

創作ノート

春の変容

— 非線形写像を用いたモーツァルト弦楽四重奏曲 K.387 の音列の変換による
回想的作品

Transfiguration of spring

**— A reminiscence work by transforming the score of
Mozart String Quartet K.387 using nonlinear mapping.**

横山 真男

Masao YOKOYAMA

明星大学

Meisei University

概要

この作品は、マンデルブロー写像により作曲した弦楽四重奏曲である。マンデルブロー集合はもっとも有名でかつ美しい映像を描く非線形写像の一つである。有名なモーツァルトの楽曲をアルゴリズムで変形させて、その名曲の本来の美しい印象に沿った部分と、奇抜で非人間的な部分を融合させ、聴衆の思考に驚きや刺激、興奮といったものを与えることを狙いとして作曲した。この作品では、モーツァルトの K387「春」の 1 楽章の MIDI データからコンピュータ・プログラムで非線形写像の計算をして音符のタイミング・ピッチ・長さなどを決定して作曲した。マンデルブロー集合における初期パラメータを変更することで無数に曲のバリエーションを作ることができるため、この作品のために何度も異なるパラメータで計算し、その中から吟味して適切な部分を選択し、アーティキュレーションや強弱、テンポ、特殊奏法を加えて完成させた。

演奏時間：約 10 分 編成：弦楽四重奏

This string quartet piece is composed by using the Mandelbrot set, which is one of the most popular nonlinear mappings which depicts very beautiful images. Transfiguring the beautiful and popular score of string quartet “Spring” by Mozart using the interesting mathematical algorithm, I composed this work aiming to fuse the beautiful and structural impression of the original masterpiece with a peculiar and unusual impression induced by the mathematical transfiguration. I hope this piece will give the audience surprises, stimulus, excitement, and so on. For the transfiguration of original score, I developed a computer

program which calculates the nonlinear mapping. The timing, pitch, and duration of the notes are determined using the program from the MIDI data of Mozart’s quartet. The output values (notes) which are calculated recursively depend on the initial parameters in the Mandelbrot set. I executed the program to generate the short pieces many times while changing the initial parameters, selected the appropriate notes from them carefully and added the articulation, tempo, dynamics and special techniques to the notes.

Duration: 10 minutes, Instrumentation : String Quartet

1. はじめに

コンピュータ・プログラムを利用した作曲技法はアルゴリズム作曲と呼ばれ、イリノイ大学のヒラーとアイザックソンによるイリアック組曲 (Hiller and Isaacson) や、ヤニス・クセナキスによる IBM コンピュータをつかった『ST/10-1, 080262』などが歴史的に有名である (端山 1983)。この作品も、そのような計算によって音列を決定するという手法ではあるが、ここではある楽曲に写像 (mapping) という数学的変換により新たな楽曲の生成を試みたものである。

コンピュータによる楽曲制作は、無から音楽を出力する自動作曲や既存曲への和声付けや伴奏付与といった自動編曲が研究されてきた (小坂 2000、深山 2013)。数学やコンピュータによる楽曲の生成は非線形関数を用いた作曲 (カオスやフラクタルなど) が研究されてきたが (Coca 2010、Langston 1989)、このような手法は非人間的な創作手法だから人間の感情や情緒に結び

つかないとして嫌われる節もあるが、その一方で人間が思いつかない音列の生成が期待される。

もちろん、その人智の想像を超えた音列を聞いて面白いと思うか、聞いていてメロディがなく辛いだけを感じるかは、その人それぞれの好みである。筆者は、前者の立場に立ち、ここでは美しく人気のある楽曲を、アルゴリズムで音列の再配置（変容と表現した）させて、その名曲の本来の美しい印象に沿った部分と奇抜で非人間的な部分を融合させ、聴衆の思考に驚きや刺激、興奮といったものを与えることを狙いとしている。この発想は、スペインのサルヴァトーレ・ダリの絵画（『ミレーの晩鐘の考古学的回想』図1）から得たものである。ミレーの代表作である『晩鐘』のパロディとも崇拝ともいえるダリならではのアレンジでいくつもの『晩鐘』の“変奏曲”を描いている。



図1: ダリ『ミレーの晩鐘の考古学的回想』（タッシュェン、ニュー・ベーシック・アート・シリーズより）。

さて、この作品では、皆に馴染みのある名曲をコンピュータ・プログラムのフィルターに掛けて、そこから生成された音列を変奏曲の形式で作曲を試みた。コンピュータ・プログラムで実装した数学関数はマンデルブロー写像で、変換元の楽曲はモーツァルトのK.387の弦楽四重奏曲である（第14番、『春』とも呼ばれている）。マンデルブロー集合はもっとも有名でかつ美しい映像を描く非線形写像・フラクタルの一つである。

ただし、今回素材として使ったモーツァルトの作品や弦楽四重奏に固執はなく、この手法はどの過去の名曲にも応用できる。この作品では、モーツァルトのK.387「春」の1楽章のMIDIデータから自作のプログラムで非線形写像の計算をして音符のタイミング・ピッチ・長さを決定して作曲した。しかし、自動生成した音符をそのまま使うのではない。私の研究対象や作曲スタイルの一つにアルゴリズム作曲があるが、常々、単なる機械的な作品にならないように気を配っている。なぜなら、本作品はコンピュータに再生させるのではな

く、生身の人間が音楽を演奏するという条件の下で制作したからである。コンピュータが電子音で奏でるなら、いくらでも音の跳躍や微分音があっても良いが、人間が奏するには限界がある。よって、奏者が辟易するような作品ではなく、あくまでも機械が作り出した異世界の音楽と演奏者の心境のはざまを考えるという立場で制作した（作曲者自身がプレイヤーでもあるからという背景もある）。すなわち、五線譜上に記譜ができ、演奏が極度に困難でない音列になるようにプログラムを作成した。

2. 非線形写像によるスコアの変換

非線形関数は時にカオスの振る舞いをする。ここでいうカオスは、俗に会話で使われる混沌ではなく、力学的なカオスの初期値鋭敏性を指し、関数の初期値が違えばその解は必ず異なる値となり、わずかな誤差が時間経過とともに大きな違う結果を生む。よくあるたとえば、蝶が羽ばたけば地球の裏側で嵐が起きるといった表現がされる。

カオス関数を使うメリットは、音列の生成が無限に可能ということが挙げられる。ある一つの旋律を変換するときに設定するパラメータをちょっと変えるだけで無限の数の新しい旋律が生成されるのである。それらからどれを選択するかは、作曲家の感性でも良いし、何かの評価関数を用いても良いし、強化学習による判定をしても良いであろう。

今回の音列の変換においては、フラクタル幾何学の中でも有名なマンデルブロー写像を用いることにした。他にもカオスを生成する関数は、ローレンツモデル、ロジスティクス写像などが有名である。筆者は、以前にロジスティクス写像で自動生成された曲を作成したこともあるが、この写像はある程度の周期性をもった値を出力する。一方、マンデルブロー集合を求める写像の関数は初期値の設定範囲によって多様なふるまいを見せる。

図2に示すように、青地に白の線で示しているのがマンデルブロー集合の範囲である（複素平面である）。その内部の点をいくつか取り、 $n=10$ 回分の写像をした出力値の遷移を色分けして示している。回転しているのもあれば三角形は星形に近い動きをしていることが分かり、生成される音列の多様性が期待できることがわかる。

本作品における、音列の生成においては、複素平面上のマンデルブロー集合の内部の点において、初期値を変えて、生成される音列の音高や音価、旋律の長さ、ピッチ範囲など多くのバリエーションを作る。何度も異なるパラメータで計算し、その中から作曲者自身が気に入った部分をかき集めて、アーティキュレーションや強弱、テンポなどを吟味して再構成して完成させた。

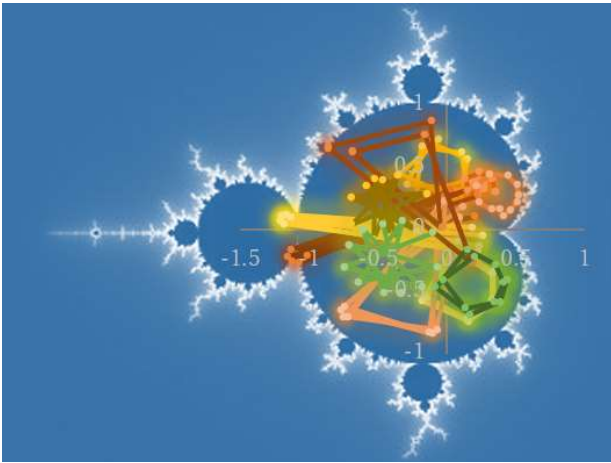


図 2: Mandelbrot set and mapped values using original program.

評価関数や被験者による評価で生成音列の選択を決めても良いが、客観的な評価が作品の出来に良い結果を与えるかどうかとも疑念があることであるので、今回は作曲者の感性で音列を選定し全体の構成をまとめた。

3. マンデルブロー写像の変換プログラム

マンデルブロー写像の変換の漸化式を次に示す。

$$\begin{aligned}
 Z_0, \text{real} &= C_{\text{real}} \\
 Z_0, \text{img} &= C_{\text{img}} \\
 Z_n, \text{real} &= (Z_{n-1}, \text{real})^2 - (Z_{n-1}, \text{img})^2 + C_{\text{real}} \\
 Z_n, \text{img} &= 2 Z_{n-1}, \text{real} Z_{n-1}, \text{img} + C_{\text{img}}
 \end{aligned}$$

図 3: Equations of Mandelbrot's mapping.

ここで、初期値を z_0 とし、 n 番目の出力値を z_n とする（いずれも複素数）。 c は変換のためのパラメータ値と初期値でこれはマンデルブロー集合に含まれる値でなくてはならない。

また、図 4 に上式を計算するプログラム（c 言語）を示す。

```

// マンデルブロー関数の次の z 値を求める
void calc_next_z(float z_real, float z_img,
                float c_real, float c_img,
                float *nz_real, float *nz_img)
{
    *nz_real = z_real * z_real - z_img * z_img + c_real;
    *nz_img = 2 * z_real * z_img + c_img;
}
    
```

図 4: Program for Mandelbrot mapping.

また、プログラムは全体で以下の 3つのブロックからなる。

- (1). 素材となる MIDI を解析して、音高 (MIDI ナンバー)、音価、タイミング、パートをデータとして読み込む (処理 1)。
- (2). 次に、上記のマンデルブロー写像の計算をする (処理 2)。ここで、変換する素材の区間および出力する長さ、音価の平均値、音高の平均値を設定する。変換は、音高だけ移動や、タイミングだけ移動などのように取捨選択できるようにしている。音高は、中心値を原点として、マンデルブロー写像の虚数値と音高範囲を乗算して MIDI ノートナンバーを計算する。音のタイミングは同様に実数値と時間長を乗算してミリ秒で計算する。音価は、曲想に合わせて、音価の中心値とマンデルブロー写像で算出された値の長さ (絶対値) を乗算して決定する。
- (3). そして、最後にまた MIDI データ (イベント) に変換してスタンダード MIDI フォーマットでファイルに出力する (処理 3)。

ここで、出力する音列の範囲や音高などはプログラムで調節して各パートの音域に合わせている。また、音列の時間幅や各音の音価も作りたい音楽に合わせて調整できる。

4. 弦楽四重奏への適用

図 2 にマンデルブロー写像により、音列を変換した例を示す。変換の素材にはモーツァルトの弦楽四重奏曲 K.387 より 1 楽章の MIDI データである。もちろん、素材はどんな曲でも良く、ベートーヴェンの交響曲でもビートルズのようなバンドでも、ソーラン節のような邦楽でも可能である。ただ、今回は弦楽四重奏というテーマの縛りもあることから、そのジャンルで比較的明るく親しまれていて聞いたことのある楽曲から選んだ。

最初の数小節を変換した例を図 5 に示す。1 小節単位で処理を施しているが、緑の枠のように移動しただけ、もしくはリズムに少しの変化を加えた程度なら、元の音型がどう変化したか分かる。しかし、他の小節は音高もリズムも変換しているのだが、かなり元の音型が想像できなくなっている。小節間や拍間も入れ替わりをするとほとんど原型を感じることはできない。なお、図下にあるように、弦楽器にとっては演奏が困難な重音や複雑な連符や音価の短い音については、演奏が可能な程度に音を適宜まびいたり簡略化したりすることにした。

本作品の構成および概要を下記に述べる。スコアに示すように単に音を並べて演奏するだけでなく、装飾やスラー、表情記号、強弱記号を付加している。全体と

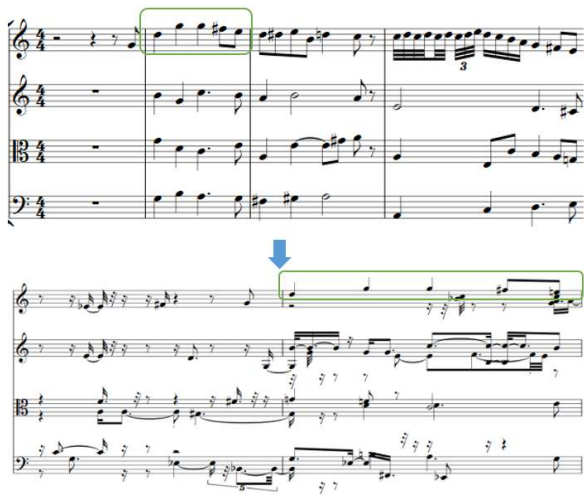


図 5: Original music score “Spring quartet” by Mozart and the transfigured score by the computer program.

して、前述のダリが変容した絵のように、この曲は一種のモーツァルトの四重奏のパロディ的編曲でもある。

I. イントロダクション- Largo 音を引き延ばした Largo.

素材は伸ばされ複数の変換された音符が交差ししており、原型を見つけるのは難しい。(図 6)

II. 変容 1 - Allegro vivace assai 素材の小節とリズムの変換を行った場合、比較的素材の原型が聞こえる。全く元の音楽が聞こえないよりは、少し原型の音楽が分かるようにした。素材の音楽の生き生きとした楽想を残している。(図 7)

III. 変容 2 - Lento Lamentoso 第二主題の前の経過区間を遅いテンポと音価を長くして変換したもの。変換後にパッセージの繰返しを加えてみた。(図 8)

IV. 変容 3 - Allegro tempo giusto 同じく第二主題の開始前後の区間を短い音価で表したもの。(図 9)

V. 変容 4 - Allegro assai 原曲の提示部の最後を音高の変化とリズムの若干の変化にとどめ、原曲が感じられるようにした。(図 10)

VI. 変容 5 - Grave - Lento 展開部の前半について拍間や小節の移動による変換を行った。音列の移動により重なるため、重音が多くなっている。後半はさらに長く引き伸ばして変換し、フラジオレットなどの奏法を使っている。(図 11)

VII. 変容 6 Scherzo Allegro ma non troppo Poco meno allegro ピチカートにおける特殊奏法をいくつか加えて展開部を変形させた。3種類の変換を連続的に演奏する。(図 12)

VIII. 変容 7 - Andante 16分音符を基本として第二主題の断片的な変換。(図 13)

IX. 終曲 原曲の第一楽章の終曲部の変換。リズムの変

換や音列の重なりを押さえ、音高の変換を中心にして原曲の面影を残すようにした。最後は全パート C 音で締めくり、モーツァルトの作品のパロディ曲であったことが感じられるように意図した。(図 14)



図 6: I. Introduction



図 7: II. Transfiguration 1



図 8: III. Transfiguration 2

5. 議論

本作品について試奏による奏者の評価を行った。表 1 に示すように、原曲との違い、難易度、受容、印象、などなど自由に感想を記入してもらった。

アンケート (1~5 点) に回答してもらった演奏者は音楽愛好家による弦楽四重奏 (1 組) で、現代音楽には馴染みがない奏者たちである (演奏歴は長くモーツァルトの弦楽四重奏曲は良く知っている)。Table 1 をみると、やはり現代音楽の譜面の見た目と不協和音の連続に、インパクトや興味は高いが、難易度は高く、受け入れにくさがあるようであった。原曲を知っているからであろうが、モーツァルトらしさは見当たらない別物として写ったようであった。これは作曲者としては意図したところであり、時々、原曲がうっすら見え隠れする程度が、奏者や聴衆側としての面白みになる

項目	評価値 (平均)
原曲との違い(違う=5)	4.50
難易度(高い=5)	4.50
受け入れやすさ(受け入れられる=5)	3.25
興味・面白さ (面白い=5)	3.75
印象・インパクト (高い=5)	4.00

表 1: アンケート結果



図 9: IV. Transfiguration 3



図 10: V. Transfiguration 4



図 11: VI. Transfiguration 5

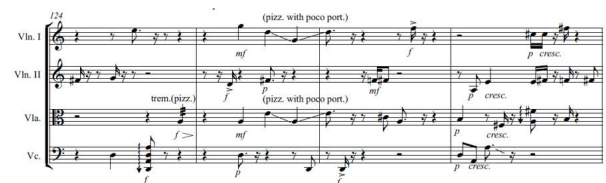


図 12: VII. Transfiguration 6

と思う。また、試演後の感想としては、モーツァルトの片鱗がなかなか見つからないが別物の曲としては面白い、意外とアンサンブルをるところがあって楽しい、といった意見があった。

本研究では、現代音楽の専門奏者でない、ごく普通のクラシックファンにはどのように感じるのかに興味がある。これまで文献に挙げたように自動作曲の手法の提案がなされコンサートで演奏されてきたが、ここでは現代音楽を専門とする演奏者と聴衆がほとんどで、そのほかのいわゆるクラシックファンには敬遠されがちである。著者としては、もっと現代音楽の聴衆の範囲が広まってほしいところで、本作品も、愛好家には人気のあるモーツァルトの弦楽四重奏曲を題材にし、出力された作品もクラシック音楽奏者にも難解ではない範囲でとどめたつもりである (B. Ferneyhough の作品よりもずっとシンプルだし、B. Bartok の 6 つの

四重奏よりも弾きやすいと思われる)。このような難易度の調整は、プログラムのパラメータを変更することと、出力した MIDI データから整形するときどこまで簡略化するか、特殊奏法をどれだけ加えるかといった加減で可能である。

ただ、こういったプログラムの出力した音列の調整であるが、せっかくコンピュータが人間では想定しないような音列を出力したものを、わざわざ人間的な範囲に戻りさせる処置ではないかという指摘がある。たしかに、それも一理あり、筆者も過去には出力のまま作品にしたこともあるが、電子楽器なら忠実に再生できるので自動作曲の真価を発揮できる。ただ、人間が演奏するとなるとどんなに譜面に忠実に弾こうとしてもそこには限界があり、やっぱり人間的な要素が演奏に現れてしまう。つまり、複雑さや厳密さを意図するコンピュータによる再生を想定して作ればよく、



図 13: VIII. Transfiguration 7



図 14: IV. Finale

逆に、人による演奏であれば、奏者が音楽性を表現できる余地があるように、出力された音列をベースにして調整・加工したほうが奏者にとっては弾き甲斐があるのではないか。

そして、作曲家としてのアイデンティティーを作品にどう含ませるのかという指摘も考えられる。例えば、筆者は日本人であるので、素材となる曲は西洋のモーツァルトではなく、日本の民謡や邦楽を使った方が良いのかもしれない。次は、雅楽の管弦曲からの作曲を試みたい。

6. おわりに

非線形写像であるマンデルブロー写像を用いて、楽曲を再構成するコンピュータ・プログラムを作成し、モーツァルトの弦楽四重奏曲を素材として新たな楽曲を生成した。ただし、原曲の要素がある程度想像でき、実際に奏者が演奏できるように加工をした。弦楽四重奏の試奏を行い、そのインタビュー結果と考察について述べた。

7. 参考文献

- 端山貢明. (1983). 芸術と技術. 精密機械, 49(1), 28-33.
- 小坂直敏, 金子仁美. (2000). コンピュータによる新しい音楽の創造. 電気学会誌, 120(1), 23-26.
- 深山寛, 中妻啓, 酒向慎司, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹. (2013). 音楽要素の分解再構成に基づく日本語歌詞からの旋律自動作曲. 情報処理学会論文誌, 54(5), 1709-1720.

Coca, A. E., Tost, G. O., and Zhao, L. (2010). Characterizing chaotic melodies in automatic music composition. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 20(3), 033125.

Langston, P. (1989). Six techniques for algorithmic music composition. In *Proceedings of the International Computer Music Conference (Vol. 60, p. 59)*. Citeseer.

8. 著者プロフィール

横山 真男 (Masao YOKOYAMA)

1973年広島生まれ。東京と埼玉で育つ。早稲田大学で情報学の修士を経て東洋大学で工学博士を取得。作曲を久留智久氏に師事。現在、東京多摩地区にある明星大学の教授として、コンピュータや数理、AIを取り入れた音楽やマルチメディア作品の制作と研究に従事している。作品はユニバーサル(ウィーン)、ムジカジョイア(チェコ)、ヤマハ、ホッタガクフ(東京)などから出版され、これまでにアマチュアからプロフェッショナルまで幅広く演奏されている。また、10才よりチェロを始めヤマハPMSで講師を務めたのち現在ではチェロの指導や演奏、音楽祭のイベント企画等にも従事している。



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。