

フレットレス伝統邦楽楽器の周波数特性分析による 自動採譜に関する研究

小坂谷壽一、小玉成人、伊藤智也、川守田礼子
八戸工業大学

〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 8 8 - 1

E-mail: kosakaya@hi-tech.ac.jp

あらまし 八戸工業大学を取り巻く地域伝統音楽環境の特色として、津軽と南部伝統芸能の狭間に位置している為、この伝統音楽（特に津軽三味線、南部三味線）を次の時代を担う若年層演奏者に口伝ではなく、未来永劫譜面として正確に記録する技術が、特に地域伝統芸能継承者や市の地域伝統音楽保存会より強く望まれている。今回、三味線に弦単位のピックアップマイクロフォンを備えたいわゆる“エレクトリック三味線”と、この音源から譜面を自動的に作成する自動採譜装置を試作した。本研究では・音源の解析処理～・採譜処理～・譜面の記録処理に関する基礎技術を確認し、今後、他の伝統楽器や声楽等にも自動採譜の応用展開を図る予定である。

キーワード 採譜、共振、西洋譜と文化譜、Agent、パターン認識

Research of the automatic scoring system by taking sounds down in musical notations for traditional folk songs (Tsugaru Shamisen)

Juichi Kosakaya, Naruhito Kodama, Tomoya Ito and Reiko Kawamorita
Hachinohe Institute of Tech.

88-1, Myo Ohbiraki, Hachinohe, Aomori, 031-8501, Japan

E-mail: kosakaya@hi-tech.ac.jp

Abstract Hachinohe Institute of Technology is uniquely situated within the amalgam of Tsugaru and Nambu's traditional arts. Local traditional arts people and the city's traditional music preservation society have strongly wanted a technology to accurately score traditional music, especially Tsugaru shamisen and Nambu shamisen. This music will be preserved as scores which avoids relying solely on the oral transmission of this music to the young performers. At this time, we have experimentally produced an “Electric Shamisen” equipped with a pick-up microphone attached to each string and automatic scoring equipment, which automatically records scores from the sound source. This research has established the basic technology to analyze and process the sound source, score processing; and score recording. We intend to further develop automatic scoring of other traditional musical instruments and vocal music.

1. まえがき

青森県は、伝統芸能の宝庫である。しかしその保存（特に音楽）方法は口承に因る伝承が主で、古くから譜面で子々孫々に伝える風習が殆ど無い状況にあった。この為、時代を経る毎に昔古来の節回しが正確に弟子に伝承されず誤って伝えられたり、一部では既に本来の唄い回しが消えつつあり、三味線伝承者やこれら地域伝統音楽保存会（一般市民）にとって、この伝統音楽の保存が今や切実な課題となってきた。本研究の目的は、地域伝統楽器（津軽三味線、南部三味線）の音源から、情報技術を駆使して「自動採譜」を行う装置を開発しこれらの問題を解決する事にある。この採譜とは、音楽において楽曲を譜面として記述する事を指す。本研究により、譜面に精通した専門家がいちいち師匠の演奏を採譜する手間が省け、地域伝統の音源さえあれば、その楽器固有の楽譜に展開する事が容易となり、今後の伝統芸能の保存に一層貢献するものと思われる。

2. 自動採譜装置

自動採譜装置とは、楽曲の音源を入力～分析～解析～譜面化の処理をするもので、今までも様々な研究[1]～[3]がなされている。本研究では特に邦楽（津軽三味線、南部三

味線等）楽器に着目し、それらの奏でる地域伝統音楽を譜面化してその保存や再生を目的とする。

2. 1 装置構成

本研究装置の構成は、図1に示す通り三味線に弦専用独立ピックアップを備えたいわゆる“エレクトリック三味線”と、この音源から譜面を自動的に作成する“自動採譜処理部”から成る。その特徴として前者は弦の共振を避けるべく“弦単位のピックアップマイクロフォンを装着”し、単独音階音（周波数）の抽出を可能とした。一方「自動採譜処理部」は、・音源周波数分析処理、・三味線音階（つば）判読処理、・採譜（文化譜や西洋楽譜に変換）処理、・速度指定装置などで構成される。まず三味線で奏でた音を自動採譜装置に入力し、音源周波数分析処理で周波数を解析する。次に三味線音階判読処理で、その周波数と予め登録してある音階周波数を比較し偏差が許容範囲に入っていれば音階（つば）と特定し、採譜処理に移り文化譜又は西洋譜面に変換する。

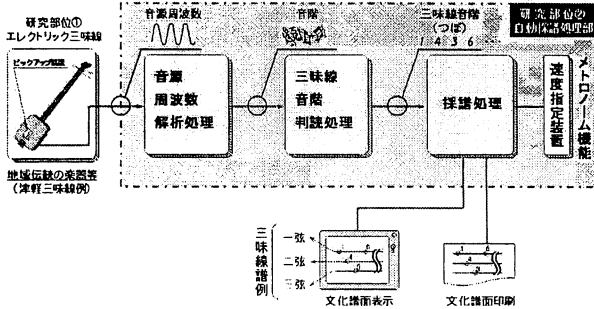


図.1 自動採譜装置構成

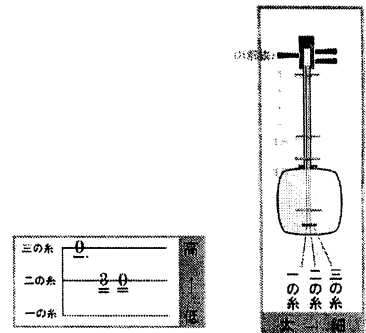


図.3 文化譜と三味線の対応

2. 2 西洋楽譜と三味線譜（文化譜）の比較

三味線のような純邦楽と称される日本固有の伝統音楽には元々楽譜がなく、明治42年坂上ヨウ（後の4世杵家弥七）によって「三絃楽譜」と言われる五線譜が初めて発行された。しかし、当時の邦楽愛好家には五線譜を理解する人が殆ど居なかった為、一般には中々普及しなかった。その後更なる研究を重ね、新渡戸稲造博士の知遇を受けてようやく「三味線文化譜」が完成した経緯がある。この文化譜は初心者にも分かり易く、三味線音楽を民衆化するのに多大な貢献をした。現在では三味線音楽の主流のみならず、長唄、小唄、端唄等様々な分野で広く用いられている。ここで、西洋楽譜と三味線譜（文化譜）の違いを記載する。

(1) 西洋楽譜とは

西洋楽譜とは現在最も広く用いられている高音軸と時間軸とを持った点グラフの一種とみなされる楽譜のことである。おもに用いられる記号として図. 2に示すとおり音部記号、調合、拍子記号、音符、休符、臨時記号、演奏記号の他、言葉による標語などがある。

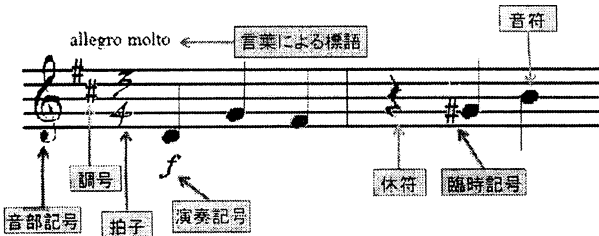


図.2 西洋楽譜

(2) 文化譜とは

文化譜とは、昔からあった三味線の譜面に、五線譜の要素を取り入れた一種のタブラチュア譜のことである。音程を表記する代わりに、演奏ポジション（つぼ）番号を表記する。「赤譜」とも呼ばれる。また、調弦という三味線の調律の状態がある。この状態の種類によって、一の糸、二の糸、三の糸の間の開放弦の差が違う。図. 3と表. 1に調弦の種類と糸の対応を示す。

表.1 調弦表

	一の糸と二の糸の音程	二の糸と三の糸の音程	一の糸がG(F)のとき (一の糸、二の糸、三の糸)
本調子	完全4度	完全5度	G(F)F(ファ)G(F)
二上り	完全5度	完全4度	G(F)G(リ)G(F)
三下がり	完全4度	完全4度	G(F)F(ファ)B(ビシ)

(3) 楽譜記号の対応

西洋不記号と文化譜記号の一部の対応関係を表. 2に示す。文化譜において、音符は押さえるつぼ番号、休符は黒丸で表記する。また、音符、休符の長さは棒線の位置で表す。

表.2 音符と休符の対応表

西洋楽譜	文化譜	西洋楽譜	文化譜	西洋楽譜	文化譜	西洋楽譜	文化譜
全音符	※---	全体符	—●●●●	付点2分音符	※—		
二分音符	※—	二分休符	—●●	付点4分音符	※	3連符	※※※
四分音符	※	四分休符	●	付点8分音符	※		※※※
八分音符	※	八分休符	γ	付点16分音符	※		※※※
16分音符	※	16分休符	γ	付点32分音符	※	5連符	※※※※※

2. 3 採譜対象楽器（津軽三味線、南部三味線）の指記号

津軽三味線固有の記号は様々な解説書[4]-[8]として市販されているが、今回代表的な指記号を表3にまとめる。津軽や南部三味線では独特の指回しや、パチと左手のコンビネーションで成り立つ奏法が少なくない。譜面だけ見ても実際に手の動きが思い浮かばない時や動きをある程度指示しておいた方が演奏者にとって極めて役に立つ反面、これらの指示記号は西洋譜面には無いもので、採譜の際極めて紛らわしく判読に難解になる点是否めない。本研究では、特に「ス」、「ハ」、トレモロ（トリル）等の検証では音符判読に難解を極めた。詳細は4章に詳述する。

表.3 指回し等優先度規定テーブル例

項目	内容	優先度定数
1	ス(スクイ撥)	a1
2	ハ(ハジキ指)	a2
3	スリ(スリ指)	a3
4	ウ(ウチ指)	a4
5	・(スタッカート)	a5
6	〜〜(トレモロ)(トリル)	a6
7	>(アクセント)	a7
8	オン(オンキ撥)	a8
9	スベリ(スベリ撥)	a9

3. エレクトリック三味線

邦楽楽器の大半は電子的耐用に造られていない。邦楽特有の音質が損なわれるのが主な理由である。しかし、今回三味線を Acoustic 音で収録しその音源を周波数分析した場合、・騒音ノイズの影響や・人間の耳に聞こえない微小な高周波・低周波の影響を遮断する事が不可能な為、エレクトリック三味線を開発し、その音源をラインアウトで直接

入力し譜面化する事にした。エレクトリック三味線の特徴として写真1の通り、・弦毎に高性能ピックアップマイクロフォンを装着、・絃の共振を極力排除、・不要な倍音の排除、更にスケルトン仕様ではあるが出来るだけ生の三味線と同じ感覚で弾ける様に胴体構造も工夫した。その原理は、弦の振動を電気信号に変換し A/D 変換後、音階（つば）に対応した周波数を抽出しスペクトル解析後、譜面化を行なった。

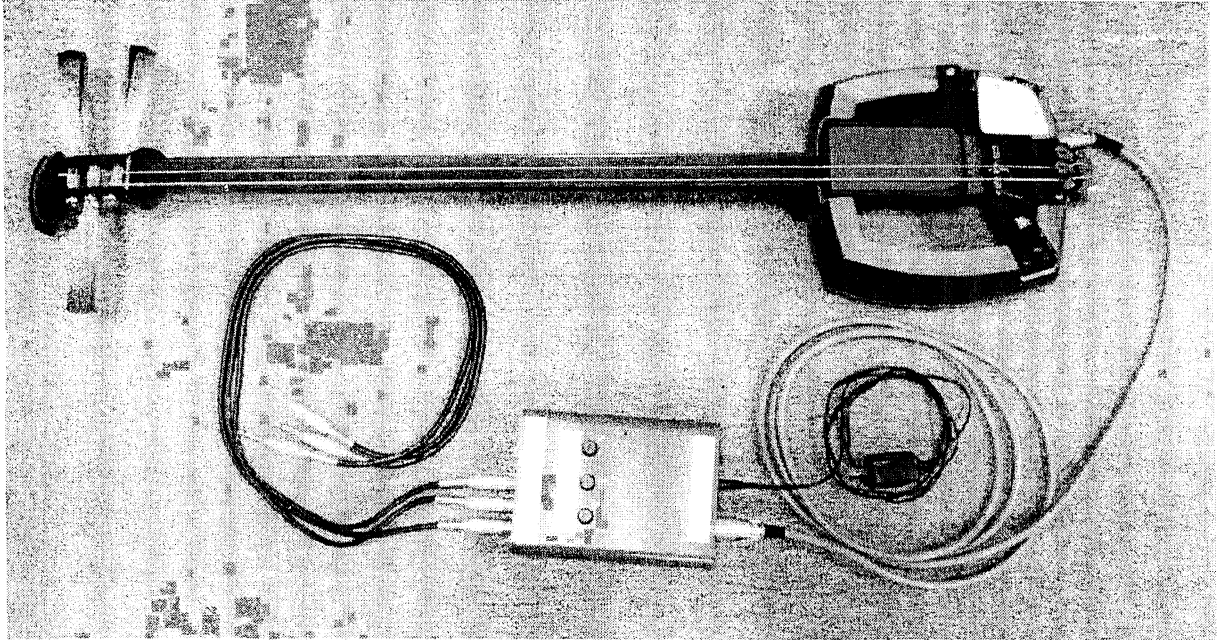


写真.1 エレクトリック三味線

4. 自動採譜装置

4. 1 自動採譜処理

図1の図に示した通り、自動採譜装置は主に下記の処理から構成される。

(1) 音源周波数解析処理：三味線弦（1～3弦）の周波数範囲を予め登録し、バチで弾いた弦の音をスペクトル解析し、他の弦との混信・共鳴を排除し、この単弦音のみ抽出を可能とさせる。

(2) 三味線音階判読処理：三味線特有の調弦（例・本調子、・2上がり、・3下がり）を登録し、この調弦に対応した各弦の音階（1本の弦で、0～18の度合）を周波数単位に解析し、A/D変換する。

(3) 採譜処理：A/D変換後のデータ（数字表示音階）と登録周波数音階（デジタルデータ）とを比較し、比較結果が許容範囲内であれば、演奏者が弾いた正規の音階（“つば”：三味線譜面の音階は数字を表す）と見なし、この音階数字を当該譜面メモリーに保存する。

4. 2 採譜における三味線特有の問題点

しかしながら、採譜処理において下記三味線特有の問題が発生した。例えば

(1) 単音にビブラートをかけた場合、単音ではなく複数音階の束と認識する。

(2) ス（スクイ撥）とハ（ハジキ指）などの区別が出来

ない。

(3) トレモロ（トリル）音の場合、入力音に譜面表記処理が追随出来ない。

などである。これらの解決の為、マルチ Agent を使用して三味線音階（つば）判読処理を行なったので、以下記載する。

4. 3 マルチ Agent 方式による三味線音階（つば）判読処理

本処理では、入力された音階周波数が正しく認識させる為に、マルチ Agent (エージェント) を使用した判読処理を行なった。このエージェントとは、現在広い意味で使用されているが本論文においては次節に示す三味線特有音を判別する優先度定数の判別や音符の配列を推定し、必要な時に必要な条件で必要な情報を動的に生成し、一弦～三弦にまたがる音符の理想的な配列を交渉・協調処理を有する機能を指す。この Agent の構成法は様々な分野で報告 [9]-[10] されてきているが、本研究ではマルチ Agent による三味線音階（つば）の判読を行なう。

4. 3. 1 三味線音階判読処理

図4に特に核となる音階（つば）識別素子を使用したマルチ Agent 方式による音階判別ソフトウェア・アルゴリズムを示す。まず音源周波数解析処理部から送られてきた音階データは、入力モジュールを経由して弦毎の音階判読

処理で該当音が入っているかが判断される。単音であれば当該判別処理部が起動され、複層音の場合は複数の弦音階判別処理が同時に起動される。その後先選択優先処理に従い、規定の音階が特定され入力順番に通信モジュールを経由して採譜処理部に移る。この際、この入力された音源周波数が音階（つば）に該当するかを、各音階（つば）単位の機能が付加された音階判別 Agent が判断する。この判断処理は、例えば、4. 2 節問題点（1）が発生した場合、一定時間内に音の変動が収まっているか、又は継続しているか更には次の音に移っているかなどを、音階（つば）単位の識別素子同士が音階情報を比較し合って解決する。この際、参考にするのは三味線特有情報を記載した表 3 の指

回し優先度（パラメータ）規定テーブルである。入力音階情報が明らかに単音で無い場合、ス（スクイ撥）又はハ（ハジキ指）などのパターン情報を予め登録しておき、指回し特有の音階配列変換処理を行なう。このように Agent 同士が予め登録された優先度規定テーブルを参考にして判断し、その音階と種別（ス、ハ等）を 1 個ずつ決めて行く。この比較の際、他の Agent と競合（相反する判断）した場合、更に優先度定数（パラメータ）同士を比較して音階と種別を再度決定する。

又、この音階が 1/4 音又は 1/8 音規定のつばより b 又は # であった場合、不協和音の 1 部と判断し音階矯正機能が起動され、正規な音階に矯正される。

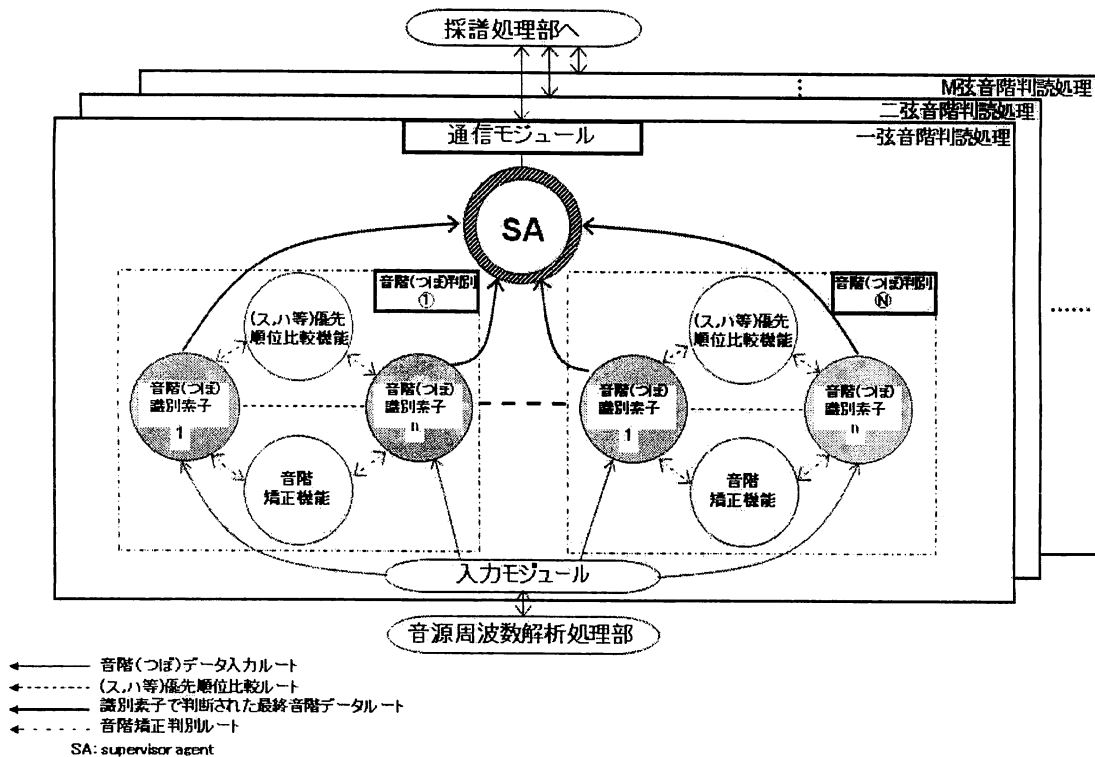


図.4 三味線音階判読処理

4. 3. 2 音階識別素子の動作フローチャート

図 5 に音階識別素子の動作フローチャートを示し詳述する。まずステップ A では、入力音源周波数と全ての音階周波数テーブルと比較し、振動の該当弦と音階（つば）を特定する。ステップ B で入力音階周波数がいかなる音階（M 弦の N 音階）にも不一致であれば、ステップ C に移り音階に相当しない音、即ちノイズと判断しこの周波数を除去しステップ D で次の音階周波数を入力する。ステップ B において当該音階周波数（M 弦の N 音階）と一致した場合、ステップ E

において三味線固有の奏法（例えば、指回し奏法など）に該当するか否かを判別する。ステップ F において、三味線固有の奏法で無い場合（標準奏法）、ステップ H に移りこの入力周波数該当の音階を登録し、次の音階周波数を入力する。ステップ F において、三味線固有の奏法と判断した場合、ステップ G に移行し（ス：スクイ撥、ハ：ハジキ指等）の優先順位を比較し、この音階テーブルに準じて音符を矯正する。そしてステップ H に移りこの矯正後の音階を登録する。

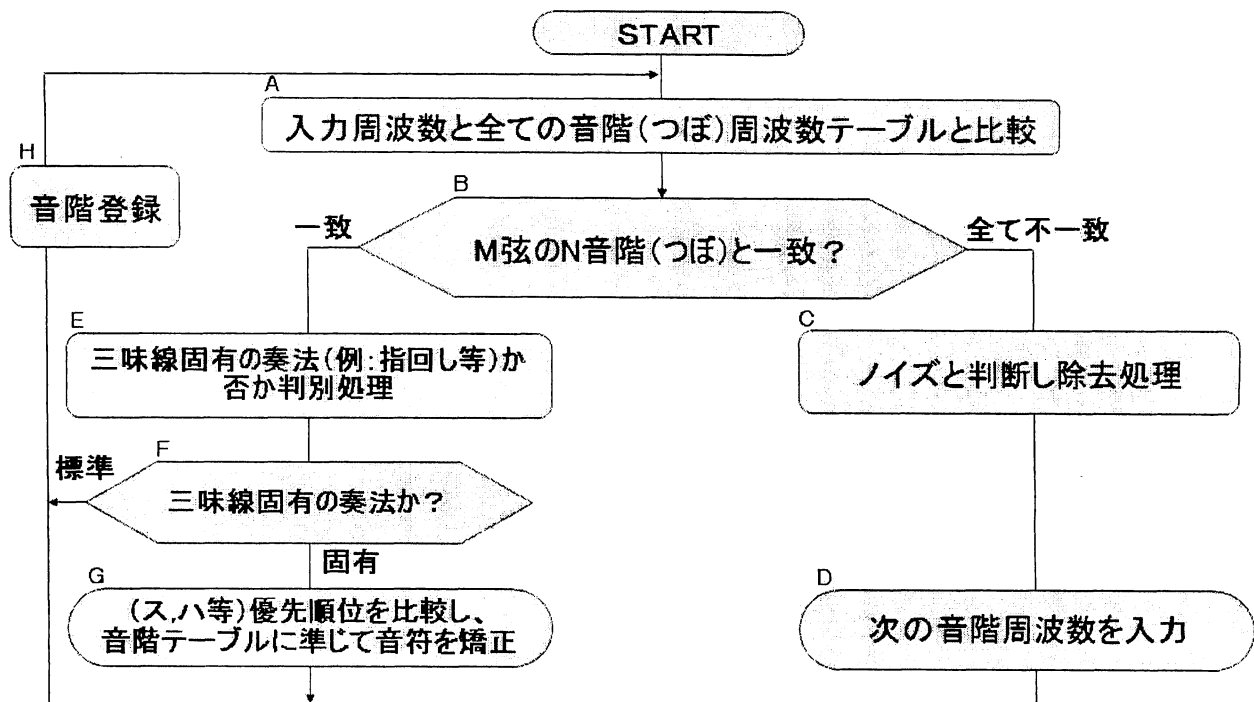


図.5 音階識別素子の動作フロー

5. 試作機による実験と検証

写真1に示すエレクトリック三味線を使用して図1の構成で実験を行なった。音源に使用した楽曲は「さんさ時雨」である。本曲は比較的ゆっくりした曲ではあるが、例えばカ(返し)やス(すべり)、様々な音高、テンポ、パターンリフレインが含まれるなど、マルチ Agent の有機的な動作が確認できる為選曲した。

5. 1. 1 三味線音源周波数の解析

図6に、エレキ三味線音源を入力した際の音源周波数特性を示す。図6に示す通り、音源周波数は帯域100Hz～数kHzの中で倍音の山とその周波数の増減に対応して音符の塊として検出される。本研究方式を使用しないでそのまま採譜した場合、図7に示す通り基本音の採譜は出来たものの、雑音やそれに相当する不要な音符が付加され原作の音源譜面にはほど遠い結果となった。この要因として、大きく2つの理由が挙げられる。

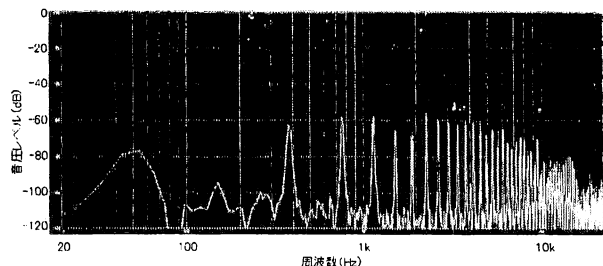


図.6 エレクトリック三味線音源周波数特性(生音)

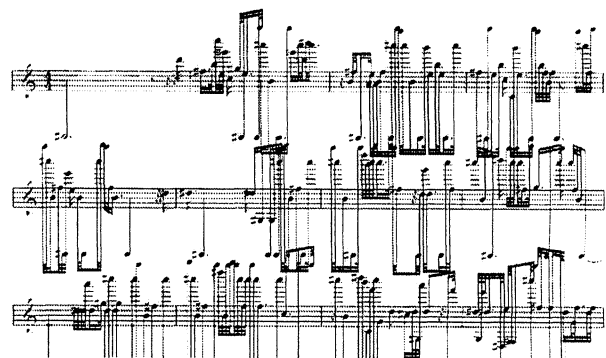


図.7 採譜変換後の楽譜(生音)

(1) 津軽三味線特有の奏法：①対象とする該当音が振動する前に撥が先に弦に当たる為、その撥の当たる振動音が対象音前後に音符として記録される。②フレットレス型弦楽器である為、目的音階に至る過程でつぼを押さえる時に発生する(人間の耳に聴こえない)微小なずれ(すべり音)が生じそれが記録される。

(2) 電気ノイズや共振音の影響：①電気楽器特有のノイズ(例えば53Hz ハム音や電源ノイズ)がハード的に含まれる。②ピックアップマイクフォンの感度を上げた場合、撥で弦を振動させなくても人間の耳に聴こえない振動音が自然発生している。

上記(2)の場合、ノイズカット用のローパスフィルターやバンドパスフィルターで、ある程度解決出来るものの、

(1)は三味線やフレットレス楽器特有の奏法に相当する為、奏者の意図に反する不要な音を排除して原曲に近い譜面を自動作成するには極めて難解な問題であった。

5. 1. 2 本研究方式の適用

本研究方式と電気ノイズ対策用フィルターを併用し上記と全く同じ条件で採譜化を行なった結果、図8及び図9に示す通り約70%~80%の認識度で原曲の譜面化が行なわれた。この結果、「マルチ Agent 方式による三味線音階(つば)判読処理」は、一定の効果を得たものと判断している。

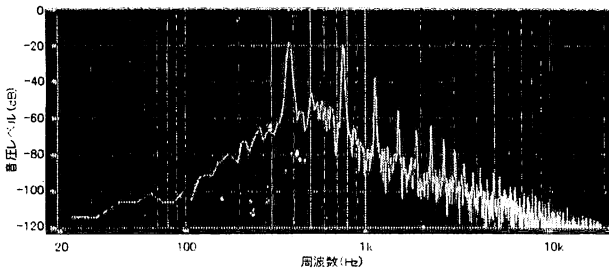


図.8 エレクトリック三味線音源周波数特性(本研究方式)



図.9 採譜変換後の楽譜(本研究方式)

5. 1. 3 実験結果の検討

この実験に先立ち、三味線以外のフレット型弦楽器(例:エレキギター)を使って同様に測定した。この結果、図10、図11に示す通り音階認識の基点となる音源周波数の立ち上がり・立ち下り分解能は格段に上がったものの、弦特有に発生する安定振動迄の時間差が、ピアノ等の鍵盤楽器のそれと認識率に格段の差がある事が分かった。やはりフレットレス弦楽器の採譜は予想以上に難解である上、津軽あるいは南部三味線特有の指回しや撥さばきに充分配慮した設計をしなければ製品化は無理であろう。今後、これら課題を優先条件として Agent 機能に充分学習させた上で、音階認識アルゴリズムをエンハンスし更なる向上を図る予定である。

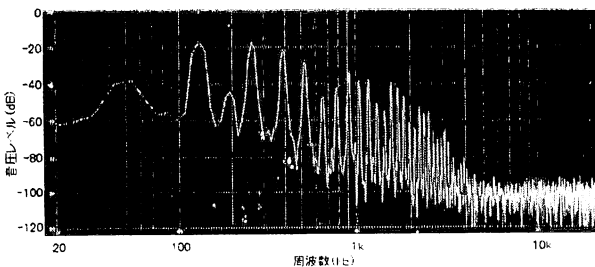


図.10 エレキギター音源周波数特性(生音)



図.11 採譜変換後の楽譜(エレキギター)

6. まとめ

本稿では、伝統音楽(津軽・南部三味線)保存用自動採譜装置について、マルチ Agent 方式を使用して入力音源周波数に対応する音階(つば)の判別方法と津軽三味線特有の音階解析方法を提案した。本方式に因れば、フレットの無い多くの日本古来の伝統邦楽楽器の譜面化も可能となり、基本技術の応用範囲も楽器のみならず、将来は声楽にも適用可能と考えている。今後の課題として、音階(つば)の解析度の更なる向上と、三味線固有の表現をより正確に譜面化する技術の確立に注力する予定である。

謝辞

本研究にあたり、ご協力頂きました(有)三味線かとう、(株)ソフトステート、南部芸能協会会長赤坂良蔵氏、佐藤純氏、斎藤香織氏には厚く御礼申し上げます。尚、本研究は、平成20年度総務省SCOPE研究補助金(082302001)により行なわれている。

文献

- [1]松下史也、夏井雅典、田所嘉昭、“並列構成くし形フィルタによる広音域ピアノ楽音の音高推定法、情処研報、2007-MUS-71, pp. 173-178, 2007
- [2]坂内秀幸、夏井雅典、田所嘉昭、“くし形フィルタに基づく自動採譜システムの実現”、情処研報、2007-MUS-71, pp. 13-18, 2007
- [3]寺井優、田所嘉昭、“Resonator 型くし形フィルタによる打楽器音を含む楽音の音高推定法、情処研報、2008-MUS-76, pp. 119-124, 2008
- [4]木下伸市、津軽三味線スタイルブック、2005
- [5]小山貢、津軽三味線小山貢民謡集第一集、2001
- [6]野口啓吉、楽しい三味線曲集、2007
- [7]本篠秀太郎、和の楽しみ「本篠秀太郎の三味線ちりちり連、2003
- [8]上妻宏光、永遠の詩、2005
- [9]J. Kosakaya, H. Tadokoro and Y. Inazumi, “Cooperative Control Technology with ITP Method for SCADA Systems”, IEICE, Vol. E91-D, NO.8, Aug. 2008
- [10]J. Kosakaya, K. Morisaki, “Electronic Music Stand Equipment”, IEEE 21th international conference of AI, Proceedings, pp. 34-46 vol. 3, Gelendzhik, Russia, Sep., 2006.