

## 隠れマルコフモデルに基づく左手用ピアノ楽譜生成手法

A Method of Generating Left-hand Piano Score Based on Hidden Markov Model

大野将樹\*  
Masaki Oono獅々堀 正幹\*  
Masami Shishibori

## 1 はじめに

手指障害とは、事故等により手指の一部が欠損したり、関節の動きが制限されている状態をいう。楽器を演奏することは、豊かな生活を送るための手段の一つであるが、手指障害者のために片手で演奏できるように編曲された楽譜は少ない。手指障害者向け楽譜は、健常者向け楽譜から音数を削減したり、音域を狭くする等の簡約がなされており、編曲に高度な知識を要する。

本研究では、隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model, HMM) に基づいて手指障害者向け楽譜をモデル化し、両手で演奏する健常者向けピアノ楽譜を、左手のみで演奏可能な手指障害者向けピアノ楽譜へ変換する手法を提案する。Hori ら [1] は、ピアノ楽譜をギター楽譜に変換する手法を提案した。Hori らの手法は、両手で演奏するための楽譜を片手で演奏する楽譜へ変換する点に本研究との関連がある。従来手法は健常者の利用を前提としており、手指の機能障害による演奏の困難さについては考慮されていない。

## 2 提案手法

演奏する音符が直前の音符にのみ依存するマルコフ過程に従うと仮定する。左手用ピアノ楽譜の音符系列  $q_1^T = q_1 \dots q_T$  と、両手用ピアノ楽譜の音符系列  $o_1^T = o_1 \dots o_T$  をそれぞれ、隠れ状態および出力記号の系列へ対応させた隠れマルコフモデル  $M$  と捉える。式 (1) の復号問題の解を Viterbi アルゴリズムで求め、両手用ピアノ楽譜の音符系列  $o_1^T$  を出力する左手用ピアノ楽譜の最尤音符系列  $S$  を得る。

$$S = \arg \max_{q_1^T} P(o_1^T, q_1^T | M) \quad (1)$$

本研究では、両手用ピアノ楽譜から左手用ピアノ楽譜へ人手で編曲する際、主に伴奏部が簡約され、旋律部の変更箇所は少ない点に着目し、旋律モデルと伴奏モデルをそれぞれ構築した。提案手法の概要を図 1 に示す。両手用ピアノ楽譜の旋律部は上段 (ト音記号段)、伴奏部は下段 (ヘ音記号段) とした。左手用ピアノ楽譜の旋律部は最高音の音符列、伴奏部はそれ以外の音符列とした。旋律モデルと伴奏モデルの隠れ状態と出力

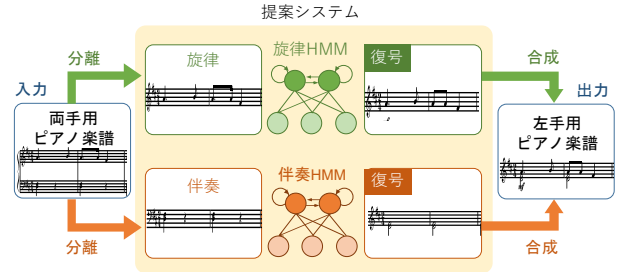


図 1: 提案システムの概要

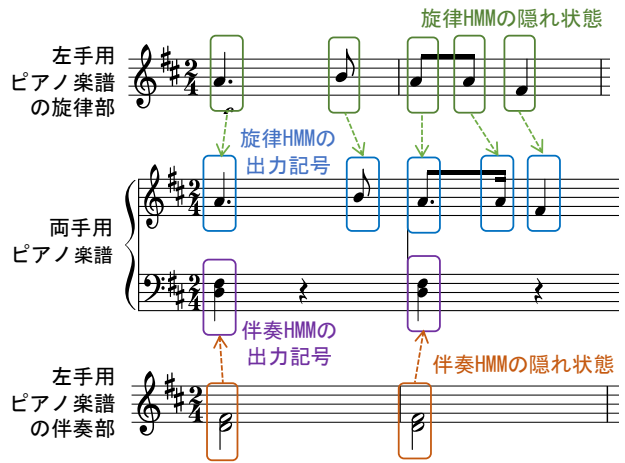


図 2: 隠れ状態と出力記号の関係

記号の関係を図 2 に示す。隠れ状態と出力記号は、同時に打鍵されている音符の集合を各状態として定義し、DP マッチングにより時系列の対応を求めた。

## 3 評価実験

左手のアーカイブプロジェクト [2] の左手用ピアノ楽譜 14 曲、および、それらと同一楽曲の両手用ピアノ楽譜 14 曲を実験データとして用いた。26 曲 (13 組) を用いて HMM を訓練し、残り 2 曲を用いて評価する leave-one-out 交差検証を行なった。提案手法の有効性を検証するためのベースライン手法として、両手用ピアノ楽譜の上段 (ト音記号段) と下段 (ヘ音記号段) において同時刻に打鍵される音符列を出力記号系列とする、旋律と伴奏を区別しない HMM を構築した。

\*徳島大学大学院社会産業理工学研究部 Graduate School of Technology, Industrial and Social Science, Tokushima University

### 3.1 再現性に対する評価

適合率 (precision), 再現率 (recall), F 値 (F-measure) に基づいて提案手法の有効性を評価した.

$$\text{適合率} = \frac{\text{生成楽譜と真の左手楽譜の音符一致数}}{\text{生成楽譜の音符数}} \quad (2)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{生成楽譜と真の左手楽譜の音符一致数}}{\text{真の左手楽譜の音符数}} \quad (3)$$

適合率は, 提案手法が誤って生成した音符の少なさを表す. 再現率は, 人手で編曲された真の左手用ピアノ楽譜の音符 (ground truth) を提案手法が漏れなく生成できたかを表す. F 値は, 適合率と再現率の調和平均である. 実験データ 14 曲に対する提案手法の適合率, 再現率, F 値の平均値を表 1 に示す. 提案手法はベースライン手法より向上が見られ, 旋律モデルと伴奏モデルを構築する有効性が示された.

表 1: 再現性に対する実験結果

	適合率	再現率	F 値
ベースライン手法 (HMM)	0.77	0.66	0.71
提案手法 (旋律 HMM+伴奏 HMM)	0.79	0.70	0.74

各楽曲に対する F 値を図 3 に示す. 提案手法は 14 曲中 12 曲においてベースライン手法より F 値が向上した.

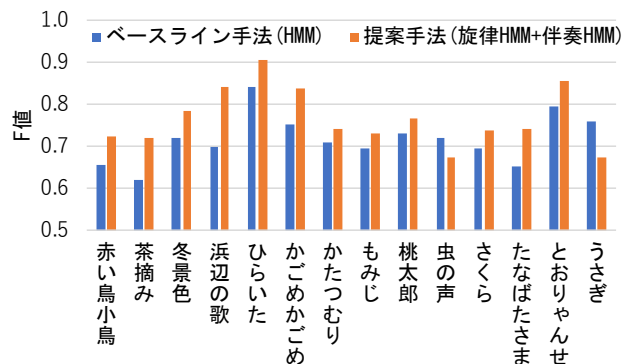


図 3: 各楽曲に対する F 値

提案手法の F 値が最も低い楽曲 (うさぎ, F 値 0.67) の楽譜例を図 4 に示す. 提案手法は, 真の左手用ピアノ楽譜の伴奏部を再現できていない. 提案手法は和音の根音を生成する傾向があるが, 真の左手用ピアノ楽譜は, 片手での演奏を容易にするために根音以外の構成音が付与されており, 再現率を低下させている.

真の左手用ピアノ楽譜 (ground truth)



提案手法 (旋律 HMM + 伴奏 HMM)



ベースライン手法 (HMM)



図 4: 提案手法の F 値が低い楽譜 (うさぎ) の出力例

### 3.2 聴感に対する評価

提案手法の生成楽譜が音楽として自然であるかを評価した. 被験者 30 名に生成楽譜 10 曲の演奏を聴取させ, 音楽としての自然さを 4 段階 (最良 4) で回答させた. 各曲に対する全被験者の平均スコアを表 5 に示す.

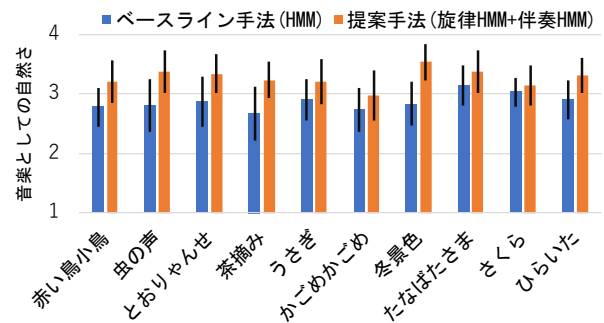


図 5: 聴感に対する実験結果

全曲に対する平均スコアは, ベースライン手法は 2.86, 提案手法は 3.26 であった. 伴奏モデルを構築する提案手法は, ベースライン手法より多数の伴奏部を生成する傾向があり, 全楽曲について聴感の向上を確認できた.

## 4 おわりに

今後の発展として, 具体的な障害部位に対応した楽譜生成アルゴリズムの構築が挙げられる. 更に, 生成した楽譜へ運指番号を自動付与することが課題である.

### 参考文献

- [1] G. Hori and S. Sagayama, "HMM-Based Automatic Arrangement for Guitars with Transposition and its Implementation," *Proc. of International Computer Music Conference*, pp.1257–1262, Athens, Greece, 2014.
- [2] 「左手のアーカイブ」, <http://www.lefthandpianomusic.jp>, 参照 2019 年 6 月.