



Macデジタルオーディオ プログラミング

音羽 良 [著]

OS X Core Audio Programming with C



OS Xでオーディオ再生する
プログラミングを行いながら
サウンドのデジタル処理について学ぼう!

Macデジタルオーディオ プログラミング

音羽 良 [著]

●本書のサポートサイト(サンプルコードのダウンロード)

本書で利用したサンプルコードのダウンロードが可能です。また補足情報、訂正情報を掲載してあります。適宜で参照ください。

<http://book.mynavi.jp/support/pc/5388/>

●サンプル・プログラムについて

本書に掲載した、サンプル・プログラムは、以下の環境で構築・確認しています。

・ OS X 10.9 ・ Xcode 6.1 ・ SDK 10.10 ・ clang 4.2
・ PortAudio v19 ・ libsndfile 1.025

また、クロスプラットフォームアプリケーションについては、以下のLinux環境で構築・確認しています。

・ Ubuntu 13.04 ・ gcc 4.7

従って、上記以外の環境では、正常な構築または動作が不可になる可能性があることをご承知置き願います。

●免責事項

- ・ 本書の内容は、2014年12月の情報に基づいています。記載したURLやサービス内容などは、予告なく変更される可能性があります。
- ・ 本書の内容によって生じる直接的または間接的被害について、著者ならびに弊社では一切の責任を負いかねます。
- ・ 本書中の社名、製品・サービス名などは、一般に各社の商標、または登録商標です。本文中に©、®、™は表示していません。

はじめに

従来オーディオ関連の自作といえば、専らアンプやスピーカーといったオーディオ・ハードウェアが対象でしたが、デジタル・オーディオ技術の成熟と PC (Personal Computer) オーディオと呼ばれる分野の普及により、ソフトウェアで高品位のオーディオ再生を楽しむことが可能な時代となりつつあります。

本書は、PC オーディオのベースとなるデジタル・オーディオ技術の基本的知識、および Mac の OS X 環境でオーディオを再生するために必要なアプリケーション・プログラムを自作する方法の基礎について説明します。本書で使用するプログラミング言語は、以下の理由で汎用的な C 言語としました。

- ・ リアルタイム処理等、処理速度が要求されるプログラムへの適用実績が十分に確立している。
- ・ OS と緊密な関係を持つ、比較的低水準のプログラム作成に適している。
- ・ 複数の OS 間で移植可能なソース・コードの作成に適している。

注：本書では、限られたスペースで重点的にオーディオ処理技術の説明を行うために、コマンドライン・ベースで実行可能なプログラムを取扱い、GUI ベースのプログラムは、取り扱いません。また、商用オーディオ・ソフトウェア開発にとって重要なコピー防止等の技法も取り扱いません。

本書の想定する読者

本書は、以下のような方々が読まれることを想定して、記述しました。

- ・ PC オーディオ分野に興味があり、PC でサウンドを再生するプログラムを作成するために必要な基本的知識・技法を習得したいと考えている方
- ・ C プログラミング言語の基本知識があり、オーディオ・ソフトウェア作成を始めたいと考えている方
- ・ OS X 開発環境でのオーディオ・プログラミング技法を知りたい方
- ・ UNIX 系 OS である OS X と他の UNIX 系 OS との間で、ソース・コードが移植可能なオーディオ・アプリケーションを作成するためのツールや技法を知りたい方

本書を利用する場合、必須ではありませんが、Mac の標準開発ツール

Xcodeの基本操作の知識があると、サンプル・プログラム等を自ら作成する場合の効率が高まります。特に、Mac 固有のオーディオ・ソフトウェア開発基盤である Core Audio を直接利用するアプリケーション・プログラムを作成する場合、長い名前の付いた定数や関数を頻繁に使用することになるので、Xcode のソース・コード・エディタを使うと編集効率が向上するだけでなく、タイプミスも未然に防止できる確度が高まります。本書の利用と並行して、是非 Xcode の基本操作を学習し、利用されることをお勧めします。

本書の特徴

本書は、次のような観点に基づき記述しました。

- ・ PC オーディオ技術の基礎となるデジタル・オーディオ技術の原理や、他のアプリケーションとは異なるオーディオ・プログラミング技術固有の重要な特徴を明確にする。
- ・ Mac 固有のオーディオ・ソフトウェア開発基盤である Core Audio の特徴と Core Audio を直接利用するオーディオ・プログラミングの実際を説明する。
- ・ UNIX と親和性の高い OS X と、他の UNIX 系 OS の 1 つである Linux の 2 つのクロスプラットフォームに対してソース・コード・レベルで互換性のあるオーディオ・プログラムを作成するためのツールとプログラミングの実際を説明する。
- ・ 「…してから、次にこのコード…を実行し、その次にこのコード…を実行し、」等、単にプログラムの手続きの説明を羅列するだけでなく、最初に各オーディオ処理プログラム構造の全体像を示し、そこから段階的に各コードの実装へ展開するトップダウン・アプローチでサンプル・プログラムの内容を説明する。
- ・ サンプル・プログラムは、機能を実現する正味の部分に焦点を絞るため、すべてコマンドラインから実行するものとしている。また、商用プログラムでは不可欠なエラー処理も必要最小限の範囲に留め、多くは省略している。

本書の構成

本書は、次に示すような構成となります。

- ・ “Chapter 1 デジタル・オーディオ技術の概要” では、オーディオ信号のデジタル化に必要な手法・用語・定義について説明する。具体的には、サウンド信号の標本化、量子化、PCM 符号化等のサウンド・データのデジタル化手法について説明する。

- ・ “Chapter 2 OS XのCore Audio 概要” では、Core Audioの全体像と特徴について説明する。具体的には、Core Audioの各種サービスを提供するライブラリや技術文書のバンドル・セットであるフレームワーク、OS Xがサポートするサウンド・フォーマット、Core Audioを利用したアプリケーション作成方法について説明する。
- ・ “Chapter 3 コマンドライン・アプリケーション・プログラム開発環境” では、Xcodeの開発環境、およびOS Xのクロスプラットフォームとして採り上げるLinuxの開発環境の概要を説明する。具体的には、Xcode導入の手引き、Xcode関連技術文書の参照方法、Xcode、およびLinux各開発環境におけるコマンドライン・アプリケーション開発手順等について説明する。
- ・ “Chapter 4 オーディオ・プログラミングの特徴” では、オーディオ処理固有のプログラムやサウンド・データの特徴について説明する。具体的には、プログラム処理上のバッファのしくみやレイテンシの制約、サウンド・データのデータ型やフレーム、インターリーブ等、サウンド・データ構成のしくみについて説明する。また、サウンド・フォーマットの実例として、広く普及しているWAVEファイル・フォーマットの内部構造を説明する。そして、この章の最後に、最初のサンプル・プログラムとして、以降の章で作成するサウンド再生プログラムの試験音源を生成するプログラムを作成し、動作を確認する。
- ・ “Chapter 5 クロスプラットフォームで動作するサウンド再生プログラムの作成” では、クロスプラットフォームに適用可能なツールによるサンプル・プログラムを作成し、動作を確認する。1つ目のサンプル・プログラムは、WAVEファイルのサウンド再生プログラムである。2つ目に作成するサンプル・プログラムはWAVEと異なる他のサウンド・フォーマットからWAVEフォーマットへの変換プログラムである。
- ・ “Chapter 6 Core Audio APIを直接利用するオーディオ処理” では、Core Audio API (Application Programming Interfaceの略語) を直接適用するアプリケーション・プログラムを作成する時の前提知識となる特徴について説明する。具体的には、Core Audioのプログラミング作法を理解するためのキーワードとなる、“プロキシ・オブジェクト”、“プロパティ”、“コールバック関数”等の概念について説明する。また、非圧縮、または圧縮サウンド・フォーマットをプログラム上で取り扱う際の識別方法について説明する。更に、Core Audioの標準的なサウンド・データ構造の定義について説明する。
- ・ “Chapter 7 Audio Queueサービスを適用したサウンド・ファイルの再生” では、

Core Audio 上位階層に位置する Audio Queue サービスを利用するアプリケーション・プログラムの作成方法について説明する。最初に Audio Queue サービスの動作機構の特徴を説明する。次に Audio Queue サービスの API を利用したサウンド再生サンプル・プログラムを作成し、動作を確認する。

- ・ “Chapter 8 Audio Unit サービスによるオーディオ処理” では、Core Audio の中位階層に位置する Audio Unit サービスを利用するアプリケーション・プログラムの作成方法について説明する。Audio Unit を利用する場合のキーワードとなる、“オーディオ処理グラフ”、“プル機構” 等の概念について説明する。続いて、Audio Unit サービスの API を利用したサウンド再生サンプル・プログラムを作成し、動作を確認する。更にこのサンプル・プログラムに Core Audio 既成のプラグイン Audio Unit を追加して、動作を確認する。

用語について

本書では、可能な限り日本語の用語を用いるようにしていますが、時にはオーディオに興味のある読者を念頭において、工学用語“音響”の代わりに“サウンド”のような日常的になじみの深い英語の音読で表記している場合があります。また、英語音読表記の場合、英語で複合語となる用語は、各単語を“・”(なかぐろ)で区分して表現しています(例：sound file ⇒ サウンド・ファイル)。また、同じ内容の事項に複数の用語が慣例的に使われている場合(例：“バッファ”と“ブロック”)は、可能な限りそれら複数用語を列挙するようにしていますが、本書内では、どちらか1つの用語に統一して記述しています。

また、サンプル・プログラムのリスト表示では、紙面幅の制約で1行に収まらないコード行については、適宜改行コード、空白文字を挿入した継続行表示にして、見やすくするようにしていることをご了解ください。

本書の利用で期待される効果

本書により、PC オーディオ環境でサウンドを再生するためのアプリケーション・プログラムを設計、構築するための基本的な知識、およびプログラミング技法が習得できます。この基本知識とプログラミング技法をベースにすれば、次のステップでは独自のPCオーディオ・アプリケーション・プログラムへ拡張・発展させることが一段と容易になることが期待されます。

Contents : 目次

はじめに	iii
------------	-----

Chapter 1 デジタル・オーディオ技術の概要

1.1 • サウンド信号のデジタル化	2
1.2 • サウンド信号の標本化	4
1.3 • サウンド信号の量子化	8
1.4 • サウンド信号のLPCM符号化	10
1.5 • サウンド・フォーマット	11

Chapter 2 OS XのCore Audio概要

2.1 • フレームワーク (framework)	15
2.2 • サポートするサウンド・フォーマット	17
2.3 • Core Audioの正準形 (canonical) データ・フォーマット	18
2.4 • Core Audioを利用するAPIの区分と特徴	20

Chapter 3 コマンドライン・アプリケーション・プログラム開発環境

3.1 • Xcode開発環境概要	23
3.2 • ターミナル開発環境概要	26

Chapter 4 オーディオ・プログラミングの特徴

4.1 • プログラム処理の特徴	28
4.2 • サウンド・データの特徴	34
4.3 • WAVEファイル・フォーマット	36
4.4 • WAVE音源の生成と確認	38

Chapter 5 クロスプラットフォームで動作する**サウンド再生プログラムの作成**

5.1 • WAVE ファイル再生プログラムの作成と動作確認 50**5.2 • WAVE フォーマット変換プログラムの作成と動作確認** 66**Chapter 6 Core Audio APIを直接利用するオーディオ処理**

6.1 • Core Audio プログラミングの特徴 80**6.2 • Core Audio サウンド・データ構造の特徴** 83**Chapter 7 Audio Queue サービスを適用した****サウンド・ファイルの再生**

7.1 • Audio Queue の動作機構 90**7.2 • Audio Queue サウンド・ファイル再生プログラムの作成と動作確認** ... 93**Chapter 8 Audio Unit サービスを適用したオーディオ処理**

8.1 • Audio Unit サウンド・ファイル再生プログラムの作成と動作確認 ... 121**8.2 • Audio Unit 残響エフェクトの追加と動作確認** 138**おわりに** 144**参考資料** 145**索引** 146

Chapter 1

デジタル・オーディオ技術の概要

1.1 • サウンド信号のデジタル化	2
1.2 • サウンド信号の標本化	4
1.3 • サウンド信号の量子化	8
1.4 • サウンド信号のLPCM符号化	10
1.5 • サウンド・フォーマット	11

1.1 | サウンド信号のデジタル化

楽器や歌声による演奏、あるいはオーディオ・スピーカーから出力されるサウンド信号は、空気圧の変化による波動となって伝搬し、最終的に人間の聴覚で知覚されます。このサウンド信号波をマイクロフォンで電気信号に変換して、オシロスコープで波形を観測すると時間軸上でも電圧軸上でも、連続的に値が変化するアナログ信号であることが分かります。本書では、これをアナログ・サウンドと呼ぶことにします。

一方、CD (compact disc) に代表されるデジタル・オーディオの分野では、コンピュータ内部の演算処理と同様に0、1の2値で表現される離散的な信号（または符号）を取り扱います。本書では、これをデジタル・サウンドと呼ぶことにします。

注：本書では、“信号”を電気信号等の実在する物理量に対する用語とし、“符号”を数値等の抽象化された記号列に対する用語として区分します。

A / D変換とD / A変換

アナログ・サウンドから、デジタル・サウンドを生成するためには、A / D変換器 (Analog to Digital Converter) が用いられます。図1-1にモデル化したA / D変換器のブロック図を示します。A / D変換器は、アナログ・サウンド信号 (図1-1、 $s(t)$) を時間的に離散化するために標本化 (sampling) し、更に各標本 (図1-1、 $s(n)$) の振幅値を0、1の2値で表現される数値に丸めるために量子化 (quantization) して、デジタル・サウンド (図1-1、 $s_0(n)$) を生成する装置です。

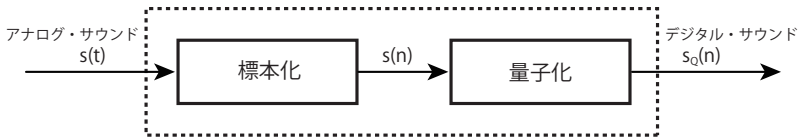


図1-1 A/D変換器のブロック図

A / D変換と逆に、デジタル・サウンドからアナログ・サウンドを生成するためには、D / A変換器 (Digital to Analog Converter) が用いられます。D / A変換器は、サウンド再生ソフトウェアから送出されるデジタル・サウンド信号をアナログ・サウンド信号に変換する装置です。

1.2 | サウンド信号の標本化

サウンド信号の標本化は、アナログ・サウンドから一定周期 T_s sec (秒)の時間間隔でサウンド信号の標本(sample)を取り出す処理です。ここに T_s は標本化周期(sampling period)、または標本化間隔(sampling interval)と呼ばれます。図1-2にCDと同じ標本化周期 $T_s \div 22.7 \mu\text{sec}$ (マイクロ秒)でサウンド信号を標本化した波形の例を示します。

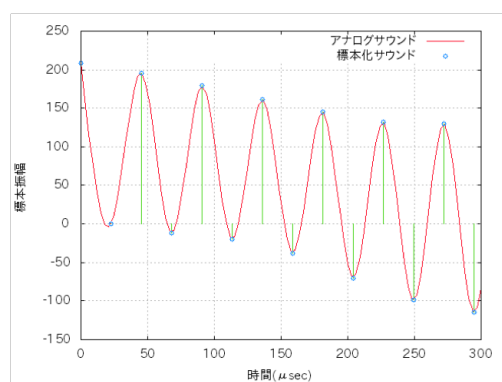


図1-2 サウンド信号の標本化

標本化によるサウンド周波数スペクトル

サウンド信号の特性を表わす指標の1つに周波数スペクトルがあります。サウンドの周波数スペクトルは、横軸を周波数、縦軸をサウンドの振幅値とする2次元座標で表現されます。周波数スペクトルはスペクトラム・アナライザーと呼ばれる専用計測器ハードウェアで実測できますが、ここではGPL (GNU General Public License) フリー・ソフトウェア、Audacityのスペクトル解析機能を使用して計測したサウンド周波数スペクトルの例を図1-3に示します。

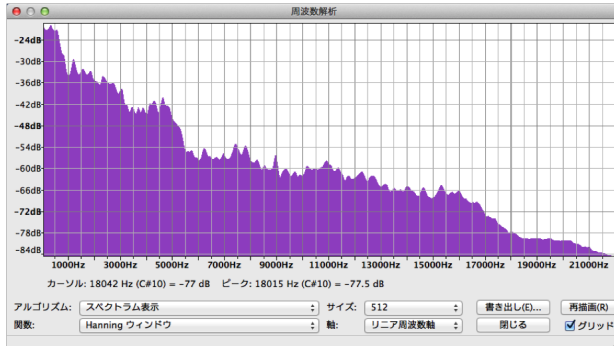


図 1-3 サウンド周波数スペクトル例

注1：Audacityは、サウンド・ファイルの取り込み、編集等が行えるフリー・ソフトウェアで、OSX、GNU/Linux、Windows等、主要OSプラットフォームに対応し、下記URLから入手できます。

<http://audacity.sourceforge.net/>

注2：用語“スペクトル”は、“スペクトラム”と音読する場合がありますが、本書では前者の表記を用います。ただし、計測器名称では、実態に合わせて“スペクトラム・アナライザー”としました。

デジタル信号処理工学における周波数スペクトル解析理論によると、標本化後のサウンドの周波数スペクトルは、標本化前のアナログ・サウンド周波数スペクトルの複製が周波数軸上で一定間隔 f_s Hz (ヘルツ) で繰り返し出現する特性に変換されることが立証されています。ここに、 f_s は標本化周波数 (sampling frequency)、または標本化速度 (sampling rate) と呼ばれ、 $f_s = 1 / T_s$ の関係があります。サウンド可聴周波数帯域 W (通常 $W \approx 20$ kHz) のサウンド信号の標本化前後の周波数スペクトルの概念を図1-4に示します。



試し読みはお楽しみ
いただけましたか？

ここからはManatee
おすすめの商品
をご紹介します。

Manatee Tech Book Zone 

3.21
2017

おすすめ 電子書籍

Manatee

1

2

本格的な補正・加工で思い出の写真を美しく残そう!

なかなか使いこなすのが難しいPhotoshop Elements 15の操作や機能をやさしく解説! 補正や加工、SNSへの投稿など写真編集をもっと楽しみたい人にぴったりの入門書です。本書は「逆光で撮影した写真を補正するには」「年賀状を作成してみたい」など、実際に写真を編集する上で生まれる疑問をレッスン仕立てで解説しています。また、グラフィックデザイナーによるプロ技や操作のコツも伝授し、ワンランク上の技を身に付けられます。

本書でマスターできる 主な補正・加工の一覧

以上の、巻頭のレッスンで紹介する写真の補正加工と操作の解説です。それとそれに必要なページ番号、右欄には「1」マークを記しているのが、「目で見る見方」として読んでみてください。



巻頭ではさまざまな補正例を紹介。ここから使いたい機能を見つけ出せる



解説は基本的に見開きで完結。
補正前と後の写真を
「Before・After」形式で掲載

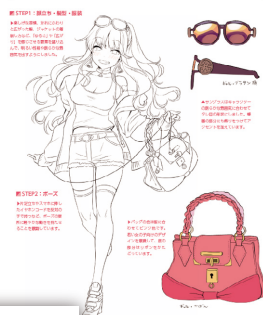
グラフィックス・デザイン

メディア別だからよくわかる 魅力的なキャラクターの描き方!

創作物を作るうえで欠かせないものに「キャラクター」があります。その際は見た目のキャッチーさだけでなく、キャラクター性を感じられることが重要です。本書では、キャラクターをデザインするうえでの基礎から、見た人の印象に残るようにする方法を解説。スマホゲームやポスターイラスト、ラノベ表紙など、メディアによって異なるキャラクターデザインの特徴についても解説し、読み手に合った方向を見つける際にも役立ちます。

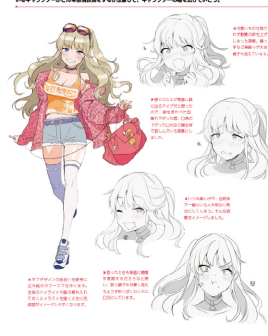
LESSON 03 ラフを基にキャラをデザインする

キャラクターデザインは、まず大まかなラフを描き、そこから細部を詰めていく。この段階でキャラクターの個性や魅力を出せる。この段階でキャラクターの個性や魅力を出せる。この段階でキャラクターの個性や魅力を出せる。



LESSON 04 表情/パターンでキャラに深みを出す

キャラクターの表情やパターンを、キャラクターの個性や魅力を出す。この段階でキャラクターの個性や魅力を出す。この段階でキャラクターの個性や魅力を出す。



依頼元からの発注時の
イメージから、キャラクターを
作り上げていく

できる Photoshop Elements 15 Windows & Mac 対応

インプレス
樋口泰行・
できるシリーズ編集部(著者)
320 ページ
価格: 1,631 円 (PDF)



グラフィック
アプリケーション

物語を動かす キャラクターデザインと イラストの描き方

マイナビ出版
スタジオ・ハードデラックス(著者)
160 ページ
価格: 2,257 円 (PDF)



その他

現役ディレクターが教える
ライティング & レンダリング

AutoCAD の勘所を
人気講師がやさしく解説!

CINEMA 4D の
MoGraph/XPresso を解説!



&

&

**[digital]
ライティング&レンダリング 第3版**

3DCG 制作の中でもライティングとレンダリングにフォーカスし、より高品質な作品に仕上げるための解説書。テクスチャ制作のカラーマネージメント、物理ベースライティングやリニアワークフローなどにも触れています。

ポーンデジタル
Jeremy Birn (著者)
472 ページ 価格: 7,560 円 (PDF)

**できる AutoCAD
2017/2016/2015 対応**

ベテラン講師が AutoCAD の基本と実践をやさしく解説しています。初学者が押さえておくべきポイントやつまづきがちな操作を特に手厚く解説しているので、初めてでも AutoCAD の勘所がしっかり分かります。

インプレス
矢野悦子・できるシリーズ編集部 (著者)
337 ページ 価格: 2,624 円 (PDF)

**CINEMA 4D
MoGraph/XPresso ガイドブック
【解説ムービー付き】**

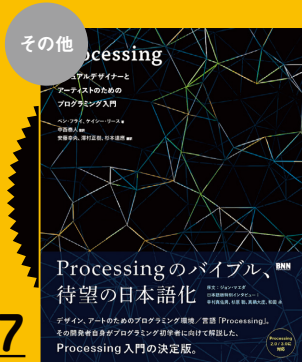
CINEMA 4D の XPresso と MoGraph に関する解説書。この 2 つの機能は、CINEMA 4D の中で中級〜上級レベルのユーザーが必ず引っかかるもので、近年かなり重要視されています。本書は MoGraph と XPresso に絞って解説しました。

マイナビ出版 富士雄雄 (著者)
328 ページ 価格: 4,514 円 (PDF)

表現のアイデアを形に!
「vvvv」の入門解説書

デザイン・アートのための
プログラミング環境を詳解

DTP や印刷業界全般で
知っておくべき情報を網羅



&

&

**vvvvook—プロトタイピングのための
ビジュアルプログラミング入門**

Windows ソフト「vvvv」は様々な機能を持った〈部品〉を線で繋ぐことで、表現のアイデアを素早く形にできるビジュアルプログラミング環境です。インタラクション・2D/3D アニメーションなど幅広い制作で活躍します。

ビー・エヌ・エヌ新社
伊東実・星卓哉 (著者)
224 ページ 価格: 3,110 円 (PDF)

**Processing
ビジュアルデザイナーとアーティストの
ためのプログラミング入門**

Processing は、デザイナーやアーティストなどに向けて作られたプログラミング言語・環境です。そこでの体験は、文系と理系、デザインとエンジニアリング、感性と論理という両軸における領域横断接続をもたらします。

ビー・エヌ・エヌ新社 Ben Fry・Casey Reas (著者)、中西泰人・安藤幸央・澤村正樹・杉本達彦 (翻訳)
688 ページ 価格: 6,804 円 (PDF)

**カラー図解
DTP&印刷スーパーしくみ事典 2016**

DTPや印刷物に携わるすべての人に役立つ図解事典。業界のトピック110を特集するほか、Adobe Creative Cloud の最新機能、サービスを使った表紙制作レポート、デジタル印刷機の動向などを110の項目にまとめました。

ポーンデジタル
ポーンデジタル 出版事業部 (編集)
329 ページ 価格: 4,104 円 (PDF)