

創作ノート

FFT フィルターと n 次元音響管による音響再構成（速報） Generating Tonal Sound Formations from Acoustic Sources Using FFT Filtering and Multi-Dimensional Column Cavity

林 毅

Takeshi HAYASHI

情報科学芸術大学院大学

Institute of Advanced Media and Arts and Sciences

概要

波形生成技術として、実際の音のスペクトル構造に着目し、DFT によりこのスペクトル成分個々を抽出し、逆 FFT により時間波形を得る試みを行った。さらに抽出する周波数範囲および時系列を複数層で制御することで、連続する音響列を生成した。また、生成音響のゲインおよびこれを得る頻度を上げるため、出力は、アクチュエータとしてのスピーカを通して複数独立共鳴を持った n 次元音響管から放射させ、空間に複数の音響管を配置することで、立体的な音像定位を得た。

1. はじめに

我々は、音を聞いたとき、音の三要素を認知の後、すぐにその発生源やその物質へと意識が向かう。本研究は、現実の物理現象に対し、そのスペクトルを最小単位として、これらの構造にも依拠する取り組みである。また、最終的な音響出力も「空気と構造」の「共鳴と共振」という音源としての物理現象を重視する取り組みである。

2. 背景

急速な変化を続ける我々を取り巻く多様な生活環境、その中で音の役割にも大きな変革が求められると考える。例えば、デジタル機器や電気製品、自動車などでは、報知やアラームの機能として、いわゆるピープ音が設計されている。報知やアラームと言った機能だけでなく、人と機械のインタラクションといった機能での音の役割の必要性も高まると考えられる。例えば、電気自動車で自動運転がまさに近い将来実現されたとき、車両の環境情報としての騒音とドライバーの覚醒や快適性を高い次元で融合することが必要になると考える。これは、サウンドデザインという捉え方である。

本研究は、技術的には、自然現象に依拠した波形の抽出とそれらによる音響の連鎖を生成するものであるが、目的・応用の一つは、騒音や不快な音のスペクトルを時間再配置し、リアルタイムに協和を図るための試みでもある。

3. 現在の問題点

言うまでもなく、音響合成においては、様々な制御が DSP 上で可能であり、ランダムも含まれるが、これらは一般的には関数形状あるいは周期性を伴い、長時間暴露されたときに規則性が認知されることが多く、聴覚の集中、認知が低下していく。また、定常と非定常のバランス等の実現にも課題はあると思われる。音楽ではなく、広くサウンドデザインで考えるならば、電話の保留時や駅のホームでの列車の発車時など必ずしもいわゆる 1 2 平均律的なメロディだけが適しているとは断言できない。

4. 提案手法

4.1. 波形抽出

DFT 手法を適用するが、原音の非定常性を捉えるため、平均化処理は行わない。また、FFT プロセスで発生する見かけの振幅変動による変調効果である側帯波を取り込む。

今回のサンプリング周波数は 44.1KHz、スペクトルライン数は 2048 に設定した。

4.2. 音響列の生成

上記の解析条件から、周波数分解能 $\Delta f = 21.5 \text{ Hz}$ であり、抽出周波数 $F = (FFTbin) \times \Delta f$ と表せる。 $f1, f2$ を設定し、逐次全フレームに対し、 $f1 < F < f2$

を満たすときに実虚部を逆 FFT 処理へ送る。今回は、上記の変調効果前は、単一線スペクトルを抽出するため、 $f_2 - f_1 = \Delta f = 21.5\text{Hz}$ とした。 f_1, f_2 は、同時にスイープ（ループ）させ、異なる周波数範囲の4プロセスを単位周波数当たり 50msec でスイープさせた。

4.3. n次元音響管

今回は、直径約 50mm の円筒形状で 13 次元に当たる固有空間をもつ音響管を構成。3次元管では長さ、約 660,450,100mm で管口は解放である。アクチュエータ（スピーカ）接合部には音響インピーダンスの整合構造を持たせた。概観を図 1 に示す。



図 1: n次元音響管プロトタイプ

5. 実験結果

5.1. 波形抽出

はじめに倍音が多く、かつ、線スペクトルが離散的である音の候補として、擦弦振動を伴うヴァイオリンを選定した。ここでは、G 線開放弦のボーイング時の音での結果を述べる。図 2 に原音のスペクトル（倍音）を示す。193Hz のスペクトルを抽出し、逆 FFT した時間波形を図 3 に示す。また、これを再度、周波数分析したものを図 4 に示す。

5.2. 音響列の生成

提案手法で連続的に波形抽出し、生成させた音響列のスペクトログラムを図 5 に示す。

5.3. n次元音響管

ホワイトノイズ音響加振による音響管各開口部の周波数応答特性は省略するが、実験的に各音響空間が独

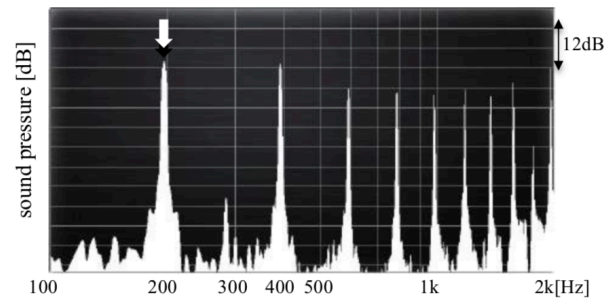


図 2: G 線のパワースペクトル

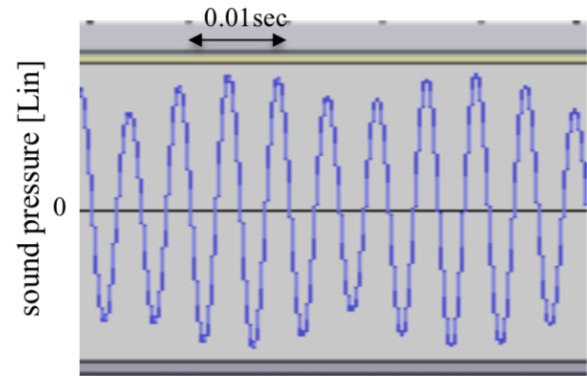


図 3: G 線の 193Hz の抽出時間波形

立とみられ、結果、高密度な共鳴の存在を確認した。図 5 と同一分析条件での音響管有りの生成音響列のスペクトログラムを図 6 に示す。

6. 考察

6.1. 波形抽出

図 3 の抽出時間波形は、約 0.02sec の振幅変調が確認でき、シグナルベクタサイズとサンプリング周波数の関係によっていと考えられる。結果、図 4 に側帯波（± 約 40Hz）が生じていることが確認できる。これは、音色に大きな影響があり、適切なラフネスを生じさせている。

6.2. 音響列の生成

図 5 から周波数が連続的に遷移しながら、各成分も原音のゆらぎを捉えて、生成されていることがわかる。

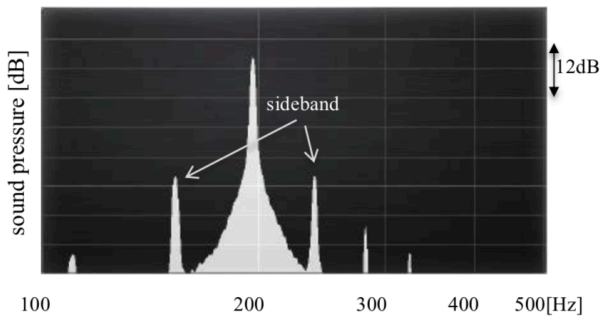


図 4: 図 3 のパワースペクトル

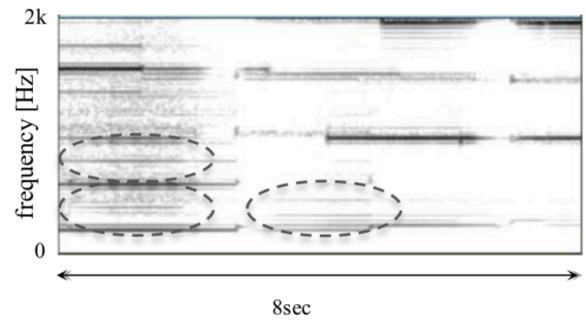


図 6: 音響管有りの生成音響列のスペクトログラム

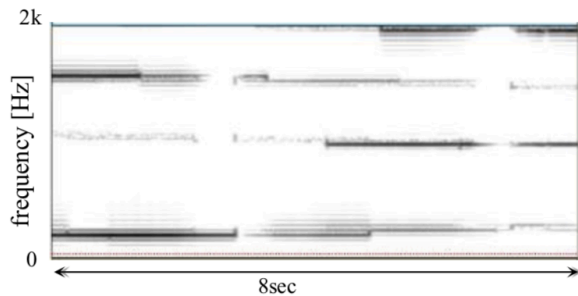


図 5: 生成音響列のスペクトログラム

6.3. n 次元音響管

図 5 の音響管無しに対して、音響管の共鳴密度増によって、主スペクトル成分の側帯波等が増幅されていることがわかる。

7. おわりに

今回は、1つの線スペクトルを抽出するように $f_1 < F < f_2$ の範囲で $f_2 - f_1$ を Δf としたが、複数のスペクトルラインを抽出する範囲にしたり、あるいは、スペクトルライン数を増やす等の解析条件を変えることで、抽出音の基調となる音色が変化することが予測できる。また、同一の目的でもこれらの条件は原音のスペクトル密度に合わせる必要がある。n 次元音響管の各副管部の独立性は、特定の周波数領域での実験的なサーベイ結果であるため、今後、デザイン自由度を拡張するためにも有限要素法等での固有値解析による数値解析が必要である。なお、DFT 一連のプロセスは、Max/MSP にて実装した。

8. 参考文献

William W. Gaver (1993) "What in the World Do We Hear? An Ecological Approach to Auditory

Event Perception", *Ecological Psychology* 5(1), 1-29.

Terry Burrows (2017) "The art of Sound", London:Thames & Hudson Ltd., 105.

Tamon Saeki (2018) "The History of Audio Speaker Technologies over one hundred years", Tokyo:Seibunndoushinkousha, 316.

M.V.Mathews and J.Kohut (1973) "Electronic Simulation of Violin Resonances", *the Journal of the Acoustical Society of America* Vol.53 No.6, 1620-1626.

Bill Schottstaedt (1977) "The Simulation of Natural Instrument Tones using Frequency Modulation with a Complex Modulating Wave" *Computer Music Journal* Vol.1 No.4, 46-50.

Kazuaki Yoshida and Michiko Kazama and Mikio Tohyama (2001) "Signal Analysis by Clustered Line-Spectrum Modeling", *Technical Report of IEICE EA2001-66*, 31-36.

Juergen Meyer (1972) "Akustik und Musikalische Auffuehrungspraxis", Bergkirchen:PPVMEDIEN GmbH.

Neville H. Fletcher and Thomas D. Rossing (1998) "The Physics of Musical Instruments", Springer-Verlag New York,Inc.

9. 参考作品

Karlheinz Stockhausen (1990-91) *Oktophonie*.

Klaus Schulze (1972) *Irrlicht*.

10. 著者プロフィール

林 毅 (Takeshi HAYASHI)

トヨタ自動車（株）レクサス車両実験部にて静粛性開発、サウンドデザイン開発に2017年まで従事。2018年より情報科学芸術大学院大学（IAMAS）にてサウンドアートを学ぶ。現在、修士過程に在籍。同時に Acoustic Spectra Communication 代表として、サウンドデザインを手掛ける。



この作品は、クリエイティブ・コモンズの表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> をご覧頂るか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。