

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 音の大きさを与える一般式：閾値近辺のラウドネス・スケール  |
| Sub Title        | The general equation for loudness scales near threshold   |
| Author           | 安東, 潔(Ando, Kiyoshi)  |
| Publisher        | 慶應義塾大学大学院社会学研究科   |
| Publication year | 1969  |
| 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.9 (1969. ) ,p.35- 39   |
| JaLC DOI         |   |
| Abstract         |   |
| Notes            | 論文  |
| Genre            | Departmental Bulletin Paper   |
| URL              | <a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000009-0035">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000009-0035</a> |

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.

# 音の大きさを与える一般式

— 閾値近辺のラウドネス・スケール —

The General Equation for Loudness Scales near Threshold

安 東 潔

Kiyoshi Ando

刺激の感覚的大きさと、その物理強度との量的対応関係は、次のような冪関数に従うことが Stevens (1955) により提唱されている。

$$\psi = KI^n \dots\dots\dots (1)$$

但し、 $\psi$  : 感覚量

I : 物理量

K : 単位に関する定数

n : 感覚過程に関する定数

このような関数のグラフを、両対数座標に描くと直線になるわけであるが、実際には、実験データが閾値近辺において直線からはずれ、下降してゆくことが知られている。

Lochner, & Burger (1961) は、この現象を、純音のラウドネス・スケールに関して、次のように説明している。

すなわち、感覚としての音の大きさと、その物理強度との間には、Stevens の主張の如く (1) 式の関係が成立するとしても、聴覚系に存在する内部雑音が、閾値近辺の音の感覚的大きさに影響を与え、これが結局、実験データを直線グラフより下降せしむる要因として働くこと云うものである。今、この内部雑音を、物理次元上での等価雑音  $I_i$  としてあらわすと感覚次元への変換にあたって、パラメーター K 及び n は (1) 式と同じものを取り、 $\psi_i = KI_i^n$  なる表現がとられる。したがって、このような内部雑音によりマスクされた純音の感覚的大きさは、最終的に次式で表わされる。

$$\psi = KI^n - KI_i^n \dots\dots\dots (2)$$

音のレベルが十分大なるところでは、 $\psi$  の中で内部

雑音の帰与する量  $KI_i^n$  が割合の上で小であるから、純音の感覚的大きさは  $\psi = KI^n$  のみで近似出来るが、閾値近辺においては、 $KI_i^n$  の内部雑音成分を無視することは出来ない。Lochner & Burger 等は以上のような修正を冪関数に行うことによって、実験データをより良く記述説明することが可能になると考えた。

彼等は、Hellman, & Zwislocki (1961) による純音のラウドネス・スケールの実験データに、その理論曲線をあてはめているが、更に、内部雑音のみならず外部雑音によるマスキング事態の純音の感覚的大きさを表わす場合にも、(2) 式が拡張解釈されうることを示した。すなわち、一般に雑音でマスクされた場合の純音の感覚的大きさを表わす式、

$$\psi = KI^n - KI_0^n \dots\dots\dots (3)$$

を与えた。ここで、 $I_0$  は内部雑音の実効量 ( $I_i$ ) 及び外部雑音の実効量 ( $I_e$ ) を総計して扱ったパラメーターである ( $I_0 = I_i + I_e$ )。

本稿では、Lochner 及び Burger の考え方の得失を検討するために、筆者の行った実験について報告する。

## 実験 1

純音のラウドネス・スケールを閾値近辺に至るまで求め、(2) 式がその実験データを良く記述し、又、閾値近辺の下降現象を内部雑音によるマスキング効果と考え得るかを検討する。

## 方 法

手続：被験者は無響室内で測定用イヤホン (岩崎通信

機KK製 DR-305)により, 1kHz純音を片耳で受聴した (Fig. 1)。刺激提示方法は Fig. 2 に示されている如く, 最初に標準刺激, 次に変化刺激が0.5秒間の間隔をはさんで1秒間づつ与えられた。又, これら刺激音には点減時のクリックを避けるために 150m sec/60db のレベル傾斜がつけられた。ところで, 被験者は変化刺激を, 感覚的大きさに関して標準刺激の半分になるように調整する fractionation method の判断手続を行う事が要求された。そこで, 被験者はボタン操作によって変化刺激のレベルを感覚的に半分と思われる点を中心に, 最初は 4 db ステップで上下に往復調整を行い, 次に 3 db ステップで同様の手続を行い, 更に 2 db ステップ, 1 db ステップと順次感覚的に半分の大きさの目標値へと収束させていった。

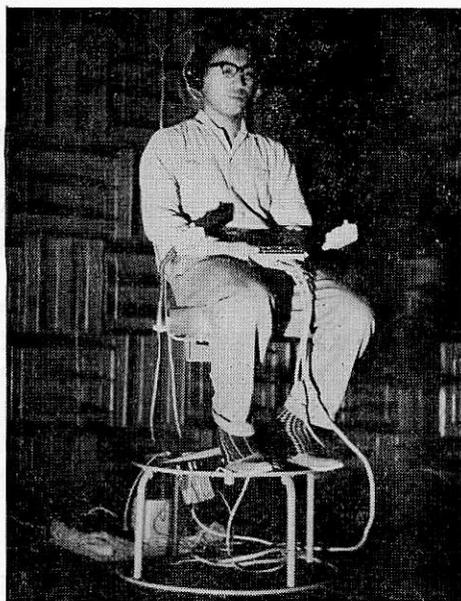


Fig. 1 Subject in anechoic chamber.

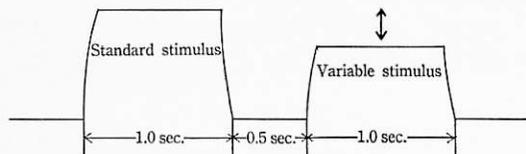


Fig. 2 1 kHz standard and variable stimuli for Experiment 1.

標準刺激のレベルは次の10点である。

5 db, 10 db, 15 db, 20 db, 25 db, 30 db, 40 db, 50 db, 60 db, 80 db。

なお, この実験では, 閾値近辺の実験データを重視す

るために, すべての被験者の 1 kHz 最小可聴値が前もって調べられ, 被験者の閾値の個人差を取り除くために, 刺激強度を各個人毎の感覚レベルに統一して基準化してある。

装置: 通産省電気試験所音響研究室の聴感測定装置 (寺西, 1965) にて実験が行われ, 刺激提示等は制御装置により自動化されたものである (Fig. 3)。装置のブロック図は Fig. 4 に示されている。

被験者: 心理実験に慣れた正常聴力の青年男女7名を用いた。

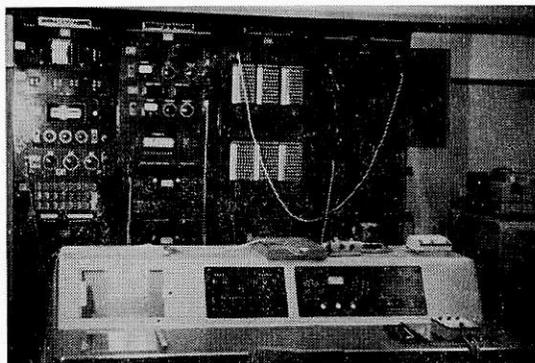


Fig. 3 Apparatus and control system.

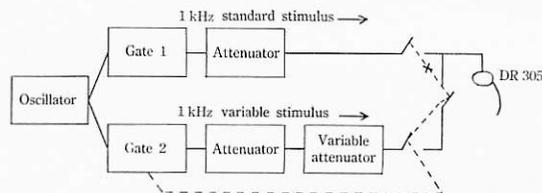


Fig. 4 Blockdiagram of apparatus for Experiment 1.

## 結 果

各標準刺激に対して, その感覚的大きさが半分であると判断された変化刺激のレベルが Table 1 に与えられている。これは7名の被験者のデータ (1人の被験者はそれぞれ4回の調整を標準刺激1点につき行った。) の中央値をとったものである。この結果から 40 db を 1 sone と定義して, グラフイカルに純音の物理強度と感覚的大きさとの対応関係を求めたものが Table 2 である。これをグラフに描いたものは, Fig. 7 に実験2の結果と共に示されているが, 閾値近辺において実測値が直線グラフより下降してゆく傾向が見られた。

Table 1 Level of standard stimulus and halved variable stimulus.

| Sensation level of 1kHz standard stimulus in db | Median sensation level of halved 1kHz variable stimulus in db | 50% range of total judgments in db |
|---|---|------------------------------------|
| 5   | 4.2   | 2~6                                |
| 10  | 7.8   | 6~9                                |
| 15  | 9.9   | 7~12                               |
| 20  | 15.1  | 11~16                              |
| 25  | 17.4  | 14~19                              |
| 30  | 21.3  | 17~24                              |
| 40  | 29.4  | 25~34                              |
| 50  | 41.5  | 35~44                              |
| 60  | 50.5  | 45~52                              |
| 70  | 72.2  | 66~74                              |

Table 2 Relation between loudness and physical intensity of 1kHz pure tone.

| Loudness | Physical intensity* |                       |
|----------|---------------------|-----------------------|
|          | P db (S.L.)         | I (I/I <sub>0</sub> ) |
| 0.0078   | 4.6                 | 2.88                  |
| 0.0156   | 5.7                 | 3.71                  |
| 0.0313   | 8.3                 | 6.76                  |
| 0.0625   | 11.9                | 15.5                  |
| 0.125    | 15.7                | 37.1                  |
| 0.25     | 22.3                | 170                   |
| 0.5      | 30.5                | 1,120                 |
| 1.0      | 40.0                | 1.0 × 10 <sup>4</sup> |
| 2.0      | 49.6                | 9.1 × 10 <sup>4</sup> |
| 4.0      | 59.3                | 85 × 10 <sup>4</sup>  |
| 8.0      | 68.3                | 676 × 10 <sup>4</sup> |

\* P (db) = 10 log I = 10 log I/I<sub>0</sub>  
 I<sub>0</sub>: Intensity at threshold in each subject

実験 2

外部雑音にマスクされた純音のラウドネス・スケールを求め、これが実験 1 で得られた内部雑音の場合の拡張と考えられ得るかを検討する。

方 法

手続：実験 1 と同様に無響室内にてイヤホンによる片耳聴である。刺激の提示方法は Fig. 5 に示されている如く、1kHz 純音の標準刺激及び変化刺激が被験者に与

えられる。ところで、今回は外部雑音として、一定レベルのオクターブバンド・ノイズ (700Hz~1,400Hz) が標準刺激の提示時を除いて常時与えられており、被験者は変化刺激 (外部雑音にマスクされている 1kHz 純音) を標準刺激 (1kHz 純音のみ) に対して、感覚の大きさが等価になるように調整する。この手続も実験 1 と同様のもので、標準刺激に対して感覚的に等価と思われる点へと変化刺激を段階的に収束させるものであった。ここでは fractionation judgement を用いず、標準刺激に変化刺激を等価させ、実験 1 で得られた純音のランドネス・スケールの結果を基にして外部雑音にマスクされた場合のスケールを間接的に求めるわけである。

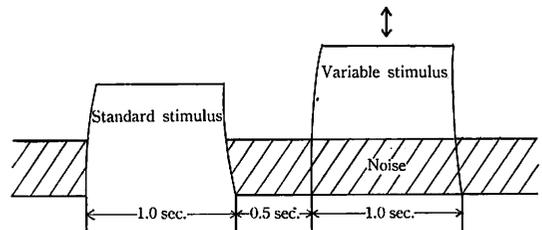


Fig. 5 Standard stimulus and masked variable stimulus for Experiment 2.

変化刺激の 1kHz 純音をマスクする外部雑音レベルは 20 db, 40 db, 60 db (いずれもオクターブ帯域内にある雑音の総計の強度) の 3 段階で、それぞれの場合の標準刺激である 1kHz 純音のレベルは次の如くである。

- i) 20 db の外部雑音にマスクされた 1kHz 標準刺激レベル  
 10 db, 20 db, 30 db, 40 db, 60 db, 70 db.
- ii) 40 db の外部雑音の場合  
 20 db, 30 db, 40 db, 50 db, 60 db, 70 db.
- iii) 60 db の外部雑音の場合  
 30 db, 40 db, 50 db, 60 db, 80 db.

なお、実験 2 の場合も、物理強度を各個人毎の感覚レベルに統一して基準化してある。

又、標準刺激の提示時を除いて、常時、雑音が与えられていることについて、聴覚の疲労現象及び標準刺激そのものに対する雑音の影響が懸念されたため、最小可聴値を手がかりとしてこの点をたしかめておいた。すなわち、実験 2 の標準刺激の如くに、雑音が常時提示されていて、純音の提示時のみ雑音がなくなると云う条件での最小可聴値と純音のみの場合とを比較してみると両者の間に有意な差がみられなかったことを付言しておく。

装置：実験 1 の装置に雑音発生器を加えたものであるが、そのブロック図は Fig. 6 に示されている。

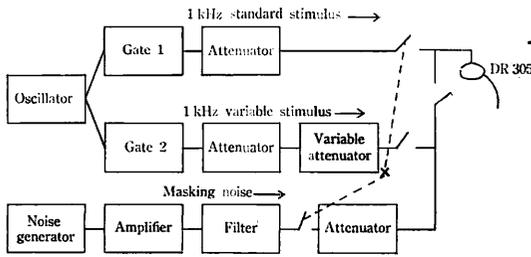


Fig. 6 Blockdiagram of apparatus for Experiment 2.

被験者：実験 1 と同等の資格を備えた 6 名を用いた。

Table 3 Level of standard stimulus and equally matched variable stimulus.

| 1 kHz standard stimulus |                  | 1kHz variable stimulus in db |             |             |
|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------|-------------|
| Sensation level in db   | Loudness in sone | Masked by 20 db noise        | 40 db noise | 60 db noise |
| 10                      | 0.047            | 24.4                         |             |             |
| 20                      | 0.18             | 28.9                         | 43.9        |             |
| 30                      | 0.45             | 35.9                         | 48.6        | 62.5        |
| 40                      | 1.0              | 42.4                         | 52.3        | 64.3        |
| 50                      | 2.2              | 52.3                         | 55.4        | 66.5        |
| 60                      | 4.7              | —                            | 63.5        | 68.6        |
| 70                      | 9.8              | 71.6                         | 71.5        | 72.8        |

結 果

標準刺激に対して、感覚的大きさが等価であると判断された変化刺激のレベルが Table 3 に示されている。これは 6 名の被験者が各点について 4 回の判断を行った

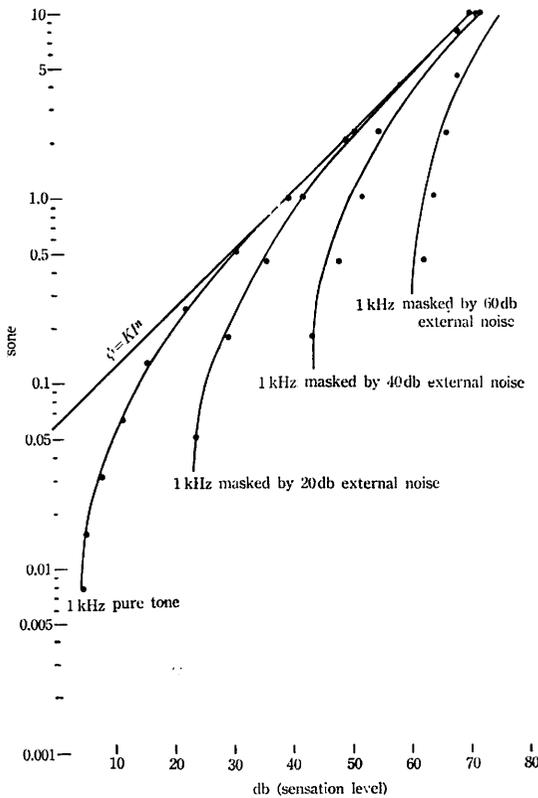


Fig. 7 1 kHz loudness scales masked by internal and external noises. Experimental data and theoretical curves.

ものを平均した値であるが、標準刺激の sone 値は実験 1 の結果を基にして求めることが出来るので、3 段階の外部雑音によってマスクされた純音の感覚的大きさと物理量との量的対応関係が得られた訳である。この表をグラフに描いたものは Fig. 7 の実測点として示されているが、雑音レベルが増すにつれてグラフは下降の傾向を示し、いわゆる補充現象がみられた。

考 察

実験 1 及び 2 で得られた実測データに (3) の理論式をあてはめるために、次のようにしてそのパラメーターを決定した。まず Fig. 7 の 1kHz 純音のラウドネス・スケールの 40db より上の直線部分の勾配をグラフィカルに求めた。これが (3) 式のパラメーター n に相当するものである。次に (3) 式を  $\psi = KI^n - C$  と表わし、 $\psi$  に対する測定誤差率の二乗和を最小にするような K, C の値を求める。次に C の値を  $KI_0^n$  の内容に分ける。このようにして定められた各場合の理論式を以下に示す。

i) 1 kHz 純音の感覚的大きさ

$$\psi = 0.057 I^{0.32} - 0.057 \cdot (2.08)^{0.32} \dots \dots \dots (4)$$

ii) 外部雑音 20 db マスクされた 1 kHz 純音の感覚的大きさ

$$\psi = 0.057 I^{0.32} - 0.057 \cdot (176)^{0.32} \dots \dots \dots (5)$$

iii) 外部雑音 40 db の場合

$$\psi = 0.057 I^{0.32} - 0.057 \cdot (186 \times 10^2)^{0.32} \dots \dots \dots (6)$$

iv) 外部雑音 60 db の場合

$$\psi = 0.057 I^{0.32} - 0.057 \cdot (141 \times 10^4)^{0.32} \dots \dots \dots (7)$$

前述の如く、 $\psi$  は 1 kHz, 40 db ( $I=10^3$ ) の感覚的大きさを 1 sone と定義したものであり、I は各個人の閾値強度を単位にとった値である。これらの式はマスクング・ノイズの強さが変わっても、(3) 式のパラメーター K

及び  $n$  を一定とし、雑音成分のパラメーター  $I_0$  の値のみをそれぞれの場合に於て変化させたものである。これらの理論式のグラフが Fig. 7 に示されているが、実測値の閾値近辺の下降をかなり良く記述していることが知られるであろう。なお、Stevens (1961) は閾値の補正を行った  $\psi = K(I - I_0)^n$  なる式を与えたが、本実験のデータの閾値近辺に於ける適合性は Lochner の (3) 式に分があるようである (安東, 1966)。

次に、理論的に推定された  $I_0$  の値がどのような意味を持つか検討してみよう。まず、1kHz 純音のみの場合の (4) 式の  $I_0$  の値は前もって測定された最小可聴値の 2.08 倍となった。すなわち、最小可聴値の約 2 倍の強さに相当する内部雑音が存在していたと云うことになるが、最小可聴値の測定を行う実験事態と loudness judgement の実験事態とは種々の点で条件が異っており、前者の操作で得られる閾値レベルと後者の操作を経て推定される等価雑音レベルとの間には若干の差異が当然予想される所であった。しかし、この差異が聴覚過程或いは判断過程において何を意味するものであるかを判定するきめ手は現在のところ擱めていない。ところで、外部雑音によるマスキング事態の場合には  $I_0$  の値の妥当性判定に関して、マスキング・ノイズの限界帯域巾の実効レベルと比較してみることが可能である。Table 4 には、Zwicker, Flottorp, & Stevens, (1957) によって与えられた限界帯域巾から、1kHz 純音に対するマスキング・ノイズの実効レベルを算定したものが示されているが、本実験の  $I_0$  の値と比較してみると両者の間には余り良い一致はみられず、 $I_0$  は限界帯域巾の実効レベルより約 8 db 大きな値になっている。こ

Table 4  $I_0$  value and effective level of critical bandwidth.

|                                | $I_0$ value*                 | Effective level of critical bandwidth |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Masked by 20 db external noise | 174<br>(22 db)               | 25.1<br>(14 db)                       |
| Masked by 40 db external noise | $185 \times 10^2$<br>(43 db) | $25.1 \times 10^2$<br>(34 db)         |
| Masked by 60 db external noise | $141 \times 10^4$<br>(62 db) | $25.1 \times 10^4$<br>(54 db)         |

\*  $I_0 = I_0 - I_1$

の場合もやはり、不一致の原因として loudness judgement の実験と限界帯域の実効レベルを測定する実験事態との差異と云うことも考えられるが、雑音が存在するときの音の大きさを与える式として (3) 式が完全には正しくなかったためではないとも考えられる。雑音が存在する場合の音の大きさを与える式は (3) 以外にも種々考えられるが、いずれが最も妥当であるかと云うことになる、それぞれ長短があつて容易に結論づけられない (寺西, 1963, Zwilochi, 1965)。しかし、それにもかかわらず (3) 式は閾値近辺の露関数からのはずれを修正し、それを内部雑音によるマスキング現象と仮定し、このことから、外部雑音によってマスクされた純音の感覚的大きさを表わす式に拡張して考えられる可能性を示した点に意味がある。更に、他の感覚過程にもこの式が適用可能であるか否かについても多くの問題を残していると思われる。

本研究に於いて、懇切なる御指導を賜つた印東太郎教授及び電気試験所音響研究室の寺西立年博士に謝意を表わします。

#### 引用文献

- 安東 潔 1966 Loudness scale について 慶応義塾大学社会学研究科紀要, 第 7 号, 1-9.
- Hellman, R.P., & Zwilochi, J. 1963 Some factors affecting the estimation of loudness. *J. acoust. Soc. Amer.*, **33**, 687-694.
- Lochner, J. P. A., & Burger, J. F. 1961 Form of loudness function in the presence of masking noise. *J. acoust. Soc. Amer.*, **33**, 1705-1707.
- Stevens, S.S. 1955 The measurement of loudness. *J. acoust. Soc. Amer.*, **27**, 815-829.
- Stevens, S.S. 1961 The psychophysics of sensory function. In Rosenblith, W.A. (Ed.), *Sensory communication*. Mass: M.I.T. Press. Pp.1-35.
- 寺西立年 1963 音の大きさの単位 電気試験所調査報告, 第 135 号, 30.
- 寺西立年 1965 音の大きさ計量に関する研究 電気試験所研究報告, 第 658 号, 21-41.
- Zwicker, E., Flottorp, G., & Stevens, S.S. 1957 The critical bandwidth in loudness summation. *J. acoust. Soc. Amer.*, **29**, 547-557.
- Zwilochi, J. 1965 Analysis of some auditory characteristics. In Luce, R.D., Bush, R.R., & Galanter, E.G. (Eds.) *Handbook of mathematical psychology*, Vol. III New York: John Wiley. Pp. 1-97.