

情報社会論

(252S0541)

講義概要

第3回目

標準化間隔と量子化間隔

「標準化間隔」は標準化周波数あるいはサンプリング周波数と呼ばれ、単位はヘルツ Hz を使用する。1秒間に標本をとる回数を意味する。

「量子化間隔」は量子化ビット数あるいはビット深度とも呼ばれ、 n ビットの時は、 $0 \sim 2^n - 1$ (2^n 個の数) の刻みで表現する。

3 アナログとデジタル (2)

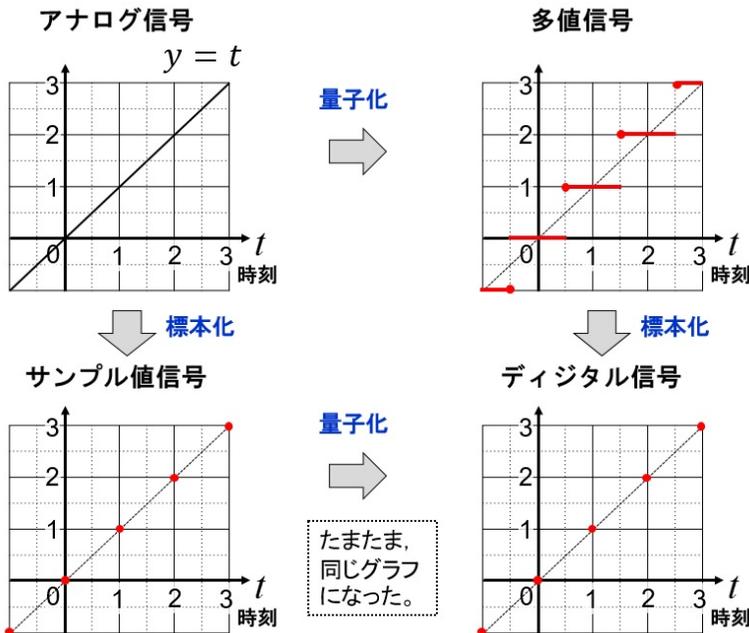
3.1 色々な信号の種類

情報を伝達するための時間の関数について、前節で考えた、(時間の) 標準化と (関数値の) 量子化により、それらは大きく4つの種類に分類することができる。

- アナログ信号: 連続時間で関数値も実数をとることが可能。
- 多値信号: 関数値を離散化したもの (量子化)
- サンプル値信号: 時間を離散化したもの (標準化)
- デジタル信号: 時間と関数値の両方を離散化したもの (標準化・量子化)

一般に、「離散化」とは、本来、「ぎっしり詰まっている」ものを、ある規則に基づいて、「飛び飛びに選ばれた状態」に変換することを指す。標準化間隔 (1秒間に標本をとる回数) を 10Hz とすると、サンプル値信号は「1秒間を 0.1 刻みで関数の値を見る」事を意味し、元の関数のグラフ $\text{graph}(f) := \{(t, y) \mid y = f(t)\}$ を $\{(n/10, y) \mid y = f(n/10), n \in \mathbb{Z}\}$ で近似する。

例 3.1. アナログ信号の関数 $y = t$ を考える。極端な例だが、標準化間隔を 1Hz (つまり、時間軸を 1 刻み) で、関数値については区間 $[-1, 3]$ を量子化間隔を 1 刻み (つまり、5 段階) とすると、以下のように標準化・量子化を考えることができる。ここで、端数処理は小数第 1 位の四捨五入を行っている。



3.2 光の色の表現法 (混色系, 顕色系, 色の三色性)

3.2.1 混色系と顕色系による光の色の表現法 (表色系)

色を定量的に表示することを**表色**といい、表示のための数値を**表色値**と呼ぶ。静止画情報の標準化・量子化を行うためには、表色のための一連の規定と定義からなる体系 (**表色系**) を決める必要がある。一般に、表色系は物体の色や光源の色を数値や記号で表現する方法を指し、**混色系 (color mixing system)** と **顕色系 (color appearance system)** がある。

- (1) **混色系**..... 「加法混色」と「減法混色」がある。等色実験 (光の混合実験) で混ぜ合わせる色光の3つの割合の値により、**色刺激 (color stimulus)** を表示するので、**三色表色系 (trichromatic system)** と呼ばれる。色相を環状に配置したものを「**色相環 (hue circle)**」という。

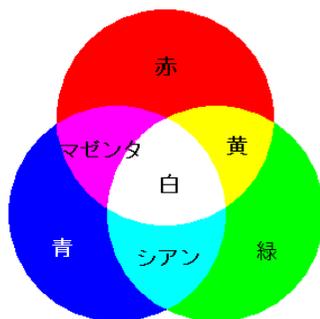
加法混色 異なる色の光をスクリーン上に重ねて投影し、別の色を作る混合法。

テレビの映像はそのような原理に基づいて映し出されている。

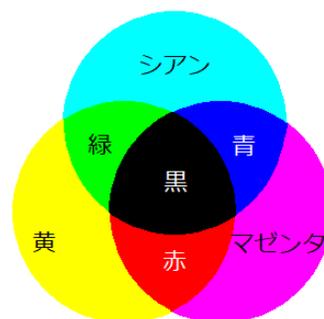
減法混色 白色光の前に色フィルターを重ねておき、透過光の色を変える混合法。

例えば、赤色の光を吸収する物質は、他の色を反射するのでシアン色になる。

プリンタのトナーは、この原理を利用して製造されている。



加法混色



減法混色

- (2) **顕色系**..... 主なものに「マンセル表色系」と「オストワルト表色系」がある。

マンセル表色系 すべての色を**色相 (hue)**、**彩度 (chroma)**、**明度 (value, lightness)** の3つで表現し、また、彩度は**飽和度 (saturation)** とも呼ばれる。

- (1) 色相は赤、黄、緑、青、紫の5色を基本とし、1つの円 (色相環) の円周上に5等分になるように配列される。
- (2) 明度は、黒 (0) から白 (10) までの11段階。
- (3) 彩度は、各明度ごとに鮮やかさの度合いを決める指標。無彩色 (灰色) を彩度0として何段階かに分けている。

オストワルト表色系 すべての色を白、黒、純色 (各色相) の混合色として表す。

- (1) 色相は赤、黄、緑、青の4色を基本として24色相を選び、円周上に混色して無彩色になるような補色色相同士が対向位置にくるように配列される。
- (2) 各色相の等色相断面は白、黒、純色 (各色相) をそれぞれ頂点とする正三角形で表される。

3.2.2 色の三色性

ヤング-ヘルムホルツの3原色説

あらゆる色は、異なる3色を適当な割合で混色することで作り出すことができる。

ここでいう「異なる3色」とは、数学の言葉を使うと「一次独立な3色」ということになる。つまり、色を“ベクトル”とみなして、色の世界を“ベクトル空間”と考えて、「どの色も他の2色からどのように混ぜ合わせようとも作り出すことが出来ない関係」にある3色を意味する。通常は、加法混色では3原色の「赤 (Red)」、「緑 (Green)」、「青 (Blue)」を用い、減法混色では、「シアン (Cyan)」、「マゼンタ (Magenta)」、「黄 (Yellow)」を使用する。

3.3 LPレコードとCDの比較

ここでは、LPレコードとCDレコード（ソニーとフィリップスが共同開発）の比較を例にしてデジタル化の優位性を検証しよう。

表 3.1: LPレコードとCDレコードの比較

	LPレコード	CD
誕生	1948年	1982年
形状	円盤直径30cm 両面使用	円盤直径12cm 片面使用
トラック形状	螺旋状（外から内へ読む）	螺旋状（内から外へ読む）
録音時間	片面30分両面1時間	片面最大74分（当初）
記録形式	アナログ	デジタル
ピックアップ	レコード針	半導体レーザー
トラック間ピッチ	160 μ m	1.6 μ m
回転数	1分間33回転 1/3	最内周600回転，最外周200回転
周波数特性	20Hz～22kHzを超える	20Hz～22kHz
ダイナミックレンジ ²⁶	73～78dB	96.33dB

一般に、**CDの記憶容量はCD-ROM形式での値で表記されるが**、CDそのものは、元々、レコード盤に代わるメディアとして作成されたもので、次のようにして、記憶容量が定められた。まず、標本化間隔の**標本化周波数（サンプリング周波数）**、量子化間隔の**量子化ビット数**、及び**チャンネル数**を定めることにより、1秒間に扱えるデータ量（**ビットレート**）が決まり、それに対して物理的速さで読み出せるCDの領域（**セクター**）に限界があり、当時はそれが**75セクター分**にあっていた。このようにして1セクターあたりのデータ量（**最大記憶容量**）が定まる。このような音楽用CDの記録形式は、CD-DA（**Compact Disc Digital Audio**）形式と呼ばれている。

また、音楽用CDの場合は**CIRC（Cross Interleave Reed-Solomon Code）**という**誤り訂正符号**という数学の理論を使っており、音楽の特性からそれだけで十分であった。しかし、コンピュータの補助記憶媒体として利用するには、音楽と異なりデータに順序があるわけではなく、ランダムアクセスをする必要と、もっと強力なエラー訂正の機能が必要であった。そのため、同期(12byte)、ヘッダ(4byte)、EDC（Error Detecting Code）(4byte)、ECC（Error Correction Code）(276byte)とブランク(8byte)の領域が必要となり、1セクターあたりの純粋なデータ記憶容量は記録できる量全体からこの**304byte**分を確保した残りの容量となった。

この他、CDの場合は、エラーに強くするために以下のような工夫が施されている。

²⁶ダイナミックレンジ：伝送信号の最大値と最小値の比(X)、単位は常用対数を取った値($20 \log X$)、デシベル dB を使う。

- CD の構造：データを表現する凹凸が表面ではなく内部にある。
- 非接触ピックアップの使用で演奏による劣化を防ぐ。
- 変調²⁷による読み取りエラーの防止。
- インターリーブ²⁸によるエラーの分散化。
- 誤り訂正符号²⁹の利用により、データ誤りを修正して正しいデータに回復させる。

演習 3.1. 下の表を完成させて、音楽用 CD に何分録音できるか計算してみよう。

(1) CD-ROM 形式容量 650MB のディスクの場合

(2) CD-ROM 形式容量 700MB のディスクの場合

表 3.2: CD-ROM 形式と CD-DA 形式

CD-ROM 形式	1 セクター当りの記憶容量 = 2,048 バイト 容量 650MB と 700MB がある (CD-ROM 形式の容量表記)
音楽用 CD (CD-DA 形式)	CD-ROM 形式と異なりエラー訂正のための 304 バイトは不要 1 セクター当りの記憶容量 = 2,048 + 304 バイト = 2,352 バイト 音楽用として容量を計算してみよう。多くなるはず。
	(1 秒間の物理的読み出し速度は) 75 セクター
サンプリング周波数	
量子化ビット数	
チャンネル数	
1 秒間のデータ量 (ビットレート)	= サンプリング周波数 × 量子化ビット数 × チャンネル数 (ビットからバイトに直そう)

注意 3.1. 本来の国際単位系では、 $10^3 = 1,000$ がキロ、 $10^6 = 1,000,000$ がメガ、 $10^9 = 1,000,000,000$ がギガ、 $10^{12} = 1,000,000,000,000$ がテラというように SI 接頭辞を使うが、情報量の場合は、通例、2 進法に合わせて単位を表している。最近では、曖昧さを避けるために 2 進接頭辞として、「キビバイト (KiB)」や「テビバイト (TiB)」などが使われるようになっている。

1KiB (1 キビバイト) = 1KB (1 キロバイト) = 1024byte (1024 バイト) = 2^{10} byte

1MiB (1 メビバイト) = 1MB (1 メガバイト) = 1024KB (1024 キロバイト) = 2^{20} byte

1GiB (1 ギビバイト) = 1GB (1 ギガバイト) = 1024MB (1024 メガバイト) = 2^{30} byte

1TiB (1 テビバイト) = 1TB (1 テラバイト) = 1024GB (1024 ギガバイト) = 2^{40} byte

1PiB (1 ペビバイト) = 1PB (1 ペタバイト) = 1024TB (1024 テラバイト) = 2^{50} byte

²⁷ アナログ変調には、振幅変調 (AM)、周波数変調 (FM)、位相変調 (PM) がある。デジタル変調には、位相偏移変調 (DQPSK や QPSK; Phase-Shift Keying) や直角位相振幅変調 (16QAM や 64QAM; Quadrature Amplitude Modulation) など様々なものが開発されている。

²⁸ インターリーブとは、元々は本などに間紙を入れることだが、ここではデータを交互配置すること。

²⁹ 誤り訂正符号 (Error Correcting Code) とは、データ伝送におけるエラーを防ぐため、元のデータに冗長データを付加し、伝送エラーがあっても、その冗長性を利用して、元の正しいデータを復元する符号化方式。