

Title	2.聴覚モデルの系譜：聴覚分野( 特集 -音響学における20世紀の成果と21世紀に残された課題-)
Author(s)	赤木, 正人
Citation	日本音響学会誌, 57(1): 6-7
Issue Date	2000-12-25
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/4622">http://hdl.handle.net/10119/4622</a>
Rights	日本音響学会, 赤木 正人, 日本音響学会誌, 57(1), 2000, 6-7.
Description	

離のみが注目されてきたが、それはほんの一部に過ぎない。音源の識別や解釈の妥当性、雑音や反響などに対する頑健性、大量の情報を迅速に処理する効率性、環境の中での聴取者の動きなど、要素的屬性の研究とは全く異なった問題が数多く含まれている。

これらの問題を研究するための道具立てとしては、仮想現実などのマルチメディア技術への期待が大きい。聴取者と環境との動的な相互作用など、従来にない複雑な状況での実験が可能となるからである。そうして得られた知見は、マルチメディア技術に還元され、一層高度な聴覚の補綴や拡張に役立つであろう。

(柏野牧夫)

## 2. 聴覚モデルの系譜

### 2.1 まえがき

20 世紀後半になって、測定器の発達、コンピュータの出現により、聴覚（機構）をモデル化することの実現可能性、またモデル化を行うことによる新たな研究への波及効果が見られ始め、モデルもより高精度なものへと発展している。

本報告では、現在までのモデル化の流れとその具体例を示し、聴覚モデルの系譜を概観する。

#### 2.1 モデル構築の流れ

##### A. 抽象から具象へ

以前のモデル構築は、生理・心理実験の結果から聴覚の神経科学的動きであるとか機能を推量し抽象化するだけであったが、コンピュータの出現により実動するモデルを具体的に構成する方向へ向かい始めている。更に、結果を視覚的に表現する Visualization 技術と相まって、新たな研究への波及効果が増大している。

##### B. より実体にあったモデルへ

心理・生理を問わず、高度な測定機器と測定法の発達によって、聴覚における神経科学的特性がより細かく解明され、得られた知見がモデル構築へも刺激を与えている。

聴覚は、到来した音を受動的に受け取るだけの感覚器ではなく、能動的に有用な情報を取捨選択している。このことが明らかになるにつれ、モデルも線形から非線形モデルへ、時不変から時変モデルへ、また、受動モデルから能動モデルへと変革を遂げつつある。

##### C. 末梢から中枢へ

末梢から中枢へ向かう神経経路とその途中段階にある中継核の機能が解明されるにつれて、個々の部位のモデルを結合しより上位の機能を推定する方向

でモデル構築が進んでいる。上位機能の推定のためには、上位の入力となる下位モデル出力の忠実な再現が必要であり、より実体にあったモデル化が重要となっている。

### 2.3 具体例

#### 例 1：基底膜振動

1940 年代、Békésy が進行波説を提案して以来、基底膜振動の実像を具体的に計算しようとする動きが生まれた。中耳までの音響機械振動系、蝸牛内の力学系を微分方程式で記述し、これを等価電気回路でモデル化する、あるいは、直接有限要素法を用いて解くことにより、進行波の実像が具体的に示された。しかし、Rohde が測定したように同調特性は Békésy が測定した結果より鋭く、また、1978 年 Kemp により耳音響放射の存在が明らかになるに至り、基底膜振動の能動特性に関する議論が華やかとなった。近年、基底膜の能動特性と外有毛細胞の関係が明らかになり、外有毛細胞の働きをも考慮した基底膜振動モデルが提案され始めている。

#### 例 2：聴覚フィルタ

1930 年代、Fletcher が臨界帯域をはじめとする聴覚フィルタの概念を提唱して以来、聴覚フィルタの形状をモデル化することが一つの課題となった。Zwicker らによる聴覚フィルタの測定と、中心周波数と帯域幅のモデル化 (Bark 尺度)、Patterson, Moore らによる聴覚フィルタ等価矩形幅 (ERB) の測定とフィルタ形状、出力のモデル化 (ROEX フィルタ, Excitation pattern) が行われた。しかし、これらは周波数領域での形状モデル化であったため、機能モデルとしてより扱い易い時間領域でのモデル化 (例えば Gammatone フィルタ) が登場した。更に近年、聴覚フィルタの音圧依存性を模擬するために、時不変フィルタから時変フィルタへとより実体にあったモデルへの変更 (Gammatone から Gammacharp) が加えられている。

#### 例 3：末梢を超えて

聴神経までの各部位については多くのモデルがある。これは聴神経までの知見が多く存在するからである。

しかし、聴神経以降については、最初の神経核である蝸牛神経核でさえ、末梢に比較して多くの知見は得られていない。蝸牛神経核は、初めて特徴抽出処理が行われる部位であり、現在、精力的にモデル化が進められている。今後、モデル化は蝸牛神経核から上オリブ核、下丘へと進んで行くであろうが、本格的モデル化はこれからである。

## 2.4 今後のあるべき流れ

今まで提案されたモデルの中には、表面的に入出力関係だけを合わせたモデル、一部の神経科学的動きだけを実現したモデルも多く存在した。今後、モデルを各方面で応用するためには、聴覚機構の数理的本質をついたモデルの実現が課題となろう。

(赤木正人)

## 3. 精神物理学の系譜

### 3.1 精神物理学小史<sup>1)~3)</sup>

精神物理学は、物理世界（刺激、客観量）と精神世界（感覚、主観量・心理量）との関係を解明する学問であり、心理物理学とも呼ばれる。この学問の創始者は G.T. Fechner (1801~1887) である。彼は健康上の理由によりライプチヒ大学物理学教授を辞していた 1850 年代に構想を練り、1860 年に「精神物理学原論 (Elemente der Psychophysik)」を刊行した。ただし、その一部は、同大生理学教授である E. H. Weber (1795~1878) の成果に基づいていた。

Weber は、弁別閾  $\Delta S$  は刺激  $S$  に比例すると考え、比例定数を  $k$  とし、次の「Weber の法則」を得た。

$$\Delta S = kS \quad (1)$$

この法則は両辺が物理量で記述されているのに対し、Fechner は感覚量を導入した。すなわち、刺激  $S$  に対応する感覚量を  $R$  としたとき、弁別閾  $\Delta S$  に対応する感覚量の増分  $\Delta R$  は定数で、 $S$  の相対変化に比例するものと仮定し、次の「Fechner の法則」を示した。

$$\Delta R = k \Delta S / S \quad (2)$$

両辺を積分し、積分定数を  $a$  とすると、次式を得る。

$$R = k \log S + a \quad (3)$$

上式に従うと、例えばラウドネスという感覚量は、音圧レベル (dB 値) に比例することになるが、この関係が必ずしも成り立たないことは周知である。

そこで、ハーバード大学教授の S.S. Stevens (1906~1973) は、 $S$ - $R$  の関係を、弁別閾に基づいて導くのではなく直接求めることに 1930 年代から取り組み、以下の「Stevens のべき法則」を主張した。

$$R = kS^n \quad (4)$$

ここで  $n$  は感覚によって異なる定数であり、例えばラウドネスについては  $S$  を音圧とした場合に約 0.6 である。しかし、この法則は最小可聴限の近傍で実測結果との不一致が見られるため、幾つかの修正版が提案されており、それらは文献<sup>4)</sup>に比較がなされている。

かつては「 $S$ - $R$  の関係」を考察するに留まってい

たが、現在は「 $S$ -生理学的機序又は聴覚モデル (第1部 6 ページ参照) - $R$ 」の関係が話題となっている。

### 3.2 精神物理学の測定法<sup>3),5)~7)</sup>

聴覚に関する研究に用いられる精神物理学の測定法の多くは、定数測定法と尺度構成法に分類される。

定数測定法の測定対象となるのは、絶対閾、弁別閾、等価値など、個人ごとに値を特定できる心理学的定数である。今日用いられている極限法、調整法、恒常法は、Fechner が提唱した丁度可知差異法、当否法、平均誤差法が、それぞれ発展したものである。一方、コンピュータを実験の制御に利用可能となった 1950 年代からは、種々の適応法が提案されている<sup>8)</sup>。

尺度構成法は、感覚量の物差しを作る手法であり、直接法と間接法に分類される。直接法としては Stevens が提唱した ME 法・MP 法のほかに評定尺度法などがあり、間接法としては評定尺度法などがある。また、多次元の尺度を構成するための SD 法、MDS などが 1950 年代から開発されてきた。

新しい測定法が開発され続けているのに加え、「感性の時代」の評価法<sup>9)</sup>として広範な用途があり、更にインターネットを利用した実験<sup>10)</sup>も実現可能であるなど、この学問は更に発展するものと考えられる。

1) J.P. Guilford, *Psychometric Methods* (McGraw-Hill, New York, 1954); (秋重義治 監訳, 精神測定法 (培風館, 東京, 1959)).

2) 大山 正, 上村保子, 心理学史 (放送大学教育振興会, 東京, 1998), pp. 47-60.

3) 日本音響学会編, 境 久雄, 中山 剛, 聴覚と音響心理 (コロナ社, 東京, 1978), pp. 79-82, 237-306.

4) Y. Suzuki, H. Takeshima, K. Ozawa, M. Kumagai and T. Sone, "Determination of new equal-loudness level contours based on recent data with a loudness function model," Proc. InterNoise 2000, pp. 3664-3669 (2000).

5) W.S. Torgerson, *Theory and Methods of Scaling* (John Wiley & Sons, New York, 1951).

6) 田中良久, 心理学的測定法 (東京大学出版会, 東京, 1977).

7) 日本音響学会 編, 難波精一郎, 桑野園子, 音の評価のための心理学的測定法 (コロナ社, 東京, 1998).

8) 津村尚志, "最近の聴覚心理実験における新しい測定法," 音響学会誌 40, 45-51 (1984).

9) 天坂格郎, 長沢伸也, 官能評価の基礎と応用 (日本規格協会, 東京, 2000).

10) M.H. Birnbaum Ed., *Psychological Experiments on the INTERNET* (Academic Press, San Diego, 2000).

(小澤賢司)

## 4. 聴覚生理学の系譜：聴覚中枢は不要か？

これまでの聴覚生理学の系譜とは、聴覚系末梢生理学の系譜とも言えるほどである。Békésy<sup>1)</sup>がヒト