

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 ——

加 藤 徹

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

—— Measurement of Loudness Decruitment ——

Tohru KATO

要 約

連続音のラウドネスを測定する方法として, 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法の可能性を検討している。ここでは, ラウドネスの decruitment 現象をこの方法で測定することを試みた。その結果, この方法でも継時的 magnitude estimation 法による測定と同様に, ラウドネス decruitment が観察できることが示された。考察では, 今回の測定での問題点とこの方法の可能性が検討された。

キーワード: ラウドネス, 連続判断, 線分長, クロスモダリティマッチング, loudness decruitment

謝辞 原稿をご検討頂いた宝塚造形芸術大学, 難波精一郎教授と大阪大学人間科学部環境心理学講座, 桑野園子教授に感謝いたします。また, 桑野教授には実験に際して防音室の利用の機会をお与えいただきました。あわせて感謝いたします。

はじめに

我々は、常に強さの変化する音の刻々のラウドネス（聞こえの大きさ）を測定する目的で、音の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（以下 CMM と略記）を開発している（加藤，難波，桑野，1993，1994 a，1994 b，1996：加藤，1997）。これまでの研究により，この方法が上記の目的にかなう可能性が示されてきたが，さらに解決すべき問題点も残されており，加藤，難波，桑野（1996）では，それらを展望している。そこであげた問題点の一つに，他の測定法との比較がある。他の方法で捉えられているラウドネスの時間変化に関わる現象を，この方法で観察できるかということである。このような検討に利用できる現象として，まずあげられるものがラウドネスの decruitment である。

これは，Canévet（1986），Canévet & Scharf（1990），Scharf（1991）などに報告されているもので，3 min ほどの間に 70-30 dB 程度の範囲で強さが単調に連続的に変化する音の場合，増加する音に比べ減衰する音では，40 dB 付近より弱い強さに対してはラウドネスはより大きな減少を示すというものである。彼らがこの測定に使用した方法は magnitude estimation 法（以下 ME 法と略記）であり，長時間の刺激提示中の一定時間毎に被験者に対して繰り返し ME 判断を求めている。ここでは継時的 ME 法と呼んでおく。

長さという感覚は数値感覚に極めて近い関係にあると考えられ，長さの ME 判断ではベキ指数はほぼ 1 になるとされる（e. g. Stevens, 1975）。これは我々が連続判断を求めるために，ラウドネスに対する CMM の相手として線分長を選択した理由の一つである。判断の連続性から考えれば，ME 法が数値の選択・決定にある程度の時間を必要とするのに対し，線分長との CMM では線分長の操作方法が適切であれば，線分長の調整は直感的になされるため，より高い連続性が実現できる。

一方，ME 法では数値の選択範囲に上下限はないが，線分長には明らかな上下限がある。特に，下限は厳しく制限される。30 dB（SPL）といったレベルの音のラウドネスは極めて小さいものであるから，decruitment の測定にラウドネスと線分長との CMM を適用することには最初から困難も予想される。そこで，ラウドネスの連続判断法としての線分長との CMM 法の限界を確認するために，ラウドネス decruitment の測定をこの方法で試みることにした。

実験方法

実験は次の4部分から構成されている。① 離散音のラウドネスの ME 判断，② 離散音のラウドネスと線分長の CMM，③ レベルが単調に変化する連続音のラウドネスの継時的 ME 判断，④ レベルが単調に変化する連続音のラウドネスと線分長の CMM，である。各実験毎の刺激，

手続きを説明する。

実験①

刺激音：離散音は 1 kHz 純音であり、持続時間は 800 msec で 100 msec の立ち上がりと減衰部分をつけてある。この音は演算で作成し、パーソナルコンピュータ（NEC PC-9821 BX）と D/A 変換器（CANOPUS SOUND MASTER）によりアナログ化したものを、コンピュータ制御のアテネータ（森技術研究所 DM-DGMI）によりレベルを変化させ、防音室内の被験者に提示した。今回のすべての実験で刺激音はヘッドホン（STAX SRA Pro.）により左耳に提示している。離散音のレベルは 70 dB（SPL）から 30 dB（SPL）まで 5 dB ステップで変化する 9 種類である。

手続き：被験者は 10 sec 毎に提示される刺激音のラウドネスを ME 法により判断し、口頭で報告した。実験に先立ち被験者には、各音のラウドネスに主観的に最もマッチする数値をあげることで、数値は 0 と負数以外であれば選択に何らの制限も無いことを教示した。刺激音提示の 2 sec 前に警告刺激として LED が 1 sec 間提示される。各被験者は、全体で 5 試行を遂行するが、各試行内での 9 種類のレベルの提示順序はランダム化してある。

被験者：被験者は聴力正常な 20-26 歳の学生、大学院生 4 名であり、実験①-④のすべてに参加した。1 名の被験者はこれまでにラウドネスの ME 判断、線分長とのクロスモダリティマッチングを体験していなかったが、残り 3 名はこれらの課題に多少の体験を有していた。

実験②

刺激音とその提示条件は実験①と同一である。

手続き：被験者は各刺激音のラウドネスに主観的に最もマッチする長さに線分を調整する。防音室内の被験者の正面約 1 m にはコンピュータの 14 インチモニタが置かれ、画面中央に水平に線分が提示される。被験者は手元のトラックボールを操作することにより、この線分の長さを 1 dot から 620 dots の範囲で容易に変化させることができる。調整された長さはコンピュータによりファイルに記録される。実験開始時には線分の存在を明示するために、100 dots の長さの線分が画面上に提示されているが、被験者には各音とのマッチングが完了すれば約 2 sec 間その長さを維持し、その後に線分を最小の長さにあわせることを求めた。これは、結果の読み取りを確実にするためである。これ以外の条件は実験①と同一であった。

実験③

刺激音：刺激音はレベルが単調に変化する 1 kHz の連続音であり、Canévet & Scharf (1990) に従って作成したものである。レベルが増加する音、減衰する音各 1 種類が刺激となる。レベルは 70 dB-30 dB（SPL）の範囲を 160 sec で変化する。変化速度は 0.25 dB/sec となる。連続音の開始時と終了時 10 sec 間はレベルは定常に保たれている。また、100 msec の立ち上がりと減衰部分をつけてある。刺激音全体の持続時間は 180.2 sec となる。この刺激音も演算で作成し、パーソナルコンピュータ（NEC PC-9821 xt 13）と D/A 変換器（CANOPUS SUPER

SOUND MASTER) によりアナログ化し DAT (SONY DTC-59 ESJ) の左チャンネルに録音した。同じ DAT の右チャンネルには、連続音の開始 9 sec 後から 20 sec 毎に持続時間 1 sec, 100 msec の立ち上がりと減衰部分を持つ 18 kHz の純音を、連続音と同様に作成し録音した。この信号は後述の LED 点灯に使用した。周波数を高くしたのはクロストークを極力抑えるためである。

手続き：被験者は連続音を聞き続け、LED が点灯した時点でのラウドネスを ME 法により判断し、数値を口頭で報告する。ME 法に関しては実験①と同様の注意を与えている。各被験者はレベル増加、減衰各 3 回、合計 6 回の判断をランダム順に遂行した。

実験④

刺激音：刺激音は基本的に実験③と同一であるが、LED 点灯用の信号は無く、また、連続音の先頭と最後には 2 sec 間の空白時間を挟んで、持続時間 3 sec, 100 msec の立ち上がりと減衰部分を持つ 50 dB (SPL) の 1 kHz 純音を付加した。これらは、以下に述べる連続クロスモダリティマッチング結果に含まれる反応の時間遅れを補正する際に利用する目的で用意したものである。

手続き：被験者は実験②と同じ装置により、提示される連続音の刻々のラウドネスに対して線分長との CMM を連続して遂行する。マッチングは上記の付加音に対しても要求された。また、増加、減衰のいずれの場合にも、音の途中で線分長の変化範囲の限界に達することをおそれる必要はなく、その場合には音の終了まで限界点を維持しておけばよいと教示した。マッチング結果は 100 msec 毎に線分の描画に要したドット数としてコンピュータに記録した。実験③と同様に、各被験者はレベル増加、減衰各 3 回、合計 6 回の判断をランダム順に遂行した。

これら 4 回の実験は、1 週間の間を置いて①から④の順序で遂行された。

結 果

実験①の結果は 5 試行のうち最初の 2 試行は練習とみなし、残り 3 試行の平均を求めて各被験者の反応とした。全体平均は被験者間求めたで幾何平均値によった。実験②の結果も実験①と同様に処理したが、反応量はモニタ画面上での線分の描画に要したドット数になっている。

実験③ではレベル増加音、減衰音それぞれについて 3 試行のうち最初の試行を練習とみなし残り 2 試行の平均値を求めて各被験者の反応とした。全体平均はやはり被験者間での幾何平均値によった。

実験④からは、被験者が調整し続けた線分長の 100 msec 毎の結果が得られるが、それぞれの長さを連続音のどの時点に対応させるべきかがまず問題となる。ここでは、従来から使用している方法で対応づけを行った。刺激音の 100 msec 毎の等価音圧レベルを測定し、これと線分長データとの間で後者の時間軸をを 100 msec づつ前にずらせながら両者間での相関係数が最大と

なる点を求めるのである。今回のような単一の峰を持つ音の場合では、この方法では音のレベルと線分長の最大値の位置を合わせる補正となり、その結果反応が刺激に時間的に先行することも生じてしまう。方法で述べた付加音はこの傾向を軽減させるためのものであった。この方法が最良であったかどうか問題は残されるが、今回の刺激音でのレベル変化速度は極めて遅いものであるから、物理量と心理量の時間軸上での対応づけの方法が結果に重大な影響を及ぼすとは考え難い。実験③と同様に、レベル増加、減衰音に対する3試行の結果のうち2試行について、各被験者毎に上記の補正を行った後に平均を求めた。さらに、連続音の先頭と終了部分につけた10 sec間のレベル定常部分について先頭と最後の5 secぶんを切り捨て、1,700ポイントについて被験者間での幾何平均値を求めた。

図1に実験①-④から得られたベキ関数を示すが、ラウドネスのME判断と線分長とのCMM結果を比較するために、各実験の結果は70 dBに対する反応を100に基準化して表示してある。

まず、離散音についての結果では、ME法とCMMによる音圧レベルとラウドネス評価量との関数形はほぼ直線となっており、ベキ関数が成立している。また両者はほとんど重なり合っており、ベキ指数はそれぞれ0.25, 0.27である。

実験③の結果は、レベル増加音と減衰音では40 dB以上では関数がほとんど重なり合っているが、それ以下ではレベル減衰音でラウドネスの急激な低下が示されている。増加音でのベキ指数は0.41、減衰音の40 dB以上でのベキ指数は0.42である。

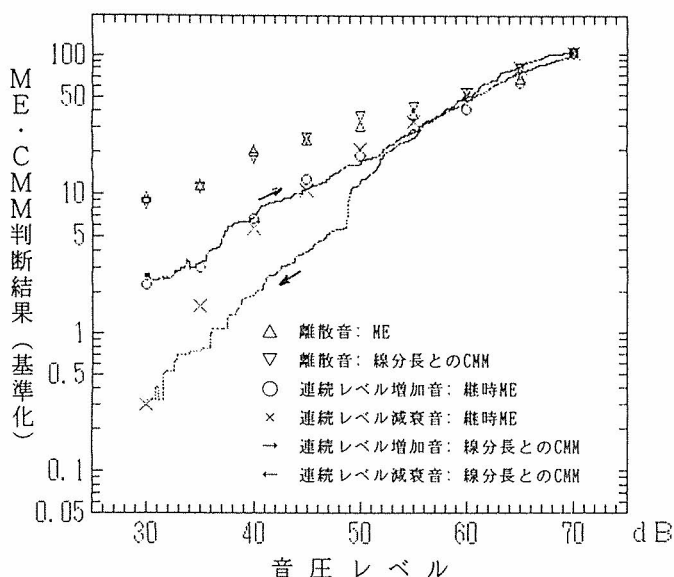


図1 各方法によるラウドネス判断結果 (1 : n = 4)

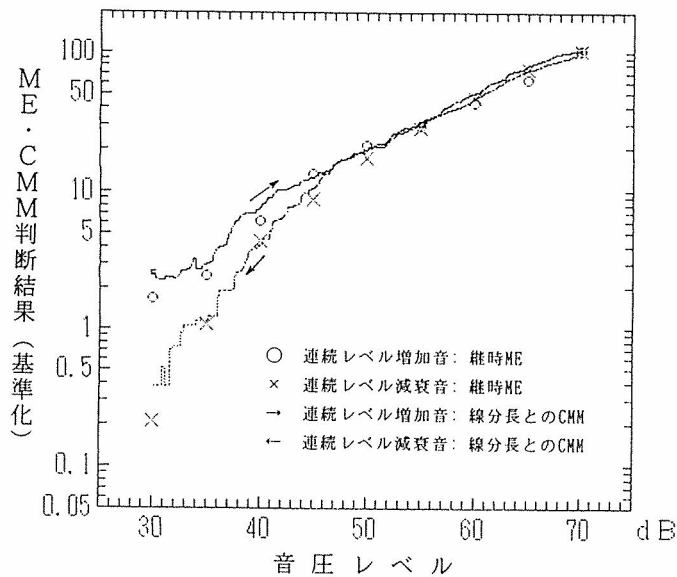


図2 各方法によるラウドネス判断結果 (2 : n = 3)

実験④の結果、レベル増加音に対するCMMによるラウドネス関数は実験③で得られた同じ刺激音に対する関数に極めて近いものとなった。一方、レベル減衰音に対する関数は、50 dB付近から大きなラウドネス減少を示すものであり、その減少の程度は実験③で得られた同じ刺激音に対する関数よりも大きなものとなっている。このレベル減衰音から得られた関数は、50 dB付近に大きなギャップが観察され、この種の関数形としてはやや不自然な印象を受ける。原因として、1名の被験者が他の被験者に比べ遙かに早く50 dB付近で線分調整範囲の下限に達してしまったことが、全体の関数形に影響した可能性が考えられる。そこで、この被験者を除いた残り3名の結果について実験③④の結果を求め直したものを図2に示す。

図2では、ME法によるラウドネス関数と線分長とのCMMによる関数は、レベル増加音だけでなくレベル減衰音の場合にもほぼ重なり合っている。なお、図2でのレベル増加音のベキ指数は0.45、減衰音の40-70 dBでのそれも0.45であった。

考 察

実験③の結果から、継時的ME法によるラウドネス decruitment はここでも観測できていると考える。レベル減衰音の40-30 dBでのラウドネス減少は約20倍であるが、これはCanévet & Scharf (1990)での結果に近い。問題は実験④でのラウドネスと線分長との連続CMMによる結果であるが、図2に示すように、この方法でもラウドネス decruitment を観測することは

原則として可能であると考えたい。

最初に述べたように、この方法が避けることのできない制限は線分の変化範囲が有限であることであり、今回の試みに際しても最大の障害であると考えられた。このような状況下では被験者はややもすれば、線分長の下限を目標とし、刺激音の終了時にその下限に達するように線分長を調整するという方略を採ることになりかねない。これを避けるために、実験方法で述べたように、刺激音の途中で線分の上下限に達してもかまわないという教示を与えたわけである。1名の被験者は刺激音の最小レベルのかなり手前で線分の下限に達してしまい、これは別の問題を引き起こしているが、教示は有効に働いていたと考えられる。

また、判断に使用された数値と線分長の範囲を被験者毎に比較してみても、2名はほぼ同一であり、1名は数値が、残り1名は線分が広がっている。数値に比して線分の変化範囲が狭かったとする明白なデータはない。

ところで、連続的レベル減衰音でのラウドネス decreitment は線分長との連続的 CMM により傾向としては観測できるものの、正確な関数が得られるかという点ではどうであろうか。図1には測定値が下限に達し不定となったデータが混入しているため、50 dB 以下では関数全体も不定となっているが、図2の関数よりもより小さなラウドネスを示していることは確かである。図2では ME 法と CMM の関数が一致しているが、ME 法による関数にも問題点を指摘することができるかもしれない。それは被験者の数値感覚の直線性である。今回のデータにも 0.1, 0.01 台の数値反応がみられるが、このように使用する数値が 1.0 をきって小数の範囲に入った場合にも、ラウドネスと数値感覚の対応がそれまでと同様になされるのであろうか。

各測定法にはそれぞれに長短があり、1つの現象を観察する際に利用できる測定方法が多い方が全体としてより正確な観察が可能になるであろう。その意味で decreitment の測定にラウドネスと線分長の CMM が利用できる可能性がみられたことは重要であろう。さらに被験者を増やし測定を繰り返す必要はあるが、この方法は継時的 ME 法を補うものと考えられるからである。最初に述べたように、この方法の特徴として判断の連続性の高さがあげられる。ラウドネス decreitment を観察する条件として 160 sec で 40 dB 程度のレベル変化が提唱されているが、このレベル変化速度を操作する必要がある場合に、速度をあげていくと判断時点が接近し継時的 ME 法では測定が困難になっていくであろう。ラウドネスと線分長との CMM ではレベル変化速度が変化しても判断のやり方自体には何らの変更も必要はない。これまでに我々がこの方法により遂行してきた測定の中に、60 sec で 60 dB の振幅変調をする連続音のラウドネスの測定例があるが、そこでもレベル減衰部分は増加部分に対してラウドネスが過小評価されている（加藤、難波、桑野、1994）。これが、ラウドネス decreitment と見なし得るものかどうかいまだ結論は下されていないが、このような問題の解明も期待できるのである。

ところで、今回得られた離散音に対するラウドネス判断は、2つの方法でほぼ一致した結果であったが、レベル変化音での結果に比較するとベキ指数では相当な差異がみられる。Canévet

& Scharf (1990) では、離散音の結果はレベル増加音での結果に重なり合っており、ベキ指数は 0.45 とされている。この差異を生み出した原因は、いまのところ不明である。ここでの結果でもレベル増加音で得られたベキ指数は 0.45 であり、従来離散音のラウドネス判断では 0.3 前後のベキ指数が定説となっていることを考えれば、レベルが連続的に変化する音では、例えば対比効果などにより、ラウドネスの変化がより幅広いものとなっている可能性もあると思われる。これまでは連続音を中心にラウドネスと線分長との CMM を検討してきたが、このような問題を検討するためには、離散音に対してもこの方法を適用しデータを収集することも必要であろう。

また、継時的 ME 法はもともとラウドネス順応の測定のために使用されたものである。ラウドネス decreitment 現象を線分長との連続的 CMM が測定できるならば、この方法をラウドネス順応の測定にも使用できる可能性がある。Scharf (1996) もこの問題に触れているが、彼がいうように、そのような測定がおこなわれていない現状ではこれ以上述べることはない。この方法を検討していく過程でなすべき課題が一つ増えたということである。

引用文献

- Canévet, G. (1986), "Estimation de sonie pour des sons purs à variation monotone de niveau", *Acustica*, 61, 256-264.
- Canévet, G. & Scharf, B. (1990), "The loudness of sounds that increase and decrease continuously in level", *J. Acoust. Soc. Am.*, 88, 2136-2142.
- 加藤 徹, (1997), 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三十周年記念論集, 人間学部篇, 51-62.
- 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.
- Scharf, B. (1991), "Loudness adaptation measured by the method of successive magnitude estimation", In S. J. Bolanowski, Jr. and 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.
- Scharf, B. (1996), "Loudness adaptation", In H. Fastl, S. Kuwano & A. Schick (Eds.), *Recent trends in hearing research—Festschrift for Seichiro Namba—*, Chapter 3, 51-73. : Bibliotheks—und Informationssystem der Universität Oldenburg.
- Stevens, S. S. (1975), *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. New York : Wiley.

1997 年 10 月 9 日 受理