

目次

はじめに iii

音声資料と動画資料について viii

I 音の物理学 1

1章 静けさの音と音の大きさ ～音が無いとシーンと聞こえるのか～ 2

音とは？～国語辞典から～ 2 / 音声とは？ ～音声の4つの側面～ 4 / 波動
～波と風の違い～ 5 / 音波は粗密波で縦波 7 / 単純な振動の周期と周波数 9 /
音の共鳴と干渉・反射・吸収 ～口笛を吹けますか～ 10 / **コラム 1-1** 閑さや岩
に染み入る蟬の声 12 / 松尾芭蕉の聞いた音 14 / **コラム 1-2** 静けさの音 ～音が
無いとシーンと聞こえるのか～ 15 / RMS：複雑な波形の振幅を表す実効値 16 /
桁違いの音の強さを表すことができるデシベル 18 / **コラム 1-3** ベルはヘレン・
ケラーの恩人 19 / 音声のデジタル化 20 / 標準化における重要な定理 22 / ま
とめ 25

2章 音を構成する部品 ～「音色」は物理的には何なのか～ 27

音色とは 27 / 純音と複合音 28 / 音色とスペクトルと光の虹と 29 / フーリエ
級数 31 / フーリエ係数とスペクトル 33 / 波形とスペクトルの例 34 /
コラム 2-1 低い音の擬音語と高い音の擬音語 37 / 高速フーリエ変換 38 / 基本周
波数と音の高さ 40 / **コラム 2-2** 女性の歌声は男声より1オクターブ高い 42 / ス
ペクトルの包絡 42 / スペクトルの種類 45 / カエルの声に引かれる蚊 46 /
コラム 2-3 カエルの声に引かれる蚊の研究で 50 / まとめ 51

3章 スペクトル、そして美しい音とは 52

美しい音 52 / サウンドスペクトログラム 52 / 通る声・美しい歌声の音色 55
/ 通る声のわけ 59 / 女声オペラ歌手の通る声 60 / **コラム 3-1** カエルの声に魅か
れる蚊 60 / 和音について ～純音の場合～ 61 / 複合音の場合 ～スペクトル

と協和度～ 63 / 音階の作り方 64 / コラム 3-2 日本音階は琉球音階と合わせて完全になる 67 / エコーがかかった歌、心地よいのはなぜか 69 / まとめ 72

II 音声科学 75

4章 音声生成の仕組み ～気管と食道がつながっている!? おかげで～ 76
言語としての音声 76 / ことばの発声の仕組み 77 / コラム 4-1 気管と食道がつながっているおかげで、そして「ことばと命」77 / 音素と音声、音節とモーラ 78 / 音声の基になる音源 79 / 日本語子音の分類 ～日本語の「ん」の音は3種類～ 80 / 音声の波形分析 81 / 有声子音と無声子音 83 / 摩擦音、破擦音、破裂音 86 / モデル構成的研究法 87 / コラム 4-2 人類は ASIMO ができるまで歩き方を知らなかった 88 / あごの開き・舌の位置と母音音声 89 / コラム 4-3 琉球人とアラブ人は兄弟か? 90 / コラム 4-4 世界最大の科学博物館に展示された音声 91 / 母音生成の音響理論 92 / フォルマントは声道での共鳴 92 / コラム 4-5 中学生が作った声道共鳴模型 94 / 音源フィルタ・モデルによる音声合成 95 / ケプストラム法による音声合成 97 / HISAI システムの音声合成部 99 / まとめ 101

5章 脳が音色を感じる仕組み 102
聴覚の生理学 ～脳が音色を感じる仕組み～ 102 / 外耳と中耳と内耳 103 / 基底板振動 104 / 基底板と音の高さ 106 / 基底板と音色 108 / 音声合成スペクトルエディタ HISAI システムの操作法 108 / コラム 5-1 犬は何語で鳴く? 113 / コラム 5-2 スペクトルを編集してハートのこもった音を創る 115 / まとめ 116

6章 音の心理物理学 117
音の三要素は心理現象 117 / 音の大きさの心理尺度であるソーン尺度 118 / 音の高さの心理尺度であるメル尺度 ～1 オクターブ高い音は2倍高いと感じられる音ではない～ 121 / 音色とは何か 122 / 音色と波形包絡 123 / コラム 6-1 音は聞こえるのに音声がかんじえない 126 / まとめ 130

7章 音声の合成による分析 ～なぜハートは愛 /ai/ なのか～ 131
言語としての音声 131 / 音素的特徴と韻律的特徴 132 / 合成による分析 133 /

声紋はサウンドスペクトログラムのこと 134 / 母音の音色のもとになるフォルマント 135 / フォルマント周波数と母音の配置 136 / 30年後に実証された母音の音色 137 / コラム 7-1 「ビーン」と「ブーン」はどちらが高い音の表現? 139 / フォルマントの合成による分析 139 / HISAI システムによる母音音声の合成とその結果 140 / 物理的に異なるものを同じとみなす 143 / コラム 7-2 二通りに聞こえる不思議な音 145 / コラム 7-3 君と豚は似た者同士 ～「っ」で始まる琉球語の奇妙なことば～ 146 / 琉球語の声門破裂音の合成による分析 147 / コラム 7-4 ハートのこもった音声を聞く 151 / まとめ 153

III 音声工学 155

8章 AI がしゃべる人工音声 ～琉球語もしゃべる～ 156
音声の人工合成とは 156 / 音声合成システムのかなめとなる音声合成器 157 / テキスト音声合成システム 158 / 汎用音声合成システム 159 / テキスト解析部～琉球語の翻訳～ 160 / 音声合成部への入力文字列 163 / 琉球語の入力例文 164 / 基本周波数の藤崎モデル 165 / 日本語のアクセント型 167 / 琉球語の平板型アクセント 168 / 琉球語の下降型アクセント 169 / アクセントに関する聴取実験の結果 170 / コラム 8-1 甲子園での沖縄選手の名前 172 / イントネーション規則 173 / 音声合成システムと合成例 173 / 新たな方言・言語の音声合成システムを作る 176 / 古い琉球語「おもろさうし」の音声合成 177 / まとめ 179

9章 音声自動認識 ～自分で進化していく機械～ 181
音声のパターン認識 181 / 音声自動認識方法の変遷 182 / 多くの変量をセットで表すベクトル 183 / パターン認識の仕組み ～似ているものは近い～ 185 / 人工知能における学習・訓練 186 / 音声波から特徴ベクトルへ 188 / 単語音声認識の仕組み 189 / DP マッチング法 ～時間を曲げる～ 191 / 音声の確率統計モデル 192 / 確率的表現のための隠れマルコフモデル 194 / 「創発性」のモデルである遺伝的アルゴリズム 196 / 遺伝的アルゴリズムによる隠れマルコフモデルの構造選択 198 / ニューラルネットワークによる音声認識 200 / コラム 9-1 人工知能の進展と高齢者の聴力 203 / 世界初の対話する自然言語処理システム

ELIZA 204 / コラム 9-2 ChatGPT との会話「イリオモテ・ヤマネコを発見した伯父さん」 206 / まとめ 210

IV 言語の獲得・学習 213

10章 言語の獲得 ～ヒトとサルの違い～ 214

ヒトとサルの違い 214 / 音声知覚と音声生成の成長 215 / カテゴリー知覚とは何か 216 / カテゴリーの形成過程 218 / 知覚的マグネット効果 219 / コラム 10-1 聞き流し勉強法は効果があるか、外国語の早期教育は？ 220 / 母親ことばとは何か 221 / 音素の獲得における母語引力理論 223 / 文の獲得と言語能力 226 / 言語獲得に必要な知的能力 227 / コラム 10-2 オオカミ少女と手話を作り出した子供たち 228 / まとめ 228

11章 言語獲得のモデル ～赤ん坊のように聞き話すコンピュータ～ 230

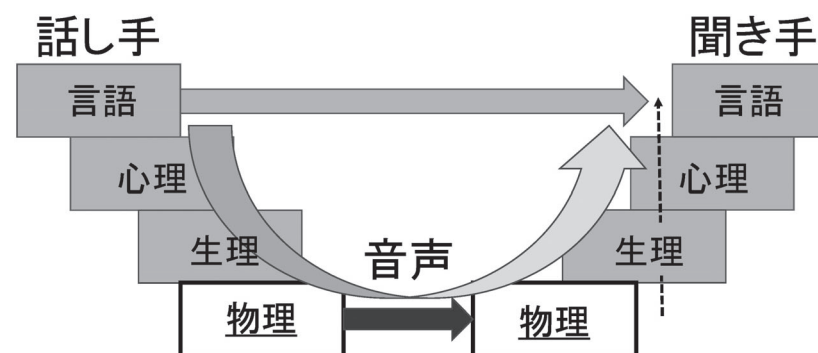
赤ん坊のように聞き話すコンピュータ 230 / コラム 11-1 音声の聞こえ方の不思議～音が無いのに聞こえる～ 231 / 調音結合 232 / 音声単語獲得のモデル 233 / 注視の共有による音声単語の学習と意味の獲得 234 / 言語獲得のための根本的能力と音声の生成・知覚のモデル 235 / 模倣による単語音声の獲得モデル 237 / コラム 11-2 未来が見える錯覚「フラッシュ・ラグ効果」 239 / 予測された音素が聞こえる調音結合の逆処理 240 / 予測音を確認する切断2連母音の聴取実験 242 / “正しい錯覚”をとらえた単語音声獲得のモデル 243 / コラム 11-3 マガーク効果とコロナ・マスク 244 / 予測値、錯覚、無意識の能力 245 / まとめ 246

おわりに 248

注 250

索引 261

I 音の物理学



1章 静けさの音と音の大きさ ～音が無いとシーンと聞こえるのか～

2章 音を構成する部品 ～「音色」は物理的には何なのか～

3章 スペクトル、そして美しい音とは