

### 3 次元音場再現が聴取体験にもたらす付加価値の検証

☆小橋宏紀, 小林まおり, 上野佳奈子 (明治大/JST,CREST)

尾本章 (九大・芸工/JST,CREST)

#### 1 はじめに

従来のステレオシステムなどに比べ, 3次元音場再現システムではより実空間に近い状態で音を再現できる。そのため高い臨場感や人の実在感を提供することが期待されている。しかし, 高精細な空間再現性や高い臨場感が音コンテンツの聴取体験にどのような付加価値をもたらすのかは不明である。音響の専門家を対象に予備的検討[1]を行ったところ, 複数の3次元音場の付加価値が示唆され, コンテンツによっても異なることが示唆された。そこで本研究では, 3次元音場再現が聴取体験にもたらす付加価値について明らかにするために, さまざまな年代の被験者を対象とし, 試聴実験を行った。

#### 2 実験システム, 試験音

##### 2.1 実験システム

実験では, 境界音場制御の原理[2]に基づき開発されたシステム[3]を用い, 試験音を作成し呈示した。この音場再現システムでは, (1)原音場内の境界S上で信号を測定する。次に(2)再生音場の伝達関数を測定し, (3)その逆システムを(1)で測定した信号に畳み込む。そして(4)再生音場の境界S'で信号の音圧を原音場Sと同等になるように操作することで, 原音場における領域V内の音場を再生音場V'に再現するというものである。

システムは収録のためのマイクロホン・アレイと, 音場を再現するための音響樽から構成された。前者はC<sub>80</sub>フラウン構造をしたフレームの各頂点に80個の全指向性マイクロホン(DPA-4060BM)を取り付けたものである。後者の音響樽は, 9角形の水平断面で三段構成であった。内部の上中下の各面にそれぞれ3, 4, 3個, 天井に6個のスピーカ(Fostex FZ120), 計96個を取り付け, 吸音材を壁面に充填した。マイクロホン・アレイを境界, その内部の空間を再現領域とした。

##### 2.2 実験条件

実験条件として, 2ch, Valid, Invalidの3条件を設定した。Valid条件ではマイクロホン・アレイで収録した各信号にそれぞれ適切な逆システムを重畳し, 96スピーカで再生した。3条件のうちでもっとも空間再現性が高い条件であった。2ch条件では, マイクロホン・アレイの左右2chで収録した信号をそのまま被験者の前方左右30°に位置する2スピーカで再生した。そのためValid条件と比較して再現される空間の幅が狭いという特徴があった。Invalid条件では各信号に適用する逆システムをランダムに割り当て, 96スピーカで再生した。空間の幅は2ch条件よりも感じられるが, 2chやValid条件に比べ定位感を得られにくいという特徴があった。

##### 2.3 試験音

実験で用いたコンテンツをTable.1に記載する。予備的検討をもとに, 「人や楽器などオブジェクトの情報獲得が重要なコンテンツ」(A~C)「場の情報獲得が重要なコンテンツ」(D~F)「オブジェクト・場の情報獲得が重要なコンテンツ」(G~J)の中から, 楽器演奏や音声など10コンテンツを選択した。また, 予備的検討で得られた意見を元に, 「場」を体験できるコンテンツとして「サウンドスケープのコンテンツ」(K~M)を加え, 計13コンテンツとした。各コンテンツの時間長約1min程度とした。各コンテンツをそれぞれ上述の3再生条件で再生し, 試験音とした。各試験音の音圧レベルは再生システム内の頭部中心位置で原音場と同等になるように設定した。また, 周波数特性(1/1 oct.帯域)はValid条件と同等になるように設定した。

#### 3 実験

##### 3.1 被験者

20代から50代の聴覚正常な成人男女18名(うち女性被験者7名, 平均年齢26.7歳,

\*The added value of a 3-D sound field reproduction in hearing experiences, by KOBASHI, Hiroki, KOBAYASHI, Maori, UENO, Kanako (Meiji University / JST,CREST) and OMOTO, Akira (Faculty of Design, Kyusyu Univ. / JST,CREST).

Table 1 実験で用いた音コンテンツ

No.	内容	再生音圧レベル [dB A]	音源までの距離 [m]
A	会議室で収録した男性2人組の漫才	68.9	0.7~1.2
B	スタジオで収録した女性歌手の歌声	69.5	2~5
C	コンサートホールの客席で収録したヴァイオリンの独奏	70	5
D	能舞台の客席で収録した能	70	6~14
E	多目的ホールで収録した現代電子音楽	75	5~10
F	教会で収録したパイプオルガン	84	22
G	スタジオで収録した女性歌手のライブ音声	72.2	10~13
H	コンサートホールのステージで収録したオーケストラの演奏	82	2~8
I	コンサートホールの客席で収録したオーケストラの演奏	75	15~20
J	リスニングルームで収録したCD音源	72	3.26
K	お寺で収録した声明	63	不明
L	テナントビル4Fのベランダで収録した阿波踊り	85	10
M	森の中で収録したチェロ演奏のCD音源	65	9.422

Table 2 評価項目

No.	質問項目	評価尺度
Q1	音色が	汚い←→美しい
Q2	迫力	物足りない←→ある
Q3	心地よさ	不快←→心地よい
Q4	聞いていて	不安になる←→安心する
Q5	楽しめるか	つまらない←→楽しい
Q6	音源との距離感が	わからない←→わかる
Q7	音の到来方向が	わからない←→わかる
Q8	スピーカが存在を	感じない←→感じる
Q9	その場にいるように	感じない←→感じる
Q10	楽器(人)があたかも そこにある(いる)ように	感じない←→感じる
Q11	音に包まれているように	感じない←→感じる
Q12	空間の広がり	感じない←→感じる

SD±9.70歳)であった。

### 3.2 評価項目

評価項目として、12項目を設定した(Table 2)。音質および3次元音場再現に関する先行研究[4,5]を参考に、Q1~Q10を設定した。また、予備的検討をもとに2項目(Q11~Q12)を加えた。

### 3.3 手続き

被験者は音響樽内の中心の椅子に座し、コンテンツごとに3条件を続けて聴取した。1条件を聴取後、各評価項目に対して5段階で回答した。また、評価できない項目については、できないと回答するよう求めた。すべての評価項目を回答後、次の条件の試験音を呈示した。各コンテンツについて3条件すべての評価終了後、「楽しめた - つまらなかつた」の相対的な評価を、0を「どちらでもない」とし、-100~+100までの数直線上に示させた。全てのコンテンツの評価終了後、インタビューを行った。実験

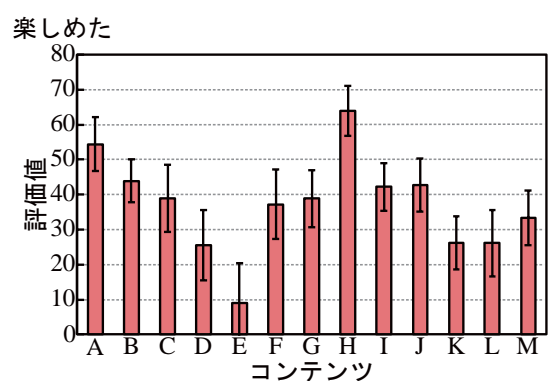


Fig.1 Valid の「楽しめた - つまらなかつた」の平均評価値

には休憩などを含めて2時間程度を要した。

インタビューでは、主に「どの試験音が好きだったか」「どの試験音が嫌いだったか」「楽しめるかどうかの評価基準は何か」「つまらなかつたか、楽しかつたかの相対的な評価の判断基準は何か」を質問した。

## 4 結果, 考察

### 4.1 Valid 条件で評価の高かつたコンテンツ

Valid 条件での「楽しめた - つまらなかつた」の全被験者の平均評価値と標準誤差をコンテンツごとに示す(Fig. 1)。平均評価値は全てのコンテンツにおいて0以上であった。この結果から、今回用いたコンテンツは3次元音場において「楽しめる」コンテンツであったといえる。また、コンテンツ間で評価値を比較すると、A(漫才)とH(ステージでのオーケストラ演奏)の評価値が高かつた。Aについては、インタビューでも「好きかつたコンテンツ」として多くの回答が得られた。

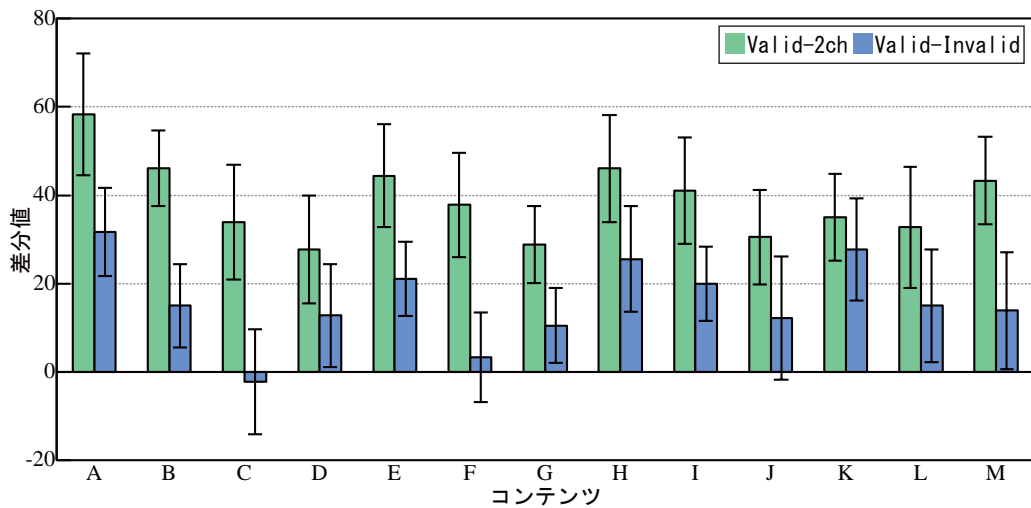


Fig.2 Valid-2ch と Valid-Invalid 評価値の差分

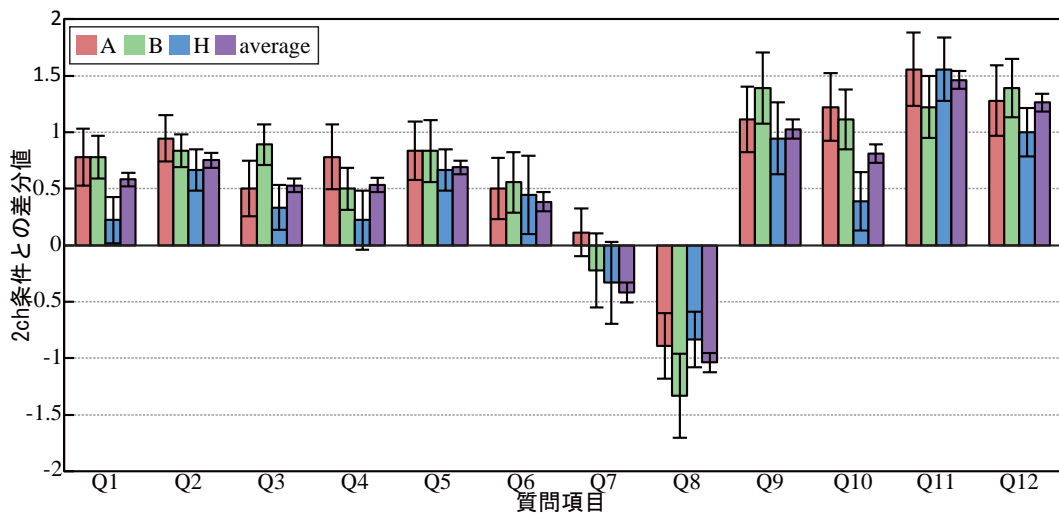


Fig.3 A, B, H, 全コンテンツ平均の各評価項目の Valid-2ch 評価値の差分

#### 4.2 3次元音場再現の付加価値が高いコンテンツ

3次元音場再現の付加価値を検討するために、「楽しかった - つまらなかった」の3条件間の相対的スコアから、valid-2chの差分およびvalid-invalidの差分を算出した (Fig. 2)。その結果、C (ヴァイオリン独奏) 以外の全てのコンテンツにおいて2chおよびinvalid条件に比べてvalid条件での「楽しめた」評価値が増大していることがわかった。この結果は概してどのコンテンツにおいても3次元音場再現の有効性があったことを示す。また、全コンテンツでinvalid条件に比べて2ch条件の方が差分は大きかった。そのため、2chとの比較によって3次元音場再現の価値が明確になると考え、今回の報告では2chとvalid条件間の差について焦点を絞ることとした。コンテンツで差分値はかなり異なることがわかった。

特に A (漫才), B (女性歌手の歌声), E (電子音楽) および H (ステージでのオーケストラ演奏) などの差分値が高く, D (能) や G (ライブ音声) などは低かった。ただし, E (電子音楽) については Valid 条件での評価値自体がそもそも低く (Fig. 1), 3次元音場による付加価値と捉えられるか今後の検討が必要である。

#### 4.3 付加価値を高めた要素

2ch条件とのどのような違いが「楽しめた」評価の増大をもたらしたのか検討するため、全評価項目で2ch-validの差分値をコンテンツごとに算出した。Fig. 3に「楽しめた」評価の差分値が高かった A, B, H および、全コンテンツの平均を示す。全コンテンツの平均を見ると, Q8「スピーカの存在を感じる」で評価値の減少が見られる。また Q9「その場にいるように感じる」, Q11「音に包まれているよう

に感じる」や Q12「空間の広がりを感じる」の評価の増大が認められた。これらのことから「システムを感じさせない」ことや「場の情報の獲得」「場の臨場感」が3次元音場と2ch.条件との違いであると考えられる。

「楽しめた」評価値の増大が大きかった A, B, H に着目すると、全コンテンツの平均と同様に Q9, Q11, Q12 の評価の差分が大きかった。また A, B については Q10「人がそこにいるように感じる」で、全コンテンツの平均に比べ差分が大きかった。この結果は、「場の情報の獲得」や「場の臨場感」ばかりでなく「オブジェクトの実在感」が高まることが「楽しめた」評価の増大をもたらす可能性を示す。加えて実験後のインタビューにおいても、A や B では「相手を目の前に感じられて（面白い）」などの内観が得られた。これらのことから、一般聴取者では「場の臨場感」だけでなく「オブジェクトの実在感」を高めることも3次元音場再現の重要な付加価値となり得ると考えられる。

#### 4.4 音響の専門家との比較

音響の専門家を対象にした予備的検討 [1] では、「その場にいるように感じる」ことを音場再現の付加価値と捉えている人が多く、3次元音場を生かせるコンテンツとして F (パイプオルガン) や H (ステージでのオーケストラ演奏) といった特徴のある音場を挙げている。また A (漫才) を選択する人はおらず、実在感を高めることが必ずしも付加価値にならないと捉えている者もいた。

しかし、一般聴取者を対象にした本実験では Valid と 2 ch 条件の評価値の差は音源が近く、A (漫才) のような「オブジェクトの情報獲得が重要なコンテンツ」において大きかった。加えて D (能), E (電子音楽) といった「場の情報獲得が重要なコンテンツ」での「楽しめる」評価値の差は他のコンテンツと比べても高いわけではなく、音響の専門家と一般聴取者の違いが見られた。

その理由として一般聴取者と音響の専門家での経験の差が考えられる。本実験では「場の情報獲得が重要なコンテンツ」として F (パ

イプオルガン) や D (能) など非日常的な場のコンテンツを多く用いている。一般聴取者はこうした場で試聴した経験が少ないため。「場」を楽しむことにつながらないのではないかと考えられる。加えて、「場」を体験できるコンテンツとして新たに追加した「サウンドスケープのコンテンツ」では、Valid 条件での評価値が他のコンテンツに比べ低い傾向であった。このことから一般聴取者では「場を体験できる」ことよりも「人やものの存在感を感じる」ことが「楽しめる」評価にとって重要である可能性が示唆された。

#### 5 まとめ

本研究では、音響の専門家を対象とした予備的検討の結果をもとに、一般聴取者を対象に実験・インタビューを行い、3次元音場再現が聴取体験にもたらす付加価値について検証した。Valid-2 ch の評価値の差に着目して分析した結果、一般聴取者では「場の臨場感」だけでなく、「オブジェクトの実在感」を高めることも3次元音場再現の重要な付加価値となりうる可能性が示唆された。また、専門家では「場を体験できる」ことが重視されたが、一般聴取者では「近くに人やものの存在感を感じる」ことも重視され、聴取者の属性によって3次元音場の付加価値が異なる可能性が示唆された。

#### 謝辞

コンテンツ収録にご協力を頂いた「音楽を用いた創造・交流活動を支援する聴空間共有システムの開発」(JST/CREST) の関係者各位、また実験にご協力頂いた被験者の皆様に記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 小林ら, 2014 (秋) 音講論, 779-782, 2014.
- [2] 伊勢, 日本音響学会誌, 53(9), 706-713, 1997.
- [3] Ikeda, Ise, *Proc. AES Japan conference*, 2012.
- [4] 安倍ら, 日本音響学会誌, 54(5), 343-350, 1997.
- [5] Guastavino, et al., *J. Acoust.*, 116 (2), 1105-1115, 2004.