

バットの素振り音の分析法

東 恒人 ・ 難波 謙一*

岡山理科大学 工学部 情報工学科

*株式会社 倉敷ケーブルテレビ

(2000年11月1日 受理)

1. 緒言

野球の打者は、打席で自分自身を見ることはないため、バットスイングの調整は、鏡やビデオなどを用いて行われることが多い。しかし、鏡を見ながらバットスイングの状態を確認する場合、目の位置や頭の位置が打席時と異なってしまい、バットスイングのフォームを崩す恐れがある。ある選手の中には、暗く狭い部屋で素振りを繰り返し、バットが風を切るときの音（以下、素振り音という）を聞き、バットスイングの状態を確認している。この方法では、好調時には素振り音の音色とその発生場所を記憶しておき、不調時には好調時の音がでるまで素振りを繰り返し、バットスイングを調整するのである。

聴覚に依存したバットスイングの調整は、音を聞くだけなので、特別な設備や他人に確認してもらう必要がない。周りが静かであれば、どこでもバットスイングの状態を確認することができる。さらに、素振り音を録音しておけば、調子の程度を判断できる。従って、素振り音の特徴を定量化できれば、バットスイングの調整器具が可能となろう。

本稿では、素振り音の計測法および素振り音の分析法を明確にすると共に、素振り音の分析結果について述べる。

まず、素振り音の計測法として、素振りをしている本人が音を聞いている状態や、素振りをしているそばで聞いている状態に対応した計測法を提案すると共に、それらの計測波形の特徴について述べる。

素振り音の分析法として、二種類の分析法を用いて、素振り音の周波数成分の時間変動特性（以下、これを時間・周波数特性という）を調べ、さらに、この特性について、評価パラメータ（経過時間幅と周波数帯域幅）を定義して、このパラメータを用いて、素振り音の特徴を明確にする。

2. 計測法¹⁾

2.1 計測法の種類

素振り音の計測法として、間接型計測法と人体接触型計測法の二種類を考える。間接型計測法はコーチがバッターのそばで素振り音を聞いている状態に、人体接触型計測法はバッター自身が素振り音を聞いている状態に、対応している。

間接型計測法では、素振りをしている被験者の足元に、図1のように、ステレオマイクを設置して、素振り音を計測する。なお、ステレオマイクの設置場所としては、素振り音が最も大きく鳴っている場所を選ぶ。表1にステレオマイクの設置条件を示す。

人体接触型計測法では、被験者の耳に図2のように小型のコンタクトマイクを装着して、素振り音を計測する。

2.2 計測用機器

図3に間接型計測法で用いるステレオマイクの外観を、表2にその定格と性能を示す。また、図4に人体接触型計測法で用いるコンタクトマイクの外観を、表3にその定格と性能を示す。なお、コンタクトマイクには、図5に示すような専用アンプが必要であり、その定格と性能を表4に示す。



図1 設置位置

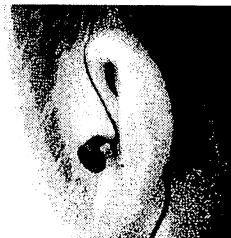


図2 装着状態

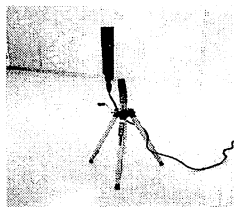


図3 ステレオマイク

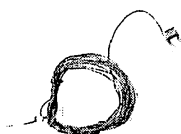


図4 コンタクトマイク

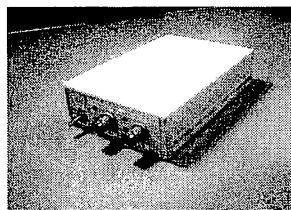
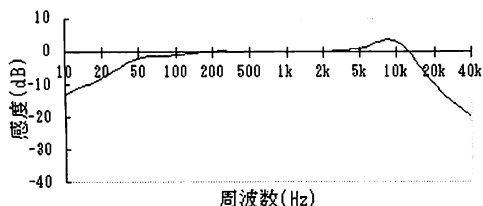


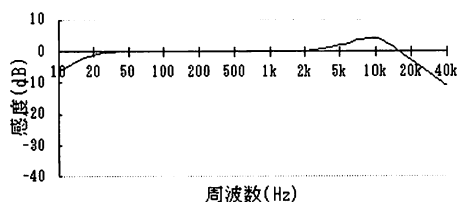
図5 専用アンプ



図7 DATの外観



(a)ステレオマイク



(b)コンタクトマイク

図6 周波数特性

表3 コンタクトマイクの定格と性能³⁾

形番(メーカー)	JM-0116 (小野測器)
形式	エレクトレットコンデンサー型
外形寸法	直径10mm×厚さ6.4mm
コネクタ	モノラルミニプラグ
電源	直流5v
質量	約4g
周波数特性	10Hz~10kHz
指向性	モノラル
感度	-40dB
最大入力音圧レベル	130dB

図6(a),(b)にステレオマイク、コンタクトマイクのそれぞれの周波数特性(横軸は周波数を、縦軸は感度を表す)を示す。両者はともに、20Hz~10kHzの範囲で、平坦な感度を有するので、素振り音の計測に適している。各マイクから出力された素振り音を、図7に示すようなDAT(デジタルオーディオテープレコーダ)に録音する。表5にDATの定格と性能を示す。

2.3 計測条件

2.3.1 被験者と計測用バット

被験者は、経験者と未経験者各3名であり、経験者とは現役の大学野球選手であり、未経験者とは過去に

表1 ステレオマイクの設置条件

位置	被験者の斜め45°前 (右打は左斜め前/右打は右斜め前)
高さ	地面から20~30cm
指向	被験者方向を0°に設定

表2 ステレオマイクの定格と性能²⁾

形番(メーカー)	ECM-999(SONY)
形式	エレクトレットコンデンサー型
外形寸法	40×246(外径×全長)
質量	約385g
正面感度	-48±3dB
SN比	68dB以上(1,000Hz,1Pa)
周波数特性	20Hz~20kHz
指向性	Mid-Sideステレオ方式, 指向性主軸角度0°~150°連続可変

表4 専用アンプの定格と性能³⁾

型番(メーカー)	CA-1000(小野測器)
チャンネル	2
周波数帯域	2Hz~20kHz
入力コネクタ	ステレオミニジャック
出力コネクタ	BNC
電源	6F22または6CR61
電池寿命	約20時間
寸法	W90/H35/D135(mm)
質量	約250g
最大出力電圧	±2V(TYP)
ゲイン調整範囲	13dB~40dB
全変調波歪み率	0.5%以下
自己雑音	1mVrms以下

表 5 DAT の定格と性能⁴⁾

形番(メーカー)	D-C88(PIONEER)
量子化ビット数	16ビット
サンプリング周波数	98kHz
周波数特性	5Hz~44kHz
SN比	90dB以上
ダイナミックレンジ	92dB以上

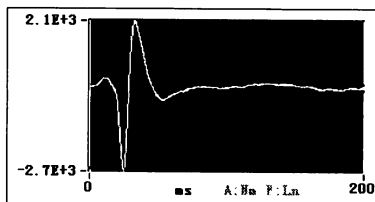


図 8 間接型による計測波形例

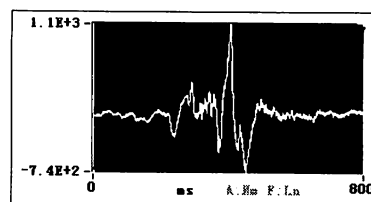


図 9 人体接触型による計測波形例

野球の指導を受けていない大学生である。

計測用バットの長さは 0.82m であり、その重さは約 880g である。

2.3.2 計測手順

素振り音の計測手順を以下に示す。

- ①コンタクトマイクを音圧校正器（発信周波数 1kHz,出力音圧 1Pa）をあて、DAT の録音レベルが -20dB になるよう専用アンプのゲインを調整する。
- ②各計測用マイクを設置する。
- ③被験者に、バットを 2~3 回振って練習してもらい、各計測マイクが正常に動いているかどうか確認する。
- ④マイクの出力電圧が飽和しないように注意し、DAT の録音レベルが -30dB となるよう調整する。
- ⑤被験者は 5 回の素振りを行う。
- ⑥素振り音を計測用マイクに入力し、その出力を DAT に録音する。

2.4 各計測法による計測波形

素振り音の計測波形の例として、経験者の素振り音についてのみ示す。

図 8 に、間接型による計測波形例を示す。間接型計測法による計測波形の場合、滑らかで大きな振幅が生じてから、振幅は徐々に減衰する。この振幅が大きくなる時間は、素振り音が最も大きくなる時間に一致する。

図 9 に人体接触型による計測波形例を示す。人体接触型計測法による計測波形は、間接型計測法による計測波形よりも全体として小刻みに変動しているが、素振り音が最も大きいところでは、振幅が大きくなっている。

3. 分析法

分析法として、ショートタイムフーリエ変換とウェーブレット変換を取り上げる。

3.1 前処理

分析の前に、DAT に計測した素振り音を AD 変換する。

表 6 に AD 変換装置を示し、表 7 に、高精度な分析結果を得るために選定した分析時間を示す。

以下に、収録した音の処理手順を示す。

- ①DAT で再生した音（再生音）をパソコンの AD 変換ボードを用いて、量子化ビット数を 16 ビット、サンプリング周波数 16kHz で AD 変換する。なお、AD 変換の前に遮断周波数 20kHz の LPF で再生音を処理する。
- ②収録音が正確に DA 変換ボードによって AD 変換されているのかどうかを確認するために、アンプとヘッドフォンを用いて、DA 変換ボードの出力（再生音）をチェックする。
- ③分析時間に収まるように計測波形を編集する。

3.2 ショートタイムフーリエ変換(STFT)

3.2.1 ショートタイムフーリエ変換の特徴 ショートタイムフーリエ変換(Short Time Fourier Transform)は、音響波形の周波数スペクトルの時間変移をとらえるために、短い区間長（数十~数百 ms）の窓関数を

表 6 AD 変換装置

装置名	形式番号	メーカー
パソコン	PC-9801FA	NEC
AD/DA 変換ボード	SoundUnit II DPC-210	ダイテル
スピーカアンプ	integra A-250	ONKYO
ヘッドフォン	MDR-Z900	SONY

表 7 分析時間

分析法	分析時間（データ数）
間接型計測法	200ms (3200)
人体接触型計測法	800ms (12800)

用いてフーリエ変換する分析法である。

3.2.2 分析条件

窓関数としてハミング窓を用い、窓関数のデータ数を 1025 とする。この場合の分析周波数範囲は 0Hz~160Hz である。

3.2.3 分析結果

図 10(a),(b)に、素振り音の計測波形とショートタイムフーリエ変換による分析結果を示す。分析結果は、横軸に時間、縦軸に周波数を表示し、周波数成分の強弱を濃淡で表す。黒い程、周波数成分が強いことを示す。

図 10(a)の間接型計測法による計測波形に対する分析結果から、素振り音の強い周波数成分 (-10dB 以上) が特定の領域に集中していることがわかる。さらに、計測波形の振幅が最も大きくなっている付近に、最も強い周波数成分 (-5dB 以下) が分布している。

図 10(b)の人体接触型計測法による計測波形に対する分析結果から、素振り音の強い周波数成分 (-10dB 以上) が複数分布しており、計測波形の振幅が最も大きくなっている付近に、最も強い周波数成分 (-5dB 以下) の分布が 2カ所あることがわかる。

3.3 ウェーブレット変換

3.3.1 ウェーブレット変換の特徴⁵⁾

フーリエ変換を用いると、ある一定時間内の波形の周波数成分の強さが分かるが、その時間・周波数特性がわからない。しかし、ウェーブレット変換を用いると、波形の周波数成分の強さと、その周波数成分の時間変動特性がわかる。また、ウェーブレット変換では、時間変化が急峻な波形や非定常な波形の分析に有効な手段である。

ウェーブレット変換では、マザーウェーブレット関数が重要な役割を果たし、時間・周波数特性はマザー関数と分析する信号との畳み込み積分で表される。マザー関数を時間軸上で広げたりあるいは縮めたりすることにより、それぞれの低周波成分あるいは高周波成分を抽出することができる。ただし、低周波では、周波数分解能が高くなり時間分解能が低下し、一方、高周波では、周波数分解能が低下し時間分解能が高くなる。

分析条件とマザー関数を表 8 と図 11 に示す。

表 8 ウェーブレット変換の分析条件

	間接型計測法	人体接触型計測法
マザー関数	Gabor関数	
マザー関数(1Hz)のデータ数	16000	
分析周波数範囲	1Hz~160Hz	

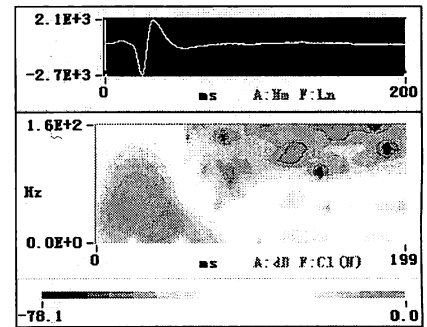
3.3.2 分析結果

図 12 に、素振り音の計測波形とウェーブレット変換の分析結果を示す。

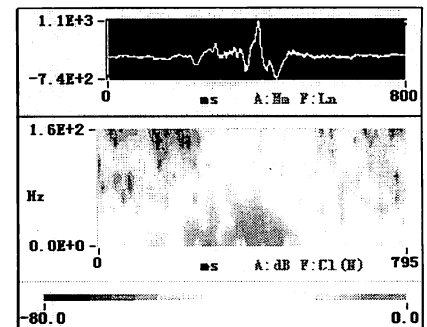
ウェーブレット変換による分析結果は、横軸に時間、縦軸に周波数を表示し、周波数成分の強弱を濃淡で表す。濃い程、周波数成分が強いことを意味している。

図 12(a)の間接型計測法による計測波形に対して、ウェーブレット変換による分析結果では、ショートタイムフーリエ変換の分析結果と同様な時間・周波数特性を示すが、ショートタイムフーリエ変換による分析結果と比べ、周波数成分が高周波方向に分布する傾向にあることがわかる。また、計測波形の振幅が最大となる付近に、最も強い周波数成分 (-5dB 以下) が分布している。

図 12(b)の人体接触型計測法による計測波形に対して、ウェーブレット変換により分析すると、ショートタイムフーリエ変換により分析した場合よりも、詳しい時間・周波数特性が得られていることがわかる。



(a)間接型計測法



(b)人体接触型計測法

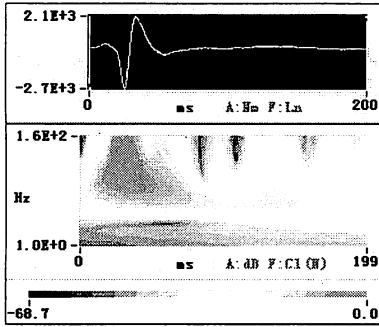
図 10 ショートタイムフーリエ変換



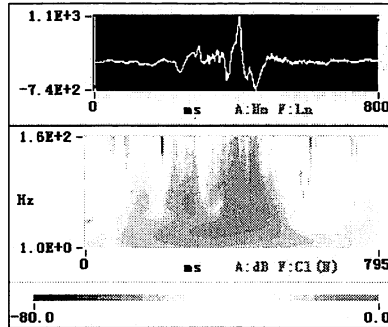
図 11 ガボール関数

4. 素振り音の特徴

素振り音の特徴を定量的に表すために、素振り音の聴覚上の違いに合致した評価パラメータを導入する必要がある。本稿で取り上げた分析法では、時間・周波数特性が得られるので、音のエネルギーが強く分布する周波数成分（-10dB以上）の分布に注目し、素振り音の特徴を抽出する。



(a)間接型計測法



(b)人体接触型計測法

図 12 ウェーブレット変換

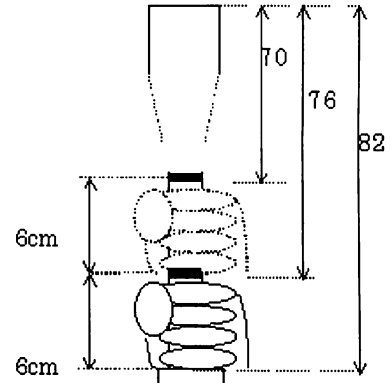


図 13 バットの長さの定義

4.1 素振りの条件と検討項目

素振りの条件とし、①被験者の野球経験の差、②バットの長さの変化、③バットの重さの変化の三種類とし、この条件のもとに計測した素振り音を、前章の方法で分析し、バットの振りの鋭さに関係した三項目、すなわち、①素振り音に及ぼす野球経験の差、②素振り音に及ぼすバットの長さの影響、③素振り音に及ぼすバットの重さの影響、を検討する。

4.1.1 被験者の野球経験の差

被験者として、経験者と未経験者を各3名選び、経験者と未経験者における素振り音の特徴を検討する。

4.1.2 バットの長さの変化

バットの長さを変えた場合、素振り音にどのような影響が現れるのかを検討する。被験者として、3名の経験者を選び、図 13 に示すように、バットの長さを三段階(82cm、76cm、70cm)に変えて素振りを行なう。バットの長さの調整はバットの握り位置を変化させて行い、等価的にバットの長さを変化させたことにする。

4.1.3 バットの重さの変化

バットの重さを変えた場合、素振り音にはどのような影響が現れるのかを検討する。被験者として経験者を選び、重さが異なるバットで素振りを行なう。バットの重さを四段階(880g、910g、940g、970g)に変え、バットの重さの調整は、バット内におもりを入れことによって行う。

4.2 素振り音の評価パラメータ

時間・周波数特性において現れた強い周波数成分（-10dB以上）の分布に関連付けた評価パラメータを提案する。

4.2.1 評価パラメータの定義⁵⁾

図 14 に示すような周波数成分の分布がある場合、強い周波数成分（-10dB以上）の分布の時間方向の広がりを経過時間幅 W_t とする。また、強い周波数成分（-10dB以上）の分布の周波数軸方向の広がりを経過時間幅 B_f とする。

素振り音（人体接触型計測法）に対するショートタイムフーリエ変換の分析結果の場合、強い周波数成分（-10dB以上）の分布が複数となる。そこで、図 15 に示すように、経過時間幅 W_t として強い周波数成分（-10dB

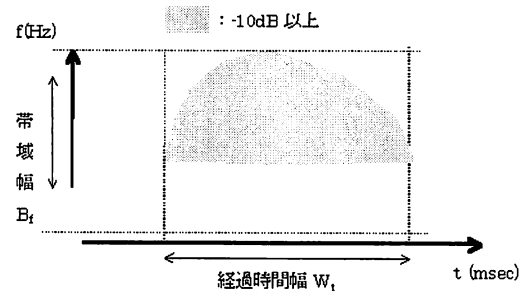


図 14 単一分布における評価パラメータの設定

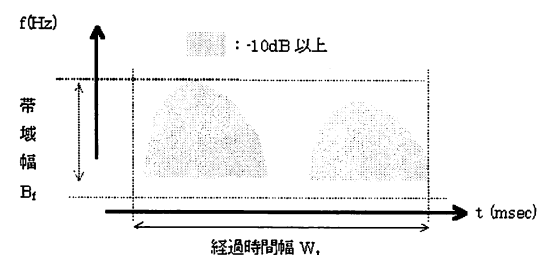


図 15 複数分布における評価パラメータの設定

以上)の分布を全て含む幅とする。また、帯域幅 B_f として周波数方向に最も広い部分の幅とする。

4.2.2 野球経験の差による影響

経験者と未経験者の各場合について、表 9 と表 10 にショートタイムフーリエ変換における評価パラメータの値を、表 11 と表 12 にウェーブレット変換における評価パラメータの値を示す。

4.2.3 バットの長さによる影響

バットの長さを変えた場合について、表 13 と表 14 にショートタイムフーリエ変換における評価パラメータの値を、表 15 と表 16 にウェーブレット変換における評価パラメータの値を示す。

4.2.4 バットの重さによる影響

バットの重さが異なる場合について、表 17 と表 18 にショートタイムフーリエ変換における評価パラメータの値を、表 19 と表 20 にウェーブレット変換において評価パラメータの値を示す。

4.3 素振り音の特徴

評価パラメータの観点から、素振り条件と素振り音の関係について考察する。

4.3.1 野球経験の差による影響

間接型計測法と人体接触型計測法について、経験者の素振り音の場合には、経過時間幅が短く、帯域幅が広がる傾向にあることがわかる。また、人体接触型計測法について、経験者の場合の経過時間幅は未経験者の場合の経過時間幅の約 1/2 となる。これは、経験者の素振り音は、未経験者の素振り音に比べて、音が鋭く、波形が急峻であり、また、人体接触型計測法では、間接型計測法よりも、波形が急峻であることを反映した結果である。

4.3.2 バットの長さによる影響

ウェーブレット変換の結果から、バットを短く持つにつれて、上限周波数成分が低くなり、下限周波数成分はあまり変化しないことがわかる。バットの長さが 6cm だけ短くなると、上限周波数が 10Hz~40Hz 程度低くなる。バットの長さが少し変化しても、素振り音が影響を受けると考えられる。経過時間幅は、バットの長さも変化しても、影響を受けないことがわかる。

図 16 に、バットの長さを変化させた場合について、間接型計測法による計測波形をウェーブレット変換した結果を示す。図より、強い周波数成分 (-10dB 以上) の分布の上限周波数が低くなることがわかる。

4.3.3 バットの重さによる影響

両分析法の結果から、バットが重くなるにつれて、帯域幅の上限周波数成分が低くなる。帯域幅についてはバットの長さを変化させた場合と同様な傾向であるが、経過時間については、ある被験者の場合、バットが重くなるにつれて広がる傾向が見られた。

バットの重さの変化による帯域幅の低下の程度は、バットの重さが 110g 増えても 10Hz 程度の低下である。このことから、バットの重さによる素振り音への影響は、バットの長さを変化した場合の影響よりも小さいと考えられる。

図 17 に、バットの重さを変化させた場合について、間接型計測法による計測波形をショートタイムフーリエ変換した結果を示す。図より、強い周波数成分 (-10dB 以上) の分布の上限周波数が低下することがわかる。

5. 結言

本章では、素振り音について、計測法、分析法、計測波形とその周波数成分の時間変動特性に関する特徴について考察する。

5.1 素振り音の計測法の評価

間接型計測法では、計測に用いるステレオマイクの設置や高さを、三脚を用いて自由に調整することができる。

計測された波形については、素振り音が最も大きくなっている時点で、その振幅は最大となり、その後、徐々に減衰する傾向にある。この計測法における欠点は、計測波形がまわりの環境の影響を受けやすいことである。風が吹く屋外やまわりで大きな音がする環境では、計測することは困難であるが、室内のような静かな環境であれば、十分な計測が可能である。

表 9 野球経験の差による影響（間接型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
経験者	50.7ms	4.8Hz~94.1Hz	46.8ms	0.0Hz~79.7Hz	45.3ms	0.0Hz~87.7Hz
未経験者	65.2ms	0.0Hz~74.9Hz	70.9ms	0.0Hz~62.2Hz	57.3ms	0.0Hz~70.2Hz

表 10 野球経験の差による影響（人体接触型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
経験者	105.7ms	0.0Hz~44.1Hz	95.6ms	0.0Hz~35.7Hz	92.8ms	0.0Hz~36.2Hz
未経験者	340.7ms	0.0Hz~26.2Hz	407.1ms	0.0Hz~24.0Hz	249.0ms	0.0Hz~22.9Hz

表 11 野球経験の差による影響（間接型による計測、ウェーブレット変換による分析）

	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
経験者	89.4ms	15.3Hz~111.3Hz	98.8ms	13.5Hz~79.3Hz	86.6ms	12.5Hz~86.6Hz
未経験者	134.6ms	10.0Hz~76.7Hz	126.2ms	11.3Hz~76.7Hz	109.5ms	13.0Hz~81.1Hz

表 12 野球経験の差による影響（人体接触型による計測、ウェーブレット変換による分析）

	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
経験者	149.0ms	2.3Hz~115.5Hz	223.5ms	1.6Hz~157.6Hz	246.7ms	3.3Hz~118.1Hz
未経験者	552.9ms	1.2Hz~113.0Hz	503.1ms	1.1Hz~98.9Hz	434.5ms	1.2Hz~98.9Hz

表 13 バットの長さによる影響（間接型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

長さ	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
82cm	48.8ms	0.9Hz~82.6Hz	42.3ms	2.8Hz~73.2Hz	54.7ms	6.0Hz~82.8Hz
76cm	54.4ms	2.9Hz~75.0Hz	46.0ms	1.9Hz~68.5Hz	60.0ms	2.1Hz~76.0Hz
70cm	46.0ms	3.8Hz~65.7Hz	46.0ms	4.6Hz~62.9Hz	56.3ms	1.4Hz~83.5Hz

表 14 バットの長さによる影響（人体接触型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

長さ	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
82cm	247.0ms	0.0Hz~32.5Hz	231.8ms	0.0Hz~37.9Hz	120.2ms	0.0Hz~34.9Hz
76cm	205.7ms	0.0Hz~32.6Hz	236.8ms	0.0Hz~70.5Hz	177.3ms	0.0Hz~33.2Hz
70cm	289.3ms	0.0Hz~33.0Hz	234.8ms	0.0Hz~64.5Hz	173.5ms	0.0Hz~41.0Hz

表 15 バットの長さによる影響（間接型による計測、ウェーブレット変換による分析）

長さ	被験者A		被験者B		被験者C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
82cm	109.0ms	11.7Hz~92.7Hz	113.3ms	11.5Hz~82.7Hz	83.5ms	20.9Hz~88.1Hz
76cm	112.2ms	10.3Hz~87.1Hz	93.5ms	11.2Hz~76.1Hz	92.7ms	18.8Hz~82.8Hz
70cm	124.2ms	10.3Hz~70.8Hz	107.2ms	11.1Hz~68.6Hz	87.6ms	19.8Hz~81.1Hz

表 16 バットの長さによる影響（人体接触型による計測、ウェーブレット変換による分析）

長さ	被験者A		被験者B		被験者C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
82cm	407.3ms	1.5Hz~184.6Hz	314.0ms	2.2Hz~120.5Hz	240.8ms	2.4Hz~145.6Hz
76cm	448.3ms	1.5Hz~147.5Hz	329.3ms	2.1Hz~76.2Hz	242.2ms	2.4Hz~141.1Hz
70cm	435.2ms	1.6Hz~138.7Hz	290.4ms	2.1Hz~57.6Hz	292.6ms	1.6Hz~153.8Hz

表 17 バットの重さによる影響（間接型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

重さ	被験者A		被験者B		被験者C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
880g	47.9ms	1.5Hz~86.7Hz	43.1ms	24.4Hz~135.8Hz	43.2ms	23.7Hz~123.8Hz
910g	45.7ms	0.7Hz~86.1Hz	44.4ms	27.8Hz~132.9Hz	42.8ms	22.7Hz~117.2Hz
940g	47.5ms	0.0Hz~85.0Hz	42.2ms	25.1Hz~129.5Hz	43.8ms	20.3Hz~106.8Hz
970g	46.1ms	0.4Hz~84.3Hz	43.3ms	27.2Hz~128.0Hz	44.6ms	20.1Hz~103.9Hz

表 18 バットの重さによる影響（人体接触型による計測、ショートタイムフーリエ変換による分析）

重さ	被験者A		被験者B		被験者C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
880g	224.6ms	0.0Hz~73.0Hz	276.6ms	0.0Hz~48.9Hz	162.7ms	0.0Hz~39.6Hz
910g	228.3ms	0.0Hz~45.7Hz	368.0ms	0.0Hz~41.0Hz	170.5ms	0.0Hz~32.3Hz
940g	222.9ms	0.0Hz~40.5Hz	350.9ms	0.0Hz~35.3Hz	238.9ms	0.0Hz~31.5Hz
970g	224.2ms	0.0Hz~38.3Hz	320.2ms	0.0Hz~29.9Hz	283.3ms	0.0Hz~30.5Hz

表 19 バットの重さによる影響（間接型による計測、ウェーブレット変換による分析）

重さ	被験者A		被験者B		被験者C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
880g	92.6ms	15.2Hz~102.4Hz	51.2ms	30.2Hz~157.4Hz	57.9ms	28.9Hz~140.8Hz
910g	87.4ms	15.2Hz~95.0Hz	52.8ms	33.9Hz~155.2Hz	56.6ms	27.7Hz~134.1Hz
940g	97.5ms	14.3Hz~99.0Hz	51.5ms	31.5Hz~150.9Hz	63.4ms	25.9Hz~119.9Hz
970g	95.2ms	14.7Hz~93.5Hz	52.9ms	33.1Hz~146.7Hz	65.4ms	25.5Hz~117.6Hz

表 20 評価パラメータの値 (人体接触型計測法)

重さ	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅	経過時間幅	帯域幅
880g	250.3ms	3.4Hz~121.7Hz	464.1ms	1.6Hz~137.7Hz	286.5ms	2.3Hz~113.3Hz
910g	245.8ms	2.7Hz~122.7Hz	545.4ms	1.4Hz~149.1Hz	297.4ms	2.6Hz~106.6Hz
940g	294.7ms	2.3Hz~129.6Hz	552.3ms	1.4Hz~131.5Hz	280.9ms	2.8Hz~108.4Hz
970g	338.3ms	2.2Hz~124.6Hz	489.8ms	1.7Hz~128.0Hz	288.7ms	2.5Hz~126.6Hz

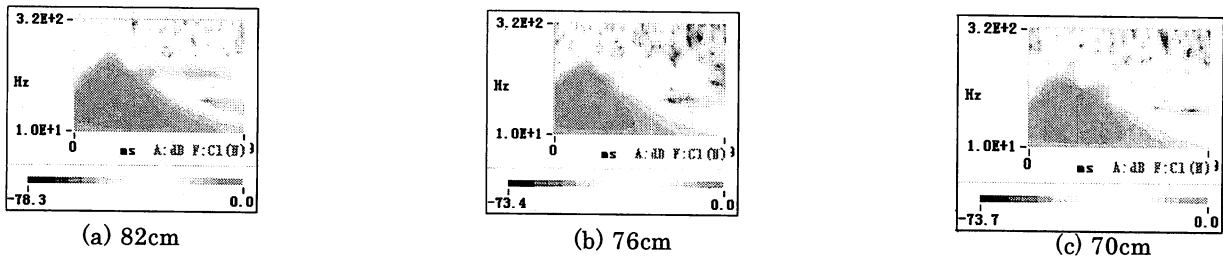


図 16 バットの長さによる影響 (ウェーブレット変換)

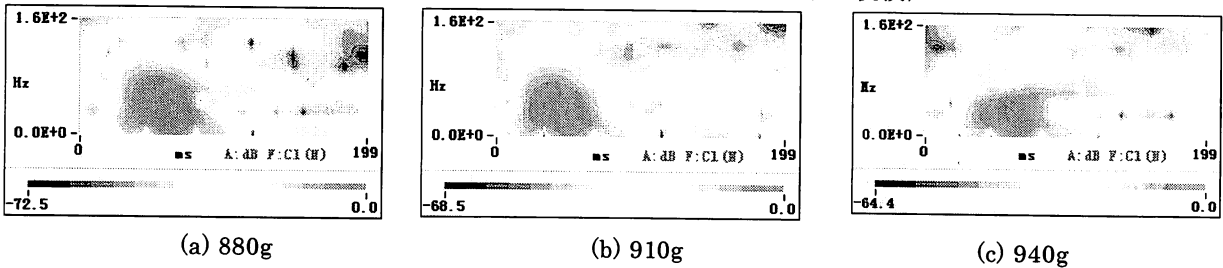
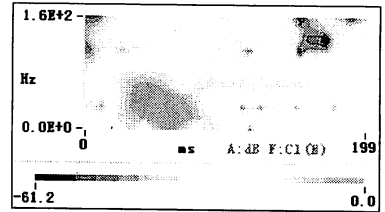


図 17 バットの重さによる影響 (ショートタイムフーリエ変換)

人体接触型計測法では、バットの近くで素振り音を計測できるので、間接型計測法の場合の計測波形よりも、急峻に変化した波形が得られる。また、高周波成分を含んだ特徴的な周波数成分が得られた。この計測法における欠点は、コンタクトマイクを被験者に装着するために、計測用コードが素振り動作の障害になり、コンタクトマイクなどの故障の原因となり易いこと、また、専用アンプは振動に弱いことであり、素振り時に計測用装置に細心の注意が必要である。



5.2 素振り音の分析法の評価

素振り音の分析に対して、ショートタイムフーリエ変換とウェーブレット変換が共に有効である。ウェーブレット変換は、ショートタイムフーリエ変換に比べて、処理時間を要するが、計測波形に関するより詳しい時間-周波数特性を得ることができる。しかし、ショートタイムフーリエ変換による分析結果は、ウェーブレット変換による分析結果に比べて、単純な傾向を示すので、本稿における検討項目を明確にする程度ならば、ショートタイムフーリエ変換の方が扱い易く、素振り音の特徴を抽出するのに有効である。

間接型計測法による計測波形に対する時間-周波数特性は、人体接触型計測法による計測波形に対する時間-周波数特性よりも、おおまかな特性となる。

5.3 素振り音の特徴

周波数特性の時間変動特性から、素振り音の特徴を抽出するには、強い周波数成分 (-10 dB 以上) の分布に着目することが有効である。この分布を経過時間幅と帯域幅を用いて定量化することにより、素振り音の特徴を抽出できる。

素振り音に及ぼす野球経験の差による影響は、強い周波数成分 (-10dB 以上) の領域における経過時間幅と帯域幅に現れる。経験者の素振り音では、短い時間内に周波数成分が集中し、かつ、高周波成分を含むた

め、その音は軽く乾いた音になる。この結果は、経験者のバット速度が速いことに起因する。

バットの長さによる影響は、バットが短くなるにつれて、帯域幅の上限周波数が低下する傾向にあることがわかる。バットを短く持つとバット速度が速くなるが、バットの表面積が減少し、帯域幅の上限周波数の低下という影響が現れる。このことから、「バット速度が速い」ければ、「素振り音の帯域が広い」とは一概に言えない。バットの長さが6cm短くなると、帯域幅が数10Hzも低下している場合もあり、バットの長さは素振り音に大きな影響を与えていることがわかる。

バットの重さによる影響は、バットの長さによる影響の場合と同様に、バットが重くなるにつれて、帯域幅の上限周波数が低下する傾向にあることがわかる。このことは、バットを重くすると、バット速度が遅くなることに起因する。しかし、バットの重さによる帯域幅の低下傾向は、長さによる影響よりは少ない。また、経過時間幅が、バットが重くなるにつれて、広くなる傾向は、全被験者で得られた傾向ではなく、野球経験の差による影響よりも個人的な差に依存すると考える。

5.4 本稿の結果の応用

野球のバットに限らず、ゴルフクラブ、テニスやバドミントンのラケットなどを用いてスイングすると、風きり音が発生する。この風きりの音の鋭さはスイングの鋭さに対応している。従って、スイングの鋭さの程度を評価する場合には、本稿で得た評価パラメータ（継続時間幅と帯域幅）が適用できそうである。また、この評価パラメータのみを自動計測できるようにしておけば、上記のスポーツ分野におけるスイング評価装置の開発が可能となるであろう。

参考文献

- 1) 難波, 東, 吉田, 井上: 「バットの素振り音の特徴抽出法」, 1997年電子情報通信基礎・境界ソサイエティ大会, A-10-4(1997)
- 2) 「ECM-999取扱説明書」, SONY(1992)
- 3) 「コンタクトマイクロフォン, 専用アンプ取扱説明書」, 小野測器
- 4) 「D-C88取扱説明書」, PIONEER, pp.31(1994)
- 5) 高山 和敏, 東 恒人, 中川 紀美雄: 「ウェーブレット変換に及ぼすマザーウェーブレット関数の特徴」, 岡山理科大学紀要, 第32号, A, pp.173-1876

Method to Analyze Free Bat Swinging Noise

Tsunehito HIGASHI and Kenichi NANBA*

*Department of Information & Computer Engineering,
Faculty of Engineering, Okayama University of Science
Ridai-cho 1-1 Okayama 700-0005, Japan*

**KCT Corporation
Nishitomii 654-6, Kurashiki 710-0845, Japan*

(Received November 1, 2000)

Some baseball players often practice free bat swinging in dark narrow room. They listen to the noise of bat, which is swung through the air, and then confirm the conditions of bat swinging. The bat swinging is adjusted depending on auditory sense of the player himself. If the free bat swinging noise is recorded, it is advantageous in that the playing conditions of the player can be determined and evaluated at any time as desired. Therefore, if the features of the free bat swinging noise can be quantified, it may be possible to develop a scientific instrument, to adjust and measure the bat swinging.

In the present article, it is attempted to develop a method to measure and analyze the free bat swinging noise. Special notice is given to time variation characteristics of frequency components obtained by the above analytical method. As the parameters for the evaluation of free bat swinging, the duration of noise and the bandwidth are proposed.