

絶対不応期のある積分発火ユニットによるミッシングファンダメンタル情報の抽出 Extraction of the Information of the Missing Fundamental by Integrate-and-Fire Units with Absolute Refractory Period.

小川 剛央†
Masahiro Ogawa

松岡 孝栄†
Takahide Matsuoka

1. まえがき

音響心理実験で確認されている現象で電気生理学的な裏付けの無い現象が種々ある。ミッシングファンダメンタル(missing fundamental, f_0 と記す)現象^[1]もそのひとつである。

ミッシングファンダメンタル現象とは、

複合音 $a_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 t) + a_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 t)$

を聞くと f_1 、 f_2 の他に聴覚中枢で作り出されると考えられている^[1] f_0 も聞こえる現象である(簡単な為、周波数成分を2個とした)。

ここで、 $f_1 = n f_0$ 、 $f_2 = (n+k) f_0$ (但し $f_1 \neq f_0$ 、 n 及び k は自然数)

蝸牛モデルに複合音を入力したとき、ミッシングファンダメンタルの情報が、モデルの出力パルス列のオートコレログラムを重ね合わせた総合オートコレログラムのISIヒストグラムに陽に現れることは既に示している^[2]。

また、聴覚高次過程にはニューロンの発火パターンが時間的にどのように繰り返されるのかを見る機構、すなわち自己相関を取るような処理をすることによってピッチと感ずる機構が存在する可能性が示唆されている^[3]。つまり、オートコレログラムをとるような機構の存在が示唆されている。

本報告では、総合オートコレログラムをつくってミッシングファンダメンタル情報を抽出する機構の部品としてのIFユニット(図1のIFユニット2)について、実験した結果について述べる。

2. 実験に使用するシステム

図1が実験に使用するシステムである。

絶対不応期のあるIFユニットに、半波整流正弦波を入力したとき、1 for n phase-lock 現象(入力信号 n 周期に対し1つのphase-lock パルスが出力される現象)及び、 k for m phase-lock 現象(入力信号 m 周期に対し、 k 周期パルス列が出力される現象)が発生することを前者は理論的に、後者は実験的に既に示しており、 k for m phase-lock パルス列を重ね合わせることにより、ほぼ1 for 1 phase-lockパルス列が得られることが分かっている^[4]。図1のIFユニット1のパラメータを調節して、パルス列1、パルス列2はそれぞれ f_1 、 f_2 の1 for 1 phase-lockパルス列になるようにした。

上述のパルス列を重ね合わせる器官として、蝸牛神経核前腹側核(Anteroventral Cochlear Nucleus, AVCNと略す)が考えられ、蝸牛-AVCN(聴覚初期過程)モデルの出力パルス列から総合オートコレログラムのISIヒストグラムを作

成することで、900Hz 以下の入力信号に対して、ミッシングファンダメンタル情報が抽出できる事が分かっている^[5]が本報告では蝸牛-AVCNモデルは使用せず、簡素化して、1 for 1 phase-lock パルス列1、パルス列2を作った。

3. 実験

IFユニット2は1発のパルス入力で1発のパルスを出力する。図1のネットワークを用いて、パルス列1のオートコレログラムとパルス列2のオートコレログラムを重ね合わせた総合オートコレログラムと等価な情報がIFユニット2によって創出できるかどうか、IFユニット2の不応期を系統的に変えて調べる。すなわち、パルス列3のオートコレログラムのISIヒストグラムからミッシングファンダメンタル情報がとりさせるか調べる。

用いる入力信号は $(f_1, f_2) = (400\text{Hz}, 600\text{Hz})$ 、 $(500\text{Hz}, 750\text{Hz})$ 、 $(600\text{Hz}, 900\text{Hz})$ の3パターンで、 f_0 はそれぞれ200Hz、250Hz、300Hzである。絶対不応期は、不応期が無視できる場合を想定した0ms、多くの聴神経の絶対不応期である1ms、そして、

$$\frac{1}{f_2} < \tau_{21} < \frac{1}{f_1} < \tau_{10} < \frac{1}{f_0} \quad (1)$$

を満たす τ_{21} 及び τ_{10} の4種類である。 τ_{21} 及び τ_{10} は入力信号にあわせて決められる。

4. 結果

図2に $(f_1, f_2) = (400\text{Hz}, 600\text{Hz})$ の場合の結果を示す。絶対不応期が0ms及び τ_{21} 、 τ_{10} の3つの場合にミッシングファンダメンタル情報がとりだされた。また、絶対不応期が τ_{10} のときミッシングファンダメンタルがもっともよく取り出されていた。これは、 $(f_1, f_2) = (500\text{Hz}, 750\text{Hz})$ 、 $(600\text{Hz}, 900\text{Hz})$ の時も同様であった。

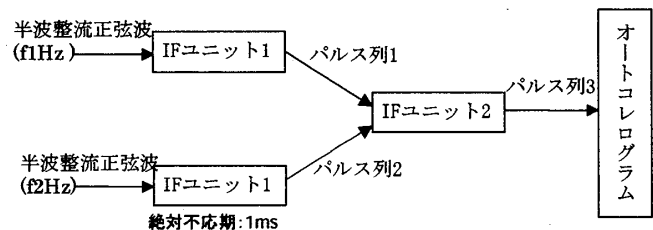
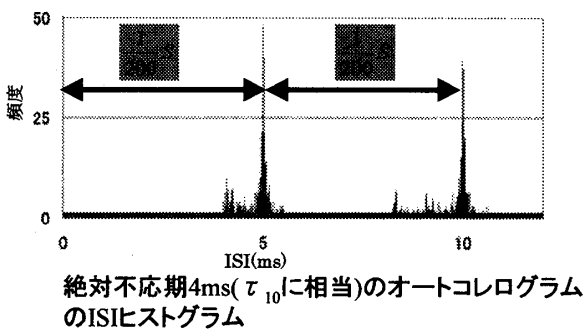
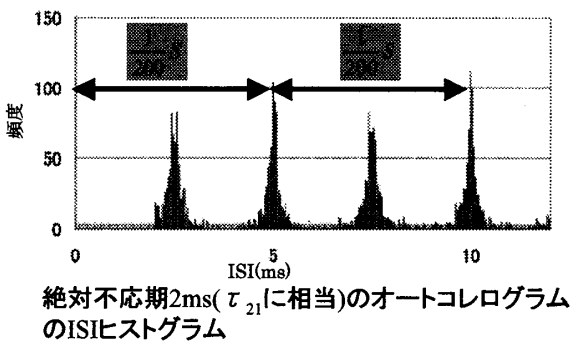
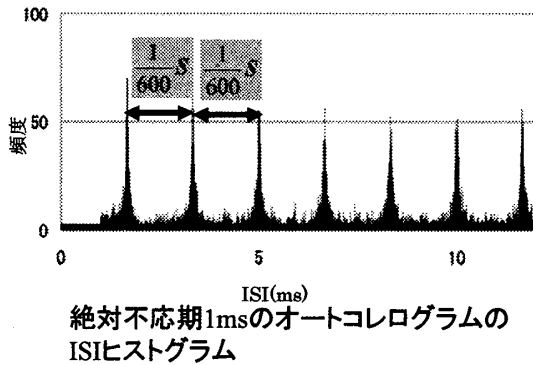
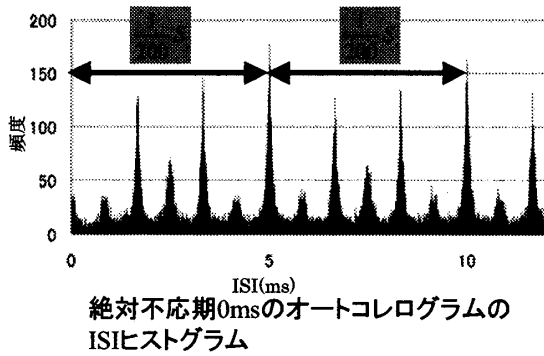
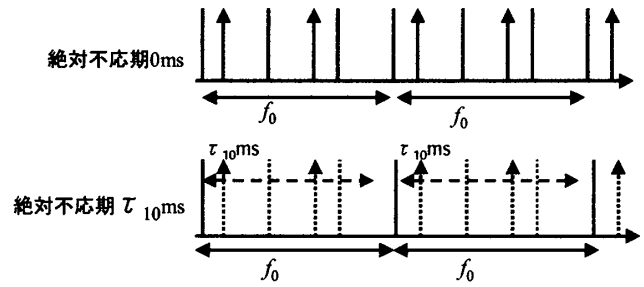


図1 実験に使用するシステムのブロック図
(IFユニット2のオートコレログラムが総合オートコレログラムと等価な情報を創出しうるかどうか調べる)

†宇都宮大学

図2 (f_1, f_2)=(400Hz, 600Hz)の場合の実験結果

5. 考察

絶対不応期が(1)式の τ_{10} のときミッシングファンダメンタルが陽に抽出されるメカニズムを考察する。図3は図1のパルス列3の模式図で、矢印が f_1 Hz、実線が f_2 Hzによるパルス列であるとする。図3の上段のパルス列は絶対不応期0msのときで、2つのパルス列を単純に足合わせたパルス列になり、図3の下段は絶対不応期が τ_{10} のときのパルス列である。0msのときはミッシングファンダメンタル以外にも多くのISIが存在する。しかし、(1)式の τ_{10} のとき、図3の下段のように余計なパルスが消え、陽にミッシングファンダメンタルが現れる。

6. おわりに

図1のような絶対不応期のあるIFユニットのネットワークで、パルス列3のオートコレログラムは、絶対不応期が(1)式の τ_{10} のとき、パルス列1のオートコレログラムとパルス列2のオートコレログラムを重ね合わせた総合オートコレログラムと等価な情報を持つことが分かった。その結果、

$$\frac{1}{f_1} < \tau_{10} < \frac{1}{f_0}$$

のような範囲に絶対不応期がある場合、ミッシングファンダメンタルがもっともよくとりだせることが分かった。

参考文献

- [1] 川人ほか：“認知科学 3 視覚と聴覚”，岩波書店，p. 150(1997)
- [2] 松岡，伊藤：“ミッシングファンダメンタルの生成メカニズムに関する一考察”，情報科学技術フォーラム一般講演論文集，H-3，pp. 321-322，9，2002.
- [3] Greenberg, S. & Rhode, W.S. (1987): "Periodicity coding in cochlear nerve and ventral cochlear nucleus." In W.A.Yost & C.S.Watson (eds.), Auditory Processing of Complex Sounds, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 225-236
- [4] 今野，小川，松岡：“蝸牛モデルのフェーズロック出力パルス列中の時間情報”，電子情報通信学会 総合大会講演論文集，D-7-18，p. 87，3，2003.
- [5] Takahide Matsuoka, Daisuke Konno: "Anteroventral Cochlear Nucleus Models for Considering on the Missing Fundamental", 27th Annual Int. conf. of IEEE-EMBS, [Accept to be published]