

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K02295

研究課題名(和文) 能楽の謡の客観的な分析基盤のための新しい旋律記法

研究課題名(英文) A Novel Melody Representation for Acoustical Analysis of Noh Singing

研究代表者

伊藤 克亘 (Itou, Katunobu)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：30356472

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：招待講演などで、研究自体が少しずつ知られるようになってきた。謡の節の可視化システムに関しては、能楽師の経験知により高精度に節と楽譜情報の対応がとれるようになった。音組織の分析・流儀のモデル化に関しては、謡の節の可視化システムを用いて、謡の節のモデル化を行うため、ヨウ吟の節の音高を分析した。節のモデル化には、音階など音組織の分析が必要なことが明確化された。リズムのモデル化に関しては、分析対象の音源を増やすため、囃子つきの音源から謡の部分分離する手法を開発した。音楽の多層モデルに関しては、西洋音楽ではあるが音楽的多層ニューラルネットワークモデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

能の謡のメロディーに関しては、口承を基盤とする伝承のため、明確になっていない部分が多数存在する。そのため、音楽としての研究が困難であり、余り進んでいない。本研究では、実際に謡われた音響信号から、音階などの音楽的な情報を得るための可視化システムを開発した。能の謡に対する客観的な可視化の枠組はこれまでになく、このシステムを用いて、これまで明確でなかった流儀や個人による表現の違いなどの客観的分析の実現が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research has become well known through the invited talk.

Our Noh singing melody visualization system has achieved well fitting between f0 contour of the acapella Noh singing and score. Using this system, we analyzed the f0 contour of the melodic mode to model the Noh singing melody. To achieve this goal, it is clear that it required to estimate of the tone system of Noh singing. Also, we have developed the speech enhancement system from the audio signal of the whole performance includes accompaniments. In addition, we have developed multi-layered neural network for analysis of melodic structure.

研究分野：音声言語情報処理

キーワード：能 謡 旋律 楽譜情報 音響分析

1. 研究開始当初の背景

能楽の謡の楽譜は謡本と呼ばれる。歌詞(詞章)の右側の記号が旋律情報を表す(右図)。記号は音高と音価を表す。音高に関しては相対的(そこで音程を上げる、など)な指示とスケール上での音名による指示がある。音価に関しては、標準より延ばす、などの指示である。

この旋律に関する情報は、西洋音楽の楽譜と同等の表現に変換可能である。従来もごくわずかな例ではあるが、横軸を時間、縦軸を音高に対応させた記譜法(図1)や五線譜に対応させた記譜法が、学習者の練習用の書籍[1]や音楽学部の講義をまとめた書籍[2]に用いられてきた。

しかし、実は、謡本と五線譜では、実際の音響信号との対応が大きく異なっている。五線譜では、ト音記号の中央のラが、大抵の楽器では(約)440Hzに対応する。また、基準の周波数が異なっても一曲内では同じ音高は同じ周波数に対応する。一方、謡では、一曲内どころか一つのフレーズ内ですら、同じ音高に指示されたものが異なる周波数で謡われることがある。

よ
ほ
え
ス
ニ
に
ま
ま
が

2. 研究の目的

能楽の歌唱(謡)の記譜法を発展させ、西洋音楽の楽譜と同等に音響信号と関連付けられる記法の確立を目指す。能のメロディを記述する楽譜(謡本)では、西洋音楽の楽譜(以後、五線譜)と同様にそれぞれの音符に音高と音価が指定される。五線譜のように同一の音高を持つ音符は同じ高さで謡われると解釈すると、謡のメロディ(節)は、音程変化に乏しく見えかねない。しかし、それは実態とは乖離している。謡は必ずしも楽譜通りに謡われないからである。例えば、楽譜上で同一の音程でも実際の音高が変化しうる。本研究では、それらを考慮できる新しい解釈方法を確立させる。特に謡本には書かれていなかった暗黙の歌唱技法・表現に関して、実際の音響信号を参照して明示化することを目指す。

謡に対し、五線譜と同程度に音響信号と関連付けられるような旋律の記述方法を確立する。

能の節の可視化手法を提案する。この手法は、能の楽譜である謡本の楽譜情報と謡の音響情報との対応を取るものである。謡本の楽譜情報の例を図1に示す。提案法による可視化例は図2の赤線の部分である。この図の青線の部分が実際に謡われた声の高さであり、図1の上段の直線・曲線からなる図形を、時間方向・周波数方向に伸縮させて青線になめらかにあてはめた結果が赤線となる。

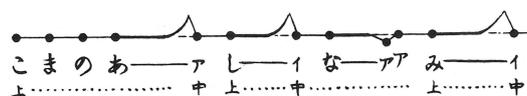


図1 謡の楽譜情報 [1]

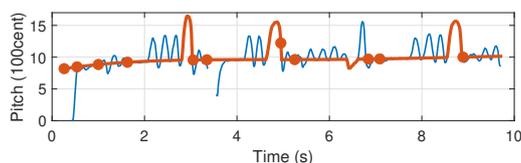


図2 節の可視化例(観世元正)

可視化手法は、謡の節の客観的な分析の基盤となることを目指して設計する。このような枠組は、音楽検索や歌声生成など近年の音楽情報処理の様々な研究成果に謡を適用するために有用である。また、可視化した結果は、能以外の音楽分野の作曲家が能の謡の要素を取り入れたり[3]、初心者が謡の節を解釈したり練習する

のに役立つであろう。

3. 研究の方法

(1) 能楽表現データベースの構築 [1] に楽譜が掲載されている 300 フレーズ (54 演目) を対象に整備した。能楽では似たフレーズが多用される。この 300 フレーズは頻出する特徴的なフレーズをカバーするように選ばれている。市販の素謡 CD などを収集し、その中で当該フレーズを一名で謡っている部分を対象とした。その結果、29 タイトルからヨワ吟 80 フレーズ、ツヨ吟 51 フレーズを整備した。

それぞれのフレーズに対し、音響データ、音素のセグメントラベル、楽譜情報を整備した。音響的なデータをこの規模で含んだデータベースは、日本の伝統音楽では存在しない。

(2) 謡の節可視化システム 節の詳細な分析のためのシステムを開発する。可視化システムの仕様は以下のとおり。

- 入力単独で謡ったフレーズ単位の音声データとする。
- 処理対象のフレーズの楽譜情報も入力とする。
- 音声データから基本周波数 (f_0) を抽出する。
- 音声データから音声認識システムを利用して、音声データのどの時間がどの音に対応するか決定する (スコアアラインメント)。
- f_0 とスコアの対応をとる。ナビキの変動を除去して、なめらかな節の変化をとらえるため、多項式回帰手法を用いる。
- 推定値結果を用いて反復的に推定して対応の精度を高める。

(3) 音階のモデル化 謡の節の可視化システムを用いて、音声データと楽譜情報の対応をとることで音高を推定する。その音高を用いて、音程を推定し、従来研究の音階と比較しモデル化する。まず、目視で確認する。

(4) リズムのモデル化 素謡ではリズムは必ずしも明確ではない。しかし、伴奏である囃子と混合されている音声データでは、基本周波数推定の精度が低いため、節の可視化システムがうまく動かない場合がある。そこで、囃子と混合されている音声データから謡の部分に強調するシステムを開発し、適用後の音声データを可視化できるようにする。

(5) 流儀の特徴のモデル化 謡の節の可視化システムを用いて、流儀の違いが区別できるか確認する。節の可視化システムは、楽譜情報の入力・解釈に関して、対象が観世流であることを想定しているため、他の流儀に関しては、楽譜情報などを観世流に読み替えた上で処理する。

4. 研究成果

2019 年度から能楽師の研究協力者を得たことにより、当初の計画を 1 年延長した。その結果、当初の計画をより具体的にすすめられた。また、当初、想定が曖昧だった部分の方向性が明確化された。また、招待講演 [4] などで、研究自体が少しずつ知られるようになってきた。

(1) 謡の節の可視化システム 能楽師の経験知と新たに発見した文献 [5] を参考に手法の詳細を調整したことで、高精度に節と楽譜情報の対応がとれるようになった。その結果をまとめて情報処理学会論文誌に投稿した。

対応がとれない部分に関しては、参考になっている従来研究の楽譜情報の解釈が実際の謡にあっていない可能

性が高い。また、観世流以外の流儀の楽譜情報の解釈は定かでない部分が多い。これを解決するには、能楽師へのインタビュー調査が不可欠であるという結論に達した。この発想に基づき、法政大学能楽研究所の「能楽の国際・学際的研究拠点」の2021年度の共同研究を申請し、採択された。

完成させたシステムは楽譜情報の入力が必要とする。西洋音楽は音響信号と楽譜情報が能の謡ほど乖離していないため、音響信号だけで楽譜情報を推定する「自動採譜」という技術が研究されている。そこで、音階が音響信号と比較的一致しているヨワ吟に対して自動採譜システムの構築を試みた [6]。しかし、詞章（歌詞）を与えた状態でも詞章と音声データの対応精度が不十分であり、その部分を解決する必要があることが明らかになった。

(2) 音組織の分析・流儀のモデル化 謡の節の可視化システムを用いて、謡の節のモデル化を行うため、ヨワ吟の節の音高を分析した。研究協力者の能楽師の経験から流儀によって楽譜情報に対応する音高が異なる例として「羽衣」の最後の部分である。この節はヨワ吟である。謡本では、「中音」から200 cent程度上の「中浮音」を経由してさらに300 cent程度上の上音で終止するように指定されている。観世流と金剛流の謡のその部分の推定結果を図3に示す。

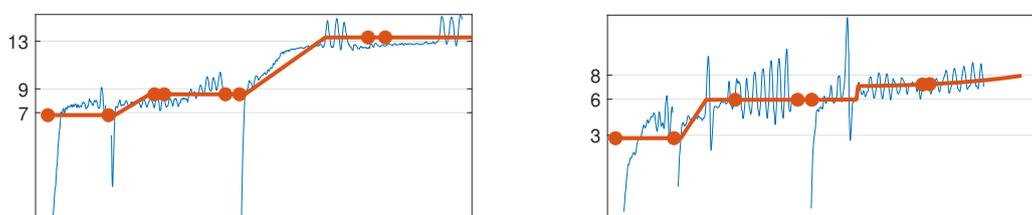


図3 羽衣の最後の部分の比較 (左が観世流、右が金剛流)

最後の上音の部分では、観世流は謡本より少し大きく400セントほど上昇している。一方、金剛流では200セントしか上昇していない。終止（楽曲がどう終わるか）は、音楽的には重要な要素であり、モデル化の際の扱っても重要であろう。

節のモデル化には、音階など音組織の分析が必要なが明確化されたため、研究課題を音組織の分析に発展させた提案が2020年度の科研に採択された。

(3) リズムのモデル化 開発した謡の節の可視化システムは素謡という伴奏のない謡のみを対象としている。しかし、素謡はリズムが明確ではなく、リズムの分析の端緒とするには適していない。そこで、本研究のために整備した素謡の音源と、囃子（はし）のみの音源を組み合わせたものを学習データとして、囃子つきの音源から謡の部分分離する手法を開発した。

開発したシステムを用いると、素謡の90%程度の精度でf0を推定できる。実際の音源に適用した例を図4に示す。

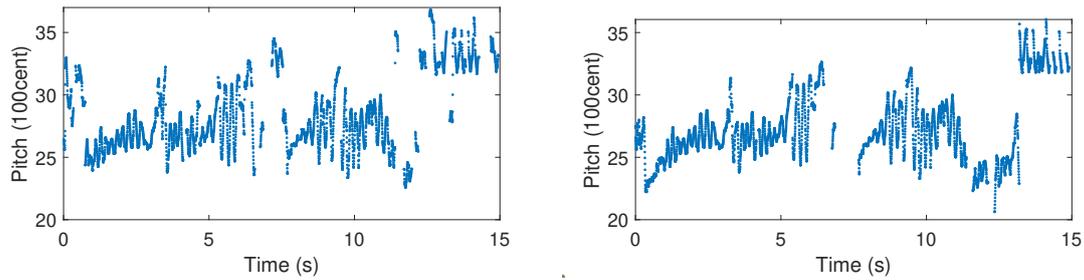


図4 実音源 (左) と音源分離適用結果

Melodia を直接適用した f0 軌跡では、フレーズの冒頭部分の急激に上がる部分や、12s あたりの低い謡の部分で推定できていないことがわかる。一方で、音源分離した結果でも、フレーズの最後の部分は打楽器が連打されている部分が除去しきれずに誤って推定されてしまっている。この部分については、フレーズの最後の音が5秒近く延ばして謡っており、徐々に弱い発声となっている。謡の音響信号の強弱については、ほとんど研究が進んでいないため、その点の解明は今後の課題である。この点も含めて、このシステムを用いてリズムのモデル化を行うのは今後の課題である。

なお、分離手法に対しては情報処理学会の学生奨励賞を受賞した。また、情報処理学会論文誌に投稿した。

(4) 音楽の多層モデル 謡に関しては、音組織の解明などできていないがコード進行、コード進行とメロディーの関係など西洋音楽のメロディーの多層構造についてニューラルネットワークでモデル化する方法を開発した [7]。この研究に対しては情報処理学会の学生奨励賞を受賞した。

参考文献

- [1] 三宅航一: 節の精解, 檜書店 (1962).
- [2] 横道萬里雄: 能楽講義ノート【謡編】, 檜書店 (2013).
- [3] 青木涼子: 作曲家のための謡の手引き (オンライン), 入手先 (<http://ryokoaoki.net/study/introduction.html>) (2016) (参照 2017-08-24)
- [4] 伊藤 克亘, 田中 敏文: 能の謡の音組織分析をめざした多層的なモデル化, IEICE-119, IEICE-SP-398, pp.IEICE-SP-13-IEICE-SP-18. (2020)
- [5] 小幡重一, 廣瀬政次, 豊島武彦: 謡曲に現るゝ特殊の顫音 “ナビキ” の物理的性質. 科学, vol.4, pp. 334-337 (1934).
- [6] 村松優太, 伊藤克亘: ヨワ吟の音程のバリエーションを分析するための自動採譜. 情報処理学会全国大会, 2ZD-01, (2021).
- [7] Clément Saint Marc, 伊藤克亘: Generating Homophonic Music with LSTMs Dedicated to Melody and Harmony. 情報処理学会全国大会, 2P-07, (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tanaka Daiki, Ito Katunobu	4. 巻 2018
2. 論文標題 Automatic Electronic Organ Reduction System Based on Melody Clustering Considering Melodic and Instrumental Characteristics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISM	6. 最初と最後の頁 151-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISM.2018.00-20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sota Nishiguchi, Yuma Koizumi, Noboru Harada and Katunobu Ito	4. 巻 2018
2. 論文標題 DNN-BASED NEAR- AND FAR-FIELD SOURCE SEPARATION USING SPHERICAL-HARMONIC-ANALYSIS-BASED ACOUSTIC FEATURES	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 iWAENC	6. 最初と最後の頁 510- 514
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IWAENC.2018.8521401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tamoto Atsuki, Ito Katunobu	4. 巻 2020
2. 論文標題 F0 Estimation Using Blind Source Separation for Analyzing Noh Singing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MLSP	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MLSP49062.2020.9231812	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka Daiki, Ito Katunobu	4. 巻 2018
2. 論文標題 Automatic Electronic Organ Reduction Using Melody Clustering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MMEDIA	6. 最初と最後の頁 10-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 田本篤喜, 伊藤克亘
2. 発表標題 能の謡分析のためのU-Net音源分離を用いたメロディ抽出
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村松優太, 伊藤克亘
2. 発表標題 ヨワ吟の音程のバリエーションを分析するための自動採譜
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田本篤喜, 伊藤克亘
2. 発表標題 能の謡分析のためのブラインド音源分離を用いたF0抽出
3. 学会等名 FIT2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤克亘、田中敏文
2. 発表標題 能の謡の音組織分析をめざした多層的なモデル化
3. 学会等名 日本音響学会音声研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsuki Tamoto, Katunobu Itou
2. 発表標題 Voice authentication by text dependent single utterance for in-car environment
3. 学会等名 SolCT (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中敏文, 伊藤克巨
2. 発表標題 能の謡のピッチ解析による日本の音階の変遷過程の検証
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎友介, 伊藤克巨
2. 発表標題 参照音源の奏法特徴を考慮した演奏評価による管楽器奏者のための練習支援システム
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西口草太, 小泉悠馬, 原田登, 伊藤克巨
2. 発表標題 円形マイクアレーを想定した球面調和関数展開に基づく近接 / 遠方音分離T-Fマスク推定
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海野沙弥香, 伊藤克亘
2. 発表標題 音場シミュレーションと選択式頭部伝達関数システムを用いた2ch立体音響システム
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野翔太, 伊藤克亘
2. 発表標題 LSTMを用いた繰り返し構造を持ったメロディ生成による作曲支援システム
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩見壮留, 伊藤克亘
2. 発表標題 シングルリード楽器における管体形状による音響特性の変化の解析
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田本篤喜, 伊藤克亘
2. 発表標題 能における謡分析のための音源分離を用いたF0抽出
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村井亮介, 伊藤克巨
2. 発表標題 裏声発声に着目したミックスボイス習得メソッド
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中 大貴, 伊藤 克巨
2. 発表標題 自動編曲のための音楽的特性に基づく旋律クラスタリング
3. 学会等名 FIT 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松沢知花, 伊藤克巨
2. 発表標題 声帯の開き具合を意識させる高音域歌唱練習システム
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門田 椋介, 伊藤克巨
2. 発表標題 参考曲を用いた初心者向け作曲支援システム
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤大悟, 伊藤克巨
2. 発表標題 ミス検出機能を備えた歌声音源制作支援システム
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野まなつ, 伊藤克巨
2. 発表標題 コード進行HMMを用いた伴奏作成支援システムの構築
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西口草太, 小泉悠馬, 原田 登, 伊藤克巨
2. 発表標題 球面調和関数に基づく距離別分離音を用いた深層学習による近接音声分離
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田本篤喜, 伊藤克巨
2. 発表標題 走行中の自動車内環境での音声による個人認証
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井沙季, 伊藤克巨
2. 発表標題 キャラクター音声のステレオタイプ識別のための音響分析
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中大貴 伊藤克巨
2. 発表標題 旋律クラスタリングを用いた総譜の旋律の可視化
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深澤彩美 伊藤克巨
2. 発表標題 非線形回帰を用いた楽曲の 1/f ゆらぎ度の測定
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田聡平 伊藤克巨
2. 発表標題 パラ言語情報によるラベリングに基づく音声合成用の演技音声検索システム
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西口草太, 小泉悠馬, 原田 登, 伊藤克亘
2. 発表標題 球面調和関数に基づく距離特徴量を用いた DNN 音源強調
3. 学会等名 日本音響学会2018秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中大貴, 伊藤克亘
2. 発表標題 旋律特徴と楽器特徴に基づく総譜の旋律クラスタリング
3. 学会等名 情報処理学会 全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西口草太, 伊藤克亘
2. 発表標題 物体の物理特性と運動に基づく仮想落下音の生成
3. 学会等名 情報処理学会 全国大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	山中 玲子 (Yamanaka Reiko) (60240058)	法政大学・能楽研究所・教授 (32675)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	赤石 美奈 (Akaishi Mina) (60273166)	法政大学・情報科学部・教授 (32675)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	田中 敏文 (Tanaka Toshifumi)		シテ方金剛流能楽師

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関