

Magnitude Estimation 法による 衝撃音の等ラウドネス曲線測定を試み

加 藤 徹・難 波 精一郎*・桑 野 園 子*

A Measurement of Equal Loudness Contour
of Impulsive Sounds by Magnitude Estimation.

Tohru KATO, Seiichiro NAMBA* and Sonoko KUWANO*

は じ め に

任意の音のラウドネス（聞こえの大きさ）を求める基本的手続きは、その音と1 kHz 純音とのラウドネスマッチングをおこない、同じラウドネスとなる1 kHz 純音の音圧レベルを測定することである。調整法などはこの代表例であるが、このように二つの刺激間での比較判断が基礎になる手法のみで、あらゆる音のラウドネスを同じように測定できるとは限らない。例えば、他の刺激変数は同じでラウドネスのみ異なっているような刺激間での比較判断は、極めて容易である。しかし、エンベロープも周波数も異なる刺激間での判断は、逆に極めて困難になる。ラウドネス測定のような心理実験で課題が困難なものになることは、単に被験者の負担を増すためだけでなく、判断結果がその実験状況に限定され一般性を欠く可能性を増すと考えられるので、極力避けるべきである。

最近の心理実験でも、時間的な変動を持つ刺激音が使用されることが増えてきた。レベル変動だけを考えても、そこに含まれるバリエーションは無数であって、実験に使用する刺激の一般性を確保するためにどの程度の変動範囲を押さえればよいかの目安も立ち難い。このような場合には、どうしても使用する刺激の数も種類も増加してしまう。このような状況でラウドネス測定に使用できる手法として、Magnitude Estimation 法（以下 ME 法と略記）を挙げることができる。

Stevens, S. S. が ME 法を提唱した初期には、標準刺激と比較刺激間での比判断を求める形

* 大阪大学教養部心理学教室（College of General Education, Osaka University）

式が採られていたが、後には標準刺激を廃し単一刺激に数値をマッチングさせるという面が強調されることになった (Stevens, 1975)。この手法は、難波 (1986) に紹介されているように、最近、利用される機会が多くなり、成果を生み出している。ME 法の理論的背景に関しては、これまでも多くの批判が加えられてきたし、最近も、吉田 (1986) に紹介されているような新しい立場からの検討が加えられている。しかし、現実以上に述べたような状況で反応を測定したい者にとっては、ME 法は魅力的な手法である。なお、Berglund, M. B. 達は ME 法を基に Master Scaling と呼ぶ手法を開発している (e.g., Berglund, 1991; 泉, 1987) が、ここでは名前を挙げるにとどめる。

ここで我々が測定しようとするものは、衝撃音のラウドネスである。衝撃音とは、ISO 2204 (1973) や IEC pub. 179 A (1973) などには、持続時間 1 sec までのバースト音やパルス音、あるいはその連続するものとして定義されているが、更に、様々な立ち上がり時間や減衰時間を持つ音も含まれる。実際、上の定義には問題があって、まず定常音のラウドネスは持続時間によらないという原則があり、現実には持続時間 500 msec から 1 sec の定常音がラウドネス測定に使用されている。しかし、音の持続時間が短くなると、種々の時間条件がラウドネスに影響を持ち始めるのであって、そのような音を特に衝撃音と呼んでいる。

このように持続時間の短い音のラウドネスについては、一方で聴覚の立場から研究がなされてきた。持続時間の短いバースト音の閾値やラウドネスは聴覚の基本的特性を示すものと考えられ、Scharf (1978) には主要な研究のレビューがあるが、このような音に対して聴覚は音のエネルギーを積分できることが明白にされている。もう一方は騒音評価の立場からの研究であるが、聴覚的研究の成果をふまえることができるからといって問題が少なくなるわけではない。まず、多くの実験データの間にみられる変動は決して小さくない。Scharf (1978) にも紹介されているが、できるだけ条件を揃えてラウンドロビテストまで実施されている。我国でも衝撃音のラウドネス測定のためのラウンドロビテストが二度にわたり実施されているが (Sone et al., 1986; Sone et al., 1987; Kuwano et al., 1987), そのようにしてデータを数量的に確立していく必要がある。さらに、衝撃音の評価法も他の騒音の評価法と整合性を持つべきであるし、現実を使用するためには簡便性も備えていなければならない。

我国では 1980 年代に衝撃音の評価法に関係する多くの研究がなされた。Namba (1987) に展望されているものに加え、上記のラウンドロビテストや繰り返し衝撃音に関する Ogura et al. (1991) の研究などである。難波、桑野を中心とするグループは、様々な衝撃音のラウドネスを実験的に求めてきたが、それらによって単発性の衝撃音のラウドネスは単発騒音暴露レベル (Sound Exposure Level: L_{AE}) で近似できることが示された (桑野, 難波, 1983; Kuwano et al., 1987)。これは、衝撃音の全エネルギーを反映する評価量であって、ISO 1996 / 1 (1982) や JIS Z 8731 (1983) には、次のように定義されている。

$$L_{AE} = 10 \log \left[(1/t_0) \int_{t_1}^{t_2} \{P_A^2(t)/P_0^2\} dt \right]$$

但し、 $P_A(t)$ は騒音計の聴感補正回路 A 特性を通じた瞬時音圧、 P_0 は規準音圧 $20 \mu\text{Pa}$ 、 $t_2 - t_1$ は対象音の開始時点と終了時点、 t_0 は規準とする時間間隔（1 sec）を示す。ちなみに、騒音計の聴感補正回路の A 特性を通さないで求めたものは Unweighted Sound Exposure Level: L_{PE} （単発音圧暴露レベル）と呼ばれている（橋、矢野、吉久、石井、1983）。 L_{PE} は上式の $P_A(t)$ を単なる瞬時音圧 $P(t)$ に置き換えたものである。

我々が衝撃音のラウドネスに関心を持つのは、それが変動音の一種であり、しかも特異なラウドネス決定がなされるからである。持続時間のより長い音に比較した場合、どのような相違があるのだろうか。我々はかつて橋、石崎、吉久（1985、1987）の衝撃音の等ラウドネス曲線を求めた実験の一部を追試する機会を得たが（加藤、桑野、難波、1986）、これはラウドネスに関する基本的データであって、更に、詳細な測定を試みる意義がある。前回は調整法による測定であったが、多種類の刺激を使用しての測定になるため測定手法に関して最初に述べたところに従って ME 法の可能性を探ることにした。

なお衝撃音のラウドネスを ME 法によって測定した例としては、澤田、玉城（1983）や平松、高木、山本（1985）があり、Berglund, Berglund & Lindvall（1986）は Master Scaling による測定をおこなっている。また、等ラウドネス曲線を ME 法によって求めた例には、Schneider et al.（1972）が定常音についておこなった測定があげられる。

方 法

刺激音： 刺激音のキャリア周波数は、62.5 Hz から 4 kHz まで 1 オクターブ間隔の 7 種類である。減衰形エンベロープは電圧で指数減衰するもので、時定数は 16, 64, 256 msec の 3 種類である。矩形エンベロープの場合、持続時間が 50, 150, 500 msec の 3 種類であり、前後に 5 msec の直線的な立ち上がり、立ち下がり時間をつけてある。キャリア周波数とエンベロープの組み合わせで 42 種類の刺激音が構成できる。それぞれの刺激音について 6 dB 間隔で 7 種類のレベルを設定した。刺激音の総数は 294 種類となる。

衝撃音の物理的強さの指標としては、ここでは単発音圧暴露レベル（ L_{PE} ）を使用した。これは衝撃音の全エネルギー量を 1 sec 間にならしてレベル化したものである。まず、振幅の等しいキャリアを用意しこれに上述のエンベロープを掛けて得られる 42 種の刺激音を、実験に使用する再生系に通じヘッドホンの出力での L_{PE} を測定した。測定は、ヘッドホン（YAMAHA HP-1000）をカプラ（B&K 4153）に載せマイク（B&K 4134）、プリアンプ（B&K 2660）と計測用アンプ（B&K 2610）によって行った。計測用アンプの実効値回路を使用し、動特性 slow の

Magnitude Estimation 法による衝撃音の等ラウドネス曲線測定を試み

針の振れをホールドして読み取った(橘, 他, 1983)。5回の測定値の算術平均をもとに, 各刺激音がほぼ同じラウドネス範囲に納まるよう, また最大レベルが L_{PE} で90 dBを越えないように, 各刺激音の提示レベルを決定した。

装置: 刺激音は全てパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801 RX2)による演算で作成した。ハードディスクに記録した刺激をD/A変換器(CANOPUS SOUND MASTER)によりアナログ化し, VCA(東京無線機材 VCA 103 A)を利用して自作したリモートコントロールアテネータからアンプ(KENWOOD KA-V 7000)を通じヘッドホン(YAMAHA HP-1000)により片耳提示した。

手続き: 各刺激音のラウドネス評価をME法により求めた。被験者は提示された音のラウドネスに最もマッチすると思う数値を口頭で報告する。使用する数値については, 零と負以外であればなんらの制限もない。294種類の刺激の提示順序は毎回ランダム化され, 1音約10 secの時間間隔で提示された。刺激提示の約2 sec前に予告信号としてLEDが約1 sec間提示される。被験者には実験に先立ち, 刺激音の中から任意に選択された14種の音による練習試行をおこなわせた。その後, 各被験者は全刺激について2度のME判断を行った。各試行は日を変えて行い, 1試行の間には休憩時間を設けた。

被験者: 被験者は聴力に異常のない20-40歳代の大学院生, 職員7名である。実験は1992年5-6月に大阪大学教養部心理学教室で行われた。

結 果

各被験者毎の2度のME判断値間の相関を求めてみると, 0.71から0.87の範囲にあって統計的には有意である。この種の相関値としてはやや低めに思われるが, 刺激の種類が多いことが原因であろう。しかし, 2度の判断はほぼ一致しているので, ここではその算術平均値を求めて被験者毎のラウドネス判断値とした。また, それらの幾何平均値を求め, 全体の判断値とした。

全体の判断値と L_{PE} 値間の対応関係を, 刺激のキャリア周波数別に示したものが図1である。これによると, エネルギーが同じ場合でも刺激音の持続時間や時定数が短くなると, ラウドネスは小さく判断される傾向にある。図では, 矩形エンベロープ音の50 msecや減衰エンベロープ音の16 msecの結果が下に, 同じく500 msecや256 msecの結果が上にプロットされる傾向にある。但し, 250 Hz以上の周波数では, L_{PE} 値が大きくなるに従いこの傾向は薄れ, 各時間条件の刺激音のラウドネス差は小さくなっている。キャリア周波数62.5 Hzの場合にはこの傾向は見られず, 逆にラウドネス差が広がっている。

図1には, 各刺激音毎に最小自乗法で求めた直線を重ねてある。刺激音によっては, これが

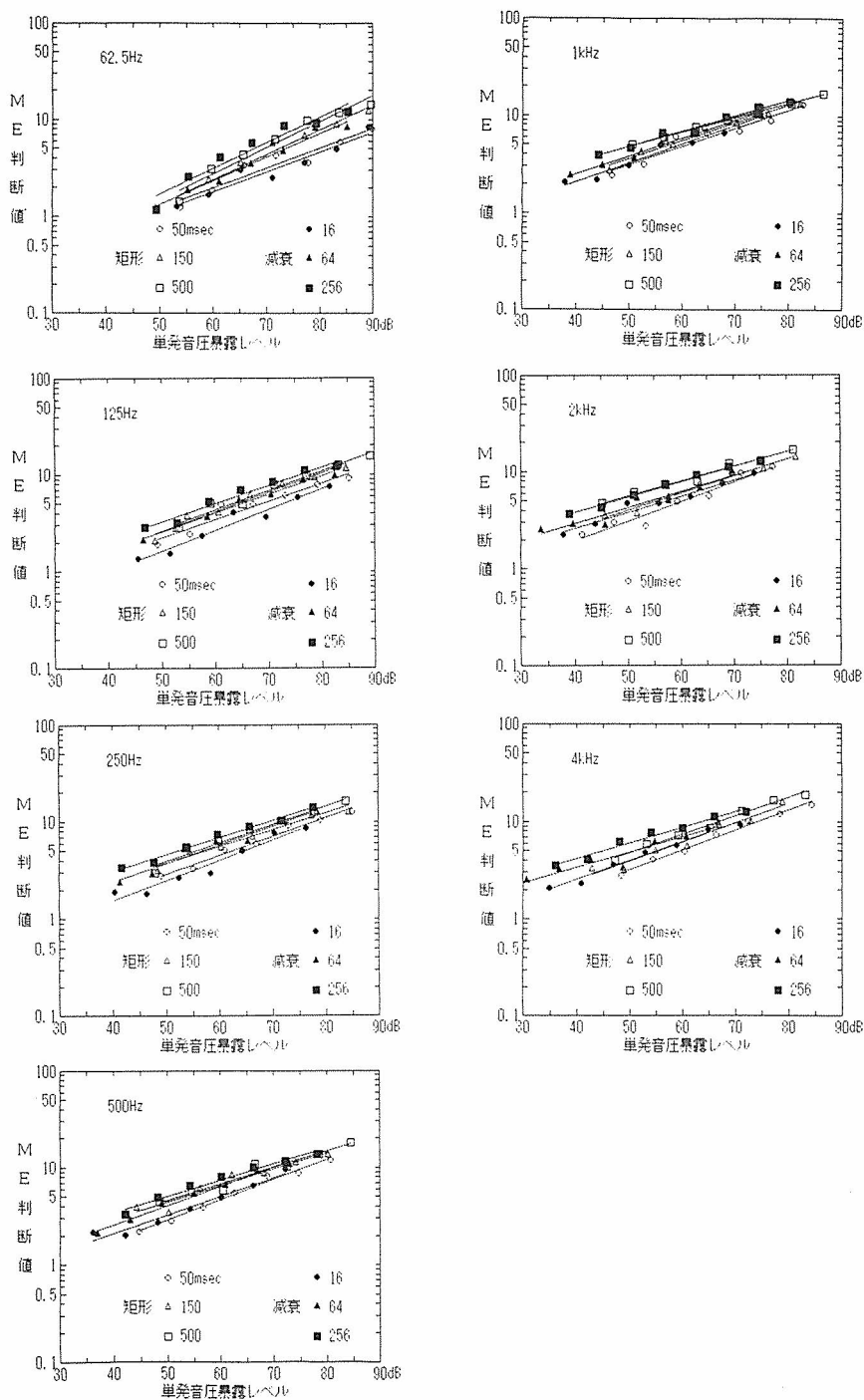


図1 衝撃音のME判断結果（キャリア周波数別）

Magnitude Estimation 法による衝撃音の等ラウドネス曲線測定を試み

最適のあてはめとは言い切れないが、ここでは近似的に使用している。図では刺激の物理量を dB 値で示しているの、この直線の傾きを 10 倍したものがベキ指数となる。ここで求めたそれは、0.148 から 0.270 の範囲になり 0.2 を越えたものは 42 種類の刺激音の 1/3 に満たない。これは、ラウドネス判断でのベキ指数として一般にいわれる 0.3 に比較すると小さい。特に、今回得られた最小のベキ指数は、キャリア周波数 1 kHz 矩形エンベロップで持続時間 500 msec の場合であることが問題である。

図 2 は図 1 を時間条件毎にまとめ直したものである。この図では、キャリア周波数 62.5 Hz

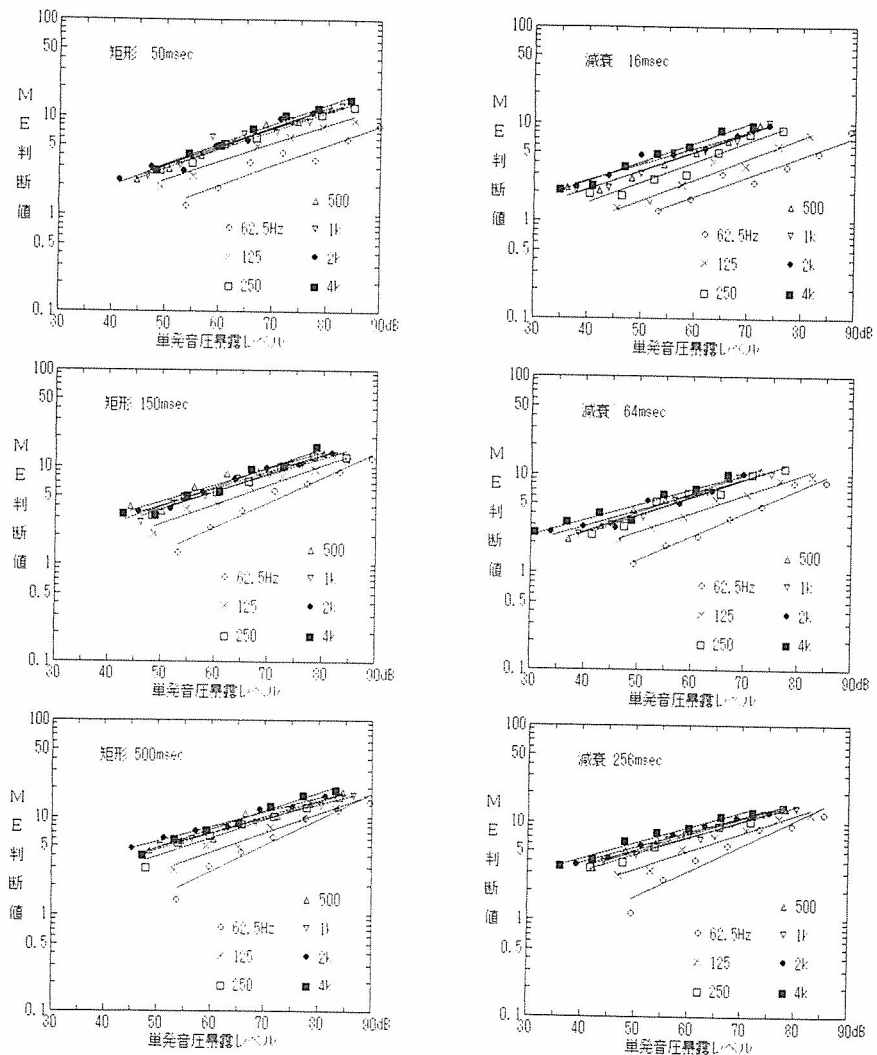


図 2 衝撃音の ME 判断結果 (時間条件別)

の刺激音のラウドネスが過小評価され、125 Hzのものにもその傾向があるが、残りのキャリア周波数では評価に大きな差は無いことが示されている。但し、減衰エンベロープで時定数 16 msec の刺激音では、キャリア周波数によるラウドネスの差が他の時間条件より大きくなっている。また、矩形エンベロープで持続時間 50 msec と、減衰エンベロープで時定数 16 msec の刺激音以外では、キャリア周波数 62.5 Hz の刺激音にあてはめた直線の傾きは残りのものより大きく、レベルの増加と共にラウドネスは他の刺激音のそれに追いつくことがわかる。これは、ラウドネスと周波数の関係において、一般に観察されることである。

図1や図2に示したベキ関数を利用すれば、特定のラウドネス判断値（ME 判断値）に対応する各刺激音の L_{PE} 値を読み取ることができる。それを周波数軸に対してプロットすれば、使用した刺激音の等ラウドネス曲線を描くことができる。今回のデータでこの作業を外挿なしにおこなえる ME 値として 7.0 を選び、結果を図3に示す。なお、この ME 値はキャリア周波数 1 kHz 矩形エンベロープの持続時間 500 msec の刺激音の 60 dB (L_{PE}) にほぼ対応している。

図3に示した等ラウドネス曲線の形状は、1 kHz 以下で低い周波数ほど過小評価されるという定常音で一般に得られる傾向を示している。しかし、何よりも問題なのは、刺激音の時間条件が異なると等ラウドネスを生じるのに必要なレベルにも差が生じていることである。音の提示されている時間が長いほうが、少ないエネルギーで済んでいる。エンベロープの形状による差異よりも、同じエンベロープでの時間条件による差異が大きい。エンベロープの形状による差異の方向は、時間条件、キャリア周波数により一定していない。

図中には ISO R 226 (1961) に基づく 60 phon の等ラウドネス曲線を重ねてある。これは、自由音場、両耳聴についてのものであって、比較は参考にすぎないが、60 phon の曲線にみられるような 500 Hz 付近での落ち込みはここではそれ程顕著ではなく、1 kHz 以下の等ラウドネス曲線の傾きは、その分緩やかになっている。

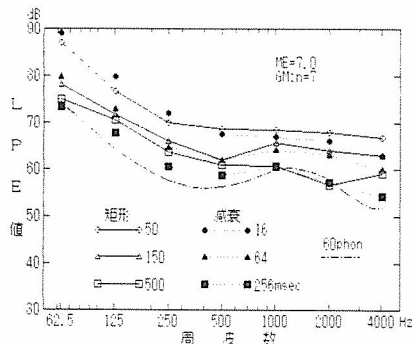


図3 ME法による衝撃音の等ラウドネス曲線

Magnitude Estimation 法による衝撃音の等ラウドネス曲線測定の試み

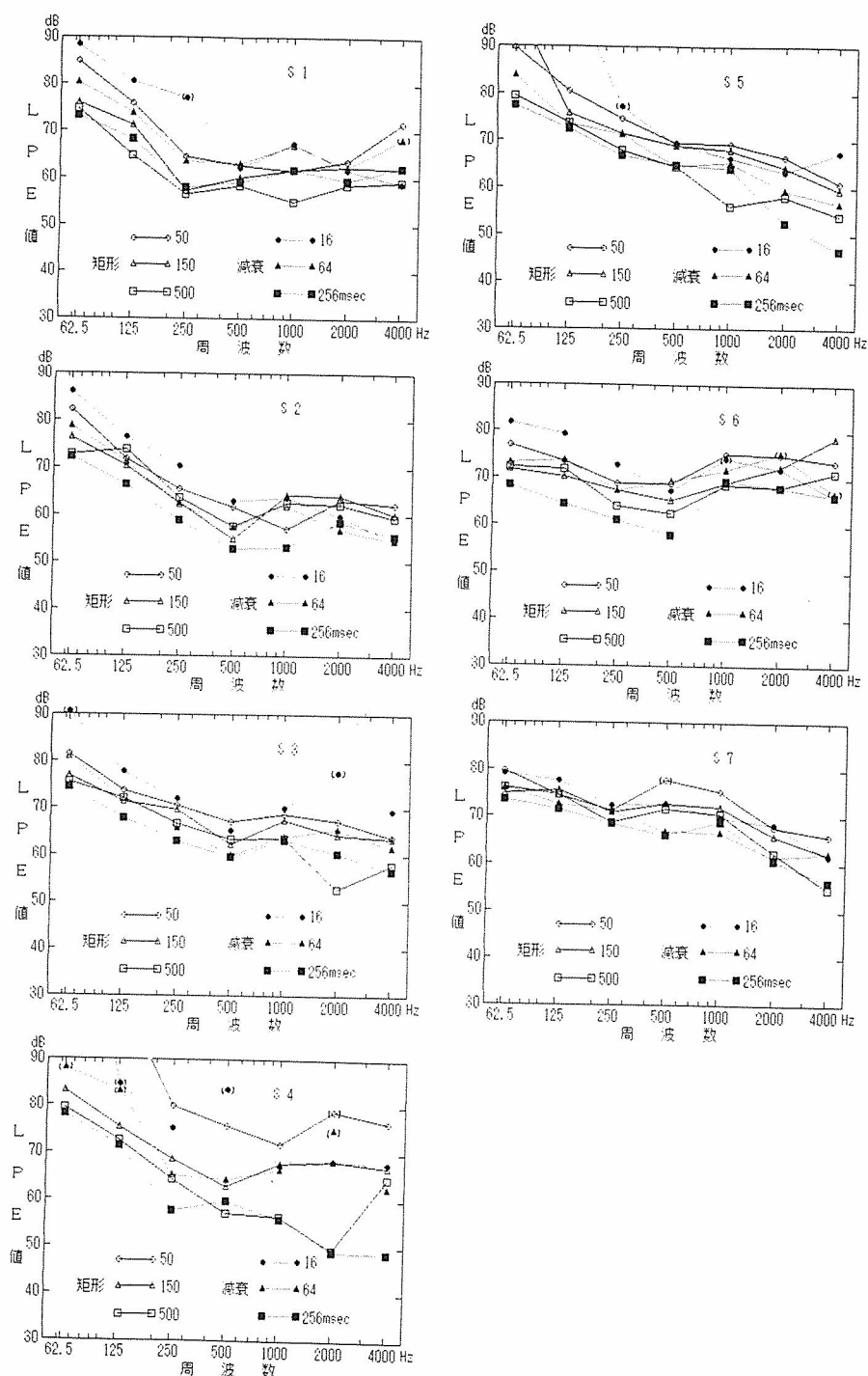


図4 被験者毎の等ラウドネス曲線の例

各被験者毎の等ラウドネス曲線も求めてみたが、図4にその例を示す。これらは、キャリア周波数 1 kHz 矩形エンベロープ持続時間 500 msec 音の 62.5 dB (L_{PE}) に対する反応値で標準化したデータに基づいて、ME 値 1.0 に対応する点で求めたものである。図中 () で記号を囲んだ点は、外挿点であることを示す。7 名中 2 名の被験者では、時定数や持続時間が短くキャリア周波数の低い刺激音でのラウドネスの過小評価がはなはだしい。

考 察

図3に示したように、ME 法を使用して衝撃音の等ラウドネス曲線を求めることは可能であるが、更に検討すべき問題点も生じている。まず、得られたベキ指数の値が小さいことである。特に、持続時間 500 msec 時定数 256 msec の刺激でのベキ指数が小さい。矩形エンベロープで持続時間 500 msec であれば、衝撃音ではなく定常音として扱ってもおかしくない。この原因としては、今回使用した刺激のレベル範囲が考えられる。刺激全体としては約 60 dB の範囲を占めるが、42 種類の各刺激のタイプ毎では 36 dB の範囲しかない。刺激音の最大レベルを 90 dB (L_{PE}) に抑え、更に外挿なしに等ラウドネス曲線を得るためには、ラウドネスが大きくなると予想される刺激のレベルを最初から下げておく必要があった。それにより刺激全体のレベル調整に必要なアテネータの減衰量は大きくなるが、それをアテネータの動作範囲に収めるために上のような値を選択せざるを得なかった。Marks (1988) は、例えば周波数の異なる純音のように、等質でない刺激がラウドネスの範囲を揃えられずに同時に使用されると、それぞれの間に同化作用が働きベキ関数の傾きは小さくなるという考えを発表しているが、今回のデータでもそのようなことが生じた可能性はある。但し、ベキ値が小さくてもラウドネス判断はなされていたはずで、データにはベキ関数があてはまるし、キャリア周波数が 62.5 Hz の刺激では、ベキ指数が全て 0.2 を超え全体として最も大きな値を示していることも、低い周波数ではラウドネスの成長がより急速であるという、定常音の等ラウドネス曲線にみられる特徴と矛盾はしない。

Marks (1988) が指摘しているところでは、このようにベキ関数によって PSE を求める実験では、刺激が生じる心理量が等しくなるような刺激範囲を各刺激毎に設定する必要がある。従って、必要なことは、このデータを基に各刺激のレベル範囲を修正し、実験を繰り返すことである。問題は、被験者の個人差も考慮すると、各刺激の変化範囲は相当広くとる必要があるが、それをどう制御するかという技術面にある。また、刺激によっては、かなり低いレベルも使用せねばならなくなるが、そこでの ME 判断に支障がでてこないかという疑問もある。しかし、これを目標に作業を進める他はないので、今回は便宜的に ME 判断値の幾何平均値についてベキ関数を当てはめ、そこから等ラウドネス曲線を導いてみたが、本来は各被験者毎に

等ラウドネス曲線を求め、そのうえで平均すべきであろう。判断を繰り返し各被験者の判断を安定させることも必要である。

この問題を解決するのが先決であるから、今回の結果の細部に関して考察することは差し控えるが、衝撃音の等ラウドネス曲線が ISO R 226 に定義されているような定常音でのそれと同じ形になるのかどうかは、まだ検討される余地がある。また、衝撃音の持続時間が短い場合（減衰エンベロープの時定数 16 msec や矩形エンベロープの持続時間 50 msec の場合など）にはより多くのエネルギーを必要とするが、この点についても更に検討しなければならない。熊谷、鈴木、曾根（1986）は、自由音場で一定パターンの単発衝撃音の等ラウドネス曲線を求めているが、250 Hz から 4 kHz の間ではピーク音圧レベルで表示して 500 Hz で数 dB 落ち込み残りの部分はかなり平坦なものになっている。一方、ヘッドホン受聴による Tachibana, Ishizaki & Yoshihisa (1987) や加藤、桑野、難波（1986）では、ここで得られた結果のような、低い周波数ほど過小評価した特性が観察されている。そこではまた、衝撃音の周波数スペクトルの広がりやを一定にした条件でも測定を行い、同様の結果を得ている。もし、耳が衝撃音に対して、そのような周波数特性を示すのであれば、騒音計の聴感補正回路の A 特性を使用した単発騒音暴露レベル (L_{AE}) の有効性が示唆される。例えば、Namba, Hashimoto & Rice (1987) は、持続時間の極めて短いものを例外として、 L_{AE} でラウドネスが近似できることを示している。桑野、難波（1983）にも多くのデータによって L_{AE} の有効性が示されている。しかしまた、広帯域スペクトルをもつ衝撃音では、A 特性よりも D ないし E 特性の方がよく、Stevens の複合音のラウドネス計算法の適用も可能であるという石崎、橘（1986）の報告もある。これらの周波数特性においても低い周波数で過小評価が生じることに変わりはないが、過小評価の程度は A 特性ほどでなく、4 kHz 付近では逆に過大評価が生じるとされている。

衝撃音の周波数特性とラウドネス指標の関係を矛盾なく治めるにはさらにデータが必要である。その際にいかなる心理判断を求めるかが重要になるので、周波数特性を明らかにするにはバリエーションの大きな刺激群でラウドネスを求める必要がある。比較判断により PSE を求める場合、信頼性を高めるには最初に述べたように、比較する刺激はある程度似通ったものにしなければならない。ME 法ではその点で自由度が大きいと考えられる。しかし、判断の変動は大きくなりがちなので、それをいかにして抑えるかが課題となる。ME 法のような単一刺激に対する判断は日常生活での騒音評価に近い形式であって、少なくとも、騒音評価の面からは、より妥当な結果をもたらす可能性も考えられる。

要 約

衝撃音のラウドネスの周波数特性を明かにするため、その等ラウドネス曲線を ME 法によ

り求めることを試みた。以前に調整法で求めたものと同一傾向の結果が得られたが、改善すべき問題点も見いだされている。衝撃音のラウドネス予測値と周波数特性をめぐる問題とそこにおける ME 法の適用可能性についても論じた。

引用文献

- Berglund, B., Berglund, U. & Lindvall, T. (1986). "The psychophysics of complex impulse sound", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-86-37. (in English)
- Berglund, M.B. (1991). "Quality assurance in environmental psychophysics." In S.J. Bolanowski, Jr. & G.A. Gescheider (Eds.), *Ratio scaling of psychological magnitude-In-honor of the memory of S. S. Stevens* (pp.140-162), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 平松幸三, 高木與一, 山本剛夫 (1985). "衝撃音の評価と心理実験 —うるささ・大きさと CHABA の評価法—", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-85-1.
- IEC Pub. 179 A (1973). "Precision sound level meters — additional characteristics for the measurement of impulsive sounds".
- 石崎伸次, 橋秀樹 (1986). "広帯域スペクトルをもつ衝撃音のラウドネス", 日本音響学会騒音研究会資料 H-8303-13.
- ISO R 226 (1961). "Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions".
- ISO 2204 (1973). "Acoustics—Guide to the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on man".
- ISO 1996 / 1 (1982). "Acoustics—Description and measurement of environmental noise—Part 1: Basic quantities and procedures".
- 泉 清人 (1987). "ラウドネスのマスタスケールリングについて—聴覚・騒音合同研究会における Berglund, Berglund and Lindvall の所論—", 日本音響学会誌, vol.43, 10, 794-797.
- JIS Z 8731 (1983). "騒音レベル測定方法"
- 加藤 徹, 桑野園子, 難波精一郎 (1986). "指数減衰型短音の大きさの等感曲線", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-86-18.
- 熊谷正純, 鈴木陽一, 曾根敏夫 (1986). "自由音場における衝撃音の等ラウドネスレベルに関する一考察", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-86-25.
- 桑野園子, 難波精一郎 (1983). "聴覚の動特性と衝撃音の大きさについて", 日本音響学会騒音研究会資料 N-8303-13.
- Kuwano, S., Namba, S., Miura, H. & Tachibana, H. (1987). "Evaluation of the loudness of impulsive sounds using sound exposure level based on the results of a round robin test in Japan.", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.8, 6, 241-247.
- Marks, L.E. (1988). "Magnitude estimation and sensory matching.", *Perception & Psychophysics*, vol.43, 6, 511-525.
- 難波精一郎 (1986). "騒音評価における計量心理学の応用", 日本音響学会誌, vol.42, 10, 822-827.
- Namba, S. (1987). "On the psychological measurement of loudness, noisiness and annoyance: A review.", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.8, 6, 211-222.

Magnitude Estimation 法による衝撃音の等ラウドネス曲線測定の試み

- Namba, S., Hashimoto, T. & Rice, C.G. (1987). "The loudness of decaying impulsive sounds.", J. Sound Vib., vol. 116, 3, 491-507.
- Ogura, Y., Suzuki, Y. & Sone, T. (1991). "A temporal integration model for loudness perception of repeated impulsive sounds.", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol. 12, 1, 1-11.
- 澤田継男, 玉城眞吉 (1983). "爆発音の大きさの評価実験", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-83-41.
- Scharf, B. (1978). "Loudness." In Carterette, E.C. & Friedman, M. (Eds.), *Handbook of Perception IV Hearing*. Chapter 6 (pp.187-242.), New York:Academic Press.
- Schneider, B., Wright, A.A., Edelheit, W., Hock, P. & Humphrey, C. (1972). "Equal loudness contours derived from sensory magnitude judgments.", J. Acoust. Soc. Am. vol. 51, 6, 1951-1959.
- Sone, T., Suzuki, Y., Kumagai, M. & Takahashi, T. (1986). "Loudness of a single burst of impact sound: Results of round robin tests in Japan (I).", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol. 7, 3, 173-182.
- Sone, T., Izumi, K., Kono, S., Suzuki, Y., Ogura, Y., Kumagai, M., Miura, H., Kado, H., Tachibana, H., Hiramatsu, K., Namba, S., Kuwano, S., Kitamura, O., Sasaki, M., Ebata, M. & Yano, T. (1987). "Loudness and noisiness of a repeated impact sound: Results of round robin tests in Japan (II).", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol. 8, 6, 249-261.
- Stevens, S.S. (1975). *Psychophysics — Introduction to its perceptual, neural and social prospects*. New York: Wiley.
- 橘 秀樹, 矢野博夫, 吉久光一, 石井聖光 (1983). "衝撃音の測定方法に関する検討", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-83-17.
- 橘 秀樹, 石崎伸次, 吉久光一 (1985). "狭帯域スペクトルをもつ指数減衰型単一衝撃音に対するラウドネス反応", 日本音響学会聴覚研究会資料 H-85-3.
- Tachibana, T., Ishizaki, S. & Yoshihisa, K. (1987). "A method of evaluating the loudness of isolated impulsive sounds with narrow frequency components.", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol. 8, 1, 29-38.
- 吉田正昭 (1986). "最近における計量心理学の動向—Stevensの直接法をめぐって—", 日本音響学会誌, vol. 42, 10, 787-793.