

ザシンフォニーホールにおけるオーケストラ演奏の サウンドレンダリング

吉田匡人 守田了

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

地方に根付く市民オーケストラでは、地元のホールで演奏会を催すことが多い。少し離れた場所での有名なホールでの演奏会を企画しても、団員全体の移動や観客が集まるなどの問題で実際に実現することは難しい。そこで本研究では各パートにつき一人の演奏のスタジオ録音を用いて、さまざまなホールやさまざまなオーケストラの構成やさまざまな観客席における演奏の聞こえ方をシミュレートするシステムを作成する。レイトレーシングを音に適用し、空間上の音をシミュレートする。特にホールの壁に使われるモルタルや反射板やステージの板や空気は音の高さに応じて吸音性能が異なる。また音源と受信点の距離に応じて音はさまざまに時間遅れが生じる。これらの点を考慮して観客席における山口大学管弦楽団のオーケストラのザシンフォニーホール、山口市民会館、秋吉芸術村ホールにおける演奏をシミュレートし有効性を示す。

キーワード オーケストラ, サウンドレンダリング, コンサートホール, ザシンフォニーホール

Sound Rendering of Orchestra Performance on the Symphony Hall

Masato YOSHIDA and Satoru MORITA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

The concert in citizen orchestra is sometimes held in local hall. Even if the concert in the famous but distant hall is planned, it is difficult to be held because of collecting the many audience and moving orchestra members and instruments. In this paper, the performance is simulated in the several hall using the performance of a member for a part gotten by the studio recording. The sound in the three dimensional space is simulated by extending beam tracing for the sound to ray-tracing for the light. In especially, the time delay and sound attenuation is computed based on the sound absorption of wall, stage and air. We show the effectiveness of this method by simulating the performance of yamaguchi university orchestra in the symphony hall, yamaguchi citizen hall and Akiyosi artistic village hall.

keyword: orchestra, sound rendering, concert hall, The symphony hall

1 はじめに

近年映画などで音楽が映像の一部として重要な役割をしているため、音を再現する研究が行われる様になってきている [1]. 建築の分野ではホールを建築する際、ホールの残響時間を計算することが重要である [2][3]. 我々は仮想空間によるオーケストラの演奏を用いて、さまざまなホールで聞かれる音を再現し視覚化する研究を行っている [4][5][6].

最高のオーケストラの演奏を最高のホールで聞くことが期待されている. 他方で多くの人々がオーケストラに参加し、仲間との演奏を楽しんでいる. 地方に根付く市民オーケストラでは会場は地元のホールを使用することが多い. 少し離れた場所での有名なホールでの演奏会を企画しても、団員全体の移動や観客が集まるかなどの問題で実際に実現することは難しい. 本研究ではこのような問題を考慮して、以下の要件が満足できるシステムを実現する.

- 遠くて演奏会にいけないホールで演奏ができる.
- すべての観客席での演奏が聞ける.
- さまざまな構成でのオーケストラの演奏を試すことができる.
- 演奏を実現する労力が最小限ですむこと

このようなシステムがあると演奏会を主催する側では、会場選びや選曲やオーケストラの構成の選択の際に選択によって演奏がどのように変わるかを体感しながら選択することができる. 他方で、観客はさまざまなオーケストラによるさまざまなホールでの演奏を自由に選んで聞くことが可能になる.

まず演奏したい曲について各パートにつき一名が演奏をスタジオ録音する. システム側では実際の図面に基づきホールを CAD を用いて CG 上に正確に再現する. 演奏者の配置と観客席の配置を決めると観客席で聞こえる音をシミュレートする.

世界中に様々なコンサートホールがあり、多くのアーティストがさまざまな演奏会を催している. ここでは日本で最も古いホールの1つである大阪のザシンフォニーホール、山口市の地元の市民に愛されている山口市民会館、秋吉台にある建築家の磯崎新が設計した秋吉芸術村ホールを用いて、山口大学管弦楽団の演奏を再現し本システムの有効性を示す.

2 サウンドレンダリング

レイトレーシングはコンピュータグラフィックスを製作する場合に一般に用いられている方法で、視る位置から視る方向に光を出し、ぶつかった色が見える色と判断する. この際視界にはいるすべての方向の光を計算することが重要になる. 本研究では観測方向における画像を作る方法を、音を作る方法に適用する. これをサウンドビームトレーシングと呼ぶ. コンピュータグラフィックスで画像を作成することをレンダリングと呼ぶのに対して、サウンドビームトレーシングに基づいて合成する方法をここではサウンドレンダリングと呼ぶ.

受信点からすべての方向にレイを出し、音源にぶつかった場合に受信点と音源との距離 $d(m)$ を計算する. 音源に衝突する前に反射した物体のすべてを記録し、その結果を用いて音の反射によりおこる吸音を計算する. 吸音は音の周波数ごとに異なるので周波数分解を行い、各周波数ごとに異なる吸音率を用いて計算する. 空気の吸音も同様に各周波数ごとに異なり、受信点と音源の距離に依存するので、各周波数ごと求めた受信点と音源との距離を用いて空気の吸音を計算する. 空気の吸音は $I_x = I_0 e^{-\alpha x}$ [3][2] を用いて計算する. α を減衰率とする. 受信点までの距離に基づく原音に対する音の遅れは受信点と音源の距離を用いて $T = d/c$ で計算できる. 実験に用いた各物体、各周波数における吸音率を表1に示す. 音源に衝突したすべてのサウンドビームを足しあわせることで得られる.

2.1 サウンドレンダリングによる残響時間

残響時間は定常のエネルギー密度から 60dB に落ちるまでの時間である [3][2]. ホールの残響時間は受信点をホールの客席全体にバランスよく配置し、計測した受信点におけるホールの残響時間の平均を計算することにより得られる [3]. サウンドレンダリングによる方法では実際に受信点において聞こえる音を作成し、得られた音が 60db 落ちるまでの時間を計算することにより残響時間を求める. 受信点は各階 8 点づつ左右の対称のホールでは [3] の方法に従い左半分のみを測定し、音源はステージ中央に菱形上に 4 つの音源を配置し観測した.

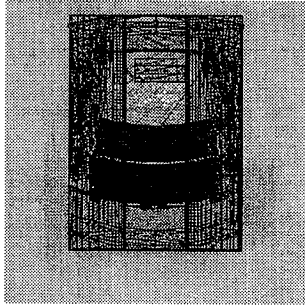
2.2 Eyring-Knudsen の残響式による残響時間

音響の分野では室内の容積と表面積から拡散音場を仮定して、残響時間を求める理論が立てられている.

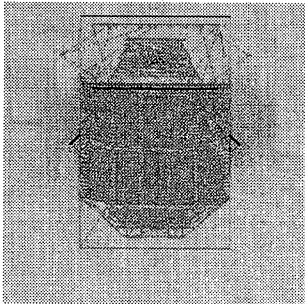
Eyring の空気の吸音を考慮した残響式によると残響時間は

$$T = \frac{KV}{-S \log_e(1 - \alpha) + 4mV}$$

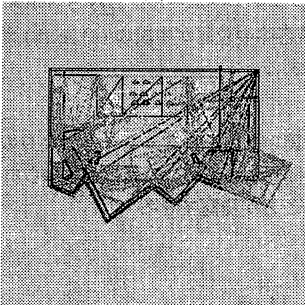
として計算される。ただし S は壁の表面積, V は容積,



(a)



(b)



(c)

図 1: ザシンフォニーホール, 山口市民会館, 秋吉芸術村ホール

T は残響時間, c は音速, m は減衰率とすると,

$$K = \frac{24}{c \cdot \log_{10} e}$$

α は吸音率である。この残響式をもとに残響時間を計算すると秋吉芸術村は 1.99 秒, 山口市民会館は 2.46 秒,

(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
wall(mortar)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
roof(mortar)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
stage(mortar)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
stage(floor)	0.16	0.14	0.11	0.08	0.08	0.07
reflection	0.20	0.13	0.10	0.07	0.06	0.06
chair(moquette)	0.14	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30
air	0.01	0.01	0.001	0.001	0.005	0.015

表 1: 吸音率と周波数と物体

flute 1	piccolo 1	clarinet_1st 1	clarinet_2nd 1
oboe_1st 1	oboe_2nd 1	fagott_1st 1	fagott_2nd 1
trumpet_1st 1	trumpet_2nd 1	trombone_1st 1	trombone_2nd 1
trombone_3rd 1	horn_1st 1	horn_2nd 1	horn_3rd 1
horn_4th 1	violin_1st 12	violin_2nd 12	viola 12
cello 12	contrabass 8	timpany 1	bassdrum 1
cymbal 1	triangle 1	total 77	

表 2: オーケストラのパートと人数

ザシンフォニーホールは 4.39 秒が得られる。各ホールの固有のパラメータは図面と [3][2] の付録の資料を用いた。温度 20 度湿度 20% 44.1KHz の音として計算した。

3 ホールにおけるオーケストラ演奏のシミュレーション

ビゼーのカルメンの前奏曲 [7] から 101 小節目から 120 小節目を用いた。山口大学管弦楽団のパートとその人数を表 2 に示す。実験には山口大学管弦楽団 26 パートの奏者から 1 名の演奏をスタジオ録音したものを用いた。大阪のザシンフォニーホール, 山口市の山口市民会館, 秋吉台にある秋吉芸術村ホールに対する演奏をシミュレートした。図 1(a)(b)(c) にそれぞれ概観を示す。

まず大阪のザシンフォニーホールにおける演奏を異なる位置の観客席で聞いた場合の音をシミュレートした。図 2 はザシンフォニーホールにおけるオーケストラを真中の客席で聞いた場合のサウンドビームを示している。図 3(a)(b)(c) はザシンフォニーホールにおけるカルメンの前奏曲の演奏をそれぞれ観客席の位置が中段の左, 真中, 右で聞いた音である。右の観客席で聞いた方がより低い楽器コントラバスの音などの低音が強調されており, 左の観客席で聞いた方が低音が軽減された音として聞こえ, 真中では高音と低音がバランスよく聞こえていることが確認された。また音が高い音と低い音で異なる遅れ方をしており, 高い音と低い音で異なる減衰をしており, 実際にホールで聞いているような臨場感のある深

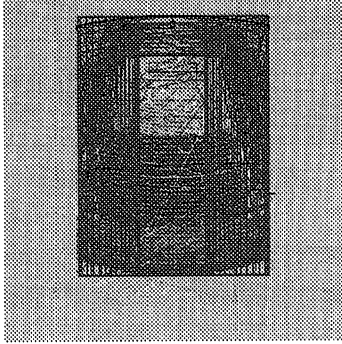
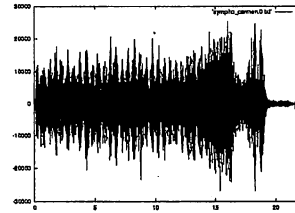


図 2: ザシンフォニーホールにおけるオーケストラを真中の客席で聞いた場合のサウンドビームを示している。

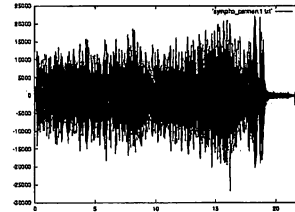
みのある音に聞こえている。図 4(a)(b)(c) はそれぞれザシンフォニーホール、山口市民会館、秋吉芸術村ホールにおけるカルメンの前奏曲の演奏を中段の真中の客席で聞いた音である。秋吉芸術村ホールは容積が小さく、形状も非対称なため大人数のオーケストラの演奏には向かない。そのためオーケストラ演奏のためのホールとして評価することには適していない。秋吉芸術村ホールは小人数のジャズやロックのバンド演奏、クラシックの4重奏、トリオ、デュエット、ソロなどに用いられている。

次に大阪のザシンフォニーホールにおいてオーケストラの配置をさまざまに変更した場合の真中の観客席で聞く音をシミュレートした。図 5(a)(b)(c) は実験に用いたオーケストラの配置である。図 5(a) は通常山口大学管弦楽団が用いているオーケストラの配置であり、図 5(b) は前回山口大学管弦楽団が用いたオーケストラの配置であり、図 5(c) は通常は行わない構成の配置である。ザシンフォニーホールにおいてオーケストラの配置が図 6(a) は図 5(a) の配置の場合 図 6(b) は図 5(b) の配置の場合、図 6(c) は図 5(c) の配置の場合のカルメン前奏曲の演奏を中段の真中の客席で聞いた音である。図 6(a) では中段の右で低音が強調されているのに対し、図 6(b) では中段の左で低音が強調されていることがわかる。図 6(c) では図 6(a)(b) に比べて管楽器が弦楽器より強調された音に聞こえていることがわかる。

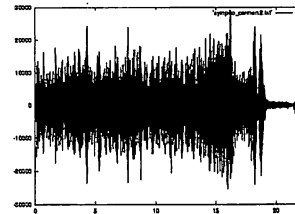
ジョンレノンのイマジンのバンド演奏をホールの中段の真中の席で聞いた音をシミュレートした。バンドの構成はドラム、ベース、ピアノ、ボーカルにより成立し、研究室に在籍していた高垣直記君のバンドによる演奏をスタジオ録音したものを用いた。図 7 はザシンフォニーホールにおけるイマジンのバンド演奏をホールの中段の



(a)



(b)



(c)

図 3: ザシンフォニーホールにおけるカルメンの前奏曲の演奏を観客席の位置が中段の (a) 左 (b) 真中 (c) 右で聞いた音である。

真中の席で聞いた音をシミュレートしたものである。楽器による時間遅れの違いや減衰の違いからホールの臨場感が伝わることを確認できる。

4 おわりに

山口大学の管弦楽団の演奏をザシンフォニーホール、山口市民会館、秋吉芸術村ホールに行くことなしに、ホールの客席における音がシミュレートされた。簡単に遠隔地にあるホールに全員の団員が行くことは容易でない。各ホールに行く事なしに各ホールにおける自分達の演奏を聞くことができるので、オーケストラの主催者や団員にとって役に立つと考えられる。また建築前にオーケストラが各客席でどのように聞こえるかがわかるため、ホールを設計する人に役に立つと考えられる。

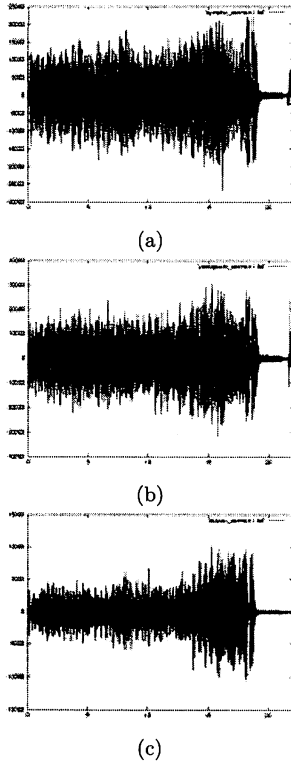


図 4: (a) ザシンフォニーホール, (b) 山口市民会館, (c) 秋吉芸術村ホールにおけるカルメンの前奏曲の演奏を中段の真中の客席で聞いた音である。

謝辞

山口大学管弦楽団と宇部市民オーケストラと研究室に在籍していた高垣直紀君のバンドの4人のメンバーに協力いただきました。また図面を提供いただいた建築家の磯崎新様および山口市役所、山口県庁の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] N. Tsingos, T. Funkhouser, A. Ngan and I. Carlbom, Modeling Acoustics In Virtual Environments Using the Uniform Theory of Diffraction, proc. of SIGGRAPH2001, pp. 545-552, 2001
- [2] 前川純一, 森本政之, 阪上 公博士, 建築環境音響学,

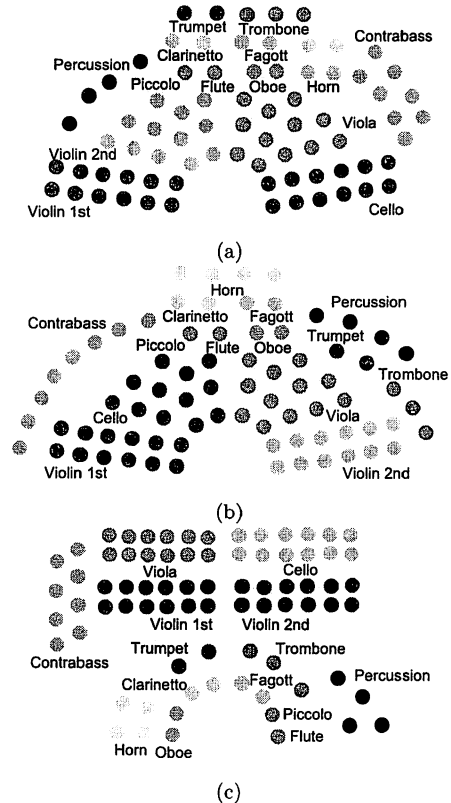
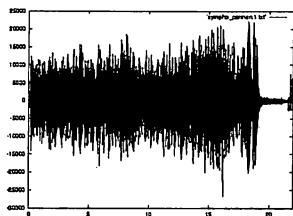


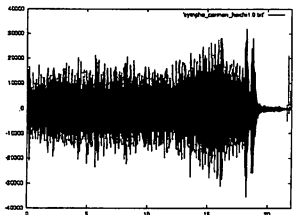
図 5: オーケストラの配置

共立出版株式会社, 1990

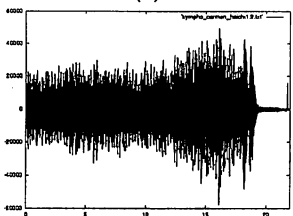
- [3] Leo Beranak, "Consert Hall and Opera House", Spring-Verlag, 2004
- [4] 得能さやか, 守田了, 時間周波数解析に基づくオーケストラ演奏中の音環境の視覚化, 情処研報 MUS-047, 2002
- [5] Satoru Morita and Sayaka Tokunou, "Learning Ensemble Performance for String Quartet by Practice, proc. of IEEE Cybernetics & Intelligent Systems, pp. 171-178, 2006
- [6] Satoru Morita and Sayaka Tokunou, "Visualizing Sound Environment during Orchestra Performance based on Time Frequency Analysis, proc. of ICMC06, 2006



(a)



(b)



(c)

図 6: ザシンフォニーホールにおいてオーケストラの配置が (a) は図 5(a) の配置の場合 (b) は図 5(b) の配置の場合, (c) は図 5(c) の配置の場合のカルメン前奏曲の演奏を中段の真中の客席で聞いた音である。

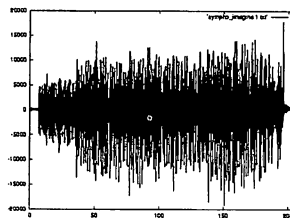


図 7: ザシンフォニーホールにおけるイマジンのバンド演奏を中段の真中の席で聞いた音である。

[7] Geroes Bizet, "CARMEN in Full Score," Dover Pub. Inc. New York, 1988