



Loudness in Relation to the Autocorrelation Function of Sound Field in a Room

Merthayasa, I Gde Nyoman

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1996-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1571

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001571>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍） ^{メルタヤキ} MERTHAYASA, ^{イグデ} I GDE ^{ニヨマン} NYOMAN （インドネシア）

博士の専攻
分野の名称 博士（工学）

学位記番号 博い第100号

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

学位授与の日付 平成8年3月31日

学位論文題目 Loudness in Relation to the Autocorrelation Function of
Sound Field in a Room
（室内音場の自己相関関数とラウドネスとの関連性）

審査委員 主査 教授 北村 新三

教授 安藤 四一 教授 横尾 能範

論文内容の要旨

Chapter I: Introduction

This chapter outlines the history of psychoacoustics especially on loudness judgement, previous researchs on loudness related to the physical characteristics of sound field in enclosed spaces, the problems of the existing loudness theory, and the aim of this study.

Chapter II: Physics aspects in term of the Autocorrelation function of source signal and sound field in a room

This chapter deals with the investigation about the effects of the delay time of reflection and the reverberation time to the autocorrelation function(ACF) of sound field in rooms. The investigation was carried out with simulated sound fields. It is demonstrated that the ACF analysis might be used to explain the presence of the repetitive feature in both source signals and the sound fields. For a sound field with only one reflection, a simple relationship between the effective duration of ACF of sound fields, τ_e , and the delay time of the reflection sound with the direct sound is described. And also, it is found that for reverberant sound fields there is a certain relationship between the value of τ_e and the subsequent reverberation time.

Chapter III: Effects of the autocorrelation function of sound signal on loudness

In this chapter the investigation concerning the evaluation of the 'critical band' theory was reexamined. In the first part, the paired-comparison method was used to judge the loudness of bandpass noises of the same power level. The bandpass noises had a center frequency of 1 kHz, and the τ_e was controlled by variation of the filter

slopes(48,140 and 1080 dB/octave) and variation of the bandwidth. The results indicate that the scale value of loudness(SVL) for a bandpass noise signal with longer τ_e was higher than that of a signal with a shorter τ_e , even though the bandpass noise signal had the same bandwidth as defined by the minus 3 dB attenuation at the low and high cut-off frequencies. And, the loudness of bandpass noise within "the critical band" is not constant when its bandwidth increases.

In the second part, it is investigated loudness of 1 kHz tone and narrow-bandpass of sharp filtered noises centered on 1 kHz. The narrow-band noises with the bandwidth of 40,80,160 and 320 Hz were used. The loudness judgment was conducted by applying the consistent method comparing the test signal with the reference signal. The results show that loudness of the tone was about 1 dB higher than the noise used. Also, the loudness of noises was not constant due to the bandwidth increases in contradiction with the previous "critical band" theory.

Chapter IV: Effects of the subsequent reverberation time on loudness in relation to the ACF of sound fields

In this chapter, the investigation concerning loudness of sound fields for different subsequent reverberation times is presented. Narrow-bandpass noises with a bandwidth of 150 Hz centered on 1 kHz was used as source signal. While keeping the other objective parameters(the listening level, the initial delay time between the direct and the first reflection sound, and the interaural crosscorrelation/IACC) are constants, the paired- comparison method was conducted to find out the loudness of sound fields with reverberation time of 0 s(the direct sound only), 0.6, 1.2, 2.4, and 4.8 s. The sound fields are analysed using the autocorrelation function analysis. The results are presented in relation to the τ_e of the sound fields as a function of the subsequent reverberation time. It is shown that loudness is increased when the subreverberation time increases.

Chapter V: Effects of Interaural Crosscorrelation(IACC) on loudness.

Loudness judgments were conducted to find out the influence of interaural cross correlation(IACC) by using the 1/3 oct. bandpass noise centered on 1 kHz. The experiment was performed in order to find out the effects of the physical parameters of common sound field on loudness it self in a free field. Here, the IACC as a spatial-binaural factor of the sound field was varied, while the other three temporal-monaural factors(the sound pressure level, the initial time delay gap between the direct sound and the first reflection, the subsequent reverberation time) were kept constants. The results and statistical analyses showed that loudness is almost independent of the IACC.

Chapter VI: Summary and conclusion

This chapter presented the general summary, and conclusions derived from all of the investigations performed are:

1. In an enclosed space there is a relationship between the effective duration of ACF of sound fields, τ_e and the delay time between the reflection sound and the direct sound, as well as, the subsequent reverberation time.
2. The loudness in term of the scale value for a bandpass noise signal with longer τ_e is higher than that of a signal with a shorter τ_e . Loudness of bandpass noise within the "critical band" is not constant when its bandwidth increases, in contradiction with previous "critical band" theory.
3. The loudness of sound was increased when the subsequent reverberation time, as well as, the τ_e of sound fields increased, while the other objective parameters are kept constants.
4. It is found that loudness is almost independent of the IACC, or the spatial factor in the sound field.

Further investigations with various frequencies must be conducted before the final model of loudness as a function of the objective parameters of sound fields to be proposed.

論文審査の結果の要旨

ラウドネスは音に関する感性の最も基本となるもので古くから研究されている。本論文は室内の各座席における室内音場の自己相関関数とラウドネスとの関連性を予測することを最終目的として取り組まれたものである。そのためには、従来の研究成果だけでは不十分で、新たに発生した多くの問題を解決しなければならない。

室内音場の物理的ファクターには、時間的なものと空間的なものがあるが、ここでは主として従来全く検討されていない自己相関関数とラウドネスとの関連性を追及している。また、第5章において若干空間的ファクターとの関連性を述べている。以下に、各章ごと明らかになった知見を列挙する。

第1章では、音のラウドネスに関する従来の研究を概観し、各章の研究目的を述べている。

第2章では、音響信号のラウドネス判断の新しい要因と考えられる自己相関関数 (ACF), ならびに室内音場のACFについて物理的側面から検討している。先ず、ノイズ信号のACFはその帯域幅と用いられたフィルターの肩特性によって、ACFの有効継続時間 (τ_e) が変化することを解析と実験により明らかにした。また室内音場のACF (τ_e) を初期反射音の構造 (振幅と遅れ時間) との関連性について解析した。また後続残響時間が長くなるに従ってACF (τ_e) が単調に増加する関連性を明らかにした。

第3章では、まず音圧レベル一定に保ちながら、1kHzを中心とした帯域ノイズの幅および用いたフィルターの肩特性を (48, 140, 1080 dB/Oct.) に変化して、一対比較法によるラウドネス判断を行なった。その結果、マイナス3dBで定義された帯域ノイズの幅が一定であっても、ラウドネスの尺度値は τ_e が長くなるほど大きくなる傾向を見出した。同時に、これまで臨界帯域幅以内ではラウドネスは一定であるとする定説をくつがえして、変化することを明らかにした。

このことを確認するため、1kHzの純音および1kHzを中心としたシャープな肩特性 (1080

dB/Oct.) のフィルターを通して得られた帯域ノイズの幅を40, 80, 160, と320Hzに変化して, ラウドネスを恒常法で求めた。その結果, 純音のラウドネスは用いられたいかなる帯域ノイズより, 1dB 大きいことが確認され, また臨界帯域幅以内でラウドネスは明らかに変化することを再確認した。

第4章では, ラウドネスに与える音場の後続残響時間の影響を調べACF(τ_e)との関連で述べている。すなわち, 中心周波数1kHzで帯域幅150Hzのノイズを用いて, 音場の後続残響時間を0, 0.6, 1.2, 2.4, および4.8s に変化して一対比較法によるラウドネス判断を行なった。但しこの際, 他の音場のファクター(音圧レベル, 初期反射音の遅れ時間および両耳間相互相関度IACC)はそれぞれ一定に保った。実験の結果, 例外はあるが残響時間を長くすれば, それに従って τ_e も長くなりラウドネスが上昇する傾向が, 強いことを示した。

第5章では, 第4章までは音場の時間的ファクターの影響を論じたが, ここでは音場の空間的ファクターの影響を検証するため, 両耳間相互相関度(IACC)のラウドネスに与える影響を調べている。音場の時間的ファクター(音圧レベル, 初期反射音の遅れ時間および後続残響時間)を一定に保ちながら, 音源として1kHz 中心の1/3オクターブ帯域ノイズを用い, IACCを変化しラウドネス実験を行なった。その結果, ラウドネスはIACCに左右されないことを示唆している。

第6章では, 本論文の結論をまとめている。すなわち,

- (1) 音場のACF有効継続時間は, 反射音の構造ならびに後続残響時間と関連づけられた;
- (2) 狭い帯域ノイズの場合, ACF有効継続時間が長くなると, ラウドネスの尺度値はそれが短い時より上昇する;
- (3) 従来, 臨界帯域幅以内ではラウドネスは変化しないという定説であったが, 帯域幅が狭くなるに従ってACF有効継続時間は増加し, 臨界帯域幅以内であってもラウドネスは上昇する;
- (4) 若干の例外はあるものの, 残響時間を長くすればACF有効継続時間も長くなりラウドネスも上昇する;
- (5) ラウドネスは空間的ファクターであるIACCには依存しない。

このように本研究は, 音の基本的要素であるラウドネスについて, 音源信号ならびに音場の自己相関関数の有効継続時間との関連性を明らかにしたものである。これは室内の各座席におけるラウドネスを予測するために重要な手がかりを得たものとして価値ある集積であると認める。

よって, 学申請者 I Gde Nyoman Merthayasaは博士(工学)を得る資格があると認める。