

# 対数周波数スペクトルの逆畳み込みによる基本周波数解析 (Specmurt 法) \*

◎高橋佳吾 西本卓也 嵯峨山茂樹 (東大・情報理工)

## 1 はじめに

モノラル信号として与えられた多重音から、それに含まれる基本周波数成分を解析する技術は、複数音源を対象とした音楽、音声研究分野で重要な要素の1つとなっている。

特に音楽分野では、基本周波数が音名を意味しているため、この技術そのものがモノラル音響信号をピアノロール表示 (MIDI 信号) に変換するツールとして利用できる。

モノラル多重音から基本周波数を抽出する手法には、調波構造を混合正規分布の重ね合わせとしてモデル化し、その重みを推定することで基本周波数を推定する方法 [1][2] や、ハーモニッククラスタリング (調波構造の拘束を導入したクラスタリング手法) による基本周波数推定法 [3][4] などがある。これらの手法は高精度での基本周波数抽出を達成しているが、抽出過程で音源数の推定を行ったり、反復計算により何らかの評価関数の最大化を行うため、相対的にエネルギーの小さい音が無視される傾向や、局所解に陥る可能性を含んでいる。

本稿では、このような推定結果を一意に決定するいわゆる「基本周波数抽出」の考え方でなく、高調波成分を抑圧低減したスペクトログラムとして出力する、いわば「基本周波数強調」の考え方に基づいた手法を提案し、その実験結果例を報告する [5]。

## 2 Specmurt 法の定式化

調和性を持つ音のスペクトルは、基本周波数成分とその倍音成分 (高調波成分) から構成され、整数倍の位置関係にある。周波数軸  $f$  を対数周波数軸  $x = \log f$  に変換すると、積は和になるので、定数との位置関係として置き換えられる。このため、対数周波数領域では各調波周波数の相対位置が、基本周波数に依存しない。この関係を図 1 に示す。

ここで、対象音の性質として、“対数周波数軸上でのスペクトル強度比のパターンが、基本周波数によらず一定である” という仮定をする。このスペクトル強度比パターンを共通調波構造と呼び、 $h(x)$  と表せば、ある単一音のスペクトルは、この  $h(x)$  を対数基本周波数の大きさだけ移動したものとなる。多重音の場合も、これらの重ね合わせから同様に考えることができる。

この関係は、多重音に含まれる対数基本周波数の強度分布を  $u(x)$ 、共通調波構造分布を  $h(x)$ 、多重音の対数周波数スペクトル  $v(x)$  として、畳み込み

$$v(x) = h(x) * u(x) \quad (1)$$

として表現できる (図 2)。

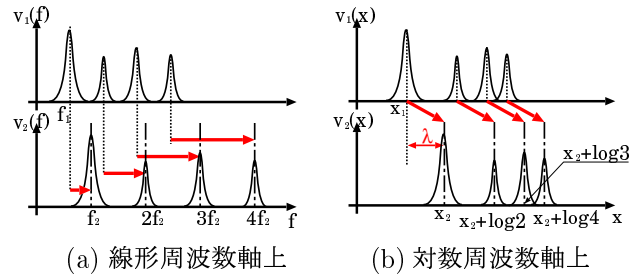


図 1: 基本周波数と倍音の関係

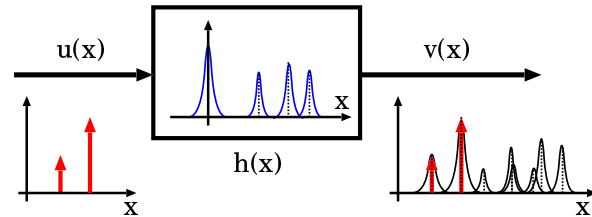


図 2: 多重音生成のブロック線図表現  $u(x)$ : 基本周波数分布、 $h(x)$ : 共通調波構造

以上から、基本周波数推定の問題は (1) 式の逆問題として定式化できる。すなわち、共通調波構造  $h(x)$  の逆畳み込み (deconvolution) を行った

$$u(x) = h^{-1}(x) * v(x) \quad (2)$$

である。これはフーリエ変換を利用して次のように表現することもできる。

$$U(y) = \frac{V(y)}{H(y)} \quad (3)$$

ただし、 $u(x), v(x), h(x)$  の (逆) フーリエ変換をそれぞれ  $U(y), V(y), H(y)$  とした。

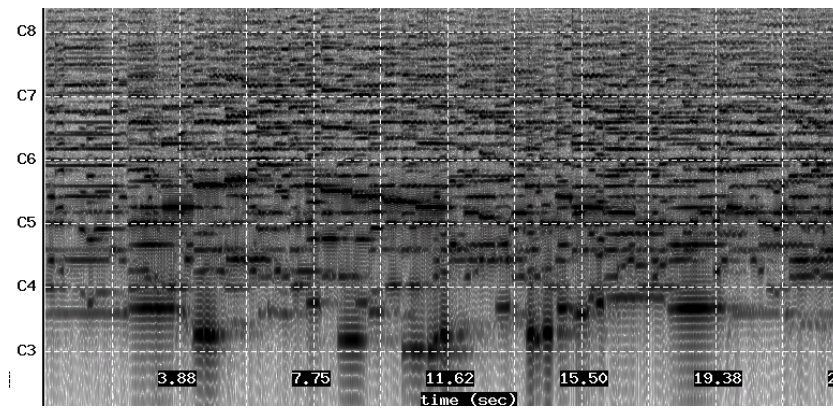
この  $y$  領域は、スペクトルのパワーを対数化し逆フーリエした Cepstrum と対称的であるため Specmurt と呼ぶ。

## 3 検証実験

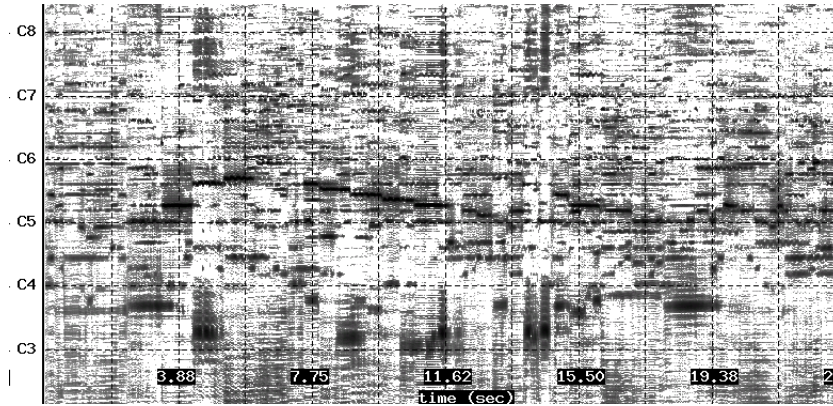
本手法 (specmurt 法) を利用し、16(kHz) サンプリングのモノラル音響信号から基本周波数解析の実験を行った。妥当な対数周波数スペクトルを得るため、中心周波数が指数関数的に変化する定 Q フィルタを分析フィルタとして使用した (分散:30(cent), 分解能:16.7(cent) 程度)。また、共通調波構造パターンには、強度が周波数の大きさに反比例する ( $1/f$  特性) 減衰モデルを仮定し、これを線スペクトル形状で与えた。

実験データには、RWC 研究用音楽データベース [6] を使用した。図にその実験結果の一例として、“J. S. Bach: 音楽の捧げ物 (BWV1079) 「6 声のリチェルカーレ」” を示す。

\* “Multi-Pitch Analysis for Monaural Sound using Deconvolution of Log-Frequency Spectrum (Specmurt Method).” by Keigo Takahashi, Takuya NISHIMOTO, and Shigeki SAGAYAMA (The University of Tokyo).



(a) 本方法適用前の対数周波数スペクトログラム (本文中の  $v(x)$ )



(b) 本方法による基本周波数分布解析結果の濃淡表示 (本文中の  $u(x)$ )



(c) 対応する楽譜 (第19小節から第23小節。楽譜の位置と (a), (b) の表示がほぼ対応)

図 3: 実楽器合奏による音楽演奏“J. S. Bach: 音楽の捧げ物 (BWV1079) よ5り「6声のリチェルカーレ」”の一部分の音響信号解析結果例 (横軸は時間、縦軸は音名で表した周波数を表す)

## 4 まとめ

本報告では、対数周波数軸で多重音のスペクトルを考えることにより、共通調波構造を仮定して多重音のモノラル音響信号の基本周波数解析をする手法 (Specmurt 法) を提案し、その実験結果の一例を示した。

今後は、観測スペクトルのエンベロープなどを利用し、楽器の種類による調波構造パターンの相違に依存しない、よりロバストな解析法への拡張を検討していく予定である。

## 参考文献

- [1] 後藤真孝, “実世界の音楽音響信号を対象としたメロディーとベースの音高推定,” 情報処理学会研究報告, SIGMUS31-16, pp.91-98, 1999.
- [2] M. Goto, “A Predominant- $F_0$  Estimation Method for CD Recordings: MAP Estimation Using EM Algorithm for Adaptive Tone Models,” Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Acous-

tics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2001, pp. V-3365-3368, 2001.

- [3] 亀岡弘和, 西本卓也, 篠田浩一, 嵯峨山茂樹 “ハーモニッククラスタリングによる多重音の基本周波数推定アルゴリズム,” 情報処理学会研究報告, SIGMUS50-5, pp.37-43, 2003.
- [4] 亀岡弘和, 西本卓也, 嵯峨山茂樹 “ハーモニッククラスタリングによる多重音信号音高抽出における音源数とオクターブ位置推定,” 情報処理学会研究報告, 2003-MUS-51, pp. 29-34, Aug 2003.
- [5] 高橋佳吾, 西本卓也, 嵯峨山茂樹 “対数周波数逆畳み込みによる多重音の基本周波数解析,” 情報処理学会研究報告, 2003-MUS-53, pp.61-66, 2003.
- [6] 後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡隆一 “RWC 研究用音楽データベース: クラシック音楽データベースとジャズ音楽データベース,” 情報処理学会研究報告 2002-MUS-44-5, pp.25-32, 2002.