



AES Surround Study Group Evaluation Tests Report Part1

Presented at the AES Surround Recording Experiments Project Report
2006-2007 AES Japan.

各種サラウンド・マイクアレイにおける主観評価テスト パート1

コンビネーションアレイにおける フロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの 最適ミキシングレベルについて

Hideo Irimajiri¹, Toru Kamekawa², Atsushi Marui², Akira Omoto³, Hisaharu Suzuki³,
Masamichi Sumitomo³, Mick. M. Sawaguti, Akira Fukada, Hideaki Nishida, Masayuki Mimura,
Koichi Ono, and Satoshi Inoue

¹ Mainichi Broadcasting System, Inc. Osaka, Japan
iririn@mbs.co.jp

² Department of Musical Creativity and the Environment, Faculty of Music,
Tokyo National University of Fine Arts and Music, Tokyo, Japan
kamekawa@ms.geidai.ac.jp
marui@ms.geidai.ac.jp

³ Faculty of Design, Kyushu University, Fukuoka Japan
Omoto@design.kyushu-u.ac.jp

ABSTRACT

Recording sessions of orchestra in a concert hall was held simultaneously using eight frontal microphone arrays, seven rear microphone arrays and thirty-six spot microphones. The comparison of these microphone techniques to find the highly preferred scale in subjective listening test by seven experienced sound engineers was attempted. The result of the experiments led to make a following hypothesis: the most preferred values of the ambience microphone arrays to the front microphone arrays with the fixed levels will be possibly decided according to common preferences of sound engineers. The estimated scores were around 1dB in dispersion and -6 ± 2 dB in average. Furthermore, the related study of the C-value which means an energy ratio of direct sounds vs reverberation to each microphone techniques was examined. The hypothetical C-value was the index for the most preferred mixings on the ambience microphone arrays to the frontal microphone arrays.

1. はじめに

AES Japanでは2005年の暮れにAESサラウンド研究グループを組織した。各種サラウンド・マイクアレイの検証をするため大阪フィルハーモニー管弦楽団を起用し、コンサートホールにおけるサラウンド実験収録を2006年9月26日から27

日にかけて行った。収録は同一ホールにおける同一パフォーマンスを、各種マイクロフォンアレイについて同時にマルチチャンネル収録し、その結果、容易に各種マイクアレイの同一環境における精密な比較検討が行なえるようになった。また、それらマイクアレイの検証を行うため主観評価実験を予定しているが、そ

のための音源作成に必要なフロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを求めた。

2. 収録

2.1. 収録場所

収録は大阪に立地するクラシック専用のホール、「ザ・シンフォニーホール」で行なった。



Photo1.1 Evening view of The Symphony Hall

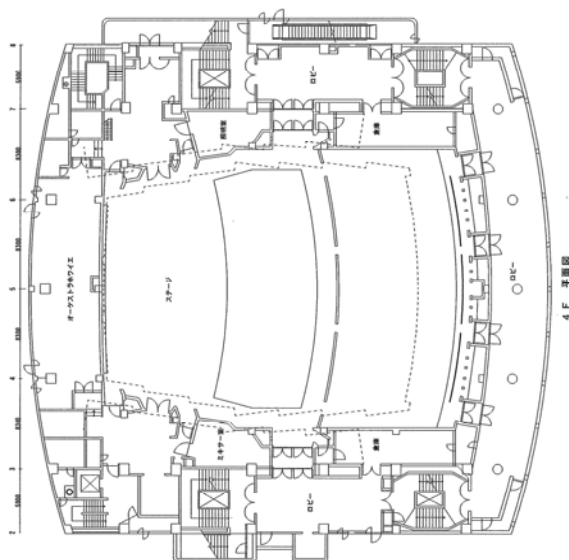


Fig.1.1 Floor plan of The Symphony Hall

ザ・シンフォニーホールは、1982年に朝日放送の創立30周年の記念事業として建築された客席満席時「残響2秒」を誇るクラシック音楽専

用のホールで、石井聖光の音響設計のもと大成建設によって施工された。

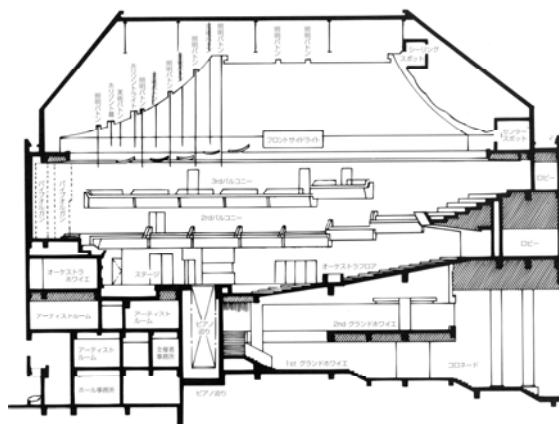


Fig.1.2 Cross section of The Symphony Hall

ホールの平面図、断面図をFig.1.1,1.2に示す。ホール1階席床面から天井までの平均高さは20.7m、ステージ後壁から1階席後方壁までの距離が約35m、ステージ先端から各階後壁までの平均距離は28.3m、1階席の側壁間の距離は平均31.7mである。また、舞台は幅約24m、奥行きは約12mとなっている。なお、収容人員は1,854名である。



Photo.1.2 Stage view from Audience Seat

2.2. 演奏

「現田茂夫」氏を指揮者に迎えた大阪フィルハーモニーオーケストラによる演奏を、2006年9月26-27日の2日間、セッション録音した。

2.3. 収録曲

オーケストラの規模としての大中小、バリエーション、サラウンド的演出、等を考慮し次の3曲を選曲した。

- 1)レスピーギ 交響詩「ローマの松」
Pines of Rome Ottorino Respighi
- 2)ベートーヴェン 「ウエリントンの勝利」
Wellington's Victory Ludwig van Beethoven
- 3)モーツァルト 「フィガロの結婚」序曲
"Overture" The Marriage of Figaro
Wolfgang Amadeus Mozart

1)の「ローマの松」は非常に多くのオーケストレーション要素を含んでおり、色々な評価実験に用いる事の出来る曲である。第1楽章はダブルベースをはじめとする低音楽器が無い為、全指向性マイクロフォンと単一指向性マイクロフォンの低域特性の差による影響を受けにくい音源として、主観評価に向く。第2楽章はオルガンの重低音がLFEの実験に適している。第3楽章は様々な楽器によるソロ演奏が、楽器定位を評価するのに向いている。第4楽章は客席後方にバンダ（ファンファーレ隊）が配置されていて、サラウンドの包まれ感や迫力の評価に適している。

2)の「ウエリントンの勝利」は、楽器の配置がサラウンド演出に適していた。ベートーヴェン自身が演出について書き残している様に、英軍と仏軍に扮した2つの吹奏楽隊をオーケストラと別場所に配置する。今回の録音では英軍を客席後方の下手側、仏軍をステージ奥の2階席の上手に配置し、リスナーを囲むように演出した。

3)の「フィガロの結婚」序曲は、オーケストラの基本要素が凝縮されており、音色判定などに適している。

2.4. 収録

Fig. 2.1はマイク配置概略図で、図中のグリッドは5mとなっている。収録に用いたマイクアレイは、サラウンド録音専用に考案された5種類のサラウンド・マイクアレイ、従来のステレオ・マイクアレイを変形した3種類のフロント・マイクアレイ、及び7種類のアンビエンス・マイクアレイ

レイで、さらにスポットマイクを36本を追加し、合計98本のマイクロフォンによって "Pro Tools HD3" というDAWに記録した。

なお、以後の図中に示される「Orchestra Front Line」はオーケストラの最前列を示しており（大阪フィルハーモニーの場合は第1バイオリンとヴィオラが最前列に当たる）、その延長線は指揮台の中央を通る。そこで指揮台中央を基準点とし、距離計測を行なった。

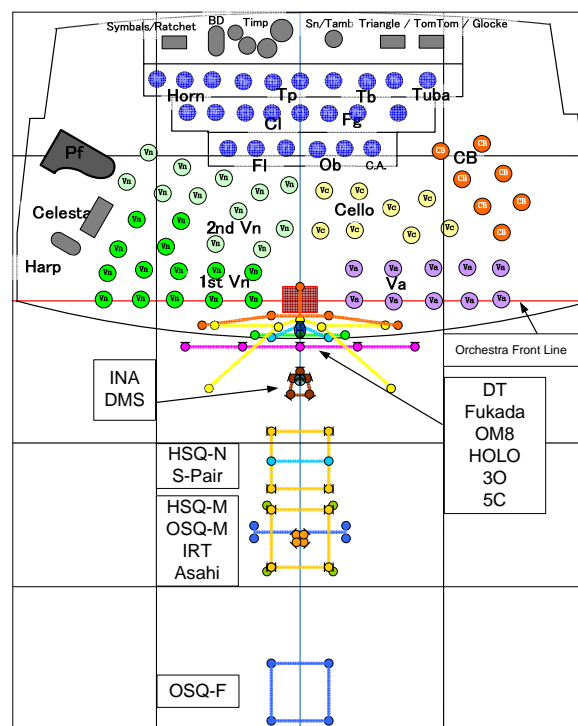


Fig.2.1 Layout of the microphone arrays

2.4.1. The Surround Sound Microphone Arrays

サラウンド収録を前提に考案されたマイクアレイ。次の5種類を今回の収録に用いた。

- 1)Fukada Tree (以下 Fukada)

Fig. 2.2に示される「深田ツリー」は、もともとL、C、R、Ls、Rsの5本の単一指向性マイクロフォン、及びLL、RRの2本の全指向性マイクロフォンで構成される。しかし今回の収録では考案者によって、低音域のス

ケール感を出す為、L、C、R、Ls、Rsの5本についても全指向性マイクが使用された。前方マイクについては高域指向性を考慮して水平角を決定、後方マイクについては「クーゲル」と呼ばれる物理的な音響イコライザ一体を用いて中高域での指向性を鋭くし、前後のセパレーションを確保している。

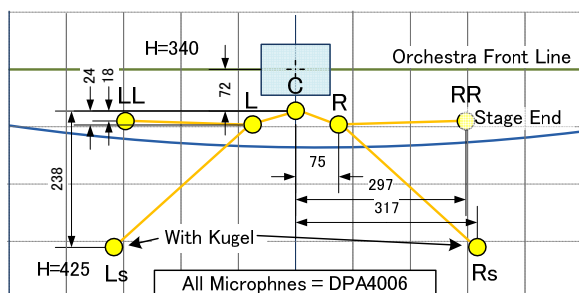


Fig. 2.2 Configuration of "Fukada Tree"

- 2) INA-5 (Ideale Nierenanordnung 5, = Ideal Cardioid Arrangement、以下 INA)

Fig. 2.3で示される“INA5”は理想単一指向性マイクアレイと呼ばれる。このマイクアレイでは360° 全ての方向に対しての再現性を確保するためにマイクロフォンの位置関係が決定されている。

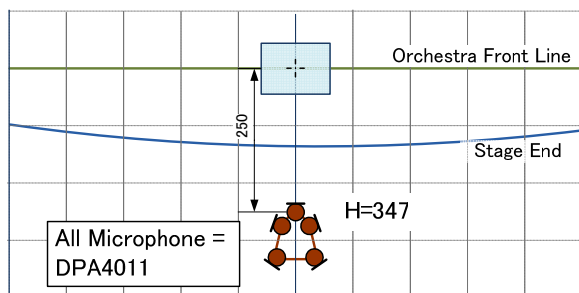


Fig. 2.3 Configuration of "INA-5"

オリジナルではフロント3chのレコーディング・アングルが180°と想定されているが、今回の収録ではオーケストラから離して設置ため、レコーディングアングルが150°程度となった。Williams[8]の資料などを参考にマイクロフォンの位置関係を若干変更した。詳細配置をFig. 2.4に示す。

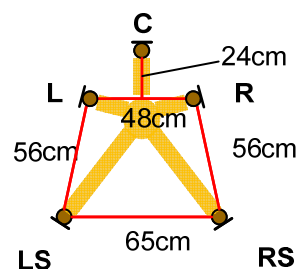


Fig. 2.4 Enlargement of "INA-5"

- 3) Omni8 (Omni directional microphones & figure of 8 microphone、以下OM8)

Fig. 2.5に示される“Omni8”と呼ばれるサラウンド・マイクアレイは、東京芸大の亀川氏の考案した2本の全指向性マイクロフォンと1本の双指向性マイクロフォンをフロント・アレイに、2本の全指向性、または単一指向性マイクロフォンをペア・アンビエンスマイクとしてリア側に配置した方式。フロントとリアの間隔は数メートル。今回はペア・アンビエンスに全指向性マイクロフォンを用いた。

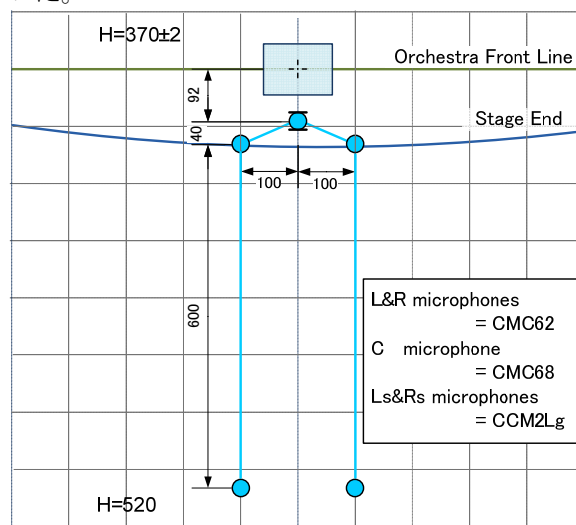


Fig. 2.5 Configuration of "Omni8"

なお、アンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを求める実験において、OM8のフロント部分を使用した。

- 4) Double MS (以下 DMS)

Fig.2.6.はMS方式をリア側にも拡張した方

式。前方向と後ろ方向へ指向性を向けた2つの単一指向性マイクロフォン(Mfront、Mrear以下Mf、Mr)と左右に指向性を向けた1つの双指向性マイクロフォン(S)を各々次式の様にMSデコードする事によりL、R、Ls、Rsの4chの信号成分を得る。(式中の-は逆相を示す)

- L = Mf + S;
- R = Mf - S;
- LS = Mr + S;
- RS = Mr - S;

今回の実験では上記のような4chデコードを用いたが、Schoepsは5.1(5ch)へのデコードを推奨している。実験計画時にこの方式が未発表であった事、収録実験間に情報がもたらされたが実績が無い事を理由にこのデコード方の使用を見送ったが、今回の主観評価実験についても5chデコード法を用いれば結果が異なる可能性を考慮いただきたい。詳細は文献[9]を参照されたい。また、これらの処理を簡略化する為のフリーVSTプラグインが次のULRで入手できる。

[http:// www.schoeps.de/dmsplugin.html](http://www.schoeps.de/dmsplugin.html)

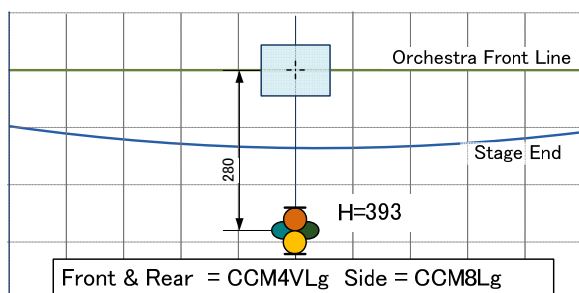


Fig. 2.6 Configuration of “Double MS”

- 5) Holophone H2-Pro (以下 HOLO)

Fig.2.7はRising Sun Productions Ltdにより開発されたHolophone H2-Pro。フットボール型の筐体に8つのマイクを埋め込み、7.1サラウンドまで対応できる、ワンポイント・サラウンドマイク。

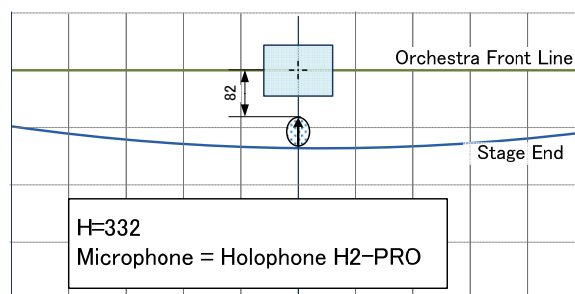


Fig. 2.7 Configuration of “Holophone H2-Pro”

2.5. Front Microphone Arrays

従来のステレオ録音用のマイクアレイを変形し、フロント・マイクアレイを構成したもの。次の3種類を今回の収録に用いた。

- 6) Decca Tree (以下DT)

Fig.2.8は英国のDeccaレコードの技術者が1950年代に考案した全指向性マイクロフォン3本を三角形に配置する方式。通常、さらに2本の離れたLRのマイクロフォンをサブマイクロフォンとして使用する。本来センターマイクをステレオ空間のファントムイメージとするが、サラウンドとして用いる場合はCチャンネルへ接続する。

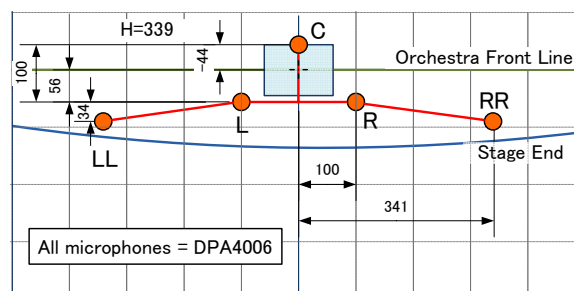


Fig. 2.8 Configuration of “Decca Tree”

- 7) 3 Omni Three Omni directional microphones (以下3O)

Fig.2.9は全指向性マイク3本を直線上に配する方式。この方式についてもデッカツリーと同様にセンターマイクをステレオ空間のファントムイメージとするが、サラウンドとして用いる場合はCチャンネルへ接続する。

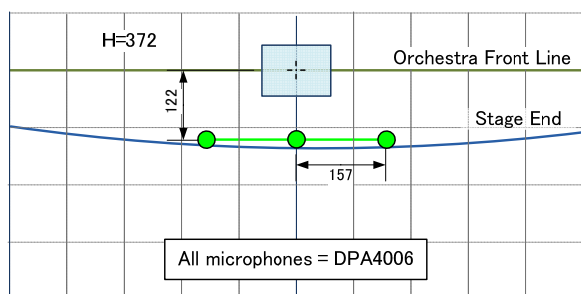


Fig. 2.9 Configuration of "Three Omni directional microphones"

- 8) 5 Cardioids (以下5C)

Fig.2.10は単一指向性マイク5本を2m間隔で直線上に配する方式。LマイクとRマイクはゲインをそれぞれ3dB下げてLLとC、CとRRに供給する。

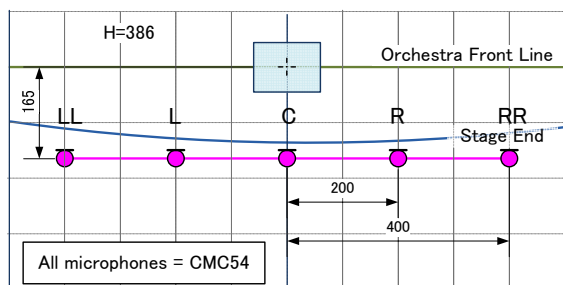


Fig. 2.10 Configuration of "5 Cardioid microphones"

2.6. Ambience Microphone Arrays

残響を収録するために使用するマイクをアンビエンス・マイクと言い、特にサラウンド収録に適すように4本のマイクロフォンを4角形状に配置したアレイをスクエア・アレイと呼ぶ。2本のマイクロフォンをリア用として使用するケースもある。次の7種類を今回の収録に用いた。

- 1) Hamasaki-Square in zone 1
(以下 HSQ-N(ear))

Fig. 2.11にHSQ-Nで示した、双指向性マイクロフォン4本を、指向性のヌルポイントをステージ側に、指向性の+側を外側(側壁)に向けて、1辺が2-3mの正方形に配す方式。今回の収録ではマイク間隔を2m、指揮台

中央からスクエアの中心までの距離を5.6mに設定した。

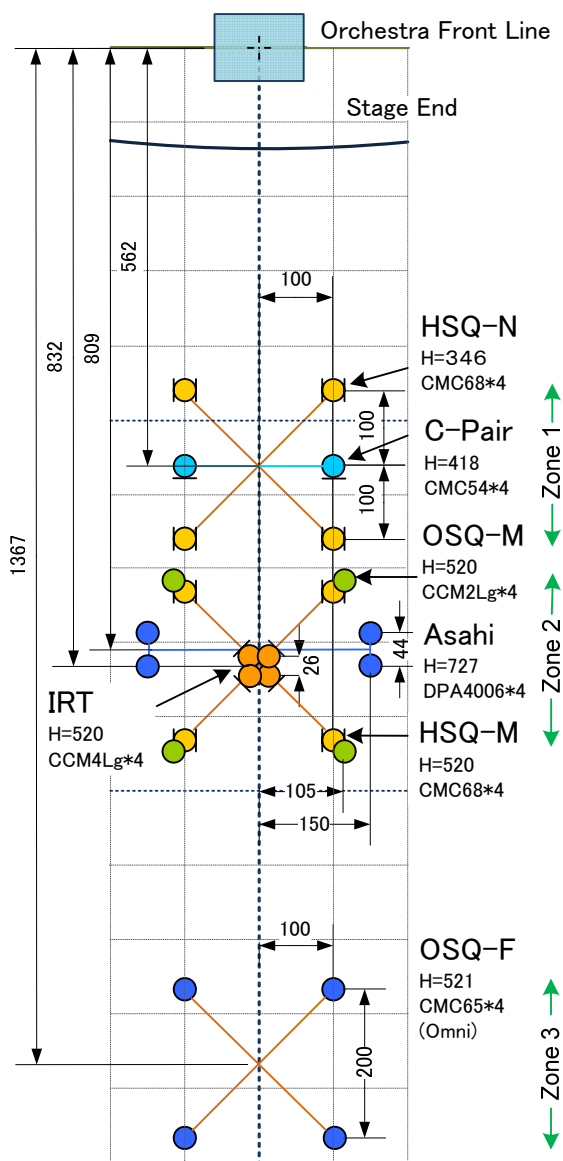


Fig. 2.11 Configuration of "7 Ambience Microphone Arrays"

- 2) Hamasaki-Square in zone 2
(以下 HSQ-M(idle))

Fig. 2.11にHSQ-Mで示した、1)と同様の方式。マイク間隔を2m、指揮台中央からスクエアの中心までの距離を8.3mに設定した。

- 3) IRT cross (以下 IRT)

Fig. 2.11にIRTで示した、単一指向性マイクロフォン4本を90度毎に外向きに25cm角の正方形に配す方式。指揮台中央からスクエアの中心までの距離を8.3mに設定した。

- 4) Omni Square in zone 2
(以下 OSQ-M(idle))

Fig. 2.11にOSQ-Mで示された、無指向性マイクロフォン4本を1辺2mの正方形にマイクカプセルを下向きにして配す方式。指揮台からスクエアの中心までの距離を8.3mに設定。

- 5) Omni Square in zone 3
(以下 OSQ-F(ar))

Fig. 2.11にOSQ-Fで示された、4)と同様の方式。指揮台中央からスクエアの中心までの距離を13.7mに設定。

- 6) Asahi-Method (以下Asahi)

Fig. 2.11にAsahiで示された、朝日放送が考案した方式。1本のバーに取り付けられ、バーの前後に全指向性マイクを前向き、後ろ向きに取り付け、左右の間隔を3mとしたもの。マイクの前後間隔は44cm。指揮台中央からバーまでの距離を8.1mに設定。

- 7) Cardioid Pair (以下C-Pair)

Fig. 2.11にC-Pairで示された、後ろ向きの単一指向性マイクロフォンを用い、左右の間隔を2mのA-B方式とした方式。(ウエリントンの勝利のみ)。指揮台中央からの距離を5.6mに設定。

3. 主観評価実験 1

3.1. はじめに

オーケストラのサラウンド収録におけるマイク・アレイ法は大きく分けて2種類のアプローチがある。一つはサラウンド専用設計されたマイクアレイによる方法であり、もう一つは従来のステレオ録音を変形したフロント・マイクアレイとホールの響きの集音用に設けられたア

ンビエンス・マイクアレイを組み合わせた方法である。後者をコンビネーションアレイと呼ぶ事とした。

この主観評価実験ではコンビネーションアレイを対象とし、AESサラウンド収録実験で収録された素材音源を用い、フロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを調査した。

実験は東京芸術大学の所有する、ITU-R BS.775-1の再生環境規定を満足する音響制作スタジオで行った。豊富なサラウンドミキシング経験を有する7名のオーディオエンジニアを被験者とし、2006年12月14-15日に主観評価実験を行なった。

3.2. ラウドネスマッチング

まず最初に3名のオーディオエンジニアの聴覚テストによるラウドネスマッチングを実施した。音源は、予めステージ奥の充分距離のある位置(指揮台中央から6m奥)に12面体全指向性スピーカーを置き、ピンクノイズを再生させて全てのマイクの音声信号をマルチ収録したものである。マルチ収録した個々のチャンネルのラウドネスについて、30のセンターチャンネルを基準とし、他の各々のチャンネルのラウドネスマッチングを行った。なお、再生時にマイクロフォンの種類による音質差の影響を抑えるため、バンドパスフィルタにより周波数帯域を250~4kHzに制限して実験を行った。

ラウドネスマッチングの結果、3名のオーディオエンジニアのバラツキは±0.5dBと少ない事を確認し、ラウドネスマッチングの値は3人の平均値を採用した。

3.3. 各アレイにおける各々のマイクロフォンのレベルバランス

次の3つのレベルバランスについても実際の素材音源を聴取しながら調整したが、聴取に当たった7名のエンジニアが最適と思うレベルにバラツキはあまりなく、合意の元にレベルバランスを決める事ができた。

- 1) DT、30、5C、OM8のフロントアレイ部分、およびFukada、(本実験には使用しない)について、各マイクロフォンの最適バ

ランスを決めた。各アレイのLRマイクロフォンのレベルを基準に、センターマイクロフォン、リアマイクロフォン、サブマイクロフォンのレベルを決定した。Table3.1はその値を曲別に示したものである。

- 2) アンビエンス・マイクアレイの4本のマイクロフォンの最適バランスは、各マイクロフォンのレベルが同一で問題ない事を確認した。
- 3) 各マイクアレイ間のラウドネスマッチングを行った。DTを基準に3.2と同様の方法で決定した。

Table.3.1 Adjustment of Sound Level of microphones in each array (dB)

Array	CH	Roma	Wellington	Figaro	Toccatà
DeccaTree	LL	-6	-6	-6	-6
	L	0	0	0	0
	C	-3	-3	-3	-3
	R	0	0	0	0
	RR	-6	-6	-6	-6
FukadaTree	LL	-6	-6	-6	-6
	L	0	0	0	0
	C	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5
	R	0	0	0	0
	RR	-6	-6	-6	-6
	SL	-4	-6	-4	-2
SR	-4	-6	-4	-2	
3 Omni	LL	0	0	0	0
	C	-1	-1	-1	-1
	RR	0	0	0	0
Omni & 8	L	0	0	0	0
	C	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	R	0	0	0	0

注) ここでC-Pairは後方の2本のスピーカーのみから再生されるため、他の4本のスピーカーから再生される場合に比べ、1チャンネル当りの再生レベルが約3dB上昇する。5Cについては文献にあるように各マイクの音量を同一とした。また、これらのラウドネスマッチングのため複雑となったレベル関係を単純化するため、各チャンネルのフェーダーが“0”の位置となる様にPro Tools上のオーディオファイルをゲイン変換しながら書き換えた。

3.4. 使用曲

使用した曲は、「ローマの松」から1楽章、

「ウエリントンの勝利」から2楽章、「フィガロの結婚序曲」の3曲。「トッカータとフーガ」は時間の関係でDTのみ実験を行なったが、データが不完全であるため集計から除外した。

3.5. 再生レベル

オーケストラのようにダイナミックレンジの大きい音源は再生レベルを決定しにくい。今回は最も音量が大きくなる「ローマの松」の終楽章において、DTのセンターチャンネルでの最大ピークレベルが-3dBFS程度であることを確認した。その部分を再生し被験者となる7名のエンジニアの合意の元にモニターボリュームを決めた。同じモニターボリュームの位置で、ピンクノイズを0VUに調整して再生した所、再生音圧レベルは85dB SPL/chであった。主観評価実験はこのモニターボリュームで行った。

3.6. 手順

この実験では、まず各アレイのフェーダーをD-COMMANDと呼ばれるPro Toolsのコントロールサーフェースに配置し、フロント・マイクアレイのフェーダーを“0”の位置に固定した。次に7名のエンジニアがITU-R BS.775-1の条件を満たしたスイートスポットに1名ずつ交代に着席し、音楽を聴取しながらアンビエンス・マイクアレイのフェーダーを最適と思う位置に調整した。

3.4で示される各々の曲について、4つのフロント・マイクアレイ方式に対する6つ(ウエリントンの勝利のみ7つ)のアンビエンス・マイクアレイについて実験した。調整されたフェーダー値は、アンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルとして、Pro Toolsのミキサー画面よりdBスケールで小数点1桁まで読み取った。

3.7. 実験結果と分析

前項で得られたデータはサンプル数が7個と少ないため、その中から最大のもので最小のものを除外した残りの5サンプルでの標本平均を計算した。この時t分布による信頼区間を計算した結果、その値は5サンプルでも充分小さかった。すなわち、各エンジニアの判断のばらつきが少なく、共通の価値観によって音決めすることを示唆したと言える。

3.7.1. フロント・マイクアレイ別の集計

Fig.3.1-3.3 は曲別に各フロント・マイクアレイ毎のアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを表したものである。

各マイクアレイの L、R のマイクロフォン位置を基準とすれば、3O、OM8、5C の 3 つのアレイは Orchestra Front Line からの距離は 1.2~1.6m の近接した範囲に置かれている。また 3O、OM8、5C はそれぞれ全指向性、全指向性+双指向性、単一指向性マイクで構成されている。指向性パターンを考えると 3O>OM8>5C の順に、含まれる残響音成分が少ないと推察できる。

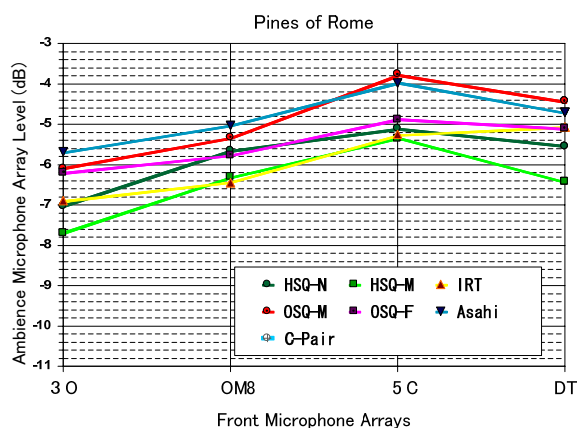


Fig.3.1 Preferable Levels of Ambience Arrays on "Pines of Roma"

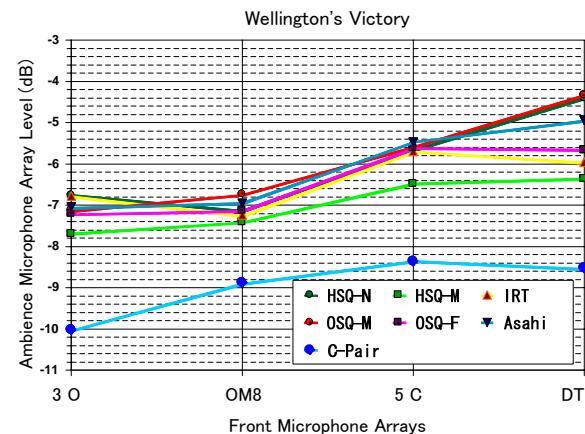


Fig.3.2 Preferable Ambience Array on "Wellington's Victory"

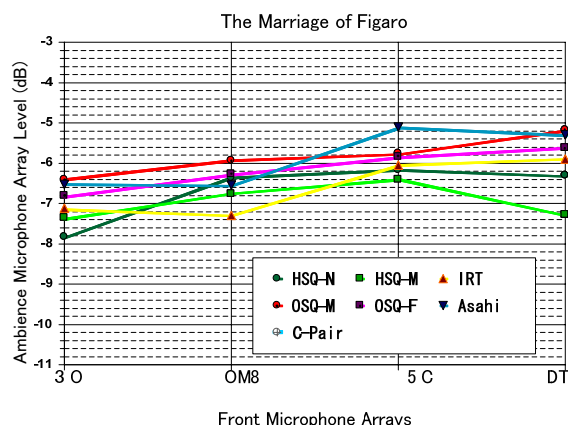


Fig.3.3 Preferable Levels of Ambience Array on "The Marriage of Figaro"

一方 DT は Orchestra Front Line からの距離は 0.5m で、他の 3 つのアレイに比べオーケストラとの距離が短い。従って同じ全指向性マイクロフォンを使用している 3O に比べると残響音成分が少ないと推察できる。

Fig.3.1~3.3 を見ると最適ミキシング値は、3O<OM8<5C となる。フロント・マイクアレイへの残響音成分の含まれ方は 3O>OM8>5C と推測されるので、ちょうど残響成分を補完するようにアンビエンス・マイクアレイのレベルを大きくしたと考えられる。DT と 3O を比較しても同様の事が言える。

Fig.3.2 より、C-Pair の最適ミキシングレベルが概ね 3dB 下がっている事が判る。3.2 の注) に述べた、C-Pair のリアスピーカーからの再生レベルが他よりも 3dB 大きいと言う推察に関連するかも知れない。

また、C-Pair を除けば、各フロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルの偏差は約 2dB 程度である事が判る。

3.7.2. アンビエンス・マイクアレイ別の集計

Fig.3.4-3.7 は曲別に各アンビエンス・マイクアレイ毎の最適ミキシングレベルレベルである。グラフから、5C、DT と 3O、OM8 の 2 グループに分けられる事が判る。

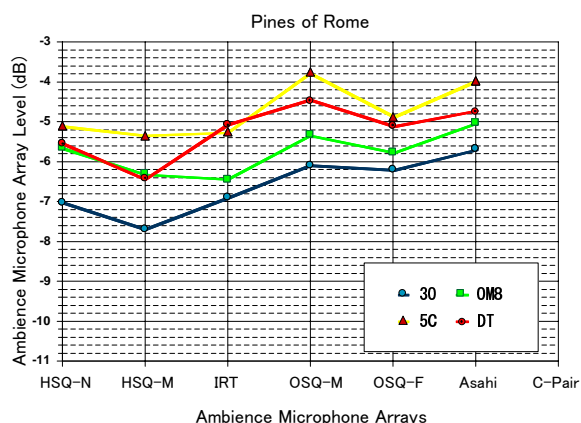


Fig.3.4 Preferable Levels of Ambience Arrays on "Pine of Roma"

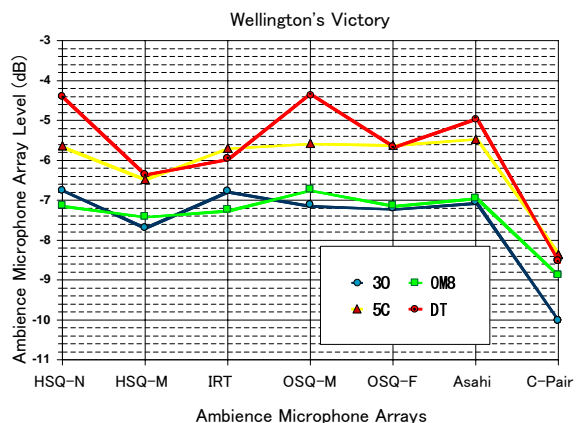


Fig.3.5 Preferable Levels of Ambience Arrays on "Wellington's Victory"

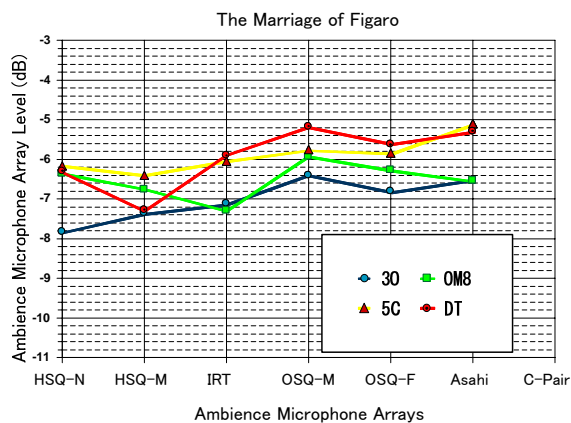


Fig.3.6 Preferable Levels of Ambience Arrays on "The Marriage of Figaro"

レベルを表したものである。曲別の結果を見ると、曲によるアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルの偏差が比較的少ないことが判る。OM8 と Asahi、5C と OSQ-M、DT と HSQ-N という組み合わせを除けば、ほぼ 1.5dB に収まっており、曲が変わった事に対する最適ミキシングレベルの変化は少ないと考えられる。また、HSQ-M、IRT、OSQ-M という同距離におかれた 3 つのアンビエンス・マイクアレイを比べると、最適ミキシングレベルは HSQ-M < IRT < OSQ-M となる。それらマイクロフォンの指向性パターンから考えたカバーエリアは HSQ-M < IRT < OSQ-M と広がっており、何らかの関連性があるのか検討する必要がある。

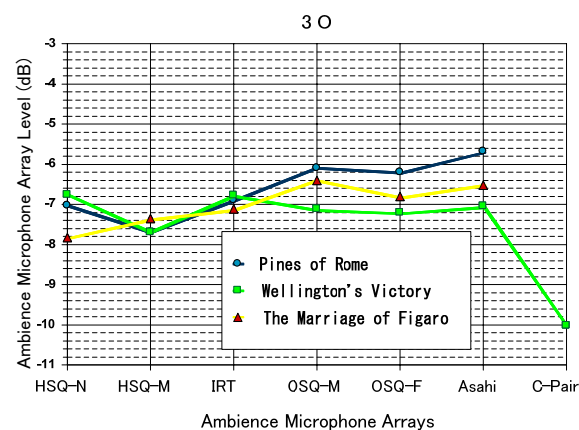


Fig.3.7 Preferable Ambience array levels on "3 O"

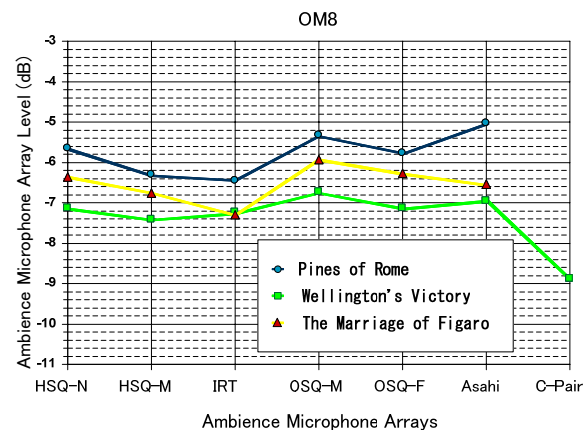


Fig.3.8 Preferable Ambience array levels on "OM8"

3.7.3. 曲別の集計

Fig.3.8-3.10 はフロント・マイクアレイ別にアンビエンス・マイクアレイ毎の最適ミキシング

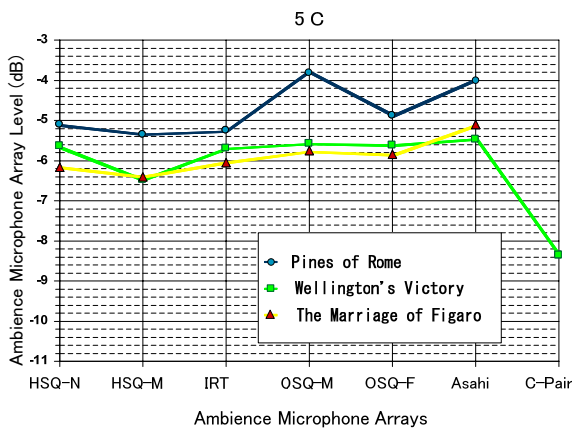


Fig.3.9 Preferable Ambience array levels on "5 C"

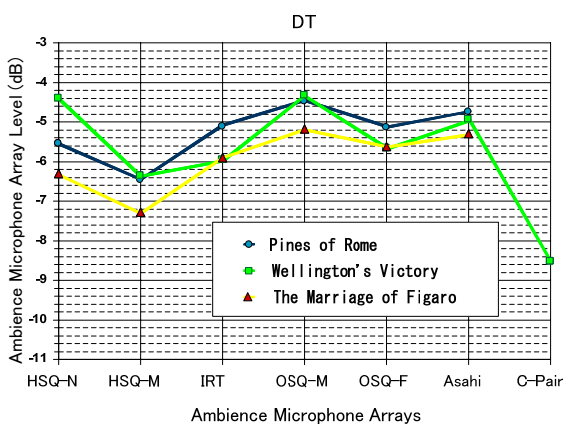


Fig.3.10 Preferable Ambience array levels on "DT"

は DT と同じくらいに聴こえた。その理由は 5C が単一指向性のためと考えられる。3O と OM8 を聴き比べると残響音成分の含まれ方は同程度に聞こえた。

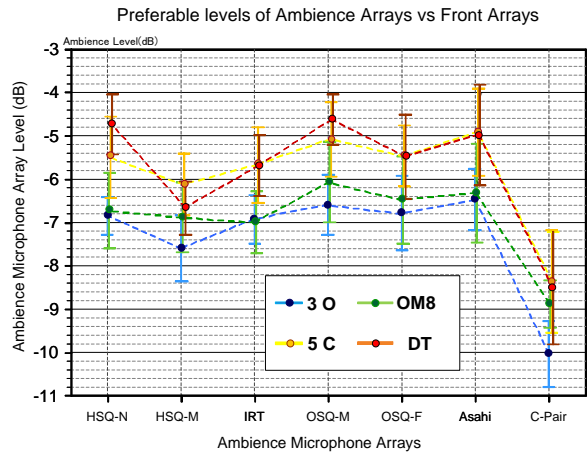


Fig.3.11 Preferable Ambience array levels vs Front arrays

これらを考え合わせると、全体の残響成分が同程度となるようにアンビエンス・マイクアレイを調整している可能性がある。またフロント・マイクアレイに対する最適なアンビエンス・マイクアレイのレベルはフロント・マイクアレイの音声レベルを 0dB とすれば -6 ± 2 dB と云える。(但し C-Pair を除く。) この値はサラウンド・レコーディングを行う上での目安と出来るであろう。

3.8. 考察

3.7.3 で述べた様に、「曲」の編成やテンポ、ダイナミズムと言った要素の違いがフロント・マイクアレイとアンビエンス・マイクアレイのミキシングへ与える影響は小さいと考えられる。そこで 3 曲の平均を算出するため、改めて大元のデータから平均と標準偏差を計算した。なお 3.7 で述べた上下 2 つのデータは除外したままであり、計 15 サンプルのデータにより計算した。Fig.3.11、Table.3.2 にその計算結果を示す。図中の縦棒はヤードスティックと呼び、t 分布における 95%信頼区間を示している。

Fig.3.11 より、アンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルの傾向が DT 及び 5C の組と 3O 及び OM8 の組に大きく分けられる事が判った。フロント・マイクアレイの音を単独で聴くと、5C は DT よりも音源からの距離が離れているにもかかわらず、残響音成分の含まれ方

Table.3.2 フロント・マイクアレイに対する各アンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベル及び95%信頼区間

		Frontal	3O	DT	5C	OM8
HSQ-N	Ave.		-6.84	-4.73	-5.49	-6.71
	Con.int		0.43	0.69	0.95	0.87
HSQ-M	Ave.		-7.59	-6.66	-6.11	-6.88
	Con.int		0.77	0.62	0.72	0.81
IRT	Ave.		-6.92	-5.69	-5.67	-6.99
	Con.int		0.56	0.71	0.87	0.72
OSQ-M	Ave.		-6.58	-4.62	-5.07	-6.07
	Con.int		0.69	0.58	0.87	0.93
OSQ-F	Ave.		-6.77	-5.48	-5.46	-6.47
	Con.int		0.86	0.97	0.70	1.00
Asahi	Ave.		-6.46	-4.98	-4.90	-6.32
	Con.int		0.70	1.16	1.01	1.14
C-Pair	Ave.		-10.02	-8.52	-8.36	-8.88
	Con.int		0.76	1.30	1.18	0.55
Front of OSQ-M			-	-	-	-4.00

※Table.3.2 に橙色で示される組み合わせは、今後の主観評価実験に用いる組み合わせを示している。また、OM8 について各々のアンビエンス・マイクアレイとの最適ミキシングレベルを導いたが、OM8 に組み合わせるアンビエンス・マイクアレイはペアマイクを前提としており、考案者より OSQ-M のフロント側の 2 本のマイクロフォンをアンビエンスペア（リア側として）として代用する事が決定された。またその最適ミキシングレベルは考案者により -4dB と決められた。

4. インパルスレスポンス測定とC値

4.1. インパルスレスポンス測定

収録実験時に九州大学の音響設計学科チームによるインパルスレスポンス測定が行なわれた。インパルスレスポンスより求められる C 値とは Reverberation（残響）と Direct（直接音）とのエネルギー比（R/D 比）を対数軸で表したもので、値が大きいほど直接音のエネルギーが大きい。ここでは C 値と最適ミキシングレベルの間に何らかの関係があるかどうか考察した。

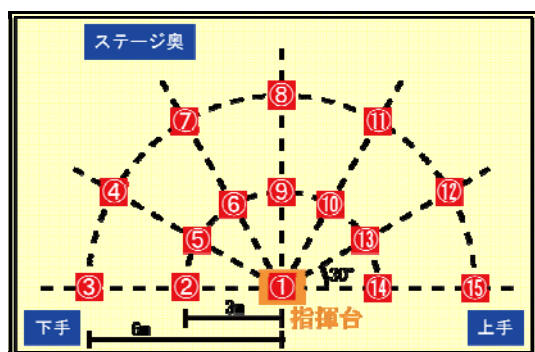


Fig.4.1 ホール内音源スピーカー設置地点

Swept Sine と呼ばれる音源信号（インパルス信号を時間軸上で引き伸ばした性質を持つスイープ信号で、これをスピーカーから放射し、マイクロフォンで収録後、信号の逆特性を畳み込むことによってインパルス応答を算出する。）を用いホール内に設置した 12 面体スピーカーにより再生し、実際にオーケストラ収録に用いた全てのマイクロフォンで収録を行ない、それをもとにインパルスレスポンスを計算した。Fig.4.1 は 12 面体スピーカーを設置した場所で 15 箇所のインパルスレスポンスを測定した。本検討に

用いる音源位置は、ほぼ弦楽器セクションの中央となる⑨の位置を用いた。

4.2. C値とアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルとの関係

インパルスレスポンス $p(t)$ から式(1)により C 値を計算することができる。

$$C_{te} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{te} p^2(t) dt}{\int_{te}^{\infty} p^2(t) dt} \dots\dots (1)$$

ここで、5.0 サラウンド信号の C 値を求めるために各チャンネルのインパルス波形をモノ・ダウンミックスする必要があるが、ITU-R BS.1770 に示されるラウドネスメータのアルゴリズムに従って各チャンネルを係数 1 でダウンミックスして合成インパルス波形とした。また、時間軸について音源位置⑨から最初に音が到達するマイクは各アレイともセンターマイクロフォンなので、センターチャンネルに最初に信号が現れた時点を $t=0$ にとった。

次に、一般に連続する 2 つのパルス性の音を聴くとき、2 つの音として弁別できる時間は 30ms と言われており、この時間より離れた 2 音は分離して認知される事が知られている。そこで本考察では式 (1) の t_e を 30ms に設定した。この時の C 値は C_{30} で表される。また、C 値を計算する場合、周波数帯域を分けて分析する方法が一般的である。そこで中心周波数、500Hz, 1kHz, 2kHz のオクターブバンド帯域についてそれぞれ C_{30} を算出し、さらにそれらの平均を計算する方法を取った。

4.3. 考察

Fig.4.2 に計算結果を示す。全ての組み合わせにおいて、 C_{30} 値は -1.5 ~ +1.5dB に収まっている事が判かる。その総平均は 0.39dB で t 分布における 95% 信頼区間は 0.27dB となる。また、グラフから DT と OM8 の組と 3O と 5C の組に分けられる事が判る。なお、参考に同様の方法で計算した、Fukada, INA5, Holo, DMS の C_{30} 値をグラフ左端に示した。

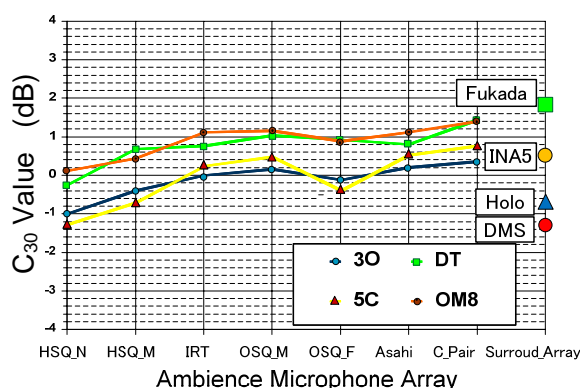


Fig.4.2 Fig.4.1の音源位置⑨におけるC₃₀値

Fig.4.2より、オーケストラ音楽におけるサラウンド・ミキシングにおいてフロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを主観評価により求めた結果、その時の見かけ上のC₃₀値のバラツキが3dB程度となる事が判った。また、ホール収録における最良なワンポイントマイク位置はクリティカルポイント、すなわちC値=0となると言われるが、その値とも近い事が非常に興味深い。

この実験だけでは最適ミキシングを行なった結果、見かけ上のC値がある値に収束した、とまでは断言できないがC₃₀値がサラウンド・ミキシングを評価、あるいは最適ミキシングレベルを見つける上で一つの大きな指標となる事を示唆したと言える。

5. まとめ

今回の実験により、フロント・マイクアレイに対するアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルは、音声技術者共通の価値観に基づいて決定されている可能性が大きいと結論付けられる。また、見かけ上のC₃₀値がフロント・マイクアレイとアンビエンス・マイクアレイの最適ミキシング指標の一つとなる事を示唆した。しかしながら最適ミキシング指標には、フロントチャンネルとリアチャンネルの音量バランスも関係しており、今回固定して実験したスクエア・アレイのフロント・リア間のバランスを可変させた実験も必要と考えられる。

6. 今後の実験、及び主観評価テスト

次の段階で予定される心理実験では各サラウ

ンドマイクシステムを主観評価し、各方式の特徴を考察する。そのためにTable.3.1, 3.2に示されるフロント・アレイ内のマイクロフォンレベル、アンビエンス・マイクアレイの最適ミキシングレベルを用いて各音源を今後の主観評価実験用に5.0chサラウンド化した。

なお、このパートで解説された実験結果を基に試聴を重ねた結果、今後のお主観評価実験に用いるフロント・マイクアレイとアンビエンス・マイクアレイの組み合わせは、3OとIRT、5CとHSQ-N、DTと、OSQ-F、の3種とした。OM8は先にも述べた様に考案者よりOSQ-Mのフロント側の2本をアンビエンスペアとしてリア側に代用する事とし、今後の主観評価実験に加えることとした。さらにサラウンド・マイクアレイであるFukadaTree、DoubleMS、INA5を加え、合計7種のマイクシステムについて今後の主観評価実験を行なう。

7. 謝辞

この研究は、幾つもの助成と協賛により実現しました。紙面をお借りし、御礼申し上げます。

○助成

財団法人 放送文化基金
パナソニックAVCネットワークス社
高画質高音質開発センター
DVD オーディオプロモーション協議会
パイオニア 株式会社
ドルビーラボラトリーズ INC.
TCエレクトロニック日本支社

○協賛・協力

ザ・シンフォニーホール
九州大学 芸術工学部 音響設計学科
東京芸術大学
ヘビームーン
三木楽器
デジデザイン
dts ジャパン
株式会社 ミキサーズ・ラボ

そして、何よりも長時間の実験に参加頂きました音声技術者の皆様に御礼を申し上げます。

8. 参考文献

- [1] サラウンド制作ハンドブック 沢口真生編
兼六館出版
- [2] Analysis and comparison of 4 different 3/2-stereo
main microphones: Philipp Heck & Christoph
Rieseberg of Duesseldorf university 2001
- [3] Multichannel Natural Music Recording Based on
Psychoacoustic Principles: Günther Theile IRT
D-80939 München, Germany
- [4] An Examination of the Influence of Musical
Selection on Listener Preferences for Multi-
channel Microphone Technique: Kim,
Sungyoung; Martha de Francisco; Kent Walker;
Marui Atsushi; and William L. Martens, AES
28th International Conference, Piteå, Sweden,
2006 June 30 to July 2
- [5] ITU-R BS.775-1: Multichannel Stereophonic
Sound System With and Without Accompanying
Picture (Geneva, 1992-1994)
- [6] ITU-R BS.1770: Algorithms to measure audio
programme loudness and true-peak audio level
- [7] Herrmann U., Henkels V., Braun D.: Comparison
of 5 surround microphone methods (German):
20.Tonmeistertagung, 1998, Proceedings(ISBN
3-598-20361-6), pp. 508-517
- [8] Williams, M.: Unified theory of microphone
systems of stereophonic sound recording. 82th
AES Convention, 1987, Preprint 2466
- [9] Helmut Wittek, Christopher Haut, Daniel Keinath
Double M/S – a Surround recording technique
put to test , [http://www.schoeps.de/E-2004/PDFs/
Schoeps_DoubleMS_Paper.pdf](http://www.schoeps.de/E-2004/PDFs/Schoeps_DoubleMS_Paper.pdf)