

はじめての聴覚フィルタ

- 心理物理実験デモで学ぶ聴覚フィルタ特性 - *

○ 入野 俊夫 (和歌山大学・システム工学部)

1 はじめに

本講演では、音響学会誌 66 巻 10 号に掲載される「はじめての聴覚フィルタ」[1]のデモを用いて、聴覚フィルタについて解説します。主要な内容は学会誌を参照いただき、本資料では紙面の都合上掲載できなかった図や補足説明を行います。

2 デモについて

心理物理実験デモの実行コマンドは DemoAuditoryFilter です。実行すると、以下のような入力モードになります。

```
>> DemoAuditoryFilter <↵ [注: return 入力]
```

デモ :

- 1) 聴覚フィルタの基礎
- 2) 臨界帯域幅
- 3) ノッチ雑音マスキング法
- 4) 聴覚フィルタ形状推定

デモ番号の選択 >> 1

まず、聴覚フィルタの基礎を学ぶため 1 を入力します。結果として、本資料の図-1, 図-2 を含む 4 つのグラフが出力されると思います。

デモ 2 番目は、Fletcher による臨界帯域幅実験です[2, 3]。3 番目は Patterson によるノッチ雑音マスキング法のデモです[4]。4 番目は、3 番で得た結果から、聴覚フィルタを推定して表示するプログラムになっています。ここで、図-3, 図-4 のグラフが表示されます。

以下ではこれらの図の補足を行います。

3 聴覚フィルタ

3.1 振幅周波数特性と帯域幅

図-1 は、フィルタの振幅周波数特性で、横軸は周波数、縦軸はフィルタの利得を dB 表示しています。ただし横軸は、線形軸ではなく、以下で述べる ERB_N 番号が等間隔の軸となっています。これにより、6 つの中心周波数を持つフィルタが、周波数に関わらず同じような形状を持つことがわかります。なお、この

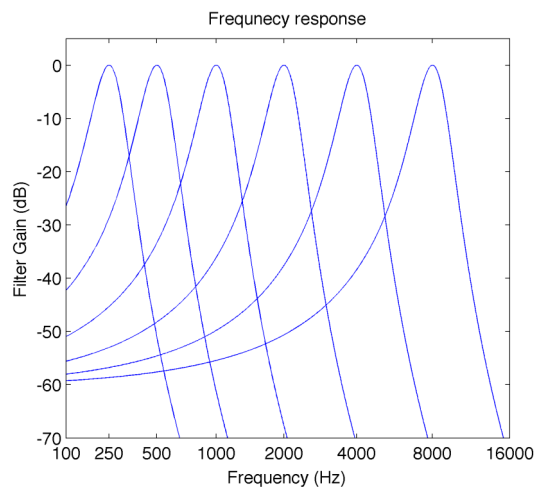


図-1 聴覚フィルタの周波数特性の例。

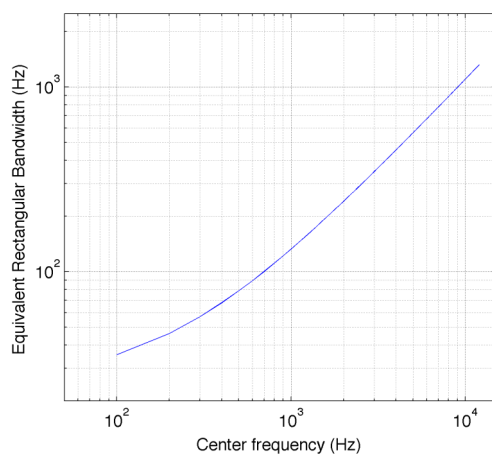


図-2 中心周波数と、 ERB_N の関係。

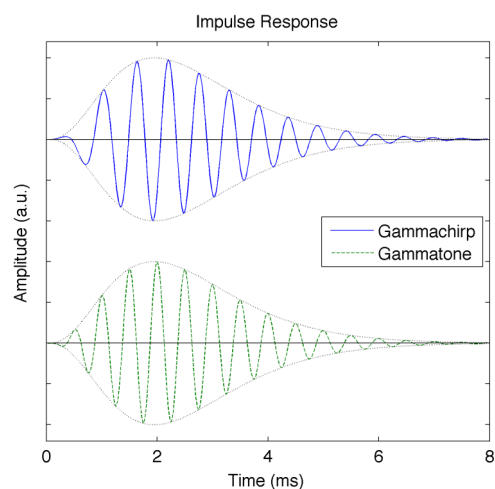


図-3 インパルス応答例。式 (3) と (5)。

* An Introduction to Auditory Filter - Learning with Psychoacoustic Demonstrations - by Toshio Irino (Wakayama university).

振幅周波数特性のことを、心理物理では「フィルタ形状」と呼びならわしています。

ここで中心周波数と帯域幅の間には、以下の関係があることが知られています[5]。

$$ERB_N = 24.7(4.37F/1000 + 1) \quad (1)$$

ただし、 ERB_N : 健聴者の測定から得られた「矩形等価帯域幅」(Hz), F : フィルタの中心周波数 (Hz)。この関係は、図-2 に示されるように、中心周波数が高くなるにつれて帯域幅は広がります。この周波数によって変わる帯域幅のフィルタが等間隔に並ぶように ERB_N 番号が定義できます。

$$ERB_{N_number} = 21.4 \log_{10}(4.37F/1000 + 1) \quad (2)$$

3.2 聴覚フィルタ関数

Patterson はフィルタ関数 $w(f)$ の近似式として roex (rounded exponential) フィルタを導入しました。この roex フィルタは、フィルタ形状の中心周波数に対する非対称や音圧による変化も良くモデル化できたため、今まで広く使われてきました。しかし、周波数軸における重み関数で、インパルス応答をもたないため、聴覚末梢系における時間的なフィルタを表現できません。そこで、この roex をさらに近似するものとして、インパルス応答のあるガンマトーン (gammatone) フィルタが用いられています。

$$g_c(t) = at^{n-1} \exp(-2\pi b ERB_N(f_c) t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (3)$$

ただし、 t : 時間 ($t > 0$)、 f_c : 中心周波数、 a : 振幅、 $ERB_N(f_c)$: f_c における矩形帯域幅、 b : 係数、 ϕ : 位相。この応答は図-3 の破線で示されます。

複素関数にした時に振幅周波数応答は、

$$|G_r(f)| = \frac{|a_r \Gamma(n)|}{|2\pi \sqrt{\{b ERB_N(f_c)\}^2 + (f - f_c)^2}|^n} \quad (4)$$

と表せます。しかし、図-4 の破線のように、中心周波数に対して対称なフィルタなので、roex の非対称性をそのままでは表現できません。

そこで、非対称性も導入できるガンマチャープ (gammachirp) フィルタが提案されました。

$$g_c(t) = at^{n-1} \exp(-2\pi b ERB_N(f_c) t) \cos(2\pi f_c t + c \ln t + \phi) \quad (5)$$

ただし、 t : 時間 ($t > 0$)、 c : 周波数の変化 (chirp) の係数。式(5)との違いは $c \ln t$ だけで、係数 $c = 0$ とすれば同じ式になります。この応答は図-3 の実線のようにになります。

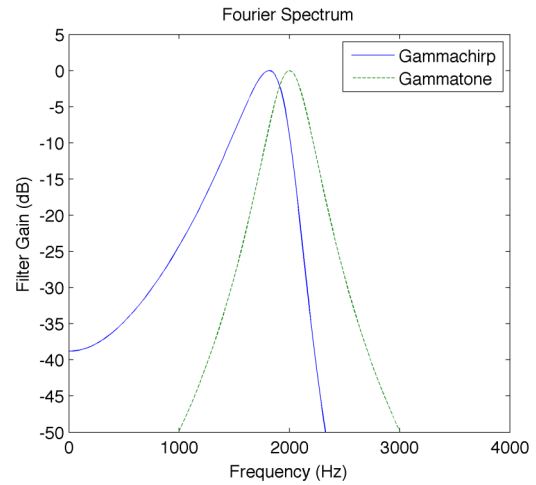


図-4 振幅周波数特性。式(4)と(6)。

複素関数にした時の振幅周波数応答は、

$$|G_c(f)| = \frac{|a \Gamma(n + jc)|}{|2\pi \sqrt{\{b ERB_N(f_r)\}^2 + (f - f_r)^2}|^n} \cdot \exp(c \theta(f))$$

$$= a_r \cdot |G_r(f)| \cdot \exp(c \theta(f))$$

$$\theta(f) = \arctan\left(\frac{f - f_r}{b ERB_N(f_r)}\right) \quad (6)$$

ここで、 $\theta(f)$ は、周波数軸上で f_r を中心とした反対称性を持つ関数となるので、 $\exp(c \theta(f))$ は非対称関数となります。式(4)にこの項が掛け合わせられた結果、図-4 の実線で示されたとおり、非対称性を持つフィルタ形状となります。

4 おわりに

本資料は、[1]の補遺として書かれました。高度高齢化社会を迎えた現在、補聴器を含む音響機器の設計に個々人の特性を反映させるユニバーサルデザインが重要となると考えられます。心理物理実験は、人間の特性を知るための第一歩です。ぜひ積極的に学んでいただきたいと思います。

参考文献

- [1] 入野俊夫, "はじめての聴覚フィルタ," 音響学会誌, 66 (10), 2010年10月.
- [2] Fletcher, H., "Auditory patterns," Rev. Mod. Phys. **12**, 47-61, 1940.
- [3] "Demonstration 2. Critical Bands by Masking," in Houtsma, A.J.M., Rossing, T.D., and Wagenaars, W.M., "Auditory Demonstrations on Compact Disk," 1987. 米国音響学会から入手可(<http://asa.aip.org/discs.html>)
- [4] Patterson, R. D., "Auditory filter shape," J. Acoust. Soc. Am. **55**, 802-809, 1974.
- [5] Moore, B. C. J., "Psychology of Hearing (5th ed)," Academic Press, London, 2003.