

G\_008

# 聴覚イメージモデルによるミッシングファンダメンタル情報の抽出に関する検討

## Investigations into Extraction of the Missing Fundamental Information by Auditory Image Model

飯富 裕†  
Yutaka Iitomi

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、電気生理学的な裏づ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<sup>[1]</sup>もその一つである。ミッシングファンダメンタル現象とは

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

を聴くと  $f_1$ 、 $f_2$  の他に聴覚高次過程で作り出されると考えられている  $f_0$  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、 $f_1 = n \cdot f_0$ 、

$$f_2 = (n+k) \cdot f_0 \quad (\text{但し、} f_1 \neq f_0, n \text{ 及び } k \text{ は自然数})$$

従来の聴覚実験では、ミッシングファンダメンタルの知覚には、結合音が知覚されないように1個の耳に1個の純音を聴かせる手法をとってきた。しかし、人間の耳は2個しか無いので複合音の調波成分が3個以上の場合、1個の耳に1個の純音という手法を用いることができなかった。そこでミッシングファンダメンタルを生成する聴覚メカニズムを、計算機実験によって解明することを試みることにした。

本報告では、ミッシングファンダメンタル情報の抽出における(1)基本周波数の高さの影響と(2)調波成分の個数の影響、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。図は周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を入力したときの例である。聴覚初期過程のモデルの出力から統合オートコロログラムのISI (Inter-Spike Interval) ヒストグラムを作成することでミッシングファンダメンタル情報が陽に現れる事が分かっている<sup>[2]</sup>。計算機実験に使用する聴覚初期過程モデルには Roy.D.Patterson の聴覚イメージモデル (Auditory Image Model、AIM と記す)<sup>[3]</sup>を使用した。

### 3. 実験

図1のシステムで ISI ヒストグラムからのミッシングファンダメンタル情報の抽出における、(1)基本周波数の高さの影響及び(2)調波成分の個数の影響を調べる。(1)については、どの程度の高さまでミッシングファンダメンタル情報を抽出することができるか調べる。(2)については、調波成分の個数がいくつのとき最もミッシングファンダメンタル情報が抽出しやすくなるか調べる。またこれらの結果を生理学的知見と比較する。

用いる周波数の組み合わせは、(1)については表1の8パターンで、(2)については表2の30パターンである。

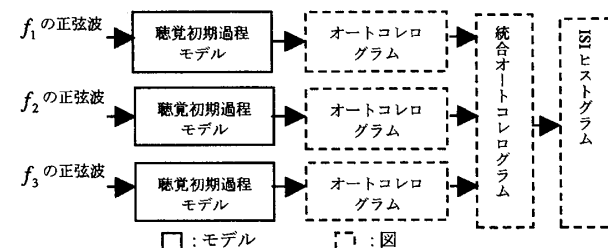


図1. 計算機実験に使用するシステムのブロック図

表1. 周波数の組み合わせ (基本周波数の高さの影響の実験)

番号	$f_0$ [Hz]	周波数の組み合わせ [Hz]			
①	150	450	600	750	900
②	225	450	675	900	
③	500	1500	2000	2500	3000
④	750	1500	2250	3000	
⑤	700	2100	2800	3500	4200
⑥	1050	2100	3150	4200	
⑦	1000	3000	4000	5000	6000
⑧	1500	3000	4500	6000	

表2. 周波数の組み合わせ (調波成分の個数の影響の実験)

番号	調波成分 [Hz]	周波数の組み合わせ [Hz]					
		2個	3個	4個	5個	6個	
①	150	450	600	750	900	1050	1200
②	225	450	675	900	1125	1350	1575
③	500	1500	2000	2500	3000	3500	4000
④	750	1500	2250	3000	3750	4500	5250
⑤	700	2100	2800	3500	4200	4900	5600
⑥	1050	2100	3150	4200	5250	6300	7350

### 4. 結果

例として  $f_0 = 150$  [Hz] (450, 600, 750, 900 [Hz]) の ISI ヒストグラムを図2に示す。図ではミッシングファンダメンタルが抽出できた。ここで白の矢印のピークはミッシングファンダメンタル情報の抽出を妨害するピークである。これらのピークのうち最大となるものを妨害度数と呼ぶこととする。図では妨害度数は0.74であった。表3に

† 宇都宮大学

(1)基本周波数の高さの影響の結果を妨害度数で示す。妨害度数が小さいほど濃い灰色で示した。ミッシングファンダメンタル情報が抽出できない場合は×とした。①～⑥の場合でミッシングファンダメンタル情報を抽出することができた。また例外はあるが、基本周波数が高くなるにつれて妨害度数が大きくなった。すなわち基本周波数が高くなるにつれてミッシングファンダメンタル情報が抽出しづらくなった。

次に表2の①～⑥の場合で(2)調波成分の個数の影響を調べた結果を表4に妨害度数で示す。こちらも妨害度数が小さいほど、濃い灰色で示してある。基本周波数が低い場合(表4の①②)は、調波成分4個までは調波成分の個数が多いほどミッシングファンダメンタル情報が抽出しやすくなる傾向があった。但し、調波成分が5個以上になると抽出しづらくなる傾向があった。基本周波数が高い場合(表4の③～⑥)は、調波成分の個数が多いほどミッシングファンダメンタル情報が抽出しづらくなる傾向があった。

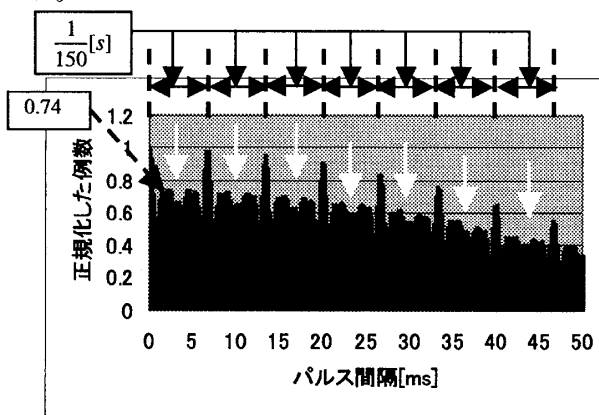


図2.  $f_0 = 150$  [Hz]のISIヒストグラムの例

表3. 妨害度数(基本周波数の高さの影響の実験)

番号	$f_0$ [Hz]	妨害度数
①	150	0.74
②	225	0.77
③	500	0.99
④	750	0.995
⑤	700	0.998
⑥	1050	0.995
⑦	1000	×
⑧	1500	×

表4. 妨害度数(調波成分の個数の影響の実験)

番号	$f_0$ [Hz]	調波成分				
		2個	3個	4個	5個	6個
①	150	0.84	0.77	0.74	0.75	0.76
②	225	0.74	0.77	0.76	0.79	0.81
③	500	0.986	0.986	0.99	0.991	0.992
④	750	0.992	0.995	0.996	0.996	0.996
⑤	700	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998
⑥	1050	0.994	0.995	0.996	0.997	0.997

## 5. 考察

(1)基本周波数の高さの影響と(2)調波成分の個数の影響について実験した結果を考察する。

(1)については、次のとおりである。表3では、③～⑥には2000[Hz]を超える調波成分が含まれる。2000[Hz]を超すと同期発火(1 for n同期を意味する: 入力信号n周期に1個のphase-lockパルス列)しにくくなるという知見<sup>[4][5]</sup>から、③～⑥は①②よりもミッシングファンダメンタル情報が抽出しづらくなることの説明ができる。また⑦⑧が4000[Hz]以上の調波成分が含まれ、4000[Hz]以上になると同期発火しなくなるという知見からミッシングファンダメンタル情報が抽出できなくなることの説明ができる。

(2)については、次のとおりである。表4では、①②は例外があるが、調波成分4個までは調波成分が1000[Hz]よりも低い。1000[Hz]までは位相同期指数が1に近い(1 for 1同期を意味する)という知見<sup>[6]</sup>から調波成分の個数が多いほどミッシングファンダメンタル情報が抽出しやすくなることの説明ができる。③～⑥は調波成分が1000[Hz]を超すので、1000[Hz]を超すと位相同期指数が落ちるとい知見から調波成分の個数が増えると、抽出しづらい周波数情報がが増えて、ミッシングファンダメンタル情報が抽出しづらくなることの説明ができる。

## 6. おわりに

図1のシステムでミッシングファンダメンタル情報の抽出における、(1)基本周波数の高さの影響及び(2)調波成分の個数の影響について調べた。その結果、基本周波数が高くなるにつれてミッシングファンダメンタル情報が抽出しづらくなることがわかった。そして調波成分の個数は基本周波数が低い場合と高い場合で異なる傾向があることがわかった。

## 参考文献

- [1] 川人他 : “認知科学3 視覚と聴覚”, 岩波書店, pp.149-152 (1997)
- [2] T.Matsuoka, Y.Ono : “Phase-Locking by Integral Pulse Frequency Modulation and the information of the Missing Fundamental in Pulse Trains”, Proc. 20th Annual Int. Conf. of IEEE - EMBS, pp.3184-3187 (1998)
- [3] R.D. Patterson : “Auditory images: How complex sounds are represented in the auditory system”, J. Acoust. Soc. Japan(E) 21 (4), pp.183-190 (2000)
- [4] 中川他 : “ニューロサイエンス&テクノロジーシリーズ 音声・聴覚と神経回路網モデル”, オーム社, pp110-113 (1990)
- [5] T.Matsuoka, T.Hoshi : “Investigation on Missing Fundamental by a Cochlea Model Generating Spontaneous Discharge”, Proc. 23rd Annual Int. Conf. of IEEE - EMBS, Session3.7.1 (4pages)(2001)
- [6] P. X. Joris, L. H. Carney, P. H. Smith, and T. C. T. Yin. Enhancement of Neural Synchronization in the Anteroventral Cochlear Nucleus. I. Responses to Tones at the Characteristic Frequency. J. Neurophysiol. 71:1022-1036,1994.