

マルコフ連鎖を用いた自動作曲機の作成

著者 石田 雄登

指導教員 小松 貴大

1 序論

リラックス音楽はクラシック音楽に多いとされ、その多くは $1/f$ ゆらぎを持っている。しかし、ヒトはクラシックに限らず、ジャズやロックなど、好みの音楽を聞いたときのリラックス効果がより高いという報告がある [1]。

以上のことから、好みの音楽の特徴（好みの旋律）を持ち、かつその曲が $1/f$ ゆらぎを持っていれば、よりリラックス効果が高くなるのではないかと考えられる。そこで、本研究では曲の旋律を好みの特徴として抽出し、それを用いて自動作曲する。さらに作成された曲を解析し、 $1/f$ ゆらぎがあらわれるかどうかについて調査した。

2 自動作曲アルゴリズム

自動作曲とはすなわちコンピュータに与えたアルゴリズムから作曲を行うことである。本研究では西洋音楽における音楽の三要素である「旋律」、「律動」、「和声」を満たした楽曲を作成することを作曲とする。既存の楽曲の楽譜から、内容を所定の書式でテキストデータ化し、N-gram解析を行い、マルコフ連鎖によって旋律を得る。さらに、旋律を元に、強拍依存法と音楽理論によって和音を取り入れることで和音を導入し、乱数で生成したパターンで律動を取り入れた曲を作成し、MIDI形式で出力する自動作曲機を作成した。

2.1 N-gram 解析（旋律の特徴抽出）

N-gram解析は、自然言語で記述された文章の特徴を定量的に把握するために開発された解析手法である。文章を任意のN文字ずつに区切り、どのような文字の並びが何回出現したかを数えることで、文章の特徴を解析する。本研究では音符情報を文字列と見立てて3-gramを用いる。

2.2 マルコフ連鎖（旋律の自動生成）

マルコフ連鎖は、マルコフ過程のうち、とりうる状態が離散的なものをいう。ある事象が常にその直近の事象に影響を受けて確率的に生じるという考え方である。次の状態が現在を含めた過去N個の状態履歴に依存して決まる場合はN重マルコフ連鎖という。Fig 1に、マルコフ連鎖による自動旋律生成の概略図を示す。

2.3 強拍依存法（和音の決定方法）

現在最も一般的な拍子は4/4拍子であるため、本研究でも4/4拍子の曲を扱う。4/4拍子では、1拍目と3拍目にアクセントがあり、それぞれ強拍と中強拍と呼ばれる。2拍目と4拍目はアクセントが弱いので弱拍と呼ばれる。ここで、アクセントとは人の心理にとって強く感じるという意味である。そこで、以下の法則より和音を決定する方法を強拍依存法とする。

- ① 強拍と中強拍に現れた音名を含む和音がある場合はその和音を選択する。
- ② ①が無い場合、この小節を2/4拍子2つに分けて考え

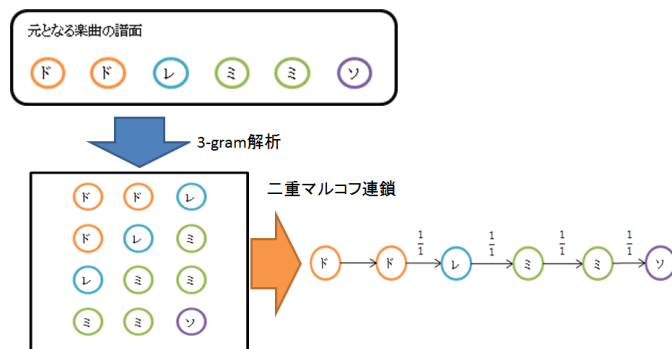


Fig 1: マルコフ連鎖による自動旋律生成の概略図

る。この場合それぞれの強拍及び弱拍に出現する音名を構成音に含む和音をその小節の和音と決定する。

- ③ ②が無い場合、強拍に出現する音名を含む和音をその小節の和音と決定する。



Fig 2: ハ長調の童謡「きらきら星」の旋律の一部

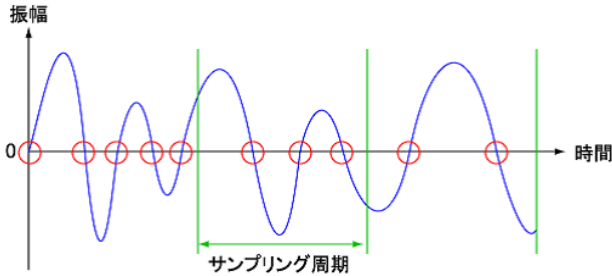
Fig 2の例では、強拍と中強拍に'ド'と'ソ'が現れている。ハ長調では'ド'と'ソ'を構成音にもつ和音'C'がある為、この場合和音は'C'と決定される。

3 $1/f$ ゆらぎ

$1/f$ ゆらぎとは、ゆらぎの周波数を f とすると、パワースペクトルが f に反比例するゆらぎのことである。ここで、ゆらぎの周波数とはある物理量が時間とともにどのくらいの周期で変化しているかを表している。 $1/f$ ゆらぎを持つ楽曲は人に対してリラックス効果があるとされているが、そのメカニズムに関しては科学的には立証されていない。しかし、多くの論文で $1/f$ ゆらぎを持つ楽曲のリラックス効果について検証がなされており、一般に心地よいとされる音に $1/f$ ゆらぎが多いこと [2] や $1/f$ ゆらぎに近い楽曲を人間に提示した場合にリラックス状態を促す α 波含有量の増加が大きい事が認められている [3]。そこで、本研究では自動作曲でリラックス音楽とされる $1/f$ ゆらぎを持つ楽曲を作曲する。

Fig 3のように入力された音楽データをサンプリング周期25[msec]ごとに区切り、ゼロクロス法で区間周波数を算出する。これにより音楽の周波数がどのような変化をしているかを表すデータが得られる。得られた周波数の変化デー

タをフーリエ解析することで、スペクトルが得られる。このスペクトルの回帰直線を最小二乗法より求め、傾きを調べる。この傾きが 1 に近いほど、 $1/f$ ゆらぎに近い揺らぎを持つという事になる。本研究では上記の解析を行うために「ゆらぎアナライザー」を使用する。



$$\text{平均周波数(Hz)} = \frac{1}{\text{サンプリング周期}} \times \frac{\text{ゼロクロスした回数}}{2}$$

Fig 3: ゼロクロス法による区間平均周波数の算出法

4 研究成果

本研究で作成した楽曲が、マルコフ連鎖によって作曲されているかを、3-gram 解析を用いて検証した。Fig 4 は原曲と自動作曲によって作成された曲を 3-gram 解析し、出現した各要素の出現確率を比較した棒グラフである。

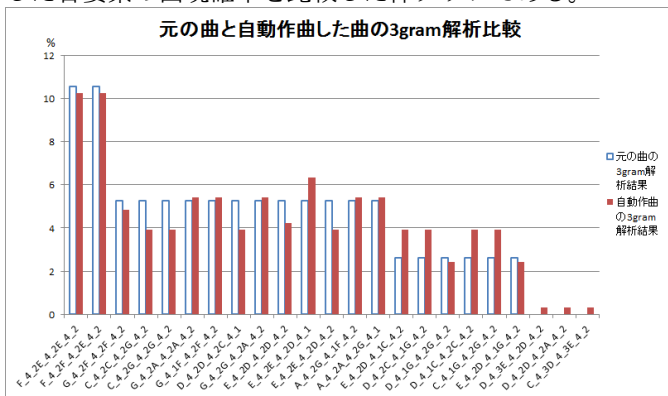


Fig 4: 3-gram 解析結果の比較

また、本研究では、 $1/f$ ゆらぎを持つ曲を作成することが目的である為、どのような特徴を持つ曲を入力曲にする必要があるのかを調査した。対数グラフにおける音のゆらぎの近似直線の傾きの大きさを λ とする。 λ 値が 1 に近い傾きを持つ楽曲と、 λ 値が 1 から離れた傾きを持つ楽曲とを用いて実行結果を比較し、自動作曲の結果が元の曲のゆらぎによる影響を受けるかを検証した。検証ではハ長調の楽曲に統一し、開始音を固定した。作成する楽曲の長さは、長くするほど長い周期のゆらぎが発生しやすくなり、回帰直線の傾きに影響を及ぼす。そこで、1分と2分の長さで自動作曲を行い、作成した曲の長さごとの曲のゆらぎの傾きを Tab 1 の表にした。使用した楽曲に関しては以下に記載する。

楽曲 1: 「カノン」パッヘルベル作曲

リラックス音楽として用いられるこの曲は λ 値が 0.999 と非常に 1 に近い。曲全体の旋律を 3-gram 解析するのではなく、特徴フレーズ 17 小節分の旋律のみを 3-gram 解析して自動作曲を 10 回行った。解析した旋律の総音符数は 151 個である。

楽曲 2: 「天国と地獄」ジャック・オッフエンバック

こちらは、 λ 値が小さい曲、つまり周期の長い揺らぎと短い揺らぎの現れ方にあまり差が無い曲である。特徴フレーズ 27 小節分の旋律のみを 3-gram 解析して自動作曲を 10 回行った。解析した旋律の総音符数は 164 個である。

5 結論

Fig 4 に示した元の曲の 3-gram と自動作曲した曲の 3-gram の出現確率に対して Paired t 検定を行った結果、p 値は 1 となり、有意差は認められなかった。よって、二重マルコフ連鎖によって原曲の特徴をとらえた旋律を生成できていると言える。

Tab 1 に示す $1/f$ ゆらぎの解析では、原曲にカノンを用いた場合の 1 分の曲で λ 値 0.981 と、 $1/f$ に近いゆらぎを持つ曲が作成できたことが確認できる。また、カノンから自動作曲した 1 分間の曲の 10 曲分の λ 値と「天国と地獄」から自動作曲した 1 分間の曲の 10 曲分の λ 値に対して二標本 t 検定を行った。結果、p 値は 0.05 より小さくなり、有意水準 5 パーセントにおいて有意差が認められた。同様の検定を 2 分で自動作曲した曲に対しても行ったところ、こちらも有意水準 5 パーセントにおいて有意差が認められた。よって天国と地獄を原曲にした場合よりも λ 値が 1 に近いカノンを原曲にした方がより $1/f$ に近いゆらぎをもつ曲を自動作曲出来たと言える。これにより、自動作曲によって作曲された曲の λ 値は、元の曲の λ 値に依存する可能性が示唆された。

Tab 1: 各曲における回帰直線の傾き (λ 値)

曲名	カノン(原曲)	自動作曲		天国と地獄(原曲)	自動作曲		
	曲の時間	1分11秒	1分	2分	2分16秒	1分	2分
回帰直線の傾き(負方向)	0.999		0.981	0.817	0.557	0.671	0.759
			0.853	0.86		0.636	0.606
			0.85	0.796		0.621	0.767
			0.817	0.593		0.747	0.738
			0.826	0.792		0.774	0.678
			0.945	0.663		0.371	0.716
			0.91	0.836		0.59	0.75
			0.88	0.947		0.407	0.763
			0.841	0.567		0.659	0.863
			0.928	0.768		0.668	0.7
平均	0.999	0.8831	0.7639	0.557	0.6144	0.734	

参考文献

- [1] 内藤正智, "音楽聴取後の感情変化についての研究", 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要 No.7, pp441-450(2006)
- [2] 中山彰, 林昭博, "音の $1/f$ ゆらぎに関する研究", 神戸市立工業高等専門学校研究紀要 1996-02-29, No34, pp43-48
- [3] 橋本恵理子, 山崎憲, 田村治美, "音楽のゆらぎが人間に与えるリラックス効果", 日本大学生産工学部第 44 回学術講演会講演概要, 2011-12-3, pp213-216]