

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 ——

加 藤 徹・難 波 精一郎*・桑 野 園 子*

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

—— Possibility of Adapting the Method for Real Sounds ——

Tohru KATO, Seiichiro NAMBA* and Sonoko KUWANO*

は じ め に

我々を取り巻く環境は常に物理的に変化している。その変化は感覚器官を通して我々の内部に取り込まれ、環境変化についての心理的判断を生起させる。この判断は時間軸上で連続して生じ得るものである。一方、ある時間範囲を通しての全体判断も日常生活では普通に行われる。例えば、一日の内にも10℃程度の気温変動はあるし、空調器の効き具合も場所により様々であるが、夜に帰宅して「今日は暑かった」とか「だいぶ涼しくなった」などと言うのである。このような刺激変化と感覚判断の変化の関係や刻々の感覚判断と全体判断の関係はようやく一部の研究者の関心を引き始めた段階にあるといえよう。

最近のエレクトロニクスの進歩のお陰で、実験室内で制御できる変動刺激の範囲は次々に広がっている。問題は心理判断を連続的に求める方法の方に多く残されている。難波・桑野はカテゴリ連続判断法の開発により、連続判断の研究に道を開いたが (e.g. Namba & Kuwano, 1980; Kuwano & Namba, 1985)、多様な状況での連続判断を可能にするためには更に種々の方法

* 大阪大学人間科学部環境心理学講座 (Department of Environmental Psychology, Faculty of Human Sciences, Osaka University)

本研究については平成6年7月の第4回環境工学総合シンポジウム (日本機械学会) と8月の第23回国際騒音制御工学会議 (inter・noise 94) で報告した。

が開発されねばならない。

我々の当面の目的は、音のラウドネス（聞こえの大きさ）について刻々の判断と全体判断の関係を求めることにあるが、レベル変動のみに限ってみても、その変動の速さと範囲は音により様々である。従って、高い時間分解能を持つ連続判断法が求められている。それを可能にするものとして着目されたのがラウドネスと線分長とのクロスモダリティマッチングであって（Namba, Kuwano & Fastl, 1988）、具体化するための試みが重ねられている（加藤、難波、桑野、1993, 1994 a）。その結果、人工音を用いての実験では（加藤、難波、桑野、1994 a）方法としての可能性を確認することができた。

しかし、そこで使用した人工音のレベル変動は、規則的で比較的緩やかで且つ何度か繰り返されるものが大部分であった。これに対して現実の環境で生じる音の大部分は、不規則で速いレベル変動を示す。現在開発中の連続判断法が、このような音にどこまで適用できるか実験的な検討を始めているので、ここにこれまでの結果を述べて問題点を討議したい。

ところで、このような方法では、被験者が線分調整のために何らかの入力装置を操作しなければならず、そこに運動能力の問題が関わってくる。運動能力により規定される線分変化の速さの限界が、ラウドネス判断の速さの限界を十分上回っているなら問題はないが、運動能力の限界が線分調整の速さの限界を規定している可能性は現状では否定できない。そこで我々は、この問題を回避するための方策を検討することにした。その方法を取りあえずラウドネスと線分長との適合度判断と呼んで置くが、ここではそれによる実験結果も報告し検討を加えていきたい。

実 験 I

実験方法

刺激音：DAT の左チャンネルに録音された持続時間約 10 秒の 6 種類の現実音（航空機、建築音、音楽、道路交通音、音声、鉄道音）が刺激である。音声以外では、レベルの高いものと低いものの 2 種類を用意したので、刺激音は全体で 11 種類となる。各刺激音開始点の約 1 秒前にあたる右チャンネルに周波数 15 kHz 持続時間約 500 msec の信号を録音し、線分の提示開始と同期をとるためのトリガ信号として使用した。

実験装置：図 1 にブロック図を示すが、刺激音は DAT（SONY DTC-1000 ES）からアンプ（KENWOOD KA-V 7000）を通しヘッドホン（STAX SRD-X Pro., STAX SRA Pro.）により防音室内の被験者に片耳提示された。1 台目のパーソナルコンピュータ（NEC PC 9801 RX 2）は 10 msec 毎のパルス信号と DAT からコンバータを通して得られるトリガ信号を監視し、音刺激と線分提示開始の同期を取り、さらに調整される線分長の記録のタイミングをとる。2 台目の

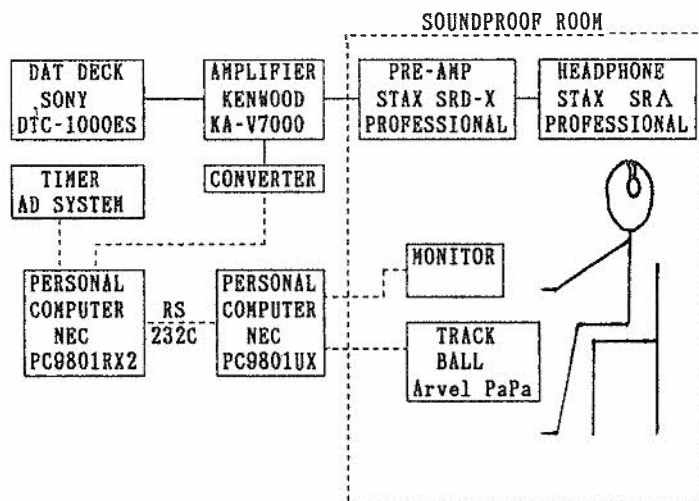


図1 実験のブロック図(加藤, 桑野, 難波 1994 b)

パーソナルコンピュータ (NEC PC 9801 UX) は、トラックボール (Arvel PaPa) の操作に対応した線分長の提示と記録をおこなう。

実験手続き: 11 種類のランダム提示される刺激音のラウドネスに対する線分長のマッチングを 1 試行として、各被験者はそれぞれ 5 試行を行った。被験者には、提示される音の刻々のラウドネスに対応するように、線分の長さをトラックボールにより連続的に調整することが求められた。被験者の顔前約 1 m に置かれた 14 インチモニタ上に線分を水平に提示した。最短の線分と最長の線分はそれぞれ 1 dot と 620 dots に対応する。被験者には、最長の線分は日常生活で経験する最大の音の大きさに、最短のものは音の無い状態に対応すると考えるよう教示した。また、刻々のラウドネスにマッチさせるのは、トラックボールを操作する速度や手の動きではなく、あくまでも線分の長さであることを強調している。

さらに、第 1 試行を除いて、各被験者には前回の試行での自己のマッチング結果のフィードバックが与えられた。フィードバックに際しては、モニタ上に幅 100 dots の窓が提示され、そこに 1 試行前での自己の調整した線分長が刺激音に同期して変化しながら提示される。提示窓は 2.5 秒毎にクリアされる。丁度、掃引時間 2.5 秒のオシロスコープの画面を観察するのと同じ状況である。これにより被験者に、自己のマッチングの改善すべき点を検討する機会を与えたのである。なお、各試行間には 1 日以上の間隔がとられている。

被験者: 27-46 歳の男性 3 名が被験者で、全員聴力に異常は認められない。

実験場所・期間: 実験は大阪大学イ号館の防音室で、1994 年 2-3 月に行われた。

結果 I

各被験者がラウドネスにマッチングした線分長は 100 msec 毎にサンプリングされ dot 数で記録された。一方、刺激音の物理量としては 100 msec 毎の Leq 値を求めている。その計測は、ヘッドホンの出力をダミーヘッド（高研 SAMRAI）から計測用アンプ（B&K 2610）、さらに長時間 Leq 測定器（AD システム）に通じて行った。反応時間による遅れを補正するため、刺激音の 100 msec 毎の Leq 値との相関が最大になる点まで、各被験者の線分長データを前にずらせた。この補正を加えた後、被験者全員の結果を平均した。

図 2 には、第 1 試行と第 5 試行での線分長調整結果の平均値と Leq 値のタイムパターンを示す。パターンの相対的变化を比較すると、両試行とも極めて類似しており多くの刺激音で Leq の主要な変動に対応していることが観察できる。逆に Leq の細かな変動は、被験者の調整結果には反映していない。特に音声刺激については、その様子がはっきり現れている。

また、両試行での調整結果の絶対値での差の生じ方は、刺激音により一定していない。ほと

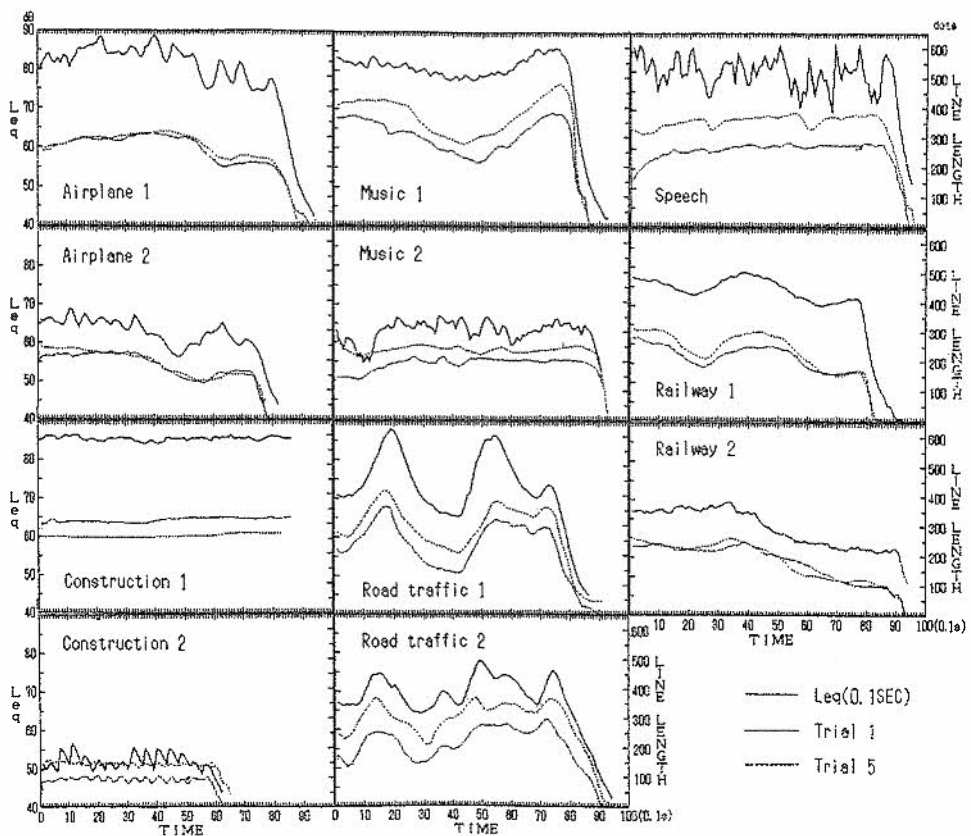


図 2 Leq 値 (100 msec) と線分長のタイムパターン

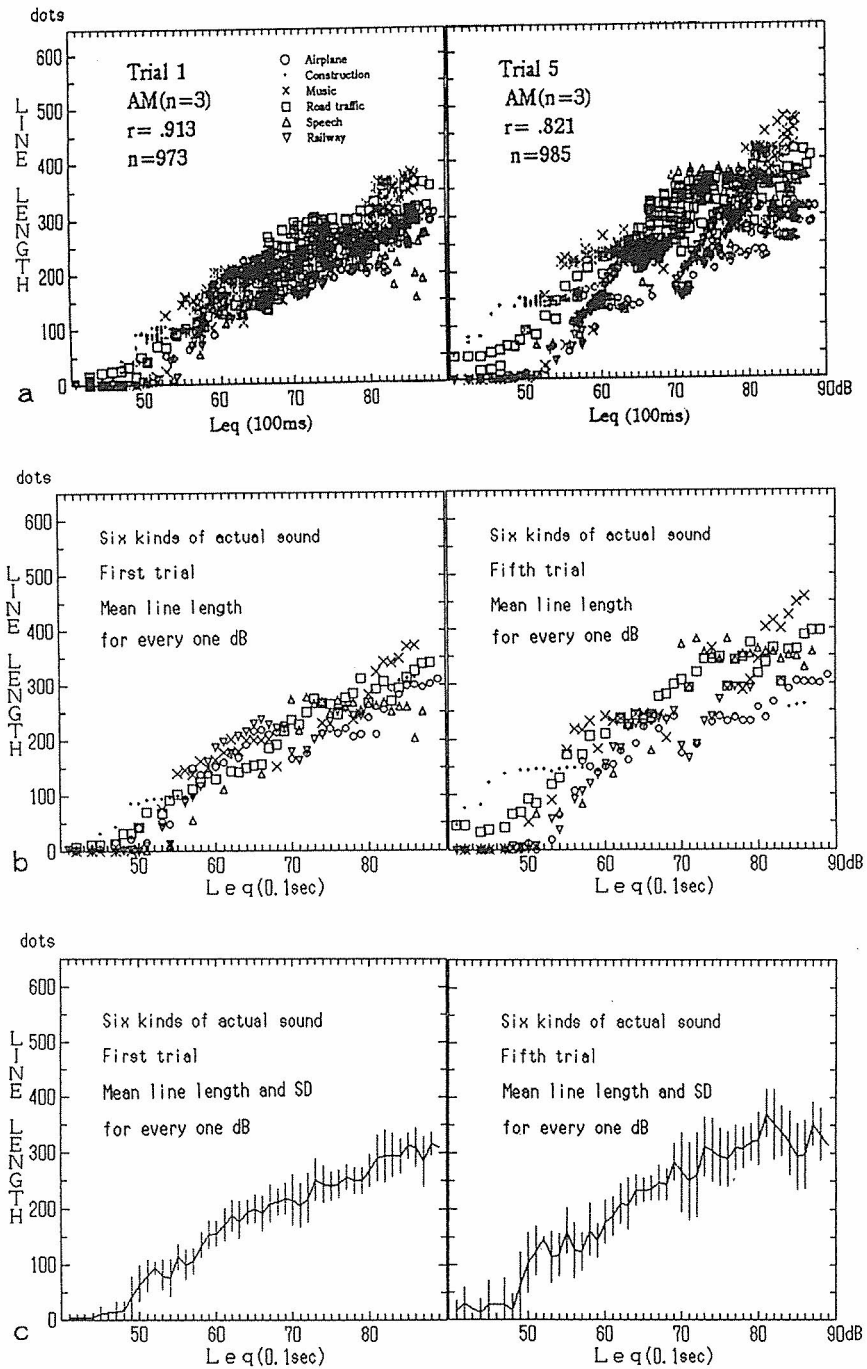


図3 Leq 値と線分長の対応関係

表1 ラウドネスに対する線分長の適合度評価

Stimulus	airplane		construct.		music		road		speech	train	
	A 1	A 3	C 1	C 4	M 1	M 2	R 1	R 2	S 1	T 2	T 3
first trial	4.6	4.0	4.7	4.4	4.0	2.9	5.6	5.5	3.7	4.7	4.8
fifth trial	5.1	4.4	4.6	5.3	4.9	4.1	5.7	5.8	3.9	5.2	4.2

(Kato, Namba & Kuwano 1994 c)

んど変化していないもの、第5試行での結果が第1試行より長めに調整されているもの、その逆のものと全てが生じている。図3には両試行での Leq 値と線分長の対応関係を3種類の表示法で示してあるが (a: 各音源毎, 100 msec 毎の対応 b: 各音源毎に求めた Leq 1 dB 毎の線分長の平均値 c: 全音源を通して求めた Leq 1 dB 毎の線分長の平均値とSD), 第5試行では第1試行に比べ、音源間での散らばりが大きくなっていることがわかる。この傾向は既に第2試行から始まっており、第2試行から第4試行の結果を図2aの形式でプロットしたものは、第5試行の結果とほぼ同様の印象を与える。また相関係数も第1試行の0.91に対し第2試行以下では0.82-0.87に留まる。

実験終了後、1週間置いて追加実験を行った。各被験者の第1試行と第5試行での線分長のマッチング結果を刺激音と同期させてランダム提示し、それぞれの適合度評価を7段階 (1: 全く合っていない 7: 非常によく合っている) で求めた。実験装置は上記のフィードバック状況と同様である。評価の結果を表1に示す。数値は3名の被験者の平均値である。両試行での調整結果の適合度評価を比較すると、ほとんど同じか第5試行の方で数値がわずかに大きくなっているものが大部分である。刺激音全体でみれば、第1試行で既に良い対応関係が得られているが、それ以後の試行で生じた音源間での調整結果の広がり、心理的には何らかの意味を持っているようである。

実 験 II

最初に述べたように、ラウドネスと線分長のクロスモダリティマッチングにおいて、一つの問題と考えられるのが線分長の操作速度である。人間の運動能力の限界速度を実現できる線分長の操作方法を具体化することが一つの課題ではあるが、運動能力には限りがあるから、ラウドネス連続判断の時間分解能がそれを上回る場合には、線分長とのマッチングでは追従できないことになる。無論、ラウドネス連続判断の時間分解能自体についても解明されなければならない点は多々残されているが、それを探求する上でも十分な操作速度を実現する必要がある。

そのために一つ考えられる方策は、実験Iで使用したように、線分長の調整を被験者に求め

るのではなく、刺激の物理量とラウドネスと線分長のあらかじめ仮定した対応関係により各時点での線分長を計算しておき、それを刺激音に同期させてディスプレイに提示し、被験者にはラウドネスについての提示された線分長の適合度判断を求めるというものである。

しかし、考えてみれば、このような試みは特に目新しいものではなく、同様の目的で規格まで定められた計器がある。録音器やアンプなどによく取り付けられている VU (Volume Unit) 計がそれである。基本的には交流電圧器であるが、例えば様々な音源を聞いたときに聞き手が音源間でラウドネス差を感じないように送出レベルや録音レベルを調整するために使用され、それに関する研究例もある (中島, 1960)。一般には VU 計のピーク値を利用することが多いとおもわれるが、上で概説した方法であれば時間軸に対して線分の変化を示す 2 次元的な表示も可能であるし、最終的には刻々のラウドネスと全体のそれとの関係を問題にしようとするのであるから、VU 計の特性の再評価にもつながる可能性がある。

実験方法

刺激音：実験 I の刺激音のうち 4 種類 (航空機, 音楽, 道路交通音, 音声) を選び使用した。実験 I でレベルの異なる 2 種を用意した刺激については、レベルの高い方を使用した。刺激の物理量としてはとりあえず Leq を選び、積分時間を変えた 5 種類 (0.1, 0.5, 1, 2, 3 秒) を用意した。

Leq と線分長の対応関係：ここでは実験 I の結果をふまえ、5 種類の Leq 値 (dB 表示) に対して線分長を比例関係で対応させた。30 dB 以下では線分長は最小 (1 dot) になり 100 dB に最長 (620 dots) の線分が対応する。積分時間 3 秒の Leq の場合、音の最初から 3 秒経過した時点からしか求められない。そこで、他の積分時間の Leq についても同様にするため、線分の画面への提示は音の先頭から 3 秒後に開始した。

手続き：刺激音と線分長の提示は、実験 I でのフィードバック事態と同様である。提示終了後に各被験者は、刺激音の刻々のラウドネスと線分長の変化のマッチングの良さを 7 段階で評価した。刺激提示はまず音源の順序をランダム化し、次に音源ごとにマッチングさせる線分の使用順序をランダム化した。各被験者は全刺激について 3 回の評定を行った。

被験者：20-40 歳代の大学院生、職員 5 名で、全員正常聴力を有している。

実験場所・期間：実験は 1994 年 5 月に大阪大学イ号館の防音室で行われた。

結果 II

3 回の評定結果の内 1 回目は練習とみなして、2 回目と 3 回目を平均し被験者毎の結果とした。図 4 にはそれを各音源、各積分時間の Leq 毎に被験者間で平均した結果を示す。航空機、音楽、道路交通音での全体的傾向としては、積分時間が 100, 500 msec 程度の場合に適合度は

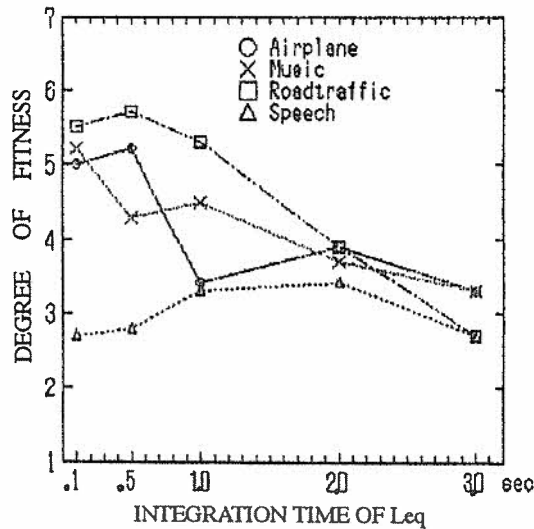


図4 ラウドネスに対する線分長の適合度評価 (加藤, 桑野, 難波 1994 b)

高くなっている。こういった条件では線分長は比較的速く細かく変化している。

これに対し、音声ではどの積分時間の Leq でも適合度は高くならない。実験 I の結果でも、音声に対する線分長でのトラッキング結果は、他の音源とは異なる様子をみせていたが、ここで得られた結果もこの音源の特異性を示している。

考 察

数種類の現実音のラウドネス連続判断を線分長とのクロスモダリティマッチングで求めた結果、多くの音源については、100 msec 毎の Leq 値と線分長の間には時間パターンにおいても相関関係においても良い対応が観察された。心理量の連続判断の可能性を検討している現状では、刺激の物理量と心理量の間にはっきりした対応関係が見いだせることがまず重要であって、その点ではこの方法は連続判断法として実際に利用できる可能性が高いと考える。しかし、種々の変動を持つ現実音に適用してみた結果、新しい問題点が生じていることも事実である。

人工音のラウドネスを連続測定した結果 (加藤, 難波, 桑野 1994 a) では、 Leq に対して線分長の対数が直線関係を示したが、ここでは線分長そのもので Leq と直線関係を持っている。人工音ではベキ関数関係であったものが、現実音では対数関数関係になっているのである。この原因は現状では確定できていないが、レベル変動のあり方の相違が大きく影響している可能性はある。

前回使用した人工音は、正弦波を振幅変調したもので数 10 dB の範囲で比較的緩やかで規

則的な変動が繰り返されるものが多くを占めていた。心理的にはラウドネスのみが繰り返し変化する刺激が大部分であったと考えられる。これに対し現実音では、周波数の変動が加わることは無論であるが、レベル変動自体がより速く不規則なものになる。なによりも、低いレベルが出現する機会は限られてくる。今回使用した現実音でも、持続時間が短かったこともあるが、低いレベルが全体に占める割合は小さい。特にベキ関数においては、低いレベルでの刺激反応関係が全体の関数形に大きく影響することはいうまでもない。

さらにレベル変動の様相について考えれば、現実の世界では、ある音が大きくなるということは新しい事象の生起を意味し、ある程度以下に小さくなることはその事象の終了を意味することが一般ではなからうか。また、現実の音環境には必ず背景騒音が存在し、特定音源からの音もあるレベル以下では背景騒音にまぎれてしまう。例えば道路交通騒音では、背景騒音レベルからのレベル上昇は車の接近を意味し、レベルが下降して背景騒音レベルに近づけば車が遠ざかったことを意味する。背景騒音レベルはほぼ定常的なものであって、低いレベルでの変化音は提示が困難になる。従って、この時点で被験者の注意の切り替えが生じる可能性も考えられる。しかし、レベル変動音のラウドネスと、同時に存在する背景騒音のような定常音のラウドネスにどのような相違があるかといった問題自体が、これまでの方法では測定が困難なものであり、連続判断法による解明が期待されるものの一つである。

今回使用した現実音は持続時間も短く種類も限られたものであるが、実験Ⅰの結果に示したように音源により線分長とのマッチングの様子が異なってくる傾向がある。この原因も現状では確定できないが、フィードバックを伴った第2試行以降でみられたものであり、感覚レベルよりも高次の中樞的処理の影響と考えることもできよう。即ち、全ての刺激音を知りそれぞれの内容が捉えられた上で、各刺激音の相互関係が考慮されて生み出された結果であるのかもしれない。その場合、刺激音の持続時間が短かったことが大きく影響しているであろう。

使用した音源間での相違のもう一つの例として、音声をあげることができる。図2の物理量と心理量のタイムパターンで指摘したように、 Leq でみられる細かく速い変動は線分長にはほとんど反映されない。一方、適合度の評価においても会話音は、100 msec という短い積分時間の Leq に対応した線分長の変化でも良い評価は得られなかった。この条件では、線分長は図2に示した Leq の変化と同じ細かさで速さを示す。従って、会話音の場合には線分長とのマッチング結果に細かく速いレベル変動が反映されなかった原因は、線分長の操作上の限界以外に求めるべきかもしれない。即ち、音声においては、一部のレベル変動は必ずしもラウドネス変動として知覚されていない可能性が考えられる。同様の事は速い断続音でも経験されることである。現在検討中の連続判断法は、このような現象を捉える可能性を持っているのである。

次に、ここで試験的に使用した適合度判断法について検討してみよう。この方法の特徴は、被験者が線分長を操作するのではなく、機械によるマッチングがおこなわれている事である。

これにより操作能力の限界がマッチングに及ぼす影響を消し去ることができるはずであるが、既に大きな検討課題も生まれている。

それは判断の本質に関わることで、線分長の操作を人間がおこなうか機械がおこなうか以外の点で、この2つの方法が同質であるかどうかである。例えば、いずれの方法の使用に際しても、被験者には線分長の変化速度ではなく刻々の長さをラウドネスにマッチングするように教示するが、機械によりマッチングの速度を上げた場合にどこまでこの教示に従えるものであろうか。無論、これには具体的な線分長の提示法が関係してくる。今回は、カテゴリー連続判断法の結果から考えられる心理的現在を参考にして2.5秒の時間窓を線分長提示に使用しているが、この時間幅は様々に変えることができる。例えば、刺激音の持続時間と時間窓の幅を同じにとり、全てのマッチング経過を1画面に示す場合と、刻々のマッチング結果のみ即ち1本の線分のみを示す場合を考えたとき、いずれもが同じ内容の判断を導くとは考え難いではなかろうか。あるいはまた、速い変化が表示できることが常に利点になると言い切れない。本来ラウドネス変動とのマッチング判断が困難な速さに至っても、線分長が速く変化していることのみをとって適合しているとの判断が下されるかもしれない。

このように時間窓の幅1つをとってみても、現状では未解決であると言わざるを得ない。しかし、これまでとは異なる測定法に行き着く可能性も秘めていると考える。当面は、従来の方法と併用しながら、この方法の得失を検討する必要がある。

ここで検討している方法は、従来の方法に代わるものではなく、これまで測定されていなかった分野に適用するためのものである。現状では、個々の実験結果から方法の良し悪しを判断するのは早計である。実験状況自体がこれまでとは異なった性質のものだからである。事態はある意味で新しい心理検査の開発にも似ているといえよう。1つの測定方法を具体化した後、相当量のデータを収集しその結果を解析した上で、あるいは収集と解析を繰り返す過程の中で、始めて方法自体の評価が可能になる。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判断法と適合度判断法についても、さらに多種類のデータを集積していく必要がある。

要 約

線分長とのクロスモダリティマッチングにより6種類11個の現実音のラウドネス連続判断を求めた。第1試行でのデータ全体では100 msec 毎の Leq との間に高い相関がみられた。 Leq と線分長とのタイムパターンを比較しても多くの刺激音で良い対応関係が観察された。ここでは試験的に持続時間の短い現実音を使用した。より長い現実音についてもこの方法によりラウドネス連続判断を求めることが可能であろう。

第2試行以下では前試行での自己の線分調整結果とラウドネスの対応状況を被験者にフィー

ドバックしながら第5試行まで繰り返したが、異なる音源間の分散が大きくなる傾向が観察された。ここでフィードバックに使用した方法を発展させ、刺激音の刻々のラウドネスに対し線分長を機械によりマッチングさせ被験者にその適合度判断を求める試みも行っている。

これらのデータをふまえて、種々の音源にこれらの連続判断法を適用する際に考えられる問題点について検討を加えた。

引用文献

- 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, 桑野園子, 難波精一郎, (1994 b). “微妙に変化する音の主観的連続評価手法の開発”, 第4回環境工学総合シンポジウム講演論文集 (日本機械学会), 62-65.
- Kato T., Namba S. & Kuwano S. (1994c). “Continuous judgment of level-fluctuating noise”, Proceedings of the inter-noise 94, 1081-1084.
- 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.
- 中島博美 (1960). 「聴感と音声」, 島茂雄監修, 日本放送協会編 放送技術双書 日本放送出版協会, 157-160.
- Namba S. & Kuwano S. (1980). “The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise on noisiness”, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 1, 2, 99-106.
- Namba S., Kuwano S. & Fastl H. (1988). “Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgment by category”, Proceedings of NOISE 88, 241-246.

1994年9月28日 受理