

ヘッドホン再生における音場再生とは

東京藝術大学

亀川 徹

1. はじめに

iPodに代表される携帯音楽プレーヤーやiPhoneなどのスマートホンの普及により、街中でヘッドホンやイヤホンで音楽を聞く人々の姿はすっかり日常の風景となった。いつでもどこでも手軽に音楽を聞く事ができるヘッドホンやイヤホンは、現代人の必需品といっても過言ではないかもしれない。そんな中でも若者達にとって、ヘッドホンやイヤホンはファッションの一部であり、見掛けのカッコよさだけでなく、最近では音の良さについても大きな関心が寄せられている。しかし一方で、これだけ普段聞かれている音楽のほとんどは、ヘッドホンではなく、スピーカーで聴く事を前提に作られているのである。スピーカーで聴く場合と、ヘッドホンで聴く場合にどのような違いがあるのか、ほとんどの人はそういった違いには無頓着で聞いている。また音楽制作の現場においても、これだけヘッドホンで聞かれているにも関わらず、ヘッドホンでの聞こえ方を意識して作られている音源はそれほど多くは無い。本稿では、ヘッドホンとスピーカーの聞こえ方の違いについて考察し、ヘッドホン再生のための音楽制作のあり方について考えて行きたい。

2. ヘッドホン再生とスピーカー再生の違い

2台のスピーカーから同じ音を再生してそれぞれのスピーカーから等距離の位置で聞くと、音は2台のスピーカーそれぞれからではなく、2台のスピーカーの丁度真ん中に音源があるかのように聞こえる。オーディオを楽しむ人から考えると当たり前のような話だが、そもそも正面にスピーカーが無いのにも関わらず、どうしてそのように感じるのだろうか？

それは人間が生まれてから音を出す物が自分の正面にある時に、自分の両耳には同じ時間のタイミングでかつ同じ大きさに到達することを学習するからであると考えられている。これは両目でものを見る立体視においても言える事で、小さい子供に3D映像を見せる事は、立体視が確立する事の妨げになるので避けるべきというようにも言われている。両目による立体視と、両耳による立体音像の形成は、手足を使って自分の身の周りの空間を認知しながら確立していくのである。

2台のスピーカーの真ん中に音源があるように感じる事を「音像が定位する」という言い方をする。「音像」つまり我々の脳が想像した像=イメージが、あたかもそこにあるかのような錯覚として聞こえるのである。一方ヘッドホンを着いて同じように左右の耳に同じ信号を聞くと、音は目の前に定位せずに、頭の上、人によっては後ろから聞こえているように感じる。これは、左右の耳に同じ音量、同じタイミングで到達する音は、前方からだけではなく頭上、後方など頭を中心をとる面（これを正中面と呼ぶ）上の音源すべてに共通しており、我々が普段音を聞いている時に、無意識に頭を動かすことで、左右の耳に入る音の違いを聞く事で前後の判断をおこなっていると考えられている。つまり右耳を前側に動かした場合に右耳に入る音が大きくなれば前方、

小さくなれば後方，同じであれば頭上と判断する。ヘッドホンで聞いた場合は、頭を動かしても左右の耳に入る音の変化が起きないため、音源が頭上にあると感ずるのである。

ヘッドホンとスピーカーとの聞こえ方のもうひとつの違いは、ヘッドホンで聞く場合は左右のチャンネルの信号は、左右の耳それぞれに直接入るのに対し、スピーカーで聞く場合には左チャンネルの信号は左耳だけではなく右耳にも入っており、同様に右チャンネルの信号も右耳だけでなく反対側の左耳にも入る事によって、聞こえる定位や広がり感が違ってくる。

本稿では、このようなヘッドホン再生とスピーカー再生の違いを検討し、ヘッドホン再生のための録音方法や制作手法について検討する。

3. ヘッドホンとスピーカーの比較聴取実験

前項で述べたヘッドホンとスピーカーの聞こえ方の違いを調べるために、以下の4種類の聴取実験をおこなった。

- (1) スピーカーから再生された音の定位と同じ位置になるようにヘッドホンの定位を調整する
- (2) スピーカーから再生された音の広がり感と同じようになるようにヘッドホンの広がり感を調整する
- (3) ヘッドホンから再生された音の定位と同じ位置になるようにスピーカーの定位を調整する
- (4) ヘッドホンから再生された音の広がり感と同じようになるようにスピーカーの広がり感を調整する

実験はインタラクティブ・メディア・アプリケーションMAX6を用いて図2のような操作画面を作成し、ヘッドホン再生とスピーカー再生をスイッチで切り替え、ボリュームコントロールを用いて定位や広がり感をコントロールできるようにした。実験に用いた素材は200msの長さのピンクノイズを1秒間隔で繰り返し再生し、実験参加者が調整を終えるまで何度でも聞けるようにした。スピーカーは

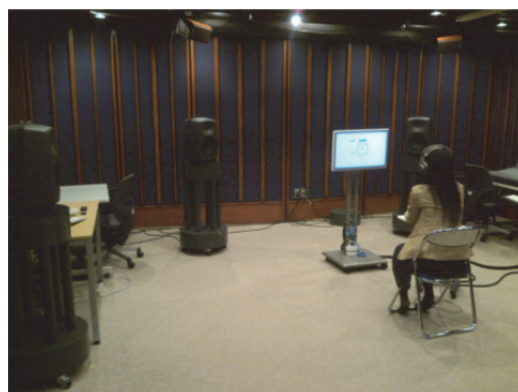


図1. 聴取実験の様子

Genelec8050Aを4台用いて、通常のスtereo聴取である開き角60度の位置に加えて実験参加者の真横に設置した(図3)。ヘッドホンはオープンタイプのもの(Sony MDR F-1)を用いてヘッドホンを装着しながらでもスピーカーの音が聞こえるようにした。



図2. 実験で用いた操作画面の例

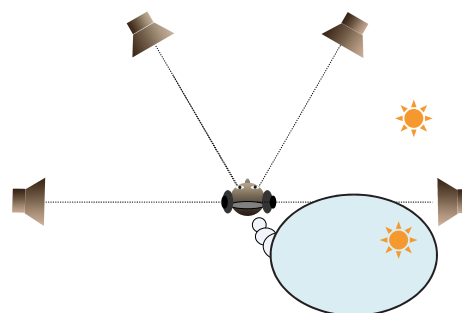


図3. 実験で用いたスピーカー配置

実験は東京芸術大学千住キャンパスの音響制作スタジオでおこなった。実験参加者は15名。実験結果を図4,5に示す。図中で-9が左チャンネルのみ、+9が右チャンネルのみに信号を送った場合で、その間はコサインカーブになるように左右のチャンネルのレベルを調整した。

実験結果より、ヘッドホンによる聴取は、スピーカー再生の場合と比べて、定位、広がり感ともに広がる傾向にある。また逆にスピーカーによる聴取は、ヘッドホンと比べて定位、広がり感共に狭く感じている事が示された。また実験後の実験参加者からのコメントでは、スピーカーと比べてヘッドホンの場合の定位はわかりにくい、特に中央の場合頭の上や後方に感じるという意見が聞かれた。

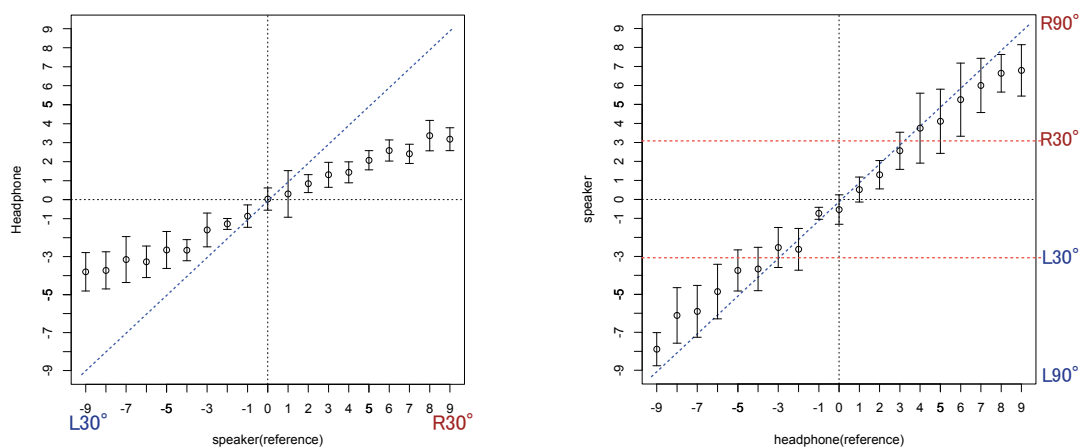


図4. 定位の比較実験の結果。左がスピーカーを基準（横軸）にヘッドホンの定位を回答（縦軸）したもので、右がヘッドホンを基準にスピーカーの定位を回答した結果。縦棒は95%信頼区間を示す。

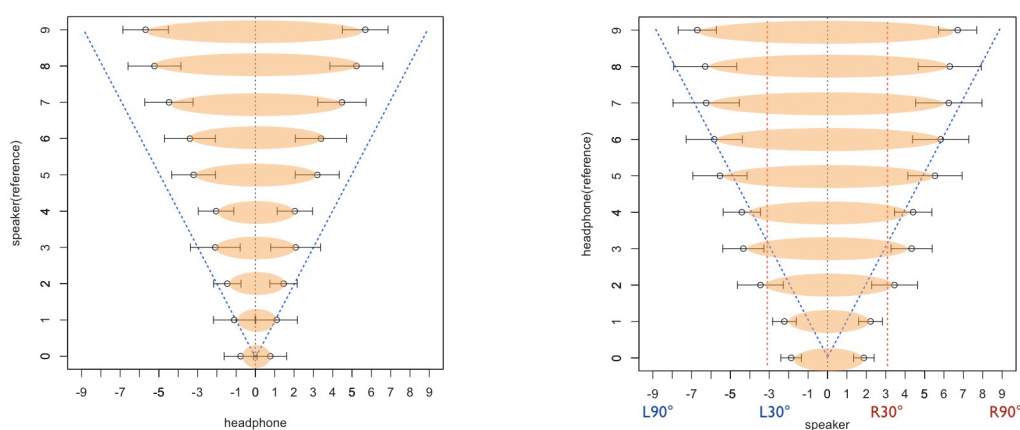


図5. 広がり感の比較実験の結果。左がスピーカーを基準にヘッドホンでの広がり感を回答したもので、右がヘッドホンを基準にスピーカーの広がり感を回答した結果。

4. ダミーヘッド

前章の実験結果のとおり、ヘッドホンとスピーカーでは、同じ音源を聞いても、定位や広がり感が異なる事がわかった。つまりスピーカー再生のために作成された音源をヘッドホンで聴く場合、その印象は大きく異なってくるといえる。それではヘッドホン聴取に合わせて音源を作成するにはどうすれば良いのであろうか？

ヘッドホンのための制作手法として良く知られているのが「ダミーヘッド」収録である。ダミーヘッドとは、人間の頭の形を模したマネキンで、耳の部分にマイクロホンが装着されており、人間が両耳で聞いている音を収録できるシステムである。頭部だけでなく胸部も備えた B&K 社の 4128C HATS (Head and Torso Simulators) が良く用いられている。ダミーヘッドで収録した音をヘッドホンで聴取すると、実際に聞いている音に近い音が再現できる。ただし、このようなダミーヘッド

は、鼓膜の近傍にマイクロホンがあるため、通常の耳介の部分で再生されるヘッドホンでは、外耳道を通る場合の周波数特性 (図 6) を差し引いた特性にする必要がある。

またダミーヘッドは、平均的な大人の頭部を模倣したもので (しかも西欧人の平均がモデルとなっているため、日本人と比べると小さいと言われている)、個人個人の頭部の特性とは微妙に異なる。実際に自分自身の耳に小型マイクロホンを仕込んで収録することで、この問題はかなり解決できるが、これでは不特定多数の人に聞いてもらえるようなコンテンツを作る事はできない。

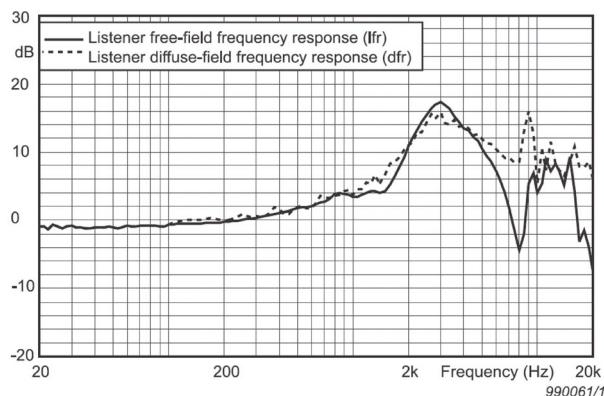


図 6. ダミーヘッドの周波数特性

5. HRTF

個人個人によって、頭部や胸部、耳の形状が異なる事を考慮すると、ダミーヘッドで収録する音の限界もあると考えられる。そこで個人個人の頭部の状態をカスタマイズする方法として HRTF (Head Related Transfer Function) を求める方法がある。個人個人の HRTF は、スピーカーから測定用の信号 (スイープサイン音など) を出して、それを実際の耳の穴の近くにセットした小型マイクロホンで収録することでインパルス応答を求める事ができる。しかし厳密に測定するためには、無響室のような特殊な環境が必要であるため現実的ではない。

HRTF をなるべく汎用性のあるものにする研究は、数多くおこなわれているが、その中でも頭部をシンプルな球と仮定してモデル化する方法 (Duda1998) を検討してみた。収録したマイクごとにそれぞれの位置 (聴取位置からの距離、角度) を入力し、図 7 のような左右の耳の簡易 HRTF フィルターを生成し、それをそれぞれの素材ごとに畳み込み処理した。そうやって作成した素材を、ヘッドホンを聞きながらバランスを調整してミックスするという手法を試みた。3 章で報告した実験のように、従来のスピーカーを用いてミキシングしたものは、ヘッドホンで聞いた場合に左右に広がりすぎたり、前方の定位が曖昧になるが、この方法を用いることでヘッドホン特有の頭内定位がある程度解消される。また前述のダミーヘッド収録で問題となる、「後から

バランスをとる」といった事も可能になる。一方、この手法を効果的にするためには、素材を録音した際のマイクと音源の位置関係が重要な要素となってくる。またここで用いている HRTF はあくまでも簡易的なものであり、どの程度一般的に効果があるかについては検証が必要であろう。

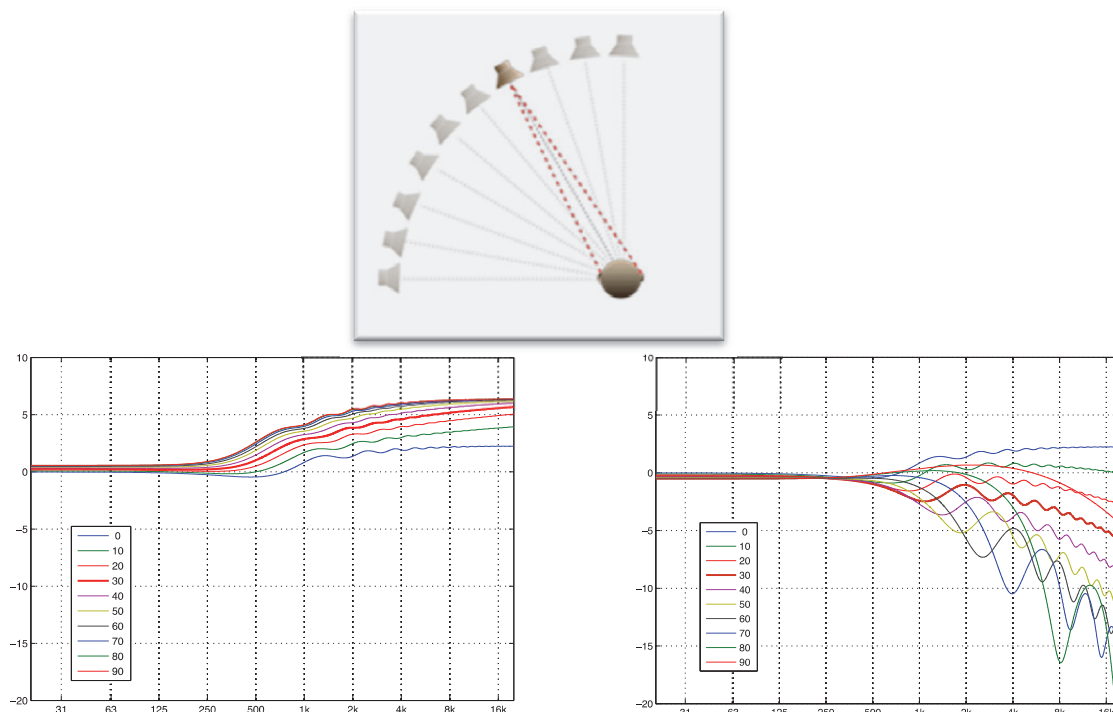


図 7. 頭部を直径 17cm の球として、距離 2m の位置にある音源を仮定した場合の左側の耳の周波数特性（左図）と右耳の周波数特性（右図）。（Duda1998）

6. 実際の作品制作の例

スピーカーのために作られた音と、実際にダミーヘッドで収録した音とはどのような違いがあるのであろうか？ 比較のために、通常のスピーカー聴取を前提した録音と、ダミーヘッドを用いて演奏会場で収録したものとを試聴できるような音源を以下のサイトに、また、スマートホンやタブレットの方のために、QR コードを用意した。（事務局からのお知らせ：著作権処理の関係から現在ストリーミング配信を停止しております。ご了承ください。）

http://www.jas-audio.or.jp/journal-data/201311/1311_01.html

試聴音源は以下のとおり。

- (1) スメタナ作曲 弦楽四重奏「アメリカ」より第 1 楽章（演奏：Quartette Soleil（クアルテット ソレイユ））：通常ミックスバージョン
- (2) 「アメリカ」：ダミーヘッド収録バージョン
- (3) 「アメリカ」：簡易 HRTF 制作バージョン
- (4) 作詞：新居昭乃、作曲：新居昭乃・保刈久明 編曲：保刈久明「スプートニク」（演奏：小田朋美・ピアノ・ボーカル、田中教順・ドラムス）：通常ミックスバージョン
- (5) 「スプートニク」：ダミーヘッド収録バージョン



図8に「アメリカ」の収録時のマイクセッティングを示す。また制作者（著者）がスピーカーでのミキシング時にイメージした音像についても図9に図示する。ここでは、スタジオ内での演奏をメインマイク中心にとらえて、音像の輪郭を出すために楽器ごとのオンマイクを少し足している。ダミーヘッドに関しては、弦楽四重奏の前方に比較的近い位置にセットしたので、左右に配置された第1バイオリン、第2バイオリンの位置が明確に感じられる。また HRTF ミックスについては、スピーカー用に作成された通常のミックスをヘッドホンで聞いた場合に感じる定位の不自然さは解消されているのではないだろうか？

次にもうひとつの音源である「スプートニク」の収録イメージを図11に示す。ピアノ、ドラム、ボーカルを別々に収録し、それらのバランスをミキシングしている。また「スプートニク」のダミーヘッドバージョンは、ピアノ、ドラム、ボーカルそれぞれを個別にダミーヘッドで収録し、それらをヘッドホンでバランスを聞きながらミキシングした。複数のダミーヘッド収録された素材を重ねる試みはなかなか面白い効果が得られるが、遠近感や位置関係は収録時に決まるため、仕上がりの状態を収録前に十分にイメージして音源とダミーヘッドの位置を決める必要がある。

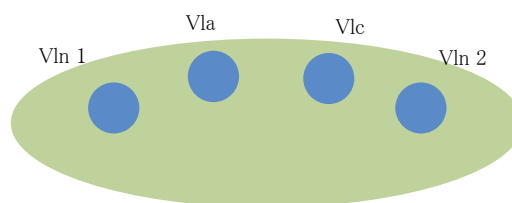
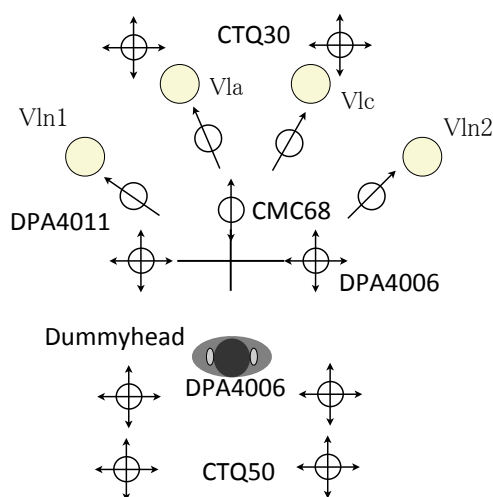


図 8. 弦楽四重奏「アメリカ」の収録時のマイクアレンジ

図 9. 弦楽四重奏「アメリカ」ミキシング時の音のイメージ



図 10. 弦楽四重奏「アメリカ」の収録時風景

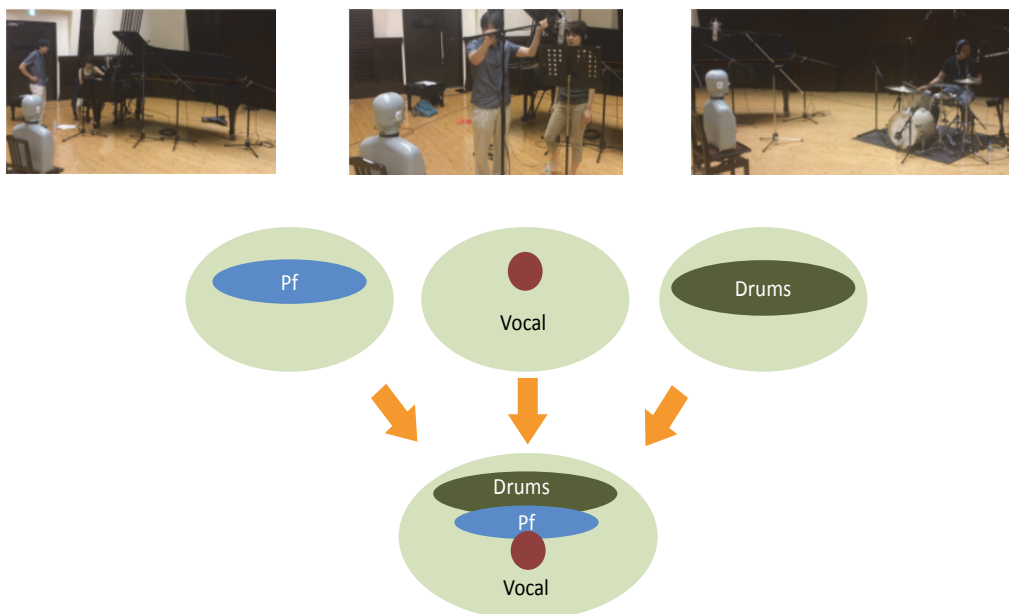


図 11. 「スプートニク」の収録風景とミキシングのイメージ

7. まとめ

ヘッドホン再生における音場について、スピーカー聴取との違いを検討した。聴取実験よりヘッドホン再生時の定位や広がり感は、スピーカー再生に比べて左右にかなり広がっている事が示された。そのためスピーカー再生を前提に作られた音源は、ヘッドホン再生では左右に広がって聞こえる。またヘッドホン再生では中央の音は正面に定位せず、頭の中に定位するように感じる。このような現象を改善するために、ダミーヘッドのような収録方法を用いる方法と、頭部の特性を簡易的に考慮した HRTF を用いる方法を試行した。ヘッドホン再生において、これらの手法はある程度の効果が得られる事がわかったが、実際の作成のためにはまだまだ課題が多いといえる。例えばパンポットやリバーブといった空間を表現するエフェクターについて、ヘッドホンでの聴取を考慮したものは現状ではほとんど見当たらない。

ダミーヘッドや HRTF も、最終的には個人個人の耳の特性との違いが問題になってくる。そこで簡単に自分の HRTF を求める事ができ、また頭部の動きを考慮して HRTF の特性をリアルタイムに変えていくヘッドトラッキング技術を搭載することで、スピーカー用に作られたものをより自然に聞くことができるシステムも提案されている。HRTF の測定方法や頭部の運動に追従する際の反応速度にまだまだ課題があるが、今後の動向に注目したい。

多くの人が日常的にヘッドホン再生で音楽を楽しんでいる現状において、ヘッドホンのためのコンテンツ制作は今後ますます注目されるであろう。一方で高音質配信の普及などで、96kHz や 192kHz 24ビットや DSD といった高音質で 5.1 チャンネルなど作品をスピーカーで聞くといった楽しみ方を好まれるオーディオファンも多い。スピーカーから出てくる音を体全体で音を感じる聴取経験は、ヘッドホン再生には無い楽しみ方であろう。いつでもどこでも手軽に聞けるヘッドホン再生と、音に包まれてじっくり聴くスピーカー再生、どちらも音楽を楽しむ文化として成熟

していくことを期待したい。

【参考文献】

B.C.J.ムーア著、大串健吾監訳「聴覚心理学概論」第6章 誠心書房 1994

J.Blauert “Spatial Hearing”, MIT Press 1997

飯田一博、森本政之編著「空間音響学」日本音響学会編 2010

Richard O. Duda “Range dependence of the response of a spherical head model”, J.ASA 1998

筆者プロフィール



亀川 徹（かめかわ とおる）

1983年九州芸術工科大学音響設計学科卒業後、日本放送協会（NHK）に入局。番組制作業務（音声）に従事し、N響コンサートなどの音楽番組を担当するとともに、ハイビジョンの5.1サラウンドなど新しい録音制作手法の研究に携わる。

2002年10月、東京芸術大学音楽学部就任。音楽環境創造科と大学院音楽文化学専攻音楽音響創造で音響、録音技術について研究指導をおこなう。

AES 本部役員（国際地域担当）、日本音響学会理事、日本音楽知覚認知学会、日本オーディオ協会、日本音楽スタジオ協会会員。