

# コンドラトフ人工賛美歌の音楽性分析

早田 和弥

多重マルコフモデルを基にコンドラトフにより生成された人工賛美歌を、統計物理(状態間遷移の動力学)+科学的美学の立場から解析している。その結果、多重度の増加と共に、曲の特徴は次第に「自然な音楽」のそれに漸近してくることが明らかになった。この事実は、時系列データの音楽性分析に対する当該方法論とその描像(緊張と調和の交換と均衡)の妥当性を支持するものである。

筆者は、統計物理並びに科学的美学の立場から、独自の方法論を駆使して時系列データに埋め込まれた音楽性の分析に取り組んでいる。これまで、『般若心経』や『観音経』の様な経文をはじめ、名称連鎖や物語巻名などの仮名/漢字ストリング一般を対象にして、時系列頻度データに内在する統計的特徴とそれに起因する音楽性を明らかにしてきた(早田, 1997, 1998 a-d)。本論文では、多重マルコフモデルに基づいてコンドラトフによって生成された人工賛美歌<sup>(1)</sup>(КОНДРАТОВ, 1963=1964:159-162; 川野, 1982:201)に対して、同様の解析を試みた結果を述べる。ここに多重マルコフモデルとは、実際の賛美歌の統計情報を基に、そこでの音符の多重結合の遷移確率行列を作り、最終的にモンテ・カルロ法を適用して、確率的に人工的な賛美歌を生成する数理模型のことを指す。今、マルコフモデルの連結度を  $k$  ( $k$  は自然数) とすると、 $k-1$  は当該情報源の記憶の次数を表す。即ち、 $k$  が大きい程より過去の記憶を考慮していることを意味する。又、 $k=0$  は記憶がない情報源を表す。このモデルは、人工英文の生成を目的にシャノンにより採用されたものと基本的

に同様のものである。但し、コンドラトフはシャノンよりも  $k$  を大きく設定し、人工賛美歌に自然賛美歌の音楽的特徴を忠実に反映することを試みた。本研究の目的は、筆者の方法によりこれらの人工賛美歌を解析し、次数  $k$  の増加に伴う音楽性の創発過程を考察することにある。

本論文において解析の対象とする人工賛美歌を構成する音符のピッチ(音の高さ)の時間発展を図1に示す。ここに  $y, n$  はそれぞれ音符のピッチ、時点を表す。ピッチの基準( $y=0$ )は基音ドに設定した。即ちド・レ・ミ・ファ・ソ・ラ・シ・ドなる音階は、それぞれ  $y=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  に対応している。図1には4種類( $k=0, 2, 4, 6$ )の近似度に対する結果を示しているが、コンドラトフはこれらの他に  $k=8$  の賛美歌についても報告している。しかしながら、他の4種類のものが9小節からなっているのに対し、 $k=8$  のものは僅か5小節の長さしかない。この理由により、本論文においては  $k=8$  の曲は解析対象から除外している。曲に付随した統計データとして、図1に示したピッチ(音符の高さ)の他にデュレーション(音符の長さ)があるが、当該人工賛美歌で使用されている

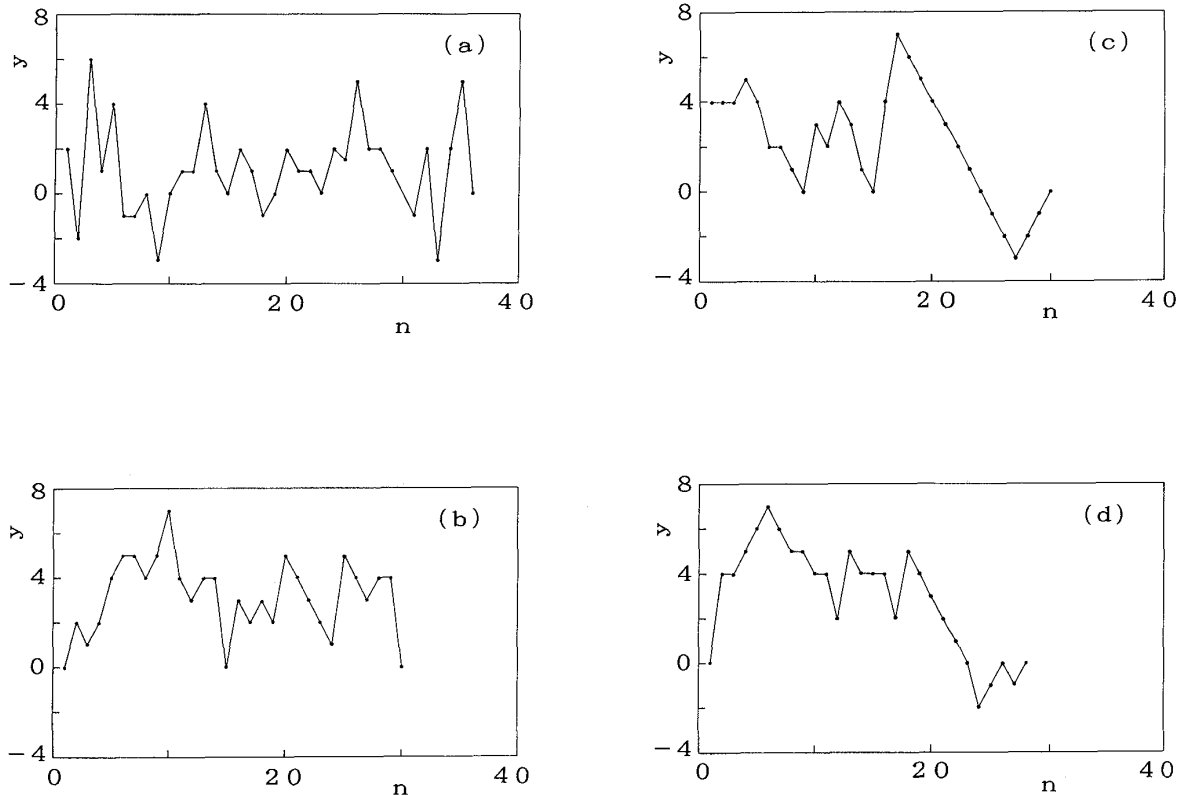


図1 コンドラトフにより作曲された人工賛美歌の音階  
(a)  $k=0$  (b)  $k=2$  (c)  $k=4$  (d)  $k=6$

音符の種類は2～4程度であり、音高数(7～11)に比べ大幅に少ない。このことは当該賛美歌の特徴を律する統計データは音符のピッチであることを意味している。以上の理由により、本論文では統計データとしてピッチを採用した。

図1(a)～(d)の分析結果をそれぞれ図2(a)～(d)に示す。ここでは、人工賛美歌の音階が織りなす非線形動力学を調べる為、各ピッチの出現頻度 $z$ の時間発展を追跡している。但し、図2では、図1の各曲を3回繰り返し演奏した場合、即ち1番から3番まで連続演奏した場合を想定している。ここに縦軸 $|r|$  ( $0 \leq |r| \leq 1$ )は、 $z$ を順序統計量の形に変換したもの( $z$  vs.  $x$ , ここに $x$ は頻度順位を表す)を対数分布( $z$  vs.  $\log x$ ; 実線)並びに指数分布( $\log z$  vs.  $x$ ; 破線)へ適合した際の適合度を表す。図2にプロットした各軌道( $|r|_{LG}$  vs.  $n$ ,  $|r|_{EX}$  vs.  $n$ )並びにこれら

の相互関係に注目すると、次の様な特徴を挙げる事ができる。

- ①マルコフモデルの近似度 $k$ の増加と共に、軌道の変動が次第に平滑化され、且つ両軌道共位置が高くなる(適合度 $|r|$ の値が1に近づく)傾向を示す。
- ② $k=0$ の場合、他の3つの場合( $k=2, 4, 6$ )に比べて軌道の振幅の大きさが際立って大きい。
- ③ $k \neq 0$ の場合、 $k$ が比較的小さいとき( $k=2$ ; 単純マルコフ)はほぼ全領域にわたり $|r|_{LG} > |r|_{EX}$ の関係を満たしているが、 $k$ の増加と共に両軌道は互いに接近する様になる。特に $k=6$ の場合には、両軌道はあたかも絡み合った紐の様な状態になっており、両軌道の間の大小関係は大域的な意味で同定不可能になっている。

図2において見られるこれらの特徴の意味

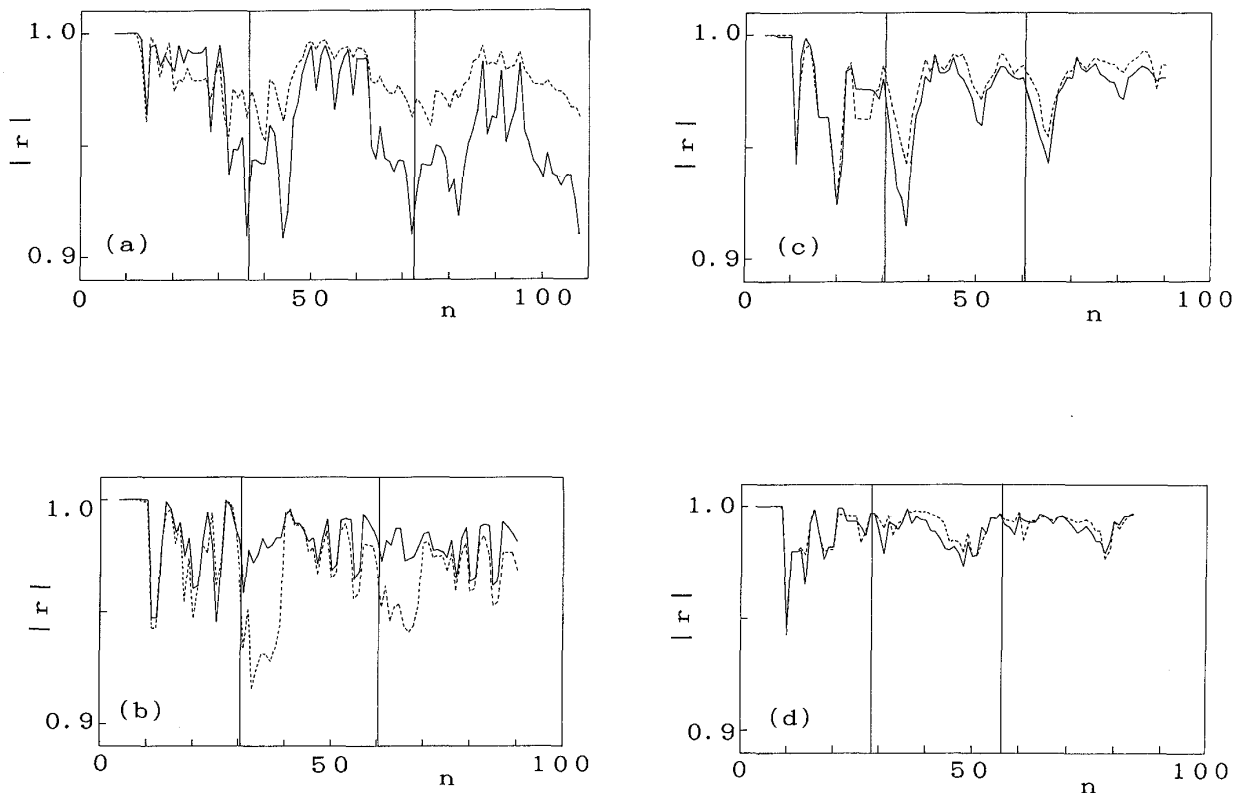


図2 図1の音楽性分析. 各曲共3番まで演奏した場合を想定している. 実線, 破線はそれぞれ緊張感 ( $|r|_{LG}$  vs.  $n$ ), 安定感 ( $|r|_{EX}$  vs.  $n$ ) を反映していると考えられる.  
(a)  $k=0$  (b)  $k=2$  (c)  $k=4$  (d)  $k=6$

を説明する為、先ず、各軌道が心理物理学的にどう言う状態に対応しているのかということ直感的に述べよう。一言で表現すると、実線の軌道 ( $|r|_{LG}$  vs.  $n$ ) は「緊張感」(frustration)の度合いを、これに対して破線の軌道 ( $|r|_{EX}$  vs.  $n$ ) は「安定感 (調和)」(symmetry breaking)の度合いを反映していると考えられる。ここに  $|r|$  の下添字は適合先の分布型を表す (LG=対数分布; EX=指数分布). 従って、 $|r|_{EX} < |r|_{LG}$  なる領域は緊張感に富んでおり、 $|r|_{LG} < |r|_{EX}$  なる領域は安定感が強いと理解される。特に、 $|r|_{LG} > |r|_{EX}$  を保ち、且つ両者の差  $|r|_{LG} - |r|_{EX}$  が顕著な領域は、緊張感が過剰で耳障りな印象を与えるものと考えられる。全領域においてこの様な状態が持続した場合、これはスペクトル分析の文脈で言う「白色 (ホワイト) 音楽」に対応することが、こ

れまでの筆者の研究 (早田, 1997, 1998 a-d) によって既に明らかにされている。この結論を支持する解析結果の一例を図3(a)に示す。これとは逆に、 $|r|_{EX} > |r|_{LG}$  を保持し、且つ全領域にわたりこの差  $|r|_{EX} - |r|_{LG}$  が顕著な場合は、単調/退屈な印象を与える「褐色 (ブラウン) 音楽」に対応する [図3(b)参照].

それでは我々が「心地好い (comfortable)」と感ずる音楽は、どの様な軌道の特徴を有しているのだろうか? 豊富なデータによって裏付けられた筆者のこれまでの経験から、この問いに対する答を一言で表現すると、「適度な緊張状態」(moderate frustration)となる。即ち、軌道間の関係で言うと、

「両軌道共基本的に高位置 (即ち高適合度) を保ち、又、曲の後半部で  $|r|_{EX} < |r|_{LG}$  なる関係を保っているが、軌道の振

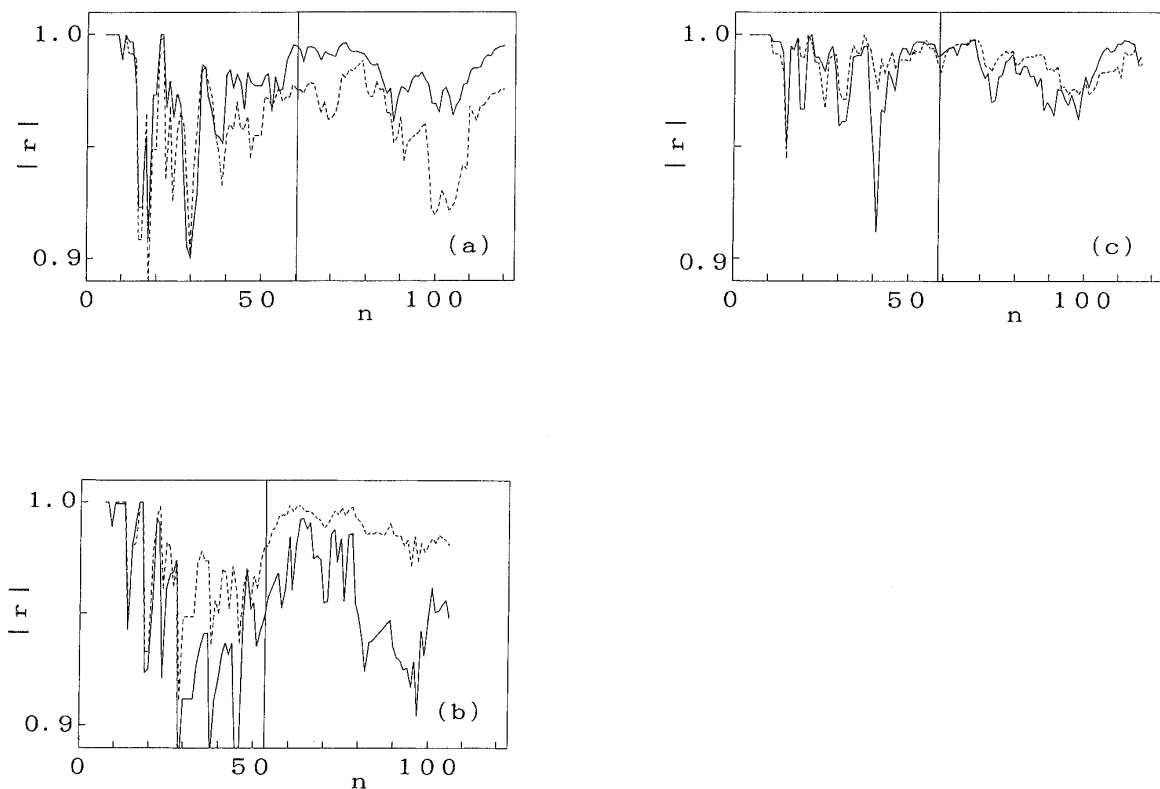


図3 1/f 音楽 (Schroeder, 1991=1997: 116) の統計分析結果. 各曲共 2 番まで演奏した場合を想定している. 実線, 破線の意味は図 2 と同様.  
 (a)  $p=0$  (白色音楽) (b)  $p=2$  (褐色音楽) (c)  $p=1$  (桃色音楽)

幅変動が緩やかで、且つほぼ全ての領域において軌道の差  $||r|_{LG} - |r|_{EX}|$  が過度に大きくならない (両軌道が接近している)」

様な状態であると言える (早田, 1997, 1998 a-d). これは丁度, スペクトル解析の文脈で「1/f 音楽」(Voss and Clarke, 1975) とか「桃色 (ピンク) 音楽」(Schroeder, 1991=1996: 115-118) 或は「フラクタル音楽」(Gardner, 1991=1997: 14-29) と称されているものに対応することが, 筆者により既に明らかにされている<sup>(2)</sup>. 「桃色音楽」に対する分析結果を図 3(c) に示す. 尚, この「適度な緊張状態」が芸術的価値の源であると理解することは, バーコフの美学論 (Schroeder, 1991=1996: 115)<sup>(3)</sup>, 更には, アリストテレスが『ニコマコス倫理学』の中で述べた中庸の概念 (Hartshorne, 1987=1992: 5-11) と両立する<sup>(4)</sup>.

以上要約したこれまで得られた知見を基に, 図 2 に示した分析結果を考察すると次のようになる. 確率モデルに記憶の効果を考慮しない場合 (即ち  $k=0$  の場合) は音楽性が認められない [図 2(a)]. つまりこの曲は我々にランダムな印象を与える. 確率モデルにマルコフ性を導入すると, より自然な音楽に近くなって来るが,  $k=2$  程度では曲の緊張感が強過ぎて, 白色音楽の典型的特徴を呈している [図 2(b)].  $k=4$  になると曲の緊張感は緩和され, 両軌道は接近してくるが, それらの振幅変動はこの段階に至ってもかなり顕著である. 又, 曲の後半部で,  $|r|_{LG} > |r|_{EX}$  となっていない. つまり, 図 3(c) に示す様な「桃色音楽」の特徴を共有していないことがわかる.  $k$  が更に増加し,  $k=6$  になると両軌道は更に接近し, 且つ全領域にわたり軌道変化が大幅に緩和されている. この特徴は正に上で言及

した桃色音楽のそれにほかならない。

なお、本考察の妥当性は、当該人工賛美歌を筆者自らピアノ演奏することによって確認されていることを付記する。

## 注

- (1) 賛美歌とは、キリスト教で神や聖人を賛美する歌を指す。厳密には賛美歌はプロテスタント教会の用語で、カトリック教会では「聖歌」と呼ぶ。しかし、現在ではコラールやグレゴリオ聖歌も含めて、広く「神や聖人を賛美する歌」を賛美歌としている（加田萬里子による）。
- (2) シャノンの情報理論（狭義の情報理論）をこの種の問題に適用する場合の常套手段として、先ず情報量エントロピーを評価し、この量の高低とその変化に着目することによって対象の芸術性を議論するという手法が採られる。しかしながら、このアプローチのみで音楽性を判定するのは難があると思われる。即ち、何を基準にしてエントロピーの高低を判断したらよいかという懸案が常に付き纏う訳である。『トランスエステティーク』（岩波書店）を著した篠原資明は、情報美学論に付随するこの様な難点に関して、以下の記述をしている（篠原、1995：437）。

「シャノンの情報理論に刺激されて、第二次世界大戦後、情報理論を美学に適用する試みが、さまざまに行われてきた。それらに共通するのは、情報量の大きさをエントロピーと呼ぶところからもうかがえたとおり、芸術の世界を秩序と無秩序の相関関係のもとにとらえようとすることである。芸術が、そもそも秩序からのずれを巧みに組み込んだものである以上、エントロピーの高さが、しかるべき評価の対象となるわけである。しかし同時に、全く無秩序では芸術となりえない限り、エントロピーを、どれだけ許容で

きるかも顧慮されねばならないだろう。

それが、おそらく、狭義の情報理論の手に余る問題かもしれないとしても。」

これとは別に、心理学者アルンハイムはゲシュタルト理論の立場から、秩序と無秩序という相反する様相を如何に調和させたらよいかという命題を、エントロピー概念をキーワードにして考察した（Arnhim, 1971=1985）。但し、ここで言うエントロピーとは元来の意味、即ちクラウジウスにより定式化された熱力学のエントロピーのことを指している。

- (3) マクロ美学の文脈においてバーコフにより定義された美の測度（バーコフの商）は、次式で表される。

$$M_{AE} = O/C$$

ここにO、Cはそれぞれ図形の秩序、複雑性を代表する数値である。例えば、正方形、長方形、正三角形についてこの比を見積もれば、それぞれ  $M_{AE} = 1.50, 1.25, 1.16$  を得る（Bense, 1969=1997: 48-52）。これをヒントにして、本理論においても、秩序（ $|r|_{EX}$ ）と複雑性（ $|r|_{LG}$ ）の比をとることにより、美の測度として商

$$M_{AE} = |r|_{EX} / |r|_{LG}$$

を定義することができる。

- (4) 二軌道間の均衡／不均衡によって時系列データに埋め込まれた音楽性を探るという考え方は筆者独自のものである。この類比として、ジェンダー・バランス（北沢、1989：161-162）という概念を挙げておきたい。これは、男性（父性）と女性（母性）なる二項の交換／均衡によって世界を理解する為のキー概念である。本解析結果（図2、3）をジェンダー・バランスの描像によって解釈すると、「緊張感」軌道（ $|r|_{LG}$  vs. n）は前者、「安定感」軌道（ $|r|_{EX}$  vs. n）は後者のジェンダーに対応付けること

ができよう。

#### 参考文献

- Arnhim, R. (1971) *Entropy and Art*, University of California=(1985) 関 計夫 (訳) 『エントロピーと芸術』創言社
- Bense, M. (1969) *Einführung in die Informationstheoretische Ästhetik*, Rowohlt Taschenbuch Verlag=(1997) 草深幸司 (訳) 『情報美学入門』勁草書房
- Gardner, M. (1991) *Fractal Music, Hypercards and More...*, W. H. Freeman=(1996) 一松 信 (訳) 『フラクタル音楽』丸善
- Hartshorne, C. (1987) *Wisdom as Moderation*=(1992) 大塚 稔 (訳) 『中庸の知恵』行路社
- 早田和弥 (1997) 「経文の音楽性創発における競合則とフラストレーションの意義」『日本物理学会講演概要集』Vol.52, Issue 2, Pt.3 : 802
- 早田和弥 (1998 a) 「『観音経』は芸術に値するか？」『社会情報』(札幌学院大学社会情報学部紀要) Vol.7, No.2 : 103-108
- 早田和弥 (1998 b) 「ポケモン連鎖の「音階」ダイナミクス」『社会情報』(札幌学院大学社会情報学部紀要) Vol.7, No.2 : 197-200
- 早田和弥 (1998 c) 「書之美と音楽性——懷素「自叙帖」の参差分析——」『日本物理学会講演概要集』Vol.53, Issue 1, Pt.3 : 648
- 早田和弥 (1998 d) 「源氏物語卷名+香之図に見られる音楽性と美学」『形の科学会誌』Vol.13, No.2 : 125-126
- 川野 洋 (1982) 『芸術・記号・情報』勁草書房
- 北沢方邦 (1989) 『知と宇宙の波動』平凡社
- КОНДРАТОВ, А.М. (1963) ЧИСЛО И МЫСЛЬ=(1964) 秋田義夫 (訳) 『サイバネティックス入門』白揚社
- Schroeder, M. (1991) *Fractals, Chaos, Power Laws*, W.H. Freeman=(1997) 竹迫一雄 (訳) 『フラクタル・カオス・パワー則』森北出版
- 篠原資明 (1995) 「情報美学論」大矢雅則他 (編) 『数理情報科学事典』朝倉書店
- Voss, R.F. and Clarke, J. (1975) 1/f noise in music and speech, *Nature*, 258: 317-318