

# 線分長とのクロスモダリティマッチングによる ラウドネス連続評価について

— 大小2つのレベル変化を含んだ音の場合 —

加藤 徹・難波精一郎\*・桑野園子\*\*

## Continuous Judgment of Loudness by Cross-Modality Matching using Line Length

— Loudness evaluation of the sounds that contain big and small level fluctuations —

Tohru KATO, Seiichiro NAMBA\* and Sonoko KUWANO\*\*

### 要 約

これまで、音の刻々のラウドネス（大きさ）を測定する方法として、線分長との連続的クロスモダリティマッチングを検討してきたが、この方法により、比較的緩やかで単純なラウドネス変化は測定できることが確認されている。さらにこの方法で測定できるラウドネス現象の範囲を確認していくために、ここでは従来よりも複雑なレベル変化をする音のラウドネスを連続的に測定することを試みた。刺激音は比較的大きく緩やかなレベル変化の中に、より速く小さなレベル変化を含んだ人工音である。結果からは、このような刺激音の場合にも、調整された線分長はその時々々の音のレベルによく対応し、比較的緩やかで大きなレベル変化の中の速く小さな変化や、速く大きなレベル変化の緩やかで小さな変化も線分長に反映されることが示された。この結果により、例えばラウドネスの部分マスキングをこの方法により連続的に測定するといった、連続測定を適用する範囲をさらに広げていく可能性が示唆されたと考えている。

キーワード：ラウドネス, 連続測定法, クロスモダリティマッチング

\* 宝塚造形芸術大学 (Takarazuka University of Art and Design)

\*\* 大阪大学大学院人間科学研究科環境心理学研究室 (Department of Environmental Psychology, Graduate School of Human Sciences, Osaka University)

## はじめに

音の刻々の印象を測定するための方法としては難波、桑野によるカテゴリー連続判断法がある (e. g. Namba & Kuwano, 1980; Kuwano & Namba, 1985) が、同様の目的で使用できる方法として線分長との連続的クロスモダリティマッチングがある (Namba, Kuwano & Fastl, 1988)。我々は、これまで後者についてその方法としての特性を音の大きさ (ラウドネス) について検討し続けてきた (加藤, 難波, 桑野, 1993, 1994 a, 1994 b, 1996; 加藤, 1997 a, 1997 b)。その経過については別に解説しているので (加藤, 2000) ここではくりかえさないが、これからはこの方法の特性のみでなく、この方法で測定されるラウドネスそのもの、即ち複数音源からの音が個々に変動しつつ重畳している状況での特定音源のラウドネスの問題に力を注ぐ必要がある。

その状況で最も重要な問題は、レベル変化する音の間でどの程度の部分マスキングが生じているかである。上記の報告で示したように、線分長との連続的クロスモダリティマッチング法により単純なレベル変化音のラウドネスは測定できるし、ラウドネス decrement 現象も測定できた。しかし、部分マスキングを測定するには、これまでよりも一層細かな信号音のラウドネス変化を捉えることが必要になると考えられる。そこでまず、比較的大きく緩やかなレベル変化の中に、より速く小さなレベル変化を含んだ人工音について、線分長との連続的クロスモダリティマッチング法によるラウドネス測定を行ってみた。

## 実験方法

**刺激音**：音源は中心周波数 1 kHz の 1 オクターブバンドノイズである。この振幅を dB 値で正弦波的に変化させた。変化の周期は 60 秒と 15 秒の 2 種類である。周期 60 秒の場合のレベル変化幅は  $\pm 15$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 5$  dB の 3 種類であり、周期 15 秒の場合は  $\pm 7.5$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 2.5$  dB の 3 種類である。刺激音は上記のレベル変化を単独に加えた場合の 6 種類と、それらを足し合わせた  $3 \times 3 = 9$  種類、合計 15 種類である。各刺激音のレベル変化パターンは図 1 に結果と共に示してある。各刺激音の持続時間は、緩やかな変化の 3 周期分即ち 180 秒に、先頭と最後に 5 秒の定常部分をつけた 190 秒となっている。従って速い変化は 12 周期分が含まれることになる。定常部分の提示レベルは LAeq, 0.1 sec で 62.5 dB であった。

刺激音は雑音発生器 (RION SF-05) で発生させたものを A/D 変換器 (CANOPUS SUPER SOUND MASTER) によりパーソナルコンピュータ (NEC PC 9821 Xt 13) に取り込み、演算により上記のレベル変化を加えた。これを D/A 変換器 (CANOPUS SUPER SOUND MASTER) を通して DAT に記録した (SONY 59 ESJ)。なお、練習用として同じ音源で周期 20 秒で  $\pm 15$  dB のレベル変化を持つ 120 秒間の音も作成した。

加藤, 難波, 桑野: 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について

各刺激音のレベルは, ヘッドホンの出力をダミーヘッド (高研 SAMRAI) と計測用アンプ (B & K 2610) に通し, さらに長時間 Leq 測定器 (AD システム) により 0.1 秒毎の LAeq 値として求めている。

装置: 刺激音は DAT レコーダ (Pioneer D-05) からヘッドホン (STAX SRM-1/MK-2 Pro., STAX Lambda Nova Signature) を通して防音室内の被験者の左耳に提示された。被験者の顔前約 1 m には線分提示用の 14 inch モニタが設置され, 手元には線分長調整用のトラックボール (Arvel PaPa) が与えられていた。トラックボール操作によるモニタ上の線分長は, 描画に要するドット数として 0.1 秒毎にコンピュータに記録した。

手続き: 被験者の顔前のモニタ画面には水平の線分が提示されている。被験者は手元のトラックボールのボールを左右に回転させることにより, 提示されている線分の長さを調整することが出来る。被験者には, ヘッドホンから提示される刺激音の刻々のラウドネスに主観的に最もマッチするように, 線分の長さを調整し続けることを求めた。その際, 画面で提示できる最長の線分は日常生活で体験する音の最大のラウドネスに, また最小の長さ (1 点になる) は音が消えてしまった状態に対応するとみなすように, 教示した。さらに, マッチングが求められるものは, ラウドネスを表す線分長そのものであって, 調整の速度ではないことも強調している。

実験に先立ち各被験者は練習用の刺激音によりラウドネスと線分長との連続的クロスモダリティマッチングを練習している。

各被験者は 15 種類の刺激音のラウドネスについて, 線分長とのクロスモダリティマッチングをランダム順に行った。1 日に 7~8 刺激の判断を行ったため, 15 刺激について一通り判断するには 2 日をかけている。各被験者はこれを 2 通り行っている。

被験者: 聴力に異常のない 22~51 歳の学生・教員 5 名が被験者として実験に参加した。実験は大阪大学人間科学部環境心理学講座の防音室で 1999 年 7~8 月に行われた。

## 結 果

実験に先立っての予想では, 今回の刺激音のラウドネス変化には従来よりも小さなものが含まれているため, 各被験者の反応が安定するには全刺激音について 4~5 通りの判断を繰り返す必要があると考えていたが, 実際に反応を求めてみると反応は意外に早く安定した。そこで各被験者が 2 通り目の判断を終了した時点で実験を終えた。ここでは各被験者の 2 回目の判断を分析に使用している。

最初に, 各刺激音毎にレベル変化と被験者が調整した線分長の時間軸上での対応関係を調べた。線分長の調整は刺激音のレベル変化の知覚と判断の後に行われるため, 時間軸上で刺激音の 0.1 秒毎の LAeq 値と対応付けるには, この遅れ時間を補正する必要がある。ここでは, 従来通り, 約 3 分間の刺激提示時間全体での LAeq, 0.1 s と線分長間での相関係数を, 線分長データを

0.1 秒づつ時間軸上で先頭にずらせながら繰り返し算出し、相関が最大となる時点を求めることにより補正している。各被験者毎に遅れ時間補正を行い、その後被験者全体での線分長の平均値を算出した。この値と LAeq, 0.1 s との時間軸上での対応を示したものが図 1 である。

図 1 の上部 6 枚には単一のレベル変化に対する結果を、レベル変化の周期と変化幅及び LAeq, 0.1 秒と線分長間での最大相関係数とデータ点数と共に示してある。図 1 の中央以下の 9 枚には、上部に示した単一のレベル変化である (a~c) と (d~f) を組み合わせた 9 種類の刺激音についての結果である。図中の 2 本の線は上が LAeq, 0.1 秒の値を、下が線分長の平均値を表す。

まず単一のレベル変化の場合について LAeq, 0.1 秒値と線分長の対応をみると、レベル変化の時間パターンが線分長のそれによく反映されていることがわかる。また、線分長の変化幅もレベルの変化幅に対応している。最大化された相関係数値はレベル変化が緩やかな場合 (a~c) で 0.96 と高く、速い場合 (d~f) でもレベル変化幅が 2.5 dB では 0.87 となるがそれ以上の変化幅では 0.95 である。これらの刺激音ではレベル変化は線分長によく反映されており、刻々のラウドネス判断はレベル変化によく追従していると考えられる。

次に、2 種類のレベル変化を組み合わせた刺激音の場合をみると、これらにあっては線分長の変化は刺激音のレベル変化によく対応していることがわかる。実験に先立って、速いレベル変化の中に生じる緩やかで浅いレベル変化によるラウドネスや、緩やかで大きなレベル変化の中に生じる速く浅いレベル変化によるラウドネスが過小評価ないしは無視される可能性が考えられたのではあるが、図からはそのような明らかな変化を読みとることは困難である。LAeq, 0.1 s 値と

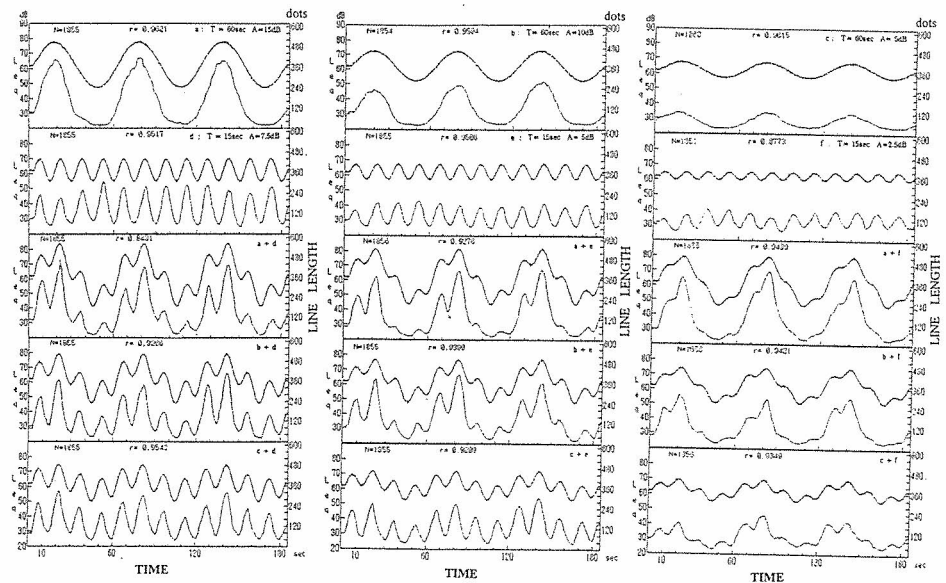


図 1 刺激音のレベル変化と調整された線分長平均値のタイムパターン

線分長間での相関係数の最大値も 0.92 以上の高い値を示している。

無論これは，今回使用した刺激条件でのことであり，条件により上記のようなラウドネス変化が生じる可能性を否定するものではない。例えば，図 1 の (a+f) や (b+f) の結果では，大きく緩やかなレベルが上昇する部分では線分長も多少変化しているが，これに比較すると，前者が減少する部分に生じる小さく速いレベル変化に対する線分長変化はより小さなものとなっている可能性がある。ラウドネスの過小，過大変化を生じるレベル変化の組合せを検討する際には，第 2 のレベル変化が第 1 のレベル変化のどのような位置に生じるかを考慮する必要が考えられる。

図 2 は， $L_{Aeq}$  0.1 s 値と線分長の関数関係を各刺激音毎に描いたものである。横軸は dB 値を等間隔に，縦軸は線分長を対数目盛にとってある。いずれの刺激音の場合も，直線関係で近似できる結果となっている。両者の間にベキ法則が成立することを示している。ここで使用した線分長との連続的クロスモダリティマッチングにおいては，線分長は magnitude estimation 法で感覚量の表現である数値の代替とみなすことが仮定されており，ベキ法則の成立を確認することは重要である。独立変数が dB 値であるため，ベキ指数は当てはめた直線の傾きの 10 倍となる。単一のレベル変化音の場合，ベキ指数は 0.43 ~ 0.63 の範囲にあり，レベルの変化範囲が狭くなるに従って大きくなっている。定常音のラウドネスでは音の強さを物理量として 0.3 前後のベキ指数とな

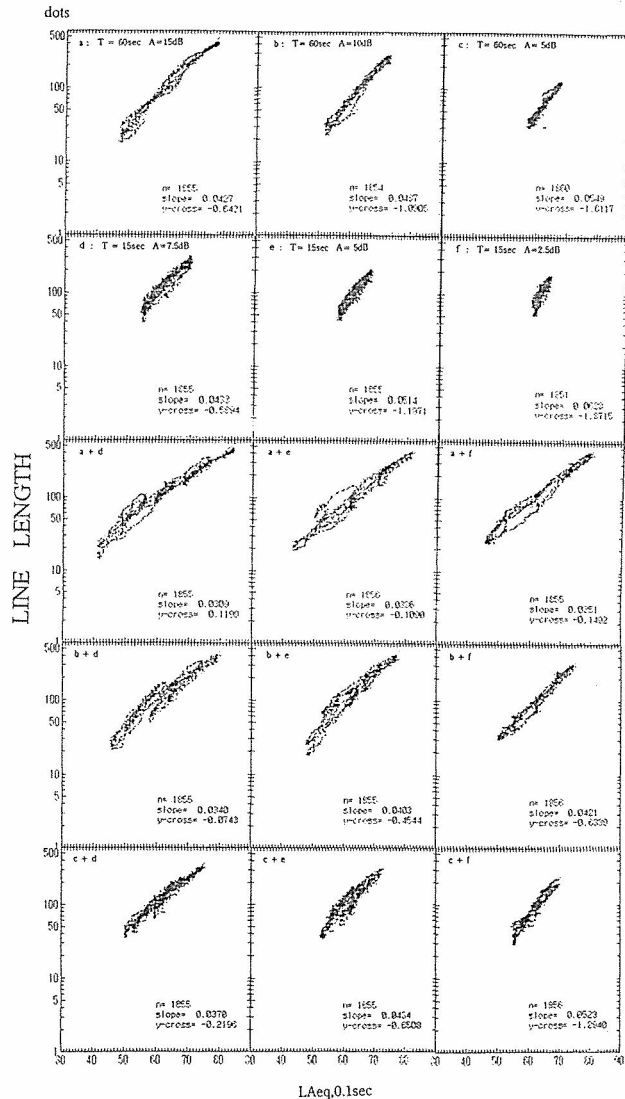


図 2 刺激音のレベルと線分長の対応関係

るが (e. g., Stevens, 1975), これに比して大きな値となった。しかしこれには後述する刺激の変化範囲 (ここではレベル変化範囲) の影響が含まれていると考えている。

図2で2種類のレベル変化を組み合わせた音の場合には, 例えば (a+d) では単に a での結果の上に b の結果を重ね合わせたものになるのではなく, b に対応する反応部分は a への反応に吸収され, 且つ全体として傾きが減少している。その結果, ベキ指数は 0.31 と上に比較すれば小さくなっている。この傾向は他の組合せにおいても共通して観察される。レベルの変化範囲が狭くなるに従って, やはりベキ指数は大きくなっているが, 最大でも 0.52 にとどまっている。2種類のレベル変化を組み合わせたことにより全体のレベル変化幅は広がっており, その影響によりベキ指数が小さくなった可能性がある。この結果から, 多少複雑なレベル変化をする刺激音の場合でも, この方法により LAeq, 0.1 s 値と線分長の間に関数関係が得られ, その関数は定常的な音で得られるラウドネス関数に近いものになったと判断できよう。

図3は15種類の刺激音について得られたベキ指数とレベル変化範囲との関係を示したものである。図中の○印は単一レベル変化音での結果を, ×印は2種類のレベル変化を組み合わせた音での結果を表している。刺激音のレベル変化範囲が広がるに従って, ベキ指数は徐々に低下していき 40 dB 付近で 0.3 に近づいている。2種類のレベル変化を組み合わせた刺激音と単一変化の刺激音での結果の間に特に食い違いは認められない。

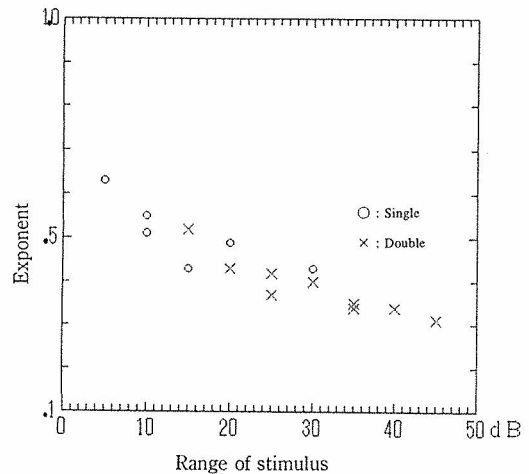


図3 刺激音の変化範囲とベキ指数の関係

## 考 察

今回使用した刺激音のレベルの変化周期は 60 及び 15 秒であるが, この範囲であれば ±15 から ±2.5 db の範囲で組み合わせられた 2 種類のレベル変化に基づくラウドネス変化は, 線分長との連続的クロスモダリティマッチングにより測定できることが示された。調整された線分長がラウドネスを反映した指標になり得ているという判断は, ① 線分長変化の時間パターンが刺激音のレベル変化の時間パターンによく対応する, ② 調整された線分長は刺激音レベルのベキ関数で近似できる, ③ 刺激音のレベルの変化範囲が十分広い場合には, ②で得られる関数のベキ指数の値はラウドネスについて一般に受け入れられている値に一致する, という結果に基づ

いている。

ここで使用した刺激音の文脈の中では，比較的緩やかで大きなレベル変化の中に含まれる，比較的速く小さなレベル変化部分のラウドネスが，刺激音全体に当てはめられた1つのベキ関数で近似できることが示されたが，このことは連続判断でのラウドネス判断が，例えば一般的 magnitude estimation 法のような離散的刺激によるラウドネス判断と密接に関係していることを示すと解釈できる。単一の音源からのものと知覚される音については，そのレベルが途中で変化しても，それは同じ音のラウドネス変化にすぎないのであり，その音全体で求められるラウドネス関数の特定部分が生起するにすぎない。そのラウドネス関数は音の種々のレベルを離散的に提示して求められるものと一致すると仮定できる。この仮定はここでは直接的に検証したものではないが，ラウドネス decrement 現象を測定した例（加藤，1997 b）では，連続判断法と magnitude estimation 法の結果はよく一致している。

刺激音のレベル変化範囲によりベキ指数が変化することは，一般的な magnitude estimation 法でも観察されている（Stevens, 1975）。線分長による連続的クロスモダリティマッチングの場合にも，同様の現象が過去に観察されている（加藤，難波，桑野，1994 a）。2つの方法で同様の文脈効果を生じることは，連続的クロスモダリティマッチングは，magnitude estimation 法を連続的にやっているとする仮定を支持するものと解釈できる。

図1の (a+f) や (b+f) の結果を検討する際に指摘したが，刺激音のレベルが大きく緩やかに下降する部分で生じる小さなレベル変化は，他の箇所と比較してラウドネスの変化を生じ難いのであろうか。ここで使用した刺激のパターンは限られたものであるため，これを確認するには新しく実験を行う必要がある。持続時間が1秒以下といった短い刺激音に関しては，刺激音のレベル変化に対応する感覚量のパターンは，音の立ち上がり部，定常部，消滅部で異なることが仮定される（Namba, Kuwano, Kato, 1976）が，ここでは時間的にはるかに長いレベル変化が問題となっている。刺激音レベルの大きな上昇と下降は，単に方向が異なるのみでなく，ある現象の生起と終了という異なる心理的意味を伴うと考えられるが，感覚判断においても何らかの相違が生じている可能性はあるだろう。

最初に述べたように，この実験はレベル変化する音に生じる部分マスキングを測定する計画に先立って行ったものであり，比較的小さなラウドネス変化を線分長による連続的クロスモダリティマッチングにより測定するための情報を与えてくれる。基本的には，この方法で刺激音に含まれる  $\pm 2.5$  dB 程度のレベル変化に対応するラウドネス変化を捉えられることが示された。最も重要なことは，刺激音には 40 dB 程度のレベル変化を与え，その中の種々のレベルでマスキング音のある場合と無い場合を含ませることであろう。かって我々は，複数音源からの音が重畳する状況で1つの信号音を分離聴取させる実験に，この方法を適用する試みを行った（難波，桑野，加藤，1995）が，この問題をさらに追求するためにも，今回の実験は刺激音の構成を考える上で有益であったと考えている。

引用文献

- 加藤 徹 (1997 a). 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について —— 線分の長さの範囲をめぐって ——. 追手門学院大学創立30周年記念論集人間学部篇, 51-62.
- 加藤 徹 (1997 b). 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について —— ラウドネス Decruitment の測定 ——. 追手門学院大学人間学部紀要, 5号, 9-16.
- 加藤 徹 (2000). 音の大きさの連続判断について. 追手門学院大学心理学論集, 第8号, 23-29.
- 加藤 徹, 難波精一郎, 桑野園子 (1993). 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”, 追手門学院大学文学部紀要, 28号, 19-34.
- 加藤 徹, 難波精一郎, 桑野園子 (1994 a). 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について. 追手門学院大学文学部紀要, 29号, 15-31.
- 加藤 徹, 難波精一郎, 桑野園子 (1994 b). 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について —— 現実音への適用可能性について ——. 追手門学院大学文学部紀要, 30号, 33-43.
- 加藤 徹, 難波精一郎, 桑野園子 (1996). 線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について —— マッチング結果の記述法について ——. 追手門学院大学人間学部紀要, 2号, 47-60.
- Kuwano, S. and Namba, S. (1985). Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relation between overall loudness and instantaneous loudness. *Psychological Research*, Vol. 47, 27-37.
- Namba, S. and Kuwano, S. (1980). The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise on noisiness. *The Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, Vol. 1, 99-106.
- Namba, S., Kuwano, S. and Fastl, H. (1988). Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgment by category. *Proceeding of NOISE '88*, 241-246.
- Namba, S., Kuwano, S. and Kato, T. (1976) "The loudness of sound with intensity increment", *Japanese Psychological Research*, 18, 63-72.
- 難波精一郎, 桑野園子, 加藤 徹 (1995). 連続判断法による聴覚的情景分析の研究. 日本音響学会平成7年度春季研究発表会講演論文集, 471-476.
- Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. New York: Wiley.

2001年4月12日 受理