

実験 5

周波数解析

担当: 山口匡

電話: 043-290-3267

担当者居室: フロンティアメディカル工学
研究開発センター A 号棟 4 階
yamaguchi@faculty.chiba-u.jp

1 実験の目的

世の中にあふれる自然現象や、画像や音楽などの人工データから得られる情報の多くは、時間的(空間的)な変動を持っており、これらの情報が持つ性質を知るためには周波数の概念を理解する必要がある。これまでに講義で学んできたフーリエ級数やフーリエ変換等の理論を生かし、実際の現象における時間と周波数の関係を十分に理解することが本実験の目的である。

本実験では、様々なデジタルデータについて計算機上で周波数解析を行うとともに、複数の信号処理を行うことで、時間-周波数の関係を総合的に学ぶ。

2 実験に関する注意

本実験は、2週(2日)にわたり、「周波数解析」についての実習を行う。各週それぞれテーマが与えられ、各自が計算機を用いて解析・観測・処理を行い、それぞれの結果について考察する。実験には、工学部一号棟501室の計算機を用いる。実習は指導教員・TAがついている実習時間内に完了するのが望ましい。

受講者は各自、ヘッドホン(簡易なものでよい)を持参することが望ましい。(新たに購入する必要はない。)

2.1 本実験の評価方法

評価はレポートの内容を中心に行い、レポートの総合的完成度(目的達成度、読みやすさ、オリジナリティ等)で判断する。なお、正当な理由が

なく期限を過ぎたレポートは受理しない。実験内容は個人で行うことを前提としているが、受講者間での相談やデータの共用は可能とする。ただし、考察を含めたレポート内容について他人と顕著な類似が発覚した場合は、互いに大幅減点とする。

2.2 遅刻・欠席の扱いについて

- ・ 病気などやむを得ない理由で欠席する場合は理由を添えて、必ず始業時間までにメール(yamaguchi@faculty.chiba-u.jp)、または電話(043-290-3267)にて連絡すること。
- ・ 病欠、忌引きで欠席する旨の連絡が事前にあった場合は状況を考慮して、レポートの提出を延長する。
- ・ 一般に「遅刻・欠席は減点、無断欠席・レポート未提出は不可(0点)」とする。

2.3 実験レポートについて

実験レポートは実験最終日の次週までに提出すること。その際、実験レポートは次の様式に従うこと。

- ・ 表紙(実験名、実験日、氏名、学籍番号)
- ・ 実験の目的
- ・ 各課題の概要と実験結果
(各自で適宜、項目を作成すること)
- ・ 考察とまとめ
- ・ 参考文献リスト
- ・ 実験(2週)に対する意見・感想 (任意)

3 背景知識

電波や音波などの「波」の特徴を決める要素として、振動の振れ幅(振幅)、時間とともに移動する速さ(速度)、一往復するのに必要な距離(波長)、ある時間内に振動する回数(周波数)がある。振幅、速度、波長については、図 1 に示すように時間を横軸にとることで概念を簡単に理解することが可能であるが、周波数の概念は時間領域では捉えることができないため、図 2 に示すように時間軸を周波数軸に変換する必要がある。この、時間領域から周波数領域への変換に用いられるのが「フーリエ変換」であり、逆に周波数領域から時間領域への変換には「逆フーリエ変換」が用いられる。

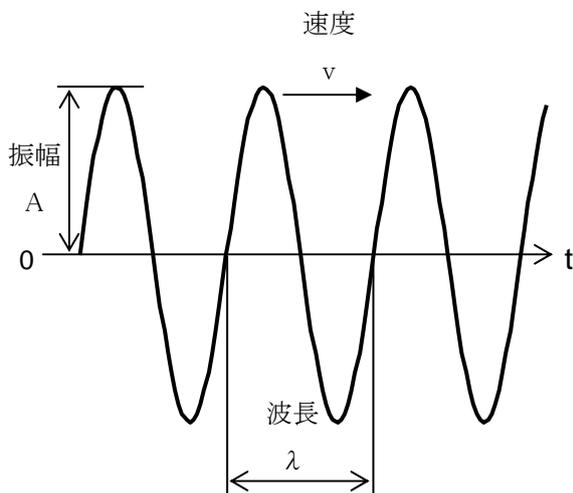


図 1 波の特性 (時間領域)

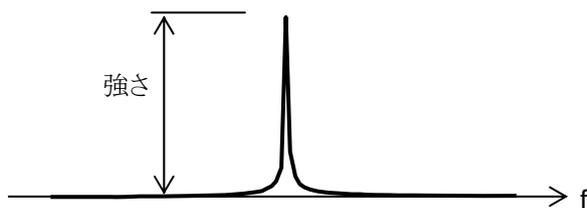


図 2 波の特性 (周波数領域)

周波数とは、ある一点で観測した物理量が 1 秒間に何回振動するかを表すものであり、単位は Hz(ヘルツ)が用いられる。図 2 のように、波を周波数領域でとらえ、周波数成分の大きさ(強さ)を示したグラフを周波数スペクトル(またはスペクトル)と呼び、周波数解析に用いられる。

4 実験課題

【 第一週： フーリエ変換・逆フーリエ変換 】

実験用に用意された Microsoft Excel のワークシートを用い、波と周波数の関係についての基礎的な実験を行う。ここで用いる「波」は、計算機上で作成した正弦波などのデジタルデータであるが、物理的には音声や騒音または電気回路で得られるアナログ信号などと同じと考えてよい。

実験 1. 正弦波の解析

実験 1-1. 振幅と周波数

式 1 で表現されるように、時間に対して強さが周期的に変化する波の例として正弦波(sin 波)がある。図 3 は、式 1 の波を模式的に示したものである(正弦波データ A)。

実験 1 では、このような正弦波の信号データをフーリエ変換することにより、波の周期と周波数の概念を実際に確認する。

$$y(t) = A \sin(\omega \cdot t) \quad (1)$$

$y(t)$: ある時間における信号, A : 振幅
 ω : 各周波数 ($= 2\pi f$), t : 時間

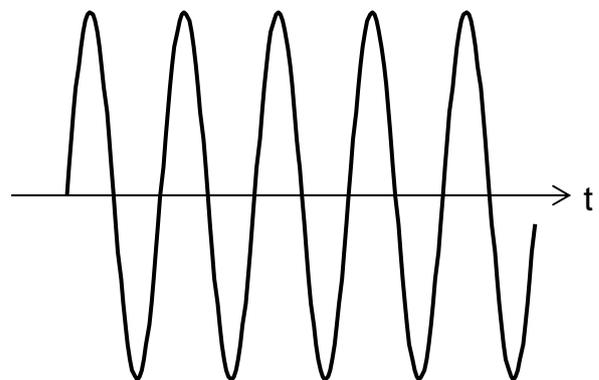


図 3 正弦波データ A

さらに、正弦波データ A に対して 1/2 の振幅をもつ波(図 4 正弦波データ B)や、正弦波データ A に対して 1/2 の周期を持つ波(図 5 正弦波データ C)について周波数スペクトルを求め、それぞれの結果から波の性質を考察する。

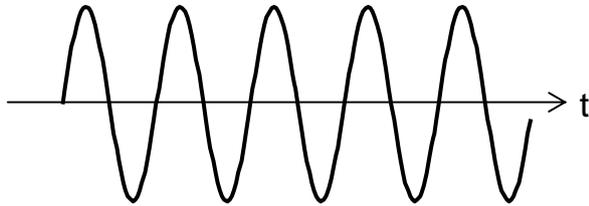


図 4 正弦波データ B

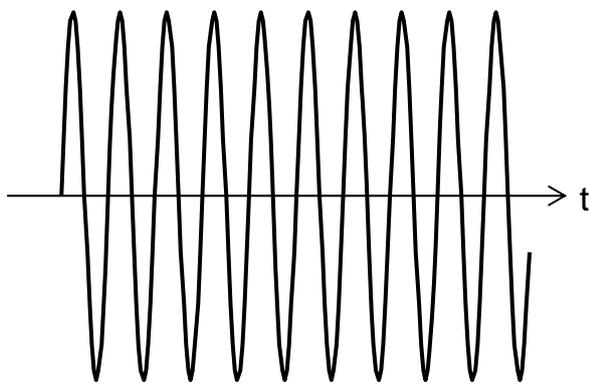


図 5 正弦波データ C

具体例:

1. 周波数 10 Hz, 振幅 1 の正弦波を Excel シート上で再現し、フーリエ変換を実行する。その結果として得られる周波数特性と波形との関係を見る。
2. 周波数 20 Hz, 振幅 1 の正弦波を再現し、フーリエ変換の結果を見ることで、先に行った 10 Hz での結果と比較を行い、設定した周波数の違いが波形および周波数特性に与える影響について検討する。
3. 周波数 10 Hz, 振幅 2 の正弦波を再現し、はじめに再現した波形との相違について検討し、振幅と周波数特性(フーリエ変換)の関係について確認する。
4. 上記を任意の設定で複数回行うことで、波形の形状と周波数, 振幅などの関係について考察する。

実験 1-2. 位相と周波数

式 2 で表現されるように、正弦波の信号には位相 ϕ が存在することが多い。

$$y(t) = A \sin(\omega \cdot t + \phi) \quad (2)$$

そこで、実験 1-1 で用いた図 3 に示す正弦波データ A に対して、任意の初期位相 ϕ を有した正弦波データを作成し、その周波数特性について解析を行う。

さらに、正弦波データ B および正弦波データ C に対しても同様の解析を行うことで、周期的に変化するデータ(信号)の振幅・位相および周期と周波数の関係について総合的に検討する。

具体例:

1. 実験 1-1 で用いた周波数 10 Hz, 振幅 1 の正弦波に対し、 $\pi/2$ の位相を持つ正弦波を Excel シート上で再現し、その周波数特性を解析し、元の正弦波との比較を行う。この際、自ら Excel シートの一部を改良して使用する必要がある。
2. 同様の解析を任意の設定で複数回行うことで、波形の形状と周波数, 位相などの関係について考察する。

実験 2. 波形の合成

周期の異なる 2 つの正弦波を合成することで、正弦波とは異なる波形を作成し、作成した波形に対するフーリエ変換を行う。例えば図 6 は、正弦波データ A と正弦波データ C の合成波であるが、この波がもつ周波数特性を解析する。正弦波の組み合わせを複数変更しながら波形生成と解析を行うことで、低周波と高周波が混在した波形(信号)の時間領域における変化と周波数領域での特性についての理解を深める。

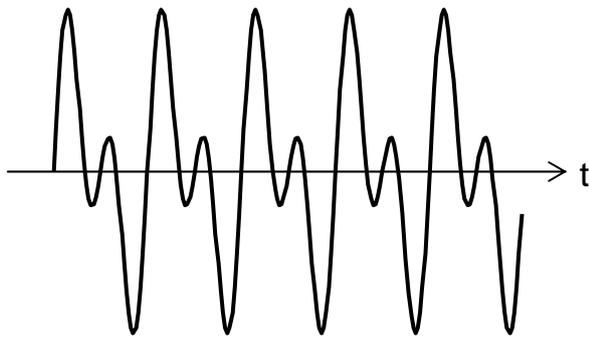


図 6 合成波データ

このとき、必要に応じてそれぞれの正弦波について振幅と位相を任意に設定し、個々の正弦波の持つ性質と合成波の持つ性質との関係について検討することも可能である。

具体例:

1. 実験 1-1 で最初に再現した正弦波と、実験 1-2 で最初に再現した正弦波を合成し、その周波数を解析することで、位相のみが異なる 2 つの正弦波が合成された正弦波の周波数特性を解析する。
2. 振幅のみが異なる 2 つの正弦波を合成し、合成波の周波数特性を解析する。
3. 周期のみが異なる 2 つの正弦波を合成し、合成波の周波数特性を解析する。
4. 位相および振幅が異なる 2 つの正弦波を合成し、合成波の周波数特性を解析する。
5. 周期および振幅が異なる 2 つの正弦波を合成し、合成波の周波数特性を解析する。
6. 上記を様々な組み合わせ、または 3 つ以上の正弦波を合成して行うことで、合成されたそれぞれの正弦波および合成波の形状と周波数特性の関係について詳細な検討を行う。

実験 3. 直流・デルタ関数の解析

正弦波の解析で用いたワークシートを改良し、直流信号を入力に与え、その周波数特性を解析する。

同様に、デルタ関数を入力として与え、その周

波数特性を解析する。デルタ関数の定義と実現の方法については、受講者が自ら調査し、実装するものとする。

そのほか、応用として、一般的な関数の周波数解析や、正弦波を含む上記関数を組み合わせた合成信号の解析を行い、その特性について検討することも可能である。

【 第二週： 信号処理 】

複数のデジタルデータについて周波数解析を行い、実際に世の中で使用されている情報がどのような特性を持っており、それらがどのように活用されているのかを考察する。本実験では、目視に加えて実際に聴くことにより変化を理解しやすい、音のデータを主に扱うこととする。

実験 4. 音データの解析

あらかじめ用意した複数の楽器、動物の鳴き声などの音データを、第一週で用いた解析ツールで解析するとともに、スピーカ(ヘッドホン)からの出力を聞くことにより、単音と和音の差、可聴域の帯域における周波数成分の特徴などについて考察する。

また、第一週で行った複数の波形の合成、任意の周波数成分の強調などを簡易に行うことにより、音と周波数との関係についてより理解を深める。

音データはすべて wav 形式で保存されており、実験で使用する計算機(Microsoft Windows XP 環境)において標準で視聴可能である。ここで、各々の音データはビットレートが 8bit または 16bit、モノラルまたはステレオ、サンプリング周波数など、作成・保存時のパラメータが異なっているため、解析および合成時において注意が必要となる。

サンプリング周波数などの詳細については、実験中に図説することとするが、あらかじめ講義(フーリエ変換と画像、デジタル信号処理など)で学んだ内容を復習しておくことが好ましい。

実験 5. 音声データの解析

受講者各自がマイクロフォンから音声(数秒程度)を入力し、計算機上でサンプリングして音声データを作成する。音声の取り込みからデータの作成については、Microsoft Windows XP に標準装備のサウンドレコーダーを用いる。

はじめに収集および解析に用いるデータは、実験者本人の母音 [a] とし、実験4までと同様に周波数特性の解析を行う。さらに、複数の母音データ [i] [u] などを比較するなどして、音声特有の情報や自分の声の特徴などについて考察する。

実験 6. 発展課題

実験者が任意の条件で発音した音声に対しての周波数解析、複数人での比較、人口的な合成音声との比較など、波形(信号)の特徴と周波数特性の関係について検討できるような条件を自ら設定し、任意に解析を行うことで、元データと処理および結果の関係について考察する。

5 提出する課題について

実験1から実験 5 について、それぞれに入力波形、出力結果(周波数特性)が分かる状態でデータをレポートに貼り付けることとする。また、

それぞれの実験(実験 1-1, 実験 1-2 などの小課題単位)を行って理解した事象について、各実験毎に条件と結果および考察をまとめて記述することとする。

第 2 週では、音声の基本的な解析(周波数成分のみ)を行っているが、音声の信号解析には「ピッチ抽出」や「ホルマント分析」、「ケプストラム解析」などが広く用いられている。実験 5 および実験 6 については、これらについて自ら調べ、今回の周波数解析の結果と合わせて考察することが望ましい。

実験についての詳細な資料:

<http://www.cfme.chiba-u.jp/~yama/jikken>

※ 実験 1 から実験 5 は必修の課題であり、受講者は必ずレポート中に記載の上で提出することとする。発展課題の提出は任意である。

※ 課題の詳細およびエクセルシートの使用法については実習時間中に説明がある。注意点など、よく確認すること。