

E-043

## ミッシングファンダメンタル情報の抽出における結合音の影響に関する実験

Experiments concerning the influence of combination tones on extraction of the missing fundamental information

飯富 裕†                      松岡 孝栄†  
Yutaka Iitomi                      Takahide Matsuoka

### 1. まえがき

ミッシングファンダメンタル(missing fundamental)現象とは  $f_1 = n \cdot f_0$ 、 $f_2 = (n+k) \cdot f_0$  (但し、 $f_1 \neq f_0$ 、 $n$  及び  $k$  は自然数) の関係にある  $f_1$  と  $f_2$  を聴くと、 $f_1$  と  $f_2$  の他に聴覚高次過程で作られされると考えられている  $f_0$  も知覚される現象である(簡単な為、周波数成分 2 個の例で説明する)。聴覚実験でミッシングファンダメンタルを知覚できるか調べる方法には、各々の耳に 1 個の純音を聴かせる方法、各々の耳に複合音  $a_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 t) + a_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 t)$  を聴かせる方法等がある。後者の場合は、ミッシングファンダメンタルの他に結合音も知覚される。結合音とは上述の複合音を聴くと知覚される  $f_2 - f_1$ 、 $2f_1 - f_2$  等の音である。これらの音は聴覚初期過程で作られされると考えられている。

本報告では、上述の 2 つの方法による計算機実験を行い、ミッシングファンダメンタル情報の抽出における結合音の影響を調べた結果を述べる。また上述の 2 つの方法による聴覚実験も行い、ミッシングファンダメンタルの知覚における結合音の影響を調べた結果を述べる。

### 2. 計算機実験に使用するシステム

図 1 が計算機実験に使用するシステムのブロック図である。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レログラムの 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

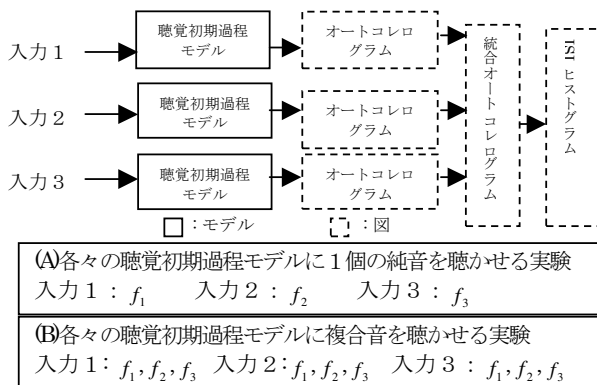


図 1. 計算機実験に使用するシステムのブロック図

分かっている<sup>[1]</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>[2]</sup>を用いた。

### 3. 計算機実験

図 1 のシステムで(A)各々の耳に 1 個の純音を聴かせる実験、(B)各々の耳に複合音を聴かせる実験を行い、実験(A)ではミッシングファンダメンタル情報の抽出における基本周波数の高さの影響、調波成分の個数の影響、実験(B)では結合音の情報及びミッシングファンダメンタル情報の抽出における基本周波数の高さの影響、調波成分の個数の影響を調べた。用いた周波数の組み合わせは、基本周波数の高さの影響については表 1 の①～⑧の 8 パターン、調波成分の個数の影響については表 2 の①～⑧各々 5 種類 (2 個、3 個、4 個、5 個、6 個) の 40 パターンである。

表 1. 周波数の組み合わせ (基本周波数の高さの影響)

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)

番号	調波成分 [Hz]	調波成分の個数					
		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
⑦	1000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
⑧	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500

† 宇都宮大学

#### 4. 計算機実験結果および考察

基本周波数の高さの影響についての結果は、実験(A)では①～⑥の場合に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。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。

実験(B)では①～⑦の場合に結合音の情報および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。基本周波数が高くなるにつれて結合音の情報及び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。

実験(A)の結果と実験(B)の結果を比較すると実験(B)の方が、結合音の情報の分、ミッシングファンダメンタルと同じ高さの情報が抽出しやすい傾向があった。このことは AIM を使って実験(B)の ISI ヒストグラムから実験(A)の ISI ヒストグラムを差し引くことにより結合音の情報のみが載った ISI ヒストグラムを作成することにより  $f_0$  の情報が出現したことからも裏付けられる。

調波成分の個数の影響についての結果は、基本周波数の低い場合(①②)は、実験(A)も実験(B)も同様な傾向があり、調波成分4個または5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と同じ高さの情報が抽出しやすくなる傾向があった。

基本周波数の高い場合(③～⑥)は、実験(A)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づらくなる傾向があるのに対して、実験(B)では調波成分4個または5個までは結合音の情報および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。これは実験(B)では、調波成分の個数が多いほど結合音の情報が強く影響したためだと考えられる。⑦⑧の場合は、実験(A)では、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なかったが、実験(B)では、結合音の情報が付加されて、⑦および⑧の調波成分2個、の場合に結合音の情報および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。

#### 5. 聴覚実験結果および考察

調波成分2個を用いて、実験(A)および実験(B)の聴覚実験を行った。調波成分2個の場合のみ聴覚実験と計算機実験を比較考察できるからである。図3の(A),(B)がこれら2つの実験方法のブロック図である。用いた周波数の組み合わせは表2の①～⑧で調波成分2個の場合の8パターンである。刺激のパターンは表3の6パターンである。表3の2つの音(最初の音及び最後の音)を順番に聴かせた。被験者は4名であった(男性3名、女性1名)。

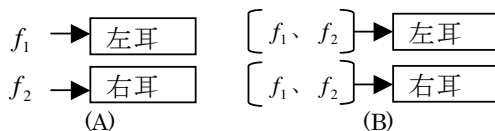


図3. 聴覚実験の方法のブロック図

表3の(1)～(4)は同定の実験で、最初の音と最後の音で同じ高さの音が知覚できるかすなわちミッシングファンダメンタルが知覚できるかを答えてもらった。知覚できる場合は(O)、知覚できない場合は(X)としてもらった。

表3の(5),(6)は比較の実験で、最初の音と最後の音を比較してどちらがミッシングファンダメンタルと同じ高さ

の音が知覚しやすいか答えてもらった。図3(A)の方法で  $f_1$ 、 $f_2$  を聴いた場合の方が知覚しやすい場合は(Aの音)、図3(B)の方法で  $f_1$ 、 $f_2$  を聴いた場合の方が知覚しやすい場合は(Bの音)、どちらもミッシングファンダメンタルと同じ高さの音が知覚できたがどちらが知覚しやすいか分からない場合は( $\Delta$ )、どちらもミッシングファンダメンタルと同じ高さの音が知覚できない場合は(X)としてもらった。

実験は(1)～(6)それぞれに対して、各被験者が周波数の組み合わせごとに6回(例えば(1)を  $f_1=450[\text{Hz}]$ 、 $f_2=600[\text{Hz}]$  で6回)ずつ行い、最初の1回は練習としてデータには含めず、5回を回答数とした。すなわち周波数の組み合わせごとに被験者4名の合計回答数は20回である。

表3. 刺激のパターン

番号	最初の音	最後の音
(1)	$f_0$	図3(A)の方法で $f_1$ 、 $f_2$
(2)	$f_0$	図3(B)の方法で $f_1$ 、 $f_2$
(3)	図3(A)の方法で $f_1$ 、 $f_2$	$f_0$
(4)	図3(B)の方法で $f_1$ 、 $f_2$	$f_0$
(5)	図3(A)の方法で $f_1$ 、 $f_2$	図3(B)の方法で $f_1$ 、 $f_2$
(6)	図3(B)の方法で $f_1$ 、 $f_2$	図3(A)の方法で $f_1$ 、 $f_2$

結果は

(1)～(4)の同定の実験については、①②④～⑥の場合は、(O)という回答数が合計回答数(20回)の7割以上(14回以上)であった。また実験(A)および実験(B)の比較のため(1)と(2)の比較、(3)と(4)の比較を行ったが、傾向に違いはなかった。したがって結合音の影響はこの実験では出てこなかった。

(5)(6)の比較の実験については、①～④⑥の場合は、(Bの音)という回答数が合計回答数(20回)の7割以上(14回以上)であった(残りの回答は( $\Delta$ ),(X)であった)。したがって①～④⑥の場合は、結合音を含む方がミッシングファンダメンタルと同じ高さの音が知覚しやすい傾向があった。

#### 6. おわりに

図1のシステムで実験(A)および実験(B)の計算機実験を行った。結果を比較し、ミッシングファンダメンタル情報の抽出における結合音の影響を調べた。実験(B)の方が結合音の情報の分、ミッシングファンダメンタルと同じ高さの情報が抽出しやすくなる傾向があった。

次に聴覚実験を行った。その結果、表3(5)(6)の比較の実験で①～④⑥の場合は、各々の耳に複合音を聴かせる方法の方が結合音を含む分、ミッシングファンダメンタルと同じ高さの音が知覚しやすい傾向があった。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 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)