

# ウェーブレット変換によるギター音色の解析

築地美由樹\*

笠井正三郎\*\*

## Tone Analysis of Guitar using Wavelet Transform

Miyuki TSUKIJI\*

Shozaburo KASAI\*\*

### ABSTRACT

In this paper, we discuss some results of tone analysis of guitar using a Wavelet transform. Sound analysis of musical instruments has been well researched and an important theme in conducting sound analysis. To accomplish the research, customarily Fourier transform is mainly used. However, it is difficult for Fourier transform to clarify the relation between frequency and time. Whereas this relation is important to research on sound. Wavelet transform enables us to clarify the relation between them. Wavelet transform is superior in this point. Results in this paper suggest that this method may make it possible to distinguish the musical performance from a Wavelet transform result. To summarize, We proved that Wavelet transform could distinguish the musical performance, and that Wavelet transform result changes with a guitar and a player's skill.

*Keywords* : Wavelet transform, tone analysis, guitar

### 1. はじめに

音楽音響学は、楽器の設計および製作への寄与、演奏技術に関する知見、音楽情報処理ソフトウェアの開発などさまざまな目的のもと日々進化を続け、変貌を遂げている。中でも楽器の音色については、構造や製法、奏法のあらましなどを含め、音の聞え上の性質と物理的な性質との対応関係を説明するため、さまざまな人が音色解析を行っており、多くの理論・意見が集約されている<sup>(1)-(4)</sup>。

音色解析に使われる代表的な解析手法としてフーリエ変換が挙げられるが、フーリエ変換による解析は周波数の情報を含む一方で、時間的な情報は失われるという欠点があった。時間軸情報を得るためには、窓関数を用いて信号を一定間隔ずつ切り出し、それを次々にスペクトル解析する短時間フーリエ変換が必要となる。しかし、短時間フーリエ変換の窓幅は一定間隔であり、幅の広い窓は周波数分解能が良いが時間分解能は悪く、逆に幅の狭い窓は時間分解能が良いが周波数分解能が悪いという難しい問題があった。それに対しウェーブレット変換は、高周波領域では時間間隔を狭くしてより細かく解析し、低周波領域では時間間隔を広げてより大きく解析を行うという柔軟な作業が可能である。このためウェーブレット変換では広い周波数領

域の解析を可能にし、また、信号の急激な変動にも対応できる。

本研究室では、これまでウェーブレット変換の応用研究が行われており、平成19年度の研究<sup>(5)</sup>では、連続ウェーブレット変換を用いて楽器ごとの音色の特徴を見つけ出すことは非常に容易であるとの結論が出ている。そこで、本研究では、多種多様な楽器の中で、ギターの音色についてウェーブレット変換を行い、楽音解析への適用の可能性および有用性を検証することを目的とし、得られた知見について報告する。

### 2. ウェーブレット変換

ウェーブレット変換には、連続ウェーブレット変換と離散ウェーブレット変換があり、離散ウェーブレット変換は画像処理の分野ではJPEG2000という画像圧縮の標準の中で使われるほど普及しているが、連続ウェーブレット変換においては異常信号の検出<sup>(6)</sup>など極限られた応用例がある程度で、その応用はあまり一般に行われていない。しかしながら、実務的な必然性から生まれたこのウェーブレット変換は、早くから数学的な体系の整備がされたこともあり、誕生からすぐに、ありとあらゆる応用が盛んに議論されている。本研究では、時間周波数解析にすぐれた連続ウェーブレット変換によりギター音色の解析を行う。

**2.1 ウェーブレット解析の概要** ウェーブレット解析は信号の時間と周波数の関係を2次元的にダイナミックに解析するものである。また、その基底関数はマザー

\*大阪府立大学工学部電気情報システム工学科（平成23年度電子工学科卒業）

\*\*電子工学科 教授

ウェーブレットと呼ばれる小さな波の薄片である。ウェーブレット変換は、この基底関数となるマザーウェーブレットをいろいろな縮尺に引き伸ばし、この関数と信号との内積取ることにより類似成分の抽出を行う。さらに個々のウェーブレットを時間軸方向に移動させながら、それぞれの時間位置で信号の周波数解析を行う。

**2.2 連続ウェーブレット変換** ウェーブレットとは、平均値が0で原点  $t = 0$  の周りに局在する波として定義され、波の基本単位として用いられる。この関数をマザーウェーブレット、あるいは単にウェーブレットと呼び、 $\psi(t)$  で表現する。ウェーブレット関数は2つの実数パラメータ  $a, b$  を用いて、(1)式のように基底  $\psi_{a,b}(t)$  を生成する。

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

ここで、 $a$  は拡大縮小、 $b$  はシフトのためのパラメータであり、さらに、 $1/\sqrt{a}$  は正規化のための係数である。図1に、ウェーブレット  $\psi(t)$  を  $b$  だけシフトし、 $a$  に伸長した  $\psi_{a,b}(t)$  を示す。

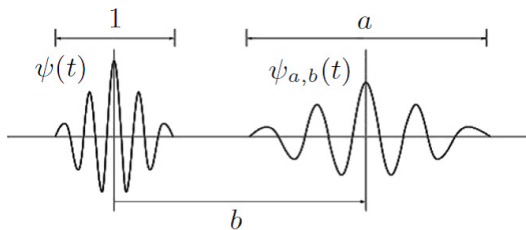


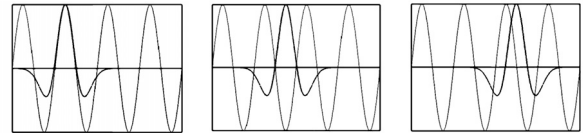
図1 ウェーブレットのスケールとシフト

さらに、この  $\psi_{a,b}(t)$  と信号  $f(t)$  との内積がウェーブレット変換あるいは連続ウェーブレット変換であり、(2)式で定義される。

$$(W_{\psi}f)(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (2)$$

ウェーブレット関数は一般的に複素数であり、(2)式の  $\overline{\psi(t)}$  は、 $\psi(t)$  の複素共役である。ウェーブレット係数  $(W_{\psi}f)(b, a)$  はフーリエ変換のフーリエ係数に相当し、 $t = b$  において、 $f(t)$  の中に  $\psi_{a,b}(t)$  の成分がどれだけ含まれているかを示している。また、 $1/a$  は周波数に相当し、 $a$  が小さいと高周波成分、 $a$  が大きいと低周波成分に対応する。

図2は、正弦波形に対しメキシカンハットウェーブレットによって、さまざまな位置でウェーブレット係数を調べている図を示している。図2(a)は、ウェーブレット係数が大きな正の値の場合である。図2(b)は、図2(a)からウェーブレット信号の位相がシフトしており、この場合ウェーブレット係数は大きな負の値をとる。また、図2(c)は、ウェーブレットと信号によって値がゼロになる点を示している。



(a) 正の相関を与える場合 (b) 負の相関を与える場合 (c) ゼロの相関を与える場合

図2 正弦波形から情報を得るウェーブレット

### 3. 測定系の構成及び解析手段

図3に測定系の構成を示す。解析に用いたギター音は、PCに接続されたマイク(オーディオテクニカ, AT9745)を用いて取り込む。録音にはWindowsに標準で組み込まれているサウンドレコーダーを使用し、取り込む際のサンプリング周波数はCDと同じ44.1kHzとし、wave形式で保存した。解析を行う信号は元の音源からサウンドレコーダーを用いて切り取り、ScilabのWavelet TOOLBOXを用いウェーブレット変換を行った。

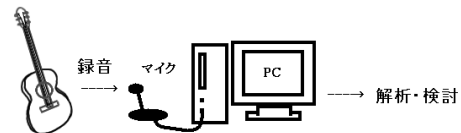


図3 測定系の構成

### 4. 音の解析方法

**4.1 基本事項** ウェーブレット関数は一般的に複素数であるため、ウェーブレット係数は実部と虚部を持つ。そのため解析結果は振幅と位相の2種類の結果が得られた。振幅(各図の明るさ)は、明るくなるほどウェーブレット係数の絶対値が大きいことを表している。一方、位相の値は成分波形の時間軸上の  $-\pi$  と  $\pi$  の間で周期的に変化する。図の上では最も暗い色から最も明るい色にかけて  $-\pi$  から  $\pi$  へと段階的に変化させることでその値を表現した(後述図4等を参照)。

位相、振幅の結果とも横軸は時間軸、縦軸はスケール値を表す。スケール値は、値が低いところは高周波成分を表し、高ければ低周波成分にあたる。これらのことを総合して考えて、音の特徴を分析する。

**4.2 相関係数** 音色の特徴を述べる際に、ある程度定性的な判断が含まれるのはやむを得ないが、2つ以上の音色の類似性を判断する際、肉眼で漠然と「似ている」では正当性に欠ける。そのため、結果に対して、相関係数を用いて検証を行った。相関係数とは、主に2つの画像の間の類似性を検証するのに用いられる手法であり、(3)式で定義される。

$$R = \frac{\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n \{f(s,t) - \bar{f}\} \{g(s,t) - \bar{g}\}}{\sqrt{\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n \{f(s,t) - \bar{f}\}^2} \sqrt{\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n \{g(s,t) - \bar{g}\}^2}} \quad (3)$$

この式において、 $f, g$ はそれぞれ2つの2次元配列を表しており、 $f(s, t), g(s, t)$ はそれぞれ $s$ 行 $t$ 列の画素値を示す。 $\bar{f}, \bar{g}$ は、すべての要素の平均値を表す。 $m, n$ は配列の要素の個数である。この場合、対象がまったく同一であったときは、計算結果は1になり、2つの対象の類似性が少なくなっていけばなっていくほど計算結果は0に近くなる。ウェーブレット変換した結果に対して相関係数を計算することにより、音色の感覚的な類似性とウェーブレット変換結果の類似性がどの程度一致するものかを検証した。

**4.3 音色の解析** 解析に用いた音色のデータはwaveファイルの音を必要に応じて適当なサイズに調整することにより解析を行った。解析結果の図をエクスポートし、その画像に対して相関係数を求めることで類似性を検証した。相関係数は比較したい画像の全ての組み合わせについてその値を求めたので、その全組み合わせを表に記載した。

また、各音色に再現性があるかを確認するため、各音は複数回同じ奏法で録音を行った。そのため5章の解析結果では、それぞれの音に対してウェーブレット変換を行った結果を確認し、そのいずれの場合でも当てはまることについて、その特徴を述べている。

さらに、同じ奏法でも楽器や奏者によって音色に変化がみられる可能性がある。そのため異なるギター2台を使用し、また、奏者も変更してそれぞれ録音を行った。その詳細を表1に示す。

区分	ギター1	ギター2
価格	20万円	80万円
奏者	中級者	熟練者
録音回数	3回	2回

## 5. 解析結果

**5.1 基底の選択** ウェーブレット変換は基底によって結果が変わるため、比較検討を行う研究の場合、同じ基底を用いて変換を行う。そこで、いくつかの音源に対して解析を行い、その結果、相関やスケール値ごとの係数の総和の比較などから、本研究ではMorlet基底を使用してギター音の解析を行うことにした。

**5.2 演奏位置での比較** 始めにギターの弦を弾く右手の位置を変えることで解析結果にどのような違いが生じるかを検討した。以降、表1のギター1で録音した

表2 演奏位置での比較

番号	名称	弦	音	演奏位置
①	通常的位置	6弦開放弦	E	通常
②	ブリッジ寄り	6弦開放弦	E	ブリッジ寄り

ものと、ギター2で録音したものとそれぞれについて順に述べる。まず、解析を行った種類の音の詳細を表2に示す。なお、奏法は表の番号を使って区別する。また、表の演奏位置は、弦を弾く右手の位置を意味し、サウンドホールと弦の交点の辺りを通常として、その位置と駒の中間辺りをブリッジ寄りとして呼ぶことにする。

**5.2.1 ギター1** ギター1を使用した場合の表2の奏法による音の解析結果、相関係数を順に示す。図4は①の場合、図5は②の場合のギター音の解析結果である。また、表3、表4は①と②の位相と振幅における相関係数を示している。

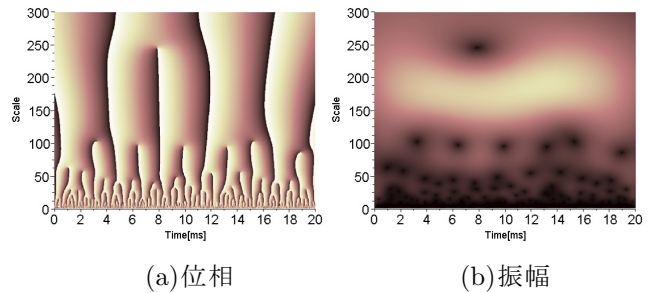


図4 ①通常的位置

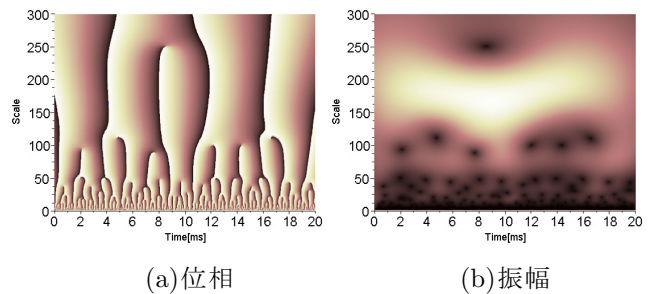


図5 ②ブリッジ寄り

表3 ①と②の相関係数(位相)

		①		
		音源1	音源2	音源3
②	音源4	0.726	0.665	0.601
	音源5	0.691	0.721	0.604
	音源6	0.567	0.518	0.519

表4 ①と②の相関係数(振幅)

		①		
		音源1	音源2	音源3
②	音源4	0.966	0.945	0.916
	音源5	0.957	0.948	0.884
	音源6	0.881	0.864	0.837

表5 ①の相関係数

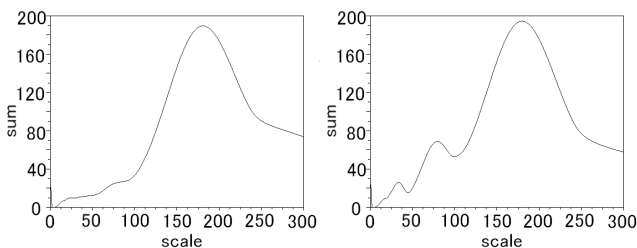
音源	位相	振幅
音源1と音源2	0.841	0.984
音源1と音源3	0.553	0.926
音源2と音源3	0.581	0.846

表6 ②の相関係数

音源	位相	振幅
音源4と音源5	0.777	0.968
音源4と音源6	0.557	0.872
音源5と音源6	0.521	0.880

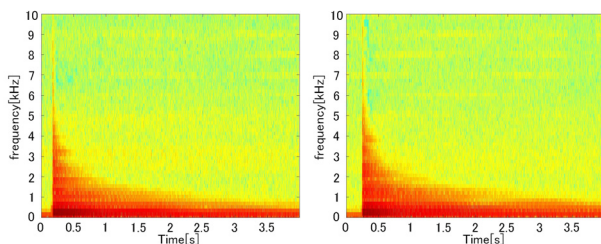
これら2種類の音は聞え上大変よく似ており、録音した音源を聞いて区別するのは難しい部類に入る。解析の結果からも大きな違いを述べることは難しく、各音源での相関にもばらつきがある。比較のため、①と②についてそれぞれ3回分の音の相関係数を表5,表6に示す。①と②との相関と数値に差がないところからも、これら2つの音を区別するのは難しいといえる。

次に、図6に各スケールでの振幅値の総和を示す。この結果から、①に比べ②はスケール値70付近で値が大きくなっていることがわかる。②は、①よりも基音に対する倍音の成分がわずかに強いと考えられる。このことを確認するため、これら2つの音色に対し短時間フーリエ変換を行った。窓関数はハンニング窓を使用し、窓長を256点、移動量を64点とした。その結果を図7に示す。この図から、わずかではあるが①の奏法に対し②の奏法には音の出だしで高周波成分が多く含まれていることがわかる。今回は確認のため短時間フーリエ変換を行っ



(a)①通常的位置 (b)②ブリッジ寄り

図6 ウェーブレット係数の総和



(a)①通常 (b)②ブリッジ寄り

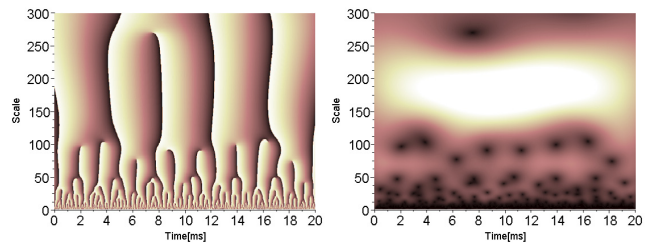
図7 短時間フーリエ変換結果

た結果を記載したが、図6のほうが図7に比べはつきりとその違いがわかることが確認できる。

**5.2.2 ギター②** ギター②での①と②の解析結果を図8, 図9に、表7,表8にその相関係数を順に示す。

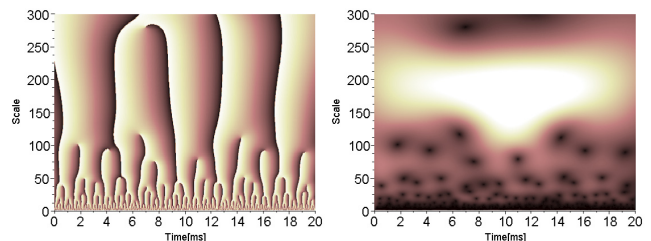
演奏位置での比較のみに限らず、ギター②で演奏した場合、全てで、ギター①で演奏した場合に比べ振幅での明るさが全体として強くなっている。聞え上の音量は揃えてあるため、この原因としてはギター②がギター①に比べ音の持続時間が長く、減衰が遅いことが考えられる。

この奏法の場合には、ギター①で演奏した場合に比べ、ギター②で演奏した場合、それぞれの奏法での再現性が高く、ギター①で演奏した場合のように、2種類の奏法どちらであるかに関わらず演奏のたびに結果がばらばらになるという事態にはならなかった。そのため図8と図9のわずかな形状の違いは、そのまま音色の違いといえる。また、①は2回録音してあるため、お互いの相関



(a)位相 (b)振幅

図8 ①通常的位置



(a)位相 (b)振幅

図9 ②ブリッジ寄り

表7 ①と②の相関係数(位相)

		①	
		音源1	音源2
②	音源3	0.574	0.574
	音源4	0.665	0.659

表8 ①と②の相関係数(振幅)

		①	
		音源1	音源2
②	音源3	0.954	0.947
	音源4	0.951	0.938



を求めたところ、位相が0.871,振幅が0.975であった。①と②の位相の相関が0.574~0.665,振幅の相関が0.938~0.954であるため、相関の数値からも奏法によって結果に違いが出ていることがわかる。

**5.3 ハーモニクス奏法との比較** 次に、特殊奏法の中でも代表的な奏法であるハーモニクス奏法について解析を行った。その音の詳細を表9に示す。

表9 ハーモニクス奏法との比較

番号	名称	弦	音	演奏位置
③	ハーモニクス奏法	4弦7フレット	A	通常
④	同じ音高	1弦5フレット	A	通常

**5.3.1 ギター1** 次に、表9の③と④の奏法の解析結果を図10,図11に記載する。また、その相関を表10,表11に示す。④は③と同じ音高にあたる音を通常の演奏方法(弦を押さえること)によって演奏した場合である。③と④を比較してみると、位相、振幅とも④は非常に周期性が高いことが確認できる。振幅については、最も強い成分がほぼ同じスケールにあることから、この2つが同じ音高であることが確認できるが、スケールの低い部分では大きな違いが見られる。ここで、④の奏法で3回録音した際のお互いの相関を表12に示す。③と④の相関は、これらの値に対し、はっきりと低い値となっている。また、③は④に比べスケールの低い部分での振幅が暗いことから、倍音成分が抑えられていることがわかる。

ここで、周期性を定量的に評価するため、周期と思われる時間幅の信号を基準信号として自己相関を求めた。図12にそれぞれの奏法に対する相関係数のグラフ

表10 ③と④の相関係数(位相)

		③		
		音源1	音源2	音源3
④	音源4	0.539	0.530	0.456
	音源5	0.463	0.488	0.483
	音源6	0.423	0.442	0.492

表11 ③と④の相関係数(振幅)

		③		
		音源1	音源2	音源3
④	音源4	0.887	0.934	0.758
	音源5	0.870	0.926	0.747
	音源6	0.874	0.937	0.754

表12 ④の相関係数

音源	位相	振幅
音源4と音源5	0.787	0.991
音源4と音源6	0.627	0.988
音源5と音源6	0.711	0.990

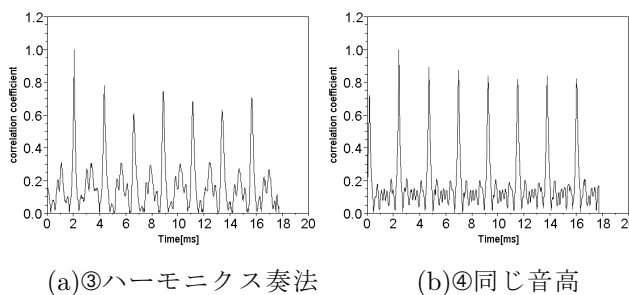


図12 ④同じ音高

を示す。なお、相関が1になっているところが基準となる信号である。どちらも周期の点で大きな値をとっているものの、④に対し③は相関係数が低く、④は周期性が高いといえる。

最後に、ハーモニクス奏法に失敗し、音が濁った場合のウェーブレット変換結果を図13に記載する、図10と比較すると、位相において、スケール100付近で周期性

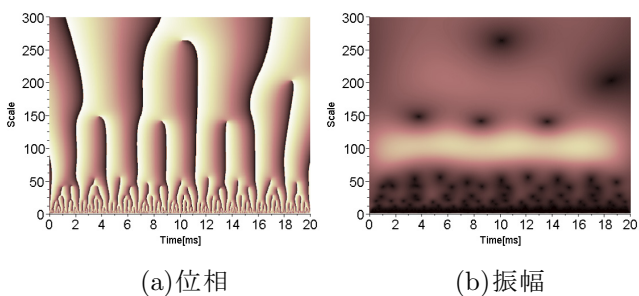


図10 ③ハーモニクス奏法

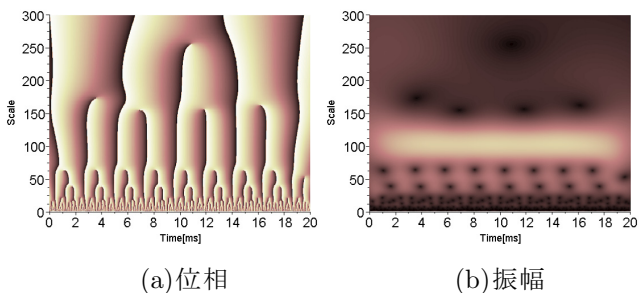


図11 ④同じ音高

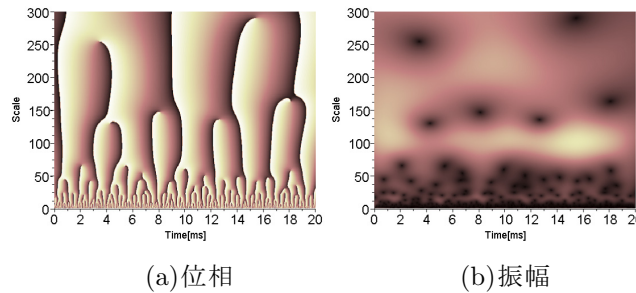


図13 ③ハーモニクス奏法(失敗)

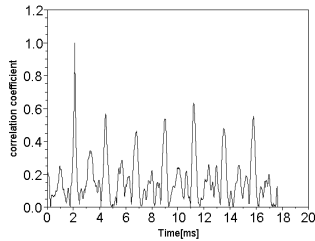


図14 失敗した場合の周期性の自己相互評価

が高かったものがばらばらになり、周波数が時間的に変化していることがわかる。振幅においても、スケール100付近で水平方向に帯状に明るくなっていたものが、画面全体が明るくなっている。

ここでも、周期性の自己相関評価を行い、その結果を図14に示す。図14と図12(a)を比較すると、図14は、周期における相関係数のピークが小さい。このことから、ハーモニクス奏法としての完成度が高ければ、位相の周期性が高く、また振幅においても一部のスケール値のみが大きくなるものと予想される。

**5.3.2 ギター2** まず、③と④の音について比較を行う。解析結果を図15、図16に、相関係数を表13、表14に示す。

ギター2の場合もギター1と同様、位相、振幅とも④の奏法は非常に周期性が高いことが確認できる。

また、図15(b)と図16(b)から③に比べ④の奏法の方が基音とみられるスケールにおける大きさが一定で、帯状に水平に広がっている一方、③では時間によってわずかに値が変動している。このこともギター1、ギター2に

表13 ③と④の相関係数(位相)

		③	
		音源1	音源2
④	音源3	0.558	0.535
	音源4	0.567	0.498

表14 ③と④の相関係数(振幅)

		③	
		音源1	音源2
④	音源3	0.929	0.878
	音源4	0.928	0.890

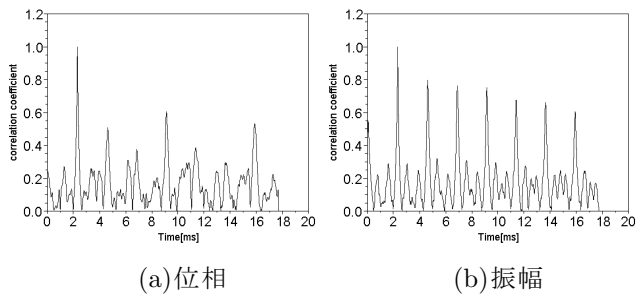


図17 ④同じ音高

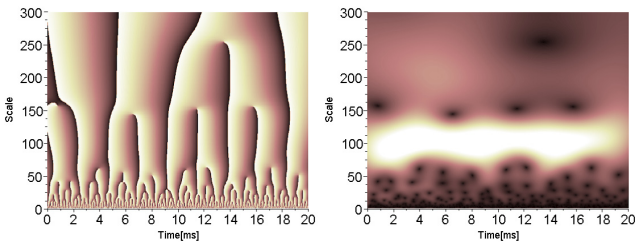
共通する結果である。また、④の奏法で2回録音した際、お互いの相関は位相が0.602、振幅が0.964であったのに対して、低い値となっている。ここでも、周期性の自己相関評価を行い、その結果を図17に示す。

**5.4 ハンマリング奏法との比較** 次に、ハンマリング奏法について通常の奏法との比較を行った。録音した音の詳細は表15の通りである。この奏法についてはギター2での録音の際、雑音がギター音の信号に対して無視できないほど強く混じってしまった。そのためギター1についての解析結果のみを述べる。

表15 ハンマリング奏法との比較

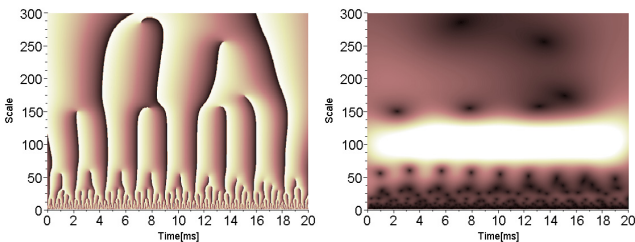
番号	名称	分類	弦	音	演奏位置
⑥	通常の奏法	通常	1弦3フレット	G	通常
⑦	ハンマリング奏法	特殊	1弦3フレット	G	通常

**5.4.1 ギター1** 発音前から今までより長めに時間を取りウェーブレット変換を行った際の振幅の結果を図18に示す。それぞれの音の発音までの時間が異なっているが、図18(a)の場合と図18(b)の場合では、どちらも発音のタイミングでスケール200付近の振幅が非常に強くなっていることが確認できる。その後、図18(a)の場合ではスケール100周辺に振幅の強い部分が集中している。一方で図18(b)の場合は弦のアタックの瞬間にスケール200付近が強くなることは変わらないが、その後もう一度同じスケールで振幅が強くなっていることが分かる。



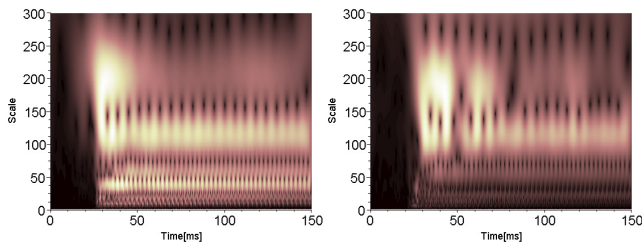
(a)位相 (b)振幅

図15 ③ハーモニクス奏法



(a)位相 (b)振幅

図16 ④同じ音高



(a)㊸通常の奏法 (b)㊹ハンマリング奏法

図18 時間を長くとした場合

通常の奏法は指が弦を弾く際に強い衝撃が出る。一方、ハンマリング奏法は左指で弦を叩くようにして音を出す奏法であるため、指がフレットを叩く音と、弦がフレットにぶつかる音が含まれており、これがハンマリング奏法の特徴の一つである。この2つの衝撃音が図18(b)に現れていると考えられる。

ハンマリング奏法では、特に弦がフレットにぶつかる際の衝撃音を極力鳴らさないよう気を配りながら演奏する必要がある。演奏巧者であれば、この衝撃音は小さくなる。今回はギター2での録音が上手くいかず、確認することができなかったが、ギター1とギター2ではこの点で差があると予想される。

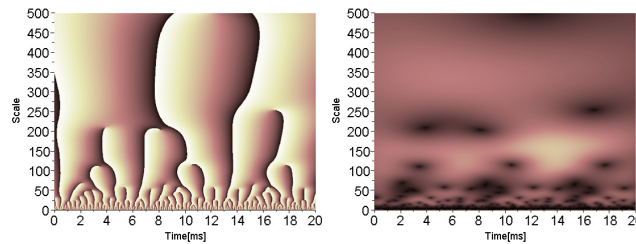
**5.5 開放弦と弦を押さえた場合の比較** 次に、開放弦と弦を押さえた場合の比較を行ったので、その結果を示す。ギターやヴァイオリンなどの弦楽器には開放弦による音と指で弦を押さえた上で演奏する音とがあり、場合によりはっきりと区別して演奏することがある。ここでは、この2つの音の違いについて検証する。録音した音の詳細は表16の通りである。

表16 開放弦と弦を押さえた場合の比較

番号	名称	分類	弦	音	演奏場所
㊸	開放弦	通常	4弦開放	D	通常
㊹	押さえた弦	通常	5弦5フレット	D	通常

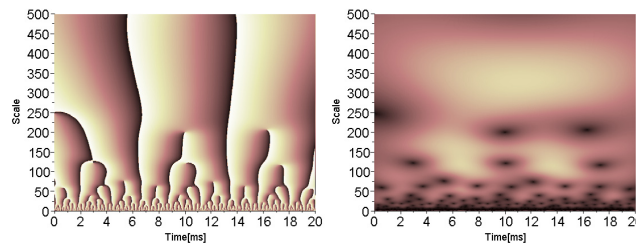
**5.5.1 ギター1** 表16の奏法による解析結果を図19、図20に、その相関係数を表17、表18に示す。これら2種類の音も演奏位置を変えて演奏した場合と同様、聞き上大変よく似ているが、聞き分けは可能である。しかし図19(a)と図20(a)の間に大きな差は無く、その違いを述べるのは難しい。ところが図19(b)と図20(b)で比較すると、図20(b)はスケール値150のほかに350で振幅の値が非常に大きくなっている。このことから、㊸の奏法では、耳の聞き上の音(D音)の成分はあまり強く表れず倍音成分が多く含まれていると考えられる。

次に相関係数に注目する。㊸の奏法で3回録音した際、お互いの相関の平均は位相で0.681、振幅で0.953であった。位相では表17の数値と大きな差はないが、振幅は表



(a)位相 (b)振幅

図19 ㊸開放弦



(a)位相 (b)振幅

図20 ㊹押さえた弦

表17 ㊸と㊹の相関係数(位相)

		㊸		
		音源1	音源2	音源3
㊹	音源4	0.424	0.549	0.441
	音源5	0.625	0.714	0.628
	音源6	0.502	0.661	0.530

表18 ㊸と㊹の相関係数(振幅)

		㊸		
		音源1	音源2	音源3
㊹	音源4	0.857	0.903	0.874
	音源5	0.824	0.890	0.865
	音源6	0.794	0.846	0.825

18とはその違いが数値としてはっきりと表れている。

**5.5.2 ギター2** 次に、ギター2の場合のこれら2種類の音色の比較を行う。㊸、㊹の奏法による音の解析結果を図21、図22に、その相関係数を表19、表20に示す。

ギター2の場合もギター1と同様に図21(b)と図22(b)で比較すると、図22(b)はスケール値150のほかに350で振幅の値が非常に大きくなっている。また、図21(a)と図22(a)では、スケール100以下の形状に違いがみられ、部分的な位相のずれや周波数の変化に相違点がある。相関係数では㊹の2つの音は位相で0.911、振幅で0.981であったのに対し、表19、表20では明らかに低い値となっている。ギター1に比べギター2は位相、振幅共にその差がはっきりと表れている。



奏法による差の大きいものは、解析結果でもその違いが容易に確認でき、差の大きいものについては、楽器や奏者によらず似た傾向を示すことを確認した。

ウェーブレット変換を用いてギター音色の解析を行うことで、音の時間的な変化が視覚的にわかりやすくなり、奏法ごとの特徴づけを容易に行うことができた。また、位相、振幅に分けて解析することができるため、周期性は位相の結果を見ることで、信号に含まれる周波数成分は振幅の結果を見ることで容易に評価できた。このように、ウェーブレット変換は特徴のわからない信号の評価を行うのに適していると考えられる。

### 7. 今後の課題

現段階では、音源の位相の調整を手作業で行っている。今後さらに詳しくさまざまなパターンの音色解析をするのであれば、これらの作業をプログラムで行えるようにする必要があると思われる。

また、録音に使用したギターは都合によりよい環境で録音が行えず、周囲の雑音(車が走る音、人の声など)に配慮して録音を行う必要があった。そのため、わずかではあるが音源に楽器の音色ではない音が含まれている可能性がある。よりよい結果を得るためには録音スタジオのような専用の場所で録音を行うのが好ましい。

また、今回解析を行ったものはギター音の中でもほんの一部である。さらに詳しい研究を行うためには、弦やフレットによる音色の違いを考慮する必要がある。

### 参考文献

- (1) 安藤由典:「楽器の音響工学」, 音楽之友社, 1971.
- (2) N.H.フレッチャー, T.D.ロッシング:「楽器の物理学」, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2003.
- (3) 大蔵康義:「目で見える楽器の音 by FFT Analysis」, 図書刊行会, 2004.
- (4) 吉川茂, 鈴木秀男:「音楽と楽器の音響測定」, コロナ社, 2007.
- (5) 木場隼介, 笠井正三郎:「ウェーブレット変換を用いた楽音の解析」, 神戸高専研究紀要, 第47号, pp.75-81, 2009.
- (6) 章忠, 川端洋昭:「ウェーブレット変換による異常信号診断法に関する研究」, 日本機械学会論文集(C編), Vol.67, No657, pp.1289-1296, 2001.

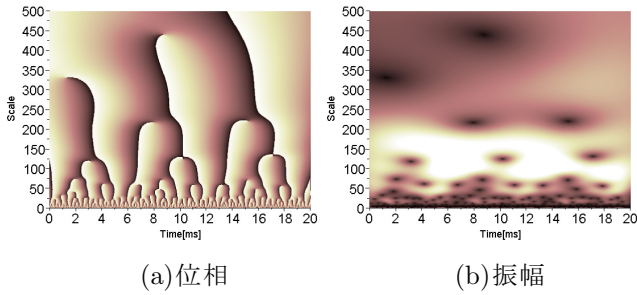


図21 ⑧開放弦

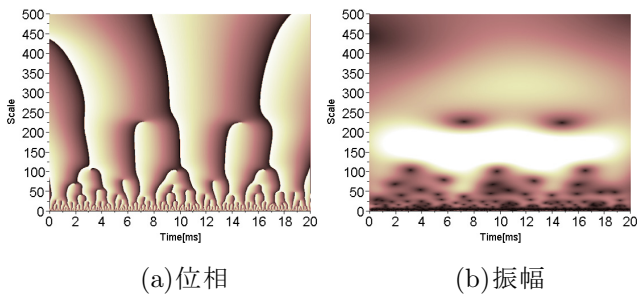


図22 ⑨押さえた弦

表19 ⑧と⑨の相関係数(位相)

		⑧	
		音源1	音源2
⑨	音源3	0.590	0.650
	音源4	0.621	0.627

表20 ⑧と⑨の相関係数(振幅)

		⑧	
		音源1	音源2
⑨	音源3	0.801	0.825
	音源4	0.821	0.837

### 6. 結論

本研究では、ギター音に対してMorlet基底を用いてウェーブレット変換を行い、楽音の解析を行った。

解析を容易にするため、単音に限定してギター音色の特徴解析を行い、ギターや奏者による影響を考え、同じ奏法で2通りのパターンを用意した。結果として、同じ奏法でもギターと奏者によってその解析結果は異なったものとなることが分かった。高価なギターを熟練の奏者が演奏した場合の方が再現性が高く、安価なギターをあまり熟練でない奏者が演奏した場合にはその結果にばらつきが生じやすいという結果となった。高価なギターを熟練の奏者が演奏した場合には、奏法の違いによる音色の差は、ウェーブレット変換の解析結果上で位相、振幅共にはっきりと表れており、相関係数でもその事実を確認することができた。また、聞え上で