

ま え が き

本書は、音と人間のかかわりについて重きをおいた、音響学の入門書です。音がどのようにして生まれ、伝わり、耳や脳で処理され、聴こえが生じるのか、そして、身のまわりで使われているさまざまな音響機器の仕組みについての基本を体系的にまとめてあります。音に関する専門的な勉強をしようかなあ、とメディア系や音楽系や工学系の大学や専門学校で学びはじめた、ごく平均的な学生諸君が想定読者です。

みなさんが音に興味を持ったきっかけは何だったのでしょうか？高校時代に音楽を聴くのが好きだったり、放送部で活動したり、エレキギターをいじったり、アンプやスピーカを作ったりしたことでしょうか。ひょっとすると、経験を通じて、すでにいろいろなことを知っているかもしれません。しかし、それらの知識はたがいにバラバラな状態で記憶の海に浮き沈みしているために、クイズ問題には答えられるかもしれませんが、まだそれらの知識を組み合わせる自由自在に操れる状態になっていないのではないかと思います。

大学や専門学校は、ある分野に関する広範な知識や実務を体系づけて学ぶところです。どの分野でも同じですが、ある分野のことを学ぶ第一歩は、その分野で使われている専門用語とさまざまな概念に触れ、それらを体系的に身につけることです。覚えなければならないことも多いのですが、それは試験のための暗記とは違います。本を読み、講義を聴き、自らの頭であーでもないこうでもないと考える。実習や実験を行い、自らの体を動かして体験する。わからなければ、本を読み直し、先生にたずねる。そして、あっ、そういうことか！と納得し、専門用語や概念を記憶の引き出し—脳内辞書—に整頓して収納していくことが大切です。そうやっているうちに、その分野の専門家と共通した脳内辞書の中身がだんだん増えていきます。そのうちに、専門書も読めるようになり、専門家が話していることがわかり、話しの輪に加わることができるようになるでしょう。

本書は、音響学の分野で教育と研究に携わっている四人の専門家（オタク）が書きました。著者らも、みなさんと同じように音について学び始めたころは、

たくさんの“?”が頭上を飛び交っていました。インターネットはなく、入門書は少なく、先生は偉すぎて近寄れなかった時代でした。そこで、私たちはできるだけ丁寧^①に本書を書きました。音について体系的に学びはじめたみなさんの頭上に飛び交う“?”をできるだけ減らしたいという想いをこめて。

1章は音の物理学です。物理学といっても身構えることはありません。物理現象として眺めた音の正体について書いてあります。また、基本的な音の専門用語についても説明しました。必要ないもん、という方は読み飛ばしてください。

2章は音の物理学の続編です。音が生まれて耳に届くまでに起こるさまざまな物理現象について書いてあります。

3章は音の神経生理学です。耳に届いた音が耳から脳までの間でどのように処理されるのか、について書いてあります。神経生理学というなじみのない分野ですから、専門用語がたくさん出てきても、とまどわないでください。最初からすべてをわかってとせず^②に、まずは、全体像をつかむことから始めるのがよいでしょう。

4章は音の心理学です。脳で処理された結果、音がどのように聴こえるのかについて書いてあります。

5章は音響工学です。この章では、みなさんが日頃なにげなく使っている音響機器をとりあげます。これらの音響機器は、先人が積み重ねてきた音と聴覚についての知識に基づいた技術で創られています。音の物理的な性質、生理的な性質、そして、心理的な性質をうまく利用して、さまざまな音響機器が創られていることを垣間見て、驚き、感激するでしょう。

また、CD-ROMには音や動画が収録してありますので、自分の耳で聴いて確かめることができます(本文中に③マークで示しています)。百読は一聴にしかず!お楽しみください。そして、ときどき、なぜ?と首をひねってください。

私たちは音に満ちた世界に住んでいるので、音にかかわる仕事は多岐にわたります。音に興味を持つみなさんであれば、音楽業界や放送業界のサウンドクリエイターやサウンドエンジニア、建築業界や環境業界のサウンドデザイナーやサウンドコンサルタント、音響機器業界や情報通信業界や自動車業界や工作機械業界の設計開発エンジニアなどとして活躍することでしょう。本書が、これらを目指すみなさんの一助になれば幸いです。

2013年2月

著 者

目 次

1. はじめての音響学

1.1 音って何だろう	1
1.1.1 弾 性 波	1
1.1.2 聴こえる音と聴こえない音	4
1.2 音を表現する方法	8
1.2.1 波形による表現	8
1.2.2 スペクトルによる表現	11
1.2.3 サウンドスペクトログラムによる表現	13
1.3 音を分類してみよう	15
1.3.1 純音と複合音	15
1.3.2 調波複合音	17
1.3.3 白色雑音とパルス	17
1.3.4 ピンクノイズ	21
1.3.5 振幅変調音と周波数変調音	23
1.4 音を理解するために知っておこう	24
1.4.1 周期・波長・周波数	24
1.4.2 振 幅	25
1.4.3 瞬時音圧と実効音圧	25
1.4.4 粒 子 速 度	26
1.4.5 音響エネルギー	27

1.4.6	音の強さと音圧レベル	28
1.4.7	音響インピーダンス	31
1.4.8	音波の複素表現	32
1.4.9	波の重ね合わせと干渉	34
1.5	ま と め	36

2. 音が生まれて耳にとどくまで

2.1	音が生まれる仕組み	37
2.1.1	物体の振動による音の発生	37
2.1.2	急激な流れによる音の発生	41
2.1.3	媒質の膨張や収縮による音の発生	42
2.1.4	気流の断続による音の発生	42
2.2	身のまわりの音	43
2.2.1	自然界の音	44
2.2.2	人工の音	47
2.2.3	体から出る音	50
2.3	音が伝わる仕組み	54
2.3.1	音の速度	54
2.3.2	音の減衰	55
2.3.3	ホイヘンス-フレネルの原理	57
2.3.4	反射, 透過, 吸収	59
2.3.5	屈折, 回折	61
2.3.6	ドップラ効果	62
2.3.7	周波数による音の伝わり方の違い	63
2.4	音のない空間	64

2.5 ま と め	64
-----------------	----

3. 音を聴く耳と脳の仕組み

3.1 聴覚の役割	66
3.2 聴覚生理学事始	67
3.2.1 解剖学の基礎知識	67
3.2.2 神経生理学の基礎知識	69
3.3 聴覚末梢系	70
3.3.1 外 耳	71
3.3.2 中 耳	75
3.3.3 内 耳	79
3.3.4 一次聴神経	91
3.3.5 聴覚末梢系の全体像	99
3.4 聴覚中枢系	100
3.4.1 蝸牛神経核	101
3.4.2 上オリーブ複合体	103
3.4.3 外側毛帯核	107
3.4.4 下 丘	108
3.4.5 内側膝状体	110
3.4.6 聴覚皮質	111
3.4.7 遠心性神経系	117
3.4.8 聴性脳幹反応	118
3.4.9 聴覚中枢系の全体像	119
3.5 聴覚高次系	119
3.5.1 音を聴き分け音の到来方向を探る仕組み	120

3.5.2	音声を処理する仕組み	121
3.5.3	警報音や覚醒音を処理する仕組み	122
3.5.4	音による感情喚起の仕組み	122
3.5.5	視覚や運動系と聴覚との相互作用	123
3.6	ま と め	124

4. 音の聴こえ方

4.1	聴覚心理学事始	125
4.1.1	心理学と心理物理学	125
4.1.2	感覚と知覚と認知	126
4.1.3	閾値と弁別閾	126
4.1.4	心理物理量の測り方	127
4.1.5	心理尺度の測り方	129
4.2	音の聴こえの限界	131
4.2.1	最小可聴閾値と音の不快閾値	131
4.2.2	可聴周波数範囲	132
4.2.3	音の強さの弁別閾	133
4.2.4	音の周波数の弁別閾	134
4.2.5	音のパワースペクトルの弁別閾	134
4.3	音の大きさ (ラウドネス)	135
4.3.1	ラウドネスの尺度	135
4.3.2	音の周波数とラウドネス	136
4.3.3	音の長さとのラウドネス	137
4.3.4	音の帯域幅とラウドネス	138
4.3.5	他の音があるときのラウドネス	139

4.3.6	マスキング	140
4.3.7	臨界帯域	144
4.3.8	聴覚フィルタの形状	146
4.3.9	興奮パターン	148
4.3.10	共変調マスキング解除	149
4.4	音の高さ (ピッチ)	150
4.4.1	ピッチの尺度	151
4.4.2	音の強さとピッチ	152
4.4.3	音の長さとはピッチ	152
4.4.4	調波複合音のピッチ	153
4.4.5	基本周波波成分がない調波複合音のピッチ	153
4.4.6	非調波複合音のピッチ	155
4.4.7	振幅変調音のピッチ	156
4.4.8	雑音のピッチ	157
4.4.9	ピッチ知覚モデル	158
4.5	音色	158
4.5.1	音色の定義	158
4.5.2	音源認知の側面	159
4.5.3	印象の側面	159
4.5.4	音色の次元と音の特徴との関連	162
4.5.5	音色を決める音響的特徴 (1): パワースペクトル	162
4.5.6	音色を決める音響的特徴 (2): 成分音間の初期位相	164
4.5.7	音色を決める音響的特徴 (3): 波形の包絡線	165
4.6	音声の聴こえ	168
4.6.1	音声を生成する仕組みと音声の特徴	168
4.6.2	カテゴリー知覚	170

4.6.3	帯域を制限した音声の聴こえ	172
4.6.4	頑健な音声の聴こえ	173
4.6.5	母語と外国語	174
4.6.6	自分の声	175
4.6.7	聴こえは発声を変える	175
4.7	立体的な音の聴こえ	176
4.7.1	音像と音源	177
4.7.2	左右の耳に届く音の違い	177
4.7.3	頭部伝達関数	179
4.7.4	音の再生方法と音信号の種類	181
4.7.5	スピーカ再生音の音像定位	182
4.7.6	イヤフォン再生音の音像定位	184
4.7.7	音像定位における頭部運動の効果	188
4.7.8	音像の距離知覚	189
4.7.9	音像の高さ知覚	190
4.7.10	先行音効果	191
4.7.11	腹話術効果	192
4.7.12	音の残効現象	193
4.8	不思議な音の聴こえ	194
4.8.1	映像は聴こえ方を変える	194
4.8.2	音は見え方を変える	195
4.8.3	一部が欠けた音の聴こえ方	195
4.8.4	無限音階	197
4.8.5	二つの音の時間関係	198
4.8.6	音と光の時間関係	198
4.8.7	カクテルパーティー効果	199

4.9 臨 場 感	200
4.10 音質の評価は難しい	202
4.10.1 音 質 の 定 義	202
4.10.2 主観評価に影響を及ぼす認知的バイアス	204
4.10.3 盲 検 法	206
4.11 ま と め	207

5. 音を操るさまざまな技術

5.1 音を記録する技術	208
5.1.1 蓄 音 機	208
5.1.2 円盤式レコード	210
5.1.3 磁 気 録 音	212
5.1.4 アナログ録音からデジタル録音へ	213
5.1.5 アナログレコードから CD へ	216
5.1.6 半 導 体 メ モ リ	217
5.2 音を伝送する技術	218
5.2.1 有 線 電 話	218
5.2.2 IP 電 話	219
5.2.3 無線通信と携帯電話	221
5.3 放送技術と音声	221
5.3.1 ス テ レ オ 放 送	221
5.3.2 テレビジョンの音声	222
5.3.3 高能率知覚符号化音声	224
5.4 音を聴きやすくする技術・加工する技術	227
5.4.1 難 聴	227

5.4.2	補 聴 器	229
5.4.3	人 工 内 耳	230
5.4.4	話 速 変 換	230
5.4.5	声 質 変 換	232
5.4.6	音の編集・加工技術	233
5.5	心地よい音・音環境を作る技術	236
5.5.1	ホールの音響設計	236
5.5.2	ホール音響の基本は残響	237
5.5.3	サウンドデザイン	239
5.6	ま と め	243
	引用・参考文献	244
	索 引	251

1

はじめての音響学

音は、音波そのもの、または音波によって引き起こされる聴覚的な感覚である。つまり、音には音波という物理現象としての側面と音の聴こえという聴覚現象としての側面がある。本章では、物理現象としてみた音の正体と、物理的な音を表現する代表的な方法、そして音を扱ううえで知っておいてほしい基本的な専門用語について説明する。

物理学の言葉を用いると、音波とは弾性を持った媒質中を伝わる^{だんせいは}弾性波であり、弾性とは、力を加えると変形し、力を取り去ると元の形に戻ろうとする性質のことである。気体、液体、固体を問わずこの性質を持った物質を弾性体という。弾性波とは、弾性体に加わった力やそれによる変形が伝搬する物理現象のことである。少し詳しくみてみよう。

1.1 音って何だろう

1.1.1 弾 性 波

ギタリストの奏でるメロディーが聴衆の耳に届くのは、ギターや聴衆の周囲が空気という弾性体に満たされているからである。ゴムやばねに弾性があることはわかりやすいが、空気に弾性があるというのは理解しにくいかもしれない。

空気にも弾性があることを理解するため、注射器のシリンダ内に空気を入れ、栓をした状態（図 1.1 上）を考えてみよう。このときシリンダ内の空気の圧力（気圧）はシリンダの外の気圧と同じとする。空気を外に漏らさずにピストンを押ししていくと空気の体積が減少する（図 1.1 下）。逆にピストンを引くと空気の

2 1. はじめての音響学

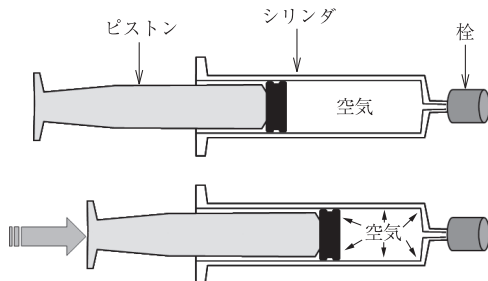


図 1.1 注射器を用いた
空気の圧縮

体積は増加する。しかしピストンを離すとシリンダ内の空気は元の体積に戻ろうとする。このとき空気の体積が元に戻ろうとする性質を弾性という。弾性を持つ物質は弾性体と呼ばれる。

図 1.1 においては、シリンダ内の空気が外に漏れ出すことも外からシリンダ内に空気が入りこむこともないのでシリンダ内の空気の質量は一定と考えられる。ここでシリンダ内の空気の密度に注目してみよう。密度とは単位体積あたりの質量なので、体積が減少すると密度は増大し、体積が増加すると密度は減少する。空気の密度が高い状態を密な状態、密度が低い状態を疎な状態という。気体の温度が変化しないとき、その気体の体積は圧力に反比例する。これをボイルの法則という^{1)†}。したがって、シリンダ内が密になればなるほどシリンダ内の気圧は上昇することになる。圧縮されて体積が減少したシリンダ内の空気の圧力はシリンダの外の気圧より高くなるため、この圧力差によってピストンは押し返される。

さて、ここまで、シリンダ内を閉じられた狭い空間とみなしてきた。注射器のピストンを手で押したり引いたりする場合、閉じられたシリンダ内の気圧はほぼ均等に上昇したり下降したりしていると考えられる。次に端が閉じられていない空間でピストンを前後に高速に運動させる場合について考えてみる。

図 1.2 上に示すようにピストンが空気を押すと近傍に密な状態が生じる。体積が減少した空気は元の体積に戻ろうとして隣接する空気を押す。このため隣接する部分にも密な部分ができる。しかしシリンダ内の空気全体が密になるよ

[†] 肩付数字は巻末の章ごとの引用・参考文献番号を示す。

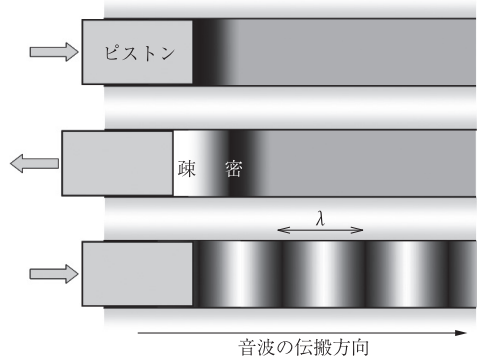


図 1.2 疎密波の伝搬

り早くピストンは運動方向を反対に転じるため、先に密だった部分は体積が増大して疎となる（図 1.2 中）。こうしてシリンダ内に密な部分と疎な部分が発生する。圧縮されて密になった空気は元の体積に戻ろうとして隣接する疎な空気を押す。押された部分は圧縮されて密になる。このようにして疎および密な状態は空気中を伝わる波となる（図 1.2 下）。

このように物質の弾性によって生じる波が弾性波なのである。なお、図 1.2 中の λ は密度の高い部分からその次に密度が高くなる部分までの距離であり、これを波の波長という。

気体、液体、固体を問わず弾性体を伝搬する弾性波を音波、音波を伝える弾性体を媒質ばいしつという。ギターメロディーが聴衆の耳に届くのは、空気という媒質が音波を伝えているからである。

弾性波のうち、気体や液体中を伝わる音波は図 1.2 に示されるように疎な部分と密な部分からなる波であり疎密波そみつはと呼ばれる縦波である。固体中では体積変化以外の変形によっても弾性波が発生する。例えばゴムをねじると変形するが、離すと元の形に戻る。この性質も弾性である。このため固体中では疎密波だけでなく、せん断波、曲げ波、ねじれ波といった横波も音波に含まれる。

本書では、縦波と横波についての説明を割愛するが、自信のない人は、“横波と縦波” (9) をみて確認しよう。媒質を構成する粒子の振動方向が横波では波

の進行方向に垂直なのに対し、縦波では進行方向と平行になっていることがわかるだろう。本書で扱う音は、空気中を伝わる縦波である。

1.1.2 聞こえる音と聞こえない音

(1) 可聴音 音波のうち、人間に聞こえる音波を特に可聴音という。通常、周波数が20 Hz[†]以下の音波や20 kHz以上の音波はほとんど聞こえない。このことから可聴音は20 Hzから20 kHzの音波といわれている。しかし音が聞こえるかどうかは周波数だけでは決まらず、音の強さにも依存している。

可聴周波数範囲内の音波でもあまりにも微弱なものは聞こえない。逆に周波数が20 kHzをこえる音波や20 Hzより低い音波でも十分に強い音波なら聞こえる場合がある。また、聴覚の感度は周波数に依存しており、可聴周波数範囲内でも周波数によって聞こえやすさは異なる。詳しくは3章で述べるが、健聴者であれば通常3 kHzから4 kHzあたりの聴覚の感度が高く、弱い音波でも聞こえる。しかし100 Hz附近以下の低域では周波数が低くなるほど、14 kHz附近以上の高域では周波数が高くなるほど聴覚の感度は低くなり、弱い音波は聞こえない。

(2) 超音波と超低周波 一般に、周波数が20 kHz以上の音波を超音波と呼ぶ。これは人間が聞こえる周波数の上限といわれる20 kHzを超えた音波という意味からきている。この超音波という用語は非常に広い周波数の音波に適用され、数十kHzの音波を指すこともあれば、MHz^{メガ}~GHz^{ギガ}オーダの音波を指すこともある。ただし、空気中の音波に限れば数百kHzくらいまでをさすのが普通である。高い周波数の音波は空気中での減衰が大きく、遠くまで伝わらないからである。一方、固体や液体中では1 MHzをこえるような音波も遠くまで伝わる。

周波数が20 Hz以下の音波を超低周波音、あるいはインフラサウンドと呼ぶ。これは人間が聞こえないくらい低い周波数の音を意味する³⁾。なお、強い低周波の音波は物体を振動させるために、音ではなく振動として手足や体の触覚で

[†] Hzは周波数の単位で「ヘルツ」と読む。

感じられることもある。

(3) 超音波や超低周波を利用する動物 人間には聴こえない超低周波音や超音波を利用している動物がいる。例えば、クジラやゾウは超低周波音を長距離通信に利用しているのではないかと考えられている。音波は周波数が低いほど媒質による吸収が少なく減衰しにくいに加えて、周波数が低いほど波長が長くなるので回折しやすい。そのために低周波音は障害物の影響を受けずに、広範囲に遠くまで届く。

図 1.3 はアジアゾウの鳴き声の音圧波形（上）とパワースペクトル（下）である。音圧波形では約 45 ms（ミリ秒）の周期で同じような波形が繰り返していること、スペクトルでは約 22 Hz とその 2 倍と 3 倍の周波数成分のパワーが大きいことがわかる。

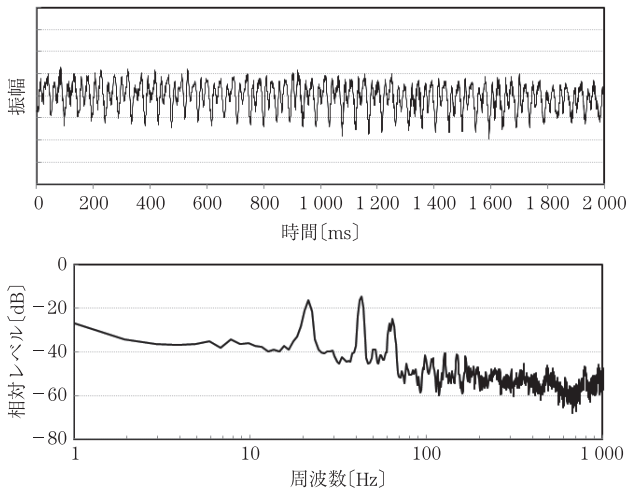


図 1.3 アジアゾウの低周波音声（アジアゾウの音声データは株式会社熊谷組，大脇雅直氏および東京大学の入江尚子氏より提供）

イルカやコウモリは逆に人間には聴こえない高い周波数の音，すなわち超音波を利用する生き物として知られている。自分が発した超音波が物体に反射して帰ってくるこだま（エコー）をキャッチし，自分の発した音とこだま（エコー）

を聴き比べることで障害物や獲物の位置を知るのである。このような能力をこだま定位、あるいはエコーロケーションという。

図 1.4 は、ユーラシア大陸や日本に生息するキクガシラコウモリの鳴き声の音圧波形（下）とそのサウンドスペクトログラム（上）である。サウンドスペクトログラムは、横軸が時間、縦軸が周波数、色の濃淡で周波数成分の強さを示すグラフで、波形に含まれる成分の周波数と時間の分布が示される。サウンドスペクトログラムから、このキクガシラコウモリが発する音声には、約 34 kHz とその 2~4 倍の周波数成分が含まれていることがわかる。

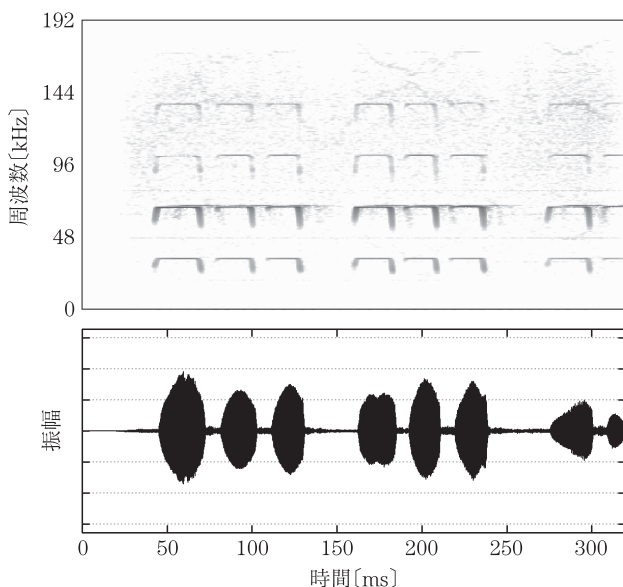


図 1.4 コウモリの超音波（キクガシラコウモリの音声データは同志社大学生命医科学部、飛龍志津子氏より提供されたものである）

アジアゾウ、人間、コウモリが発する声の音圧波形を比較したのが図 1.5 である。比較のため、横軸のスケールを統一してある。アジアゾウの鳴き声は周波数が低いため、波の周期が長く、50 ms の間に波の繰返しをみることはでき

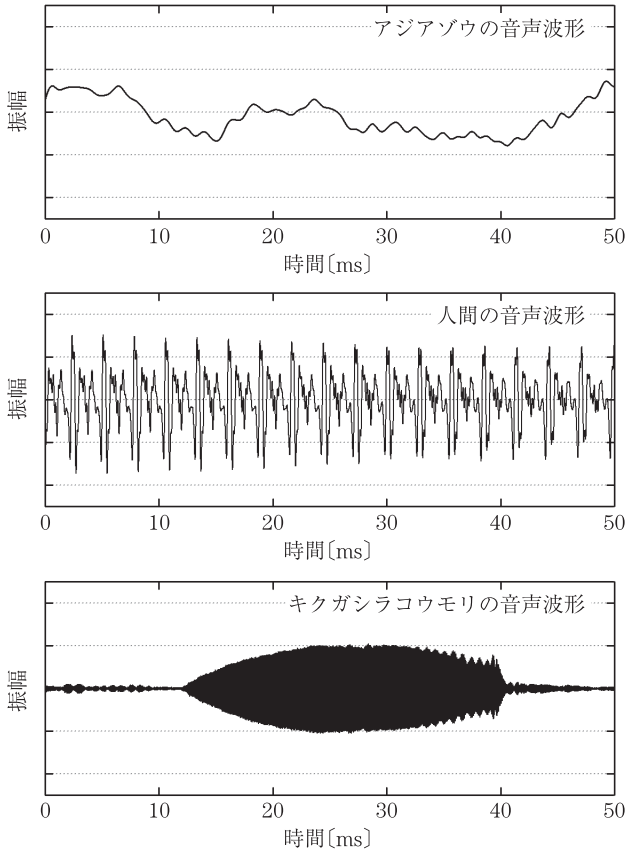


図 1.5 アジアゾウ，人間，コウモリの声の音圧波形

ない。図に示す人間の声は子供の母音で、50 ms の間に同じような波形が18回繰り返されている。一方、キクガシラコウモリの声は周波数がずっと高いために波形の周期が短く、一周期ごとの波形は見分けられない。

このように、アジアゾウ，人間，コウモリが出す声の周波数帯域は大きく異なっている。地球上のさまざまな動物が発する音のうち、人間に聴こえているのは一部に過ぎないのである。

索 引

〔あ〕	音の強さのレベル	29-31	下 丘
	音の不快閾値	131	蝸 牛
アブミ骨	音の補完現象	196	蝸牛孔
	オリーフ蝸牛束	117	蝸牛神経核
〔い〕	音 圧	9, 15, 25, 30, 57, 62	蝸牛窓
イオンチャネル	音圧レベル	12, 15, 30, 31,	下丘中心核
閾 値		49, 50, 126, 128	蝸牛フィルタ
位 相	音韻性	168	拡散減衰
位相固定発火	音響インピーダンス	31	カクテルパーティー効果
位相同期発火	音響エネルギー	27-29, 56	重ね合わせの原理
位置エネルギー	音響エネルギー密度	28	カセットテープ
一次聴神経	音響設計	237	可塑性
一対比較法	音 源	37, 177	可聴音
イヤフォン	音源距離	189	可聴周波数
インフラサウンド	音源識別	159	可聴周波数範囲
	音源識別機能	66	カテゴリー知覚
〔う〕	音源定位機能	66, 73	過分極
ウェルニッケ野	音源認知	159	感音性難聴
運動エネルギー	音源波	168	感覚の相互作用
	音 質	202	感覚レベル
〔え〕	音 声	168	干 渉
エオルス音	音節明瞭度	172	完全マスキング
エコーロケーション	音 像	125, 177	
遠心性神経系	音像距離	189	〔き〕
円盤式レコード	音像定位	177	基底膜
	音 速	10, 30, 54, 61	キヌタ骨
〔お〕			機能局在
オープンリールテープ	〔か〕		基本周波数
音環境デザイン	外 耳	71	基本波
音の大きさ	外耳道	71, 73	キュー
音の周波数の弁別閾	回 折	5, 57, 62, 63	吸音率
音の高さ	外側核	106	吸収減衰
音の強さ	外側毛帯核	107	弓状束
	蓋 膜	81	球面波
	外有毛細胞	84, 91	
音の強さの弁別閾			

共変調マスク解除現象		サンプリング周波数	214	ステレオフォニック信号	181
	149	サンプリング定理	214	ステレオ放送	221
共鳴器	168			スネルの法則	61
極限法	128	[し]		スピーカ	181
キルヒホッフ	58	子音	50, 52	スペクトラルキュー	179
		ジェフレスモデル	105	スペクトラルピッチ	154
[く]		耳音響放射	85	スペクトル	8, 11, 19, 49
空力音	42, 47, 48	耳介	71		
屈折	57, 61	時間情報	99	[せ]	
屈折角	61	時間説	158	正弦波音声	173
屈折の法則	61	磁気録音	212	静止電位	83
屈折波	61	耳甲介腔	72	声帯	42, 43, 50, 51
くっつき - 滑り運動	41	耳小骨	75	声道	50-53, 168
グラモフォン	209	実効音圧	25, 26, 28, 30	声門	42, 43, 50-52
		実効値	25-27	声門下圧	43
[け]		シナプス	69	先行音効果	191
継時マスクング	142	自発発火頻度	92	前庭器官	79
		周期	5, 11, 25	前庭窓	76, 80
[こ]		周期ヒストグラム	94	前腹側核	102
恒常法	127	自由振動	38-40		
高調波	17, 19, 39, 43, 50	周波数	4, 24, 38	[そ]	
喉頭原音	43, 50, 51	周波数スペクトル	11	騒音レベル	47
高能率知覚符号化	224	周波数分析	11-13	ゾーン	135
後腹側核	102	周波数変調音	23, 24	素元波	57-59
興奮パターン	148	純音	15, 17, 25, 62, 97	疎な状態	2, 43
声質変換	232	瞬時音圧	9, 25, 26	疎密波	3, 9, 46, 54, 60
鼓室	76	上オリーブ複合体	103		
鼓膜	75	初期位相	10, 32, 33	[た]	
固有音響インピーダンス		初期反射音	238	帯域雑音	139
	31, 32, 77	神経細胞	67	体積弾性率	54, 55
固有振動周波数	38-41	神経伝達物質	69	大脳辺縁系	67
コルチ器官	81	神経バルス	84	多次元尺度構成法	130
		信号対雑音比	118	脱分極	70, 82, 84
[さ]		人工内耳	230	縦波	3, 4
最小可聴閾値	131	進行波	34	ダミーヘッド	182
最小可聴値	131	振動のモード	39	単純盲検法	206
最適周波数	96	振幅	8-10, 25, 55	弾性	1-3, 37, 47, 55
サウンドスケープ	242	振幅変調音	23, 156	弾性体	1-3, 27, 64
サウンドスペクトログラム		心理尺度構成法	129	弾性波	1, 3, 37, 64
	6, 15	心理物理量	126		
ささやき声	173			[ち]	
残響	54, 238	[す]		知覚符号化	203, 226
残響時間	238	ステレオ信号	182, 183	蓄音機	208

中 耳	75	トーンロマ	197	波 長	3, 25, 38
中耳腔	76	トーンハイト	197	発火閾値	95
調音位置	51, 52	特性インピーダンス	31, 77	発火する	84, 95
調音器官	168	特徴周波数	96	波 面	36, 55-59, 62, 63
調音点	51	ドップラ効果	62	パルス間隔ヒストグラム	95
超音波	4, 5	トノトピック表現	116	パルス波	21
聴覚運動残効現象	193	トランスオーラル方式	184	パルス符号変調方式	213
聴覚高次系	119			破裂音	51
聴覚中枢系	100	〔な〕		ハロー効果	205
聴覚定位残効現象	193	内 耳	79	パワースペクトル	5, 11, 13,
聴覚皮質	111	内側膝状体腹側核	110		22, 49, 98, 135, 163, 168
聴覚皮質ニューロン	113	内有毛細胞	82, 91	反 射	5, 43, 45, 57, 59-61
聴覚フィルタ	90, 146	波の独立性	35	反射音	35, 60, 61
聴覚末梢系	70	難 聴	227	反射角	60
聴性脳幹反応	118			反射の法則	60
調整法	128	〔に〕		反射波	60
超低周波音	4, 5	二重盲検法	206	反復リブル雑音	157
調波構造	17, 40	入射角	60, 61	半母音	52
調波複合音	17, 19, 43, 153	入射波	59		
		ニューロン	69, 97	〔ひ〕	
〔つ〕				鼻 音	50
ツチ骨	75	〔ね〕		比音響インピーダンス	31, 77
		ネイピア数	34	非可聴音	63
〔て〕		音 色	45, 125, 158	非調波複合音	155
定位混同の円錐	187	粘性抵抗	56	ピッチ	39, 40, 42,
ティップリンク	83				62, 125, 150
適応法	128	〔の〕		ビットレート	219
デシベル	29, 61	ノッチト・ノイズ・		ピンクノイズ	22, 49
点音源	36, 56, 57, 62	マスキング法	146		
伝音性難聴	227			〔ふ〕	
テンポラルピッチ	154	〔は〕		フォノグラフ	208
		バイアス	128	フォルマント	169
〔と〕		媒 質	1, 3, 31, 37,	フォン	136
透 過	47, 57, 60, 61		43, 55, 61	複合音	15, 17
透過音	60	背側核	103	複素数	33, 34
等価矩形帯域幅	147	バイノーラル	182	複素正弦波	33
透過損失	61	バイノーラル信号	182, 184	腹話術効果	192
透過率	61	ハウリング	229	部分マスキング	140
同時マスキング	140	白色雑音	19, 22, 157	ブラシーボ効果	205
同調曲線	96	剥離流れ音	41, 44, 48	フレネル	57, 58
頭部インパルス応答	181	破擦音	51	ブレマスキング	143
頭部伝達関数	72, 179, 188	場所情報	98	ブローカ野	122
等ラウドネスレベル曲線	136	場所説	158	ブローブ音	140

噴流騒音	42, 48											ラウドネス補充現象	140, 228
		[へ]	ミッシング・ファンダ									ラウドネスリクルートメント	
平面波	27, 35, 55		メンタル現象	154								現象	140, 228
ヘルツ	4		密な状態	2, 3, 43								ラウドネスレベル	135
弁別閾	127											[り]	
弁別限	127											粒子速度	26-31
		[ほ]	無限音階	197								粒子変位	34, 74
ホイヘンス	57		無線通信	221								了解度	172
ホイヘンスの原理	57, 59											量子化誤差	215
ホイヘンス - フレネルの原理	57		メル尺度	151								量子化ビット数	215
												両耳間位相差	186
ボイル	64											両耳間時間差	104, 177
ボイルの法則	2, 9		モノーラル	181								両耳間レベル差	107, 178
母音	50, 52, 170		モノ信号	182								両耳マスキング	144
法線	60, 61		モノフォニック信号	181								臨界帯域	145
報知音	49, 50											臨界帯域幅	145
放電する	84											臨場感	200
包絡線	148		[ゆ]										
ポストマスキング	143		有声音	168								[れ]	
補聴器	229		有線電話	218								劣化雑音音声	173
		[ま]	有毛細胞	82									
												[ろ]	
マガーク効果	194		[よ]									蝸管	209
摩擦音	51		横波	3, 46								老人性難聴	50
マスカーパー音	140											ロンバード効果	176
マスキング現象	140, 225		[ら]										
マルチチャンネル信号	181		ライスネル膜	80								[わ]	
			ラウドネス	125, 135								話速変換器	231

			Bark	146			DTMF	219
	[A]						[E]	
A モード	223		[C]				ERB	147
AAC	227		CD	214, 217				
AI	112		CELP 方式	219			[F]	
AM	221						FM	221
AVCN	101		[D]				FM ラジオ放送	222
A-D 変換器	215		DAT	216			fMRI	115
		[B]	DAW	233				
B モード	223		dB	11, 29				
			DCN	103				

		MPEG-1	224		
		MPEG-2	226		[R]
		MSO	104	RMS	26
		[N]			[S]
		NLL	107	SD	218
		[P]		SL	133
		PA	239	SOC	103
		PCM 方式	213, 219	sones	135
		phon	136	SR	239
		PST ヒストグラム	93		[W]
		PVCN	101	what 経路	120
		[Q]		where 経路	120
		Q 値	96		
[I]		MPEG			
		MPEG-1			
		MPEG-2			
IC	108	MSO			
ICC	109	[N]			
IP 電話	219	NLL			
ISI ヒストグラム	95	[P]			
[L]		PA			
		PCM 方式			
LP レコード	210	phon			
LSO	106	PST ヒストグラム			
[M]		PVCN			
		Q 値			
MEG	115	MPEG			
mel	151	MPEG-1			
MGB	110	MPEG-2			
MNTB	103	MSO			
MPEG	224	[N]			

— 著者略歴 —

平原 達也 (ひらはら たつや)
1983年 北海道大学大学院工学研究科博士課程
修了(電子工学専攻), 工学博士
1983年 日本電信電話株式会社横須賀電気通信
研究所勤務
2006年 富山県立大学教授
現在に至る

蘆原 郁 (あしはら かおる)
1991年 筑波大学大学院心身障害学研究科博士
課程修了(心身障害学専攻), 学術博士
1992年 工業技術院電子技術総合研究所勤務
2001年 独立行政法人産業技術総合研究所勤務
現在に至る

小澤 賢司 (おざわ けんじ)
1988年 東北大学大学院工学研究科博士前期課程
修了(電気及通信工学専攻)
1988年 東北大学助手
1994年 博士(工学)(東北大学)
1998年 東北大学助教授
1998年 山梨大学助教授
2007年 山梨大学教授
現在に至る

宮坂 榮一 (みやさか えいいち)
1969年 横浜国立大学工学部電気工学科卒業
1969年 日本放送協会勤務
1984年 工学博士(東北大学)
2002年 武蔵工業大学(現 東京都市大学) 教授
2011年 東京都市大学定年退職
東京都市大学特任教授
2012年 特任期間満了により退職

音 と 人 間

Sound and Humans

©一般社団法人 日本音響学会 2013

2013年3月28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 978-4-339-01303-0 (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