

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19700114
 研究課題名（和文） ヘッドホンによるサラウンド音楽再生のための仮想空間の開発
 研究課題名（英文） Development of Virtual Space for Headphone Reproduction of Surround Sound Music
 研究代表者
 丸井 淳史 (MARUI Atsushi)
 東京藝術大学・音楽学部音楽環境創造科・准教授
 研究者番号：90447516

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、ヘッドホンを利用して多チャンネル・サラウンド・コンテンツの録音・編集を行うための音楽再生環境の開発を行うことであった。左右 2 チャンネルしかないヘッドホン再生と、多数のスピーカーを配置できる室内再生との差異を考え、新システムの研究開発を行った。5 チャンネル素材をヘッドホン再生用に変換する手法が提案され、従来の手法よりも音が好まれる結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

The goal of the study was to research and develop headphone listening environment for surround sound music recording and reproduction, considering a headphones' two-channel playback system in contrast to a multi-channel playback system using many loudspeakers in a room. A method for converting such multi-channel music contents to two channels suitable for headphone reproduction was proposed, and it was confirmed that the method was preferred over conventional algorithms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	1,800,000	0	1,800,000
平成 20 年度	800,000	240,000	1,040,000
平成 21 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：総合領域・情報学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス、音楽音響心理学

1. 研究開始当初の背景

近年の音楽再生においては、若者を中心に、ヘッドホンによる音楽聴取人口が増加してい

る。iPod に代表されるポータブル音楽再生は、2005 年末までに全世界で 1 億 4000 万台が販売され、2010 年には 2 億 8600 万台にまで数

を伸ばすと推測されている(2005年12月モルガン・スタンレー調べ)。現在でも、処理能力や記憶容量の向上により、専用の音楽装置だけでなく携帯電話やPDAなどの汎用機器がポータブル音楽再生装置として使われはじめており、広義のポータブル音楽再生装置としては上記の統計的推測をはるかに上回る数が利用されると考えられる。

その反面、家庭における音楽再生には5.1チャンネル・サラウンド・システムに代表される多チャンネル再生機器の販売台数が伸びている。現にDVDやSACDなどのメディア向けには多チャンネル用に音楽コンテンツが録音され、広く楽しまれている。

5.1チャンネル再生では、ITU-R BS.775-2において、受聴位置正面(0度)、その左右±30度、±110～120度の5台のスピーカーに加え、低音再生用の1台を用いる。低音用を除く各スピーカーは頭部から等距離に、取り囲むように配置される。

申請者は、広く利用されるようになったポータブル音楽再生装置と家庭用多チャンネル再生装置とのあいだで、音楽再生環境の二極化が進んでいると考えている。そして、いずれ、

- ・ポータブル機器向けと家庭用機器向けの2種類のフォーマットを用意する
- ・そのために、どちらにも対応できる音楽制作環境(特に録音調整環境)の整備をする
- ・多くのコンテンツを2つのフォーマットで発売する

という、すでに下降線に入っている音楽業界にとっては厳しい問題が起こってくる。ここで、もし多チャンネルの家庭用機器向けコンテンツから、ポータブル機器のヘッドホン再生用コンテンツが自動的に生成できれば、音

楽制作者たちの負担は著しく軽減される。

このような自動生成手法に近い考え方として、現在行われているのがダウンミックスという単純な方法である。5.1チャンネル・サラウンド方式向けに作られたコンテンツを2チャンネルに変換するときに使われるものとしては、上記ITU規格に指定されている手法が一般的である。正面スピーカーおよび後方スピーカー用の信号を3dB下げ、前方スピーカー用信号に混ぜることで、5チャンネル信号を2チャンネルに変換する。この手法は5台のスピーカーに割り振られた音楽の内容をそれほど損なうことなく2台のスピーカーで再生できるが、空間は大きく歪んでしまう。

さらに、ヘッドホンでの音楽再生時には、頭部左右に配置された小型スピーカーから左右それぞれの耳穴に音が再生されるため、スピーカーを室内で鳴らしたときのように、複数スピーカーから出た音が空気中で混ざり合うこと(クロストーク)がない。また、室内で再生されないために壁面反射がなく、音の到来方向が分かりにくくなってしまう。そのため、再生された音場の印象はヘッドホンとスピーカーでは大きく異なるものとなる。

そのことからコンテンツ視聴時に以下の問題が発生する。

- ・録音技師による録音調整はスピーカーを用いて行われているため、ヘッドホンで再生すると最適な音場の印象が得られない。
- ・スピーカー再生においては頭を動かしても客観的な音源位置が変化しないが、ヘッドホンでは頭の動きに音源位置が追従してしまい、自然な方向感が得られない。
- ・特に多チャンネル・サラウンドに関しては、ヘッドホン再生では空間的な音場印象が大幅に失われてしまう。

また、特に録音技師から見た問題点としては以下のものがある。

- ・ 録音調整スペースを十分に設けられないときやコンサートホール観客席への音漏れを防ぐ必要がある場合など、スピーカーを置くことができない状況が多々ある。その場合にはヘッドホンで音を確認しながら調整するのであるが、上記の場合と同様、正確な音場の判断をすることができない。

これらの問題を解決するために、これまでも研究が行われており、いくつかは市販製品として販売されている。しかし、多くの製品は効果的な音場の印象を作り出すことに失敗しており、自然な音場印象を得ることは難しかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヘッドホンを利用して多チャンネル・サラウンド・コンテンツの録音・編集を行うための音楽再生環境の開発を行うことである。左右2チャンネルしかないヘッドホン再生と、多数のスピーカーを配置できる室内再生との差異を考え、新システムの研究開発を行った。

また、既存の変換手法と提案手法の聴感上の違いを比較し、提案手法の優位性と欠点を明らかにすることも研究の目的に含まれる。

3. 研究の方法

(1) 音楽試聴環境の特徴を明らかにするために、空間の残響音に関する知覚閾と知覚頂を精神物理学的測定法により求める。また、実際の試聴における音源距離の正確な判断に

(2) 音楽をヘッドホン聴取する際に問題となる「クロストークのない状況」がどの程度音楽聴取に影響を与えるのかを調べるための主

観評価実験を行い、非相関強調法を加えることでより好ましい音になることを確認する。

(3) 5チャンネル録音素材を用いて、クロストーク付加および非相関強調法を用いた提案手法と、他の手法とを主観評価実験よっての比較する。また、ダウンミックス手法の好みを決定する要因の調査も行った。

4. 研究成果

まず、室内音響の物理特性の中でも室内残響と音源の距離感に注目した実験を行った。室内残響に関しては、ヘッドホンのためにシミュレーションされた残響音の可聴限を複数の残響特性において測定し、音楽をヘッドホン聴取する際に音質などに影響を与えない程度の残響付加量を知ることが目的であった。また、音源の距離感に注目した実験では、残響感と距離感の関係について、楽器演奏者および録音技師に参加してもらい、実験を行った。その結果、楽器演奏者と録音技師の間の理想的な残響に対する感じ方に大きな差があることが確認された。

一般的に、音楽に残響を付加することで臨場感や広がり感が増すが、実験により音楽に付加した残響音の可聴限が示されたことで、試聴者の邪魔にならない程度の残響付加が可能になった。また、試聴者によって理想的な残響に大きな違いがあることが確認されたことで、聴取者別のカスタマイズの必要性があることが分かった。

音楽をヘッドホン聴取する際に問題となる「クロストークのない状況」がどの程度音楽聴取に影響を与えるのかを調べるための主観評価実験を行った。これは、ヘッドホンを用いた自然な音楽再生のためには不可欠な基礎的研究である。

クロストークを人工的に付加することで、

ヘッドホン再生においてもスピーカー再生と似た自然な音場が得られると言われているが、筆者による研究ではクロストーク・シミュレーションのみでは音像が狭くなりすぎ、かえって不自然な印象になってしまうことが分かった。そのため、狭くなった音像を広げるために非相関強調法 (Decorrelation Stretch) を提案した。主観評価実験を行って非相関強調法の有無による音像の幅の変化を調査したところ、クロストーク・シミュレーションによる音像の狭さを解決することができた。

5チャンネルで用意された音素材を2チャンネルへと変換(ダウンミックス)する際に用いられる複数の一般的な方法と提案手法との印象評価実験を行うとともに、インタビューを実施した。9つの音素材について、変換手法は前方LRチャンネルのみ使用、ITU-R BS.775-2に基づくダウンミックス(最も広く用いられる従来手法)、提案手法、頭部モデル、実際の部屋において疑似頭で録音したもの、の5種類であった(それぞれ図中の1から5に対応)。また、評価項目は、横の広がり、前後の奥行き、音色の自然さ、空間の自然さ、好みの5評価語を用いた。

音楽録音および音響学を研究する学生10名による主観評価実験の結果、提案手法は音の広がりが狭くなり前方に遠く感じることで、実際の部屋での再生に近づくことが分かった。また、従来手法と比較して音色の自然さが損なわれることが少なく、空間の自然さの評点は高かった。好みに関しては従来手法と提案手法はほぼ同等であった。

また、ヘッドホン再生音の好みに、どの要因が影響しているかを調査するためにステップワイズ回帰分析を行ったところ、音色の自然さ、空間の自然さ、横の広がり順で有意に影響することが分かった。

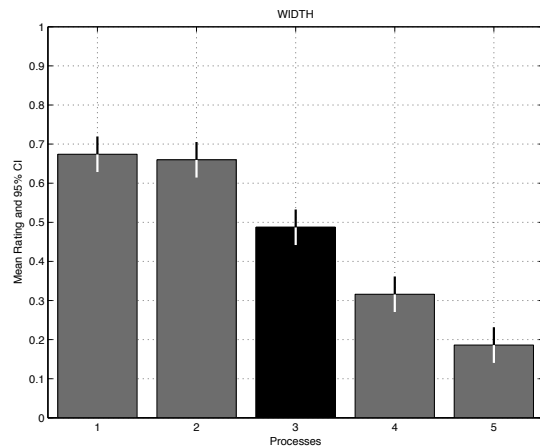


図1 横の広がり

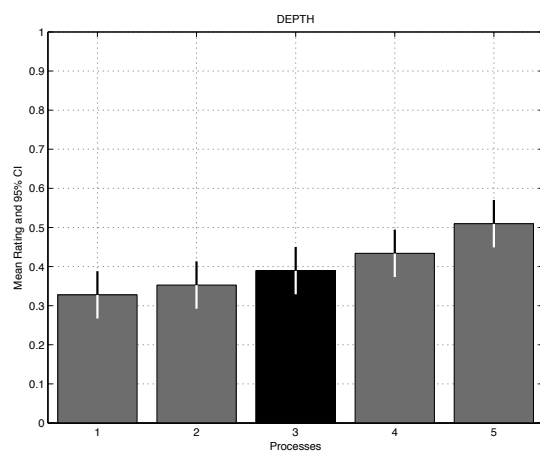


図2 前後の奥行き

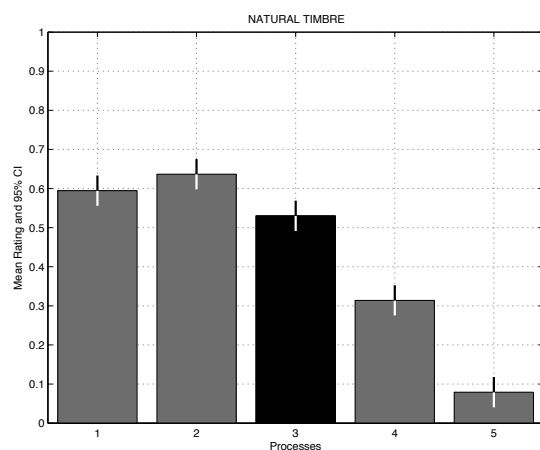


図3 音色の自然さ

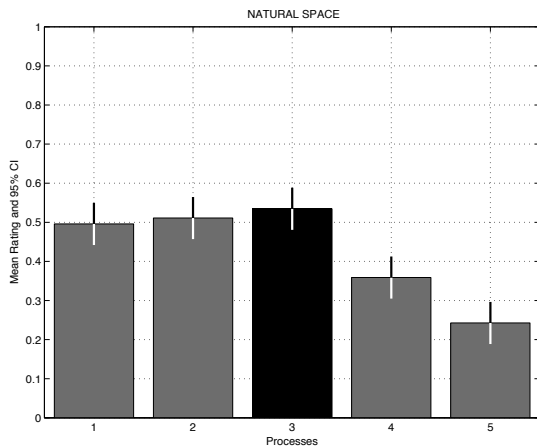


図4 空間の自然さ

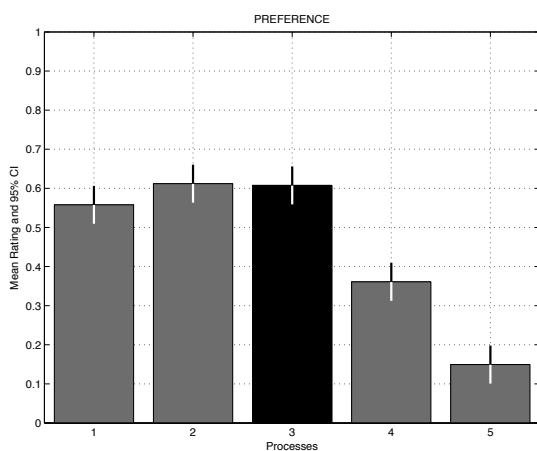


図5 好み

なお、実験ではロック、ポップス、クラシックなどを使用したがる、音素材の種類によって各変換手法の評価が大きく異なることはなかった。

類似研究においては頭部伝達関数や頭部モデルを用いる手法が提案されており、良好な結果が報告されている。本研究では平均的なデータをもとにしたモデルを使用したため、提案手法よりも頭部モデルを使用した手法が低く評点された。頭部モデルや頭部伝達関数を用いる場合、各個人ごとに測定したものをを用いない限り、空間の自然さなどが損なわれてしまうことが示唆される。

今回の提案手法を用いることでヘッドホンのための自然な再生環境が実現できると考え

る。

また、この研究成果を応用することにより、会話など音楽用途以外のヘッドホン使用時にもより自然な臨場感が得られるほか、複数の話者を仮想音響空間内に自然に配置できるため、多人数での会話も容易になるなどの影響が予想され、単なる音楽再生にとどまらない可能性を秘めている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

1. MARUI Atsushi. “Perceptual Categories of Artificial Reverberation for Headphone Reproduction of Music,” In Proceedings of 123rd Convention, Audio Engineering Society. New York, USA. October 2007.
2. 山田哲広 亀川徹 丸井淳史. 『録音物に対する演奏家の意識—残響感と距離感に関する考察—』 日本音響学会音楽音響研究会 2007年11月
3. 丸井淳史. 『ヘッドホン聴取における左右音の非相関強調とクロストークについて』 日本音響学会音楽音響研究会 2008年8月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸井 淳史 (MARUI Atsushi)

東京藝術大学 音楽学部

音楽環境創造科 准教授

研究者番号：90447516

(2)研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：