

招待講演(1)

変動騒音の評価 — 物理的時間と心理的時間

Evaluation of Temporally Varying Sounds
- Physical Time and Psychological Time桑野園子 (大阪大学)
Sonoko Kuwano (Osaka University)

1. はじめに

音が人にどのように受けとめられるかは、音の物理的特性だけではなく音が評価される枠組みによって影響される。枠組みは音の文脈と聞き手の社会的、文化的な背景など種々の要因から構成される[1-3]。聴覚は時間の流れに沿って情報が伝達される感覚であり、時間的側面が音の評価に重要な役割を果たしている。それ故に、時間的側面も音の評価における枠組みの構成に寄与する。

主観的な時間の流れは物理的な時間の流れとは必ずしも一致しない。時計で計測された時間は一定の速度で流れるが、主観的な時間の流れは、一定ではなく、時には現在から過去へと逆行することさえもある。時間分解能もまた、一定ではない。我々の聴覚は微細な時間の差について鋭敏で、非常に短いギャップも検知できる[4]。一方、重要でない部分を無視して、長時間の事象全体をおおまかに把握することもできる。

音の評価において、音の継続時間や被験者に与えられた課題によって異なった枠組みが用いられる。ここでは、主観的な時間の長さを3つのカテゴリ、すなわち、知覚的瞬間、知覚的現在、聴覚の記憶に分けて、変動音の評価について考えたい。

1.1 知覚的瞬間

非常に短い2つの音、AとBが短い間隔で続いて提示される時、我々はAとBのどちらが先に提示されたのかわからない。音の順序が識別できない時間範囲を「知覚的瞬間」と呼ぶ[5]。知覚的瞬間の時間は、感覚属性や測定方法によって異なるが、およそ100 ms以下であると報告されている[5, 6]。この時間内では、音の順序は識別できないが、我々は音質の相違によって音の組み合わせを識別することができる。ハース(Haas)効果[7]によって示されるように、音の方向定位も可能である。

1.2 知覚的現在

物理的に「現在」はポイントであるが、心理的には、

そこで生じたすべての事象が同時と認知される時間範囲がある。この時間を「知覚的(心理的)現在」という。Fraissee [8]によれば、2つの音の間隔がおおよそ1.8 - 2 sであると同じ知覚的現在に属する。知覚的現在の最大持続時間は7 ~ 8 sであるとの報告もある[9]。知覚的現在の時間範囲は、内容(スピーチ、音楽、あるいはノイズ)、冗長性、期待、音の間隔、各要素の持続時間、被験者の個人差などによって影響されるので一定ではない。しかし、知覚的現在は、物理的現在のようなポイントではなく、ある持続時間を持つことに疑いはない。

知覚的現在の範囲内では時間の順序が識別できる。すなわち、音AとBのどちらが先に提示されたか識別できるので、スピーチの意味や音楽演奏のメロディーを理解することができる。

1.3 聴覚の記憶

知覚的現在より長い音を聞く時、時間の流れとともに、先行する部分が順次記憶として蓄えられて行き、全体の印象は記憶に基づいて判断される。聴覚の記憶に関しては多くの研究が行われてきた[e.g. 10, 11]。様々な要因が長時間の音の印象に影響を与えるが、容易に想起される音の部分が全体の印象に大きな影響を与えられとされる。

2. 変動音の評価

変動音の評価について、これらの3つの時間範囲との関係で論じる。音の評価において、音に対する主観的な印象を測定すること、そして主観的な反応とよい対応を示す物理的な指標を見いだすことが重要である。これらの測定にあたって、その目的に応じて適切な方法を選択することも大切である。

2.1 音の評価における知覚的瞬間

(1) 大きさ

知覚的瞬間内の事象は1つの事象として統合される。衝撃音は短い音であり、知覚的瞬間内に生じる音と

考えられる。衝撃音の大きさに関してわれわれが行った8つの実験結果をまとめて Fig. 1 に示す [12]。大きさと L_{AE} (単発騒音暴露レベル) の間により対応がみられる。衝撃音の評価に関するラウンドロビンテストでも同様の結果が見いだされた [13, 14]。これらの結果から、知覚的瞬間内の音の大きさは、そのエネルギーが1つの単位として積分され、 L_{AE} で評価できることが示唆される。

(2) 時間パタンの効果

衝撃音のひとつの事象内で時間の順序は識別できないが、時間パタンの相違は音質の相違として知覚される。例として、ゴルフクラブによって、ゴルフボールを打った音の calculated sharpness [15] の時間変化を Figs. 2, 3 に示す [16]。これらの図から calculated sharpness の時間変化パターンに相違があることがわかる。打った瞬間の sharpness (S_0 ; ●印) と60 ms 後の sharpness の差と音質の印象との関係を Fig. 4 に示す。両者の間に良い対応がみられ、このことは、衝撃音の最初の部分の時間変化が音質評価の重要な要因であることを示唆している。

衝撃音の大きさは第1次近似として L_{AE} によって評価できる。しかし、音の時間パターンもわずかで

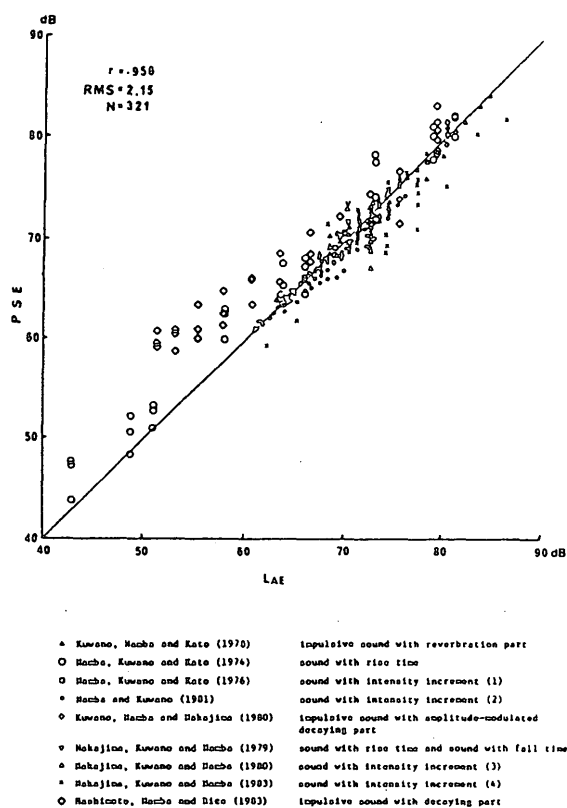


Fig.1

はあるが、大きさに系統的な影響を与える。例として、非定常音の刺激パターンとその大きさの実験結果を Figs. 5, 6 に示す [17]。すべてのパターンで L_{AE} の値が同じであるにもかかわらず、増分が刺激の最初に位置するパターン1は有意に他のパターンより大きく判断された。これには聴覚の動特性が関与していると考えられる。

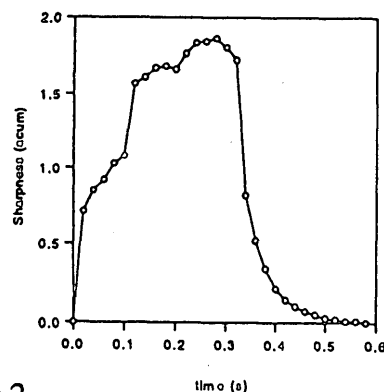


Fig.2

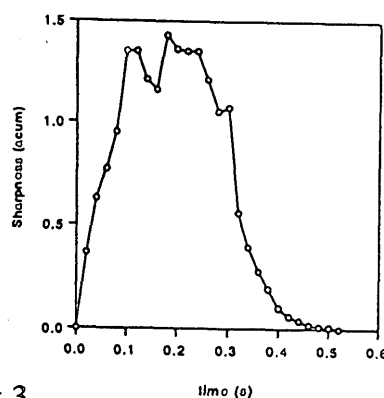


Fig.3

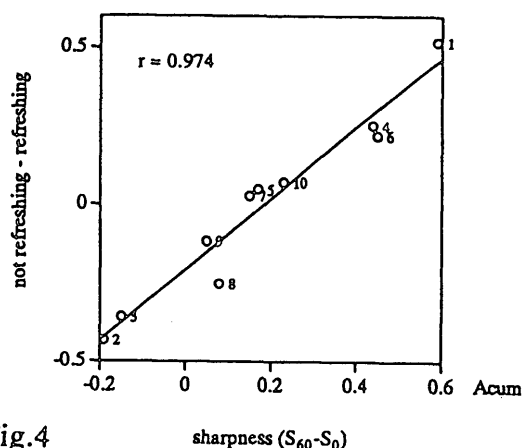


Fig.4

(3) 聴覚の動特性のモデル

難波らは上述の非定常音の大きさ判断に基づいて Fig. 7 に示す聴覚の動特性のモデルを提案した[17]。このモデルでは、刺激の最初にオーバーシュート、中央付近にサプレッション、刺激後に残効があることを示す。このモデルの妥当性はマスキングによる実験でも確認された[18]。

2.2 音の評価における知覚的現在

Fraisse [8] によれば、2つの音の間隔がおおよそ 1.8–2 s であると同じ現在に属すると知覚される。この時間は知覚的現在を表す適当な長さであると思われる。日常生活経験から、知覚的現在の概念は容易に理解できるが、実験的に知覚的現在の限界を測定することは容易ではない。従来の精神物理学的方法による測定は難しく、現象学的観察が必要であろう。次にわれわれが開発した「カテゴリー連続判断法」[19–21]により、知覚的現在の時間を検討した例を紹介する。

(1) カテゴリー連続判断法

自動車が接近してくるとき、音が次第に大きくなり、遠ざかる時、音は次第に小さくなると感じる。従来の心理学的測定法によってこのような連続的な時々刻々の判断をとらえることは不可能である。難波・桑野らは時々刻々の判断を連続的にとらえるために「カテゴリー連続判断法」と呼ぶ方法を開発した[例えば19–21]。カテゴリー連続判断法による実験では、被験者は時々刻々の印象を「非常に小さい」から「非常に大きい」まで7つのカテゴリーを使って判断し、その印象に対応するキーボード上のキーを押すように求められる。印象が変化しないなら、反応する必要がない。被験者がキーを押すと、それがモニター上に表示され、その印象が続いているとみなされる。印象が変化するときに対応するキーを押せばよい。時々刻々の判断と時々刻々の物理量、および時々刻々の判断と全体の印象を対応づけることなどによって、貴重な情報が得られる。

(2) 知覚的現在の推定

約20分の道路交通騒音の大きさの時々刻々の印象をカテゴリー連続判断法を用いて求めた[20]。スピーカから再生した音を100 msごとにサンプリングして測定し、100 msごとにサンプリングした被験者の反応との相関係数を、両者の時間間隔をずらせながら計算した。最も高い相関係数が得られた時間間隔を反応時間とみなし、全被験者の反応を反応

時間を考慮に入れて平均した。

知覚的現在を推定するために、音のエネルギーを0.5から6.0秒までの時間で平均し、100 msごとにサンプリングした被験者の反応と対応づけたところ、2.5秒間の平均をとった時、最も高い相関が得られた。物理量とカテゴリー連続判断の間の相関係数を知覚的現在の指標とみなすと、もっとも高い相関が得られた平均化時間が知覚的現在の最適時間を表していると考えられる。

この実験で最も高い相関が得られた2.5秒という時間は他の方法を用いて他の研究者が提案している知覚的現在の値に近い値である[22]。

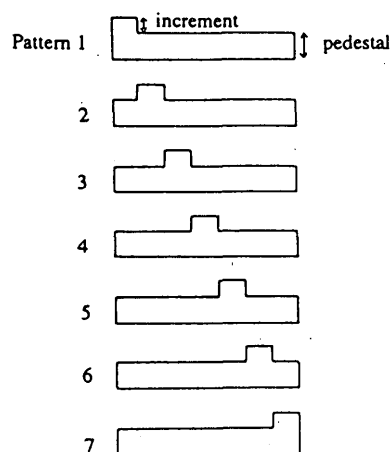


Fig.5

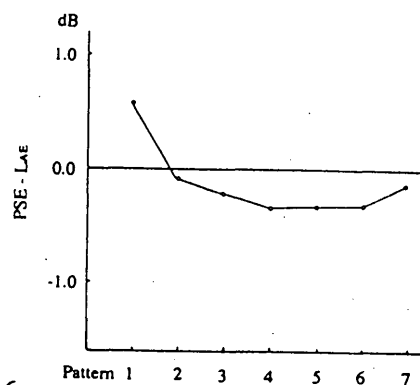


Fig.6

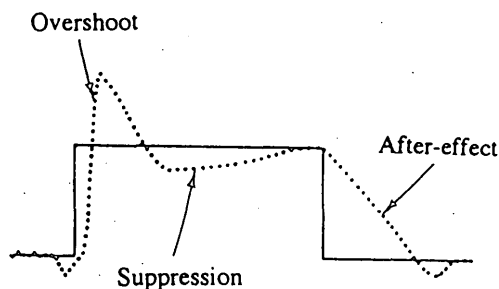


Fig.7

(3) 大きさ

知覚的現在内で起きる聴覚の事象は現在と知覚されるが、物理的にはある持続時間を持ち、事象内で時間順序は識別される。知覚的現在の持続時間は、積分が生じる上限である臨界継続時間より長い。それ故、知覚的現在での聴覚事象の印象は平均化され、判断される。

難波・桑野らは人工音と現実音を用いて、一連の実験を行い、 L_{Aeq} (等価騒音レベル) と主観的な印象との間により対応があることを見いだした。今までに行った11実験の結果をまとめてFig. 8に示す[23]。大きさがエネルギー平均値とよい対応を示すことがわかる。これらの実験は、それぞれ独立に行ったものであり、各実験の中では同種の音源を用いた。持続時間と音源の種類が同じであるとき、すなわち枠組みが同じであるとき、 L_{Aeq} は時間的に変化する音の大きさの良い指標であることがわかる。

2.3 変動音の評価における聴覚の記憶

音の持続時間が知覚的現在を越えてより長くなると、音の印象は記憶に基づいて判断され、認知的、社会的、文化的な要因など種々の要因が音の印象に影響を与える。音全体の印象は種々の要因に重みをかけた平均値によって決まると考えられる。

(1) 大きさ

L_{Aeq} は時間的に変化するさまざまな音のよい指標である。しかし、枠組みが異なるとき、 L_{Aeq} からの逸

脱が生じる可能性がある。

航空機騒音、鉄道騒音、道路交通騒音など種々の音を同じ刺激文脈の中でランダムに提示し、大きさの判断を求めた実験結果をFig. 9に示す[24]。ここでも L_{Aeq} が第1次近似として種々の音の大きさの良い指標であることがわかる。しかし、詳細にみると、音源の間にわずかであるが、統計的に有意な差がみられる。例えば、レベルが高いとき、 L_{Aeq} の値が同じであっても、航空機騒音は鉄道騒音より大きいと判断された。認知的要因が大きさの判断に有意な効果を持つことが示唆された[24-26]。

1998年9月に、我が国の「騒音に係る環境基準」が L_{Aeq} を採用したものに改訂された。この環境基準は主に道路交通騒音を対象としたものである。現在、我が国では、航空機騒音や新幹線騒音の環境基準には異なる指標が用いられている。これらの騒音源にも同様に L_{Aeq} を基本的な指標として用いる方が望ましく、基準値は時間的、認知的要因を考慮に入れて音源別に決定すべきであろう。

(2) 慣れ

音の時間の流れと関係があるもう1つの現象が慣れである。我々が連続的に同じ音にさらされるとき、その音に対する反応は次第に減少し、そして最終的に音がまったく気にならなくなる。この現象は慣れと呼ばれる。長時間の音の評価において、慣れ易い音の特性を見つけることは有益であろう。従来の心理学的測定法では被験者が判断する刺激に注意を向ける必要があるため、これらの方法で慣れを測定することは難しい。

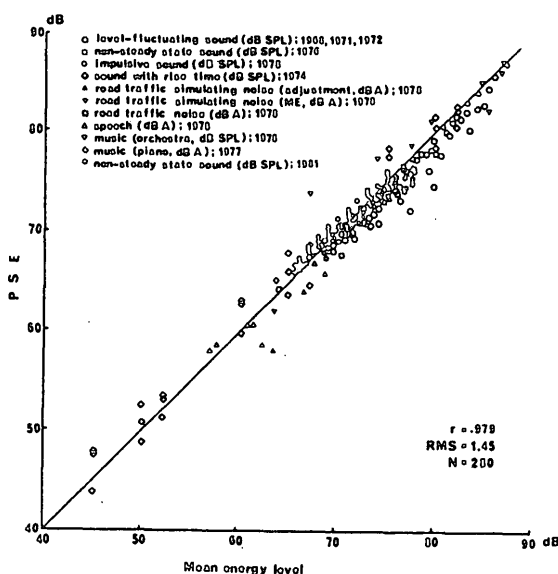


Fig.8

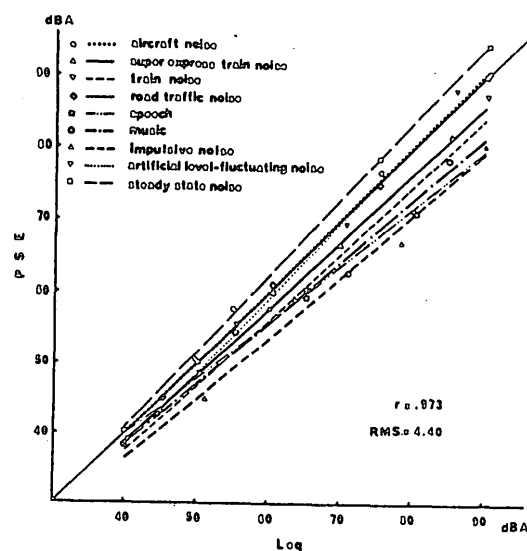


Fig.9

カテゴリー連続判断法では、反応しないこと、あるいは反応回数を指標として慣れを測定することができる [27, 28]。30 分の刺激の初めと終わりに同じ部分を設けて実験を行い、これらの部分に対する反応回数を比較した。その結果、慣れの程度が音によって異なること、すなわち、慣れやすい音と慣れにくい音があることが示唆された [28]。

3. 知覚と記憶の関係

3.1 全体判断と時々刻々の判断との関係

長時間の変動音の全体の印象を決定する要因を見いだすことは容易ではない。ゲシュタルト心理学者が主張するように、全体の印象は全体を構成する個々の刺激や時々刻々の印象の単純な総和ではない [29]。全体の印象と時々刻々の印象はお互いに独立ではない。それぞれの構成要素に一種の主観的なウエイトを与えることによって、全体の印象は決定されるであろう。個々の印象もまた、全体の文脈や過去の経験から構成される枠組みによって影響される [2]。

長時間の変動音の評価を検討するために、時々刻々の印象と全体判断を測定することは有益であろう。カテゴリー連続判断法による実験では、連続判断のあと、被験者に全体判断などを求める。この回答から実験データの解釈に重要な情報が得られる。音の提示後、全体判断をいつ求めるかは慎重に検討すべきである。直後に求めると、全体判断は音の最後の部分のみに基づいてされるかもしれない。また、長く時間が経つと、印象は不鮮明になるであろう。

全体判断と時々刻々の判断の関係の例を Fig.10 に示す [19]。時々刻々の判断の直後に行った全体判断 (○) は、時々刻々の判断の平均より少し大きいことがわかる。しかし、時々刻々の判断の 1 カ月後に行った全体判断 (◎) は時々刻々の判断のすぐ後の全体判断よりかなり大きい。これは記憶の法則を反映している。時間の経過に伴って、目立つ部分の印象がより強くなり、目立たない部分の印象は弱くなる。

自動車交通騒音を用いた別の例でも同様に全体の印象は時々刻々判断の単純な平均より大きいことが確認された [20]。時々刻々の判断のどの部分が全体判断に寄与しているのかを検討するために、最大のレベルより -10, -20, -30 dB のところまでの時々刻々の判断のみを平均してみたところ、-30 dB までの平均値が全体判断と近い値を示すことがわかった。この結果は目立つ部分が全体判断に大きい影響を与えることを示唆する。全体の印象に貢献する要因を見いだすことは興味深く重要である。

3.2 複数の音源からなる環境騒音全体の判断と個々の騒音源の判断との関係

我々は毎日の生活で様々な種類の音に囲まれている。我々は個々の音源について独立の印象をもつとともに、音環境の全体的な印象を持つ。どのようなメカニズムによって様々な種類の音が混在する音環境の全体の印象が決定されるのかを知ることは、音環境を改善するために有益であろう。複合音源の評価に関する様々なモデルが提案されてきた [30-34]。単純なエネルギー平均値である L_{Aeq} が一般に主観的な印象とかなりよい対応を示すが、常に最もよいとは限らない。

我々の以前の研究で [35]、戸外で 15 分の環境音を聞いた後で、聞こえた音源を思い出して、その名前を書くとともに、その大きさを評価するように求めた。思い出した音源の数や種類は被験者によって異なっていたが、被験者が思い出した音源は、その被験者にとって、印象的な音であると思われる。これらの音の判断を被験者個人ごとに平均した後、全被験者の平均値を求めた。全体の印象に対して、印象に残る音源は他の音源よりも貢献が大きいと考えられる。

アンケートで被験者にどの音が最も大きい音であったか尋ねた。すべての被験者の最も大きい音に対する判断を平均し、被験者が挙げた他の音に対する判断の平均値を加算した。このようにして求めた平均値と全体判断との関係を Fig.11 に示す。刺激 12 を除いて両者の間により対応が見られる。刺激 12 は救急車の音が含まれており、この音はほとんどの被験者が環境音の一部として受け入れていないため、評価がずれたものと思われる。この結果は、長時間の音の全体判断は、個々の構成音に異なるウエイトをかけて決定されることを示唆している。

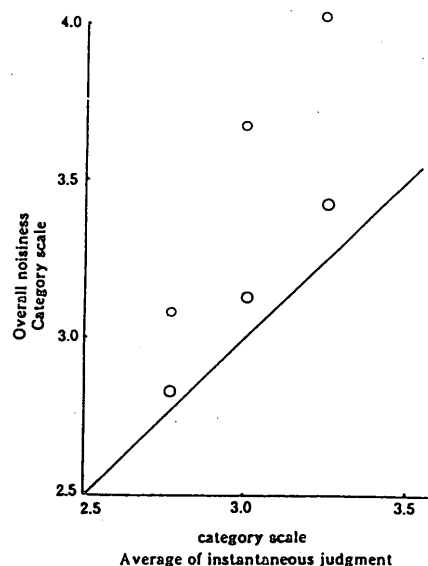


Fig.10

4. おわりに

枠組みは変動音の評価に重要な影響を与える。ここでは枠組みの影響について、時間的側面に焦点をあてて論じた。第1次近似として、大きさの印象は、知覚的瞬間内では L_{AE} 、知覚的現在内では L_{Aeq} 、そして、記憶に基づく判断ではウェイトをかけた平均値によって決定されることが示唆された。ウェイトは単純でなく、時間的要因、音源の物理的要因とともに、認知的、社会的、そして文化的要因に依存して異なるであろう。適切なウェイトを見いだすためには、今後さらにより詳細な検討が必要である。

謝辞

この原稿をまとめるにあたり、貴重なご助言、ご指導をいただきました宝塚造形芸術大学難波精一郎教授に感謝いたします。

引用文献

- [1] S. Namba and S. Kuwano, in A. Schick et al. (Eds.), *Contributions to Psychological Acoustics*, (BIS Oldenburg, 1999), pp.15-38.
- [2] H. Helson, *Adaptation Level Theory*, (Harper & Row, 1964).
- [3] A. Parducci, in E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds.), *Handbook of Perception Vol.II, Psychophysical Judgment and Measurement*, (Academic Press, 1974), pp.127-142.
- [4] A. Eddins and D. M. Green, in B. Moore (Ed.), *Hearing*, (Academic Press, 1995), pp.207-242.
- [5] 寺西立年, 聴覚ハンドブック, 難波精一郎(編)(ナカニシヤ出版, 1984), pp.276-319.
- [6] M. Warren, *Auditory Perception*, (2nd Ed.), (Cambridge University Press, 1999).
- [7] H. Haas, *Acustica*, 1, 49-58 (1951).
- [8] P. Fraisse, *Psychology du Temps*, (Press University, 1957), (Japanese translation by Y. Hara, revised by K. Sato).
- [9] J. A. Michon, in J. Requin (Ed.), *Attention and Performance VII*, (LEA, 1978).
- [10] R. G. Crowder, in S. McAdams and E. Bigand (Eds.), *Thinking in Sound*, (Oxford University Press, 1993), pp.113-145.
- [11] L. M. Ward, *Psychonomic-Bulletin-and-Review*, 6, 472-478 (1999).
- [12] 桑野園子, 難波精一郎, 音響学会騒音研, N8303-13, 79-84 (1983).
- [13] S. Kuwano, et al., *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 8, 241-247 (1987).
- [14] T. Sone, et al., *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 7, 173-182 (1986).
- [15] G. von Bismarck, *Acustica*, 30, 159-172 (1974).
- [16] S. Kuwano, et al., *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 20, 153-155 (1999).

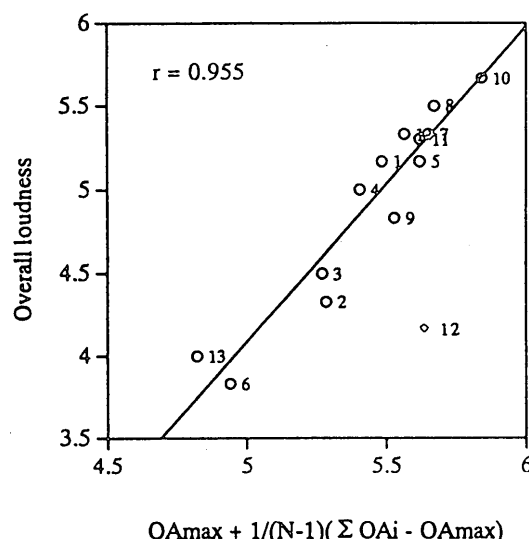


Fig.11

- [17] S. Namba, et al., *Jpn. Psychol. Rev.*, 18, 63-72 (1976).
- [18] S. Namba, et al., *J. Sound Vib.*, 116, 491-507 (1987).
- [19] S. Namba and S. Kuwano, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 1, 99-106 (1980).
- [20] S. Kuwano and S. Namba, *Psychol. Res.*, 47, 27-37 (1985).
- [21] S. Kuwano, in H. Fastl, et al. (Eds.), *Recent Trends in Hearing Research*, (BIS, Oldenburg, 1996), pp.193-214.
- [22] E. Pöppel, in R. Held, H. W. Leibowitz and H. -L. Teuber (Eds.), *Handbook of Sensory Physiology, vol.III, Perception*, (Springer Verlag, 1978), pp.713-729.
- [23] S. Namba, et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, S58 (1978).
- [24] S. Namba and S. Kuwano, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 5, 135-148 (1984).
- [25] S. Kuwano, et al., *J. Sound Vib.*, 127, 457-465 (1988).
- [26] H. Fastl, et al., *J. Acoust. Soc. Japan (E)*, 17, 139-148 (1996).
- [27] S. Namba and S. Kuwano, *J. Sound Vib.*, 127, 507-511 (1988).
- [28] S. Namba, et al., *J. Sound Vib.*, 205, 427-434 (1997).
- [29] J. Hochberg, in E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds.), *Handbook of Perception*, vol.1, (Academic Press, 1974), pp.179-210.
- [30] 難波精一郎, 桑野園子, 産業公害, 19, 282-287 (1983).
- [31] S. M. Taylor, *J. Sound Vib.*, 81, 123-138 (1982).
- [32] T. Gjestland, *Proc. Inter-noise 97*, 1033-1036 (1997).
- [33] B. Berglund and M. E. Nilsson, *Proc. Inter-noise 97*, 1053-1058 (1997).
- [34] J. Kaku, et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, 105, 1005 (1999).
- [35] S. Kuwano, et al., *Proc. ICA*, 1131-1132 (1998).