

Title	Loudness scaleについて：音の感覚的大きさ
Sub Title	On loudness scale
Author	安東, 潔(Ando, Kiyoshi)
Publisher	慶應義塾大学大学院社会学研究科
Publication year	1966
Jtitle	慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学 (Studies in sociology, psychology and education). No.7 (1966.) ,p.1- 9
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000007-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Loudness Scale について

—音の感覚的大きさ—

On Loudness Scale

安 東 潔

Kiyoshi Ando

〔物理世界と感覚世界〕

人間の感覚器官はすべての物理事象をとらえることが出来るのではなく、個々の感覚器官のもつ閾と頂との間に存在している刺激を受容しているにすぎない。例えば、物理事象である空気振動が聴覚の有効刺激となるためには周波数で 16 c.p.s.~20,000 c.p.s. の範囲内、エネルギーでは 2×10^{-4} dyn/cm² (1,000 c.p.s.) 以上と云う条件が必要なのである。このように人間の感覚は物理事象の極く一部分にかかりを持っていると云うのみならず、その小部分も感覚器官の特性の規定を受けて描出されているのである。しかしながら、人間の感覚過程には、物理世界から送られてくるこのような様々な信号の一部を、ある一定の規則にのっとって感覚過程固有の信号に変換し、そこに感覚世界と云う一つのシステムをつくりあげてゆく働らきが存在するのである。このような変換の規則的対応性が物理世界と感覚世界との間の橋わたしとなるのである。

〔psychophysics〕

ところで、前述した物理世界と感覚世界の間に対応関係を数量的に取扱うのが psychophysics である。ここでは、二つの量的変数、すなわち物理的連続体上の変数と感覚的(心理的)連続体上の変数とを考える (Guilford 1954)。

物理的連続体の変数は物理単位を用いて表示され、例えば空気の振動数、その振動エネルギー等であり、これらに対応する感覚的連続体上の変数は音の pitch, loudness 等、人間の量的判断を通した感性経験である。

物理的連続体上の変数と感覚的連続体上の変数の間の

定量的関係を示す尺度構成の古典的な例は Fechner の法則であろう。Fechner は Weber の法則を基にして、感覚量は物理量の対数に比例すると云う関係式を導出した。

すなわち、

$$\psi = c \log I + a \dots \dots \dots 1)$$

ここで ψ …感覚量

I …物理量

c …単位変換の係数

a …原点に関する定数

彼は Weber の法則 $\Delta I/I = k$, すなわち弁別閾 ΔI を、 I で除したものは一定であると云う事を根拠に、 ΔI に対応する ψ 上の増分はすべて感覚的に等しいと仮定した。いま、 ΔI とこれに対応する $\Delta \psi$ の大きさを微分的に減小させ、それらの減小値を $\delta I, \delta \psi$ とすると、

$$\delta \psi = c \cdot \frac{\delta I}{I} = c \cdot k \dots \dots \dots 2)$$

になると仮定する。すなわち Weber の法則は刺激の増分と、もとの刺激の比 (いづれも物理量) が定数であることを示すが、Fechner は更にその時の感覚の増分が定数になることをも仮定するのである。このように ψ の増分は等しいものと考え、これを感覚尺度の単位として扱うことが出来、或る感覚量 ψ の値は 0 から ψ の値までの $\delta \psi$ 単位を全部加えたもの、すなわち 2) 式の微分方程式を解くこととなるのである。その結果 1) 式が導びかれるわけである。

Fechner の法則は、感覚過程が物理量の log 変換を行っていることを意味するが、実際には 2) 式の仮定や、Weber 法則と Fechner 法則とが実験的検証を異った操作でなされると云う点などに問題を含んでいるのである。

[Stevens, S.S. の power function]

ところで近年、Stevens, S.S. (1957, 1961) は種々の感覚過程について実験した結果、ある条件では物理量と感覚量との間に次のような power function (べき関数) が実験式としてあてはまることを示した。

$$\psi = kI^n \dots\dots\dots 3)$$

- ここで ψ …感覚量
- I …物理量
- k …単位に関する係数
- n …感覚過程によって定まる定数

但し、この function が成立するためには次の二つの条件を考えておかねばならない。

その一つは、感覚過程には物理次元のエネルギーに依るもの、例えば聴覚の loudness、視覚の brightness 等と、空気の振動数、光の波長等、物理刺激のエネルギー以外の属性に依る音の pitch、色の hue などに関係する過程とが存在することである。Stevens は前者を prothetic、後者を metathetic と名づけた。生理的な興奮状態の process を考えると prothetic の場合は additive であり、metathetic では substitutive なのと云えるようである。

ところで、物理次元と感覚次元との間に power function が成立するのは prothetic の場合についてである。

次に考える可き条件は感覚次元の変数にどのような測度をとるかという問題である。いくつかの可能性を考えてみると下記の如くなる。

1) discriminability scales.

これは j.n.d., variability, resolving power, 等が測度の単位として用いられ、これらの単位の数によって scale 値が定まる。

2) category scales.

感覚の差に着目した判断を通して尺度が構成され、等しい尺度値上の差が感覚的に等しい意味をもつように定められる。

3) magnitude scales.

感覚の比に着目した判断を通して尺度を構成し、感覚

次元に関して尺度値が比率的な意味をもつ。

以上の三つの測度の中で power function が成立するのは感覚次元に magnitude scale をとった場合である。

したがって、物理次元と感覚次元との間に Stevens の主張する $\psi = kI^n$ なる power function が成立するためには、条件として、その感覚過程が prothetic であり、かつ又、感覚次元の測度として magnitude scale をとることが必要であることが明らかにされたわけである。

ここで、Fig. 1 に Stevens の行った実験の中、もっとも典型的な例を三つ示そう。すなわち、electric shock, apparent length, brightness の尺度である。

このように、 $\psi = kI^n$ のべき n の値が $n > 1$, $n = 1$, $n < 1$ の場合にそれぞれのグラフが増増、線型、通減の様相を示す。物理強度に対して感覚強度が増増の場合、その感覚過程は外界の刺激の expansion の機能を果し、線型の場合、外界との忠実な対応関係、通減の場合、compressor の機能を果していると考えられる。

Stevens は種々の感覚過程について実験を行い、それぞれに特有の n の値を求めている。今それを整理して表に示すと table 1 の如くである。

ところで、 $\psi = kI^n$ なる関数の、両辺の対数をとると $\log \psi = \log k + n \log I$ となるから両対数座標にこれをプロットすると直線グラフとして示される。Fig. 2 は Fig. 1 と同じものを両対数座標にかきあらわしたもので

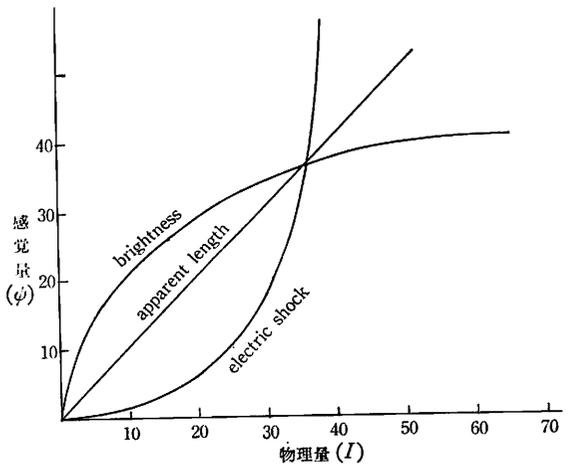


Fig. 1. power function の三つの例 (線型座標, 単位は任意)。

Table 1. 種々の感覚過程のベキの値。

刺激に対して expansion の働きをする感覚過程。 $n > 1$			linear な過程。 $n = 1$			刺激に対して compressor の働きをする過程。 $n < 1$		
連続体	n	刺激条件	連続体	n	刺激条件	連続体	n	刺激条件
明るさ	1.2	灰色紙の反射	温度	1.0	うでの冷たさ	音の大きさ	0.6	両耳
味	1.3	サッカロース	反復の速さ	1.0	光, 音, ショック	" "	0.54	単耳
味	1.3	塩				明るさ	0.35	暗順応
温度	1.6	うでのあたたかさ				匂い	0.55	コーヒー
間隔	1.1	白色雑音				"	0.6	ヘプタン
指の感覚	1.3	木の厚み				味	0.8	サッカリン
掌の圧	1.1	皮膚上の静電気力				振動	0.95	指上 60 c.p.s.
重さ	1.45	挙すい				"	0.6	指上 250 c.p.s.
握力	1.7	ダイナモーター						
オートフォニックレベル	1.1	言葉の音圧						
電気ショック	3.5	指上 60 c.p.s.						

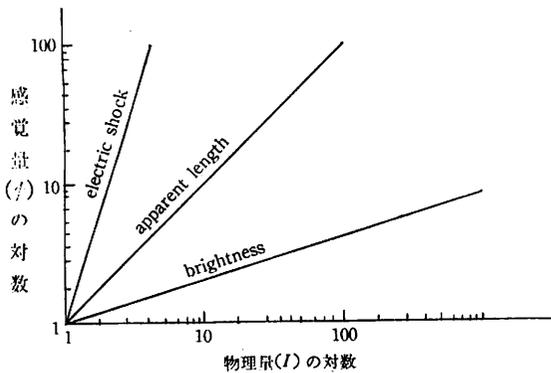


Fig. 2. power function の三つの例 (両対数座標, 単位は任意)。

ある。

[loudness scale]

これまで、物理次元と感覚次元との量的関係一般について述べてきたが、次に、ここでは音の物理的エネルギーと、感覚としての音の大きさとの関係について主題を限定することにしよう。この関係を数量的に取扱ったものを loudness scale と云うが、昔から様々な研究があり、Fletcher-Munson, Ham-Parkinson, Laird-Taylor, Churcher-King, 最近では Pollack, Robinson,

Garner, Stevens 等が有名なところである。Fig. 3 は数種の loudness scales を示すが、その結果は必ずしも一致しているのではない(寺西, 1963)。

loudness scale では、通常 1 kc 純音の 40 db に相当する感覚の大きさを 1 sone と定義し、比率的な意味を持たせた sone scale の対数を縦軸に、物理的エネルギーの対数的表示である db (或いは phon) を横軸にとった座標上に表記するのを慣習とする。Stevens の loudness scale は Fig. 3 において明らかなように power function である直線を示しており、これは音の強さと感覚の大きさの関係を表わすものとして国際標準規格に公式に採用された。しかしながら、実験条件の差異からくるところの諸種の loudness scale 間のちがいは無視す可くもなく、この点については Robinson (1953, 1957), Stevens (1955) 等によって総括的に検討されている。

Fig. 4 は Robinson の文献から引用したものであるが、数人の研究者の loudness scales について調査を行い、音の感覚の大きさが 2 倍になるためにどれだけの物理量の増分が必要かをグラフに示したものである。なお、各研究者の用いた実験条件は次の如くである。

・Laird, Taylor, Wille.

恒常法, 単耳イヤフォン, 半減法, 1024 c/s, 被

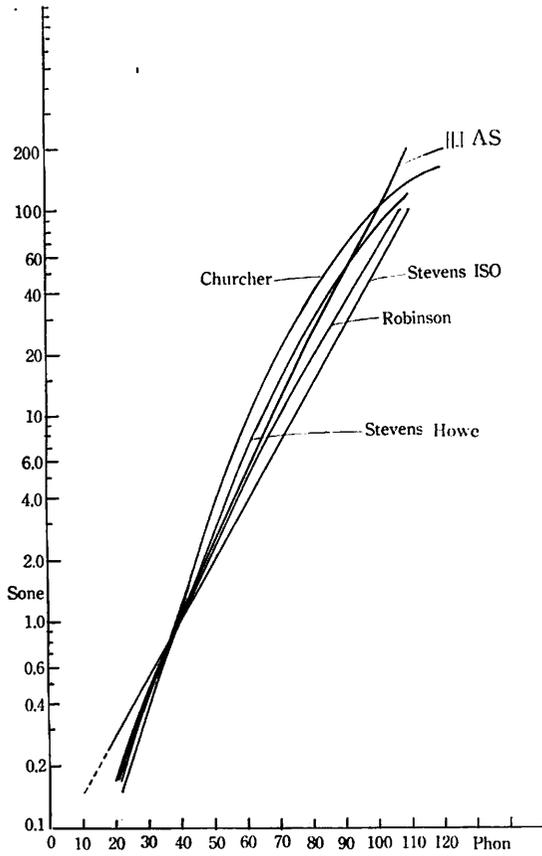


Fig. 3. 諸種の loudness scales.

験者 10 人。

- Ham, Parkinson.
自由音場, 分割法, 350 c/s, 1,000 c/s, 250 c/s の平均, 被験者 175 人。
- Geiger, Firestone.
調整法, 両耳イヤフォン, 1,000 c/s, 視験者 40 人。
- Churcher, King, Davies.
調整法, 両耳イヤフォン, 半減法, 800 c/s, 被験者 34 人。
- Pollack.
調整法, 単耳イヤフォン, 1,000 c/s, 白色雑音, 被験者 7 人。
- Garner.
調整法, 単耳イヤフォン, 半減法, 1,000 c/s, 被験者 18 人。
- Robinson.
恒常法, 自由音場, 単耳イヤフォン, 1,000 c/s, 被験者 25 人。

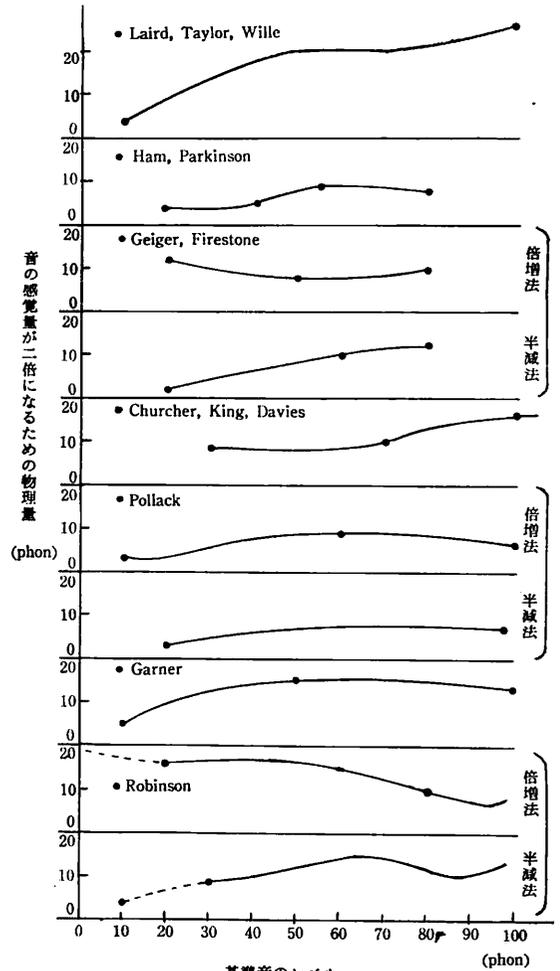


Fig. 4. 音の感覚量が二倍になるための物理量の増分. 各研究者のデータ間の比較.

Stevens も loudness scale に関する十数人の研究者による結果を調査し, Fig. 5 に示されるようなグラフを与えた。これは音の大きさを感覚的に半分にするために, 物理量をどれだけ減小させれば良いかを示すもので, それぞれの点は各研究者の実験結果を表示している (○印は中央値)。

先にも述べたように $\psi = kI^n$ を両対数座標に描くと直線グラフになるが, これは云うまでもなく, 物理量の対数に対する感覚量の対数の変化率が一定であることを意味する。その事は更に感覚量が 2 倍 (又は半分) になるための物理量の対数 (db) は I の如何なるところにも一定であることに他ならない。すなわち, Fig. 4 にしても Fig. 5 にしても, 若し power function が成立するならば水平の直線グラフとなるはずである。Stevens と

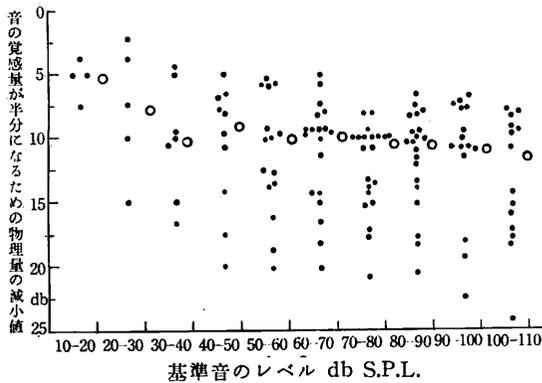


Fig. 5. 音の感覚量が半分になるための物理量の減小値、各研究者の結果のバラツキ (○印は列に関する中央値)。

しては Fig. 5 のデータのばらつきにもかかわらず、その中央値は、ほぼ水平直線を示していることから power function を主張するわけである。

loudness scale に関する研究にはこのように多くのものがあるが、互いに判断方法、刺激音の種類、被験者等の実験条件を異にしているため結果に喰違いが生じてくるのであろう。再現性の高い invariant な loudness scale が構成されることはなお将来の課題であらう。

ところで、このような loudness scale にはどのような意義が存在するのだろうか。

1) practical side. 例えば sone scale が実際に騒音計算に用いられると云う事である。これは騒音をいくつかの周波数成分に分けて、この成分に相当する純音の感覚的大きさを加算してゆく方式である。そのためには種々の周波数の純音についての感覚的大きさが知られていなければならない。このようにして騒音計算をするために loudness scale は簡便な型で表わされていて、しかも実測値に良く合致する必要がある。Stevens の loudness に関する power function はこれらの意味において適当なものであると云える。

2) academic side. これは、物理次元と感覚次元の量的関係から聴覚の機構を明らかにしてゆこうとするものである。loudness scale の問題ではないが、聴覚生理において、物理次元と聴覚次元との量的関係を調べたものとして勝木 (1961) の実験結果を Fig. 6 に挙げておく。これは猫の一本の聴神経について、単位時間あたりの spike の頻度が音の物理強度の増加によって、どのように変化するかを明らかにしたものである。

このような生理学的実験の結果は、人間の判断過程を

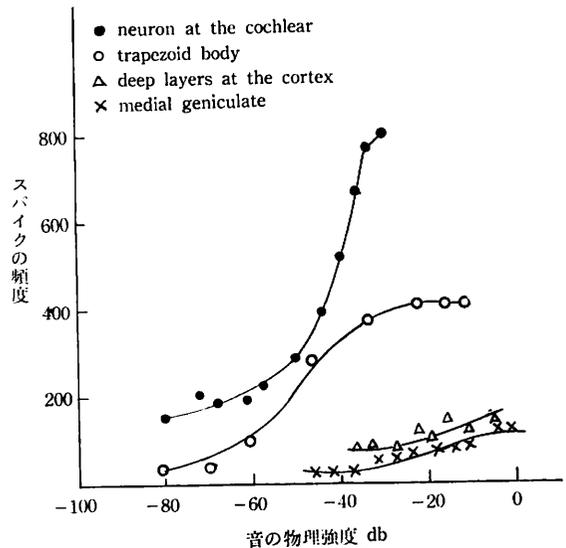


Fig. 6. 各神経レベルについての物理強度とスパイク頻度。

通して構成された感覚 scale の結果と直接関係づけることは現在のところ出来ないであらう。しかし、loudness scale の背後にはこのような生理学的事実が存在していることも見逃すわけにはゆかない。

[academic side に重点をおいた loudness scale]

心理実験によって得られた loudness scale には判断過程のもつ bias が大きな影響を及ぼしているため聴覚過程そのものを忠実に表わしているとは云えない。しかし、出来ることなら、この判断の bias をより少くして聴覚過程に忠実な loudness scale が構成されるのは願わしいことであらう。Stevens の power function は第一近似としての実験式にすぎず、特に閾値近辺の実測値とのあてはまりが余り良くない。この点を改良するためにいくつかの努力がなされているが Zwislocki 等 (1961) は magnitude estimation の標準刺激やそれに付与する数値に配慮を加え、更に被験者の閾値の個人差を考えに入れて、出来るだけ判断による bias をデータから除くことを試みた。このようにして閾値近辺まで求められた実測値が Fig. 7 の黒点で示されている。

この結果によると、30 db 以上は直線関係が成立しているから power function にかかっているが 30 db 以下はそれから離れてゆくことが示されている。

Lochner 等 (1961) は Zwislocki 等のこのデータに関心を持ち power function からのずれを聴覚系に存在する内部雑音の影響と考え、power function から、

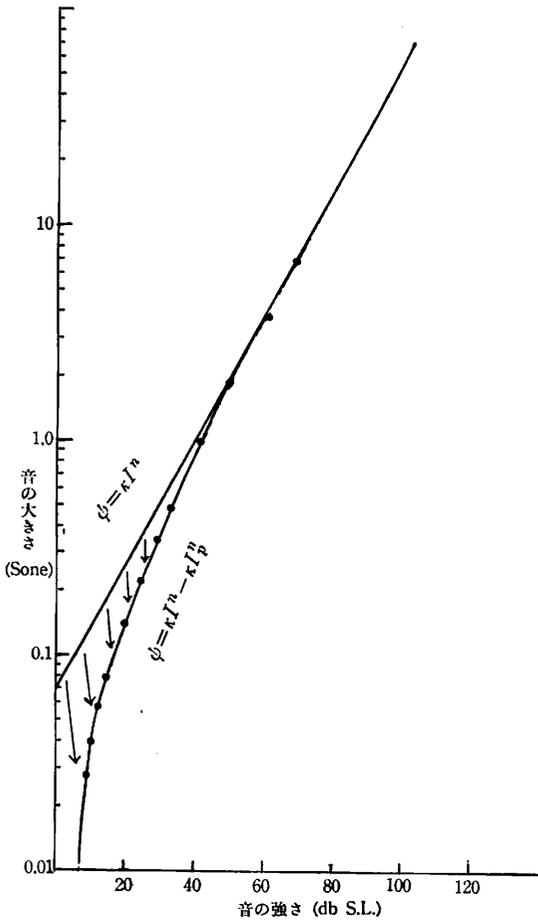


Fig. 7. Zwilocki 等のデータと Lochner 等の理論曲線.

その効果を差し引いたものとして表わされる function がより適切なものであることを主張している。すなわち彼等によれば物理量と感覚量との間の関係は基本的には Stevens の主張のように $\phi = kI^n$ で表わされると云う。つまり感覚過程には物理量をべき関数変換するような性質が存在すると考える。それでは Zwilocki 等のデータに於ける閾近辺の power function からのずれはどこから生づるのであるか。Lochner 等はこれを聴覚系に存在すると想定した内部雑音の純音に対する masking 効果によると説明する。

純音の感覚的大きさはその物理的エネルギーに規定される事は云うまでもないが、更に、純音が雑音によって mask されている場合この masking noise level をも考慮しなければならない。例えば、二つの純音の物理強度が同じであるなら、大なる雑音 level で mask され

ている純音の方が感覚的にはより小さく聴こえるであろう。

Lochner 等によれば人間の聴覚系には内部雑音があり、閾値は結局この内部雑音のみによって規定されると考える。そこで、閾値近辺の純音については、この内部雑音の純音に対する masking 効果は無視出来ないものとなる。そして、これが結局、閾近辺の純音の感覚的大きさを単に $\phi = kI^n$ で表示した場合よりも減小させる原因となるのだ。どれだけ減小させるのかと云う事が問題になるが、それは純音のみの感覚的大きさが $\phi = kI^n$ で定式化されているから、それと同じ仕方でも内部雑音の感覚的大きさ、 ϕ_p (或いは純音の感覚的大きさに及ぼす雑音の masking 効果の量) も $\phi_p = kI_p^n$ で表示されると考える。但し、ここで I_p^n は内部雑音の effective level (それは又同時に閾値 level でもある)。

したがって、内部雑音によって mask されている純音の大きさは最終的には

$$\phi = kI^n - kI_p^n \dots\dots\dots 4)$$

と云う型で表わされる。閾値近辺の純音の大きさに対しては kI_p^n の量が割合の上で大であるが、純音のレベル大なるにつれて kI_p^n の存在は negligible になり遂には $\phi = kI^n$ に漸近する。以上で 4) 式のパラメーターの意味を説明したが、Zwilocki 等の得たデータに Lochner 等の 4) 式をあてはめたところ Fig. 7 の曲線の如くに実測点と良く一致してくる。

ところで、先程少し触れた閾値レベルが内部雑音の effective level に等しいと云う想定に説明を加えよう。通常の外部雑音による純音に対する masking 事態において、限界帯域仮説と云うのがあるが、これは或る周波数の純音を外部雑音で mask する場合、その外部雑音の全周波数成分が純音の masking に効果を持つのではなく、その純音の周波数を中心とした特定のせまい周波数範囲の雑音部分だけが純音を mask する効果をもつと云うことである。この純音を mask する雑音の特定範囲が限界帯域中である。そして、このような雑音に mask されている純音の閾レベルはその雑音の限界帯域内のレベルに等しいと云われる。Fig. 8 はそのような関係を示すものである。

ここに示されている如くに、外部雑音の effective level が大きくなるにしたがって、それに mask されている純音の閾レベルも増加してゆく。しかも、雑音の effective level と純音の閾レベルが等しいわけで、これは単なる仮説ではなく Howkins 等 (1950) の実験によって

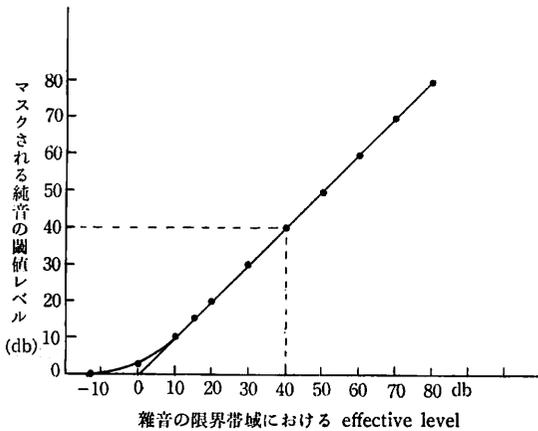


Fig. 8. マスキングにおける純音の閾レベル.

事実であることが確められている。以上の事を念頭におくと純音を mask している外部雑音が無くなったときの閾（絶対閾）のレベルは外部雑音の effective level と同じ仕方、今度は内部雑音が肩代りするものと考えれば、その内部雑音の effective level に絶対閾レベルが等しいと想定出来る。

ところで、このように想定するとどんな利点があるのだろうか。閾（絶対値）レベルは内部雑音の effective level に等しいと考えることによって、純音のみの場合と外部雑音による masking 事態とが何ら本質的に異なるものとみなせるのである。そのことは loudness function $\phi = kI^n - kI_p^n$ が外部雑音による masking 事態における純音の感覚的大きさをも表わす式に拡張して考えられることを示唆するのである。そこで雑音一般に mask された場合を考えると、4) 式を次のように改める。

$$\phi = kI^n - kI_0^n \dots\dots\dots 5)$$

I_0 は一般的な雑音レベルでその内容を示すと $I_0 = I_p + I_e$ となる。但し I_p 内部雑音レベル, I_e 外部雑音レベル。このように、5) 式は内部雑音のみの場合にも、或いは、各種レベルの外部雑音に mask された場合にも適用しうる、純音の感覚的大きさを与える一般式としての可能性を持つのである。

〔実験〕

Lochner 等は Zwislocki 等のデータを用いて以上の考えを展開しているが、筆者は通産省電気試験所の音響研究室にて実験を行い 5) 式の適用範囲を確かめてみた。すなわち単耳 1 KC 純音の loudness scale に $\phi = kI^n - kI_p^n$ があてはまるか。次に外部雑音によって mask

されている単耳 1 KC 純音の感覚的大きさが $\phi = kI^n - kI_0^n$ に拡張して表わせるかである。

実験手続の詳細については時を改めて記したいと考えているが、簡単に述べると、純音のみの場合、被験者は標準刺激に対して変化刺激を感覚的に半分に調整するやり方をとった。一方、外部雑音に mask された実験の場合には、被験者は、雑音に mask されていない標準刺激である純音を、雑音に mask されている変化刺激の純音と比較し、調整法で感覚的に等価な値を求めた。この純音を mask する雑音は 1 KC を中心としたオクターブ・バンド雑音の 20 db, 40 db, 60 db 三段階が用いられた。なお、この実験では閾値近辺を問題にするため種々の配慮がなされているが、その一つは各被験者の閾値レベルの個人差を考慮に入れて刺激の値をすべて各被験者ごとの感覚レベルに統一して基準化してある。

実験に用いられた装置は聴感測定実験を行うのに都合の良いように特に設計されていて、刺激の物理特性が厳密に校正されていることは云うに及ばず、刺激提示等の実験条件をいつも容易に正しく再現出来、且つ、被験者にとっても、反応が容易であるように実験操作はすべて

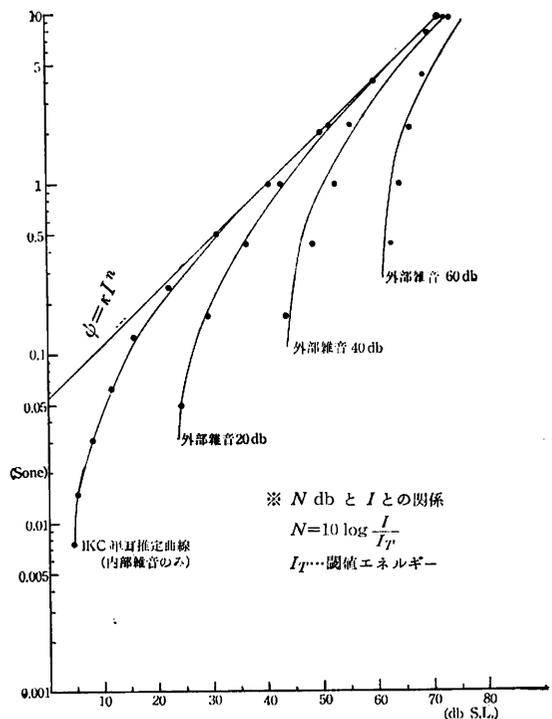


Fig. 9. 各種レベルの雑音にマスクされた 1,000c/s 純音の感覚的大きさを表わす推定曲線及び実測点.

自動化されている。被験者は無響室内にてイヤフォンからの音を聴き、押しボタンによる反応を行った。

結果については Fig. 9 に示された如くで実測点と推定曲線があてはめられている。推定曲線は左上より順次、下記の如くである。

- ・ Stevens 流の power function $\phi = kI^n$
- ・ 1 KC 純音のみの loudness scale で $\phi = kI^n - kI_p^n$
- ・ 1 KC 純音が 20 db の外部雑音で mask された場合、 $\phi = kI^n - kI_0^n$,
- ・ 1 KC 純音が 40 db の外部雑音で mask された場合、 $\phi = kI^n - kI_0^n$,
- ・ 1 KC 純音が 60 db の外部雑音で mask された場合、 $\phi = kI^n - kI_0^n$.

Fig. 9 が先づ第一に示す事は、Lochner の式が閾値近辺に至るまで実測値に良くあてはまっていると云う事であろう。Stevens (1961) はやはり閾値レベルを考慮に入れて $\phi = k(I - I_0)^n$ なる式をも提案しているが本実験で得られたデータにこの式をあてはめてみると、閾値近辺のカーブの状態が Stevens 式では十分表わされてい

ないようである (Fig. 10)。

閾値近辺の実測データのカーブの工合には、Lochner 等による雑音の masking 効果を考慮に入れた式の方が良く適合する事が明らかになった。

次に、本実験によって示された事は、Lochner の主張のように $\phi = kI^n - kI_0^n$ の雑音のパラメータ、 I_0 の値だけを、それぞれ内部雑音レベル、外部雑音 20 db, 40 db, 60 db の場合に従って取りかえてゆけば良いことである。現に、Fig. 9 ではそのようにして推定曲線をあてはめたわけであった。ただし、本実験で得られた I_e の値は各レベルの雑音の限界帯域の effective level に近いものではあったが一致はしなかった (Zwicker, 1957)。若しここに一致が見られたならば実験とは独立に I_0 なるパラメータが定まるわけで、任意の雑音レベルに mask された純音の感覚の大きさを予測することの可能な式となったわけであろう。この点は、しかしながら、今後の課題で、十分検討する必要があるところである。

以上で明らかにされた事をまとめると、loudness scale に関する研究において、多くの研究者によって種々のものが作られてきたが、この Lochner の function は閾値近辺のデータに良くあてはまり、更に種々の雑音レベルに mask された純音の大きさを与える式に一般化されると云う二点に特色が存在することが確かめられたのである。

本稿は筆者の修士論文の一部をまとめたものであるが、この機会に、懇切なる御指導を承わった慶応義塾大学の印東太郎教授と通産省電気試験所音響研究室の寺西立年氏に心から謝意を表わさせていただく。

[引用文献]

- Guilford, J. P., 1954 Psychometric methods. 2nd ed. N. Y.: McGraw-Hill.
- Howkins, J. E., & Stevens, S. S. 1950 The masking of pure tones and of speech by white noise. J. Acoust. Soc. Am., 22.
- Katsuki, Y., 1961 Neural mechanism of auditory sensation in cats. In Sensory communication. Mass.: M. I. T. Press.
- Lochner, J. P. A., & Burger, J. F. 1961 Form of the loudness function in the presence of masking noise. J. Acoust. Soc. Am., 33.
- Robinson, D. W. 1953 The relation between the sone and phon scales of loudness. Acustica. 3.
- Robinson, D. W. 1957 The subjective loudness scale. Acustica. 7.
- Stevens, S. S. 1955 The measurement of loud-

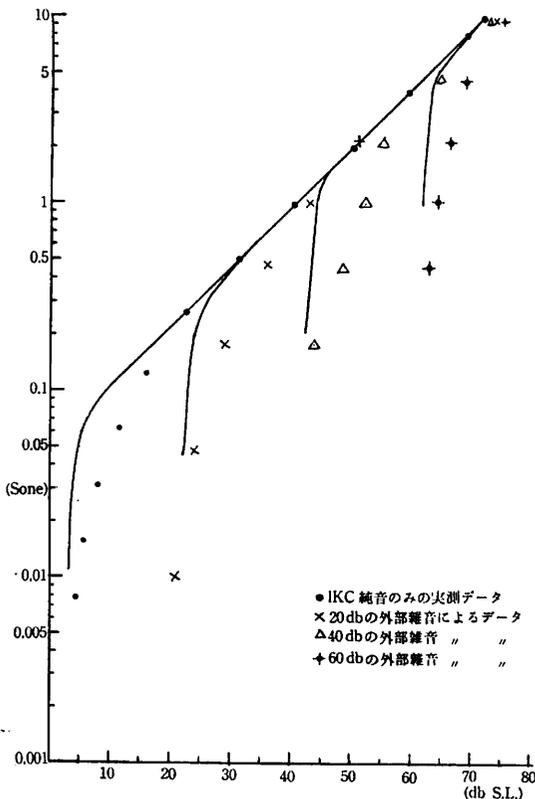


Fig. 10. $\phi = k(I - I_0)^n$ によるあてはめ

- ness. J. Acoust. Soc. Am., 27.
- Stevens, S.S. 1957 On the psychological law. Psychol. Rev., 64.
- Stevens, S.S. 1961 The psychophysics of sensory function. In Sensory communication. Mass.: M.I.T. Press.
- 寺西立年, 1963 音の大きさの単位, 電気試験所調査報告, 135.
- Zwischer, E., Flottorp, G., & Stevens, S.S., 1957 The critical bandwidth in loudness summation. J. Acoust. Soc. Am., 29.
- Zwislocki, J., & Hellman, R.P., 1961 Some factors affecting the estimation of loudness. J. Acoust. Soc. Am., 33.