

持続性楽器音の調和性の時間変化について

Fl/Ob/Trp/Vlの場合

加藤充美

作陽短期大学 情報処理科

岡山市矢津 2050-13

Tel (086) - 279-2223

E-Mail: QZX02355@niftyserve.or.jp

あらまし この論文では、Fl/Ob/Trp/Vlの4種類の楽器音の調和性の時間的な変化について述べている。管楽器や擦弦楽器などの持続音の調和性の研究はピッチ分析方法や合成方法の開発、楽器の発音機構の解明などに必要なテーマである。また調和性は楽器の演奏の巧拙と関係があることも考えられ、演奏評価の一つのパラメータとなりうる可能性がある。分析の結果、Ob/Trpではこの調和性を仮定してもよいが、Fl/Vl、特にVlではピブラートにより非調和性が生じ、さらにその非調和性がピブラートと同期していることが解った。また、線形なフィルタを用いて同様の現象が再現できることも確かめられた。

キーワード 調和性、非調和性、持続音、ピブラート、周波数、ピッチ、フィルタ

On time variation of Harmonicity of musical tones of non percussive musical instruments

About Fl/Ob/Trp/Vl

Mitsumi Kato

Sakuyo Junior College

2050-13, Yazu, Okayama, Okayama, Japan

Tel (086) - 279-2223

E-Mail: QZX02355@niftyserve.or.jp

Abstract This paper reports time variation of harmonicity of musical tone of four non percussive musical instruments, Fl/Ob/Trp/Vl. To study harmonicity is necessary to analyze pitch, to create musical sounds, to analyze a mechanism of oscillation of musical instruments, etc. And harmonicity seems to be related to skill of musical performances. So it may be a measure of skill of musical performances. Following results were obtained.

- Ob and Trp tone have harmonic property.
- Fl and Vl tone have inharmonic property in some condition.
- Vl's inharmonicity appear and is synchronously with vibrato.
- It is possible to create the inharmonicity with linear filter.

key words harmonicity, inharmonicity, non percussive tone, vibrato, frequency, pitch, filter

1. まえがき

管楽器や擦弦楽器などの持続音において各倍音が調和関係にあるかどうかは、楽器音のピッチ分析方法や合成方法、さらに楽器の発音機構を解明する上で興味のあるテーマである。またこの調和性は楽器の演奏の巧拙と関係があることも考えられ、演奏評価の一つのパラメータとなりうることが考えられる。ピアノに関してはFletcher¹⁾、安藤他²⁾などの研究があり、理論的結果や測定結果が得られていて非調和性として知られている。一方持続音に関しては最近Ando³⁾やBrown⁴⁾などが研究している。持続音については調和性を評価する基準となる周波数として基本音の周波数は必ずしも適当でない。しかし前述の論文では基本音の周波数を基準として各倍音の周波数のずれを評価している。また調和性をどう評価するかの方法も直接的でなく明確な結論は得られていない。前回までに、調和性の評価方法、平均的な調和性の評価およびそのビブラートとの関係をFl/Ob/Trp/Vlの4種類の楽器音について分析し報告してきた。その結果

- 1) オーボエ、トランペットはビブラートの有無によらず調和的といえる。
- 2) フルートの低次倍音は音が立ち上がった後はビブラートの有無によらず調和的になる。
- 3) バイオリン音はビブラートの有無により様子が異なる。ビブラートがない場合は調和的といえるが、ビブラートがあると調和性のからのずれが大きく、調和的とは言えない。

などがわかってきた。今回は調和性の時間的な変化を調べるため瞬時の調和度を定義し、その時間変動を上記の4種類の楽器について分析した。そしてこの結果と今までの結果の整合性を検討した。またバイオリンの非調和性の原因が線形フィルタで実現できることを確かめた。

2. 調和性の評価方法

各倍音の調和性を評価するためには

- 1) 各倍音の周波数を精度良く測定すること
- 2) 調和性を評価する基準となる周波数を決めること
- 3) 調和性を評価する方法を決めること

などが必要である。

2-1) 各倍音の周波数測定⁵⁾、⁶⁾

各倍音の周波数の測定は以下の手順で行う。

- 1) 長時間続くサンプルデータから分析する区間（以下分析区間という）を切り出す。
- 2) 切り出したサンプルにHanning窓を掛け、短時間FFTする。
- 3) スペクトルピーク付近のサンプル値から周波数／振幅を3点補間方式で求める。
- 4) 3) を元にスペクトルピーク付近のサンプル値から誤差の原因となるスペクトル漏れ成分を除去する。

5) 4) で求めたスペクトルピーク付近のサンプル値から周波数／振幅を3点補間方式で求める。

2) ~ 5) を行うことにより分析区間内の変動や雑音成分がなければほぼ誤差が零となる。また各倍音の周波数の時間変動は1) ~

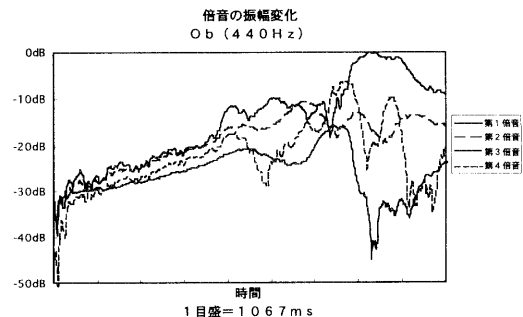


図1. オーボエ音の倍音の変動（1～4倍音）

5) の操作を分析区間をずらしながら行うことによって得ることができる。

2-2) 基準周波数⁶⁾

楽器の音の場合、図1に示すように音程や強さ奏法により倍音の含まれ具合が変化し、常に安定して存在する倍音はない。そのため各倍音の調和性を測る基準となる周波数としてある特定の倍音、例えば基本音に決めることはふさわしくない。一つの方法として各分析区間毎に振幅が最大の倍音の周波数を基準とすることが考えられる。しかしこの方法では、複数の倍音が同じ振幅であった場合や切り替わりで不具合が生じる可能性がある。一方各倍音の周波数を各倍音の振幅で重みづけした平均周波数は、それぞれの分析区間で振幅の大きい倍音の周波数に近い値を自動的に追従することになる。そこでこの重みづけ平均周波数を調和性を測る基準周波数とする事にした。

2-4) 倍音分析精度の検証

ビラートが深く掛かっていた場合に倍音のピークをとり損なってばらつきが大きくなる可能性がある。そこで分析データに基づく完全に調和的な合成音を作りそれを分析した。合成に用いたデータを図2、分析結果を図3と図4に示す。これらの図からわかるよう分析誤差の平均、標準偏差が0.5φ未満に収まっている。

2-5) 調和性の時間変動の評価方法

調和性の時間変動を評価するためには、各分析区間で各倍音の基準周波数からのずれの標準偏差をとることが考えられる。しかし倍音のレベルが低かったり、極端な場合存在しない倍音のデータも使ってしまう可能性がある。これを避けるために倍音の振幅により重みづけを行って2乗平均を取ることにし、次式で非調和度を定義する。

$$\text{瞬時非調和度} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i \times d f_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i}}$$

ここで、 a_i は各倍音の各分析区間での振幅、 $d f_i$ は各倍音の基準周波数の整数倍からのずれをφで表わしたものである。またiは倍音次数を表わしている。この値は各倍音の周波数のばらつきの標準偏差に当たる数値で、全体の基準周波数からのずれ具合を表わしていることになる。単純な標準偏差との差の例としてオーボエの分析例を図5に示す。もともと基準周波数が各倍音の周波数の重

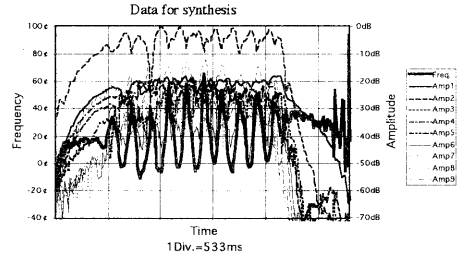


図2. 分析系チェックのための合成データ
バイオリンの分析データを元に作成

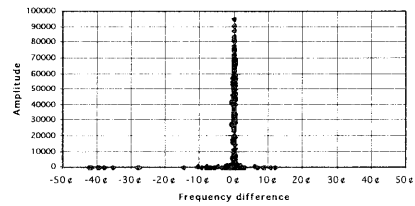


図3. 分析精度の検証

(合成バイオリン音の第9倍音分析結果)
合成音=c3、ビラート有り
横軸：基準周波数からのずれ、縦軸：倍音の振幅

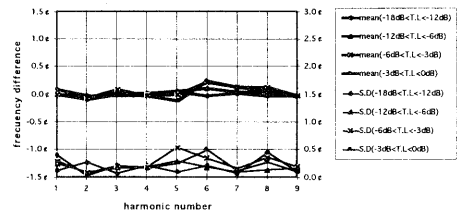


図4. 分析精度の検証 (合成バイオリン音の第9倍音分析結果)

横軸：倍音次数 縦軸：調和性からのずれ
太線：平均 細線：標準偏差

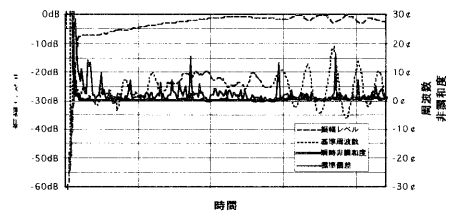


図5. 調和性の時間変化分析
楽器=オーボエ(ビラート有り)
φ=783.99Hz

みづけ平均であるからこの評価値は調和性からのずれに対してやや甘いものとなっているが、標準偏差に現われるレベルの低い倍音の影響と思われるスパイクが消えていることがわかる。

3. 調和性の時間変動の分析結果

3-1) 分析資料

今回分析に用いた資料を表1に示す。この資料はヤマハの電子楽器事業部から提供を受けたものである。いずれもスタジオでオンマイク、44.1kHzでデジタル録音したものである。これをサンプリング48kHzのDATにダビングしたものを提供してもらった。この中からビブラートの有るもの/ないものを選別し分析を行った。楽器によっては同じ音程では分析できなかったもの、ビブラート無しと言っても無意識に掛かってしまうものもあった。

表1. 分析した資料

楽器種類	録音場所	マイク種類	マイク位置	演奏者	録音日時
フルート	エビキュラス	B & K	正面約1m	工藤重典	6 Jul-89
オーボエ	エビキュラス	U-67	正面約1m	G. トレチェック	5-Dec-85
トランペット	SE D I C	B & K	正面約1m	F. ミルズ	5-Sep-85
ヴァイオリン	エビキュラス	U-87	正面約30cm	外山滋	4-Dec-82

これらの分析の条件は、音程によりFFTサイズを512/1024とし、分析区間内に約4波以上は入る様にした。また分析区間をずらす量（シフト量）は一律に512（10.7ms）である。

3-2) 各楽器の分析結果

以後の分析結果では、見やすさのため非調和度を上下反転して表示してある。

○オーボエについて

図5、図6から解るように、オーボエでは立ち上がり後からすぐに調和的になっている。またビブラートが掛かっても調和性には無関係なことがわかる。この結果は前報までの結果と一致している。

○フルートについて

フルートの分析結果を図7に示す。フルートでは調和からのずれがオーボエより大きい。さらに、強いところでもずれていることがわかる。これは今までの結果と異なるので今後の検討を要する。

○トランペットについて

トランペットの分析結果を図8に示す。図8から解るように、トランペットでは立ち上がり後すぐに調和的になっている。またビブラートがかかっても調和性には無関係なことがわかる。これもこの結果は前報までの結果と一致している。

○バイオリンについて

バイオリンの分析結果を図9に示す。図9から解るように、バイオリンではビブラートの有無により様子がかなり異なる。すなわち、ビブラートがない場合は

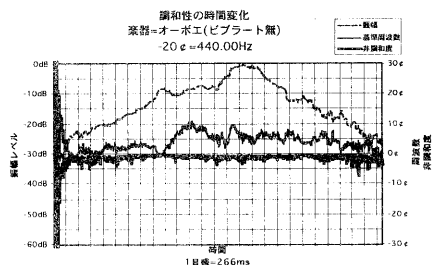


図6. オーボエの非調和度の時間変化

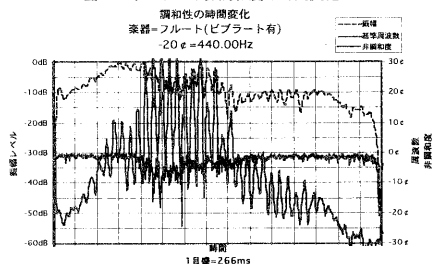


図7. フルートの非調和度の時間変化

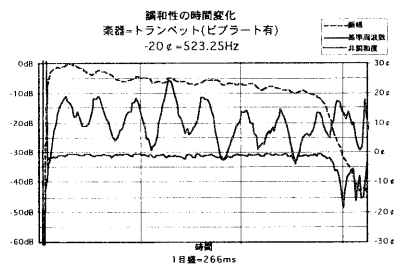


図8. トランペットの非調和度の時間変化

調和的だが、ビブラートがある場合は調和性からかなりずれている。しかもビブラートと同期して調和性も変動しているようにみえる。

4. 結果のまとめと考察

4-1) 分析結果のまとめ

4つの楽器音について、調和性の時間的な変動を分析した。それらをまとめると

○オーボエ、トランペットは、立ち上がりのかなり早い部分から調和的になっておりビブラートの有無によらず調和的といえる。

○フルートは、レベルの極端にレベルの低いときと高いときで調和性からのずれが大きい。これらの原因は今後の検討課題である。そうでない場合は調和的である。

○バイオリン音はビブラートの有無により様子が異なる。ビブラートがない場合は調和的といえるが、ビブラートがあると調和性からのずれが大きく、調和的とは言えない。しかもそのずれはビブラートと同期している。

4-2) バイオリンの非調和性の音色への影響

バイオリンの演奏ではビブラートを有効に使って表現を豊かにしている。即ちビブラートの深さや速さなどを曲想に応じて細かくコントロールしている。そしてビブラートによる表現への影響の仕方が他の管楽器などより大きいように思われる。それはバイオリンのビブラートによる音の性質の変化が他の管楽器などより大きいためであろう。またこの非調和性によって干渉性が低くなり、複数の楽器の間でわずかの周波数の差があってもよる唸りが目立たなくなることが予想される。管楽器に比べてオーケストラなどで複数のバイオリンが同じ音程で演奏される機会が多いのはこのためであろう。これらのことは実際の演奏の分析や聴覚実験などで確かめていく必要がある。

4-3) バイオリンの非調和性の発生メカニズム

バイオリンではビブラートの有無により調和性が大きく変わり、ビブラートがないとほとんど調和的である。また調和性の時間変動と周波数変動は同期しているように見える。したがってビブラートを掛けることが原因で非調和性が発生していると考えられる。非調和が発生する原因としては

- ・弦そのものが非調和的に振動する
- ・共鳴箱の影響で発生する

が考えられる。ここでは共鳴箱の影響を考察するために線形フィルタを用いてビブラート音に非調和が発生する事を示す。図11のスペクトルをもつ波形を図12に示す特性をもつフィルタに通す。出力のスペクトルと倍音の周波数の分析結果を図13と図14に示す。入力には9倍音の鋸状波で50¢の深さのビブラートが掛かっている。フィルタは直線位

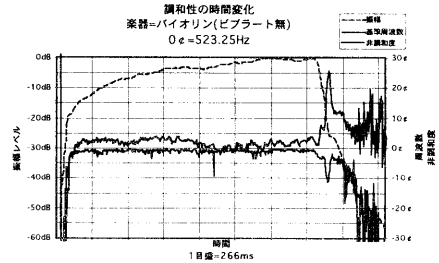


図9. バイオリンの非調和度の時間変化
ビブラート無し

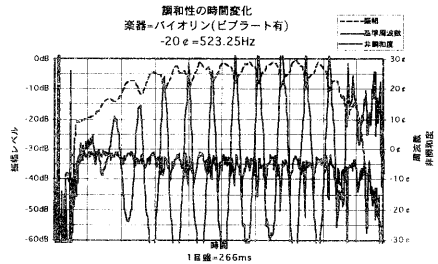


図10. バイオリンの非調和度の時間変化
ビブラート有

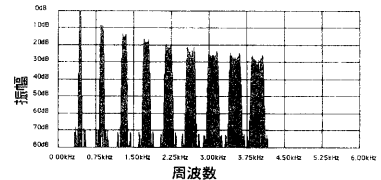


図11. 入力波形スペクトル
50¢の深さのビブラート(周波数変調)の掛かった9倍音の鋸状波

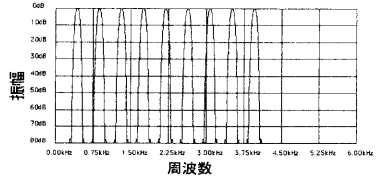


図12. フィルタの周波数特性(直線位相特性)

相で、各倍音を中心として約50Hzのバンド幅をもっている。図13で解る様に第1倍音では周波数変調にともなうサイドバンドがほとんど変化がないが高次倍音ではサイドバンドがかなり削られている。したがって第1倍音と高次倍音では変動の仕方が異なってくるのが予想される。実際、図14に示す様に高次の倍音は調和からずれて変動していることがわかる。このように線形のフィルタで非調和性が生じることが確認された。

M.V.Mathewsはバイオリンの音に豊かさは、バイオリンの共鳴箱の特性により各倍音がばらばらに動くことが原因だと結論づけているが、各倍音の振幅だけでなく周波数もばらばらに変動するのでより豊かさが増えていることが考えられる。

4-4) 今後の課題

- 楽器や音程のサンプルを増やして一般性を検証すること。
 - フルートについては、各倍音の分析結果を細かく調べ、ずれやばらつきの原因を検証すること
 - このような調和性からのずれが聞こえに及ぼす影響を調べること
 - 実際の演奏でこのような調和性からのずれがどうなっているか調べること
 - このような調和性からのずれと演奏の巧拙が関係するか調べること
- などがある。順次行っていくつもりである。

5. 謝辞

今回の研究にあたり、快く録音資料を提供して下さいましたヤマハ株式会社の和智取締役、西元電子楽器研究開発室長、実際にダビングして下さいました鈴木則夫さんに感謝いたします。

6. 参考文献

- 1) Flethcer,H.(1964),"Normal Vibration Frequencies of a Stiff Piano string"
J.A.S.A.36,203-209
- 2) 安藤繁雄他 "電子計算機による自然楽器の分析 (IX) 日音講 3-6-7 (昭和52年4月)
- 3) Ando,S. et al"Statistical study of spectral parameters in musical instrument tones"
J.A.S.A.94,37-45
- 4) Brown,J.C. "Frequency ratios of spectral components of musical sounds"
J.A.S.A.99,1210-1218
- 5) 高澤嘉光 "離散的フーリエ変換における補間公式" MA 89-26
- 6) 加藤充美 "楽音の高精度なピッチ周波数の測定方法について" MA 95-55
- 7) 加藤充美 "楽器音のピッチ周波数測定の諸問題について" MA 96-3
- 8) McIntyre,M.E. et al"Aperiodicity in Bowes-String Motion" ACUSTICA.49,13-32
- 9) Mathews,M.V. et al"Electronic simulation of violine resonances"
J.A.S.A.53,1620-1626

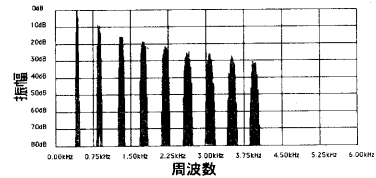


図13. 出力のスペクトル
側波のスペクトル形状が、第1倍音では変化していないが高次の倍音では変化している

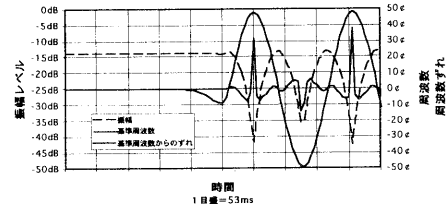


図14. 合成音周波数と振幅 (第5倍音)
帯域フィルタリング後
0e = 2200Hz