

# 屋内移動空間の音場シミュレーションに基づく拡声放送の聴取環境評価

## Evaluation of Speakers in Indoor Pedestrian Spaces Using Sound Field Simulation

学籍番号 47196738

氏名 土屋 洵 (Jun, Tsuchiya)

指導教員 佐久間 哲哉 教授

### 1. はじめに

#### 1.1. 研究背景

公共空間では、耐火性やメンテナンス性を優先し音を反射しやすい材料が使われることが多い。加えて大空間であることも多く、残響過多となる傾向がある。また、駅・空港のコンコース等、多数の旅客やスピーカが存在する公共空間では、喧騒感が高まりやすい。こうした状況下では利用者の快適性が損なわれることに加え、音情報の伝達が困難となり、快適性や非常時における安全性が損なわれる。残響や喧騒感を抑制し、音環境を改善するためには、適切な吸音処理が必要であるが、その具体的な予測法など未だ未整備の部分も多く、吸音の重要性が十分に認知されているとは言い難い。

#### 1.2. 研究目的

そこで本研究では、空港や駅の内部空間を「屋内移動空間」と定義し、その音環境改善に資する知見を得ることを目的に、吸音を行う室のパラメータおよび具体的な吸音効果と、それらが聴感に与える印象について検証を行う。

#### 1.3. 研究概要

本研究では、屋内移動空間の拡声放送の聴取環境評価についての検討として、いくつかの現実的な室条件を設定し、幾何音響解析によって各種物理指標を算出した。ま

た無響室内の 6ch 音場再生系によって各音場を再現し、主観評価実験によって聴感印象を確認した。また物理指標と聴感印象との対応関係を分析した。

### 2. 研究手法

#### 2.1. 解析手法

本研究では大空間の音環境を対象とするため、幾何音響解析(音線法)を用いた。音線法とは図 1 に示すように、音源からエネルギーをもつ多数の音線を放出、それらを追跡し、受音点に到来するエネルギーの分布をインパルス応答として求める手法であり、これが響きの情報を持つ。諸条件のインパルス応答から室内音響指標を算出した。

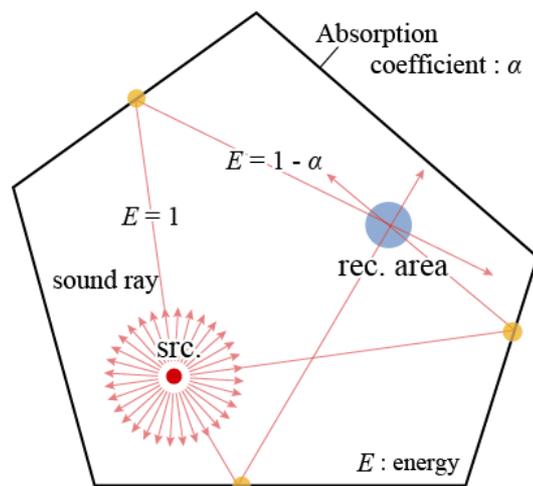


Fig.1 幾何音響解析 (音線法)

## 2.2. 音場再生手法

再生には図 2 に示す 6ch 音場再生システムを用いた。無教室内に設置された 6 台のスピーカから各方向に対応する音源を再生することで、中央の受聴位置で 3 次元音場が再現される。

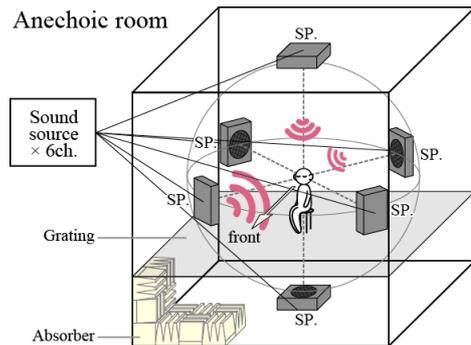


Fig.2 6ch 音場再生系

## 3. 幾何音響解析によるシミュレーション

### 3.1. 解析条件

**空間寸法** 既往文献に示されるターミナル駅のコンコース・通路の寸法を参考に決定した。形状による音響特性の違いを把握するため、20m×30m の扁平な空間(F 型)、床面寸法 10m×60m の細長い空間(L 型)の 2 条件を設定し、天井高は 4m・8m とした。

**音源モデル** 駅コンコース・通路等の主な背景騒音として利用者の話声が考えられる。そこで混雑度を考慮した 2 種類の利用者密度：閑散時(0.01 人/m<sup>2</sup>)、高密度(0.04 人/m<sup>2</sup>)を設定し、グリッド中心、高さ 1.5m に点音源群を配置した(図 3)。受音点は室平面の中心、高さ 1.5m とした。案内放送用のスピーカは単一配置・分散配置を想定した点音源を受音点の真上および 10m 間隔のグリッド中心、天井に配置した。指向係数は 2 とした。配置図を図 3-4 に示す。音量は話声について普通会話程度の A 特性パワーレベル

68dB とし、アナウンス音については現場で可変なものであることを踏まえ、全条件で受音点での A 特性音圧レベルが 65dB となる設定とした。

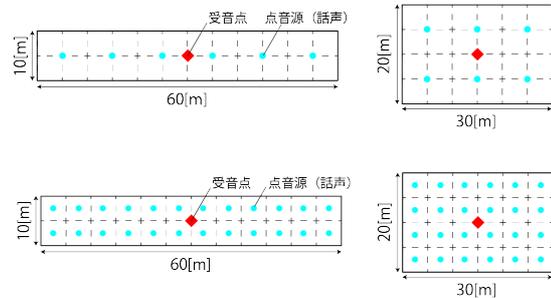


Fig.3 話声平面配置(上：閑散 下：混雑)

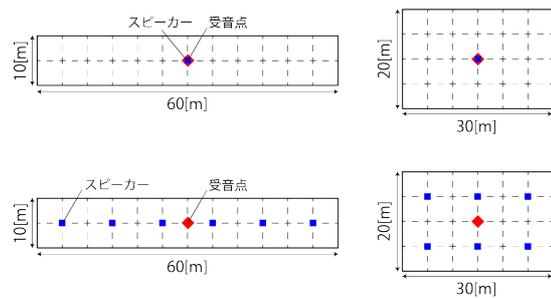


Fig.4 スピーカ配置(上：単一 下：分散)

**吸音設定** 既往文献に示される駅空間の吸音材・吸音率を参考に、周波数特性を反映した吸音率を室内の各面に与えた。天井は岩綿吸音板・ボード類の 2 条件とし、壁面はボード類とした。床面はタイルとしたが、低密度・高密度それぞれの条件に対し、人の吸音面積を等価的に与えた。

### 3.2. 解析結果・考察

#### 音声明瞭度 C<sub>50</sub>・U<sub>50</sub> 比較

以上の設定に基づく 32 条件の音場について幾何音響解析によるシミュレーションを行い、物理指標を算出した。C<sub>50</sub>・U<sub>50</sub> は音声伝達性能評価に用いられる指標であり、いずれもインパルス応答の、直接音到来から 50ms までの初期音エネルギーを明瞭度に貢

献する有効音、それ以降の後期反射音エネルギーを妨害音とみなしているが、 $U_{50}$ ではさらに妨害音として背景騒音のエネルギーを考慮している。いずれも(有効音)/(妨害音)比率のdB値として算出する。算出結果を図5-6に示す(h:天井高)。 $U_{50}$ は前述の関係から全体的に $C_{50}$ よりも低い値となっている。また分散配置方式では残響エネルギーの増加によって妨害音の割合が上昇するため、 $C_{50} \cdot U_{50}$ ともに、単一配置よりも低い値となっている。天井吸音による $U_{50}$ の改善は単一配置・分散配置で同程度である。 $U_{50}$ が0dBとなる時、アナウンス音を聴取する者の50%

「聴き取りにくい」という評価をするとされるが、天井反射性ではほとんどの条件で $U_{50}$ が0dBを下回っている。また混雑時の条件では、天井吸音を行なっても $U_{50}$ が負となる場合があり、受音点でのアナウンス音のA特性音圧レベル65dBでは不足していることを示唆している。室の平面形状による比較では、F型よりもL型で $C_{50} \cdot U_{50}$ が高くなる傾向があるが、L型では短手方向の一次反射音が明瞭度を補強する有効音(50ms以内)となるためと考えられる。

#### 4. 主観評価実験

室寸法、吸音設定、話者密度、スピーカ配置をパラメータとした32条件の音場を各2回計64回、各々20秒間被験者に提示し、アナウンス音の「聴き取りにくさ」(4段階)、周囲の音環境の「うるささ」(5段階)を評価させた。被験者は20-30才代の男女16名である。評価尺度を図7に示す。

##### 4.1. 実験結果および考察

「聴き取りにくさ」の平均評点を図8-9に、「うるささ」の平均評点をFig.10-11に示す。天井吸音よりも天井反射性条件で「聴き取りにくさ」が増大しており、スピーカ単一配置よりも分散配置で同様に増大している。この傾向は $U_{50}$ と対応している。「うるささ」は混雑度や天井吸音の有無によって変化する背景騒音レベル・SN比に基本的に対応している傾向がある。「うるささ」の単一配置・分散配置での比較では、SN比は背景騒音のみで決まるため、スピーカ配置によらず同じ値となるにもかかわらず、分散配置で若干の上昇がみられる。これはスピーカの増台に伴って増加した残響の影響によるものと考えられ、「周囲の音」にアナウンス音も含めた評価がなされた可能性がある。

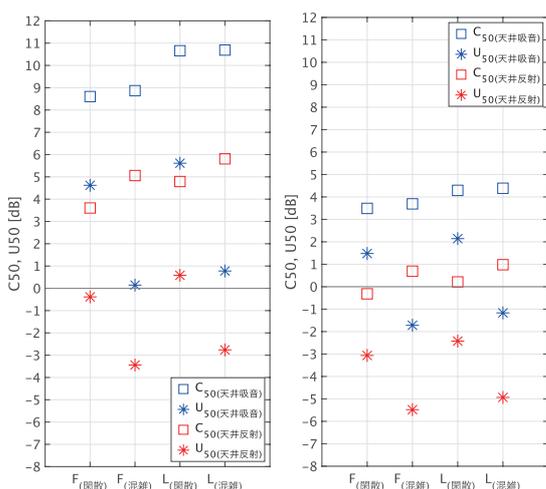


Fig.5  $C_{50}$ ,  $U_{50}$  (h=4m, 左:単一,右:分散)

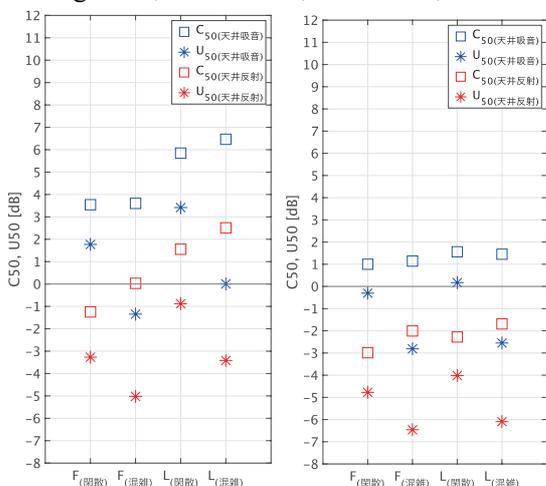


Fig.6  $C_{50}$ ,  $U_{50}$  (h=8m, 左:単一,右:分散)

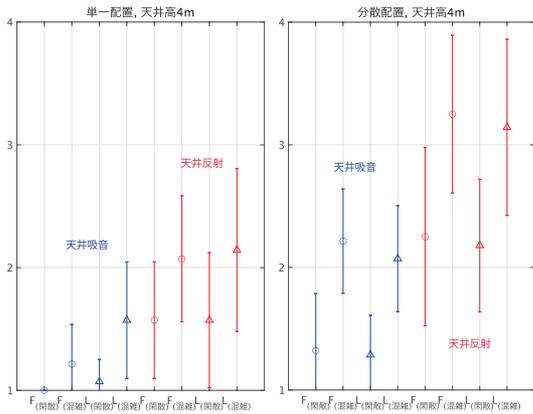


Fig.7 「聞き取りにくさ」平均評点(h=4m)

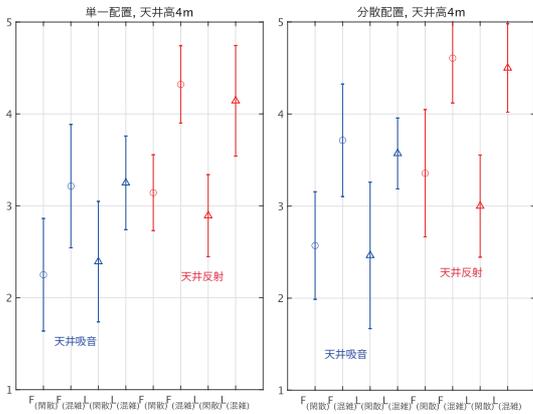


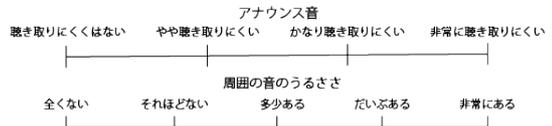
Fig.8 「うるささ」平均評点(h=4m)

#### 4.2. 実験結果に基づく分析

主観評価実験の結果と、幾何音響解析のインパルス応答により算出した物理指標との対応関係を確認するため、32条件の音場に対する平均評点との相関係数を算出した。結果を表1に示す。「うるささ」は背景騒音のレベルおよびSN比との強い相関があった。「聞き取りにくさ」は各種物理指標との相関がみられたが、 $U_{50}$ と最も強い相関があった。少しでも「聞き取りにくい」と評価した回答が全回答数に占める「聞き取りにくさ」の割合を求め、z値に変換したうえで直線回帰式を算出した(図9)。「聞き取りにくさ」の平均評点同様、z値と $U_{50}$ との対応はよく、回帰式を用いてz値が予測できる。分析を通し、スピーカの分散配置や話者混

雑度合いなど様々なパラメータに対する音場を評価する指標として $U_{50}$ が有効であることが示唆された。

Tab.1 アナウンスおよび音環境の評価尺度



Tab.2 物理量と心理量の相関係数

	D50	C50	U50
聞き取りにくさ	-0.69	-0.72	-0.94
	T20	T30	Sabine
聞き取りにくさ	0.58	0.54	0.54
	N	S+N	SN
聞き取りにくさ	0.71	0.70	-0.71

	N	S+N	SN
うるささ	0.96	0.97	-0.96

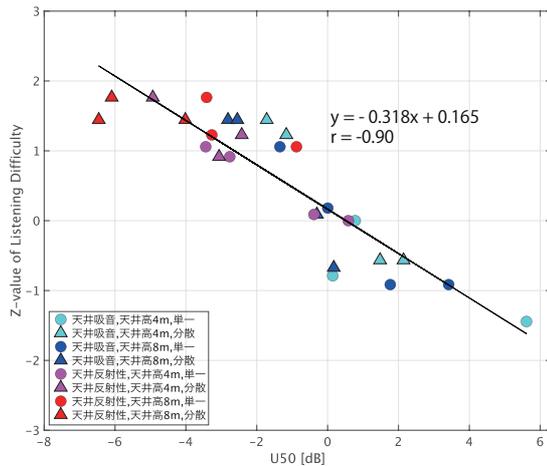
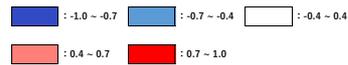


Fig.9 「聞き取りにくさ」z値と $U_{50}$ の関係 おわりに

天井吸音により単一配置・分散配置で同程度の音環境改善効果がみられること、 $U_{50}$ は分散配置も含めた聞き取りにくさの予測に有効な指標であることが示された。本研究では、「聞き取りにくさ」に大きく影響すると考えられるアナウンス音のレベルの段階的検討には踏み込めなかったため、今後の検討が望まれる。