Vol.2013-MUS-99 No.51
2013/5/12

日本語歌詞からの多重唱の自動作曲

桐淵 大貴[1]　深山 覚[1,†1]　齋藤 大輔[1]　嵯峨山 茂樹[1,†2]

概要：日本語歌詞から多重唱を自動作曲する手法と，既存の歌の旋律を多重唱に自動編曲する手法について議論する．多重唱の自動作曲を用いると，多様な表現をもつ楽曲を生成できる．また独唱作曲に比べ多重唱作曲はより高度な作曲技能を必要とするため，自動作曲を行う意義の大きい問題である．本報告では，多重唱が満たすべき要件を局所的な音高間の遷移確率で記述することにより，多重唱の各旋律の作曲を音高列の生起確率最大化問題として定式化できることを議論する．この定式化に基づき確率最大となる旋律を動的計画法を用いて探索することで多重唱が自動作曲できることを示す．生成された多重唱に対して専門家による評価を実施し，旋律中に音楽理論からの逸脱が少ないことが確認された．

1. はじめに

本報告では，与えられた日本語歌詞の韻律に基づく多重唱の自動作曲を扱う．また，既存旋律と他の声部の歌詞に基づく多重唱の自動編曲についても扱う．複数の歌手が異なる旋律を歌唱する多重唱は，幅広い音楽的表現をもち，重要な楽曲形態であるため，多重唱の自動作曲は，多様な表現をもつ楽曲を生成できる．また，多重唱の自動作曲システムや自動編曲システムには，著作権フリー楽曲や歌のプレゼント等，様々な用途や需要がある．

我々は，日本語歌詞から独唱を自動で作曲する研究を行った [1]．多重唱の自動作曲は，独唱作曲に比べて考慮すべき条件が多く，より高度な作曲技能が必要とされるので，多重唱の自動作曲は音楽の専門知識をもたない人を支援する，意義の大きい課題である．

計算機による自動作曲は，現在まで多様なアプローチにより研究がなされてきた [2]．複数の旋律を作曲する研究例としては，対位法のルールに基づいて楽曲を生成する研究 [3] や，マルコフモデルを用いて対位法による楽曲生成を行う研究 [4], [5] がある．

本報告では，多重唱が満たすべき要件を局所的な音高間の遷移確率で記述し，確率最大となる複数の旋律を動的計画法を用いて探索する自動作曲手法を提案する．

なお本報告の自動作曲手法は，二重唱の場合はすでに著者によって議論されているが [6]，ここではさらに三重唱についても拡張した議論とその場合の生成結果の評価について述べる．

[1] 東京大学 大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo
[†1] 現在，独立行政法人 産業技術総合研究所
Presently with National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
[†2] 現在，国立情報学研究所
Presently with National Institute of Informatics

2. 多重唱自動作曲の原理

2.1 多重唱作曲の要件

作曲家が多重唱を作曲する時の要件には，次の 2 つがある．

まず，既存の音楽スタイルに従う旋律を作曲する上では，多くの人が親しみやすく歌いやすい旋律を作曲することが必要である．この要件を満たすには，音楽理論 [7] からの逸脱が少ない旋律を作曲することが必要であると考えられる．

特に，独唱の旋律を自動作曲する既存研究と比較すると，複数の旋律を作曲する場合には各旋律間の関係を考慮する必要がある．各旋律の間や各旋律とバスラインとの間で対位法的禁則を犯さないことが重要である．また，各声部音間のへだたりが大きくなる声部の隔離や，各声部の音の高低が途中で入れ替わる声部の交叉は避けることが望ましい．具体的には，以下の禁則を扱った．

- 各声部間の連続 1 度・8 度・5 度の禁止
- 各声部の交叉・隔離の禁止
- 前部転移音の上方に解決音を置いてはならない

また，各声部をそれぞれ伴奏付き独唱として聴いた場合にも不自然でない旋律を作曲することが重要である．具体的には，以下の禁則を扱った．

- 7 度進行・増 4 度進行の禁止
- 各声部とバスの間の連続 1 度・8 度・5 度の禁止
- 第 1 声部とバスの間の並達 1 度・8 度・5 度の禁止

© 2013 Information Processing Society of Japan

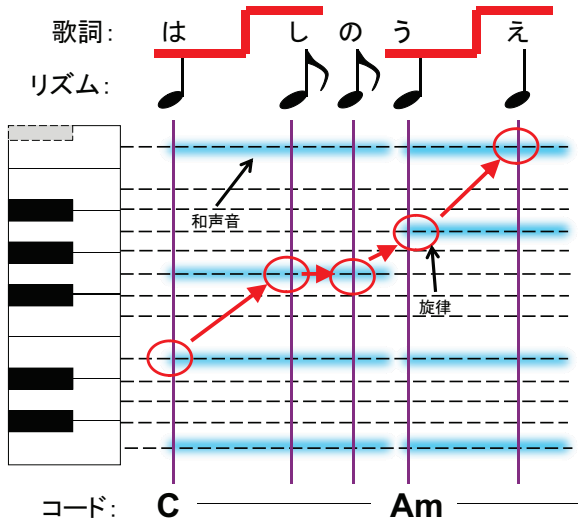


図 1　旋律を経路として捉える例

- 解決しない転移音の禁止

次に，歌唱曲として歌詞の韻律に従うことが望ましい．日本語の歌は，発話時のモーラ単位に音高が付与されて歌われることが多く，歌詞を朗読する際の韻律と旋律の音高の上下動が一致することが重要とされている [8]．

各声部の歌詞を入力として多重唱を作曲する上では，重なり合った各声部それぞれの歌詞の意味を聴衆に正確に伝えることが重要である．また，多重唱の各声部を実際に歌う場合も，主旋律等の他の旋律の影響を受けてしまわないように各声部が歌いやすい旋律であることが望ましい．したがって，各声部の旋律がそれぞれの歌詞の韻律に従うことが重要である．

2.2　確率に基づく複数旋律の作曲

一般的に，N 個の旋律を作曲する場合について考える．この場合，N 個の旋律をそれぞれ単旋律として捉え，それぞれの旋律を前節のように作曲することはできない．なぜなら，複数の旋律を作曲する場合には，各旋律間の関係を考慮する必要があるからである．そこで，本節では旋律間の関係を考慮しながら複数の旋律を作曲する手法について議論する．

リズムが与えられた時，旋律を作曲することは，そのリズムの中のそれぞれの音符に音高を付与することである．旋律の音域が予め決まっている場合，付与できる音高はその音域に含まれるものに限られる．横軸時間，縦軸音高の 2 次元平面を考えると，旋律はリズムと音高からなる格子点上を時間に従って遷移する経路として捉えることができる．旋律を経路として捉える例を**図 1** に示す．よって，旋律を作曲することは，この音高間の遷移の経路を定めることとして捉えることができる．

要件に従った複数旋律の楽曲が多くある時，曲中の音の現れ方には確率的な偏りが観察されると考えられる．この偏りは旋律の生起確率により扱うことができる．第 1 声部の生起確率は，作曲条件の下での条件付き確率として表せる．

2 つの旋律間の関係を表現するためには，第 2 声部の旋律の生起確率は，第 1 声部の旋律を条件とする条件付き確率として考える必要がある．同様に，第 i 声部の生起確率は，作曲条件と第 1 声部から第 $i-1$ 声部までの旋律の条件下での条件付き確率として表す必要がある．

ある時刻 t における旋律の作曲条件（歌詞・和声・リズム）を c_t とする．また，旋律の作曲条件の列を $C = \{c_1, c_2, \cdots . c_T\}$ とし，第 i 声部の旋律（音高列）を $X_i = \{x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,T}\}$ とする．この時，第 1 声部の旋律が X_1 である確率は，$\Pr(X_1|C)$ である．同様に，第 i 声部の旋律が X_i である確率は $\Pr(X_i|X_{i-1}, \cdots, X_1, C)$ である．

歌詞の韻律に従う結果は，隣接する音の遷移の確率的な偏りとして現れる．また，音楽理論には隣接する音の関係についての知見が多いため，音楽理論に従う結果が局所的な音の遷移の確率的な偏りとして現れる．よって，旋律の要件に基づいた旋律を自動作曲する時に，韻律や音楽理論に関する多くの制約は，隣接する音高間の遷移確率として表現することができる．つまり，$\Pr(X_1|C)$ は次式のように隣接する音高間の遷移確率を掛け合わせることで得ることができる．

$$\Pr(X_1|C) = \Pr(x_{1,1}|c_1) \prod_{t=2}^{T} \Pr(x_{1,t}|x_{1,t-1}, c_t, c_{t-1}) \quad (1)$$

これは，旋律が 1 次のマルコフモデルで記述されることを示している．

旋律の作曲条件のあらゆる可能性に対し，隣接する音高間の遷移確率を計算することは困難である．さらに複数の旋律を作曲する場合は，それらの音高の組み合わせについても遷移確率を求める必要がある．なぜなら，全く同じ歌詞と旋律の組み合わせは，世の中の全ての多重唱を探しても現れない可能性があるからである．そこで，確率を作曲条件ごとの確率の組み合わせで近似する方法が考えられる．

複数の声部の隣接する音高の組み合わせは非常に多いため，音楽理論に従う大量の統計データの採取が不可欠である．しかし，実際には歌詞の韻律と音楽理論に完全に従う多くの旋律を学習データとして得ることは困難である．そこで，その際に得られるであろう確率を模擬して，それぞれの遷移確率を人手で設計した．具体的には，入力として日本語歌詞があり，作曲条件（リズム・和声進行等）が与えられた条件の下で，韻律や音楽理論の要件を満たさない音高の遷移に対して低い確率値を与えた．

生起確率が最大となる旋律は，歌唱曲の要件を最大限満たすと言えるので，旋律生成は，数理的に捉えると経路の生起確率最大化問題に帰着する．

© 2013 Information Processing Society of Japan

3. 伴奏付き二重唱の自動作曲

3.1 二重唱の作曲方法

二重唱を作曲する方法としては 2 つの方法がある．1 つは，2 つの旋律を同時に作曲する方法である．もう 1 つは，まず独唱を作曲し，その旋律を引き立たせるように 2 声部目を作曲する方法である．実際の楽曲には主旋律が存在することが多く，主旋律に新たな旋律を加えることで主旋律をより引き立たせることができるので，第 1 声部の作曲後に新たに第 2 声部を作曲する後者の方法で二重唱を自動作曲する．

3.2 二重唱の各声部を順番に作曲するモデル

求める第 1 声部，第 2 声部をそれぞれ X^*，Y^* とすると，

$$X^* = \underset{X}{\operatorname{argmax}} \Pr(X|C) \tag{2}$$

$$Y^* = \underset{Y}{\operatorname{argmax}} \Pr(Y|X^*, C) \tag{3}$$

と定式化できる．

制約条件が隣接する音高間の遷移確率により扱えるので，この経路の生起確率最大化問題は，動的計画法を用いて解くことができる．動的計画法を用いると，生起確率が最大となる旋律を，音符数に比例した計算量で効率的に探索することができる．具体的には，第 1 声部，第 2 声部の取り得る音高の数をそれぞれ M_1，M_2 とすると，$(M_1 + M_2)T$ 回の局所的な確率の計算で二重唱を作曲することができる．

3.3 二重唱の自動生成実験

歌詞と作曲条件（和声，リズム，音域等）を入力として出力を得た．出力例を**図 2** に示す．図の上段が第 1 声部を，中段が第 2 声部を，下段が伴奏を表している．上段の第 1 声部の作曲後に，第 1 声部を条件として中段の第 2 声部を作曲した．この二重唱は，概ね旋律の要件に従っている．

4. 伴奏付き三重唱の自動作曲

4.1 三重唱の作曲方法

三重唱を作曲する方法としては 3 つの方法がある．1 つ目は，3 つの旋律を同時に作曲する方法である．2 つ目としては，まず先に独唱を作曲し，その旋律を引き立たせるように新たに 2 つの声部を同時に作曲する方法である．3 つ目としては，3 つの声部を第 1 声部から第 3 声部まで順番に 1 つずつ作曲する方法である．実際の楽曲には主旋律が存在することが多い．また，主旋律に新たな旋律を加えることで，主旋律をより引き立たせることができる．そこで，1 つの声部に対して他の声部を加える考え方で作曲する，2 つ目と 3 つ目の方法を用いて三重唱を自動作曲することを考える．

まず，第 2 声部と第 3 声部を順番に作曲する方法について議論し，次に，第 2 声部と第 3 声部を同時に作曲する方法について議論する．



図 2 システムの出力例．上段の第 1 声部の作曲後に，第 1 声部を条件として中段の第 2 声部を作曲した．

4.2 第 2 声部と第 3 声部を順番に作曲するモデル

求める第 1 声部，第 2 声部，第 3 声部をそれぞれ X^*，Y^*，Z^* とすると，

$$X^* = \underset{X}{\operatorname{argmax}} \Pr(X|C) \tag{4}$$

$$Y^* = \underset{Y}{\operatorname{argmax}} \Pr(Y|X^*, C) \tag{5}$$

$$Z^* = \underset{Z}{\operatorname{argmax}} \Pr(Z|Y^*, X^*, C) \tag{6}$$

と定式化できる．これらの生起確率最大化問題は，二重唱作曲時と同様に，動的計画法を用いて効率的に解くことができる．具体的には，第 i 声部の取り得る音高の数を M_i とすると，$(M_1 + M_2 + M_3)T$ 回の局所的な確率の計算で三重唱を作曲することができる．

このモデルによる作曲では，第 2 声部を作曲する際に第 3 声部を考慮しない．これにより，第 3 声部の作曲時に旋律作曲の要件を全て満たすことができない恐れがある．なぜなら，複数の旋律を順番に作曲する場合，第 1 声部を作曲する時には他の声部との関係を考慮しないのに対し，第 3 声部では第 1 声部・第 2 声部との関係をそれぞれ考慮する必要があり，制約がより厳しい中で旋律を作曲しなければならないからである．

4.3 第 2 声部と第 3 声部を同時に作曲するモデル

求める第 1 声部，第 2 声部，第 3 声部をそれぞれ X^*，Y^*，Z^* とすると，

$$X^* = \underset{X}{\operatorname{argmax}} \Pr(X|C) \tag{7}$$

$$Y^*, Z^* = \underset{Y,Z}{\operatorname{argmax}} \Pr(Y, Z|X^*, C) \tag{8}$$

と定式化できる．これらは動的計画法を用いて効率的に解

© 2013 Information Processing Society of Japan

くことができる．具体的には，第 i 声部の取り得る音高の数を M_i とすると，$(M_1 + M_2M_3)T$ 回の局所的な確率の計算で三重唱を作曲することができる．

このモデルによる作曲では，第 2 声部と第 3 声部を，それらの声部間の関係も考慮しながら同時に作曲する．つまり，第 2 声部を作曲する際に第 3 声部を考慮して作曲していることになる．よって，第 2 声部と第 3 声部を順番に作曲するモデルよりも，要件を満たす三重唱を作曲できる可能性がある．

一方で，同時作曲モデルによる作曲は，順番作曲モデルよりも多くの計算時間が必要である．各声部の取り得る音高の数が等しく M である場合に，第 2 声部と第 3 声部を作曲するために必要な局所的な確率の計算回数は，順番作曲モデルでは $2MT$ 回であるが，同時作曲モデルでは M^2T 回である．よって，同時作曲モデルにより作曲する場合は，順番作曲モデルによる場合の約 M 倍の計算時間を必要とする．

4.4 三重唱自動生成実験

以上の 2 種類のモデルに基づいて，全く同じ歌詞・作曲条件を用いて自動作曲を行った．その際の出力を**図 3** と**図 4** に示す． 1 段目から 3 段目までがそれぞれ第 1 声部から第 3 声部を表し，4 段目が伴奏を表す．

図 3 をみると，概ね旋律の要件に従う楽曲が作曲されているが，4 小節目から 5 小節目にかけて，第 3 声部とバスラインの間で連続 8 度の禁則を犯している．これは，第 3 声部について考慮しないで第 2 声部を作曲したため，禁則を犯している部分の第 2 声部の音高が低すぎることが原因で起こったと考えられる．また，特に第 3 声部について，歌詞の韻律に従わない部分が多く存在する．これを避けるための方法として，第 2 声部の音域の下限を高くする（音域を狭める）方法が考えられるが，第 2 声部の歌唱音域を狭めると，曲想に沿った三重唱を作曲できなくなる等の問題が生じてしまう．前述した問題点は，3 声部の順番作曲モデルによる作曲の限界を表していると考えられる．

図 4 をみると，概ね旋律の要件に従う楽曲が作曲されている．第 2 声部と第 3 声部を順番に作曲した図 3 と比較すると，4 小節目から 5 小節目にかけて第 3 声部に生じた禁則が，図 4 では生じていない．これは，第 3 声部に重大な禁則が生じないように，第 3 声部を考慮して第 2 声部を作曲したからである．また，順番に作曲した場合に比べて，第 3 声部が歌詞の韻律に従わない部分が少なくなっている．よって，同時作曲モデルを用いて作曲する場合の方が，より要件を満たす三重唱ができる可能性があると考えられる．



図 3 第 2 声部と第 3 声部を順番に作曲した場合の三重唱の出力例．4 小節目から 5 小節目にかけて，第 3 声部とバスラインの間で連続 8 度の禁則を犯している．

5. 既存旋律からの多重唱への自動編曲

5.1 多重唱の編曲方法

本節では既存の歌の旋律と他の声部の歌詞が与えられた場合を考える．つまり，第 1 声部のリズム・旋律は既に決定されている．さらに，各声部で共通の和声と，既存の歌以外の声部のリズムについては，作曲条件として入力する場合を考える．よって，既存旋律を多重唱へ編曲するということは，既存の歌以外の声部の旋律を生成することと等しい．つまり，前節までの自動作曲において，第 1 声部の旋律が与えられたものとして他声部の旋律を作曲することにより，既存旋律から多重唱を自動編曲することができる．

© 2013 Information Processing Society of Japan



図 4 第 2 声部と第 3 声部を同時に作曲した場合の三重唱の出力例. 図 3 と比較して，音楽理論からの逸脱が少ない.

5.2 多重唱自動編曲の定式化

伴奏付き二重唱を作曲する場合は，第 1 声部の旋律 X^* が与えられたものとして，第 2 声部の作曲を，以下の第 2 声部の生起確率最大化問題として捉える.

$$Y^* = \underset{Y}{\operatorname{argmax}} \Pr(Y|X^*, C) \tag{9}$$

また，同様に伴奏付き三重唱を第 2 声部と第 3 声部を同時に作曲するモデルに基づいて作曲する場合は，第 1 声部の旋律 X^* が与えられたものとして，求める第 2 声部，第 3 声部をそれぞれ Y^*，Z^* とすると，

$$Y^*, Z^* = \underset{Y,Z}{\operatorname{argmax}} \Pr(Y, Z|X^*, C) \tag{10}$$

と定式化できる.



図 5 「どんぐりころころ」を編曲した例

5.3 既存旋律からの多重唱への自動編曲実験

既存の歌の旋律を多重唱に自動で編曲した．既存の歌の旋律として「どんぐりころころ」（青木存義作詞・梁田貞作曲）を入力とした．他の声部の歌詞については，歌の旋律と全く同一のものを入力とした．和声については既存の和声を入力として与えることとした．また，他の声部のリズムは既存の歌と同じリズムを用いた.

「どんぐりころころ」を伴奏付き三重唱に自動編曲した例を**図 5** に示す．図 5 をみると，概ね旋律の要件に従う楽曲が作曲されている.

6. 自動生成された多重唱の評価

6.1 目的と条件

与えられた日本語歌詞及び作曲条件（和声，リズム，音域等）に基づいて，音楽理論から逸脱のない多重唱が自動作曲できることを検証した.

異なる歌詞と作曲条件を入力として，合計 36 曲の多重唱を作曲した．そのうち 23 曲が伴奏付き二重唱，11 曲が伴奏付き三重唱であり，2 曲が無伴奏四重唱である．特に伴奏付き三重唱に対しては，第 2 声部と第 3 声部を同時に作曲するモデルを用いて作曲した.

歌詞の韻律解析には音声合成のテキスト解析モジュール [9] を利用した．また，譜面出力には楽譜浄書ソフトウェア lilypond を，演奏出力には HMM 歌声合成 [10] と MIDI 音源による楽音合成を利用した.

自動生成された 36 曲の多重唱に対し，作曲家 2 名による評価を実施した．評価者 A，B ともに大学で作曲を教授する専門家である．下記の 3 項目について 7 段階の得点（7 点が最良）による評価を依頼した.

© 2013 Information Processing Society of Japan

表 1 36 曲の多重唱に対する 7 段階評価（7 点が最良）の結果．得点の平均点と標準偏差を示している．

項目	評価者 A	評価者 B
(1) 導入理論からの逸脱	6.25 ± 0.554	4.56 ± 1.81
(2) 理論全体からの逸脱	5.64 ± 0.798	4.22 ± 1.96
(3) 音楽的自然さ	5.72 ± 0.701	3.81 ± 2.21

(1) 導入した音楽理論からの逸脱はないか
(2) 導入していないものも含め，音楽理論からの逸脱はないか
(3) 音楽的に自然であるか

評価の際には「作曲を勉強する生徒の回答を見るように」採点を依頼した．

評価者 A は譜面と演奏の両方を用いて評価を行い，評価者 B は譜面のみを用いて評価を行った．また，評価者 A は，音楽の 3 要素である和声・リズム・旋律のうち，旋律のみについて評価を行い，評価者 B は，和声・リズムについても考慮した上で旋律の評価を行った．評価の条件が異なるため，2 名の評価者による結果を単純に比較することはできない．

6.2 結果と考察

評価者 A，B による評価の結果を**表 1** に示す．この表は，各評価項目に対する多重唱 36 曲の得点の平均点と標準偏差を示している．自動生成された 36 曲の多重唱に対し，評価者 A からは全て 4 点以上の評価を得た．また，評価者 B からは，全体の半数以上の多重唱に対して，平均である 4 点以上の評価を得た．これらの結果は，音楽理論からの逸脱の少ない，かつ，音楽的に自然な多重唱が作曲されたことを表している．

項目 1. の評価の低かった曲の理由として，連続 5 度・並達 8 度が多い等が挙げられた．この評価が低い曲は，歌詞の韻律等の二重唱の要件を満たすため，導入した音楽理論から逸脱した旋律が作曲されたと考えられる．項目 2. の評価の低かった曲の理由として，評価 1. で挙げられた理由の他に，評価者 A からは，連続 4 度が多い，間接連続 8 度がある，増音程や対斜が多い等，評価者 B からは，連続 4 度が多い，第 7 音の進行，対斜がある等が挙げられた．項目 3. の評価の低かった曲の理由として，評価者 A からは，2 声部の並進行が多い，音のぶつかりが多い等，評価者 B からは，和声が変である，正確な和声が付いていない等が挙げられた．

導入する必要のある禁則として，増音程進行の禁止や，間接連続 8 度の禁止等が評価者 A により挙げられた．間接連続 8 度については，隣接する音高間の遷移確率では記述することのできない禁則である．この禁則を導入するためには，2 音以上離れた音高間の遷移確率を考えることが必要である．

7. おわりに

本報告では，音楽理論や歌詞の韻律についての要件を局所的な音高間の遷移確率で記述し，旋律の作曲を音高列の生起確率最大化問題として定式化した．また，生起確率が最大となる旋律を動的計画法を用いて探索することで，複数の旋律を自動作曲可能とする方法を提案した．本手法を用いて，任意の日本語歌詞からの多重唱の自動作曲と，既存の歌の旋律からの多重唱への自動編曲を行った．実際に様々な多重唱を自動で作曲し，生成された多重唱は音楽理論からの逸脱が少ないことを，専門家からの評価により確認した．

今後は，評価で示されたような音楽理論からの逸脱の解決や，器楽曲作曲に向けて 5 声以上の多重唱の自動作曲を行うことが課題である．また，副旋律のリズムの自動生成や，模倣を用いた自動作曲も検討したい．

なお，二重唱の自動作曲システムは Web を通じて一般公開されている[*1]．現在までに 4000 曲以上の二重唱が作曲された．利用者からは，「厚みが増してガラッと印象が変わる」，「曲の構成の幅が広がる」等のコメントを受けた．

謝辞 評価を引き受けて下さった桐朋学園大学音楽学部金子仁美准教授と早稲田大学基幹理工学部菅野由弘教授に感謝する．本研究の一部は，文部科学省科学研究費補助金（課題番号 23240021）の助成を受けて行われた．

参考文献

[1] 中妻啓，酒向慎司，小野順貴，嵯峨山茂樹：“歌詞の韻律を用いた自動作曲,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集，pp. 739-740，2007.
[2] C. Roads (青柳龍也, 小坂直敏, 後藤真孝, 引地孝文 訳・監修): “コンピュータ音楽 歴史・テクノロジー・アート,” 東京電機大学出版局, 2001.
[3] W. Shottstaedt: “Automatic counterpoint,” In M. Mathews and J. R. Pierce, Current Directions in Computer Music Research, pp. 225-262, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1989.
[4] 中潟昌平，西本卓也，嵯峨山茂樹：“動的計画法と音列出現確率を用いた対位法の対旋律の自動生成,” 情報処理学会研究報告 (MUS)，2004-MUS-56，pp. 65-70，2004.
[5] T. Tanaka, T. Nishimoto, N. Ono, S. Sagayama: “Automatic Music Composition based on Counterpoint and Imitation using Stochastic Models,” In Proceedings of Sound and Music Computing(SMC) Conference, 2010.
[6] 桐淵大貴，深山覚，齋藤大輔，嵯峨山茂樹：“日本語歌詞からの伴奏付き二重唱の自動作曲,” 情報処理学会全国大会講演論文集，5R-10，2013.
[7] 島岡譲 他：“和声 理論と実習 I，II，III,” 音楽之友社，1964.
[8] 長谷川良夫：“作曲法教程 上巻,” 音楽之友社，1950.
[9] Galatea Project：http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/~galatea/
[10] 酒向慎司，宮島千代美，徳田恵一，北村正：“隠れマルコフモデルに基づいた歌声合成システム,” 情報処理学会論文誌，vol. 45，no. 3，pp. 719-727，2004.

[*1] http://www.orpheus-music.org/v3/

© 2013 Information Processing Society of Japan