

ミキシング・エンジニアによる無響室録音音源への 電子残響の最適付加レベルについての調査

入交英雄^{†1}、岩宮眞一郎^{†2}

^{†1}九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻

^{†2}九州大学大学院芸術工学研究院

概要

オーケストラの録音において、ミキシング・エンジニアが最も好ましいと判断する残響音レベルを考察するため、無響室録音のオーケストラ音源を用い電子残響を付加する実験を行った。調整法に準じた方法で残響音を最も好ましいレベルに調整し、そのときに含まれる残響音成分の割合を知るために建築音響で使用される直接音と間接音のエネルギー比の一種であるC値（クラリティ・インデックス）という物理指標を導入した。その結果、残響音の最適ミキシングレベルにおいて、残響時間、及び、モノ、ステレオ、クワドラフォニックという再生方法に関係なくC値が一定となること、しかし楽曲の要因によってC値が変動することが判った。

The investigation of the most preferable level of the electronic reverberation for the sounds recorded in an anechoic chamber by the mixing engineers

Hideo IRIMAJIRI ^{†1}, Shin-ichiro IWAMIYA ^{†2}

^{†1}Graduate school of Design, Kyushu Univ.

^{†2}Faculty of Design, Kyushu Univ.

A summary

The most preferable reverberation level for the recording of orchestra sounds by recording engineers was studied by a psycho acoustical experiment. The most preferable electric reverberation level to the orchestral sounds recorded in an anechoic chamber was measured by a method of adjustment. A physical index of C (Clarity Index) was used to measure the energy ratio between the direct sound and the indirect sound of the adjusted sounds. The obtained values of C from the most preferable reverberation were different among the music pieces. The reverberation time and the reproduction method (monophonic, stereophonic or quadrasonic) did not affect the C value.

1- はじめに

一般的にホールにおいて音楽録音を行う場合、マイクロホンは楽器の直接音とホールの間接音が丁度良くブレンドされる場所に試行錯誤を繰り返しながら設置する。この場合、直接音と間接音のエネルギーが丁度等しい位置がワンポイント・マイクロホン収録のベストポジションともいわれている。

もうひとつの録音方法として比較的音源に近接したマイクロホン（以下メイン・マイク）とホール残響を收音するために設置するマイクロホン（以下アンビエンス・マイク）を組み合わせる方法がある。この場合、ミキシング・エンジニアは残響成分のバ

ランスが丁度良くなるように試行錯誤を繰り返しながらアンビエンス・マイクの音量を調節する。

いずれの方法も音源からの直接音と間接音のエネルギー比（以下R/D比）が鍵となっていることが判る。録音の最適条件を示す物理指標を求めることが出来れば、録音という芸術行為にある一定の指針を示すことが可能となり、その莫大な試行錯誤の効率改善と録音品質の向上に寄与する。

そこで手始めに、無響室録音したオーケストラ音源に電子残響を付加することでR/D比をモデル化し心理尺度との関係について検討を行った。

2ー モデル化

無響室録音のオーケストラ音源に電子残響を付加することで R/D 比のモデル化を試みた。すなわち、電子残響の残響時間を変化させて無響室録音音源に残響音を付加し、その残響音と無響室録音の原音をミキサー上で最も好ましく感じるようにミキシングするという実験を行い、メイン・マイクにアンビエンス・マイクをミキシングする状況をシミュレーションした。(以下、最も好ましく感じた時の残響付加レベルを最適ミキシングレベルと呼ぶ。)

3ー 条件

呈示条件として、電子残響装置の残響時間を 1、2、3 秒の 3 段階とし、テンポなどが異なる 4 種類の音源を選び、モノフォニック、ステレオフォニック、クワドラフォニックの 3 種の再生方法を用いた。

① 刺激音源

無響室録音のオーケストラ音源は DENON の作成した音源 CD (70CO-2309) を用いた。曲調による違いを検討するため、オーケストラの規模、テンポなど条件の異なる 4 曲を選曲し、それぞれ約 30 秒間を抽出した。曲目は Table.1 へ記載した。

② 電子残響

Digidesign 社の ReVibe というモデリング・リバーブと呼ばれるアルゴリズムの電子残響プログラムを用いた。これは同社の pro tools と呼ばれる DAW (デジタル・オーディオ・ワークステーション) のプラグインとして使用される。その中からホールタイプのプリセット・プログラムを用い、初期反射音やプリディレイなどのオプションコントロールは使用しなかった。またこのリバーブプログラムは同じ設定でモノフォニック、ステレオフォニック、クワドラフォニック等の出力を持つことができるため、③で説明する再生方法の比較検討に適していた。

変化させたパラメータは残響時間のみで 1 秒、2 秒、3 秒と 3 段階に変化させた。その他のパラメータはなるべくシンプルとなるように調整し、最終的には試聴により決定した。

③ 再生方法

モノフォニック (センタースピーカーのみ、以下モノ)、2チャンネルステレオフォニック (以下ステレオ)、4チャンネルクワドラフォニック (以下クワ

ドラ) の 3 つの場合に分けた。モノの場合は純粋な音質的判断が期待され、ステレオ、クワドラの場合は広がり感などを加えた音場感の判断が期待される。なお、ステレオ、クワドラについて残響成分は全てのスピーカから同音量で再生した。以上まとめると Table.1 のようになる。

Table.1. 呈示パラメータ

因子	水準1	水準2	水準3	水準4
曲目	フィガロの結婚 序曲 (略)Figaro	ピチカートポルカ (略)Pizzicato	ルスランとリュドミラ 序曲 (略)Ruslan	牧神の年後への 前奏曲 (略)Debussy
残響時間	1S	2S	3S	
再生方法	モノフォニック (略)mono	ステレオフォニック (略)stereo	クワドラフォニック (略)quad	

④ 被験者 (調査対象)

主に現業のミキシング・エンジニア 10 名を対象とした。

⑤ 実験場所

主観評価実験は、無響室、あるいは標準試験室などの条件が整った部屋において、ITU-R BS.775-1 を満足するスピーカ配置を行い、被験者を 1 名ずつ最適聴取位置に座らせて行った。今回は上記条件を満足する東京芸術大学の音響制作スタジオで行った。

⑥ 提示音圧

実験終了後、音圧計で呈示音圧レベルを測定した。Table.2 はその実測値である。各楽曲は楽曲自体に弱奏強奏の差があるため、ラウドネスマッチングは行わず、楽曲の相対レベル関係は CD の通りとした。また、測定時の残響音成分のレベルは実験の結果得られた平均値に設定した。

Table.2. 呈示音圧レベル (dB SPL(A))

Pieces		Figaro	Pizzicato	Ruslan	Debussy
Repro.	Rev. Time				
MONO	1S	72	49	76	60
	2S	73	50	76	60
	3S	73	51	77	61
STEREO	1S	73	49	75	54
	2S	73	49	76	55
	3S	73	50	77	55
Quadra	1S	72	48	75	54
	2S	73	49	76	55
	3S	73	49	77	56

4ー 実験方法

pro tools (プロツールズ) と呼ばれる DAW 上に 2 入力 of ミキシング装置を構成し、一方に無響室録

音の音声信号（原音）、もう一方に電子残響装置によって処理した残響信号（残響音）を接続した。それぞれ主チャンネル、残響チャンネルと呼ぶことにする。

pro tools のコントローラ(Fig.1.)において主チャンネルのミキシング・フェーダを0dB の位置に固定し、主チャンネルからオグジャリー回路を通して電子残響装置へ信号を送るレベルについても 0dB の位置に固定した。

一方、残響チャンネルのフェーダは可変とし、被験者は実際に音声をモニターしながら官能検査法の一つである調整法に準じた方法でフェーダを操作し、最も好ましいと思うところに調整した。

実験を始める前は残響チャンネルのフェーダは絞りきられているものとし、調整は一方向のみでは無く往復しても良いものとする。調整の終わったレベルを最適ミキシングレベルと呼びDAW の画面上でその値を少数以下 1 位まで読んで記録した。曲目、再生方法、残響時間の各パラメータの組み合わせの 36 通りについて以上を繰り返した。

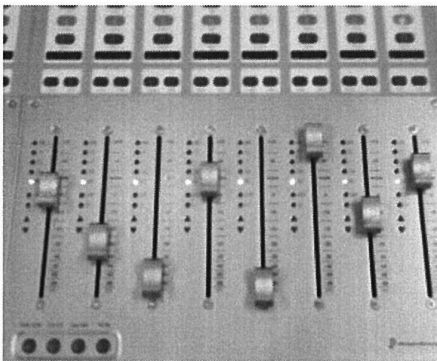


Fig.1. controller surface of "pro tools"

5-1 物理指標C値の計算

一方、最適ミキシングレベルが求められたミキシング定数において、その回路のインパルスレスポンスを測定。（実際には tsp 信号を用いて算出する。）このインパルスレスポンスから(1)式で計算されるC値（Clarity Index）を求め物理指標とした。[1] C値は数値が大きいくほど初期エネルギーが強く、小さいほど後期エネルギーが強いことを示す。なお、ステレオ、クワドラについては各チャンネルを単純ミックス（算術和）によってダウンミックスし、モノ信号としてから計算した。（無響室に同心円配置されたス

ピーカ群の中心にマイクロホン置いて測定した場合とほぼ等価と考えられる。）なおこのC₃₀値は残響音の最適ミキシングレベルの状態での値を示すので、最適残響C値と呼ぶこととする。

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

ここで一般に連続する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間隔は25~35ms以上と言われており、この間隔より離れた2音は分離して認知される事が知られている。[2] そこで本考察では式(1)のteをその中間の30msに設定した。この時のC値はC₃₀で表される。（一般に建築音響ではteを80msとする場合が多い。）

6-1 物理パラメータC₃₀の算出と検定

被験者の判断の全てについて残響音の最適ミキシングレベルからインパルスを測定しC₃₀を算出した。実際にはミキシングレベル0.1dB毎のC₃₀換算表を作り参照して求めるようにした。先ほどと同様に仮説を以下のように立てた。

- 仮説1: 曲目因子によらずC₃₀は一定となる。
- 仮説2: 再生法因子によらずC₃₀は一定となる。
- 仮説3: 残響時間因子によらずC₃₀は一定となる。
- 仮説4: 各因子は独立事象である。

6-1-1 被験者内効果の検定

まず被験者内効果の検定を参照すると、

- ①曲目因子: F(3,27)=25.894 p<.01 有意
- ②再生法因子: F(2,18)=6.550 p<.01 有意
- ③残響時間因子: F(2,18)=8.646 p<.01 有意
- ④曲目因子と再生法因子の交互作用: F(6,54)=3.069 .01<p<.05 5%水準で有意
- ⑤曲目因子と残響時間因子の交互作用: F(6,54)=1.208 p>.05 棄却
- ⑥再生法因子と残響時間因子の交互作用: F(4,36)=2.557 p>.05 棄却
- ⑦3者の交互作用: F(12,108)=1.086 p>.05 棄却と検定された。

次に最適残響C₃₀値の推定平均の表をTable.3.に示す。

Table.3. 最適残響 C₃₀値の推定周辺平均

最適録音を与えるC ₃₀ 値の平均		Figaro	Pizzicato	Ruslan	Debbusy
1S	平均	5.94	9.18	6.33	3.16
	95%信頼区間	2.18	2.12	2.25	2.97
2S	平均	6.80	10.40	7.41	4.02
	95%信頼区間	2.15	1.90	1.95	3.06
3S	平均	7.31	10.61	7.58	3.45
	95%信頼区間	1.68	2.08	1.74	3.35

6-2 ペア毎の比較と推定周辺平均のグラフ

次に、C₃₀ が一定であるかどうかを検討するために各因子についてペアごとに比較検討し (Table.4 - 6)、また曲目別の推定周辺グラフ (Fig.2-5) を参照した。

Table.4. 曲目因子

ペアごとの比較 ※有意水準1%で有意
測定変数名: MEASURE 1 ○有意水準5%で有意

(I) MUSIC	(J) MUSIC	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	
Figaro	Pizzicato	-3.378	0.697	0.005	※
	Ruslan	-0.429	0.518	1.000	
	Debbusy	3.137	0.923	0.047	○
Pizzicato	Figaro	3.378	0.697	0.005	※
	Ruslan	2.949	0.581	0.004	※
	Debbusy	6.515	0.881	0.000	※
Ruslan	Figaro	0.429	0.518	1.000	
	Pizzicato	-2.949	0.581	0.004	※
	Debbusy	3.566	0.758	0.007	※
Debbusy	Figaro	-3.137	0.923	0.047	※
	Pizzicato	-6.515	0.881	0.000	※
	Ruslan	-3.566	0.758	0.007	※

Table.5. 再生法因子

ペアごとの比較 ※有意水準1%で有意
測定変数名: MEASURE 1 ○有意水準5%で有意

(I) REPRO	(J) REPRO	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	
MONO	STEREO	1.280	0.468	0.069	
	Quadra	1.070	0.422	0.096	
MONO	MONO	-1.280	0.468	0.069	
	Quadra	-0.210	0.184	0.854	
Quadra	MONO	-1.070	0.422	0.096	
	MONO	0.210	0.184	0.854	

Table.6. 残響時間因子

ペアごとの比較 ※有意水準1%で有意
測定変数名: MEASURE 1 ○有意水準5%で有意

(I) REVTIM	(J) REVTIM	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	
1S	2S	-1.011	0.368	0.068	
	3S	-1.103	0.314	0.020	○
2S	1S	1.011	0.368	0.068	
	3S	-0.093	0.161	1.000	
3S	1S	1.103	0.314	0.020	○
	2S	0.093	0.161	1.000	

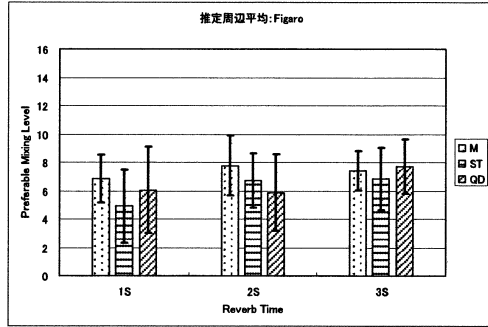


Fig.2. C₃₀ Index on reverb time at Figaro

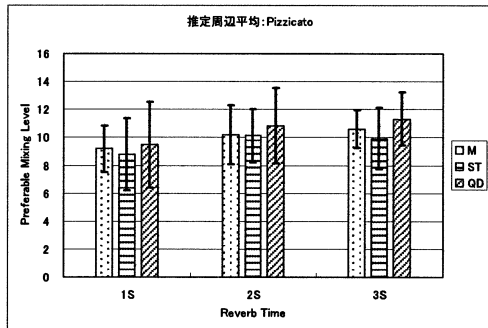


Fig.3. C₃₀ Index on reverb time at Pizzicato

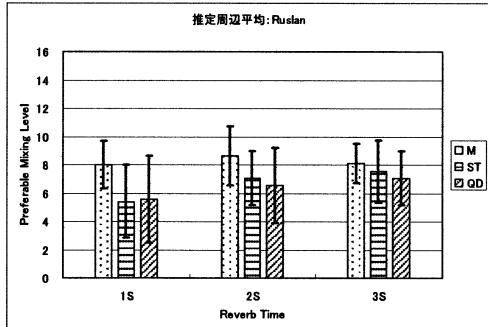


Fig.4. C₃₀ Index on reverb time Ruslan

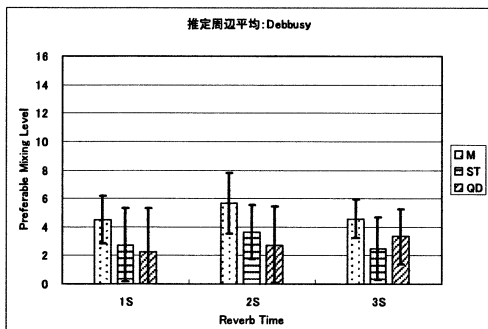


Fig.5. C₃₀ Index on reverb time at Debbusy

以上から、曲目水準の Figaro と Ruslan は異なるとは言えないが、Pizzicato、Figaro と Ruslan の組、Debussy の 3 者間の C_{30} は有意水準 1% で異なる。従って仮説 1 は棄却。

再生法的水準によって C_{30} は異なるとは言えない。従って仮説 2 は支持。

残響時間水準の 1S と 3S の C_{30} は有意水準 5% で異なる値となる。ただし残響時間因子については信頼区間の重なりが大きく、有意水準 1% では棄却される。グラフを参照してもその様子が伺える。

次に現段階で支持された仮説 2 を根拠に再生法の因子を取り除き 2 因子による分散分析を行った。

7 曲目因子と残響時間因子に着目した分析

得られたデータについて被験者別に再生法に関わる部分を算術平均し、曲目因子と残響時間因子の 2 因子のデータに作成し直し、一般線型モデルの反復測定手法により分散分析を行った。

7-1 被験者内効果の検定

まず被験者内効果の検定を参照すると、

- ①曲目因子: $F(3,27)=25.936$ $p < .01$ 有意
- ②残響時間因子: $F(2,18)=8.406$ $p < .01$ 有意
- ③曲目因子と残響時間因子の交互作用:
 $F(6,54)=1.181$ $p > .05$ 棄却

と検定された。

7-2 推定周辺平均のグラフ

推定周辺平均について、Fig.6-7 にグラフ表示する。

検定結果から、曲目因子、残響時間因子ともに有意であるが、グラフより各残響時間因子に対し曲目因子の Figaro と Ruslan の組、Pizzicato、Debussy の水準間に有意な差があること、各曲目水準に対し残響時間因子の各水準の値がほぼ一定となっていることが判る。

すなわち、各被験者は楽曲ごとに R/D 比が一定となるように電子残響音のレベルを調節していたと考えられる。

最初の仮説では楽曲が異なっても一定の R/D 比となると期待していたが、この仮説については棄却された。

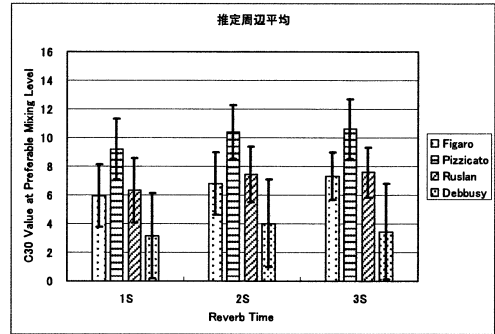


Fig.6. C_{30} Index on reverb time

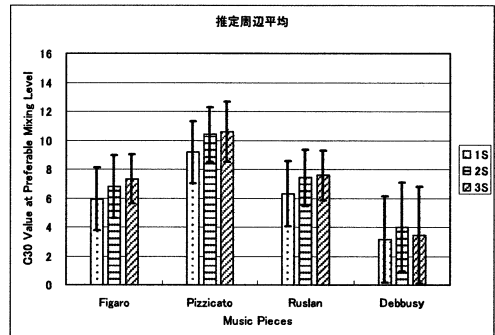


Fig.7. C_{30} Index on music pieces

8 結果と考察

8-1 結果

本実験によりミキシング・エンジニアはある音源に残響を付加する場合、直接音と反射音のエネルギー比を一定とするようにミキシングしていること、その比は楽曲によって異なること、またその比はモノ、ステレオ、サラウンドといった再生チャンネル数に依存しないことが判った。

8-2 考察

本研究において C_{30} 値に着目したのは、今回のような直接音に残響音をミキシングするという状況下においてはレベルという次元で議論できるが、実際の録音では 1 本のマイクロホン出力に直接音と間接音が既に混ざっていて分離が出来ないため、レベル以外の物理指標を見つける必要があったからである。

また、本研究において最適残響 C 値という概念を導入したが、電子残響を付加するという本実験環境に特有の現象であったのか、実際のホールにおける録音でも同様の結果となるかについて検討する必要がある。もし実際の録音でも同じ結論を得られるな

らば、最適残響C値が最適な録音条件の指標の一つとして使用可能となる。

AESで行ったサラウンド収録実験[3]では、デモ音源作成のために数名のミキシング・エンジニアに対しメインマイクに対するアンビエンスマイクのミキシングレベルの平均を求めた。その実験は時間の関係で途中ミキシング・エンジニアが交代しており、統計的に完全では無かったが、今回と同様の方法で最適ミキシングレベルにおけるC₃₀を計算したところ、その総平均が0.4dBで全ての組み合わせが0±1.5dBに収まっていた。これら結果を考え合わせるとC値が録音における重要な指標と出来る可能性はかなり高いと考えている。

次に、最適ミキシングレベルが再生チャンネル数に依存しないという結果は、多チャンネル再生に独特な評価実験以外はモノないしステレオ再生で実験を進めれば問題ないことを示しており、今後の実験簡略化に役立った。また、NHKが推進する22.2チャンネル・サラウンドなどマルチチャンネル再生はチャンネル数が増える傾向にあり、そのような多チャンネル録音の開発に本結果が適用できれば、開発や運用の効率改善に大いに寄与する。

最後に、楽曲によって最適ミキシングレベルが異なるという結果に関しては、現業における経験からも理解でき(ゆっくりした曲は残響を深くするなど)、この結果だけを参照すればホール録音において最適なマイク位置を一つだけ見つけ出すというアプローチは考え直す必要があるかもしれない。

オーケストラのホール録音などワンポイントマイクを主体とする録音では、リハーサル時に音決めをした後、マイクロホンは固定され、曲によってマイク位置を変えるとすることは通常行われない。しかし今回の結果を考えると、複数のメインマイクを準備して、曲目毎、楽章毎に使い分ける方が良い録音と出来る可能性があり、検証する価値がある。

しかし、例えその方法がより良い結果を得られるとしても、常時いくつものメインマイクを準備することは難しく、1つのメインマイクで全てをカバーする場合に優先される条件を見つけないといけない。

8-3 楽曲に関する考察

本結果より今後の研究にあたり曲目因子に関する検討が避けて通れなくなった。まず楽曲に関して録音条件を左右する特徴を見つける必要がある。今回の選曲された曲目には次のような特徴があった。

Table.7. 各曲目の特徴

	1	2	3	4
曲目	Debussy	Figaro	Ruslan	Pizzicato
C ₃₀ RevTm=2S	4.02	< 6.80	= 7.41	< 10.4
表示レベル dB SPL(A)	55	< 73	= 77	> 49
テンポ (BPM)	40	< 126	< 134	> 82
最小音符 単位	1/4	1/16	1/16	1/8

曲順はC₃₀の降順で入れ替えた。表示レベルは曲の強弱に関連する。テンポは実測値、最小音符単位はリズムを構成する最小の音符の長さである。一見して比例関係が無いことが判り、特にピチカートポルカにおいて異なる傾向が認められる。この曲の特徴は全面的にピチカートで演奏されることにあり、急峻な立ち下がりの音色が残響音をマスキングしないため、残響音が聴こえやすくなることがその理由と考えられる。従ってC値に関係する楽曲の特徴量は楽曲そのものの特徴ではなく、音色の特徴量から導けるのではないかと予想している。

9— 今後の研究

前述のように、まず楽曲(音色)の特徴量とC値との関係を検討する必要がある。さらに現業への応用を考えた場合、実際のホール録音によるC値の検討が必要である。

再生因子に関しては、より多チャンネル再生時に適用が出来るかどうかを調べるため、再生チャンネル数を多くして再検証を行い、より確実な結果とする必要がある。

最後に過酷な主観評価にご協力いただいたエンジニアの方々に感謝申し上げます。

参考文献

[1] International Standard 3382 Second edition 1997-06-15, Acoustics — Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters (1997).

[2] "The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech," J. Audio Eng. Soc., Vol. 20 (Mar. 1972), pp. 145-159.

[3] "The Highly Preferred Sound Levels of Ambience Microphone Arrays to Front Microphone Arrays with the Fixed Levels for Surround Recordings," Hideo Irimajiri, Toru Kamekawa, Atsushi Marui, "AES Surround Sound Reference Disc, AESSJ001-2" AES Japan Section (Jan, 2008)