

研究報告

構造的音色とその電子音響音楽への応用
STRUCTURED TIMBRE AND ITS APPLICATION TO
ELECTROACOUSTIC MUSIC

小坂直敏

Naotoshi OSAKA

東京電機大学

School of Science and Technology for future life,

Tokyo Denki University

概要

電子音響音楽において、新たな音色の合成は、古くからあるテーマである。近年は、まったく新たな音色、という概念よりも、すでに知られている音色の高品質化の方に多くの合成検討がシフトしている。一方、筆者は、新たな音色作りの可能性を信じてこれに挑戦するため、これまで、デジタル方式固有の音色であるサウンドモーフィングや、サウンドハイブリッドを「構造的音色」という概念の中で整理してきた。この概念の中で、紹介された「音の音」という合成法についてさらに詳細に述べる。本発表では、同手法の特徴と今後の音楽応用について述べ、音合成方式の指針とする。

用語: 音の音、音色トリル、音色変調、拡張音脈、パフォーマンスハイブリッド、演奏モーフィング

The synthesis of new timbres is a traditional subject in electroacoustic music. In recent years, the topic of timbre synthesis has shifted interest from synthesizing completely new timbres to the higher quality synthesis of a ready-known timbre.

On the other hand, the author has been investigating new timbre synthesis, such as sound morphing and sound hybridization, under the framework of “structured timbre.” In this paper, a new synthesis method called “sound by sound” is introduced in detail. The characteristics of the synthesis and music application and guidelines of the future sound synthesis are discussed.

1. はじめに

20世紀以降、音色は音楽の重要な要素となった。コンピュータ音楽の分野では、新たな音色を追求する音合成

技術がその研究分野の初期から重要なテーマであった。

初期のデジタル技術によって作られた音源の音色は、正弦波、方形波、鋸波など関数波形によるものであった。これはその後FM音に発展し、楽音のシミュレーションにも応用された。これらは、音源であり、入力がない状態で新たに音を作る。

一方、入力された音響音(cf.電子音)に対して加工を施す新たなエフェクト技術が開発された。残響やフィルタのようにアナログ技術でよく知られたエフェクト技術の焼き直しは代表的な機能である。しかし、グラニューパー合成、ピッチシフト、伸縮などの新たなエフェクトはよりインパクトのあるものである。そして、これらの音色が電子音響音楽に新たな展望を与えることができる。

本論文では、文献[1]で紹介した、音色の新たな概念である「構造的音色」について概説し、この中の音の音エフェクトについて詳細に述べる。構造的音色は、音楽的に特徴的な要因を構造として持つ音色として定義される。厳密ではないが、音韻論における弁別的素成に対応させて、「音楽的弁別的素成」というべきものである。

2. 構造的音色とその分類

文献[1]では、自作の作品で用いている構造的音色という概念を紹介した。図1に同文献で記した分類を再掲する。構造的音色は、楽音の演奏表現も含む自然音と合成音に大別される。構造的とは、音色の中が時間あるいは空間的にみて、さまざまな要素を秩序立って組み合わせられていることをいう。自然音に分類される音色は、構造的音色を持つ合成音の指針となるべき音色で、これを模倣して合成音を作ることが技術テーマの一つであり、また、構造的音色の合成音から類似した自然音を見出すことも重要な創作行為である。

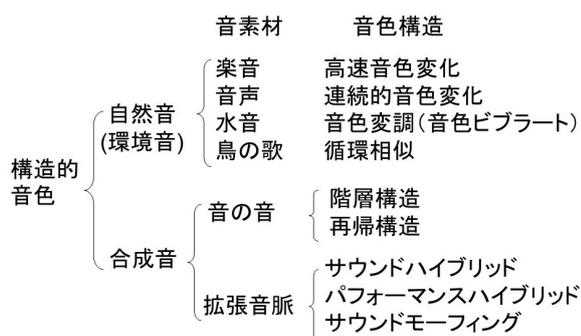


図 1. 構造的音色の分類

以下では、これらの音色の代表的な分類について、作品例を挙げて述べる。

2.1. サウンドモーフィング

サウンドモーフィングは、ひとつの音色から別の音色まで連続的に変化していく音色である。これはCG(Computer Graphics)から来た技術で、音色合成では90年代に盛んになり、現在でも検討されている。音質の向上を追及することが現在の課題である。小坂らはモーフィングを単なるデザインと捕らえず、工学的問題と捉えて問題を明確化した [2][3][4]。

Johnathan Harvey の “Mortuos Plango Vivos Voc” (1980)[p1] はサウンドモーフィングの前身となる作品で、ウィンチェスター教会のからソプラノの声まで変換している。これらの2つの音は加工されミックスされている。実際のモーフィングは常にひとつの音(音脈)保っていないが、当時はモーフィングそのものを実装することは達成されていなかった。しかし、美学的には、このモーフィングが定義どおりか、二つの音がミックスされているかは新旧の問題ではなく、両表現は同時に存在すべきであろう。小坂の「鏡石フルートとコンピュータのための」(1996)[p2] はサウンドモーフィングが音楽的テーマとして使用されている作品の一例である。

2.2. サウンドハイブリッド

サウンドハイブリッド (sound hybridization、混声音) はさまざまな音から知覚的要因を取り込んで合成した合成技術である。絵画では、Dali の作品や Picasso の作品などに見ることができる。2つの音でできている場合はクロスシンセシスともいう。IRCAM の委嘱による湯浅譲二の「世阿弥による九位」(1989)[p3] は初期のクロスシンセシスの例で、白雑音と音声による合成音を作っている。

2.3. パフォーマンスハイブリッド

このエフェクトはサウンドハイブリッドのひとつであるが、ある楽器の演奏スタイルを本来達成できない別の楽器音に転写するものである。小坂の「モーフィングコラージューピアノとコンピュータのための(2002)」[p4] では尺八の揺り奏法が笙の音色に転写されている。笙はわが国の雅楽の伝統的な楽器で、英訳では mouth pipe organ といわれる。楽器の機構上、ピッチは一定で、ビブラートはできない。一方、尺八はフィンギングを行うことなく、首を縦や横に振ることにより、いわゆる「揺り」と呼ばれるピッチの変化を奏することができる。

2.4. 拡張音脈

サウンドモーフィングやサウンド/演奏ハイブリッドは、拡張音脈のカテゴリに分類できる。音脈は心理音響用語で、ひとつの音と知覚できる音、と定義されている。音響音は通常音脈を見つけることが容易である。なぜなら、一つの音脈は一つの物体の物理振動に対応しているためである。1つの例外は、モンゴル歌唱のホーミーで、一人の声帯振動音から2つの音を知覚することができる。これらのエフェクトでは、直接的に1つの音脈とは言いがたい。しかし、これは1つの音と完全に2つもしくはそれ以上の数の音のミックス音との境界音色といえる。2つの音脈が与えられたとき、サウンドモーフィングでは、これらの音を徐々に変化させることにより音脈が拡張されたと感じることができ、これを拡張音脈とよぶ。

電子音響音楽では、これらの音はコンピュータにより合成される。同様に楽器演奏者はその楽器の範囲で拡張音脈を作ろうと努力するものである。

理解が容易な拡張は、ピッチレジスターの拡張である。ヴァイオリン奏者の木村まりはヴァイオリンの最低音であるG3からそこから1オクターブ低い本来チェロの音域であるG2まで実用的に発することができ、サブハーモニクス奏法といわれている。また、フルート奏者では、最低音のC4より1オクターブ低い音までを金管の奏法と同様に唇の振動により発することもある。サウンドモーフィングではフルート奏者はフルート音から歌声ではない自身の地声まで出す奏法がある。このように、拡張音脈の開拓は、楽器演奏者と音合成研究者との共通の目標である。

3. 音の音

3.1. 定義

音の音はある音で別の音色を表現する音色と定義される。これは構造的音色の中の階層的音色である。表

現すべき上位の音色を目的音と呼び、それを実現する下位の音色を要素音と呼ぶ。たとえば、フルート音の音色からなる音声の音韻である。この場合、目的音が音声(音韻)、要素音がフルート音という。音の音はサウンドハイブリッドと非常に近い概念である。しかし、音の音は階層的構造が明確で、この例では、上層では音声の音韻として知覚でき、また下層ではフルートの音が明確に知覚できる。一方、サウンドハイブリッドは、要素音のある知覚要因のみを転写し、これらを組み合わせた音色であり、その要素音そのものが具体的に聞こえるわけではない。

音の音の概念は絵画にも古くからある。Giuseppe Archimboldo のだまし絵 (Trompe l'oeil) や歌川国芳の寄せ絵などである。前者は、野菜や果物からなる人物肖像画を数多く存在する。また、歌川国芳は人からなる肖像画を数多く残した。これらのアナロジーで音色に適用したものが音の音というエフェクトである。

茂出木によるオート符 [5] は環境音や音声を MIDI 音源により表現しようとするもので、要素音を MIDI 音源に扱う意味で、要素音の明瞭性は明らかである。

3.2. 音声の適用—目的音を音声とした場合

音の音という名称は筆者の提案であるが、音楽的に類似した表現はこれまでも知られている。音声を目的音とし、オーケストラを要素音とした作品に Johnathan Harvey のオーケストラ作品 “Speakings” [P5] がある。この作品は IRCAM の研究員の協力のもとに制作されている。

この作品では、上層の音色 (Global timbre) を固定して、下層の音色を急速に変化させて音声を擬似する場面が多い。すなわち、トロンボーンの音色、あるいは弦楽器の音色の範囲で急速な音色変化を行う奏法を紹介し、それが音声のように聞こえる。タイトルが表すように、この作品は音の音を実現する試みである。しかし、音韻としてはその明瞭性は高くなく、この表現で音声を模倣していることまでは伝わるが、具体的な音韻までは知覚できない。

一方、音楽的観点からは、オーケストラを用いての音声の音韻明瞭性は Harvey の作品ではあまり重要ではないようである。しかし、これは技術的な限界が理由か、はたまた音楽美学的な要求からきているのかは不明である。

3.3. 楽曲への適用例

弦楽を要素音、音声を目的音とした実現を行った自作について述べる。ライブのオーケストラでは先に記したとおり明瞭性の高い音韻の実現は困難である。実現には、非常に緻密で統制の取れた音量制御が必要で

あり、音楽的でなく機械的な演奏が要求され、現実的ではない。そこで、2段階の実現工程を考える。

音声の実現は、オーケストラ音を用いたコンピュータ処理を経る方法に分担させ、最初の作品「音の音-オーケストラのための」[p6]では、要素音で音声の韻律(ピッチ列)のみを目的音とした音色の実現を行った。その作品の対極にあるものとして音声の韻律のトレースを試み、これを楽音が模倣する。

音声の題材として、いろは歌を選び、筆者が以下の読み(発音表記)で抑揚を明瞭につけて数回朗読した。

「いろわにおえどちりぬるを、わがよたれぞつねならむ。ういのおくやまきょうこえて、あさきゆめみじえいもせず」

この収録音をピッチ分析し、これを音列素材とした。旋律を想起するまでの途中過程をソナグラムとともに図2に示した。

このように話された音声から音列を紡いでいく手法は Steve Reigh の Different Trains でも使われている。

次の工程として、別の作品「ハイブリッドカラー ジューピアノと電子音響のための」[p7][p8]において、上記で収録した弦の音色に朗読したいろは歌を fft 分析した結果得られたスペクトル包絡を抽出した。この音韻フィルタをかけて音韻の実現を試みた。

この方法では、

1. 音韻が不明瞭であったこと、
2. 明瞭性を向上させると弦楽の印象が損なわれ、しわがれ声のような非音楽的な印象が増したこと

が特徴として挙げられた。すなわち、弦楽の音色を保ちながら、音韻を明瞭にするという音の音の定義をそのまま適用しようとする、楽音として美しさ、優雅さなどの楽器に求められる第一義的な魅力としては満たしていない。

今後は、この特性が、本手法によるものなのか、音の音エフェクトにおいて、目的音を音韻にしたときの特性なのかは明らかにする必要がある。ただし、これまでのサウンドハイブリッドまで含めた楽曲の適用例でみると、音韻性を明確にした楽音は一般的に困難と考えられる。

3.4. 音声に適用する場合の考察

以上、Harvey の作品と自作の2例により目的音を音声とする場合について検討した。目的音を音声とする音の音、あるいはサウンドハイブリッドは、その明瞭性を担保するのであれば、音源を白雑音のように、スペクトル上のあらゆる周波数で情報が揃っている方がよい。

楽音の場合は明瞭性を上げれば上げるほど要素音の特徴が失われていく。したがって、技術的には要素音

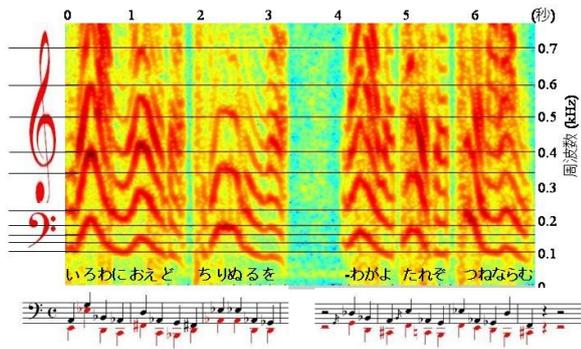


図 2. ソナグラムと譜面：いろは歌の朗読音声のソナグラム（声紋）表示とそこから起こした譜面。ピッチ（音高）は最下段の曲線で、他はそのハーモニクス。譜面は上図の完全な書き起こしではなく、数回の朗読の平均の部分もある。譜面上声部が書き起こした旋律、下声部は付けられたヘテロフォニー声部。

としての楽音の特性を満たしつつ、同時に目的音の明瞭性を満たす音質の両面を同時に追求することが課題として挙げられる。

筆者らは、NMFを用いた方法で現在技術的検討を進めている。なお同手法でも楽音性と明瞭性のトレードオフの特性が現れている [6]。

現在の応用例では技術的に未達成のことも原因かと思われるが、音声の音韻性の拘泥しない方法が採られている。音声の持つ音楽的要素とは何か。まず、韻律が挙げられる。これは、この言葉の定義どおり、音声の音楽的側面である。すなわち、ピッチ、あるいはその階層的な構造を持つ、イントネーションをはじめとしたピッチイベントである。またリズムでもある。これらが発展して歌声になったことを考えると、自明である。しかし、本検討では、それ以外の要素を紡いで新たな音色に結びつけようとするものである。音色は、本来的に階層構造を有す。すなわち、発音体が固定されると、それに固有な音色は基本カテゴリとして知覚できる。ヴァイオリン、フルートなど、個別楽器の音色がこれに相当する。音声では個人の声質が発音体固有な音色である。一方、同一の発音体の下位に、さまざまな音色が存在する。楽器のさまざまな演奏方法はこれに相当し、音声では、韻律の変化が第一義的に挙げられるが、音韻も、その言語的意味から離れて音色ということができる。

後者の場合は、音声を発するとは、上層では同一音色ながら、下層では急速な音色変化が起こっていると言い換えることができる。

音声の付与とは、湯浅作品、Harvey 作品ともに急速な音色変化を行っていることが本質である。湯浅作品では、電子音にフィルタリング処理を行い、また Harvey 作品では楽器奏者の演奏技術としてこれを実現してい

る。たとえば演奏者によるトロンボーンミュートの位置の順次変化は音声の印象を与えることができる。

3.5. 既存楽音にみる音の音エフェクト

音の音エフェクトは合成音に限定されているわけではない。前節で考察した下層の音色の急速な変化はこの繰り返し形が音色トリルである。ビブラートや音色トリルのような音響音は構造的音色といえる。音色トリルばヨーデルの歌唱法や、尺八のコロコロやカラカラの奏法に見ることができる。フルートの現代奏法では、これらの尺八奏法と同様な奏法を奏することができる。これらの奏法では、同一声帯や同一楽器の異なるレジスター間で急速な音色交代を行っている。

3.6. 音声以外を目的音とするの音の音

音声以外を目的音とする1つの方向性として、前節の視点で、下層の電子音あるいは自然な音響音の音色急速に変化させる合成音が考えられる。下層の音色を加工したり強調するものである。1例として、原音のビブラートの深さの変更などビブラートの特性の変更である。

他の可能性としては、時間構造の再構築である。たとえば、2つの音色を交互に、あるいはそれ以上の異なる音色を順番に、かつ高速に交代していく、木管楽器の音色トリルの拡張である。これは、上層ではわれわれにまったく別の印象を与えるトリルになる可能性がある。

だまし絵や寄せ絵はたぶん錯視に関連している。同様に、聴覚イリュージョンは音楽アイデアとして有用と考えられる。視覚的な物体に対して、人は狭い視野で空間的な関連性を見出し、広域な空間での関連性は見出しにくい。音の音は音色の（空間的）階層構造として定義されたため、同様にこのような聴覚イリュージョンが短期および長期の時間的 directions 間で起こっていると考えられる。具体的には音色アルペジオによる表現が期待される。これにより、和音ではない目的音色を表現する。

現在筆者らはオート符と類似した考えだが、収録音データベースを元に、これを要素音として表現したい目的音を見出すエフェクトを扱っている。たとえば、水の音などの環境音を、与えられたフルート音のデータベースから表現する方法である。

音の音の技術を工学的に達成するためには、目的音の明瞭性と要素音の明確さの2つの指標でこの達成度を測り、あわせて総合的なエフェクトの達成度で評価してゆく。音楽への応用については、音声への適用で述べたように、この指標の値が両方とも高くなくとも十分効果的に用いられうる。しかし、より両指標値の

高い合成音による新たな音楽表現もそれ以上に期待される。

4. おわりに

ここでは、デジタル技術が音合成の主流になって以降のサウンドエフェクトの中で筆者が定義した、構造的音色について概説し、この中で特に音の音というエフェクトについて詳細に述べた。また、これらのエフェクトを音楽の主要なテーマとして扱っている楽曲も紹介した。

特に、Johnathan Harvey の Speakings に見られる音声を楽音で表現する方法について論じた。現在の音楽応用では、目的音を音声とする場合、楽音で明瞭に音韻を表現することはできていない。そして、音色が急速に変化する一つの楽音、という表現が一般的である。音の音エフェクトは、目的音の明瞭性と要素音の明瞭性のいずれも達成すれば音楽表現の幅が広がる考えを述べ、これを実現する新たな工学問題を提案した。

また、目的音を音声以外とする場合で、音色トリルや音色アルペジオなどの可能性について触れた。今後、こうしたエフェクトを実現する技術的手法を確立するとともに、これらのエフェクトに基づいた新たなエフェクトが演奏家により開拓されることも期待される。これらの音色は電子音響音楽の新たな語法となっていくであろう。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(課題番号 2637011)の助成を受けて行われた。

5. 参考文献

- [1] 小坂直敏、「サウンド／パフォーマンス・ハイブリッドによる音楽—自作作品の創作手法」JSSA 会報 Vol. 5, No. 1, pp. 10-13, 2013.
- [2] Naotoshi Osaka, “The role and realization of sound morphing and sound hybridization in computer music,” The Proceedings of ACMP 2011, Tokyo.
- [3] Naotoshi Osaka, “Timbre morphing and interpolation based on a sinusoidal model,” Proc. of ICA/ASA joint meeting, pp.83-84, Seattle, June 1998.
- [4] Marcelo Caetano and Naotoshi Osaka, “A formal Evaluation Framework for Sound Morphing,” Proceedings of ICMC 2012, Ljubljana, Slovenia.

[5] 茂出木敏夫, “音響信号の平均律音階に基づく汎用解析ツール@オート符”の開発,”電気学会・電子情報システム部門誌, Vol. 123-C, No. 10, pp. 1768-1775, 2003. 10.

[6] 柴田理央, 小坂直敏, 「音の音—NMFを用いた音の異音表現とそのエフェクト応用」, 情報処理学会第79回全国大会, 7L-05, 名古屋大学東山キャンパス, 2017.3.

6. 演奏

[p1] Johnathan Harvey, “Mortuos Plango Vivos Voc for eight-track tape”, commissioned by Centre Gerges Pompidou, 1980.

[p2] 小坂直敏, 鏡石—フルートとコンピュータのための、コンピュータ音楽の現在II、日本コンピュータ音楽協会 主催、神戸ジーベックホール初演、1996.7.13.

[p3] Joji Yuasa, “The nine levels by Ze-ami for seventeen players and computer generated quadrasonic tape,” commissioned by IRCAM (1988), NEUMA records (1997)

[p4] Naotoshi Osaka, “Morphing Collage for piano and computer,” organized by Ensemble Vivo, Tokyo Opera City, Dec 19, 2002.

[p5] Johnathan Harvey, “Speakings for orchestra and electronics,” 2008.

[p6] 小坂直敏, 「音の音」—オーケストラのための、オーケストラプロジェクト 2014、演奏：東京交響楽団、指揮：大井剛史、東京芸術劇場(池袋) 2014.12.1

[p7] 小坂直敏, 「ハイブリッドコラージュ」ピアノと電子音響のための、pf: 大井浩明, Media Project Vol. 13、すみだトリフォニー小ホール, 2015.10.16.

[p8] Naotoshi Osaka, “Hybridization Collage for piano and Electroacoustics,” pf: Julia Den Boer, NYCCEMF 2016, Abron Art Center, 2016. 6.16.

7. 著者プロフィール

小坂 直敏 (Naotoshi OSAKA)

昭51早大・理工・電気卒。昭53同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。以来通話品質の研究、音声対話の研究、コンピュータ音楽あるいはマルチメディア創作のための音響研究などに従事。平6早大より博士(工学)。平8-14コミュニケー

シオン科学基礎研究所音表現およびメディア表現研究
グループリーダー，平成 15 東京電機大学・工 教授. メ
ディアコンテンツのための音響情報処理の教育と研究
に従事. また，音楽制作および発表活動も行う. 日本
音響学会，電子情報通信学会，情報処理学会，ICMA，
IEEE 日本電子音楽協会 各会員. 現在，東京電機大学
未来科学部 教授.