stimulus.(A)

音色の定義で現在広く使われているものは、上記のANSの音色の定義で代表できる。これはHelmholtzがOn the Sensations of Toneの中で述べている異なる楽器の音や歌声などを区別する音の性質としての音色に関する記述の一部¹⁾を踏襲したものといえる。Seashoreは²⁾timbreだけでは、音楽の中での音色の問題を取り扱うのには不十分であると考え、Metfesselが提案したsonanceを音色の概念の一つとして取り上げている。即ち、timbreが周波数スペクトルによってきまる音色を指すのに対して、sonanceは時々刻々と変化する音の性質に対応する音色を指すものとしている。

このANSのtimbreの定義の不明確さは最近になって幾人かの音色の研究者から指摘されはじめている。例えば、Risset, J.C.R.とWessel, D.L.は最近の著書の中で³⁾、ANSの音色の定義は謎のような定義であると述べている。さらに、音色の不変性の概念について述べ、例えば、サキソホーンの音が奏されれば、その音の大きさ、音の高さに拘らず、サキソホーンの音であると識別できる。さらに、歪の多いポケットラジオで聞いても、コンサートホールで聞いてもサキソホーンの音はサキソホーンの音である。このような音色をきめる音の物理的性質は何なのであるか。果してそのような音の物理的性質はあり得るのか、と述べている。

境⁴⁾は、「2音の大きさも高さも、ともに等しくても、その2音が異なった感じを与えるとき、その相違に対応する性質が音色であると説明されている。音の心理的性質から大きさと高さの要素を取り去った残りを音色というのであるから、不明確な定義といえるであろう」と、その著書の中に記している。

このようにHelmholtzの音色に関する考え方の一部を踏襲したと考えられるANSの音色の定義については、批判的な内容のいくつかの文献が見受けられるようになってきた。

音色に関する研究を具体的な問題について行ってみると、このANS流の音色の定義はたいへん曖昧なものであることに気づくと同時に、このような定義に厳密に従えば音色に関する研究を遂行することが不可能になる場合に遭遇することが多い。

即ち、ANS流の音色の定義に厳密に従えば音の大きさと音の高さとを同じにした場合にのみ音色を論じることができることになる⁵⁾。しかし、高さは同じであるが大きさの違うピアノの音とバイオリンの音を聞いた場合に、われわれはこの2つの音が違うのは、大きさの印象の違いにのみよるのではなく、ピアノの音とバイオリンの音の違いを大きさの違い以外の側面で強く印象づけられているのである。高さが違い、大きさが同じ場合、また大きさも高さも違う場合も同様に大きさ、高さ以外の、ピアノの音、バイオリンの音としての心理的側面が印象づけられるものである⁶⁾。

1.3 音色・音質

1.3.1 音色

音響学において、未知の領域として取り残されていた音色の意味内容を解明すること、および音色の評定を行うための音色表現語尺度を構成することを目的として、音色の因子分析的研究が種々の条件について行なわれてきた。その研究結果によれば、音色の主要三因子が常に抽出されている。その因子とは、きれいな、汚い、澄んだ、濁った、などに負荷量の大きい「美的因子」、迫力のある、もの足りない、太い、細い、厚みのある、薄っぺらな、などに負荷量の大きい「迫力因子」、および金属性の、鋭い、鈍い、などに負荷量の大きい「金属性因子」又は「刺激性因子」と命名出来ると考えられる三つの因子である⁶⁾⁷⁾。

この音色因子は、音色表現語をあるモデル設定に基づいてクラスターライズし、抽象化した表現であり、音色の意味内容のおおざっぱな輪郭を表現しているものである。この音色因子については広く知られているが、ここでは、下記のように音色について更に深く考察を加えてみることにしたい。

Helmholtzは上述の著書の中で音色について次のようにのべている。「同じ音の大きさと同じ音の高さで、ピアノ、バイオリン、クラリネット、オーボエ、トランペット、人声が同じ音符の音を奏したときこれらの楽器の音は大へん違っているので、音色によって、音の大きさと音の高さが同じであるにも拘らず、いとも容易にどの楽器が奏されたかをわれわれは認知するのである。」このあとでさらに深く、音色を次のように考察している。「音色の変化は無限である。同じ音符を奏することの出来る同じ属の楽器群、同じ種類のいくつかの楽器、いろいろの歌手の歌声などが、音色のさらに微妙な、われわれの耳で聞き分けることのできる違いを示すのみならず、同じ楽器を用いて幾種類かの音色の変化を演奏することが出来るのである。バイオリン属のような弦楽器は他のものよりもこのことが優れているが、しかし人声ではこの変化がさらに豊かである。」また別のところには、周波数スペクトルが変わることによって、「柔らかい、貧弱な、豊かな、鈍い、輝かしい」などと音印象が変わるということも書いている。

ここでわれわれが音を聞いたときのプロセスについて考えてみると、先ず一般的には、聞こえた音は何の音かということを知覚（同定）するものである。すなわち、発音源の識別を行うと考えられる。また太い、細い、鋭い、鈍いなどの音色表現語で表される印象とか、音の感覚の側面である音の大きさ、音の高さ、音の長さを意識することがあったり、それらに特に注意を向けたりすることがある。従って、音の諸側面を以下のように分類することが出来るものと考えられる⁸⁾。

- 1) 発音源識別の側面
- 2) 音色表現語的印象の側面
- 3) 感覚の側面
 - (1) 音の大きさ
 - (2) 音の高さ
 - (3) 音の長さ

一般に音色とよんでいる内容は、前述の音の諸側面の分類の中の1) 発音源識別の側面と、2) 音色表現語的印象の側面の二つであると考えればよい。Helmholtzがピアノとバイオリンの音の違いが分かるのは音色によると述べている音色の内容は上述の発音源識別の側面についてのものであり、柔らかい、貧弱な、豊かな、などと述べているのは、音色表現語的印象の側面についてのものである。

ANSやJISの音色 (Timbre) の定義は内容にやや不自然なところがあり、具体的に音色の研究を行う場合には実情に即さないものとなる。そこで、この報告書の中での音色は、ANSやJISの音色の定義によるものではなく、1) 発音源識別の側面と2) 音色表現語的印象の側面を意味するものとする。

このように音色の意味内容を考えると、音色を決める音波の性質は次のようになる⁹⁾。

- 1) 音の強さ
- 2) 音の周波数
- 3) 音響スペクトル
- 4) 音の成長状態、定常状態、減衰状態、継続状態
- 5) ビブラート
 - (1) 周波数のビブラート
 - (2) 振幅のビブラート
 - (3) 音響スペクトルのビブラート
- 6) ポルタメント
- 7) 1-6の性質の微少な不規則性

単音の場合には上述の性質を単独の各音について考えればよい。しかし、音楽のように多くの音が継時的に連なった場合、例えばスケールを弾いたときに真珠の珠を転がしたような音色というときには、その一連の音の中で各音の1-7の性質の連関性を考慮しなければならない。

1.3.2 音質

音色の他に音質という用語も、音質評価というように、よく使用されている。この用語が一般的に使用され出したのは、比較的新しいことと考えられるが¹⁰⁾、この用語の使用方法も種々の場合があり、今まで明確に定義して使われてきていない¹¹⁾。

当委員会では、日本音響学会誌の創刊号(昭和14年)から昭和60年までの目次の中に、“音質”の使われているものを拾い出し(表1.2参照)、その他一般に“音質”が多く使われている場合についても検討した結果、“音質”を次のような意味内容のものであると考えることとした。

「音質とは、発音源とか伝送系とかいったものの何らかの(例えば社会的、経済的)価値に関して音色を評価し、それが品質につながる場合に用いる用語である」

表 題	著 者	vol. p. 年号
残響の音質に及ぼす影響	屋	4 -23- (1943)
室内における音質の主観的評価に関する実験	柳沢、城戸、二村	19, 193- (1963)
スピーカの最低共振を変化したときの音質の弁別	曾根、城戸、二村	20, 235- (1964)
音質評価法の基本的考察	中山、越川、三浦	21, 209- (1965)
音質評価の方法論について	中山、三浦	22, 319- (1961)
音質の総合評価	中山、宮川、三浦	22, 332- (1961)
合成音場における音質評価に関する実践 (第一回反射音の遅延時間と反射音のレベルの効果) 音質の評価	柳沢、二村 三浦	26, 67- (1970) 26, 34-, 102- 161- (1970)
効果音の音質と今後のあり方	大木本	28, 306- (1972)
スピーカの音質と物理特性の関係	駒村、鶴田、吉田	33, 103- (1977)
音質評価研究の現状	中山	34, 87- (1978)
音質評価のための7属性	厨川、八尋、柏木	34, 493- (1978)
カテゴリ連続判断法による音質評価	難波、桑野、二階堂	38, 199- (1982)
スピーカエンクロージャの音質への影響	木村、稲水、松田	39, 121- (1983)

表1. 2 音質関係研究一覧

文献

- 1) H.L.F.Helmholtz ; On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music (Reprint of the second English edition, translated by A.J.Ellis and published in 1877) New York : Dover.
- 2) C.E.Seashore ; Psychology of Music, (McGraw-Hill, New York 1932) p.95-124.
- 3) J.C.R.Risset & D.L.Wessel ; Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis [D.Deutsch ; The Psychology of Music , p.24 Academic Press Co.]
- 4) 境 久雄 ; 聴覚と音響心理, 日本音響学会編 音響工学講座 コロナ社, p.74, 1978.
- 5) G.von Bismarck ; Timbre of Steady sounds : A Factorial Investigation of its Verbal Attributes, Acustica 30, p.146-159, 1974.
- 6) 北村 音一 ; 音色の因子と音色の考え方, 日本音響学会聴覚研究会資料、H-82-71, 1982.
- 7) O.Kitamura, S.Namba and R.Matsumoto ; Factor analytical research of tone colour, Rep.6th Internat. Congr.Acoustics, Tokyo, vol.1.p.A117-A120, Elsevier, Amsterdam. 1968.
- 8) O.Kitamura ; On the Definition of Tone color, Rep.12th Internat. Congr.Acoustics Tronto, vol.1, B-2-6, 1986.
- 9) 北村 音一 ; 音の世界と人間工学, 日本人間工学会第20回全国大会, p.14, 1979.
- 10) 北村 音一 ; 音色と音質の評価, 放送技術, p.75-81, 昭和60年10月
- 11) 北村 音一 ; 中国における音響紀行, 日本音響学会誌, vol.41 no.3 p.178, 1985.