Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-04

Subjective Evaluation of Temporal Fluctuation of Sound Source and Sound Field

安宅, 純子

(Degree)
博士（学術）
(Date of Degree)
2001-09-30
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲2402
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002402

※ 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。

【１９３】

氏　名・（本　籍）　安宅　純子（広島県）

博士の専攻分野の名称　　博　士　（学術）

学　位　記　番　号　　博い第３６６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１３年９月３０日

【学位論文題目】

Subjective Evaluation of Temporal Fluctuation of Sound Source and Sound Field

（音源と音場の時間的変動の心理的評価）

審　査　委　員

主査　教授　安藤　四一

教授　松嶋　隆二　　教授　北村　新三

This study investigated the temporal fluctuation of sound source and sound field in terms of physical and psychological approaches. Physical properties of temporal fluctuation were analyzed by the autocorrelation function of sound source and sound field based on the human auditory-brain system. Psychological experiments were conducted on subjective evaluation of temporal fluctuation of sound source and sound field. The relationship between the physical properties and the subjective evaluation is discussed.

In Chapter 1, previous studies on the physical properties and psychological investigations of the temporal fluctuation are summarized. The time-variant model of the impulse response, the model of auditory-brain system, the autocorrelation function and extracted factors are described. The aim of this study is stated after the preferred delay time of a single reflection is described.

In Chapter 2, the physical characteristics of the temporal fluctuation of sound field are analyzed by the autocorrelation function of the time-invariant and the time-variant sound fields. It was found that the τ_e value of the time-variant sound field is different from that of the time-invariant sound field, while there is no significant difference among the other three factors, $\Phi(0)$, τ_1 and ϕ_1. By further examining the ACF behavior, it was also found that the ACF envelope is much suppressed by adding the modulation to the delay time of reflection. It may cause low total coherence between the direct sound and the reflection in the time-variant sound field and effect the subjective

evaluation.

In Chapter 3, three psychological experiments were conducted to examine subjective evaluation of the time-variant sound field. The following results are found.

1. The most preferred delay time of reflection is shortened by the half of modulation interval $\Delta/2$ when the delay time of reflection is modulated. The preferred delay time of reflection in time-variant sound field can be calculated from the τ_e value of the sound source and the modulation interval Δ. The maximum value of delay time of reflection can be a cue to determine the subjective preference of delay time of reflection.
2. The delay-time modulation may have a positive effect on enhancing the subjective preference in time-variant sound field, especially for the music with short τ_e ($p<0.05$).
3. It is found that the perception of the echo becomes larger with the longer modulation interval, while the ACF ratio at the delay corresponding to the Δt_1 becomes smaller. It is assumed that the echo can be easily perceived as the total coherence in the time-variant sound field becomes low.
4. The ratio of ACF envelope becomes small in the sound field with the preferred delay time of reflection. For the sound field with modulated delay time of reflection, it is found that the sound field with the ACF envelope that is similar to the sound source is preferred.

In Chapter 4, temporal factors extracted from the autocorrelation function of sound

source were analyzed to examine the physical characteristics of traffic noise. Among the ACF factors, the values of τ_1 and τ_e showed the remarkable differences between different types of individual vehicles. The value of τ_1 corresponds to the perceived pitch. The sounds of the small motorbikes have low pitch because of the large values of τ_1, while the sounds of the other vehicles with the small values of τ_1 have high pitch. This may result in that the small motorbikes were less annoying.

The value of τ_e represents the tonal structure of sounds. The sound of a motorbike has large values of τ_e, which was perceived the most annoying among the vehicles with running conditions.

As for relationship between the perceived annoyance and physical characteristics of traffic, the variation of τ_1 and τ_e may affect annoyance. Sounds with high pitch and with strong tonal structure had tendency to be perceived more annoying.

In Chapter 5, conclusions and further problems are summarized.

The physical properties of the temporal fluctuation of sound source and sound field can be identified by the autocorrelation function. The envelope of the autocorrelation function and the temporal factors are effective and significant to describe the relationship between the physical characteristics and the subjective attributes in the time-variant sound field.

（要旨和訳）

本論文は、音源と音場の時間的変動の心理的評価に関する研究である。人間の聴覚－大脳機能モデルにおける自己相関メカニズムに基づき、音源および音場の時間的変動の物理的特性を自己相関関数（ACF）によって解析し、心理的評価に関する実験を行って、それらの関係について述べている。

第１章は音源および音場の時間的変動の物理的特性と心理的評価に関する過去の研究についてまとめるとともに、時変動インパルス応答モデル、聴覚－大脳機能モデル、反射音の最適遅れ時間および本研究の目的について述べている。音場の主観的プリファレンスをはじめとする心理的反応および大脳の生理的反応に関する研究から提案された聴覚－大脳機能モデルにおいて、音信号の時間的ファクターは自己相関メカニズムによって処理されると考えられている。本研究では、音源および音場の自己相関関数の解析を行い、そこから抽出される時間的ファクターに着目して、音源および音場の時間的変動の物理的特性をとらえた。また、音源および音場の時間的変動に関する心理的評価を明らかにするための実験を行った。これらの心理的評価は音源および音場の自己相関関数およびそこから抽出される時間的ファクターとの関係において示されることを仮説としている。

第２章では音場の時間的変動の物理的特性をとらえるために、反射音の遅れ時間を固定した場合（時不変）と変動させた場合（時変動）の音場の自己相関関数（ACF）を解析した。各音場の ACF から抽出されるファクター$\Phi(0)$, τ_1 および ϕ_1 の値には時不変および時変動する音場の差は見られなかったが、τ_e の値には大きな違いが見られることが分かった。さらに、各音場の ACF を比較すると、反射音の遅れ時間に変動を加えることにより、ACF のピークが大きく減少することが分かった。この影響により、時変動する音場において直接音と反射音のコヒーレンスが低くなると考えられ、心理的評価にも影響を与えると考えられる。

第３章では音場の時間的変動の心理的評価に関する３つの実験について述べている。

第１の実験では時不変および時変動する音場における反射音の最適遅れ時間について検証した。その結果、時変動する音場における最適遅れ時間は時不変音場に比べて $\Delta/2$ 短くなること及びその最適遅れ時間は音源信号の τ_e と遅れ時間変動幅 Δ によって求められることが分かった。この実験結果から、時変動する音場においては、反射音の最大遅れ時間がプリファレンスを判断する際の手がかりになっていると考えられる。

第２の実験では反射音の遅れ時間変動幅のプリファレンスに関する実験を行った。ここでは特にテンポのはやい音楽を音源信号として用いた場合に、時不変音場に比べて時変動する音場のプリファレンスが高くなることが分かった（$p<0.05$）。

第３の実験では時変動する音場におけるエコー感覚についての実験を行った。その結果、反射音の遅れ時間変動幅を大きくしていくとエコー感覚も大きくなることが明らかになった。先の ACF の解析から、時変動する音場においては直接音と反射音のコヒーレンスが低くなるため、エコーが知覚されやすくなると考えられる。

さらに、これらの心理的評価と音場の物理的特性との関係についても述べている。音場の物理的特性を表すために、音源信号に対する音場の ACF エンベロープの比を用いた。時不変および時変動する音場ともに、反射音の遅れ時間が最適な音場において、その比が小さくなることが明らかになった。特に時変動する音場においては、その比が１に近づく、つまり音場の ACF エンベロープが音源信号とほぼ同じになるとき、プリファレンスが高くなると考えられる。

第４章では、音源の時間的変動について明らかにするために、交通騒音源の ACF の解析を行い、そこから抽出される時間的ファクターについて述べている。また、騒音のアノイアンスに関する心理実験を行い、各音源の物理的特性との関係について述べている。ACF から抽出されるファクターのうち、τ_1 および τ_e の値で各種騒音源の違いが見られた。τ_1 は音のピッチ感覚と

対応しており、τ_1 の値が大きい原動機付自転車は他の車輌に比べて低いピッチが知覚され、そのアノイアンスの尺度値は小さいことが分かった。τ_e は音信号に含まれる繰り返し成分に関連しており、τ_e の値が小さい音はホワイトノイズに、τ_e の値が大きい音は純音に近いことを表す。実験結果から τ_e の値が大きいバイクのアノイアンス尺度値は走行状態にある車輌のうち最も大きくなることが分かった。このように、アノイアンスには騒音源の ACF ファクターの τ_1 および τ_e が影響していると考えられる。

第５章では各章のまとめ及び今後の研究課題について述べている。音源および音場の自己相関関数の解析から時間的変動の物理的特性をとらえ、時不変および時間変動する音場における反射音の遅れ時間のプリファレンスとエコー感覚および騒音源のアノイアンスの心理的評価との関係を明らかにした。音源および音場の時間的変動に関する心理的評価は、自己相関関数およびそこから抽出される時間的ファクターと関連づけられる。

本研究では単一反射音場における時間的変動の物理的特性および心理的評価について研究を行ったが、音場の主観的評価に関する時間的ファクターには反射音の遅れ時間と後続残響時間が挙げられる。そこで、直接音、初期反射音および残響音を含む音場においても、時間的変動の物理的特性と心理的評価について調べる必要がある。これらの関係についても音場の自己相関関数によって説明できるのではないかと考えられる。

騒音源の時間的変動に関する心理的評価については、音源の自己相関関数の各ファクターが複雑に影響していることが分かった。従って、様々な種類の騒音源の物理的特性を明らかにし、各ファクターのアノイアンスへの影響を調べる必要がある。

（別紙１）

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名	安宅　純子		
論文題目	Subjective Evaluation of Temporal Fluctuation of Sound Source and Sound Field 音源と音場の時間的変動の心理的評価		
審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	教　授	安藤　四一
	副　査	教　授	松嶋　隆二
	副　査	教　授	北村　新三
	副　査		
	副　査		印

要　　旨

本論文は、音源と音場の時間的変動の心理的評価に関する研究である。従来、時不変システムとして取り扱われてきた音場は、実は大なり小なり時変動システムである。そこでこの時間的変動に着目し、その物理的特性と心理的評価を明らかにすることは、より優れた音環境の設計を可能とする上において不可欠の課題である。本論文では、人間の聴覚－大脳機能モデルにおける自己相関メカニズムに基づき、音源および音場の時間的変動の物理的特性を自己相関関数によって解析するとともに、心理的評価に関する実験を行い、それらの関係を明らかにすることを目的としている。

以下、各章ごとにその内容を述べる。

第１章は音源および音場の時間的変動の物理的特性と心理的評価に関する過去の研究についてまとめるとともに、本研究の基礎となる従来の研究成果について述べ、本研究の目的を明記している。

第２章では、時変動音場の物理的特性を明らかにするために、反射音の遅れ時間を固定した場合（時不変）と変動させた場合（時変動）の音場の自己相関関数（ACF）について述べている。各音場の ACF および抽出される時間的ファクターを比較することにより、音場の時間的変動の物理的特性を明記している。反射音の遅れ時間を変動させることにより、ACF の有効継続時間 τ_e が大きく変化し、音場の ACF のエンベロープのピークが特定の遅れ時間で大きく減少するという現象が見られた。この影響により、時変動する音場において直接音と反射音によるコヒーレンスが低くなり、心理的評価にも影響を与えると考えられる。このことを明らかにするため、次章において心理実験を行っている。

第３章では音場の時間的変動の心理的評価に関する３つの実験について述べている。

第１の実験では時不変および時変動音場において、プリファレンスが最大となる反射音の最適遅れ時間について検証している。その結果、(1) 反射音の遅れ時間変動幅を Δ とした場合、時変動音場における最適遅れ時間は時不変音場に比べて $\Delta/2$ 短くなる。τ_e が短い音楽モチーフ（$\tau_e \approx 43$ ms）を用いた場合、時不変音場における最適遅れ時間より短い Δt_1 に対してはプリファレンス尺度値に関して有意差が見られなかったが、最適遅れ時間より長い Δt_1 に対しては有意差が見られた（$p < 0.05$）。τ_e が長い音楽モチーフ（$\tau_e \approx 127$ ms）を用いた場合は長短どちらの Δt_1 に対してもプリファレンス尺度値に関して有意差が見られた（$p < 0.05$）。(2) その最適遅れ時間は音源信号の τ_e と Δ によって求められることを明らかにした。この実験

1000~2000 字でまとめること。

結果から、時変動音場において、反射音の最大遅れ時間がプリファレンス判断の重要な手がかりになっていると考えられる。

第２の実験では反射音の遅れ時間変動幅 Δ のプリファレンスに関する実験を行い、特にテンポの速い音楽の場合に、時不変音場に比べて時変動する音場のプリファレンスが有意に高くなることが分かった（$p < 0.05$）。

第３の実験では時変動音場におけるエコー感覚についての実験を行った。その結果、反射音の遅れ時間変動幅を大きくしていくとエコー感覚も大きくなることが明らかとなった（$p < 0.01$）。先の ACF の解析から、時変動音場においては直接音と反射音によるコヒーレンスが低くなるため、エコーが知覚されやすくなると考えられる。

さらに、これらの心理的評価と音場の物理的特性との関係についても言及している。音場の物理的特性を表すために、音源信号に対する音場の ACF エンベロープの比を用い、時不変および時変動音場ともに、反射音の遅れ時間が最適な音場において、その比が小さくなる傾向を見出した。特に時変動音場においては、その比が１に近づく、つまり音場の ACF エンベロープが音源信号とほぼ同じになるとき、プリファレンスが高くなると考えられる。

第４章では、音源の時間的な変動の効果について明らかにするために、交通騒音源の ACF の解析を行い、そこから抽出される時間的ファクターについて述べている。また、騒音のアノイアンスに関する心理実験を行い、各音源の物理的特性との関係について述べている。

ACF から抽出されるファクターのうち、ACF の第一ピークの遅れ時間 τ_1 および τ_e の値に各種騒音源の違いが見られた。音のピッチ感覚と対応している τ_1 が長い原動機付自転車では他の車輌に比べて低いピッチが知覚された。実験結果から、その時のアノイアンスの尺度値は小さいという関係が見られた。音信号に含まれる繰り返し成分に関連している τ_e が長い音は純音に近いことを表す。実験結果から、τ_e が長いバイクのアノイアンス尺度値は走行状態にある車輌のうち最も大きくなることが分かった。このように、アノイアンスには騒音源の ACF ファクターの τ_1 および τ_e が影響していると考えられる。

第５章では各章のまとめ及び今後の研究課題について述べている。結論は以下のように総括される。

１）音場の時間的変動の物理的特性は、音場の自己相関関数のエンベロープおよびそこから抽出される時間的ファクター τ_e によって表すことができる。

２）音源の時間的変動の物理的特性は、音源の自己相関関数から抽出される時間的ファクター τ_1 および τ_e によって特徴づけられる。

３）時不変および時変動音場における反射音の遅れ時間のプリファレンスおよびエコー感覚に関する心理的評価は、音場の自己相関関数のエンベロープとそこから抽出される時間的ファクター τ_e と関連づけられる。

４）騒音源のアノイアンスに関する心理的評価は各音源の自己相関関数から抽出される時間的ファクター τ_1 および τ_e と関連づけられる。

このように本研究は、時変動という新しい視点から音源および音場の物理的性質をとらえ、心理的反応との関係を初めて明らかにした基礎的な研究であり、環境心理音響学の分野において価値ある集積であると認める。よって、学位申請者安宅純子は、博士（学術）の学位を得る資格があると認める。