

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00714

研究課題名(和文)音響空間の再現を可能にする音楽のアーカイブ手法の開発

研究課題名(英文)Development of music archiving method enabling reproduction of spatial sound

研究代表者

亀川 徹 (Kamekawa, Toru)

東京藝術大学・音楽学部・教授

研究者番号：70359686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、音楽を未来に伝えるアーカイブ化において、演奏空間の音響も含めて臨場感のあるコンテンツとして制作、記録していく手法について検討をおこなった。

まず本学の奏楽堂およびスタジオにおいて測定した22.2チャンネルのインパルス応答を用いて、アップミックス方式の比較をおこなった。次に代表的な収録方式と聴取位置の違いによる印象比較と、聴取印象に対応する音響特徴量について調べた。さらに上層スピーカに必要な周波数帯域についても調査した。研究成果は様々な学会での発表や、論文投稿をおこない、音楽が演奏される空間の音響そのものも含めて臨場感のある音楽としてアーカイブ化するための検討に役立つ成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、空間の響きの再現をおこなうことによって、単に演奏をその場で聴いているかのような体験を残すという面だけでなく、歴史的な建造物の響きについてもアーカイブ化が可能となる。老朽化によって改修や改築、あるいは立て替えが必要となったコンサートホール、スタジオなどの空間の音響特性をアーカイブ化しておくことで、将来そこの響きがどのようなものであったかを体験することができる。またこのような空間で奏でられた音楽とその場の音響を共に記録していく事で、音楽とそれを取り巻く時間と空間のアーカイブとして後世に残していく事が可能となる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated a method of creating and recording music as realistic content, including the acoustics of the performance space, for archiving music for future generations.

First, the impulse responses of 22.2 channels measured in the university's concert hall and studio were used to compare different up-mix methods. Next, we recorded a violin solo using typical recording methods and compared the listening impressions of recording techniques and listening positions. We also investigated the physical features corresponding to the listening impressions. Furthermore, we investigated the frequency range required for the upper layer speakers. The results of our research have been presented at various conferences and submitted for publication. And they will be a valuable study of archiving music with a sense of presence, including the acoustics of the space where the music is performed.

研究分野：録音技術・音楽音響学

キーワード：収録方式 3Dオーディオ アップミックス インパルス応答 アンビソニックス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

録音技術の誕生によって様々な音の記録を残せるようになっただけでなく、誰でも手軽に過去の名演奏や貴重な音源を聴く事ができるようになり、録音技術は音楽文化の発展に大きく寄与してきた。このように音を記録することは今や当たり前のようにおこなわれているが、それらの記録された音から、どのような演奏の空間であったかを正確に想像するのは難しい。つまり現在音楽がアーカイブとして保存されているモノ、ステレオといった方式では、実際にそれらの音楽が演奏されている空間で聴いているかのような体験を再現するには不十分といえる。今後100年後、200年後に聴かれる音楽アーカイブにおいて、音響空間の情報も含めた記録について検討する必要がある。

研究代表者は、これまで5.1チャンネルサラウンドによる収録に数多く携わって来ており、さらにここ数年は高さ方向にもチャンネル数を増やした7チャンネル、9チャンネルといった3Dオーディオの録音手法について研究をおこなってきた。2015年からは、NHKが提案し3Dオーディオの国際規格(ITU-R BS.2159)にも採用された22.2チャンネルマルチチャンネル音響の再生環境を構築、制作方式、録音手法についての研究をすすめている。こういった経験から、音楽コンテンツの再現には、単に音場そのものを再現する音場制御方式だけでなく、音楽的文脈に応じて最適なバランスを創れるマルチチャンネル再生方式の双方の利点を生かした新しいコンテンツ制作の手法の開発が必要だと考えた。

また3Dオーディオのアーカイブのためには、なるべくデータの大きさをコンパクトにする必要がある。そのためなるべく少ないチャンネルから必要なチャンネル数に変換できるアップミックスの手法や、聴取印象を損なわないようにデータを圧縮する手法についても検討する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、音楽を未来に伝えるアーカイブ化において、その演奏がおこなわれた空間の音響も含めて臨場感のあるコンテンツとして制作、記録していく手法について検討をおこなうことを目的とした。

音楽そのものを記録するだけでなく、音楽が演奏される空間の音響そのものも含めて臨場感のある音楽としてアーカイブ化することは、未来に音楽文化を残していく上で重要なテーマである。本研究では、収録された直接音と間接音から空間のインパルス応答を推定する手法を開発する事で、音楽コンテンツをより臨場感のある音で、かつなるべく低容量のデータによって記録する手法を提案することを目指した。

### 3. 研究の方法

研究は、以下の3つのテーマについて実施した。

[1] 少ないチャンネルから必要なチャンネルの信号を生成するアップミックス手法の検討

[2] 聴取エリアを広くとれる3Dオーディオの收音方式の検討

[3] より簡便に3Dオーディオを再生できるようにするための再生方式に関する検討

実施にあたっては、まず[1]として本学のコンサートホールである奏楽堂で収録したインパルス応答を元に、22チャンネルの信号を3チャンネル、5チャンネル、9チャンネルといったより少ないチャンネルの信号から生成するアップミックスの手法について検討をおこなった。インパルス応答の推測には、残響を収録したマイクロホンの信号の位相をランダム化させた音に残響のエンベロープを畳み込むことで残響信号を生成する手法を検討した。

次に[2]として本学のスタジオにおいて22.2マルチチャンネル音響の代表的な收音方式によって収録した音源を用いて、収録方式の違いと聴取位置の違いによる聴取印象の比較をおこない、なるべく広い聴取位置を実現できる收音方式の検討をおこなった。

さらに[3]では、3Dオーディオの再生方式の検討として、上下方向からの再生に必要な周波数帯域についての検証をおこなった。本実験ではその端緒として、様々な22.2マルチチャンネル音響のコンテンツを用いて、上層スピーカの帯域を制限することによる聴取印象の違いを比較し、上層の再生に必要なとされる周波数帯域について調査した。

### 4. 研究成果

本研究の成果として以下の3点が得られた。

#### 4-1. インパルス応答の無相関化によるアップミックス手法の検討

本学の奏楽堂において測定した22チャンネルのインパルス応答を用いて、直接音と間接音の

境目となる時間 (Mixing time) の前後で信号を分割し、残響の部分の信号の周波数領域の位相をランダム化することで、元の残響信号と無相関な信号を生成することで、少ないチャンネル数 (3,5,9 チャンネル) から 22 チャンネルの出力を生成するアップミックス手法を提案した。Mixing time を 80ms で固定した場合と、オクターブバンドで帯域分割して Mixing time を変更した場合とで聴取実験をおこなった結果、畳み込む音素材にもよるが、帯域分割処理をした場合の 9 チャンネルからアップミックスした場合が元の 22 チャンネルの音源に近い印象が得られることがわかった (図 1)。

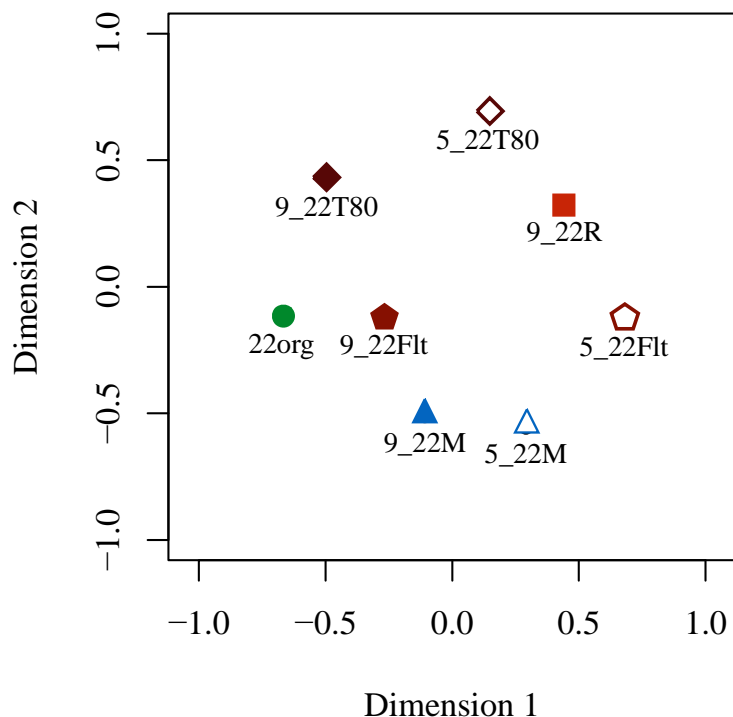


図 1. 奏楽堂において測定した 22 チャンネルのインパルス応答を用いてアップミックスした音の類似度を比較した実験の結果。直接音と間接音の境目となる時間 (Mixing time) を 80ms で固定して位相のランダム化した素材 (T80) と、オクターブバンドで帯域分割した場合 (Flt) と処理をしない場合 (M) について、元のインパルス応答が 5 ch の場合 (5\_22) と 9ch の場合 (9\_22) , 22ch のインパルス応答を使用した場合 (22org) を比較した。図中の記号が近いほど印象が似ていることを示す。

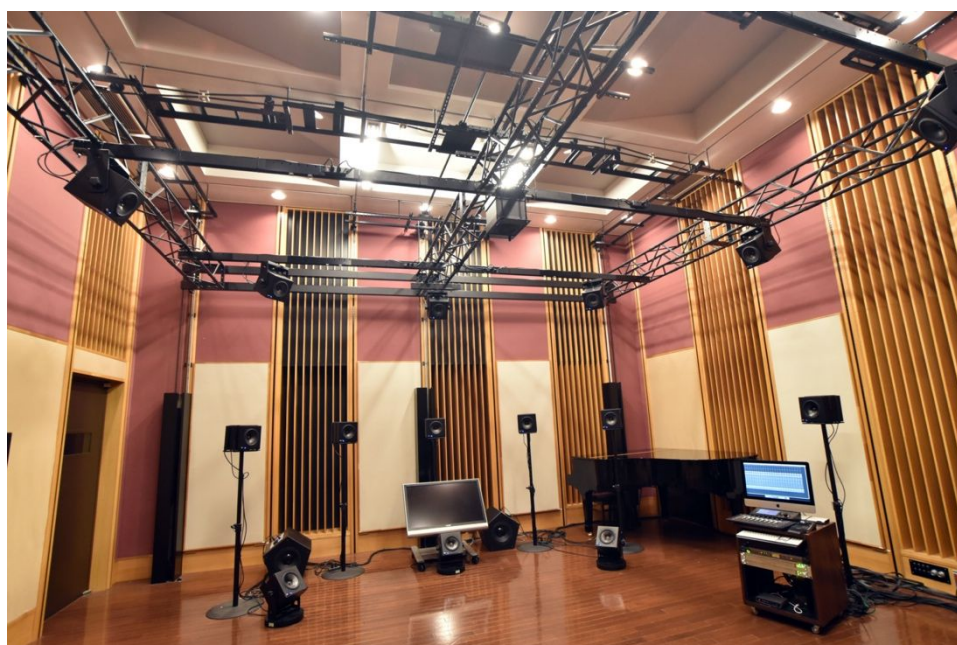


図 2. 聴取実験で用いた千住キャンパス スタジオ B

#### 4-2. 22.2 マルチチャンネル音響の收音方式の違いと聴取位置の違いによる聴取印象の比較

3D オーディオの代表的な收音方式として、空間配置方式(20本のマイクロホンの間隔を開けて設置)、超指向性マイクロホン24本による準同軸方式。そして1次のAmbisonicsを22チャンネルに変換する同軸方式の比較をおこなった。

千住校地のスタジオAにおいて上記の3種類の方式で収録したバイオリンのソロの録音を用いて、これらの收音方式の違いによる印象について、聴取位置の違い(中央, 右50cm, 後方50cm)も含めて調査をおこなった。聴取実験は、それぞれの刺激の組み合わせについての類似度の評価と、各々の刺激の印象を「好み」や「臨場感」など12の評価語による評定尺度法による評価をおこなった。その結果、録音方式の違いは聴取位置の違いよりも大きく、また空間配置方式が臨場感の評価が高く、聴取位置の違いも小さくなること示された(図3)。

またこれらの聴取実験の結果と対応する物理量についても検討をおこなった結果、側方反射音と上下方向の反射音のエネルギーの大きさと「包まれ感」や「豊かさ」との相関が見られた。また側方反射音のエネルギーは好みとも相関が見られた。

以上の結果より、側方および上下方向の反射音エネルギーを多く收音できる空間配置方式が、3D オーディオの收音には有効であることが示された。

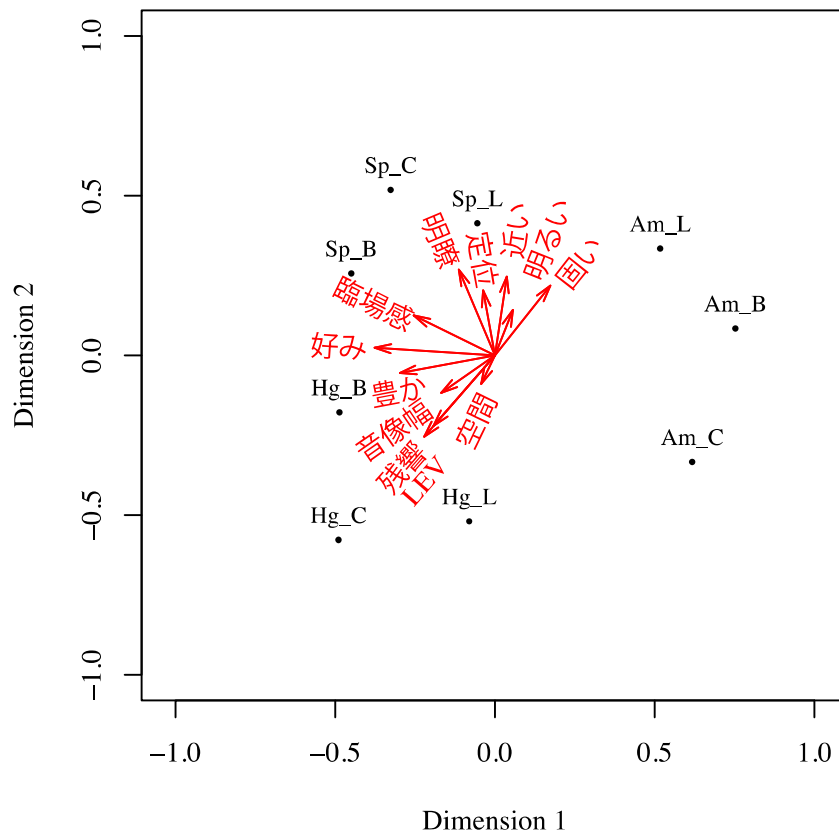


図3. 千住校地のスタジオAにおいて収録した、空間配置方式(Sp)、超指向性マイクロホン24本によるハリネズミ方式(Hg)、1次のAmbisonics(Am)によって収録したバイオリンのソロの録音を用いて、聴取位置の違い(C:センター, R:右側, B:後方)の類似度の比較をおこなった実験の結果と、それぞれの刺激の評定尺度の結果を重ね合わせた。図中のシンボル間の距離が印象の類似度を表す。また矢印の方向と長さがそれぞれの評価語との相関の高さを示す。図より空間配置方式(Sp)が聴取位置による印象の差が少なく、臨場感や明瞭さと相関が高いと言える。

#### 4-3. 3D オーディオの上層の再生に必要な周波数帯域の調査

3D オーディオの再生に必要な周波数帯域の検討をおこなうために、22.2 マルチチャンネル音響の上層のスピーカの周波数特性の違いによる印象の違いについて調査した。

22.2 マルチチャンネル音響の8種類の音源(VL:バイオリンソロ, ML:マーラー交響曲, KD:合唱とオーケストラ作品, ET:邦楽合奏, LN:声の多重録音, MK:音楽・効果音・ナレーションによる作品, BN:ノイズの断続音, PN:ピンクノイズ)を用いて、上層スピーカの高域をカットして中層にミックスした場合と、低域をカットして中層にミックスした場合、それぞれについて、カットオフ周波数がどの程度になると違いが検知できなくなるかについて聴取実験をおこなった。

た。その結果，高域のカットは広帯域ノイズの場合に僅かなカットでも検知できるが，低域については 400Hz 以下の帯域がカットされていても違いがほとんどわからないことが示唆された(図 4)。

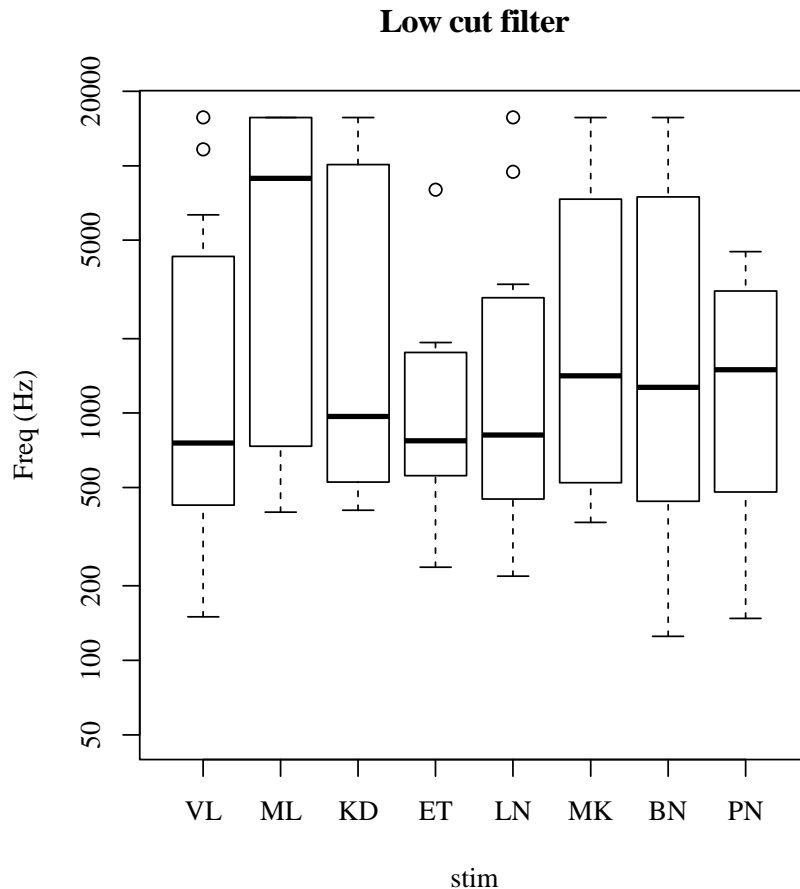


図 4. 22.2 マルチチャンネル音響の様々な素材(VL:バイオリンソロ,ML:マーラー交響曲,KD:合唱とオーケストラ作品,ET:邦楽合奏, LN:声の多重録音,MK:音楽・効果音・ナレーションによる作品,BN:ノイズの断続音,PN:ピンクノイズ)を用いて上層スピーカの低域をカットした場合の検知限の箱ひげ図。

本研究の成果から，音楽の演奏空間の音響までも記録する 3D オーディオ制作の手法について，アップミックスの手法や，3D オーディオの收音方式，再生方式に関しての知見が得られた。今後は，これらの成果を元に，3D オーディオによる音楽のアーカイブ化をおこなうために，より効果的な收音方法や制作方法，聴取印象を損なわないデータの圧縮手法についてさらに具体的な手法を検討してすすめていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Toru Kamekawa, Atsushi Marui	4. 巻 41
2. 論文標題 Evaluation of recording techniques for three-dimensional audio recordings: Comparison of listening impressions based on difference between listening positions and three recording techniques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 260-268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.41.260	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Toru Kamekawa, Atsushi Marui
2. 発表標題 Are full-range loudspeakers necessary for the top layer of 3D audio?
3. 学会等名 Audio Engineering Society（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亀川徹、丸井淳史
2. 発表標題 3Dオーディオのトップレイヤーに 低音は必要か？
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亀川徹、丸井淳史
2. 発表標題 22.2マルチチャンネル音響における收音方式と聴取位置の違いによる臨場感の評価と音響特徴量の関係について
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀川徹、丸井淳史
2. 発表標題 22.2マルチチャンネル音響の收音方式の違いが聴取印象に与える影響について
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀川徹、丸井淳史
2. 発表標題 22.2マルチチャンネル音響における收音方式と聴取位置の違いが聴取印象に与える影響について
3. 学会等名 日本音響学会春季研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toru Kamekawa, Atsushi Marui
2. 発表標題 Evaluation of 3D Audio Recording Techniques
3. 学会等名 Universal Acoustical Communication Month 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toru Kamekawa, Atsushi Marui
2. 発表標題 Comparison of recording techniques for 3D audio due to difference between listening positions and microphone arrays
3. 学会等名 Audio Engineering Society 146th convention (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toru Kamekawa and Atsushi Marui
2. 発表標題 A Basic Study of the Upmix Method for 22.2 Multichannel Sound
3. 学会等名 Audio Engineering Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toru Kamekawa and Atsushi Marui
2. 発表標題 The Upmix Method for 22.2 Multichannel Sound Using Phase-Randomized Room Impulse Responses
3. 学会等名 Audio Engineering Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丸井 淳史  (Marui Atsushi)  (90447516)	東京藝術大学・音楽学部・教授    (12606)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------