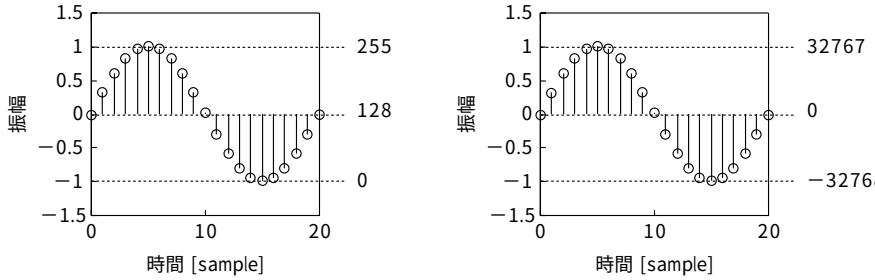


（**a**）8bit　　（**b**）16bit

図1.11　WAVEファイルにおけるサウンドデータの振幅

fmtチャンクにはサウンドデータに関する様々なプロパティ情報が記録されていますが，それぞれの意味は以下のとおりです．

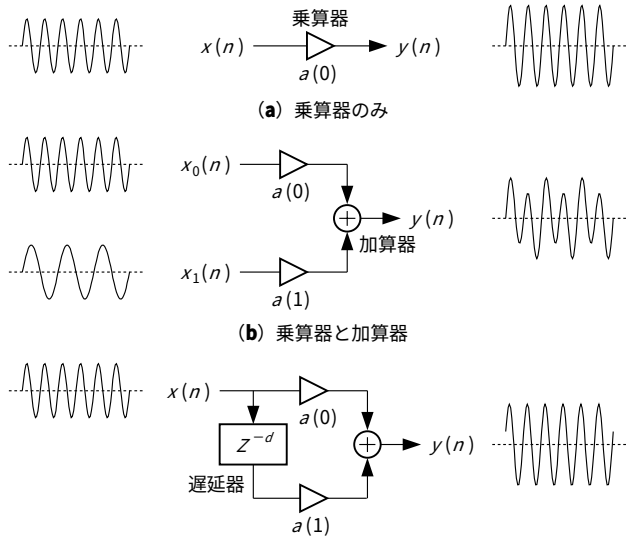
まず，waveFormatTypeはサウンドデータの形式を表しており，PCM形式では1となります．channelはモノラルのとき1，ステレオのとき2となります．samplesPerSecはHzを単位とする標本化周波数です．すなわち，CDの場合は44100，電話の場合は8000になります．blockSizeはサウンドデータの最小単位を記録するのに必要となるデータ量を，byteを単位として表したものです．1byteは8bitですので，blockSizeは8bitモノラルでは1，8bitステレオでは2，16bitモノラルでは2，16bitステレオでは4となります．bytesPerSecは1秒間のサウンドデータを記録するのに必要となるデータ量を，byteを単位として表したもので，blockSizeとsamplesPerSecの積として定義されます．bitsPerSampleはbitを単位とする量子化精度を表しており，8bitの場合は8，16bitの場合は16となります．

dataチャンクにはディジタル信号に変換されたサウンドデータが記録されています．**図1.11**に示すように，量子化精度が8bitの場合は最小値が0，中央値が128，最大値が255となる符号なしPCM形式として記録されます．量子化精度が16bitの場合は最小値が−32768，中央値が0，最大値が32767となる符号つきPCM形式となります．

1.5　ディジタル信号処理

ディジタル信号として記録されたサウンドデータをそのまま再生するだけでなく，様々な処理を施した後に再生することを考えてみましょう．このような目的を実現するのが「ディジタル信号処理」です．ここではディジタル信号処理では一体どのようなことができるのか，その雰囲気をつかむために簡単な例をあげて説明します．

ディジタル信号処理の基本は「ディジタル・フィルタ」です．ディジタル信号はたんなる数値データであり，これに対して何らかの計算を行うのがディジタル・フィルタの役割です．ディジタル・フィルタは「乗算器」，「加算器」，「遅延器」の3種類を基本要素としています．このように基本要素はわずか3種類しかありませんが，ディジタル・フィルタはその組み合わせによってじつに様々な目的



（**a**）乗算器のみ

（**b**）乗算器と加算器

（**c**）乗算器と加算器と遅延器

図1.12　ディジタル・フィルタ

を実現することができます．いくつかの簡単なディジタル・フィルタを**図1.12**に示します．

図1.12(**a**)は乗算器のみを使ったディジタル・フィルタです．乗算器は，乗算器にセットされた「フィルタ係数」を入力信号にかけ合わせます．したがって，このディジタル・フィルタを式で表してみると次のようになります．

$$y(n) = a(0)x(n) \quad \cdots\cdots (1.1)$$

ここで，$x(n)$は入力信号，$y(n)$は出力信号，$a(0)$は乗算器にセットされるフィルタ係数です．このディジタル・フィルタはサウンドデータの振幅を変化させることになりますので，たとえば，音の大きさを変化させる「アンプ」として使うことができます．

図1.12(**b**)は乗算器と加算器を使ったディジタル・フィルタです．このディジタル・フィルタを式で表してみると次のようになります．

$$y(n) = a(0)x_0(n) + a(1)x_1(n) \quad \cdots\cdots (1.2)$$

ここで，$x_0(n)$と$x_1(n)$は二つの入力信号，$y(n)$は出力信号，$a(0)$と$a(1)$は乗算器にセットされるフィルタ係数です．このディジタル・フィルタは二つの入力信号に対してそれぞれ重みを付けて足し合わせることになりますので，たとえば，別々に録音した音声と楽音のサウンドデータを重ね合わせる「ミキサ」として使うことができます．

図1.12(**c**)は，すべての基本要素，すなわち，乗算器，加算器，遅延器を使ったディジタル・フィルタです．ディジタル・フィルタは入力信号を時間順序にしたがって処理していきますが，現時点での入力信号とそれ以前に入力された信号に対して同時に処理を行うことが必要になる場合があります．

このような場合，d個前の入力信号を保持しておく遅延器が必要となります．このディジタル・フィルタを式で表してみると次のようになります．

$$y(n) = a(0)x(n) + a(1)x(n-d) \quad \cdots\cdots (1.3)$$

ここで，$x(n)$は入力信号，$y(n)$は出力信号，$a(0)$と$a(1)$は乗算器にセットされるフィルタ係数です．

このディジタル・フィルタを応用すると，音に余韻を付加する，いわゆる「エコー効果」を実現することができます．**図1.13**(**a**)に示すように，室内では音源Aから受音点Bに直接到達する「直接音」の他に，壁や天井によって反射された後に遅れて到達する「間接音」が発生するため，**図1.13**(**b**)に示すような時間特性のエコー効果が得られます．ここで，比較的早く到達する間接音は「初期反射音(early reflection)」，何度も壁や天井に反射してから到達する間接音は「高次反射音(late reverberation)」と呼ばれています．

実際はエコー効果を精度よく再現するには複雑な処理が必要となりますが，**図1.13**(**b**)の時間特性を**図1.13**(**c**)のように簡略化し，これにもとづいて**図1.13**(**d**)のように構成したディジタル・フィルタを適用すると，きわめて簡単な処理でありながらも，エコー効果をそれらしく模擬することができます．これは，現時点での入力信号である直接音と以前に入力された信号である間接音に対して同時に処理を行うディジタル・フィルタとなっており，**図1.12**(**c**)と同様，遅延器を使ったディジタル・フィルタになっています．このディジタル・フィルタを式で表してみると次のようになります．

$$y(n) = a(0)x(n-d(0)) + a(1)x(n-d(1)) + a(2)x(n-d(2)) + a(3)x(n-d(3)) \quad \cdots\cdots (1.4)$$

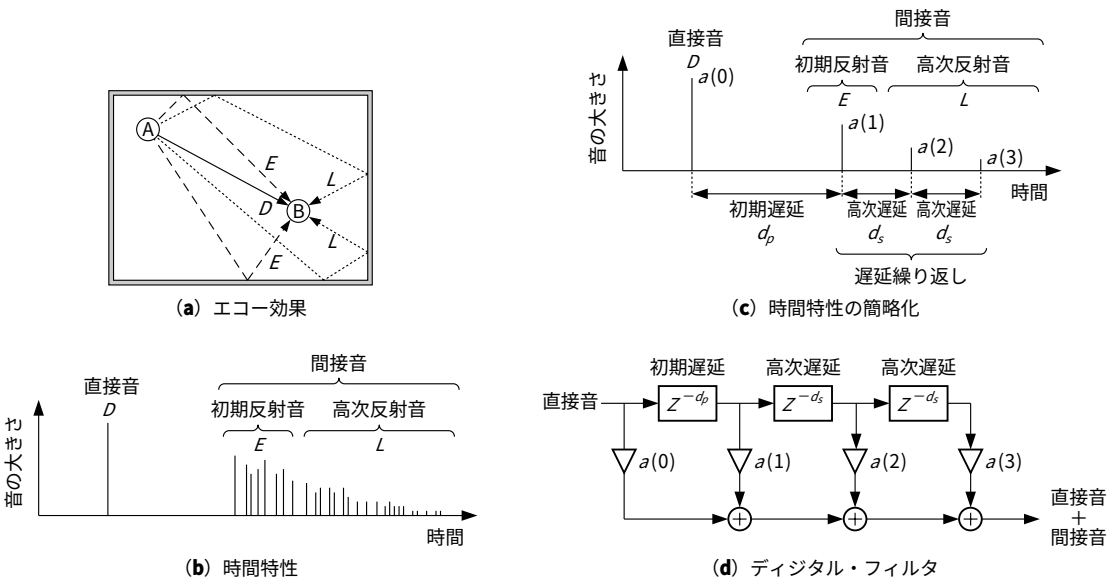


図1.13　エコー効果の時間特性とディジタル・フィルタ

ただし，

$$a(k)=\begin{cases}1 & (k=0)\\ a_p & (k=1)\\ a_s a(k-1) & (k>1)\end{cases} \quad \cdots\cdots (1.5)$$

$$d(k)=\begin{cases}0 & (k=0)\\ d_p & (k=1)\\ d_s + d(k-1) & (k>1)\end{cases} \quad \cdots\cdots (1.6)$$

ここで，a_pは初期反射音の減衰率，a_sは高次反射音の減衰率です．また，d_pは初期反射音の遅延長，d_sは高次反射音の遅延長を表します．実際のエコー効果は室内の大きさによって異なりますが，これらのパラメータを調整することで，様々な種類のエコー効果を模擬することができます．

エコー効果のように音に独特の変化をつけるサウンド処理は「サウンドエフェクト処理」とも呼ばれ，ディジタル信号処理の重要な応用分野の一つとなっています．

1.6 MATLAB

以上のようなサウンド処理は，コンピュータを使ってプログラムを作成することで，簡単に実現することができます．本書では，「MATLAB(マットラボ)」というプログラム開発環境を利用して，サウンド処理の実際について説明していきます．

MATLABは米国のMathWorks社によって開発され，日本ではサイバネットシステム社が販売しているインタプリタ形式のプログラム開発環境です．MATLABは各国の研究機関で一般的に利用されているプログラム開発環境であり，主要なプラットフォームであるWindows，Macintosh，Linux上で動作します．なお，MATLABはバージョンアップが繰り返し行われており，本書執筆中の最新バージョンはMATLAB version 7.1となっています．

MATLABという名前は「matrix laboratory」に由来しています．その名前のとおり，MATLABは行列やベクトルの計算に利用することを念頭において開発されています．そのため，与えられた問題を行列やベクトルの計算として捉えてプログラミングする，いわゆるMATLABの流儀にしたがってプログラミングすると高速な処理が可能となります．

ただし，MATLABは非常に柔軟なプログラム開発環境であり，必ずしもMATLABの流儀にしたがったプログラムでなくとも実行させることができます．本書の目的はMATLABのプログラミングを詳細に説明することにあるのではなく，あくまでもサウンド処理の基本的な考え方を紹介するところにあります．そこで，本書では，C言語など汎用のプログラミング言語を勉強中の初心者でも容易に理解できるように，MATLABの流儀はある程度無視し，処理速度を多少犠牲にしてでも，なるべく一般的なプログラミングを心がけています．

MATLABを起動させると，**図1.14**のウィンドウが開きます．これがMATLABのターミナルウィ