

調節速度可変の線分長による ラウドネス連続評価の試み

加 藤 徹・難 波 精一郎*・桑 野 園 子*

A Proposal of the Method of Continuous Loudness Judgment by Adjustable Line Length.

Tohru KATO, Seiichiro NAMBA* and Sonoko KUWANO*

は じ め に

音の聞こえの大きさ（以下ラウドネスと記述）の研究は、一つには対象とする刺激音をより複雑化するという形で進展してきた。実験室で被験者に提示する音は、純音から複合音へ、定常音からレベル変動音へ、そしてレベル変動する複合音へと広がっている。単純な物理構造の人工音からより日常的な音へと近づいてきたわけである。次には複数の音源からの音が同時に存在する場面が取り上げられるであろう。例えば、既に Bregman, A. S. (1990) は, auditory streaming という概念で、複数の音源から出た音の混成物である刺激を聴覚が各音源からの音に再構成するメカニズムを取り扱っているが、ラウドネスの決定メカニズムもそのようなより全体的なメカニズムの一部として位置づけていかねばならない。

ところで、音は時間軸上で生起する現象であるから、刺激の複雑化は当然時間上の変化を生み出すことになる。そして、その変化は多くの場合ラウドネスの変化を引き起こす。しかし、ラウドネスの刻々の変化をとらえようとする研究はまだ多くはない。一般的には、一定時間持続する変動音全体のラウドネスがどのように決まるかが問題にされる。無論、これは重要な問題であって、例えば衝撃音の場合にはその激しい短時間のレベル変動が、他の定常音とは異なるラウドネス予測方式を要求するのである。

一方、ラウドネスの変動自体がどのように起きるかという側面も、無視できない意義を持っている。日常生活で耳にする音は、どこかの時点で生起しどこかで消滅する。激しいラウドネ

* 大阪大学教養部心理学教室 (College of General Education, Osaka University)
本研究については平成5年3月の日本音響学会研究発表会で報告した。

スの変化は、音源の何か新しい変化を予想させる。また、ラウドネス変化から、音源の移動に関する情報を得ることもできる。これらは、刻々のラウドネス変化を感知することから、可能になることであろう。また、数秒程度の比較的短い持続時間の音全体のラウドネスは、そのエネルギー平均値で近似できるとしても、日常の有意義で持続時間の長い音については、やはり刻々のラウドネスと全体のラウドネスとの関係を検討する必要があると考えられる。レベル変動がラウドネス判断に与える文脈効果を検討する必要性である。このような問題に関わろうとすると、ラウドネスの連続判断を測定することが必要になる。ところが、ラウドネスに限らず、心理量を連続的に測定する手続きは、確立されているとはいえない。

例えば、ラウドネス順応という古くからの問題がある。一定レベルの音を長時間聞き続けた場合、ラウドネスが時間と共に減少することがあるといわれてきた。従来この現象の測定には、loudness balance と呼ばれる方法が、多用されてきた。しかし、その結果は必ずしも一定せず、数分間の順応で 20 dB 以上という首肯し難い順応量が報告されることも希ではなかった。Scharf B. (1983) は多くの文献を検討して、そのような大きな順応量は測定のために dichotic に且つ同時に比較音を使用したことで誘導されたものであるとの見解に達し、自らは一定時間間隔毎に ME 判断を求める継時 ME 法によりラウドネス順応を調べている。測定を連続的に行おうとする意図が思わぬ影響を及ぼしたわけである。一方、Scharf の継時 ME 法の結果は、30 dB (SL) 以下の小さな音でしか順応が生じないことを示し、これは他の順応を誘導しない測定方法での結果と一致するものである。彼はまた同じ方法により decruitment という現象—音の強さを連続的に減少させるとそのラウドネスはより急速に減少する—の存在を示した (Scharf, 1991)。ここには、反応の連続的測定の難しさだけでなく、それが持っている可能性も示されていると考えられる。

我が国では難波、桑野がカテゴリー連続判断法を開発し、変動音のラウドネスやノイジネスの連続的測定を行っている (Namba & Kuwano, 1980; Kuwano & Namba, 1985)。航空機騒音のノイジネスの連続的評価と音全体の評価を比較することにより、各部のノイジネスは同じ重みで全体のノイジネスに寄与しないこと、背景騒音のレベルが対象となる騒音の評価に影響すること (Namba & Kuwano, 1980)、道路交通騒音のラウドネスの連続評価では、各部のラウドネス評価は評価に先行する一定時間内の音のエネルギー平均値に対応すること、相対的に大きなラウドネスの部分だけが全体のラウドネスに寄与すること (Kuwano & Namba, 1985) が示されている。さらに、騒音の音色 (Namba & Kuwano, 1989) や音楽の印象 (Namba & Kuwano, 1990; Namba, Kuwano, Hato & Kato, 1991)、放送の音質 (難波、桑野、二階堂, 1982) といった種々の心理量についても連続評価を試みている。彼らはまた、このような連続評価の持つ意義についても論じている (Kuwano & Namba, 1992)。

彼等は更に、カテゴリー連続判断以外の方法として、線分長による連続的クロスモダリティ

マッチングを試みて (Namba, Kuwano & Fastl, 1988; Kuwano & Namba, 1990), その有効性を確認している。継時 ME 法の場合, 刺激の感覚マグニチュードに対応する数値を連続的に求めることには大きな困難があり, ある程度の時間間隔を置いて判断を求めることしかできない。一方, 線分長というものは, Stevens によって示されたように, ベキ指数は 1 であり, 数値感覚に極めてよく対応するものと考えられている。すくなくとも平均された結果では, 線分長の ME 判断のベキ指数はほぼ 1 になり (Teghtsoonian & Teghtsoonian, 1971; Zwislocki, 1983), 成人のみならず 5-6 才児でもほぼそれに従い (Zwislocki & Goodman, 1980), またラウドネスとのクロスモダリティマッチングでは, 直接マッチングの結果と各モダリティについてのベキ関数から予測されるマッチング結果はよい対応をみせている (Bolanowski, Zwislocki & Gescheider, 1991)。更に, 線分長であれば, その長さを相当な速度で変化させることも不可能ではない。従って, 線分長による連続的クロスモダリティマッチングには, 継時 ME 法をより連続性の高いものに発展させる可能性が考えられるのである。

ところで, このように判断の連続性をたかめるためには, より具体的な問題点を克服していく必要がある。反応には必ず時間遅れが生じるが, 連続的な刺激と連続的反応を最終的に対応付けるために, どのような手段を採ればよいのか。線分は具体的にどのように提示すればよいのか。ラウドネスと線分長のクロスモダリティマッチングでは, 線分の長さには 1 m が必要といわれているが, 果たしてそれだけ必要なのか。連続判断では被験者が線分長を調整することになるが, 調整速度はどの程度が要求されるのか。つまり, 問題は, 被験者が線分を調整するための具体的操作をどのように設定すれば, 判断の妥当性や信頼性を高められるのかということである。これについては当面は試行錯誤を重ねるしかないと思われる。

とりあえず, 刺激と反応の時間的同期は正確に取る必要がある。さらに線分の調節速度は, 被験者が不自由を感じないだけの速度を保証しなければならない。ここでは, 刺激提示と反応記録の同期を従来より強め, 線分の調節速度に工夫を加えた手法について, その可能性を検討してみた。

方 法

刺激音は, 難波, 桑野 (1989) によるヘリコプターの飛行音から任意に選択した持続時間約 1 分の 6 種である。ステレオ録音されていたものを DAT (VICTOR XD-Z 1100) からアンプ (YAMAHA CA-X 11) によりモノラルに変換した後 A/D 変換器 (CANOPUS SOUND MASTER) を通じてパーソナルコンピュータ (NEC PC 9801 RX 2) にとりこみハードディスクに記録した。図 1 に各刺激の時間波形を示すが, 縦軸の値は 100 msec 毎の等価騒音レベル (Leq) であり, これについては後述する。

調節速度可変の線分長によるラウドネス連続評価の試み

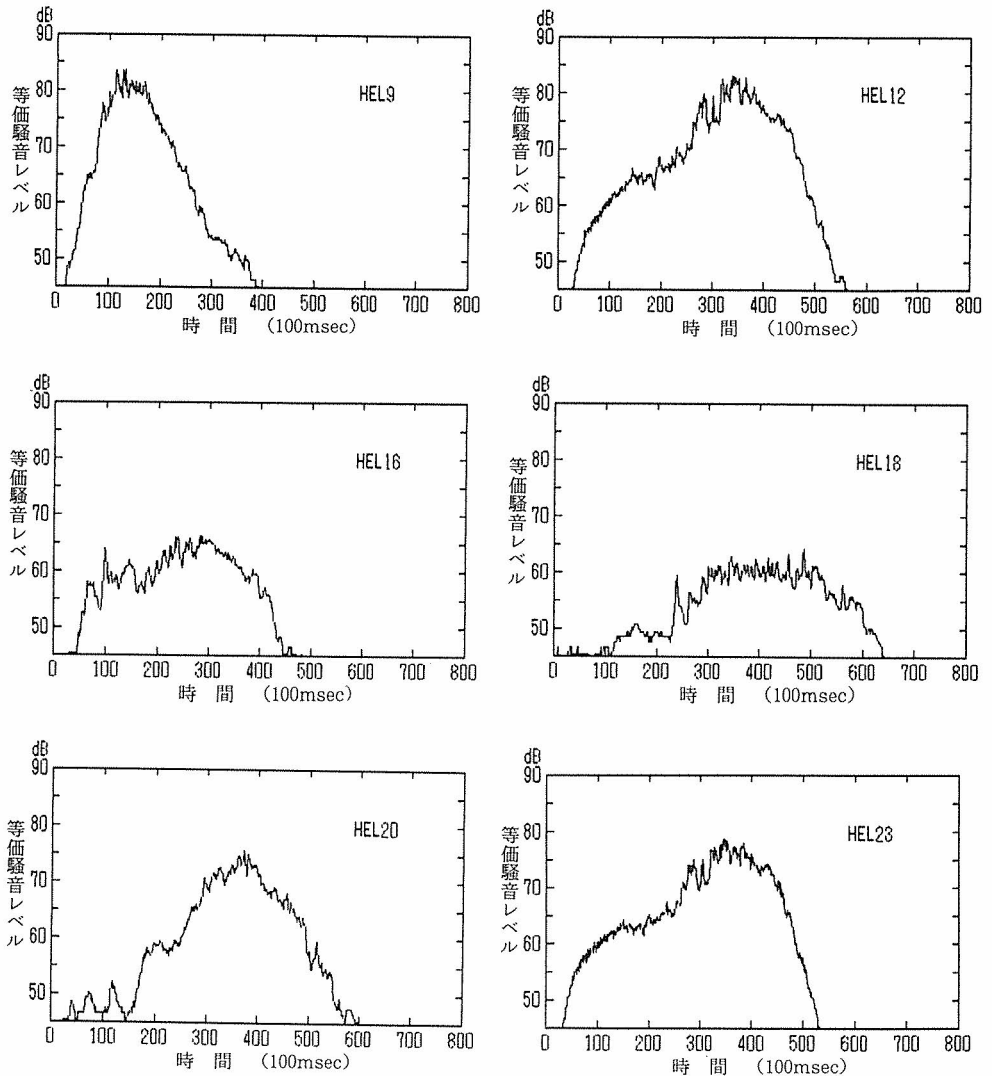


図1 各刺激音の時間波形

図2は実験装置のブロック図であるが、各刺激音は、D/A変換器(CANOPUS SOUND MASTER)、アンプ(KENWOOD KA-V 7000)を通じヘッドホンアンプとヘッドホン(STAX SRD-X pro., SRA pro.)により片耳提示された。被験者は、刺激音の変化する大きさを、顔前のスクリーンに水平方向に提示される線分の長さを連続的に調整することで表現した。線分は、パーソナルコンピュータ(NEC PC 9801 UX)の画面に描いたものを投影用液晶盤(内田洋行 LP-40)とOHP(PLUS CX-700)でスクリーンに投影したもので、最長は1mになる。被験者は

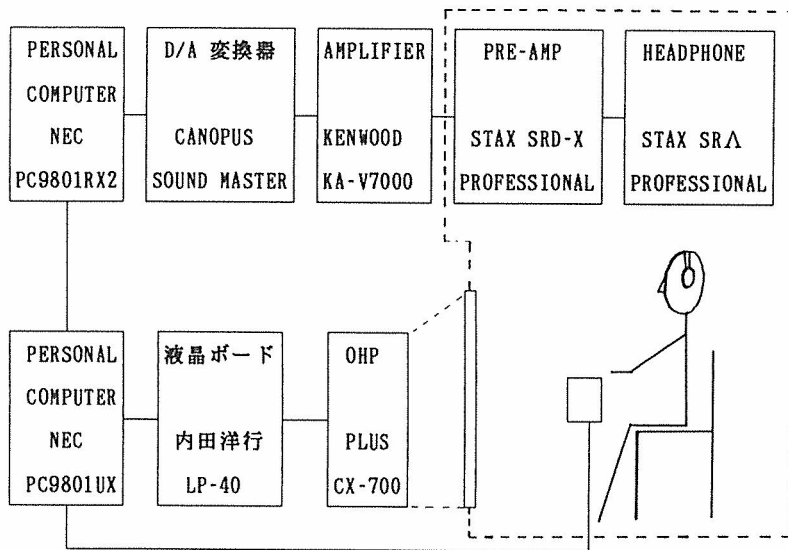


図2 実験のブロック図

これを 1.3 m 離れた位置でみていた。刺激提示用と反応記録用のパーソナルコンピュータは RS-232 C 回線で結び、刺激提示の開始と反応記録の開始を同期させた。開始時のスクリーンには長さ 50 cm の線分が提示されていた。

被験者はキーボードのカーソル移動キーを押すことで線分長を調整するが、その際被験者に不自由を感じさせないだけの急速な調整を可能にする必要があると考えた。そこで、同一方向のキーが押された場合には、線分の変化量が直前の 2 倍になるようプログラムしてみた。左右いずれかのキーを押し続ければ線分長は急速に変化し、別方向のキーを押したときには最小変化量に戻る。これにより、まずキーを押し続けて線分長を急速に目的の長さに近づけ、次にキーを押し分けることで更に細かく調整することが可能となった。キーを押し続けた場合、2 秒以内に 1 m の変化が可能である。

被験者には、刻々に変化する刺激音のラウドネスに、主観的に最も相応しいと感じられる長さに線分を連続的に調整することが求められた。各被験者は線分の調整方法を 1 度練習した後、6 種の刺激についてランダム順に刺激音の刻々のラウドネスと線分長とのマッチングをおこなった。これを 3 回繰り返している。

被験者は正常聴力の 20-40 才台の大学院学生、職員 7 名である。実験は 1992 年 11 月に大阪大学教養部心理学教室の防音室でおこなった。

結 果

トラッキングの結果は 100 msec 毎の線分長として記録した。刺激の物理量には 100 msec 毎の等価騒音レベル (Leq) を使用した。これは、ヘッドホンの出力をダミーヘッド (高研 SAMRAI) で受け、計測用アンプ (B&K 2610) から長時間 Leq 測定器 (AD システム) により求めたものである。

まず刺激提示の開始時点では、刺激音は低いレベルから始まるが、線分はスクリーンの半分の位置までの長さで提示されているから、被験者は最初に線分を短く調整して刺激音のラウドネスとのマッチングをとらねばならない。調整開始から数秒の間は、そのために使用されると考えられるので、分析からは外すことにした。図 3 は、トラッキング開始時点から 5 秒以降の

表 1 各試行の調整結果間での相関係数

		HEL9	HEL12	HEL16	HEL18	HEL20	HEL23
S1	1:2	.908	.940	.959	.841	.929	.957
	1:3	.931	.944	.799	.804	.962	.960
	2:3	.985	.969	.783	.963	.953	.942
S2	1:2	.953	.925	.990	.971	.913	.990
	1:3	.880	.904	.972	.954	.961	.931
	2:3	.932	.986	.979	.974	.958	.953
S3	1:2	.981	.871	.923	.950	.932	.859
	1:3	.975	.882	.955	.885	.960	.784
	2:3	.952	.887	.897	.849	.970	.940
S4	1:2	.969	.974	.926	.917	.953	.922
	1:3	.912	.967	.811	.938	.956	.914
	2:3	.976	.976	.837	.893	.977	.970
S5	1:2	.929	.907	.913	.803	.956	.928
	1:3	.956	.931	.937	.814	.923	.952
	2:3	.965	.953	.957	.904	.881	.950
S6	1:2	.935	.919	.796	.843	.762	.940
	1:3	.963	.964	.835	.866	.879	.920
	2:3	.964	.959	.872	.919	.676	.933
S7	1:2	.946	.958	.967	.936	.864	.926
	1:3	.903	.898	.982	.892	.910	.973
	2:3	.954	.970	.979	.929	.915	.945

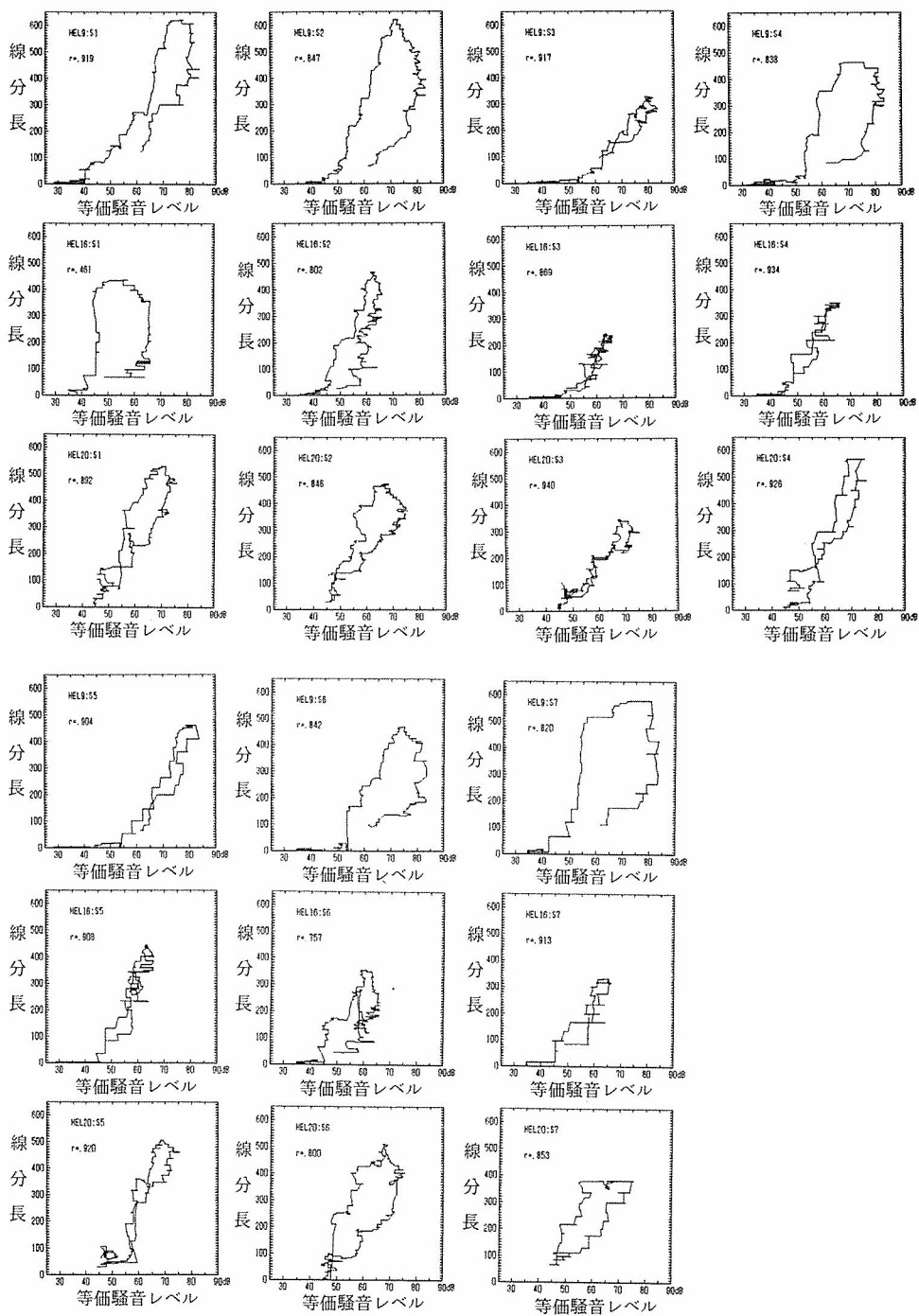


図3 線分長によるラウドネスマッチングの例

線分長を 100 msec 毎に Leq と対比させた結果の一例である。図の縦軸は線分を描くために使用したドット数を示す。このタイプの図示では、被験者間、刺激間にかんがりの変動がみられる。

しかし、3 回の各被験者の判断間で相関係数を求めてみると（表 1）、比較的高い値が得られている。また、使用した刺激の一つ（HEL 23）は別の刺激（HEL 12）を -3 dB/oct. のローパスフィルタに通じて得たものであり、両者の時間波形は近似している（図 1）。そこで、両刺激に対する同一被験者の反応を比較してみると、相当類似していることがわかる（図 4）。従って、反応は被験者の何らかの内的基準に基づいたものであると考えられる。

図 3 をみると Leq がピークに達した後も線分は増加している部分が見られるので、この種の反応には、線分の調整速度を早めたにもかかわらず、判断時間や線分調整による時間遅れが

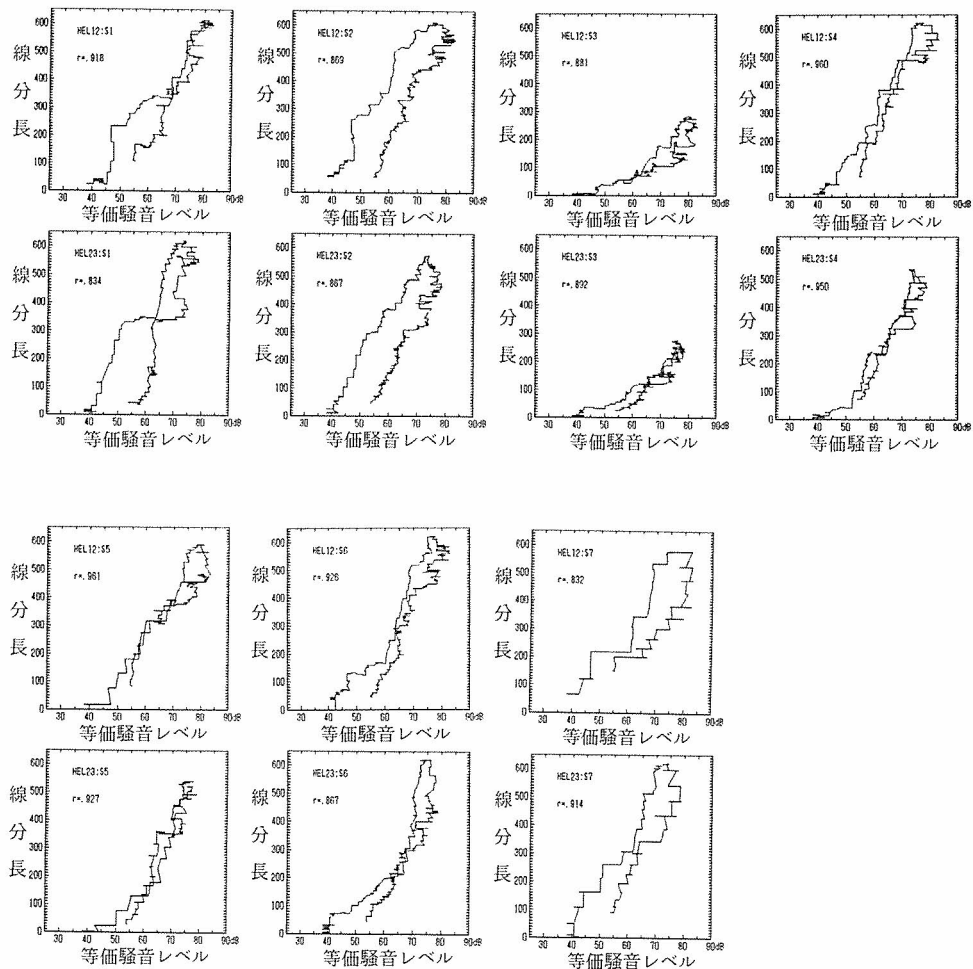


図 4 時間的に相関の高い刺激に対するマッチング結果

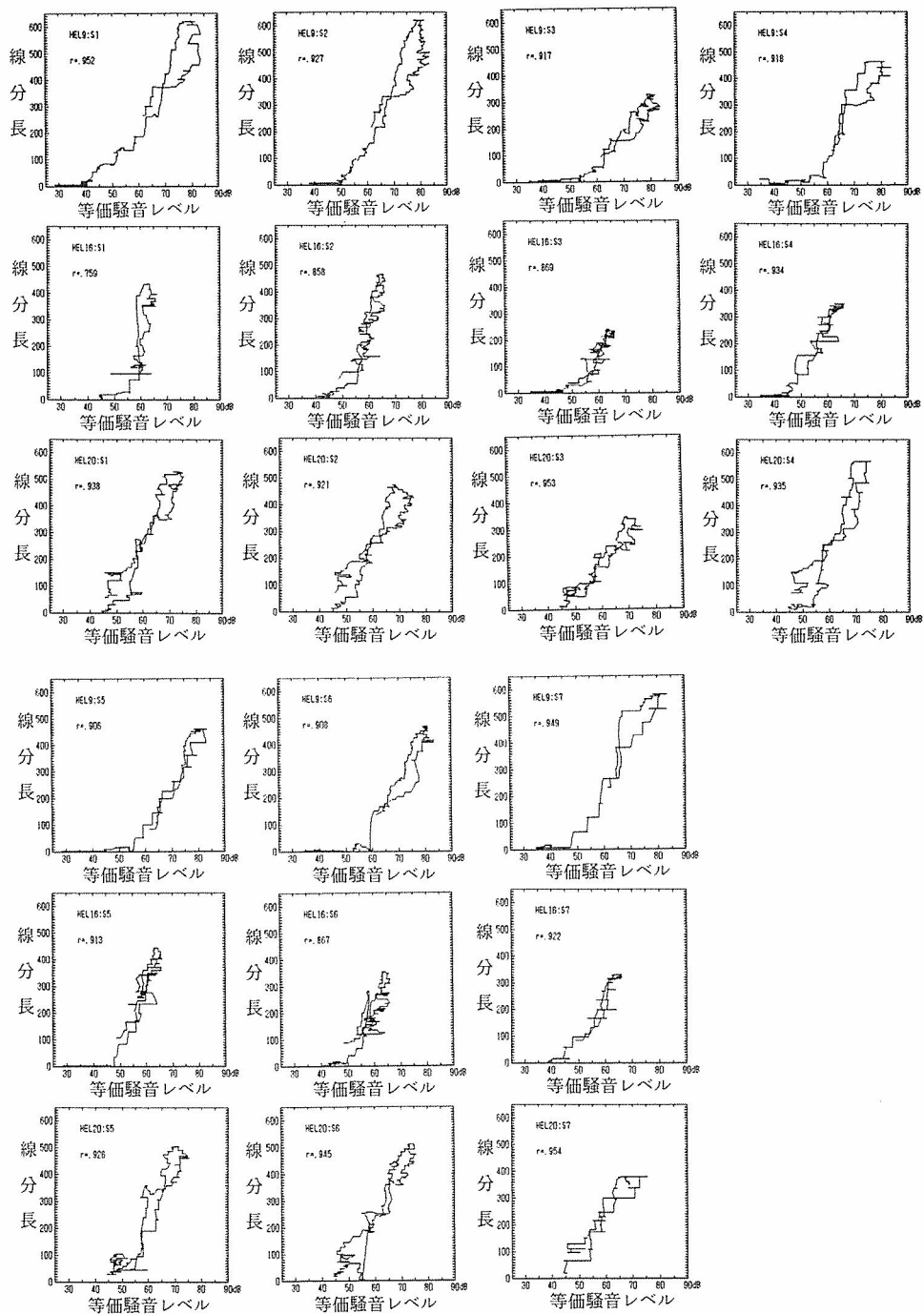


図5 図3のデータの相関を最大化した結果

調節速度可変の線分長によるラウドネス連続評価の試み

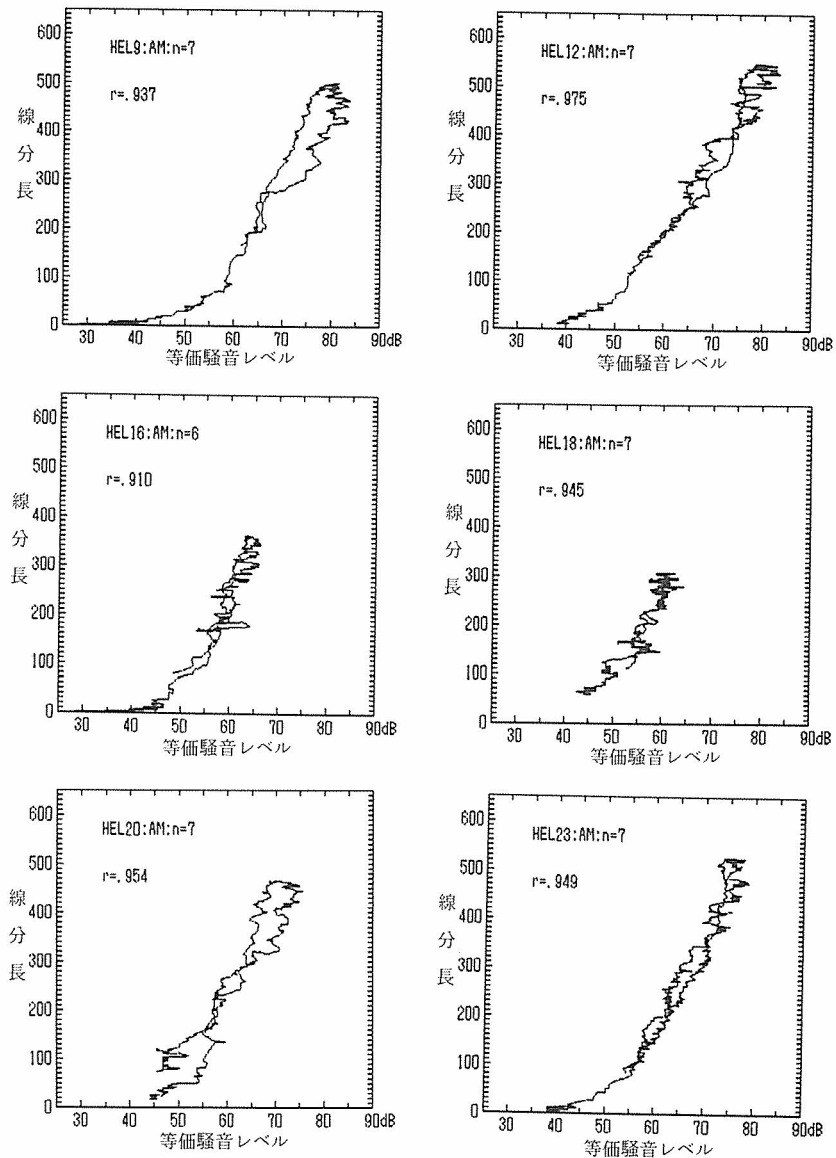


図6 線分長によるラウドネスマッチング結果 (算術平均値)

生じていると考えられる。そこで各被験者の各刺激毎の3回目の反応について100 msec づつ反応をずらしながら Leq との間の相関係数を求め、それが最大となる点を調べた。その結果、ほとんどのケースで0.9以上の相関を示す点が見いだされた。但し、相関最大化に必要な時間の調整量については被験者間に相違がみられた。図3に示したデータに上記の修正を施したも

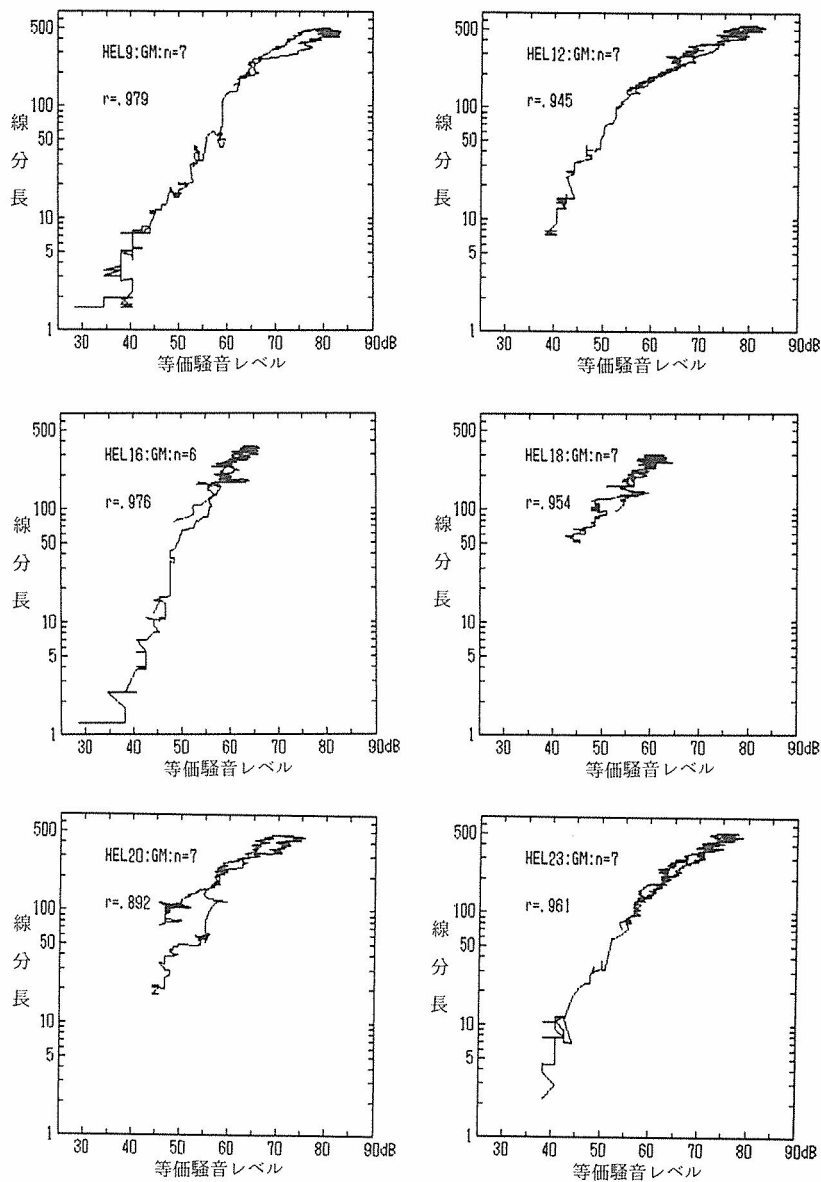


図7 線分長によるラウドネスマッチング結果（幾何平均値）

のを図5に例として示す。

図6は、各刺激音毎に3回目の反応の修正データに基づく算術平均値を被験者間で求め、片対数図に示したものである。同じものを幾何平均値で求め両対数図に示すと図7のようになる。いずれの場合も、線分長が100ドットを切ってくると、直線関係は崩れてしまうが、全体とし

調節速度可変の線分長によるラウドネス連続評価の試み

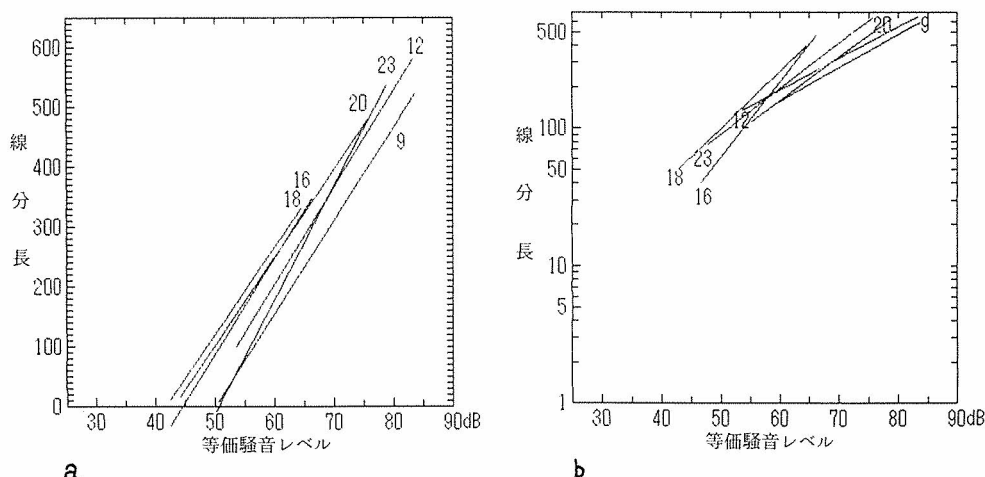


図8 回帰直線のあてはめ

ての直線の当てはまりは、図から受ける印象では片対数図の方が多少勝っていると思われる。試みに、それぞれの図について直線的と見なされる部分についてあてはめた回帰直線を図8に示す。

考 察

今回、連続判断に使用した手法は第2, 3試行間での相関にもみられるように、被験者内ではある程度の判断の安定性を示しているが、被験者間での判断の散らばりは小さくない。相関係数最大化に必要な遅延時間の開きにもそれは伺える。しかし、この原因は単に使用した手法に帰せられるものではなく、連続判断自体が抱える問題ではなかろうか。被験者が、刺激音のラウドネス変化に自然に追従できる場合には、ラウドネス変化と線分長の両者に注意を適切に配分でき、線分長の調整はスムーズに行えるであろう。この場合、相関最大化に要する時間軸上の調整量は少なく済むであろう。ところが、ラウドネス変化の方向や量に関する判断が困難で時間がかかる場合や、比較的長い時間幅でラウドネス変化を捉えたり、ラウドネス変化と線分長に対する注意配分のバランスが偏ったりした場合には、時間軸上で必要になる調整量は増加すると考えられる。線分長の具体的操作法が原因となる反応の遅れは、操作法を改善することでより小さくしていかなければならないが、今回の被験者の中にはほとんど時間軸上の調整を必要としない者もみられている。従って、操作法自体の問題というより、被験者間での操作の習熟度の相違が問題になるのではなかろうか。無論、操作の習熟にかかる時間がより短縮するように、操作法自体を更に改善する余地はあるだろう。それにしても、被験者が時間軸上で

のような振る舞いをするかは、実験状況全体に関わる問題であり、それをどこまで統制できるかではなく、種々の振る舞いをどこまで把握できるかを問題にすべきであろう。

刺激の物理量と反応の間で相関を最大にするような調整をおこなったことが、果たして適切であったかどうかは問題であろう。この種の反応には判断時間や反応時間により必ず時間遅れが生じると考えられる。従って、刺激反応間での対応を調べるためには、この種の調整は基本的に必要である。しかし、より厳密に考えれば、刺激音のあらゆる箇所と同じ量の反応遅れが生じていたとする保証はない。日常生活とは異なり、被験者は要反応刺激として提示された音のラウドネスに注意を向けているのであって、時間軸上でのこのような反応遅れの散らばりは相当に抑えられていると思われるが、例えば、ラウドネスが増加する場合と減少する場合で反応遅れが同じかどうかといった重要な問題を解明していくためにも、更に分析方法や刺激の構成を検討していく必要はある。

また、ここでは Leq を 100 msec 毎に算出しているが、物理量としてこれが最適とは限らない。速いラウドネス変化にも十分対応できる方法を検討する目的から、このような細かい値を採用しているので、求める方法が確立すれば、より長い時間幅ないしは時間軸上を移動させて求めた物理量との対応を検討していかなければならない。

ここで刺激として使用した音は、ヘリコプターが接近した後遠ざかるという状況であり、ラウドネスはまず増加し次に減少する。連続判断といっても、人間の自然な判断を捉えることが目的なのであるから、使用する刺激音も自然なラウドネス変化を示すものが望ましいと判断したのである。特に今回は新しい操作法の最初の試験であったため、このような選択を行った。ここでの結果を基に、人工音による試験が考えられるであろう。

これまでに述べた事柄を念頭に置いて、得られた結果を検討するとき、まず問題となるのは、物理量と心理量の間での関数形である。図 8-a, b を比較すると、ベキ関数による近似よりも対数関数による近似の方が当てはまりは良さそうである。しかし、刺激のレベルが低くなると、いずれの場合も直線関係からずれてしまう。線分長で 100 dots 以上では、当てはまりの良さの印象に大きな相違は感じられない。両対数軸図ではデータはやや上に凸となり、片対数軸図ではやや下に凸となる。試みに、両対数軸図上で直線関係が成立していそうな部分にベキ関数を当てはめて得たベキ指数は、レベルの変化範囲の狭い刺激 (HEL 16, 18) では、0.54, 0.41 とやや大きめであるが、他の刺激では 0.23 から 0.33 の範囲にあり、線分長のベキ指数を 1.0 と仮定したときにラウドネスとのクロスモダリティマッチングで得られるはずの 0.33 に近い値である。刺激の変化範囲が狭くなるとベキ指数は大きめになりがちである。

ここでラウドネスにマッチングさせる属性として線分長を選択した理由の一つは、ベキ関数による近似が成立することを期待したからであった。刺激量をカテゴリーによって評価する場合には、刺激量の対数に心理評価値が比例する関係が一般に観察される。ここで使用した線分

長の調整方法では、実質的に連続な長さの調整が可能であるが、無論、それをカテゴリー的に使用することも可能ではある。しかし、各被験者の調整結果を視察しても、カテゴリー的な調整、即ち、時間的に粗い間隔で線分を一定量ずつ変化させるといった調整は一部にしか見られない。一般に被験者の各回の調整量は小さく、時間的にも細かいものが多くを占めている。その調整量が被験者の心理量の変化をそのまま反映しているか否かは、ここで判断することはできない。線分のように、実際に被験者に提示する際に、上限と下限が生じてしまう場合には、判断全体がカテゴリー判断になりやすいのかもしれない。あるいは、ここで採用した線分の操作方法では、まだ必要な調整速度に達していないのかもしれない。これらの点に関しては、更に操作法を変えて追求する必要がある。

物理量と心理量との関数関係は別として、得られた評価自体を平均値で検討すると、確かに線分長とラウドネスが対応付けられていることが分かる。図8-aに示したように、回帰直線のピークの順序は、刺激9を例外として、 Leq のそれに対応している。また、直線の傾きも似通っている。図1で刺激の時間波形をみると、HEL9は今回使用した刺激の中では最も立ち上がりの速いものである。レベル変化の速度がラウドネス判断ないしは線分調整に影響する可能性も考えることができる。平均値でみる限り、調整された線分の長さは基本的にはラウドネスを反映したものであると考えている。

刺激のレベルが小さい部分での反応がレベルの高い部分に比較して小さくなってしまふ点には、注意せねばなるまい。ME法によるラウドネス測定データには、一般に同じ傾向が観察され、刺激と雑音のレベルが接近するためと考えられているが、ここでは被験者の線分の操作態度も関係した可能性がある。刺激のレベルが減少していくと被験者は、刺激が消滅しないうちに線分が無くならないように調整しようとする。刺激音の消滅と同時に線分長が下限値に達するようにタイミングをはかり始めるのである。既に述べたように、線分長の調整にとっては上端、下端の存在が大きな制限となる可能性があるが、これはその一例であろう。

最初に述べたように、連続判断については解明すべき点が多々ある。今回得られた結果から、しかし、線分長の連続的マッチングは相当有望な方法であると考えられる。この上は、線分長の最適な操作方法について更に検討しながら、適当な人工音によってこの手法の吟味を重ねていきたい。

要 約

レベル変動する音のラウドネスの連続判断を、線分長による連続的マッチングにより求めた。線分長の調整速度を可変にして、被験者が線分の長さをより自由に行えるよう配慮したが、比較的細かな調整がなされ、操作法に工夫を加えた効果はあったと考える。しかし、刺激と反応

間の関数関係はベキ関数からは多少外れたものであり、むしろ対数関数で近似できる印象を与える。被験者間での変動、刺激に対する反応の遅れとその修正法、線分の上限、下限の影響など、今後検討すべき問題点が抽出された。

引 用 文 献

- Bolanowski, Jr. S. J., Zwislocki J. J. & Gescheider G. A. (1991). "Intersensory Generality of psychological units", In S. J. Bolanowski, Jr. & G. A. Gescheider (Eds.), Ratio scaling of psychological magnitude —In honor of the memory of S. S. Stevens—, Chapter 19, 277–293: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bregman A. S. (1990). "Auditory scene analysis —The perceptual organization of sound—", The MIT Press.
- Kuwano S. & Namba S. (1985). "Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relation between overall loudness and instantaneous loudness", Psychol. Res. 47, 27–37.
- Kuwano S. & Namba S. (1990). "Continuous judgment of loudness and annoyance", Proceedings of the 6th Annual Meeting of International Society for Psychophysics, 129–134.
- Kuwano S. & Namba S. (1992). "Temporal stream of hearing", 大阪大学教養部研究集録 (人文・社会科学) 第40輯, 3–15.
- Namba S. & Kuwano S. (1980). "The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise level on noisiness", J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 1, 2, 99–106.
- 難波精一郎, 桑野園子, 二階堂誠也, (1982). "カテゴリ連続判断法による音質評価", 日本音響学会誌, 38, 4, 199–210.
- Namba S., Kuwano S. & Fastl H. (1988). "Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgment by category", Proceeding of NOISE 88, 241–246.
- 難波精一郎・桑野園子 (1989). "ヘリコプター騒音の主観的評価について", 騒音制御工学会講演論集, 25–28.
- Namba S. & Kuwano S. (1990). "Continuous multi-dimensional assessment of musical performance", J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 11, 1, 43–51.
- Namba S., Kuwano S., Hato T. & Kato M. (1991). "Assessment of musical performance by using the method of continuous judgment by selected description", Music Perception, 8, 251–276.
- Scharf B. (1983). "Loudness adaptation." In J. V. Tobias & E. D. Schubert (Eds.), Hearing Research and Theory. Vol. 2. 1–56: N. Y. Academic Press.
- Scharf B. (1991). "Loudness adaptation measured by the method of successive magnitude estimation", In S. J. Bolanowski, Jr. & G. A. Gescheider (Eds.), Ratio scaling of psychological magnitude —In honor of the memory of S. S. Stevens—, Chapter 14, 199–214: Lawrence Erlbaum Associates.
- Teghtsoonian M. & Teghtsoonian R. (1971). "How repeatable are Stevens's power law exponents for individual subjects?", Perception & Psychophysics, 10, 3, 147–149.
- Zwislocki J. J. & Goodman D. A. (1980). "Absolute scaling of sensory magnitudes: A validation", Perception & Psychophysics, 28, 1, 28–38.

調節速度可変の線分長によるラウドネス連続評価の試み

Zwislocki J. J. (1983). "Group and individual relations between sensation magnitudes and their numerical estimates", *Perception & Psychophysics*, 33, 5, 460 - 468.

1993 年 9 月 30 日 受理