

## 2. 残響制御技術 Revtrina を用いた新しいサラウンド化再生方式の提案 木下 慶介

本節では、はじめに、実音場での音楽鑑賞と残響の関係、そしてサラウンド化技術の重要性について述べる。その後、ステレオ／モノラル音楽信号のサラウンド化の新方式について概説する。

### 2.1 実音場での音楽鑑賞 と 残響

コンサートホールで音楽を聴くことを想像してみよう。一般的に、ステージ上で演奏者により奏でられた音は、そのホール独特の豊かな響きを伴い、観客席にいる我々の耳に届く。このホール独特の豊かな響きは、壁や天井などからの反射音で構成されており、残響と呼ばれる。豊かな音の響きとして感じられるこの残響は、音楽鑑賞にはなくてはならない重要な要素である。

コンサートホールの観客席で音楽を聴いている場合、我々の耳に到来する音は、図 2.1 のように二つに大別することができる。一つは、音源から我々の耳に直接届く音成分である直接音、もう一方は、壁や天井などで反射し、四方八方あらゆる角度から我々の耳に到来する音成分である残響である。

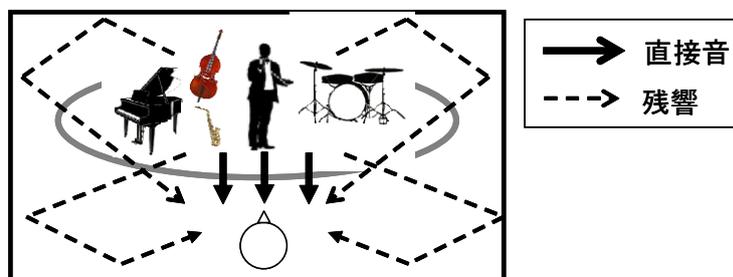


図 2.1 コンサートホールで、観客席にいる聴取者に届く音の成分

### 2.2 サラウンド化の重要性

あたかも図 2.1 のような実音場で音楽を聴いているような状況を、他の音場で再現するために、様々な収録・再生方法が提案されている。19 世紀前半には、一つのマイクを用いて収録を行い、一つのスピーカを用いて収録音の再生を行なうモノラル収録再生方式が提案され、同世紀後半には、音空間の左右の広がりをもより忠実に再現するため、ステレオ収録再生方式が提案された。ステレオ方式は、現在もっとも普及している方式の一つであり、コンパクトディスクなどにステレオ信号として収録されている音楽音源は非常に多い。また、近年では、音空間の左右の広がりに加え、前後の広がりも再現し、実音場での音環境を忠実に再現することを目的とした、サラウンド収録再生方式が提案されている。サラウンド収録再生方式では、収録の際には 3 つ以上のマイクを用い、再生の際には 3 つ以上のスピーカを用いることが多い。サラウンド(5.1ch)信号はしばしば DVD などを通じて市場に供給され、5.1ch ホームシアタシステムなどを用いて広く楽しられている。

このように音空間を忠実に再現するための方式が提案されてきたものの、既存コンテンツの多くはモノラルもしくはステレオ信号であるため、そのまま再生(※)するだけでは前後左右からの音の到来するような実音場の様子を忠実に再現することはできない。そこで、サラウンド化技術の研究が行われてきた。サラウンド化とは、図 2.2 にあるように、入力モノラル／ステレオ音楽信号のみを用いて、それらの信号をサラウンド信号に自動的に変換する処理である。現在ま

でもっとも普及しているサラウンド化方法は、入力信号の左右チャンネル間相関を制御して、左右の音像を後方まで広げる方法である。この技術は、実音場の音環境を再現するという方向とは異なるものの、音像位置を変化させることでサラウンド化を達成している。

※：サラウンド再生環境の前方の2つのスピーカからのステレオ信号の再生

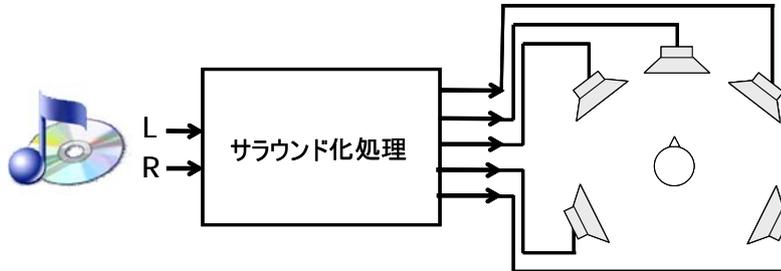


図 2.2：ステレオ音楽信号のサラウンド化

## 2.3 残響制御によるサラウンド化

### 2.3.1 目標と課題

我々の提案する、残響制御によるサラウンド化処理の目的は、モノラル／ステレオ音楽信号を基に、実音場の音環境を精度よく再現するためのサラウンド信号を生成することである。この目的を達成するため、我々はモノラル／ステレオ信号に含まれる直接音と残響に注目している。図 2.3 のように、コンサートホールの観客席にマイクを設置し収録を行なう場合、ステージと客席の位置関係上、マイクの前からは主に直接音が到来し、周辺からは主に残響が到来する。つまり、仮にモノラル／ステレオ音楽信号に含まれる直接音と残響成分を推定することができれば、それらを図 2.4 のように、前方や後方のスピーカから適切に再生し、実音場に近い音環境を再現することができる。次節では、このようなサラウンド化処理を行うために重要となる、音楽信号に含まれる直接音と残響の推定原理と、サラウンド化処理の概要について説明する。

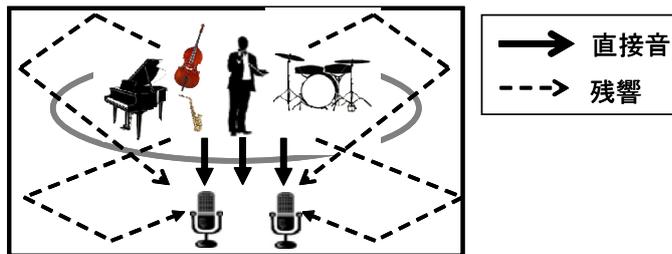


図 2.3 コン서트ホールで、マイク（聴取者）に直接音や残響の到来する様

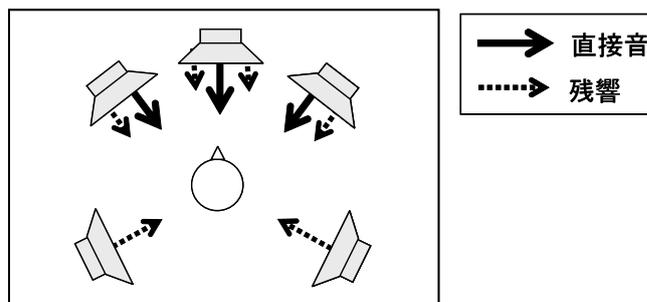


図 2.4 残響制御を用いたサラウンド化再生の再生音のイメージ

### 2.3.2 直接音と残響の推定

音楽信号に含まれる直接音と残響の推定には、マルチステップ線形予測を用いる。図 2.4 にマルチステップ線形予測に基づく直接音・残響推定原理の概念図を示した。図 2.5(A)に示すように、残響を含まない音楽には、時間的に離れた信号間での類似性(相関)が非常に低くなるという性質がある。一方、そこに残響が加わると、過去の音成分が現在信号に残響として残留するため、時間的に離れた信号間での相関は高くなる(図 2.5(B)参照)。この時間的に離れた信号間での相関を残響に起因する相関とみなし、過去の信号と相関のある成分は残響、相関のない成分は直接音としてそれぞれの成分を推定する。具体的には、図 2.6 のように、過去の信号を用いて現在の信号を予測する作業を行なう。現在の信号に含まれる過去の信号と相関のある成分は、過去の信号から予測することができる。この成分を残響とみなす。一方、過去の信号を用いて予測できなかった成分は直接音とみなすことができる。このような予測規範を用いることで、音楽信号に含まれる直接音と残響を精度良く推定することが可能であることがわかっている。

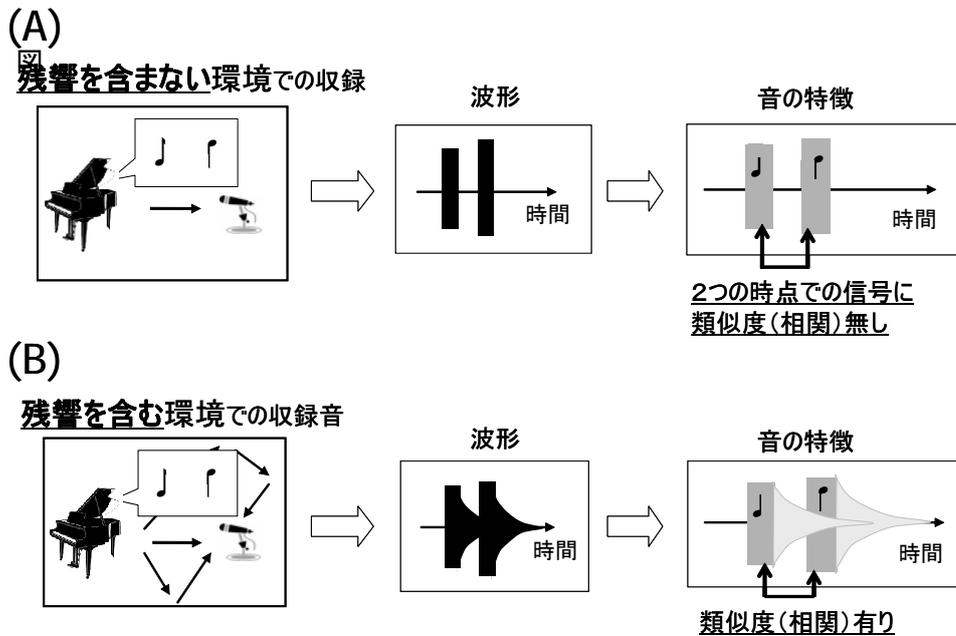


図 2.5 残響を含まない音楽と残響を含む音楽の時間構造の違い

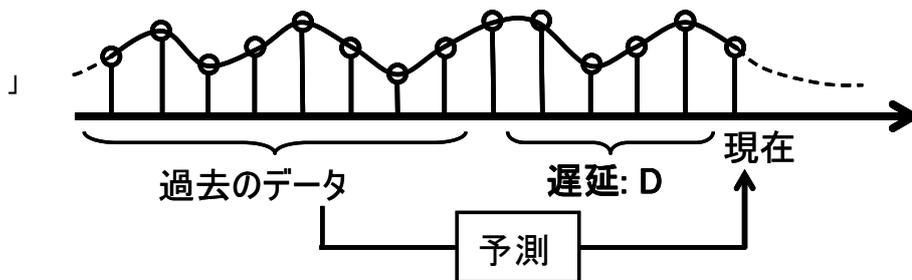


図 2.6 マルチステップ線形予測

### 2.3.3 サラウンド化処理

図 2.7 に全体の処理ブロック図をまとめた。図は非リアルタイム処理の構成を示している。

はじめに、マルチステップ線形予測を用いて、入力ステレオ信号に含まれる直接音と残響を推定する。その後、ミキサを用いて、推定した各チャンネルの直接音と残響の混合比を適切に制御し、前方スピーカ用の信号（フロント信号）と後方スピーカ用の信号（サラウンド信号）を生成する。

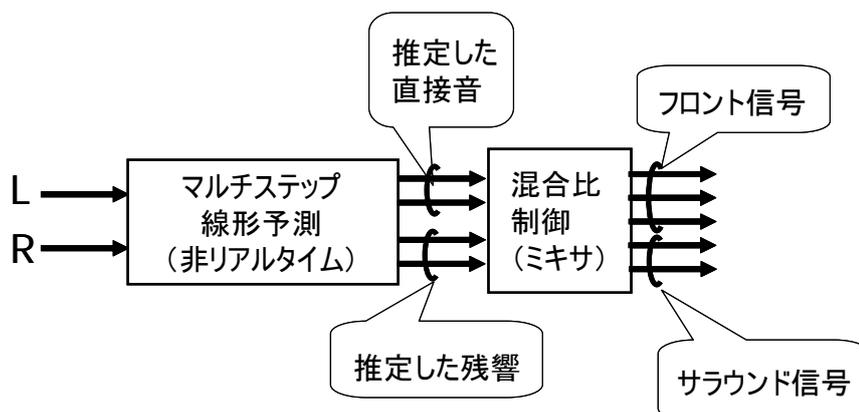


図 2.7 残響制御を用いたサラウンド化処理ブロック図（非リアルタイム処理）

### 2.3.4 リアルタイムサラウンド化処理

リアルタイムサラウンド化処理における直接音・残響推定処理は、上図とは異なる形で実装されている。音楽信号のサラウンド化処理においては直接音・残響の推定精度よりも、低遅延性、低演算量性、処理の安定性が重要である。そこで、処理全体のリアルタイム化のために、上記マルチステップ線形予測の考え方に基づいた、音楽信号のサラウンド化に特化した近似的な直接音・残響推定を開発した。近似的な直接音・残響推定には、音楽信号の統計データが用いられている。前章の HIFIREVERB における直接音・残響推定には、この音楽信号に特化した近似的な直接音・残響推定処理が導入され、リアルタイムサラウンド化処理を達成している。

また、サラウンド化の効果を高めるために、ここまでで述べた残響制御に基づくサラウンド化処理に加え、従来からしばしば用いられてきた以下の処理も後処理として導入した。

- ・残響制御に基づくサラウンド化処理の出力信号（5.1ch 信号）の各チャンネルに別々の遅延を付与。この処理により先行音効果を演出できるため、音像位置の補正・制御が可能となることが期待される。
- ・残響制御に基づくサラウンド化処理により生成されたサラウンド信号（リアスピーカ用信号）にオールパスフィルタを適用。オールパスフィルタを用いて、サラウンド信号のチャンネル間相関を低下させることにより、広がり感の補正・演出が可能となることが期待される。