

『連載ラウドネス講座』

第 2 回 ラウドネスの要素 (その 1)

技術委員会 オーディオ基準小委員会 丸谷 正利

前回は、ラウドネスの基本知識、ITU-R の勧告、True-peak、素材のレベル検証実験について述べました。第 2 回はラウドネスを測定する際に必要な要素について説明します。また、第 1 回で述べた ITU-R BS.[LOUD]は、正式に勧告 BS.1864 として発行されました。

1 ラウドネスとラウドネスレベル

ラウドネスの基本は第 1 回で説明しました。おさらいすると、

- ①ラウドネスとは人の感じる音の大きさのことである。
- ②同じ音圧レベルでも周波数が異なれば音の大きさ (ラウドネス) に違いが生じる (ISO の等ラウドネス曲線)。
- ③ラウドネスとラウドネスレベル、音圧レベルの関係は、1kHz 純音の場合、

$$1 \text{ sone} = 40 \text{ pone} = 40 \text{ dB SPL}$$

になる。

- ④1kHz 純音では音圧レベルが 10dB 大きくなるとラウドネスが 2 倍になる。

となります。前回で、ISO 226 等ラウドネス曲線は、純音について同じラウドネスレベルをプロットしてグラフ化したものと話しました。1kHz 純音では音圧レベルが 10dB 大きくなると、ラウドネスも 2 倍 (2 sone) になり、逆に音圧レベルが 10dB 低くなるとラウドネスも半分 (0.5 sone) になります。この関係を表-1 に示します。

1kHz 純音 音圧レベル	ラウドネス Loudness	ラウドネスレベル Loudness level
30dB	0.5 sone (0.5 倍)	30 phon
40dB	1 sone (基準)	40 phon
50dB	2 sone (2 倍)	50 phon
60dB	4 sone (4 倍)	60 phon
80dB	16 sone (16 倍)	80 phon
100dB	64 sone (64 倍)	100 phon

表-1 音圧レベルとラウドネスの関係

他の周波数もほぼ同じような傾向を示しますが、低域周波数になると音圧レベルとラウドネスの関係が 2 倍以上になります。20Hz 付近では音圧レベルを 10dB 大きくするとラウドネスは約 4 倍になります (第 1 回の図-1 参照)。

1kHz 純音のラウドネス(S)は下式を使って求めることができます。

$$\text{Loudness}(S) = 2^{(L-40)/10} \text{ (sone)}$$

; L=音圧レベル

したがって、L=40dB SPL のときは、

$$2^{(40-40)/10} = 2^0 \text{ から } S=1$$

L=60dB SPL のときは、

$$2^{(60-40)/10} = 2^2 \text{ から } S=4$$

L=30dB SPL のときは、

$$2^{(30-40)/10} = 2^{-1} \text{ から } S=0.5$$

となります。

また、ラウドネスレベルは下式で求めることができます。

$$\text{Loudness level}(L_N) = \ln(P_{\text{eff}}/P_0)_{1\text{kHz}} \text{ (phon)}$$

; P₀=基準音圧(20uPa)、P_{eff}=被測定音圧

2 sone・phon と LKFS の違い

ここまで読んできて、ITU-R の勧告がなぜラウドネスの単位に ISO の sone や phon を使わず、LKFS を使っているのか疑問に感じる方もいるでしょう。計測に関する国際標準規格は ISO/IEC で策定していますが、ラウドネスについては表-2 のように定義されています (ISO 31-7、現在は ISO 80000 シリーズとし

て再構成)。

定義をみると分かるように ITU-R のラウドネス算出アルゴリズムは ISO の定義と異なっています。ISO のラウドネスは音圧レベルと同じように、実際に人が聴取している音(大気の圧力変化)を測定するのに対し、ITU-R は録音レベル(データ)による計算となっており、根本的に算出方法が異なっています。

つまり、ISO はラウドネスの絶対値(再生音のラウドネス)を求めるのに対して、ITU-R のラウドネスは相対値(絶対レベルが不定なラウドネス)を求めていると言えます。-24LKFS の音声信号は視聴者のボリュームコントロールにより自由なラウドネスレベルで再生できるわけです。

名 称	記号	定 義	単位
Loudness level	L_N	$L_N = \ln(P_{\text{eff}}/P_0)_{1\text{kHz}}$	phon
Loudness	L	loudness level of 40 phons	sone

表-2 ISO 31-7 の Loudness 規定の一部

ITU-R のラウドネス規定は、音声の録音レベルを規制して“視聴者にレベル差の少ない番組を提供する”のが目的です。視聴者が実際にどの位のラウドネスレベルで視聴するかを決めているものではありません。

3 ラウドネス測定の要素

次にラウドネスを測定するために必要な要素について述べます。ラウドネスを測定するには「聴覚の周波数特性」と「聴覚のマスク効果」の二つが重要な要素となります。

聴覚のマスク効果は「スペクトルマスク効果」と「テンポラルマスク効果」の 2 つに分けられ、聴覚の周波数特性と合わせて「ラウドネスの 3 要素」と呼ばれています。

マスク効果は MP3 や AAC、Dolby Digital など、多くの音声圧縮方式でビット圧縮に利用されています。残念なことに ITU-R のラウドネス測定アルゴリズムでは「聴覚の

マスク効果」が考慮されていません。

3.1 聴覚の周波数特性

聴覚の周波数特性は ISO 226 等ラウドネス曲線(第1回の図-1)で示されるように、周波数に対する“耳の感度”を表したものですが、人の聴覚は周波数に対して平坦ではありません。例えば音圧レベル 80dB の純音をみると、1kHz では 80phon の大きさに感じますが、低域の 125Hz では 70phon 程度、つまり半分の大きさにしか感じません。125Hz の音を 1kHz と同じ大きさに感じさせるためには 90dB の音圧レベルを必要とします。63Hz ではその差はもっと大きく約 98dB の音圧レベルが必要になります。

これは高域も同じで 5kHz を超えると“感度”が悪くなり、10~12kHz 付近でピークとなっています。しかし、レベルメータで見ると 80dB の音は周波数に関係なくすべて同じ振れをします。これが人の感じる物理量と感覚量の違いとなります。レベルメータでは同じように振れていても、感じる音の大きさが違うわけです。

したがって、ラウドネス測定では周波数による物理量と感覚量の違いを補正する必要があり、これを特性カーブ(補正カーブとも言う)と呼んでいます。

(次回へ続く)