

研究報告

距離による音の遅延を用いた空間的オーケストレーション作品「円とピッケルの場合」

MUSIC OF SPATIAL ORCHESTRATION THAT USES SOUND OF DELAY DUE TO DISTANCE “THE CASE OF CIRCLE AND PICKEL”

佐藤 大海, 三輪 眞弘

Hiroumi SATO, Masahiro MIWA

情報科学芸術大学院大学 [IAMAS] メディア表現研究科

IAMAS

概要

空間的オーケストレーションとは、音楽における時間軸と、実空間における物理的な距離の相互変換を扱う作曲技法として、筆者により考案されたものである。この技法で扱われる「空間的」とは、一般に言われるような音楽における空間性とは異なり、奏者と聞き手間の物理的な距離そのものや、音の遅延の差、音楽上のコミュニケーションにおける障害など、距離によって引き起こされる一連の現象を指す。この技法を用いた音楽作品は、一連の現象を人間が知覚できるように、地上の広大なフィールドで演奏され、作品の時間軸が実空間上で展開するという特徴を持つ。聴覚と視覚、時間軸と距離の相互変換は、実際に演奏されるその時々環境的要因により、異なる比率で換算されるため、作品の構造そのものが必然的に変化し得る。したがってこの技法を用いた音楽作品は、(従来の音高によるチューニングとは異なる)位相のチューニングの概念を内包し、その方法が作品の中で記述されることで、はじめで成立する。

本論文では、空間的オーケストレーションを考案するまでの実験の記録と、実際に、この技法を用いて制作した音楽作品「円とピッケルの場合」の解説を行う。距離に隔たれた関係性に内在するものを、音楽によって改めて表出させる試みが、どのような可能性を持つかを考察したい。

1. 研究背景

空気中を伝播する波を音波という。この音波が空気中を伝う速度は、厳密に言えば空気の状態(温度、密度、圧力等)によって変化するが、一般的には近似的に温度のみの一次式で表される [1]。t を摂氏温度とし

た時、空気中を伝わる音速 v は下記のように求められる [1]。

$$v = 331.5 + 0.16t[m/s] \quad (1)$$

したがって、ある地点から別のある地点まで音波が伝わる時、求められる音速によって、その遅延時間が求められる。

空間的オーケストレーションの技法を考案する出発点となったのは、この音速による音の遅延を音楽的に操作できないだろうか、という着想からである。具体的には、広大なフィールドを演奏会場とし、奏者の位置やその移動を含めた演奏の内容をコンポジションすることで、音の伝播時間の差を、音楽におけるリズムとして構造化できないだろうか、ということだ。

本来音楽は、奏者同士が一つの曲を同時に合わせて演奏し、聴き手が鑑賞するという意味において、その同時性が重視されてきた。これは指揮者の役割や、PA (Public Address) の役割が、複数の奏者(もしくはスピーカー)による演奏を、最適な聴覚体験として聴き手に届ける役割を持っていることから窺える。音楽は、誰もが「同じもの」を「同時に聴いている」という前提から成り立っているが、我々には知覚できないレベルの距離による音の変容によって、それぞれ異なる聴覚体験が引き起こされている。距離によって発生する(望ましくない)音の変容をあえて発生させることで、これらが音楽に転用し得るかどうかを検証する以下の実験を行った。ここから浮かび上がった特性や問題点などが、空間的オーケストレーションの基礎となっている。

2. 距離による音の遅延の音楽的転用実験

2.2. 音の遅延の差を（聞こえ上）起こす演奏実験

2.1. 奏者同士の距離による「Piano Phase」

Steve Reich による Piano Phase という曲がある。譜例 1 はその冒頭である。この曲は二台のピアノのための作品で、二つの同一な音の流れのうち、片方が徐々に早く演奏し、音の流れの位相をずらして行く。それによって音響上の効果や、ピッチ組み合わせの豊かなバリエーションを生み出している。

例えばこの作品における位相のずれを、演奏の速度の変化ではなく、奏者同士の距離を可変にすることで実現できないだろうか考えた。すなわち、二人の奏者が同時に演奏している時、片方の奏者をもう片方の奏者から徐々に離していく（あるいは徐々に近づけていく）と仮定する。この時、音量の変化や音の質的な変化（音の広がり等）は考慮しない。すると、奏者同士の距離が変化すればするほど、同一な音の流れとして知覚されていた演奏が、原理的にずれていくのではないだろうか。このようにして、フェイズシフティングと呼ばれる一連の現象を、距離によって起こすことができると予想し、音源の再生が可能なメガホンで実験を行った。



図 1. 実際の映像のキャプチャ

実際の実験（図 1）では、あらかじめ一定のテンポで演奏を続ける片方の部分のみの音源を DAW で作成し、メガホンを使い同じ場所で音源を再生している動画と、メガホンを使い音源を流しながらカメラから徐々に離れていく動画の二つを撮影した。これらの映像を、あとから同時に再生されるよう合成することで、実際に予想した現象が起きるか検証した。

ここで重要なのは、実際の演奏であれば、聴覚的な時間軸上の感覚だけでなく、（同時に演奏しているように見えるがずれて聞こえるという）視覚的な差異が知覚されるだろうことや、曲の位相がどれだけずれているかということ、奏者同士の距離によって視覚的に理解することができるということだ。このようにして、この作品における「ズレ」という概念が、より明確に想起されるだろう。



図 2. 実際の実験の様子

図 2 のような、地上の可能な限り障害物のない約 170 メートルの線分上を演奏会場とし、任意の端を聴取位置と設定して実験を行った。この線分の長さは (1) で求められる、音波が空気中を 1 秒間に伝播する距離の半分に定めた。4 人の奏者は、異なる基本周波数を持つピッケルを、同期しながら 0.5 秒に 1 回 (BPM = 120) の間隔で演奏する。演奏会場を音波が伝播する時間と、奏者の演奏する周期（時間間隔）が同じであるため、線分の端からその反対側の端までには、一拍分のズレが生じる。演奏会場を 2 等分する点、3 等分する点、4 等分する点上に、異なる色のカラーコーンが配置されており、奏者はあらかじめ指定された色のカラーコーンへ、移動しながら演奏を行う。一方では、演奏会場の長さを均等に分割する点が、演奏の 1 打を 4 分音符としたとき、これを 8 分音符や 8 分音符の三連符、16 分音符で均等に分割されるようなリズムが知覚される場所であるとも言える。

なおこれらの仕組みは、ESPr Developer を使った、全てが同期して振動する四つの自作メトロノームデバイスを用いることで実現した。演奏中の移動のタイミングは、指揮者の指示によって示されている。

2.3. 音の遅延の差を（聞こえ上）無くす演奏実験

2.2 と同様の演奏会場、楽器、奏者の条件で、奏者同士が聴きあって演奏し得るかの実験を行った。図 3 は、実際の実験の様子である。奏者は指揮者の指示に従い、それぞれ演奏を開始する。この時奏者は、先行する他の奏者の演奏する音に合わせて同時に演奏することで、聴き手には同時に演奏されているように知覚されるようにする。すなわち、聴き手から一番奥の奏者を基準とし、それぞれの奏者の音が加算されていくことで、これを実現する。奏者の演奏を時間軸上で見たときには、奏者同士は別々のタイミングで叩いているが、音波が長大な距離を伝播することによって遅延



図 3. 実際の実験の様子

するために、同時に演奏しているように聞こえる仕組みになっている。

2.4. 距離によって発生する音楽的特性

以上の実験結果から、距離によって発生する音の遅延は、音楽的に転用可能である見込みを得ることができた。特に重要だと思われた点は、奏者の演奏する周期を演奏会場の長さから割り出すことで、演奏会場を均等に分割する点と、時間軸上の一拍を均等に分割するリズムとして知覚される位置が、対応している点である。したがって、奏者と聴き手の距離が、音楽における時間軸と対応しており、音の間隔が聴覚的にわかるだけでなく、奏者同士の距離として視覚的に鑑賞可能になった。

しかし一方で、音楽的な問題も散見された。一つは、距離による音の質の差が顕著にあらわれたことである。これら三つのすべての実験において、奏者はどの地点から演奏しても聴き手には同一の音量で聞こえるように、自身と聴き手の距離の逆二乗則 [2] で逆算した音圧レベルを目安として、演奏を行った。しかし、実際の演奏では、様々な環境要因によって同一の音量で聞こえるように演奏することが出来なかった。また、長大な距離関係にある奏者同士が、音を基準にして演奏を行う場合、自身の楽器の音量や他の奏者の演奏の聞こえ方などの様々な要因により、完全に同期して演奏することが困難であった。

このように、距離によって発生する音の変容を、知覚できるレベルで発生させることで、この現象を音楽への転用することについて検討した。しかし、この現象は特殊な現象ではなく、我々の営む日常で、常に起きている現象そのものの特性でもある。

3. 空間的オーケストレーションの内容

この技法で扱われる「空間的」とは、奏者と聞き手間の物理的な距離やそれによる音の遅延の差、音楽上

のコミュニケーションにおける障害などの、物理的な距離によって引き起こされる一連の現象を指している、したがってこの技法によるオーケストレーションは、一連の現象を音楽に転用する中で（空間的に）行われており、音楽における時間軸と実空間の物理的な距離の相互変換によって生まれる複雑なバリエーションの生成のために、その手順を内包した技法となっている。

3.1. 位相のチューニングの実態

奏者の演奏する周期を、演奏会場を音が伝播する時間から割り出すことで、音楽における時間軸と実空間における物理的な距離を、相互変換可能にする。この奏者の演奏する周期を、演奏会場の形や大きさからどのように定めるかによって作品の構造が変化し得る。そのため会場の形状や大きさと、それによって変化する演奏周期の計算方法が、実際の作品には記述されなければならない。この時行われる計算の結果を実際の演奏に適用することが、位相のチューニングの実態であり、この結果は作品が演奏される状況毎に異なるため、そのたびに計算され適用することが望ましい。この位相のチューニングによって最終的に算出された奏者の演奏する周期（時間間隔）を、基準ビートと呼ぶ。

3.2. モチーフの展開

音楽におけるモチーフとは、いくつかの特徴をもって展開される音形の最小単位のことである [3]。

空間的オーケストレーションの技法においても、モチーフは聴き手に知覚される音の時間的な前後関係を指すが、ここでは実空間の物理的な距離関係とも対応している。そのため、この技法におけるモチーフは、時間的な音の前後関係と実空間の物理的な距離関係の両方を指す。

モチーフの展開を含む様々なバリエーションの生成は、この技法の特性を踏まえて、明確に行われることが望ましい。そのため、幾何学上の定理や原理などを用いて、空間的に展開した時の対応関係が、聴き手の視覚上で理解されることは好ましい。

3.3. 完全リズムと不協和なりズム

空間的オーケストレーションでは、二人の奏者の音の遅延関係が、基準ビートの2等分、3等分、4等分...、 n 等分となると、基準ビートが均等に分割されていると聴き手に知覚されるリズムを完全リズムと呼ぶ。それ以外のリズムとして知覚できないもの（ずれにしか聞こえないような遅延関係）を不協和なりズムと呼ぶ。論理的には、完全リズムを無限に定義可能だが、作品ごとに扱う完全リズムは作曲者によって制限される。

不協和なリズムから完全リズムへ変化（奏者同士の距離が変化）することを、解決と呼び、曲の進行が解決によって行われることもある。二人以上の奏者の場合は、基準ビートとの関係をそれぞれの奏者の場合に分けて考え、完全リズムや不協和なリズムの組み合わせとして扱うことができる。

4. 空間的オーケストレーション作品 「円とピッケルの場合」

4.1. 「円とピッケルの場合」の形態

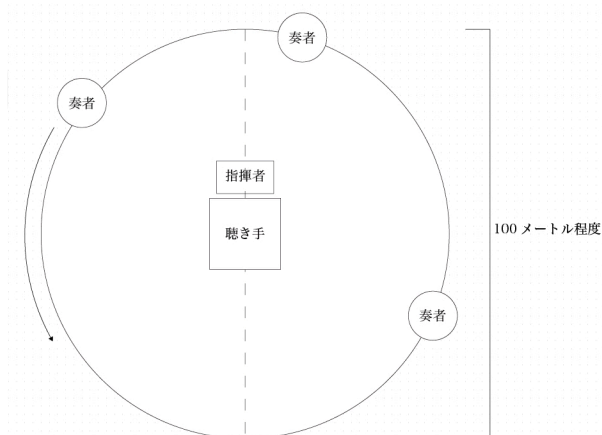


図 4. 演奏会場 略図



図 5. 実際の演奏の様子

図 4 のように地上のできる限り障害物のない、100メートル程度の大きさの円を演奏会場とする。三人の



図 6. 記録した映像とその展開線

奏者はそれぞれ異なる基本周波数を持つピッケルを一つずつ持ち、これをハンマーで叩いて演奏を行う、円の円周上で奏者は演奏し、円の中心付近で指揮者は指揮をする。

奏者は必ずしも式に合わせて演奏をしているわけではなく、曲の進行によって指揮に合わせてたり、他の奏者の演奏を聴き、それと同時に演奏をしたりする。奏者の位置やその移動、合わせる相手などはスコアに記されており、指揮者は基準となるテンポと曲の進行のタイミングを司る。

聴き手は、円の中心から任意の方向を向いて曲を鑑賞する。

アーカイブは、聴き手が鑑賞している状態が再現できるように、半球カメラを用いて行った（図5)(図6)。

4.2. 位相のチューニング方法

この作品では、音波が円（演奏会場）の直径の長さを往復する時に発生する遅延時間を、基準ビートとして設定する。

この基準ビートは、音速 1 と円の直径の長さによって可変である。実際の演奏では、音速が 334.54 m/s、円の直径は 70 m であったため、基準ビートを 418.48 msec 毎に 1 回の間隔（BPM = 143.36）に設定した。

4.3. 発信者と応答者

奏者は発信者と応答者に分かれて演奏を行う。発信者は指揮者が示す基本ビート毎に 1 回のテンポでピッケルを演奏する。応答者は、発信者の演奏を聴いて同

時に演奏をする。しかし発信者に合わせて同時に演奏を行う場合、奏者同士の物理的な距離による弊害によって、演奏を完全に同期することは難しい。そこで応答者は、発信者の演奏をもとに2回に1回のタイミングや、3回に1回のタイミングで演奏するようにして発信者のリズムを統合し、その間の間隔を補完することで同期を行う。この発信者と応答者の関係によって、表出するモチーフは複雑化する。

4.4. 「円とピッケルの場合」における完全リズムの制限

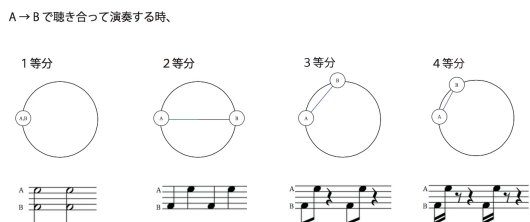


図7. 完全リズムとして扱うモチーフ一覧

完全リズムとして扱うモチーフを、図7のように制限する。便宜上、基本ビートを二分音符として表記している。

5. 曲中のモチーフの展開方法

BがAの音を聞いて演奏している時

Aの音の遅延 = OA 分の遅延

Bの音の遅延 = (AB + OB) 分の遅延

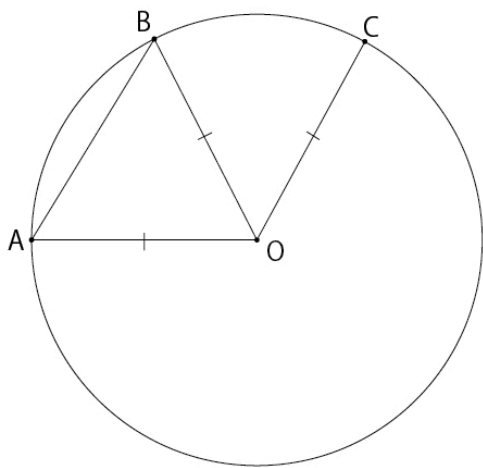


図8. 奏者同士の距離における対応関係の図

「円とピッケルの場合」は、二つの楽章から構成されている。

第一楽章では奏者同士の距離の変化によってモチーフの展開が行われ、第二楽章では、発信者と応答者の関係性の変化によってモチーフの展開が行われている。

この作品においては、離れた奏者同士が聞き合うことによって、音の遅延の差を生み出している。奏者全員が指揮者に合わせて演奏を行えば、奏者と聴き手の距離は常に一定(円の半径で)あるため、同時にしか知覚されない。しかし例えばこの図8のような対応関係に奏者がある場合、Aの演奏に合わせてBが演奏を行うとすると、実質両者は、AB間の距離分遅延して聞こえることになる。このように距離による音の遅延を通じて、奏者が他の奏者と聞き合いながら演奏することにより、聴き手が知覚する音の時間差を生み出している。

またこの作品において、前述の通り、奏者と聴き手の距離は常に等距離である、そのため、奏者同士の音の質を揃えることができ、純粋に距離から時間のみを変換する。

5.1. 第一楽章におけるモチーフの展開

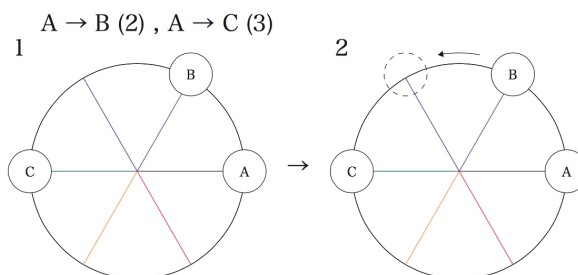


図9. スコアでの表記例

図9は実際のスコアでの表記例である。A,B,Cはそれぞれ奏者を示しており、奏者の移動は点線の円と矢印によって表されている。現在位置から(矢印の方向に沿って)波線の示す場所へ移動することで進行が行われる。ある地点からある地点への奏者の移動は、フェーズと呼ばれる番号で整理されて表記されている。

第一楽章は、4等分の完全リズム(AB間)と2等分の完全リズム(CA間)の組み合わせから始まり、奏者が移動することで、不協和なリズムを経るが、最終的に2等分の完全リズム(AB間)と4等分の完全リズム(CA間)の組み合わせに解決する。

この楽章では、BはAの2回に1回のリズムで、CはAの3回に1回のリズムで演奏を行っている。この発信者と応答者の関係を、スコアではA → B(2), A → C(3)というように表している。矢印の始点側が発信者で、矢印の指す方向が応答者とする。括弧の中の数字は、その応答者が発信者に合わせて何回に一回叩くかを表している。

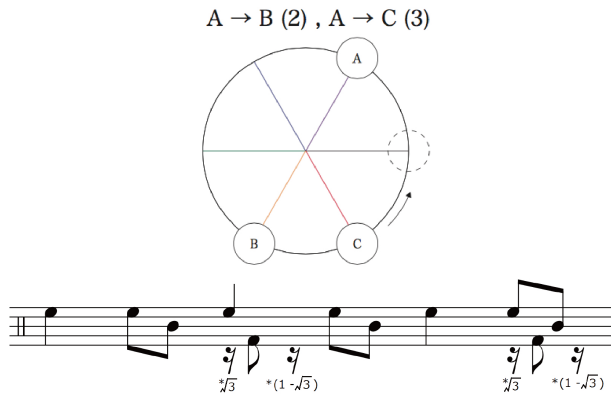


図 10. 第一楽章に現れるモチーフの抜粋

図 10 は第一楽章の曲中に現れるモチーフの一例である。上部は曲中の奏者の配置を、下部は発信者と応答者の関係によって聴き手に知覚されるリズムを五線譜で表わしている。音程の高い順に A,B,C の音を表している。

ここで重要だと思われるのは、 $A \rightarrow B$ (2), $A \rightarrow C$ (3) の関係において、AB 間は完全リズムであるので、8 分音符として知覚されるが、AC 間の距離は無理数となっており、AB 間の距離を 1 としたとき、AC 間の距離は $\sqrt{3}/2$ になる関係になっている。

C は基準ビートとなる A よりも、 $\sqrt{3}/2$ 倍の時間差で聴き手には知覚される。このタイミングは五線譜上の 16 分音符の下に表記された $\sqrt[3]{3}$ と $*(1-\sqrt{3})$ によって表記した。ここで示されているリズムは、聴き手が聴覚的に知覚するリズムであり、奏者が実際に演奏しているものを表すものではない。C の奏者は A の奏者のリズムに合わせて 3 回に 1 回叩いているだけである。

5.2. 第二楽章におけるモチーフの展開

この楽章では、発信者と応答者の関係性の変化によってモチーフの展開が行われている。図 11 は、左側の曲中の奏者の配置と、右側の発信者と応答者の関係によって聴き手に知覚されるリズムを五線譜で表したものである。このように発信者と応答者の関係性を変えるだけで、複雑なモチーフが展開され得ることがわかる。

6. 空間的オーケストレーションの意義

本論文では、筆者が考案した空間的オーケストレーションの技法と、これを用いた音楽について説明した。

この技法を用いることによって、人間の身体では限りなく演奏不可能なものを、原理的に単純な方法で演奏できるようになる点や、それらの複雑なリズムを、人間の聴覚に基づく時間感覚だけでなく奏者同士の距離

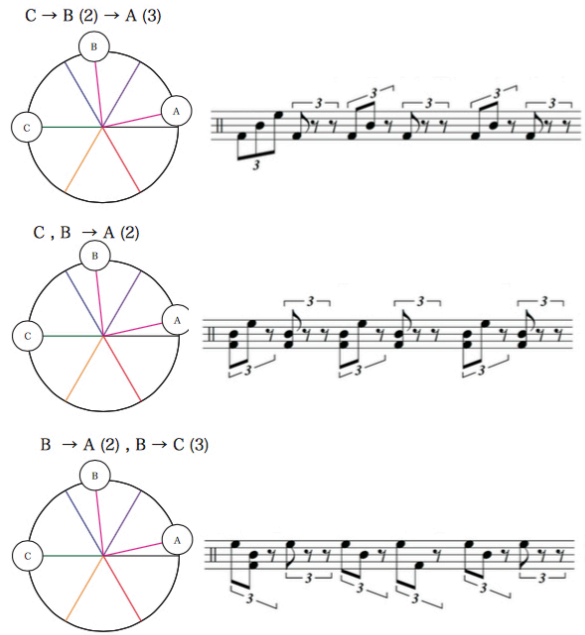


図 11. 第一楽章に現れるモチーフの抜粋

間隔によって視覚的に鑑賞できる点は、音楽的な体験において大きなメリットになるだろう。

一方で、空間的オーケストレーションの技法を用いた音楽は、技法の特性上、距離に隔たれた関係性の中で互いに合わせて演奏するという本質とする音楽であり、同時に、我々が知覚できないレベルで起こっている現象を、改めて表出させる音楽であるとも言える。

文字通り光の速さで情報が伝達される現代において、距離によって生じる様々な遅延は隠蔽され、克服されつつあるかのように錯覚されている。自分の知覚しているものすべてを、同時に起こっているものとして扱ってしまう考え方によって、距離に隔たれた関係性に内在していた様々なものが失われているのではないだろうか。それは単に手旗信号に代表されるような、知の喪失という意味ではなく、距離に対する考え方そのものの喪失である。

近い将来、人類が宇宙と対峙する時、光さえも遅延する長大な距離において、我々が失くし始めているものが重要な視点になりえるかもしれない。空間的オーケストレーションを扱う意義は、このような領域にあると、筆者は考えている。

7. 参考文献

- [1] 小泉 宣夫 「基礎音響・オーディオ学」, コロナ社, 2005.

- [2] チャールズ・E・スピークス, 荒井 隆行・菅原 勉
監訳「聴覚・音声科学のための音響学」, 2002.
- [3] 「新訂 標準音楽辞典」, 音楽之友社, 2008.
- [4] 星名定雄 「情報と通信の文化史」, 2006.

8. 著者プロフィール

佐藤 大海 (Hiroumi SATO)

1992年福島県生まれ。福島大学人間発達文化学類スポーツ芸術創造専攻音楽科作曲専攻卒業。情報科学芸術大学院大学 (IAMAS) 修士課程在籍中。作曲を嶋津武仁氏、三輪眞弘氏に師事。長大な距離による音の遅延を、器楽作品に転用した音楽を作曲している。

三輪眞弘 (Masahiro MIWA)

1958年東京生まれ。ベルリン芸術大学、ロベルト・シューマン音楽大学で作曲を学ぶ。アルゴリズムックコンポジションと呼ばれる手法で数多くの作品を発表。旧「方法主義」同人。「フォルマント兄弟」の兄。情報科学芸術大学院大学 (IAMAS) 教授