



## トレーニングマニュアル 第2章

### LOGARITHMS AND DECIBELS

## ログリズムとデシベル

### ログリズム

サウンド・リフォーメントの中で仕事をしていると、幅広い範囲の音圧と電氣的パワーレベルを取り扱うこととなります。人間の耳は100万対1の音圧範囲を感じ取っています。ログリズム又はログというのは、このように大きな比率を持った数値を取り扱う上で簡潔な方法といえます。

簡単に言うと、何らかの数値のログリズムは基本数値がその数値を生み出すために累乗されなくてはならない指数力といえます。

$10^2 = 100$  それから  $\log_{10} 100 = 2$  そして  $\text{anti } \log_{10} 2 = 10^2 = 100$

$10^1 = 10$  それから  $\log_{10} 10 = 1$  そして  $\text{anti } \log_{10} 1 = 10^1 = 10$

$2^2 = 4$  それから  $\log_2 4 = 2$  そして  $\text{anti } \log_2 2 = 2^2 = 4$

10を底とするログリズムが便利であるがゆえに、われわれの仕事の中では最も良く使われます。ですから  $\log$  という記号(底を表していない)は10の底を含んでいることを意味しています。10を底とする対数は常用対数またはブリグシアン対数と呼ばれています。高等学校で微積分を習い始めると  $e = 2.718281828459045$  を底とする自然対数を使うことが多くなります。自然対数の底の数字は無限大に続きますが、普通は小数点以下5桁程度で四捨五入して使われます。自然対数はナピエリアン(Napierian)システムとも呼ばれ、'ln' という記号を使います。

対数表の作成はそれほど難しいことはありませんが、消耗する作業になります。幸運にもこの作業は数世紀前にブリグスとナピエールによってなされてし

まっています。この表が載った本をあちこちに持ち歩くのは重荷になるほど不便なことです。今では非常に詳細なログ数値を手持ち電卓で瞬時に出示してくれます。

私どもは10のログ数値が 1.0000 で100のログ数値は2.0000であることがわかります。10から100の間にある全ての数字の対数値は1.0000から2.0000の間にあることとなります: $\log_{10} 38 = 1.5798$  となります。言いかえれば10の1.5798乗は38になるのです。この原理を拡大していくと、100から1000までの間にある数字の対数値は2.0000から3.0000の間にあることとなります: $\log 474 = 2.6758$ 。10の2.6758乗は474ということになります。小数の左側にある数字は対数の指標(Characteristic)であり、小数の右側にある数字は対数の仮数(Mantissa)となります。対数処理していると仮数は勝手に正の数と仮定されますが、指標は正の数にも負の数にもなります。0から1の間にある全ての数値は負の数値になります。それゆえに0.000676という数値のログ数値は $-4 + 0.8299$  となります。書き方である $-4.8299$  は指標と仮数の両方がマイナスになっていることを表します。この数値は間違っているし、数学的に便利なものではないはず。それゆえにこの数値を $6.8299 - 10$  という負の表現に置き換えてみましょう。数字を表現する対数的方法は指数表記の形になりますから、広い範囲にわたる全ての数字は簡潔にかつ便利に扱えることとなります。対数の表現の特質や原理がどれだけ使われているかを見てみましょう。

## 対数の特質

私どもの作業で最も一般的なに対数を使うのは、掛け算と割り算の演算を簡単にするためです。対数を学習している世代や大多数の大人が言うように、掛け算や長除法は高等数学の分野となります。対数は足し算や引き算に比べてもっと簡単なものです。ですから数字を掛けたい場合には対数を使ってその数字を加え、それから逆対数を使って結果を確かめるのです。

例えば

$$\log (A \times B) = \log A + \log B$$

A と B がそれぞれ10である場合には

$$\log (10 \times 10) = \log 10 + \log 10 = 1 + 1 =$$

2

$$\text{anti log } 2 = 10^2 = 100$$

数字を対数の引き算を使って割ることができます。

$$\log (A/B) = \log A - \log B$$

A が100で B が10の場合には

$$\log (100/10) = \log 100 - \log 10 = 2 - 1$$

= 1

$$\text{anti log } 1 = 10^1 = 10$$

対数は他の数字の関係を計算するのにも使うことができます。対数で累乗することができます。数字の累乗をする対数はべき指数や累乗によって掛け合わされた数字の対数となります。

$$\log A^B = B \log A$$

対数を使ってルート of の根を開くことができます。数字のルートを使った対数は、ルートの指数で割られた数字の対数と等しくなります。

$$\log \sqrt[B]{A} = 1/B \log A$$

例として

$$\sqrt[3]{895} = (895)^{1/3} = 1/3 \log 895$$

$$\log 895 = 2.9518$$

$$1/3 \log 895 = 2.9518/3 = 0.9839$$

$$\text{anti log } 0.9839 = 9.64$$

したがって

$$\sqrt[3]{895} = 9.64 \quad \text{有効数字が三桁}$$

逆数を求めるために対数を使うことができます。

$$\log (A/B) = - \log (B/A)$$

逆数の対数は 'colog' と呼ばれます。我々が作業する多くの逆数が 1 という分子を持っているので、この数式を置き換えて colog 法を使って 1/63 という数字を例に作業してみましょう。

$$\text{colog } A = \log 1/A = - \log A/1 = - \log 1$$

$$\text{colog } 63 = \log 1/63 = \log 1 - \log 63$$

$$\log 1 = 0 = 10.0000 - 10$$

$$\log 63 = 1.7993$$

$$\text{colog } 63 = 8.2007 - 10 = \bar{2}.2007$$

皆様が理解をしているように、この例も負の対数における実用的な用途のように見えます。マイナス記号はその前ではなく数字の上に置きますが、実用目的では正形式である 8.2007-10 が全ての計算が完了するまでの対数を表す方法となります。

デシベル

電力比

dB というのはサウンド・リソースメントの中で仕事をする上で数量の比率を説明するのに最も広く使われます。私達はしきりに電力、電圧、電流、音圧レベル(SPL)そして dB に似たものを言葉で表します。dB 表される数量はどれでも常に比率を表しています。dB について完璧に理解することは、サウンドを請け負う仕事には必要不可欠の物です。

根本的には、ベルが 10 を底とする対数を電力比に使うように決めました。

$$\text{Bel} = \log (P_1/P_2)$$

デシベルというのは私どもの仕事に使うのに一層便利なもので、電力の比率の 10 を底とする対数を 10 倍するように定義されています。

$$\text{dB} = 10 \log (P_1/P_2)$$

これを実証するために 1、2 の例があります。P<sub>1</sub> = 2、P<sub>2</sub> = 1 としてみましょ。そうすると

$$\text{dB} = 10 \log (2/1) = 10 (.301) \approx 3 \text{ dB}$$

1 と 2 が含まれる数量は 3dB の比率になると言われています。私達はこれを 2 通りの方法で言い表します。2倍というの1倍に比べて 3dB 大きい。または、1倍というの2倍よりも3dB 小さい。

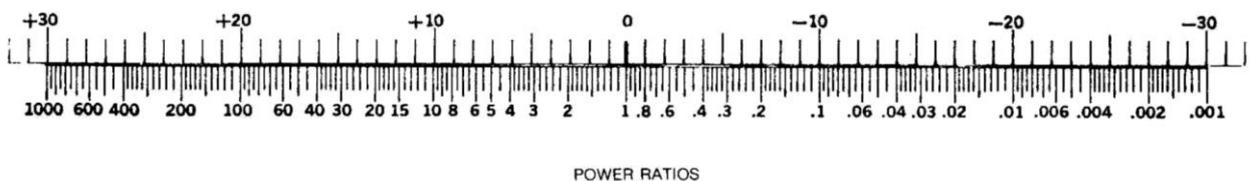
他の例題があります。P<sub>1</sub> = 10、P<sub>2</sub> = 1 とするとその比率は 10 dB となります。

$$\text{dB} = 10 \log (10/1) = 10 \text{ dB}$$

公式さえ分かっていたら dB を迅速に表すことができるために、これらの2種類の情報項目は非常に役に立つものです。10対1で上昇する電力比は+10 dB となり、10対1で減少する電力比は -10 dB となります。例えば 1000 対 100、1 対 0.1、0.001 対 0.0001 等も同様です。さらに、2 対 1 の電力比率の増加は数量に関係なく+3dB となり、2 対 1 の電力比率の減少は数量に関係なく-3dB ということとなります。例えば 6 対 3、4 対 2、4000 対 2000 等も同じことです。

4 対 1 の dB 値は幾つになるのでしょうか？ 4 対 1 の比率は 3dB であり、2 対 1 の比率は 3dB となります。従ってトータル比率は 6dB であることとなります。

さて、20 対 1 の電力比を計算してみましょ。20 対 10 という比率は 2 対 1 という比率と同じになり 3dB ということになり、10 対 1 が 10dB ですから合計は 13dB ということになります。図 2.1 はパワー比率と対応する dB 値の関係を表しています。dB というのは常に比率を表していることを覚えていてください。

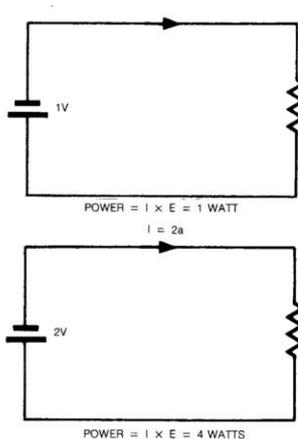


上のカーソルが dB、下のカーソルが電力比

図 2.1

## 電圧と電流の比率

普通は電氣的そして音響的システムにおいて直接電力を測定することはしません。その分電圧、電流そして音圧の数値は測定することができます。同じ負荷で働いている 1 ボルトや 2 ボルトに対応する電力比率を計算すると何が分かるか考えてみてください。図 2.2 はこれらの関係を表しています。



上図 電力  $I \times E = 1 \text{ワット}$

下図 電力  $I \times E = 4 \text{ワット}$

図 2.2

2 対 1 の電圧または電流が固定された負荷に流れると、4 対 1 の電力比になることに注意して下さい。ですから電圧と電流の比率は簡単に dB で表すことができます。

$$\text{dB} = 20 \log (V_1/V_2) \text{ または } 20 \log (I_1/I_2)$$

### 幾つかの練習問題

#### 問題 1

50 ボルト対 2 ボルトの dB 比は幾つになりますか？

回答

50 から 100 に増加をすると +6dB になります

100 から 200 に増加をすると +6dB になります

200 から 20 に減少すると -20dB になります

20 から 2 に減少すると -20dB になります

従って、 $+6 + 6 - 20 - 20 = -28 \text{ dB}$  となります。前に述べたことを思い出せば、50 ボルトというのは 2 ボルトよりも 28dB 大きいというのか、2 ボルトというのは 50 ボルトよりも 28dB 小さいということになります。前と同様に、一定の負荷インピーダンスとしています。

#### 問題 2

2 ボルトから 2.5 ボルトに比率が増加すると dB では幾つになるのでしょうか？

回答

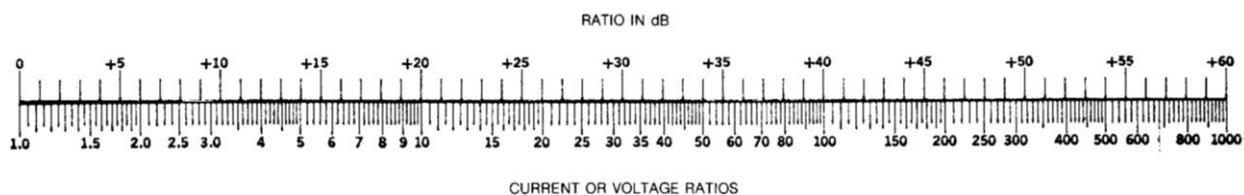
2 から 1 に減少すると -6dB

1 から 10 に増加すると +20dB

10 から 5 に減少すると -6dB

5 から 2.5 に減少すると -6dB

全てを足し合わせると  $-6 + 20 + -6 - 6 = +2 \text{ dB}$  となります。従って、2 ボルトから 2.5 ボルトへの増加比率は 2dB ということになります。ですから 2 対 1 や 10 対 1 の比率を知っていれば、これからも比率が様々な変化しても対応ができるのです。図 2.3 は電圧と電流の比率と対応する dB 比率との関係を表したものです。



上のカーソルは dB、下のカーソルは電流または電圧の比率

図 2.3

## 音圧の比率

音圧の比率は電圧や電流の比率と同じ動作をします。2対1の音圧比率は6dBとなります。これから述べる方法に表されています。

無指向性の音源を考えてそれが1フィートという固定された音響パワー出力を出していると仮定して下さい。球体の面は $4\pi r^2$ として表されます。1フィート離れた放射距離では、1フィートの総パワーは $4\pi 1^2$ フィート<sup>2</sup> =  $4\pi$ 平方フィートという面積を通り抜けていきます。これは12.56平方フィートになります。2フィート離れた場所では、 $4\pi 2^2$ 平方フィート =  $16\pi$ 平方フィートすなわち50.24平方フィートになります。この面積差は4

対1の比率になり、単位面積あたりのパワーも4対1に比率になります。1フィートの半径において測定されたdB SPLは2フィートの半径において測定された音圧よりも6dB SPLの差があることを表しています。音響パワー(電気的パワーのようなもの)は音圧の2乗に比例しています。

$$6\text{dB} = 10 \log (P_1/P_2)^2 = 20 \log (P_1/P_2)$$

従って $P_1$ (1フィートで測定された音圧)と $P_2$ (2フィートで測定された音圧)は2対1の比率になっています。それゆえに

$$\text{dB} = 20 \log (P_1/P_2) = 20 \log (2/1) = 6\text{dB}$$

## 逆二乗法則

以前に述べた説明で“逆二乗法則”が分かりやすくなっています。自由音場(反射と残響がない空間)における観察では、距離が倍になるに従って6dBずつ音圧が落ち、距離が10倍になると20dB音圧が落ちてきます。その法則は分析に基づいて説明されてい

ます。

$$\text{dB} = 10 \log (D_1/D_2)^2 = 20 \log (D_1/D_2)$$

音源からの距離が増えていくに従って音圧の減衰が分かる便利な逆二乗法則ノモグラフが図2.4に示されています。

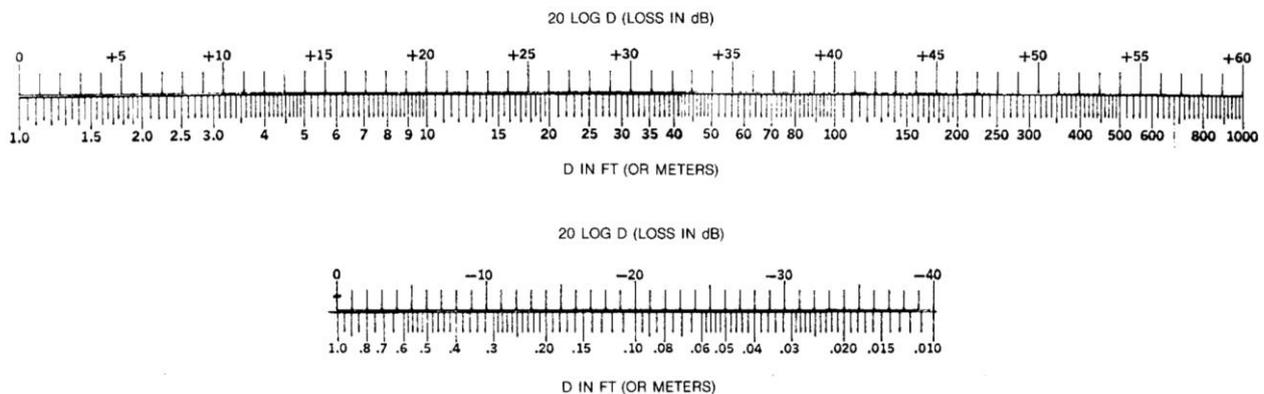


図 2.4

## リファレンスレベル

“ゼロ dB”は電力であろうが音圧にでも使うことができる、取り決めにより使いやすく固定された基準点で

す。サウンドを請け負う仕事では dBm と dB SPL の 2 種類の取り決めを使って関わることになります。

### dBm

0 dBm は 600 Ω の負荷に 1 ミリワットがかかっている状態と定義されています。これに付随する電圧は 0.778 ボルトになります。幾つかの基本的関係は次のようになります。

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ ミリワット} (0.001 \text{ W})$$

$$10 \text{ dBm} = 10 \text{ ミリワット} (0.01 \text{ W})$$

$$20 \text{ dBm} = 100 \text{ ミリワット} (0.1 \text{ W})$$

$$30 \text{ dBm} = 1 \text{ W}$$

$$33 \text{ dBm} = 2 \text{ W}$$

$$36 \text{ dBm} = 4 \text{ W}$$

$$40 \text{ dBm} = 10 \text{ W}$$

### VU メーター

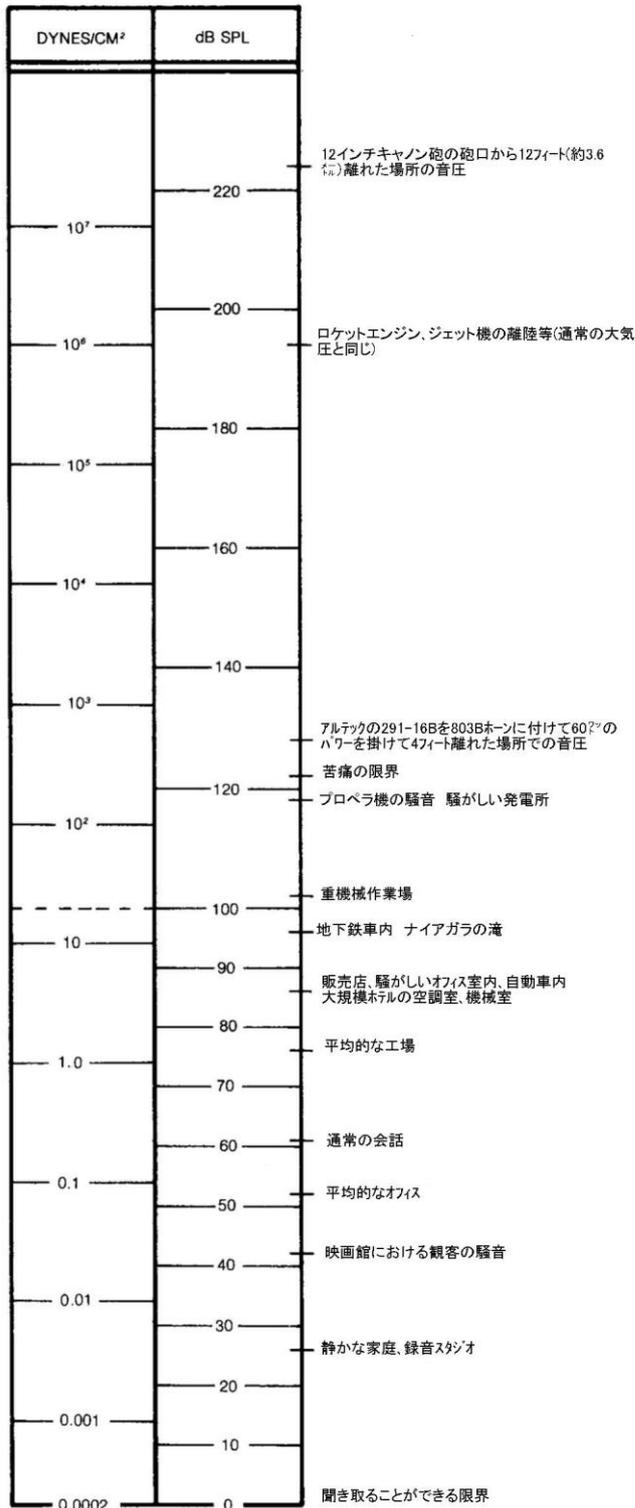
VU(ボリューム単位)メーターはサウンドシステムにおける電氣的レベル監視用に広く使われています。普通に売られている状態では、パワーレベルが 600 Ω ラインにおいて 0 dBm である場合に VU メーターが 0 VU を示すようになっています。しかしながらたびたび増幅器、減衰ネットワーク、ときには可変装置といった、もっと高いレベルでゼロを示すことになるものが接続されます。最も普遍的なものは、パワーレベルが +4 dBm と +8 dBm に対してゼロを読み取ることができる固定された減衰ネットワークになります。

VU メーターはピークの信号値を読みません。VU メーターは非常に短い時間の高いエネルギーを持ったピークに応答できません。従って、あるパワーアンプが仮に 18 dBm という出力能力を持っているとすれば、出力を見ている VU メーターは +4 dB において 0 を読むように調整されなくてははいけません。最低の歪みで瞬時のプログラムピークを扱うのに十分な、メーター値 0 の上に 14 dB の“ヘッドルーム”を持つこととなります。この考え方はこれからの教育過程でもっと詳細に論議されることでしょう。

### dB SPL

0 dB SPL は 1 平方センチメートルあたり 0.0002 dyne(0.0002 dyne/cm<sup>2</sup>)の音圧レベルを受けている状態として定義されています。最近では、用語 0 dB = 20 μ N/M<sup>2</sup> が進歩した容認された学説として使われています。両方の用語とも互換性があります。dyne というのはグラムセンチメートル/秒(cgs)という力の単位で、1 グラムの容量を持った物質を 1 秒間に 1cm

加速するために与える力ということになり、1 cm/sec<sup>2</sup> ということになります。0 dB SPL は人間が聞き取ることができる音圧限界となり、私どもが日常的に聞く会話や音楽といったものは、60 から 85 dB SPL の範囲にあります。図 2.5 は広い範囲の音圧レベルとそれに対応する dB レベルを書いています。



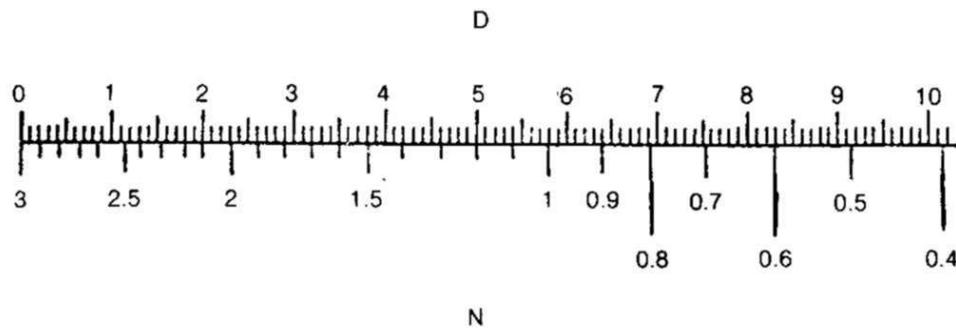
← 図 2.5

## パワーレベルのまとめ

パワーレベルがある基準レベル以上でdBとして表示されるとすれば、その総和を取ろうとしても2種類の数値をdBとして単純に足すことはできません。どちらも 97 dB の音圧を出すことができる2本のラウドスピーカーがあるとして、両方を同時に鳴らしても 194 dB の音圧を出すことができるわけではありません。平均値を取ればその合計音圧は 100 dB となります。この答に応じることができる一つの方法は、2本のラウドスピーカーが出すもの出力レベルを変換しなくてはならなくて、それぞれのパワーレベルに戻って ( $10^{97/10} = 5011872336$ )、それらを加え ( $5011872336 \times 2 = 1.0024^{10}$ )、そしてそれを dB に変換する ( $10 \log 1.0024^{10} = 100$ ) という手順をとるのです。これは退屈な仕事になります。幸せなことにこの和を直接計算できる簡単な図式の道具があるのです。この表は図 2.6 に示されています。

両方が 97 dB SPL である二つのパワーレベルがあると仮定して下さい。その音圧差は 0 ですから、図 2.6 を参照して 3 dB SPL を足すと全体パワーレベルが 100 dB SPL になります。音圧レベルが 97 dB と 95 dB のラウドスピーカーがあると仮定して下さい。その音圧差は 2 dB ですから図 2.6 を見ると 2.2 dB SPL を高い出力レベルに加えると 99.2 dB SPL になります。出力レベルが 97 dB SPL と 91 dB SPL の2本のラウドスピーカーがあるとすると、1 dB SPL だけ上昇して全体のレベルは 98 dB SPL ということになります。これ以上、仮に 10dB の音圧差があるラウドスピーカー

を加える場合には、結果として出てくる平均レベルは現在存在している2本の音響レベルの高い方の数値とほとんど差がありません。



SUMMING SOUND LEVEL OUTPUT OF TWO LOUDSPEAKERS, WHERE D IS THEIR OUTPUT DIFFERENCE IN dB SPL. N IS ADDED TO THE HIGHER LEVEL TO DERIVE TOTAL LEVEL.

- 2本のラウドスピーカー出力レベルの和
- DはdB SPLで表される出力レベル差
- Nは高いほうの音圧レベルに加える数値

図 2.6

## 電圧、dBV、dBu/dBm 変換表

Sound System Engineering

**Voltage versus dBV and dBu/dBm (600 Ω)**

Volts	dBV	dBu/dBm	Volts	dBV	dBu/dBm
100.00	40.00	42.22	158.5m	-16.0	-13.8
31.62	30.00	32.22	141.3m	-17.0	-14.8
28.18	29.00	31.22	125.9m	-18.0	-15.8
25.12	28.00	30.22	112.2m	-19.0	-16.8
22.39	27.00	29.22	100.0m	-20.0	-17.8
19.95	26.00	28.22	89.13m	-21.0	-18.8
17.78	25.00	27.22	79.43m	-22.0	-19.8
15.85	24.00	26.22	70.79m	-23.0	-20.8
14.13	23.00	25.22	63.10m	-24.0	-21.8
12.59	22.00	24.22	56.23m	-25.0	-22.8
11.22	21.00	23.22	50.12m	-26.0	-23.8
10.00	20.00	22.22	44.67m	-27.0	-24.8
8.913	19.00	21.22	39.81m	-28.0	-25.8
7.943	18.00	20.22	35.48m	-29.0	-26.8
7.079	17.00	19.22	31.62m	-30.0	-27.8
6.310	16.00	18.22	28.18m	-31.0	-28.8
5.623	15.00	17.22	25.12m	-32.0	-29.8
5.012	14.00	16.22	22.39m	-33.0	-30.8
4.467	13.00	15.22	19.95m	-34.0	-31.8
3.981	12.00	14.22	17.78m	-35.0	-32.8
3.548	11.00	13.22	15.85m	-36.0	-33.8
3.162	10.00	12.22	14.13m	-37.0	-34.8
2.818	9.000	11.22	12.59m	-38.0	-35.8
2.512	8.000	10.22	11.22m	-39.0	-36.8
2.239	7.000	9.218	10.00m	-40.0	-37.8
1.995	6.000	8.218	8.913m	-41.0	-38.8
1.778	5.000	7.218	7.943m	-42.0	-39.8
1.585	4.000	6.218	7.079m	-43.0	-40.8
1.413	3.000	5.218	6.310m	-44.0	-41.8
1.259	2.000	4.218	5.623m	-45.0	-42.8
1.122	1.000	3.218	5.012m	-46.0	-43.8
1.000	0.000	2.218	4.467m	-47.0	-44.8
891.3m	-1.00	1.218	3.981m	-48.0	-45.8
794.3m	-2.00	0.218	3.548m	-49.0	-46.8
775.0m	-2.18	0dBm	3.162m	-50.0	-47.8
707.9m	-3.00	0.782	2.818m	-51.0	-48.8
631.0m	-4.00	-1.78	2.512m	-52.0	-49.8
562.3m	-5.00	-2.78	2.239m	-53.0	-50.8
501.2m	-6.00	-3.78	1.995m	-54.0	-51.8
446.7m	-7.00	-4.78	1.778m	-55.0	-52.8
398.1m	-8.00	-5.78	1.585m	-56.0	-53.8
354.8m	-9.00	-6.78	1.413m	-57.0	-54.8
316.2m	-10.0	-7.78	1.259m	-58.0	-55.8
281.8m	-11.0	-8.78	1.122m	-59.0	-56.8
251.2m	-12.0	-9.78	1.000m	-60.0	-57.8
223.9m	-13.0	-10.8	891.3u	-61.0	-58.8
199.5m	-14.0	-11.8	794.3u	-62.0	-59.8
177.8m	-15.0	-12.8	707.9u	-63.0	-60.8

*/continued over page*

**KLARK TEKNIK**  
The first name with sound system designers

Sound System Engineering

Volts	dBv	dBu/dBm	Volts	dBv	dBu/dBm
631.0u	-64.0	-61.8	125.9u	-78.0	-75.8
562.3u	-65.0	-62.8	112.2u	-79.0	-76.8
501.2u	-66.0	-63.8	100.0u	-80.0	-77.8
446.7u	-67.0	-64.8	89.13u	-81.0	-78.8
398.1u	-68.0	-65.8	79.43u	-82.0	-79.8
354.8u	-69.0	-66.8	70.79u	-83.0	-80.8
316.2u	-70.0	-67.8	63.10u	-84.0	-81.8
281.8u	-71.0	-68.8	56.23u	-85.0	-82.8
251.2u	-72.0	-69.8	50.12u	-86.0	-83.8
223.9u	-73.0	-70.8	44.67u	-87.0	-84.8
199.5u	-74.0	-71.8	39.81u	-88.0	-85.8
177.8u	-75.0	-72.8	35.48u	-89.0	-86.8
158.5u	-76.0	-73.8	31.62u	-90.0	-87.8
141.3u	-77.0	-74.8			

## dB 比

dB で表す電圧比= $20\log_{10}E1/E2$

パーセンテージとして説明する dB で表す電圧比

$$\% = 100 \times 10^{\pm dB/20}$$

dB として説明する%で表す電圧比

$$dB = 20\log(\%/100)$$

dBで表される電力比= $10\log_{10}P1/P2$

パーセンテージとして説明する dB で表す電力比

$$\% = 100 \times 10^{\pm dB/10}$$

dB として説明する%で表す電力比

$$dB = 10\log(\%/100)$$

dB SPL(Lp)= $20\log(SPL_2)/0.00002$

ここで SPL<sub>2</sub> は 0.00002 Newton/m<sup>2</sup> または 20 マイクロ・パスカルと相対する音圧レベル

dB PWL(Lw)= $10\log((Acoustic\ Power)/(10^{-12}\text{ ワット}))$

参考文献:T・H・E Audio System Designer TECHNICAL REFERENCE