

室内音場における音楽を用いた音階に基づく方向情報の解析

Analysis of directional information in a sound field based on the musical scale using music signal

○朝田絵美¹, 落合俊貴¹, 松尾明穂², 羽入敏樹³, 星和磨³*Emi Asada¹, Toshiki Ochiai¹, Akiho Matsuo², Toshiki Hanyu³, Kazuma Hoshi³

1. はじめに

現在, 室内音場の方向情報を算出する際, TSP 信号により測定したインパルス応答を用いている. しかしインパルス応答は, 音楽が持つ拍子, 音の強弱, 楽器ごとの倍音などの特性を含んでいない. そこで, 音楽を用いた方向情報を算出することで従来にはない音楽聴取時の音場評価の可能性を検討した. さらに, 音楽における方向情報の特性を把握するために, シミュレーションにより疑似インパルス応答を作成し, それを音楽に畳み込み, 方向情報を解析した.

2. 測定方法

実音場での測定は図 1 に示す Hall A, Hall B の 2 音場において実施した. 12 面体スピーカーから TSP 信号を流し, 各受音点において C-C 法^[1]を用いて 6ch インパルス応答を測定した. サンプル周波数は 48kHz, 量子化は 24bit である. また, 表 1 に測定対象音場の諸元を示す.

●Receiving point
○Sound source

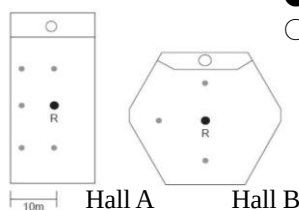


表 1 測定対象音場の諸元

	Hall A	Hall B
V[m ³]	6060	4370
RT(440Hz)	1.6	0.92
Seat	511	437

図 1 測定対象の実音場

3. 方向情報の解析方法

実音場で測定した 6ch インパルス応答に表 2 に示した音楽の音階に基づいた中心周波数を用い, 1 オクターブ帯域でフィルタリングを施し C-C 法により瞬時インテンシティ (方向情報) を算出した. また, 測定した 6ch インパルス応答に楽音のドライソースを畳み込み, 同様の解析を行った. このとき用いたドライソースは, サンプル周波数 48kHz で 40 秒のクラリネット^[2]と 3 分 57 秒のオーケストラ^[3]の音源である.

次に, インテンシティレベルのレーダーチャートとヒストグラムを作成した. なお作成に当たってはステージ方向を 0° とし, 5° 間隔に積分して方向ごとのインテンシティレベルを算出し, 最大方向のレベルを 0dB として基準化した.

表 2 音階に基づいた中心周波数

Center frequency	55Hz	110Hz	220Hz	440Hz	880Hz	1760Hz	3520Hz
------------------	------	-------	-------	-------	-------	--------	--------

4. 方向情報の解析結果

ここでは紙面の都合上, 図 1 に示した受音点 R における結果のみを示す. Hall A, Hall B においてインパルス応答から求めた方向情報, クラリネットとオーケストラの音楽にインパルス応答を畳み込んで算出した方向情報のレーダーチャートをそれぞれ図 2, 図 3 に示す. 図 2, 図 3 より, インパルス応答, クラリネット, オーケストラから求めた方向情報の傾向が共に Hall A と Hall B では大きく異なっているのがわかる. Hall A については, ステージ方向及び左右から音が到来しているが, Hall B はステージ方向が極めて大きく, 左右からほとんど音が到来しない. このことから Hall A はどの方向からも十分に音が到来していると考えられる. また, クラリネット, オーケストラを用いて解析した方向情報を見ると, 音楽の種類が変化しても傾向が類似していることから, 音楽の違いによる変化は少ないと考えられる. 次に Hall A, Hall B のヒストグラムをそれぞれ図 4, 図 5 に示す. 図 4 と図 5 を比較すると, Hall A は 0° を中心に左右 90° 付近までのレベルが大きく, 山のような形になっており左右からの反射音が到来しているのに対し, Hall B は左右に窪みがあり, レーダーチャート同様に前後方向の音が大きいことがわかる.

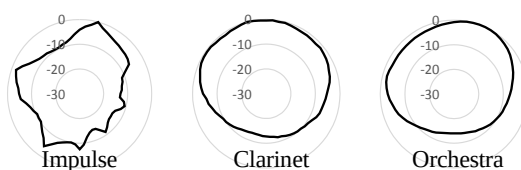


図 2 Hall A におけるレーダーチャート

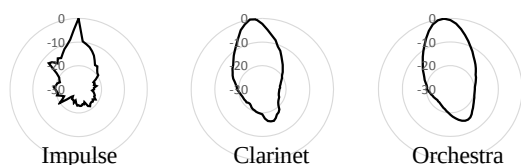


図 3 Hall B におけるレーダーチャート

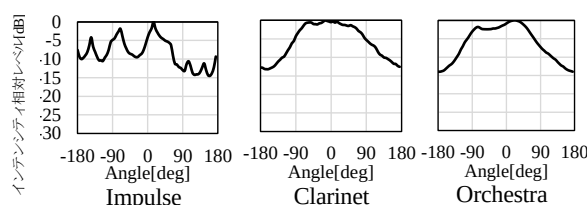


図 4 Hall A における方向別インテンシティレベルのレーダーチャート

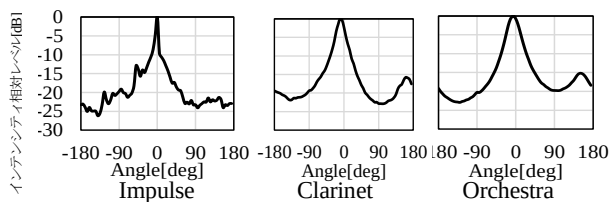


図5 Hall Bにおける方向別インテンシティレベルのレーダーチャート

5. シミュレーション方法

直接音と第一反射音のインパルス応答，第一反射音と第二反射音のインパルス応答の2つのパターンにおいて疑似インパルス応答を作成する．ここで前者をパターン1，後者をパターン2とする．

パターン1では，正面から到来する直接音を 0° とし，それに対し時計回りに 180° まで 5° 毎に反射音を作成し35種類のインパルス応答を作成した．パターン2では左右からの2つの反射音の組み合わせにおいて16種類のインパルス応答を作成した．到来角，音圧，波形の始点からの時間遅れの条件を図6に示す．

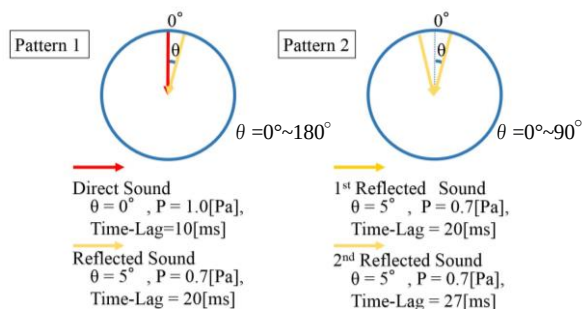


図6 シミュレーションによるインパルス応答

次に，作成した疑似インパルス応答を基に3章の方向情報の解析方法と同様にレーダーチャートとヒストグラムを作成する．

6. シミュレーション結果

算出したレーダーチャートとヒストグラムを比較し，音楽におけるそれらの特性を検討する．4章の方向情報の解析結果より，音源の違いによる方向情報の変化はあまり見られなかったため，クラリネットを畳み込んだ440Hzの結果のみを示す．パターン1の条件で作成したインパルス応答を用いて解析した結果を図6，図7に示す．図6より， $\theta = 60^\circ$ においては直接音と反射音の合成ベクトル方向に向かってインテンシティレベルが大きくなっている．このことから合成ベクトルの方向から音が大きく聞こえると推察される．さらに角度を大きくし， $\theta = 170^\circ$ に達すると合成ベクトルは現れず，二股に分かれた方向情報が出現した．これらの違いは，図7のヒストグラムにおいても明らかで， $\theta = 60^\circ$ では凸であるのに対し， $\theta = 170^\circ$ では凹となっていることから， $\theta = 170^\circ$ 以上で合成ベクトルではなく，各反射

音方向に分離する．次にパターン2の条件で作成したインパルス応答を用いて解析した結果を図8，図9に示す．図8における $\theta = 40^\circ$ と $\theta = 85^\circ$ の結果を比較すると，パターン2の条件下においても，パターン1と同様に角度が大きくなるにつれ横方向に引き伸ばされる．しかしレーダーチャートにおいてはパターン1のように明確に二股に分かれる角度は存在しないように見える．しかし図9を見るとパターン1と同様に二股に分かれていることから，パターン2の条件下においても二股に分かれる角度が存在することがわかる．

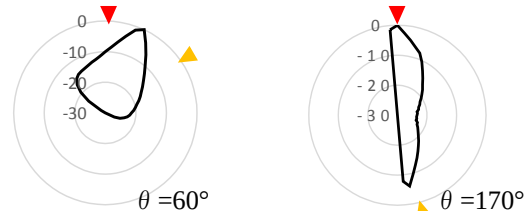


図6 シミュレーション解析で得た方向情報 (440Hz)

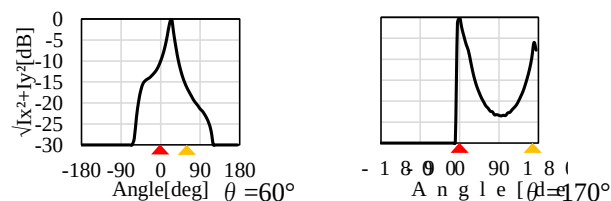


図7 シミュレーション解析で得たヒストグラム (440Hz)

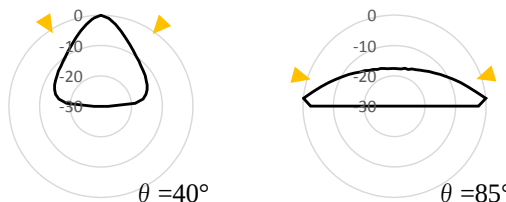


図8 シミュレーション解析で得た方向情報 (440Hz)

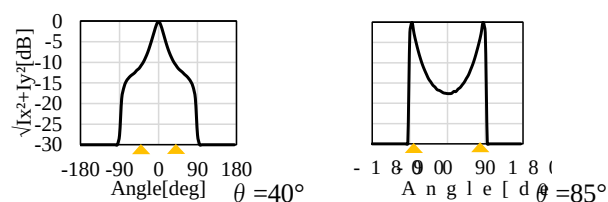


図9 シミュレーション解析で得たヒストグラム (440Hz)

7. まとめ

インパルス応答の方向情報が音楽を畳み込んだ場合と同じ傾向であることから，音楽を用いて方向情報を算出し音場を評価できる可能性が示唆された．今後は方向情報と聴感印象の関係性も明らかにしていきたい．

参考文献

- [1] 羽入敏樹：「3.マイクロホンの応用的利用 3.2 カーディオイドマイクの指向特性と音場測定への応用」，音響技術，No.173，pp30-33，Mar.2016
- [2] 「Audio/Acoustics Technical CD」日本音響コンサルタント協会
- [3] 「音の設計 (デザイン・エレメント・モーツァルト第3番へ長調 K138 第1楽章)」，東急建設