

組見本

1-1

生物音響学とは

生物音響学(Bioacoustics)とは、生物学(Biology)と音響学(Acoustics)の融合領域であり、音響情報とコミュニケーション、感覚などの生理学、さらに音や振動に関する物理学と工学からなる。研究対象となる生物は、陸上動物である哺乳類、鳥類、両生爬虫類、昆虫などから、水棲動物の哺乳類、魚類、そして植物と広範囲にわたる[1]。

生物音響学の歴史

生物音響学は個々の領域が発展し成熟してきた20世紀後半から研究が盛んに行われるようになったが、その起源は古い。18世紀後半において、イタリアの生物学者スパランツァーニ(L. Spallanzani)は、耳を覆われたコウモリが障害物を回避できなくなることから、コウモリが特殊な感覚によって定位する可能性を示した[2]。当時、ヒトには聞こえない超音波そのものの存在が不明であったが、19世紀に入り計測機器が開発されて、超音波によるコウモ

になったのは、ソープ(W. Thorpe)がサウンドスペクトログラムを用いてその歌を分析した1950年代からである。その後、鳥類は行動生態・神経科学の両面から生物音響学の優れた研究対象として確立され、例えばメンフクロウの音源定位と聴覚については日本人研究者の小西正一により先駆的研究が進められた[7]。

生物音響学に関する初めての学会として、International Bioacoustics Council (IBAC)が、1999年にデンマークにおいて動物、鳥、昆虫などの研究者により設立された。そのあと、IBACより『Bioacoustics Journal』という学術雑誌が出版された。また、アメリカでは、アメリカ音響学会の生物音響学委員会が活発に活動している。一方、日本においては、2014年に一般社団法人生物音響学会(The Society for Bioacoustics)が設立され、国内外の研究者による研究発表会を通じての情報交換や、教育・啓蒙を目的とした活動を進めている[8]。生物音響学に関連する新分野として、振動によるコミュニケーションや感覚に関するバイオテレメトリー(Biotremology) [9] やサウンドスケープ(Soundscape) [10] に関する生態音響学(Ecoacoustics)が知られている。

る生物種における共通性や相違性であり、それらを説明するメカニズムや進化についての研究がすすめられている。発声については、陸上哺乳類(コウモリを除く)や鳥類の体サイズと発声周波数との間に、負の相関関係があることが知られている[1]。例えばゾウでは低周波の音声によりコミュニケーションを行うが、鳥類の多くは比較的高周波の音声を用いる(▶9-2参照)。一方、聴覚については、鳥類は生物種によって異なるが、哺乳類と鳥類を比較すると、多くの種において、最も感度のよい周波数帯域(最適周波数)は類似している(▶2-36, 5-5, 9-2参照)。しかし、両者で内耳における蝸牛の構造には明瞭な違いがあり、聴覚器の進化的起源が異なっていることがわかっている(▶9-8参照)。また、音を受容する器官も種による多様性があり、脊椎動物では鼓膜となる。しかし、イルカなどは音の伝播の違いにより、下顎で音を受容している(▶4-2参照)。このような変化も陸生動物が海の中で音を効果的に受信できる仕組みに進化したと考えられる。さらに鳴禽類やオウム目の鳥類は、ヒト以外の動物には珍しく優れた発声学習能力を有している(▶5-9, 5-25参照)。そして、その能力の神経基盤および機能と発達の研究が、ヒトの言語獲得の仕組み、さらには言語の進化的起源の解明に役立つものと期待されている(▶8-16, 9-18参照)。今後、生物の発声や感覚についての新たな課題が、融合領域である生物音響学の研究手法によって、解明されるであろう。

近年、生物音響学は基礎研究だけでなく、応用分野にも研究が広がっている。例えば、ヒト以外の哺乳類を対象にした聴覚研究の結果がヒトの聴覚のモデルになり、医療応用において有用となっている。加えて、哺乳類とは異なり、成鳥になっても蝸牛の有毛細胞が再生することで知られる鳥類の内耳については、有毛細胞の損傷を原因とするヒトの難聴治療の手掛かりにつながるものとして研究が進められてきた(▶5-8参照)また、生物の機能や構造を模倣するバイオミメティクスの分野において、生物ソナーや聴覚器がモデルとなり、高精度なソナーや人工センサーなどの工学的応用が可能となるだろう(▶9-24参照)。そのほか、生物の音響情報に基づいて、特定種の検知や多様性の調査なども行われている。特にカメラなどの視覚情報が使えない海洋において、イルカやクジラの生態調査に多く応用されている(▶4章参照)。このようにして、生物音響学の研究成果が、将来、社会の貢献につながるものと期待される。

[高梨琢磨・松尾行雄・関 義正]

文 献  
 [1] N. H. Fletcher, *Springer Handbook of Acoustics* (Springer, 2007), pp. 473-490.  
 [2] D. R. Griffin, *Listening in the Dark: the Acoustic Orientation of Bats and Men* (Yale Univ. Press, 1958), 40pp.  
 [3] M. Gogala, *Studying Vibrational Communication* (Springer, 2007), pp. 473-490.  
 [4] W. W. L. Au, *Sonar of Dolphins* (Springer, 1993), pp. 2-4.  
 [5] W. N. Tavolna, A. N. Popper, and R. R. Fay, *Hearing and Sound Communication in Fishes* (Springer, 1981), pp. 3-5.  
 [6] フォリッソノス著、大寺田忠訳、アレクサンドロス大王東征記(下)(岩波文庫, 2001), pp. 269-281.  
 [7] P. R. Marler and H. Slabbekoorn, *Nature's music: the science of bird song* (Elsevier, 2004).  
 [8] 一般社団法人生物音響学会 ウェブサイト <http://bioacoust.org/>  
 [9] P. S. M. Hill and H. Wessel, *Curr. Biol.*, 26, R187-191 (2016).

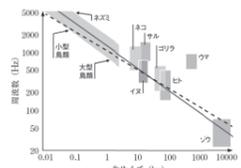


図1 体サイズと発声周波数の相関関係 [1]

8-1

昆虫の発音

音によるコミュニケーションは、節足動物や脊椎動物で発達してきた[1]。空気を伝わる音や固体を伝わる振動は、昆虫をはじめ、クモやダニ、甲殻類など、様々な分類群において利用されている。またその起源は古く、約1.6億年前にキリギリスの1種が6 kHzの単調な音でコミュニケーションを行っていたことが化石の解析より示されている[2]。昆虫の音や振動を用いたコミュニケーションは、交尾や同性内の競争(▶8-11, 14, 16, 18, 23-25参照)、異種間の

あるヤスリのような構造(触状器)と、左前翅それに接触する構造(摩擦片)があり(図1)、これらを毎秒60回ほど擦り合わせる。さらに、翅の一部が共鳴して、音を効率的に拡散している。これにより、リーン、リーンという4.5 kHzが優位周波数となる音がヒトにも聞こえる。一方、コオロギやキリギリスも翅の触状器と摩擦片を摩擦するが、それらの数や翅の形などが異なる。またキリギリスの発する音の周波数は高いことが多く、熱帯林に生息する種では120 kHzを超えるものが知られている。上記の種以外にも、摩擦器官は、ガや甲虫、アリなど幅広い分類群で存在し、その位置も胸部、肢、翅、腹部と様々である。例としてアノメイガのオスでは、翅の基部にある鱗粉と胸部の鱗粉を摩擦

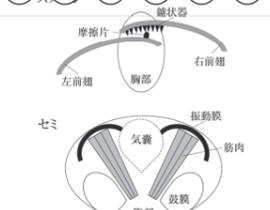


図1 スズメシ(背面側の翅の断面)とセミの発音器官(腹部横断面)の模式図

● 読者対象

- 生理学・音響学・生物学を学ぶ学生から研究者、エンジニア
- 公共図書館、学校図書館



“音”から生き物をさぐる

生き物と音の事典

Encyclopedia of Bioacoustics



2019年  
10月刊行

一般社団法人生物音響学会 [編]  
 ● A5判 450頁 ● 定価(本体15,000円+税)  
 ● ISBN978-4-254-17167-9 C3545

- 発声・聴覚のメカニズムから生態・進化的背景まで幅広く取り上げ、各1~4頁の読み切り形式で解説した中項目事典。
- コウモリやイルカのエコーロケーション(音の反響で周囲の状況を把握)、動物の鳴き声によるコミュニケーション、ヒトやコウモリ、鳥類などの陸上動物から、イルカや魚類などの水棲動物、さらには昆虫や植物まで、多様な生物種・テーマを取り上げる。

- 編集者  
 高梨琢磨 森林研究・整備機構 森林総合研究所(編集委員代表)  
 松尾行雄 東北学院大学教養学部  
 力丸 裕 南方科技大学 同志社大学名誉教授  
 宋 文杰 熊本大学大学院生命科学研究部  
 小池卓二 電気通信大学大学院情報理工学研究所  
 小田洋一 名古屋大学名誉教授  
 市川光太郎 京都大学フィールド科学教育研究センター  
 相馬雅代 北海道大学大学院理学研究院  
 関 義正 愛知大学文学部

【お申し込み書】こちらにご記入のうえ、最寄りの書店にご注文下さい。

**生き物と音の事典**  
 A5 450頁 並製 定価(本体15,000円+税)  
 ISBN978-4-254-17167-9 C3545

取扱書店

●お名前  公費 /  私費

●ご住所 (〒 ) TEL

〒162-8707 東京都新宿区新小川町 6-29 / 振替 00160-9-8673  
 電話 03-3260-7631 / FAX 03-3260-0180  
<http://www.asakura.co.jp> eigyo@asakura.co.jp

朝倉書店

朝倉書店

## ●本書について

空気、もしくは何らかの媒体の振動——「音」を聞いたり、自ら音を発したりして、外界と情報をやりとりすることを音響コミュニケーションという。ほとんどすべての動植物は、何らかの形で音響コミュニケーションを行っている。そうした音と生物との関係を研究する学問が生物音響学であり、その生物音響学に関する初の総合事典が本書である。

音や振動に関する基礎的な項目にはじまり、ヒトやコウモリ、鳥類などの陸上動物から、イルカや魚類などの水棲動物、さらには昆虫や植物まで、生物種ごとにさまざまなテーマを立てて、1ページまたは2ページで簡潔に解説。読みやすくかつ充実した知識が手に入る、この分野の必携書。

## ●一般社団法人 生物音響学会について

・2014年設立。ヒトと動物の聴覚研究を中心に、生理学から工学まで幅広い分野を包摂する。

## 目次 (項目と執筆者)

### 第1章 生物音響一般

- 1-1 生物音響学とは [高梨琢磨・松尾行雄・関 義正]
- 1-2 音の発生と伝播 [館野 高]
- 1-3 音の速さと波長 [蒔苗久則]
- 1-4 超音波の性質 [小泉憲裕]
- 1-5 純音と複合音 [館野 高]
- 1-6 ノイズ [松井利仁]
- 1-7 音の形 [西川 淳]
- 1-8 周波数分析と波形合成 [小池卓二]
- 1-9 音の減衰と吸音 [西村方孝]
- 1-10 音の反射と音のインピーダンス [蒔苗久則]
- 1-11 音の干渉 [西村方孝]
- 1-12 共振・共鳴 [小池卓二]
- 1-13 音の回折と屈折 [西村方孝]
- 1-14 ドップラー効果 [坂本修一]
- 1-15 音の方向知覚 [堀川順生]
- 1-16 インパルス応答とその応用 [坂本修一]
- 1-17 マスキング・カクテルパーティ効果 [小野宗範]
- 1-18 協和音と不協和音 [小野宗範]
- 1-19 フィルター [上田和夫]

### 第2章 哺乳類1 霊長類ほか

- 2-1 ヒトの発声 [軍司敦子]
- 2-2 ヒトの聴覚 [岡本秀彦]
- 2-3 ヒトの周波数感度と可聴帯域 [和田 仁]
- 2-4 音楽・ピッチ感覚 [古川茂人]
- 2-5 絶対音感 [津崎 実]
- 2-6 ヒト言語の進化 [香田啓貴]
- 2-7 日本語と英語の音響学的特徴 [荒井隆行]
- 2-8 言語の理解に必要な音声情報 [上田和夫]
- 2-9 視聴覚情報統合 [寺本 渉]
- 2-10 音声による話者認識 [西村方孝]
- 2-11 外耳の形と働き (ヒト) [大谷 真]

- 2-12 中耳の形と働き (ヒト) [小池卓二]
- 2-13 内耳の形と働き (ヒト) [澤村晴志朗・日比野 浩]
- 2-14 内毛細胞 [工藤 基]
- 2-15 外毛細胞 [任 書晃]
- 2-16 骨導 [鷹合秀輝]
- 2-17 耳音響放射 [原田竜彦]
- 2-18 耳小骨筋反射と内耳の保護 [小池卓二]
- 2-19 聴覚求心路と遠心路 [伊藤哲史]
- 2-20 聴神経における音声の符号化 [宋 文杰]
- 2-21 音の3要素関連情報の符号化 [地本宗平]
- 2-22 一次聴覚野細胞の持続性応答 [地本宗平]
- 2-23 音源定位の仕組み [古川茂人]
- 2-24 脳における音の分析 [宋 文杰]
- 2-25 言語野 [宋 文杰]
- 2-26 聴力検査 [鷹合秀輝]
- 2-27 胎児の聴力 [松岡理奈]
- 2-28 臨界帯域 [上田和夫]
- 2-29 難聴 [鷹合秀輝]
- 2-30 耳鳴とは：人と動物からの知見 [松島純一]
- 2-31 人工中耳 [小池卓二]
- 2-32 人工内耳 [三輪 徹・養田涼生]
- 2-33 精神疾患と聴覚 [竹本 誠]
- 2-34 主観音 [岡本秀彦]
- 2-35 聴覚神経回路の可塑性 [塚野浩明]
- 2-36 動物の可聴帯域 [塚野浩明]
- 2-37 動物の歌、ヒトの歌 [白松(磯口)知世・高橋宏知]
- 2-38 ネズミの声、ゾウの声 [入江尚子]
- 2-39 サルの音声コミュニケーション [香田啓貴]
- 2-40 デグーの音声コミュニケーション [上北朋子・時本楠緒子]

- 2-41 モグラの聴覚 [工藤 基]

### 第3章 哺乳類2 コウモリ

- 3-1 コウモリの発声 [松村澄子]
- 3-2 コウモリのエコーロケーション [力丸 裕]
- 3-3 コウモリの可聴帯域と周波数感度 [堀川順生]
- 3-4 外耳の形と働き [松尾行雄]
- 3-5 中耳の形と働き [枝松秀雄]
- 3-6 内耳の形と働き [枝松秀雄]
- 3-7 コウモリの脳幹の構造と働き [鎌田 勉]
- 3-8 コウモリの脳における音の分析 [堀川順生]
- 3-9 コウモリのコミュニケーション音 [松村澄子]
- 3-10 コウモリの運動と音声 [鎌田 勉]
- 3-11 CFコウモリとFMコウモリ [堀川順生]
- 3-12 ドップラー・シフト補償とエコー振幅補償 [力丸 裕]
- 3-13 テレマイクによる音響計測 [力丸 裕]
- 3-14 マイクフォンアレイを用いた屋外でのコウモリの行動計測 [藤岡慧明]
- 3-15 マイクフォンアレイを用いた屋内でのコウモリの行動計測 [松尾行雄]
- 3-16 超音波を用いたコウモリの種同定 [福井 大]

### 第4章 哺乳類3 海洋生物

- 4-1 イルカの発声 [松石 隆・黒田実加]
- 4-2 イルカの聴覚 [松石 隆・黒田実加]
- 4-3 イルカのエコーロケーション [赤松友成]
- 4-4 イルカのコミュニケーション [森阪匡通]
- 4-5 エコーロケーション音の種間差異 [亀山紗穂]
- 4-6 イルカの奥行き知覚 [松尾行雄]

- 4-7 イルカにおける視覚と聴覚の密な関係 [村山 司]
- 4-8 イルカの行動と生態 [中原史生]
- 4-9 イルカのホイッスル [森阪匡通]
- 4-10 イルカの音進化 [森阪匡通]
- 4-11 クジラの生態 [大泉 宏・青木かがり]
- 4-12 ヒゲクジラのソング [山田裕子]
- 4-13 ジュゴンの鳴音 [市川光太郎・菊池夢美]
- 4-14 マナティーの鳴音 [菊池夢美・市川光太郎]
- 4-15 鰐脚類の鳴音 [水口大輔]
- 4-16 受動的音響探査とは [木村里子]
- 4-17 音響バイオロギング [赤松友成]

### 第5章 鳥類

- 5-1 鳴禽類の発声と発声学習 [高橋美樹]
- 5-2 発声学習しない鳥類の発声 [戸張靖子]
- 5-3 鳥類の聴覚神経系 [加藤陽子]
- 5-4 フクロウの音源定位 [芦田 剛]
- 5-5 鳥類の聴覚域 (オージオグラム) [加藤陽子]
- 5-6 歌学習と分子生物学 [森 千紘]
- 5-7 歌発達とその社会的側面 [森 千紘・太田菜央]
- 5-8 耳の形と働き [森 千紘]
- 5-9 歌の認知と生成の神経機構 [田中雅史]
- 5-10 聴覚刺激の識別と選好性 [加藤陽子]
- 5-11 性淘汰と歌 [相馬雅代]
- 5-12 歌の地域差・方言・種分化 [濱尾章二]
- 5-13 都市騒音と歌 [香川絃子]
- 5-14 鳥類の非発声による発音 [太田菜央・相馬雅代]
- 5-15 年齢による歌の変化 [太田菜央]
- 5-16 音声による個体認知 [近藤紀子]
- 5-17 警戒声による情報伝達 [鈴木俊貴]
- 5-18 親子間コミュニケーション [相馬雅代]
- 5-19 メスの歌と雌雄間コミュニケーション [太田菜央・相馬雅代]
- 5-20 托卵鳥における音声コミュニケーション [田中啓太]
- 5-21 歌学習の多様性 [藤原宏子]
- 5-22 鳴禽類と音楽 [一方井祐子]
- 5-23 オウム・インコの発声機構 [佐藤亮平]
- 5-24 鳥類発声の刺激性制御 [関 義正]
- 5-25 ヨウムのアレックス [山崎由美子]
- 5-26 生物の音の分析に使われるソフトウェア [笹原和俊]
- 5-27 オウム・インコのコール学習 [藤原宏子・佐藤亮平]
- 5-28 鳴禽類の発声学習によるコールの獲得 [相馬雅代]
- 5-29 さえずりと人間の文化 [濱尾章二]

### 第6章 両生爬虫類

- 6-1 両生爬虫類の聴覚 [城野哲平]
- 6-2 カエルの発声と運動神経 [山口文子]
- 6-3 カエルの音響コミュニケーションと進化 [松井正文]
- 6-4 コーラス [合原一究]

- 6-5 カエルの超音波コミュニケーション [中野 亮]
- 6-6 カエルのメスの発声 [伊藤 真]
- 6-7 ヤモリの音響コミュニケーション [城野哲平]
- 6-8 恐竜の音声 [西村 剛]

### 第7章 魚類ほか

- 7-1 魚の聴覚 [小田洋一]
- 7-2 内耳の形 [谷本昌志]
- 7-3 魚の耳石 [小田洋一]
- 7-4 求心路と遠心路 [杉原 泉・山本直之]
- 7-5 内耳の形成過程 [谷本昌志]
- 7-6 有毛細胞の構造と働く仕組み [谷本昌志]
- 7-7 魚の可聴帯域と周波数感度 [杉原 泉]
- 7-8 聴覚性逃避運動 [小田洋一]
- 7-9 魚の音源定位 [小田洋一]
- 7-10 魚の発音 [宗宮弘明]
- 7-11 鰓を用いた発音と音響特性 [高橋竜三]
- 7-12 摩擦を用いた発音と音響特性 [安間洋樹]
- 7-13 イセエビの発音器官と音響特性 [安間洋樹]
- 7-14 魚の鳴音モニタリング [高橋竜三]
- 7-15 魚の鳴音コミュニケーション [宗宮弘明]
- 7-16 側線器官の働きと形づくりの仕組み [和田浩則]
- 7-17 側線感覚による行動 [吉澤匠人]

### 第8章 昆虫類ほか

- 8-1 昆虫の発音 [高梨琢磨]
- 8-2 昆虫の音と振動の受容器 [高梨琢磨]
- 8-3 鳴く虫と文化 [宮武頼夫]
- 8-4 音響測定法と行動実験法 [高梨琢磨]
- 8-5 中枢の働き [柴谷真琴・小川宏人・上川内あづさ]
- 8-6 中枢による発音の制御 [岡田龍一]
- 8-7 音源定位 [中野 亮]
- 8-8 音と振動に対する行動と神経による制御 [西野浩史]
- 8-9 機械感覚子 [土原和子]
- 8-10 機械受容体の仕組み [土原和子]
- 8-11 振動コミュニケーション [上宮健吉]
- 8-12 超音波コミュニケーション [中野 亮]
- 8-13 ショウジョウバエの音コミュニケーション [石川由希・上川内あづさ]
- 8-14 テナガショウジョウバエの交尾と音 [松尾隆嗣]
- 8-15 ミツバチの音コミュニケーション [藍 浩之]
- 8-16 カメムシの振動コミュニケーション [上地奈美]
- 8-17 ベニツチカメムシの給餌振動 [野間口眞太郎]
- 8-18 クロスジツマグロコバイの振動コミュニケーション [福井昌夫]
- 8-19 アリとチョウの共生 [坂本洋典]
- 8-20 カブトムシのだましの振動 [小島 渉]
- 8-21 線虫の振動受容 [田中龍聖]
- 8-22 甲虫の摩擦音 [大谷英児]
- 8-23 イモゾウムシの発音の変異 [立田晴記]

- 8-24 コオロギの音コミュニケーションと種分化 [角(本田)恵理]
- 8-25 セミの発音 [税所康正]
- 8-26 音や振動がかかわる孵化 [向井裕美]
- 8-27 感覚情報の統合利用 [深谷 緑]
- 8-28 音と振動によるコミュニケーションと多種感覚情報 [向井裕美]
- 8-29 振動による害虫防除 [高梨琢磨]
- 8-30 超音波による害虫防除 [小池 明]
- 8-31 シロアリの振動と音による防除 [大村和香子]
- 8-32 カの音響トラップ [小川賢一]
- 8-33 植物と動物の音や振動による相互作用 [山尾 僚]
- 8-34 植物の機械感覚 [飯田秀利]
- 8-35 植物のエアコースティック・エミッション [藤山健介]

### 第9章 比較アプローチ

- 9-1 発声器官の比較 [原田竜彦]
- 9-2 聴覚域 (オージオグラム) の比較 [堀川順生]
- 9-3 外耳の形状と位置の多様性 [大谷 真]
- 9-4 音声帯域の違いによる中耳の構造的な違い [原田竜彦]
- 9-5 蝸牛の構造：渦巻き型か否か [任 書晃・日比野 浩]
- 9-6 鼓膜と中耳の多様性 (脊椎動物) [任 書晃]
- 9-7 音をとらえる機械受容チャネル [谷本昌志]
- 9-8 聴覚器官の発生と進化 [武智正樹]
- 9-9 大脳皮質の多様性：聴覚野の違い [小島久幸]
- 9-10 比較の視点からの音源定位 [芦田 剛]
- 9-11 健常者と盲人の音情報処理の違い [力丸 裕・関 喜一]
- 9-12 盲人のエコーロケーション [力丸 裕・関 喜一]
- 9-13 コウモリとイルカのエコーロケーション [力丸 裕・赤松友成・松尾行雄]
- 9-14 昆虫とコウモリの相互作用 [中野 亮]
- 9-15 昆虫と動物の聴覚器の収斂進化 [西野浩史]
- 9-16 ヒトの感性と昆虫の発音 [穂積 訓]
- 9-17 動物の絶対音感 [齋庭絵里子]
- 9-18 鳴禽の歌とヒト言語 [水原誠子]
- 9-19 鳥の発声学習と音楽・リズム [関 義正]
- 9-20 発声学習の収斂進化のあり得るシナリオ [関 義正]
- 9-21 電気魚の発電 [小橋常彦]
- 9-22 魚の電気感覚 [小橋常彦]
- 9-23 電気コミュニケーション [小橋常彦・川崎雅司]
- 9-24 バイオメテイクス [高梨琢磨・松尾行雄]