

# 音響学入門ペディア

日本音響学会編

コロナ社

コロナ社

# 目 次

Q00	音響学入門ペディアって何ですか？	2
Q01	サンプリング定理をやさしく教えてください	4
Q02	畳み込みって何ですか？	8
Q03	フーリエ変換をやさしく教えてください	12
Q04	$z$ 変換をやさしく教えてください	16
Q05	窓関数って何ですか？	20
Q06	加工した音は元に戻りますか？	24
Q07	共鳴って何ですか？	28
Q08	粒子速度と音圧と音速と周波数の関係をやさしく教えてください	32
Q09	音声強調，雑音抑圧，音源分離の違いって何ですか？	36
Q10	音源分離について教えてください	40
Q11	ビームフォーミングって何ですか？	44
Q12	小数点を含む遅延の実現方法は？	48
Q13	周波数領域で設計したフィルタを時間領域にするには？	52
Q14	音響機器の取扱いについてやさしく教えてください	56
Q15	騒音計ってどうやって使うの？	60
Q16	マイクロフォンのキャリブレーションって何ですか？	64
Q17	ホワイトノイズって何ですか？	68
Q18	音響エネルギーレベルって何ですか？	72
Q19	定比バンド幅分析と定バンド幅分析って何が違うのですか？	76
Q20	残響時間はどのようにして把握するの？	80
Q21	吸音材にはどのようなものがあるの？	84
Q22	音場の数値計算手法について教えてください	88

Q23	統計解析って何ですか？	92
Q24	主観評価についてやさしく教えてください	96
Q25	音響特徴量って何ですか？	100
Q26	ケプストラムについてやさしく教えてください	104
Q27	MFCC とメルケプストラムの違いは何ですか？	108
Q28	音声認識の概要について教えてください	112
Q29	HMM についてやさしく教えてください	116
Q30	GMM についてやさしく教えてください	120
Q31	ベイズ推定って何ですか？	124
Q32	深層学習って何ですか？	128
Q33	ボコーダ（分析合成系）による音声合成の仕組みが知りたいです	132
Q34	統計的音声合成の仕組みを教えてください	136
Q35	人が音声を正しく知覚できるのはなぜでしょうか？	140
Q36	音高と音程，ピッチ，基本周波数って何が違うんですか？	144
Q37	どうやって音を立体的に感じるのですか？	148
Q38	聴覚フィルタって何ですか？	152
Q39	閾値についてやさしく教えてください	156
Q40	骨伝導って何ですか？	160
Q41	エコーロケーションって何ですか？	164
Q42	パラメトリックスピーカの原理と応用を教えてください	168
Q43	音響放射力って何ですか？	172
Q44	振動子のアドミタンスループとは何ですか？	176
Q45	音波の伝搬時間はどのように計測すればいいですか？	180
Q46	超音波振動子の指向性ってどうやって決まるのですか？	184
Q47	MIDI データについて教えてください	188
Q48	楽器はどんな基準で分類されますか？	192

# Q 00

## 音響学入門ペディアって何ですか？

本書「音響学入門ペディア」はいったいどのような本なのでしょう。これまでの入門書とどう違うのでしょうか。

### A

ざっくり言うと…

- 音響学への入門のための入門書
- 研究室の先輩が後輩に「要するにこういうこと」と教えるスタイル
- これを足掛かりに本格的な勉強に進んでほしい

音響学の初学者が、例えば大学の研究室に配属されたばかりの頃に、その研究室で当然のように使われている専門用語を理解したり、専門的な知識や概念を習得したりするにはしばしば困難を伴います。その理由にはいろいろありますが、第一に、音響学と一言と言っても聴覚から音声、電気音響、超音波とその守備範囲がとても広いこと、第二に、現在の音響学は数学、物理学、情報学などの基礎的な学問の上に成り立っている応用的な学問であるため、多岐にわたる前提知識を必要とすること、第三に、音響的な現象は一般的には目に見えないため、概念をわかりやすく捉えにくいことなどが挙げられます。ベテランの研究者に、最初はどのように理解したのかと尋ねても、時間をかけ慣れ親んでいるうちにいつの間にか理解していたとの答えが返ってくることもしばしばあります。

初学者が理解につまずいたとき、教えることの得意な研究室の先輩が近くにいれば、自身が理解した過程の記憶をもとに「それは要するにこういうことだよ」「最初はこんな風に理解しておけば大丈夫だよ」といったサジェスションをもらえたりします。しかし、そのようなことが得意な先輩ばかりとも限りま

せんし、先輩から後輩に伝えられるサジェスションは、ページ数が制限されることの多い専門的な参考書には丁寧に記述しにくかったり、「厳密には間違っているのだが、簡単に言えばこういうこと」だったりすることもあります。

そこで本書は、大学や企業の研究室に配属されたばかりの初学者や、これから音響分野の研究をしようとする方々が、その分野では日常的に使われてはいるが最初の理解が難しい種々のトピックスに関して、研究室の先輩が後輩に教えるようなイメージを目指しました。書籍の形式としてQ & A形式を採用したうえで、厳密性よりも概念の習得を何よりも優先し、詳しい説明や厳密な導出などは他の教科書（例えば文献1）などを参照できるように配慮した形としました。

執筆するには、上述の「先輩から後輩へ」の思いの詰まった本にするため、自身が最初に理解してからまだあまり時間の経っていない、かつ現在も音響学分野で精力的に活動をされている若手研究者を中心に依頼することにしました。初学者が少しでも理解しやすい記述になるよう、集められた原稿に対しては編集委員会を中心に幾度にも渡る校正を繰り返しました。本書が、「入門のための入門書」として、将来の音響学分野を担う学生や若手研究者はもちろん、改めて基本に戻ってみたいベテランの研究者や、広く音響学に興味のある一般の読者の皆様のお役に立てば幸いです。

本書の企画にあたり、一般社団法人日本音響学会の役員や企画委員各位、学生・若手フォーラムの皆さんから多大な協力をいただきました。また、編集にあたってはコロナ社の皆様にも非常にお世話になりました。ここに記して編集委員会・執筆者一同からの謝意を表します。

なお、本書に関わるいろいろな情報をコロナ社のホームページでも紹介する予定ですので、ときどき覗いてみてください。

<http://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339008951/>

## 参考文献

- 1) 鈴木陽一，赤木正人，伊藤彰則，佐藤洋，荻木禎史，中村健太郎：音響学入門，コロナ社（2011）

# Q 01

## サンプリング定理をやさしく教えてください

サンプリング定理がどういうものかはわかるのですが、具体的なイメージがつかめません。なぜ折返し歪みのような問題が生じるのか教えてください。

### A

ざっくり言うと…

- 離散化した連続信号から元の信号を復元できる条件
- サンプリング周波数は信号の最大周波数の2倍以上
- 折返し歪み（エイリアシング）が生じるのを防ぐ

暗闇の中、蛇口から一定の時間間隔で水滴が落ちている状況を想像してください（ホラーではありませんので安心してください）。これに一定の時間間隔で点滅するストロボを照射して、水滴が落ちる様子を観察することにします。ストロボの点滅は、一つの水滴が蛇口から地面に落ちるまでの間に4回としましょう。一つの水滴が地面に落ちた瞬間に、もう一つの水滴が蛇口から落ちることとします。この場合、図1(a)のように、一つの水滴を①→②→③→④の順で4回見ることができますので、水滴が蛇口から地面に繰り返し落ちる様子は、問題なく観察できます。

次に、ストロボの照射間隔を2倍に長くしてみます。この場合、一つの水滴が蛇口から地面に落ちるまでに、ストロボは2回照射されます。図(b)の①→②の順です。このときも、なんとか水滴が落ちる様子は観察できますね。

それでは、ストロボの照射間隔を図(a)のときから3倍に長くするとどうでしょうか。この場合、図(c)のように、最初の水滴が①→②の順で見えた後、次の水滴が③の位置で、さらにその次の水滴が④の位置で見えることとなります。これが繰り返し観察できますので、このとき、水滴は地面から蛇口に向かって動いているように見えてしまいます。実は、これが**サンプリング定理**の

# Q 09

## 音声強調，雑音抑圧，音源分離の 違いって何ですか？

音響の分野では、マイクロフォンで收音された信号から、目的の音を取り出す技術について盛んに研究されています。しかし、その技術について、音声強調、雑音抑圧、音源分離といった異なる種類の単語が使われることが多いです。

### A

ざっくり言うと…

- 音声強調は、目的音が音声であることに注目した処理
- 雑音抑圧は、雑音を推定して取り除く処理
- 音源分離は、混じりあった2音声などを優劣なく分離

音声強調、雑音抑圧、音源分離の区別を明示的に定義した文献を見たことがありません。よって、著者なりの解釈を以下に示したいと思います（図1）。

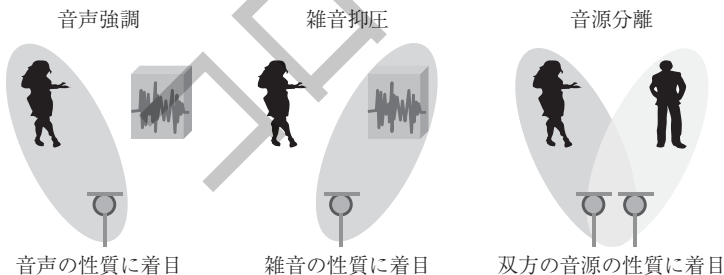


図1 音声強調，雑音抑圧，音源分離の違い

### 音声強調 (speech enhancement, speech extraction)

目的音が音声であることを前提とし、目的の音声のみをクリアに取り出す分離処理を指します。目的の音声さえクリアに取り出せれば、残りの信号（例えば、周囲の雑音）は復元される必要がありません。目的音を音声に限定しているため、音声信号の性質をモデル化した分離処理を指すことが多いと考えます。

# Q 25

## 音響特徴量って何ですか？

音響特徴量とはいったいどのようなものなのでしょうか。どのように利用されるのでしょうか。

### A

ざっくり言うと…

- 音を様々な基準で数値化したもの
- 研究分野，研究目的，研究対象で様々な種類がある
- 物理的な視点に由来するものとヒト由来のものがある

**音響特徴量**とは、音に含まれる特徴を様々な基準で数値化したもの、もしくは数値化するための基準です。一口に音響特徴量と言っても、様々な種類があります。例えば、**基本周波数**、**フォルマント周波数**、**スペクトル重心**、**スペクトル傾斜**、**音圧レベル**、**残響時間**、…といったものです。簡単なものをいくつか挙げましたが、その種類はここですべてを挙げることはできないほどに多くなります。これは、**研究分野**や**研究の目的**によって利用する音響特徴量が異なるためです。目的のために音を色々な角度から分析し、ある音響特徴量から別の音響特徴量を計算するなどして、これまでにない音響特徴量を使って研究を進めることも珍しいことではありません。

ヒトが音を評価する場合、それは感覚量や心理量であるために主観的なものになります。それに対して、音響特徴量はある基準を元に物理現象を数値化した物理量であるため、客観的なものになります（図1）。例えば、ヒトが知覚する音の高さや大きさ（⇒Q36）は、それを聴く環境やタイミング、個人によって、変動してしまいます。一方、これらの知覚に関係した物理量である、基本周波数や音圧は〇〇 Hz や音圧レベル〇〇 dB と数値化した表現が可能になります。周波数は1秒間に何周期かという物理的な量、音圧は圧力の変化量と



# Q 36

## 音高と音程，ピッチ，基本周波数って 何が違うんですか？

音高と音程，ピッチ，基本周波数はどのようなもので，どう違うのでしょうか。また，これらの用語をなぜ区別しなければならないのでしょうか。

### A

ざっくり言うと…

- 音高とピッチは同じもので音の高さの心理量である
- 基本周波数は音の高さの物理量である
- 音程は音と音のピッチの隔たりである

まず，**音高**，**ピッチ**，**基本周波数**は音の高さに関わる量を表しています。音声の分野では，有声音の基本周波数と同様の意味でピッチという用語が用いられることがあります。しかし，**音楽音響**の分野ではこれらを明確に区別する必要があります。それでは，これらの違いは何かと言うと，**心理量**か**物理量**かの違いです。音高およびピッチは心理量で，基本周波数は物理量です。心理量はある刺激に対して人間が感じる量を表しており，物理量は刺激の物理的な量を表しています。

心理量と物理量を区別しなければならない理由は，物理量を2倍にすると心理量が2倍になるという単純な関係が成り立たないためです。例えば，音の大きさに関して言うと，物理量は音圧レベルであり，これに対応する心理量は**ラウドネス**です。純音や狭帯域雑音の周波数を変化させ，ラウドネスが一定，つまり同じ音の大きさに聞こえる**音圧レベル**を結んだ**等ラウドネスレベル曲線**を見ると，周波数により聴覚の感度が異なることがわかります。したがって，ある周波数と別の周波数の音について音圧レベルを同じだけ変化させても，聞こえる音の大きさは同じだけ変化するとは限りません。このように，ラウドネス（心理量）は音圧レベル（物理量）だけに依存するのではなく，それ以外の物

# Q 44

## 振動子のアドミタンスループとは何ですか？

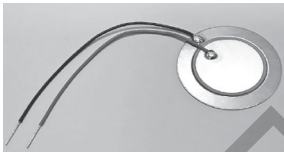
そもそも振動子とは何ですか。アドミタンスループを測定すると何を知ることができるのでしょうか。どのように測定するのでしょうか。

### A

ざっくり言うと…

- 振動エネルギーを電気エネルギーに変換できる素子
- アドミタンスループは共振周波数を知るためのグラフ
- 振動子を手に入れたら最初に測定するグラフ

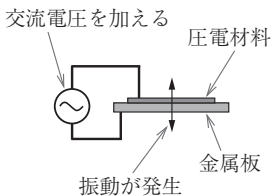
**振動子**は、電圧を振動に変換するための素子です。また、反対に、振動を電圧に変換できる素子でもあります。**図1**は、最も身近な振動子である圧電性材料と金属板から構成される**圧電振動子（圧電ブザー）**です。



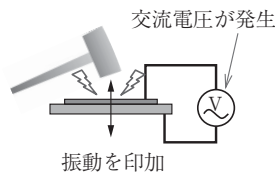
**図1** 圧電振動子

圧電振動子は、交流電圧（周期的に大きさの変化する電圧）を加えることにより振動し、音を発生させるものです。圧電振動子が振動する原理は、圧電性材料に電圧を加えることで、圧電材料中の結晶のイオンが動き、それに伴い材料自体の形状が変化する

ことを用いています。これより、交流電圧を加えることにより、変形も周期的になり、振動します（**図2**）。なお、反対に、振動を加えることでイオンを動かし、交流電圧を生じさせることもできます（**図3**）。



**図2** 電圧から振動を発生



**図3** 振動から電圧を発生

# 音響学入門ペディア

Acousticpedia for Beginners

© 一般社団法人 日本音響学会 2017

2017年3月15日 初版第1刷発行

検印省略

編者 一般社団法人  
日本音響学会  
東京都千代田区外神田2-18-20  
ナカウラ第5ビル2階  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 三美印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 ・ 電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00895-1 (新宅) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします