

解説



音響と情報

1. 音響と情報†

城戸 健 一†

1. まえがき

音は情報を運ぶ媒体であるが、種々の無駄とも思える情報を一緒に運ぶ。いうならば、雑音と信号とを同時に運んでくるのが音である。人間はその音を聞いて、巧みに必要な情報を抽出する。もちろん、抽出の能力は人により対象により環境により異なる。また、音が運ぶ情報は種々雑多であり、それを機械的に選別するのは困難である。この扱いにくい音が、情報科学の応用技術の直接の対象に人間が浮かび上がって来ると、興味の対象になってくるわけである。

一方、音響工学の研究者も、情報科学の成果を採り入れて新しい道を開拓し、かつては不可能と考えられた問題を着々と可能にしつつある。

音が関係するものの中でも、情報科学と最も相性が高いのは音声である。というよりは、音声の研究者の中には、音声音が音であることを、ほとんど忘れていない向きでもないと言いたくなるほどに、音声研究は情報科学にとつぷりと浸かっている。それは、音声音が人間の情報表現の主要な道具であることから、当然のことであろう。したがって、音声に関する議論は、従来から本誌に多く見られる。

また音楽は、その規則性から、情報科学の対象として美しい実りを結びそうに感じられる。本学会の会員には、音楽の愛好者も多いであろうし、音楽は音楽としての大きな魅力を備えている。したがって、それに関する特集も別に企画されている。

ところが、一般に音といわれるものには、自然界に存在する動物や昆虫の鳴声や波風の音、ある

いは人工の世界に存在する機械音など、音声でも音楽でもないが、人間生活と切り離すことのできないものがある。これらは環境音あるいは騒音ともいわれるが、音の性質には、音波の伝搬経路または音を聞く人が存在する環境が大きく影響するので、音を考えるときには、それも議論の対象になる。

以上は空気を媒質とする可聴周波数の音であるが、工学的には、気体、液体、固体を伝搬する機械的な振動現象ならばすべて音響の範疇に採り入れられている。周波数の範囲も可聴周波数とは限らない。工学的な応用では、特に超音波が重要である。また、自然に発生する音だけではなく、人工的につくった音を利用することによる新しい応用も生まれている。

したがって、ここでは音声でも音楽でもなく、物体の検査に使われたり、人間の環境に関係したりする音と情報科学の関係を考えることになる。ここまでに、音、音波、音響と音を指す3つの用語を用いた。それらの違いに画然とした定義があるわけではないが、本稿では、情報の媒体と考えるとき音といい、波動として伝搬することを念頭においたとき音波といい、解析、処理の対象とするときに音響という。しかし、そのどれをも指すときには、音ということばを使う。

2. 音響工学と情報工学の接点

人間への情報入力的主要端子は、いうまでもなく目と耳である。また、主要な出力端子は、手と口である。そのうちの耳と口を使うことが、人間の情報入出力には最も楽な手段である。耳には、好むと好まざるとにかかわらず、常に音が入ってくる。音のない世界とは、常人には耐えられない環境である。そして耳を通して入った信号から、人間は器用に必要な情報を手に入れる。

† Acoustics and Information Science by Ken'ichi KIDO (Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology).

†† 千葉工業大学情報工学科

そのように音は身近な存在で、音を発生する工業製品は、楽器、ラジオ、テレビ、ステレオその他、世に満ち溢れている。

しかし、最近数十年の間に、音は研究の対象として古くさいと考えられるようになってきた。それには、音響の研究の歴史が古いこと、可聴音の周波数が低いこと、しかも耳に聞こえるという平凡さ、さらには、工業製品の価格構成の中で音に直接関係する部分の比率が低いこと、というような、さまざまな理由があったのであろう。

それにもかかわらず、音響の研究は、情報科学と電子工学の成果を採り入れながら営々と続けられてきた。さらに、可聴周波数よりもはるかに高い周波数の音である超音波は、上に平凡と書いた範囲から外れるものであり、これを利用した信号処理、計測、機械加工などに関する研究は、絶えることなく盛んに行われている¹⁾。

可聴周波数の音に関しても、研究の範囲、応用の範囲がきわめて広がっている。その理由は、上に述べたように、音が人間の情報入出力の有用な媒体であることのほか、人間の感情に訴えるような情報の入出力に、きわめて重要な存在であることにある。もしも、テレビの放送から音をいっさい消してしまったらどうであろう。音声を字幕に代えれば内容は正確に伝えられるかもしれないが、視聴者の満足は得られないであろう。無駄なように思える音を消して音声だけを残したとしても、バックグラウンドの音がないニュースショーが成立するであろうか。ところが、同じ音が、時により、聞く人により無用の雑音にもなってしまうこともある。情報の伝送という立場ではこれまでは問題にされていなかった、何物かが必要なのである。

音と情報の関わりを考えるとときの対象は人間とは限らない。自然界、人工の機械装置から、これまで得ることができなかった情報を獲得する手段としても、音は注目に値する存在である。

3. 音の科学的研究

音は、人類発生のときから、延々と人間に使われてきており、空気と同じように、その存在が特に意識されることはなくても、人類のためになくてはならない存在であり続けた。

その音が科学研究の対象となったのが、果たし

て何時のことか、正確なことは知る術もないが、釈迦や孔子とほぼ同じ頃のピタゴラスが、弦の長さと言音の調和の関係を論じている。また、ギリシャ・ローマの古代の野外劇場などで、音の通りを良くするための工夫が見られる。

しかし、空気存在が知られる以前に波動としての音波を扱う科学的なアプローチがあり得るべくもない。音響現象が我々の知る物理学の対象になって、音が空気の中を伝わる圧縮波であることが証明されるなど、音の物性が明らかになり始めたのは、17世紀も後半になってからのことである。

その時代にまとめられた古典力学の法則²⁾は、当然音波にも適用されるべきものであり、それを基礎とする研究の結果として、音響理論は19世紀の末に一応完成の域に達した³⁾。

ところが、それと同時期(1876年)に電話機が発明され、音は物理現象としての研究対象から一挙に通信のための研究対象に移り変わった。ここで初めて、音響工学と情報工学の結びつきができたともいえるのであるが、もちろん、当時には情報工学という言葉も考えもなかったはずである。

電話機が発明によって生まれた電気音響工学では、最初に、電気エネルギーと音響エネルギーの相互変換に関する研究が進められた。それは、変換効率を高くしなければ送話者の音声がかたかたという切実な要求があったためである。

やがて音を大きくすることができるようになるとともに、音質を良くすることが重要な研究対象になった。それとともに、聴覚に関する研究が電話機のために進められた。それによって、人間が聞き取ることができる音圧や周波数の範囲、および雑音による音のマスクングの現象⁴⁾が明らかにされ、それらが電話機的设计に使われるようになったのは、20世紀前半のことである。その頃にラジオの放送も始まり、機械式の蓄音機も電気を使いスピーカで音を出すように変わった。一方、電話による通信の技術として、狭帯域通信、秘密通信あるいは多重通信の要求が強まったが、アナログ技術ではできることが限られていた。

それを突き破る可能性を生じさせたのは、第2次世界大戦後の電子計算機技術と情報科学の出現である。

電子計算機を含む情報科学の出現に対して、ほ

かの多くの分野と同じように、音に関係する研究者、技術者も大きな可能性を期待した。それは単に、複雑かつ大規模な数値計算が可能になるというだけのものではなく、情報という新しい概念の応用に対するものである。

4. 聴覚による判断の自動化

音が運ぶ情報は音声情報だけではない。我々の周囲に存在する音は、すべて、なんらかの情報を運んで来ている。鋭敏な聴覚と豊富な経験を持つ人ならば、音を聞いただけで、それが意味するところのものを察知して、素早く対応することができる。したがって昔から、農工業製品の品質検査を聴覚によって行う例は多く見られた。検査員に対して十分な訓練を行うことにより高い能力を発揮させることができるので、この方法は官能検査と称して広く使われてきた。しかしいかに訓練を積んだとしても、人間固有の不確かさから逃れることはできない。それに、最近は訓練を積ませること自体が無理なことになってきている。それを機械化したいという要求が起きるのは、当然のことである。

この要求に応えるためには、音響信号の解析が必要であり、それにはデジタル信号処理技術が大きな役割を果たすことになる。ところが、人間の高い情報処理および学習の能力と鋭敏な感覚による作業を機械に代行させることは、相当に困難な問題である。人間に何でもなくてきていることだから電子計算機の能力をもってすれば容易なことではなからうかという期待には、経験的には、逆の回答が返ってくる場合が多い。また、機械類の異常によって音を発生するメカニズムは、個々の場合で異なるので、一般的な方法というもののはつくりにくい。発生する音の中で、必要な情報を含む音は、ある短時間内にしかなく、周波数範囲も限られていることが多い。そのために、ただ漠然と分析したのでは、ほとんど何も分からない。観測された音響信号全体に対して時間と周波数の範囲の比率が少ないときに、それをいかにして取り出すかが重要である。かつ、同じ機械でも、異常発生の原因によって、時間も周波数範囲も異なる。したがって、音による品質検査の自動化のためには、機械そのものに関する豊富な知識が必須であり、それに信号処理、情報処理の知識と経験

とを兼ね備えることが望まれる。この具体例のいくつかは別稿⁵⁾に述べてある。

相手の声の調子によってその健康状態や精神状態を知ることは、だれでもが無意識に行っていることである。これも自動化しようというのは困難な問題であるが、将来の研究課題としては興味がそそられる。その中でも、電話を通した声で声帯の異常のスクリーニングをすることによって悪性の腫瘍を早期に発見しようという研究は、すでに相当の成果をあげており、実用化の一手前まで来ている⁶⁾。

このほか人間には、かかってきた電話の背景に流れるかすかな音を聞いて、相手がどこから電話しているのか、あるいはどんな環境にいるのかを推察する能力がある。これをさらに広めて、特殊な施設などから外出する人にマイクロホンと送信機を持たせておき、その音によってどこにいるのかを知ることができないかという、現実の要望もある。その一部でもが可能になれば、高齢化にとまなう福祉施設の運営にも貢献し得るであろう。

5. 音環境の改善と創成

人間の感覚に関連する事項としては、音環境の改善と創成が重要である⁷⁾。これらについては、その計測⁸⁾を含めて本特集に詳しい記述があるので、ここでは簡単に触れるだけにする。

音環境の改善の一部は、騒音制御といわれる分野に属する。交通機関や種々の機械設備の生活環境への接近により、騒音による被害は、年とともに増大してきている。

音環境改善のための騒音制御の方法として最近注目を浴びている技術に、自動制御の技術を応用したANC (Active Noise Control)がある。これは、能動的に作った音で騒音を打ち消そうという技術である⁹⁾。この発想は相当に古くからあったが、それを具体化するためには周辺技術の進歩を待たなければならなかったので、フィールドでの実験成功は、1960年代のことである¹⁰⁾。当時はまだアナログ制御しかできなかったもので、電力用変圧器の指向性を制御して、目的とする方向の音圧を低下させるというものであったが、それを追っての研究は進められなかった。しかし、デジタル技術の進歩により、近年にわかにその研究が活発になってきている。この方式を制御の結果と

いう見方で分類すると、上述の騒音源の指向性の制御(特定の方向の音圧レベルの低減)のほか、放射音響パワーの低減、特定の位置の音圧レベルの低減というように分けられる。放射音響パワーの低減が最も効果的な方法であるが、それができるためには、音源の寸法が波長よりも十分に小さいことが必要¹¹⁾なので、ANCは一般に低周波騒音のみに有効である。

同様の技術は、高層建築物の風や地震による揺れの防止や、船舶の波による揺れの防止にも使われているが、こちらの方は駆動力の周波数が低いので、実用化が進んでいる。

しかし、騒音源はこのような機械とは限らず、人の話声、ペットの鳴き声、上階の物音、カラオケ等々、多岐にわたる。また、音を受ける側の心理・生理の状態により、同じ音があるときは騒音に、あるときは快適な音あるいは必要な音にもなる。現在の法規制では、音圧レベルだけで、これらに対処している。しかし、音圧レベルは下がらなくても静かな感じになるということもあり、その逆のこともある。法規制に音質までも採り入れることは困難ではあろうが、人間の心理にまで立ち入った計測、判断および制御を、音響情報処理の将来の研究に期待したいものである。

マルチメディアという言葉に直結する音環境の創成についても、同様の期待が、それ以上に持たれる。人間の音による情報受容の研究は電話機を対象にした研究に始まり、可聴音の音圧や周波数の範囲の実測やマスキング現象に基づく明瞭度の計算法の確立へと進んだが、2チャンネルステレオ音響の出現により、方向感と音源の広がり感や距離感という空間性に発展した¹²⁾。最近ではヘッドホン受聴で頭内にできる音像を頭外に出すことが可能になり、音質からさらには情緒に関する研究までも行われるようになってきた。これらがどのように進んで行くものか、現在のところは未知数であるが、高度のヒューマン・インタフェースの実現のためには、困難な問題を解決して将来の発展をはかることが大いに期待される。

6. むすび

音と情報との問題を主題にして、音と人間のかかわりあいと音響研究の歴史を振り返ることからはじめ、特に学問としての捉え方が困難であった

人間の聴感に関係する面に重点をおいて、最近の研究動向までを概観した。それぞれの詳細については、本特集の他の記事を参照していただきたい。

参考文献

- 1) 上羽：本号，pp. 217-222 (Mar. 1995).
- 2) Newton, I.: principia (1687).
- 3) Lord Rayleigh: Theory of Sound, McMillan Co. (1877).
- 4) Fletcher, H. and Munson, W. A.: Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation, J. Acoust. Soc. Am, 5, pp. 82-108 (Jan. 1933).
- 5) 鈴木：本号，pp. 231~236 (Mar. 1995).
- 6) 前田，菊地，朱，粕谷，海老原：ANNを用いた電話音声による強度嘆声のスクリーニングシステム，音講論1-8-6(平成7年3月)。
- 7) 山崎：本号，pp. 244~252 (Mar. 1995).
- 8) 子安：本号，pp. 237~243 (Mar. 1995).
- 9) 小特集一音，振動のアクティブ制御一，音響誌，47巻，9号 pp. 660-693 (Sep. 1991).
- 10) Onoda, S. and Kido, K.: Automatic Control of Stationary Noise by Means of Directivity Synthesis, Proc. 6th ICA, F-5-13 (1968).
- 11) Kanai, H. and Kido, K.: A New Method to Arrange an Additional Sound Source in Active Noise Control, ACUSTICA, Vol. 70, pp. 258-264 (1990).
- 12) 吉田：立体音の高級品質の尺度化について，音響誌，14巻，2号 pp. 170-174 (Jun. 1958).
(平成6年12月27日受付)



城戸 健一(正会員)

1926年生。工学博士。1948年東北大学工学部電気工学科卒業。1963年東北大学電気通信研究所教授，1976年応用情報学研究センター教授，同センター長，1990年4月東北大学名誉教授，千葉工業大学情報工学科教授，現在に至る。電気音響工学，建築音響，騒音制御に始まり，音声情報処理，デジタル信号処理とその音響工学への応用等の研究に従事。著書「音響工学」(電子通信学会編，コロナ社)，「デジタル信号処理入門」(丸善)等。電子情報通信学会，計測自動制御学会，電気学会，IEEE，AES等の会員，日本音響学会名誉会員，アメリカ音響学会フェロー