研究題目	インタラクティブ採譜方法による声明とご詠歌の装飾音の研究	報告書作成者	フベルトス・ドライヤー
研究従事者	フベルトス・ドライヤー（Hubertus Dreyer）、近藤　静乃（本姓：青木）、新堀　歓乃		
研究目的	本研究の目的は、第一に、メロダイン Melodyne というソフトウェアを用いた新しい採譜のアプローチの可能性を検討し開発すること、第二は、このアプローチを特に声明における装飾音の研究に応用することである。それぞれの目的について、以下、さらに詳しく説明する。 1）メログラフは、50 年代後半から開発され、当時、人間より正確かつ客観的に音楽を採譜できる機械として大いに期待されたが、意に反して様々な面で批判を受けることになり（ジェラズボイ Jairazbhoy など）、機械が出した採譜の結果についても、その解釈が必ずしも容易ではなかった。このような問題を抱えていたため、機械による採譜は音楽民族学において当時期待された程には広まらなかった。また、メログラフはアナログの機械であったが、70 年代以降にはコンピュータによる自動採譜のアプローチが数多く提案されてきた。それにもかかわらず、今日においても自動採譜には難解な問題がまだいくつか残っている。 もともとピッチ補正のツールとして開発されたメロダインがその問題をすべて解決できるとは言えないが、他の類似しているソフトと比べると、メロダインは非常に柔軟かつ直感的な操作によって、人間とコンピュータの間のフィードバックの多彩な可能性を有している。したがって、メロダインは従来のソフトよりも優れた採譜を作成することが可能と思われる。 しかし、メロダインは商業的なソフトなので、まずこのソフトの機能を科学的な面から厳密に検査しなければならない。このような検査に経てこそ、メロダインに特徴的なフィードバックの機能を利用した「インタラクティブな採譜方法」を開発することが可能となる。そして、本研究の最終的な目的は、できるだけ簡単に採譜する方法を模索することにある。 2）東アジアの声楽に見られる装飾音は、他に類を見ないほど多種多様、かつ繊細である。このような装飾音については、人間の耳では正確に聞き取れないような極めて細かいレベルの分析が必要であり、機械を経ずしては不可能であろう。日本音楽の様々なジャンルには、こうした多彩な装飾音があふれており、この装飾音なくしては音楽の魅力が半減すると言っても過言ではない。したがって、こうした装飾音を精査することは、当該音楽の特色をより客観的に捉える上で大変意義深いことであると思われる。本研究では、特に装飾音が豊かなジャンルのひとつ―真言宗豊山派の声明―における装飾音を精査する。具体的には、以下の問題に着目する。		

研究題目	インタラクティブ採譜方法による声明とご詠歌の装飾音の研究	報告書作成者	フベルトス・ドライヤー
研究従事者	フベルトス・ドライヤー (Hubertus Dreyer)、近藤　静乃 (本姓:青木)、新堀　歓乃		
研究目的 (続き)	・声明の具体例によって、メロダインによる採譜方法を洗練させる。 ・メロダインによる採譜の結果と『新義真言声明集成 楽譜篇』第 2 巻(1998 年、本研究の共同研究者、近藤静乃による研究成果)の比較 ・採譜の結果に基づいて、二人の真言宗豊山派の僧侶(青木融光師・孤嶋由昌師)の様々な装飾音の比較 ・　採譜の分析から得られる、予想外の結果の解釈 研究計画書では、研究目的について次のように示した。 「声明とご詠歌における装飾音の従来の採譜方法では採譜不可能な細部を調べ、それぞれの装飾音を比較分析することによって、『見えない音楽理論』(音楽活動の首尾一貫性を支える言語化されていない理論、徳丸吉彦『音楽とは何か』2008 年、p.203)の言語化を目指すことである。」 本研究はこの期待に完全に応えることはできないが、それを明らかにするために必要なツール、もしくは人間の能力のみでは不可能な細かい採譜を提供できるものと考えられる。		

研究内容	メロダインとは、2000 年以降いろいろなヴァージョンを展開しているソフトで、一般的にはヴォイス修正のために利用されてきた。本研究では、これを音楽学的な採譜に利用するため、その機能をより詳しく理解し、自動採譜の諸問題の研究に基づいて当該ソフトの特許に関する調査やその機能に関していくつかの実験(他のソフトとのパフォーマンスの比較など)を行った。 当初、メロダインによる声明とご詠歌の採譜を取り上げる予定であったが、協力研究者の一人(新堀氏)は、中国での発表後、多忙のため研究参加ができなくなった。 従って、研究の重点をメロダインの機能性とそのプログラムによる採譜の諸問題に置くこととし、真言宗豊山派の声明における装飾音を主たる分析対象としてメロダインで採譜を行い、研究を進めた。 幸いにも、予期せずして、ノイベカ氏は私たちの研究にたいして深い関心を見せた。例えば、彼は次のように述べた。 “Tatsächlich ist es so, daß mir persönlich musikwissenschaftliche Forschungen wie z.B. die Ihre wichtiger sind als jede ″normale″ Anwendung von Melodyne in der Musikproduktion.” 「実は、私は個人的に、あなたが行っている音楽学的な研究を、メロダインの「普通」の音楽制作における応用より大事と思っている。」(2011 年8月 11 日のメールから) メール交換の結果、ドライヤーはノイベカ氏にドイツ(ミュンヘン)において本研究のために二つの長いインタビューを行うことをご快諾いただいた。そのインタビューでは、ノイベカはメロダインに関して数多くの他には手に入らない情報を披露し、いくつかの音例をまだ公開していないメロダインのヴァージョンで採譜してくれた。 1)自動採譜とメロダイン 自動採譜の諸問題は、大まかに二つに分けることができる:①音の物理的な特性の抽出と、②その物理的な特性の解釈。音の特性(ピッチ—基本周波数または周波数スペクトル—、ピッチ変化の時間的次元、音量 など)の抽出に関しては、数多くの方法が存在する(時間領域:ACF(自己相関関数)、AMDF(平均振幅差関数)、Yin-アルゴリズムなど、ZCR(零交差数)、位相空間の ZCR 分析;周波数領域:FFT(高速フーリエ変換)によるスペクトルの分析、ケプストラム分析、定 Q 変更、瞬時周波数計算;その他:アトミック・デコンポジッション、くしフィルター、ニューラルネットワーク、低レベル HMM など)。そのなかでも、最近 ACF に関連する方法、FFT や定 Q 変更に関連する方法と瞬時周波数計算を利用する方法が、音楽の音響分析には最も一般的に使われている。

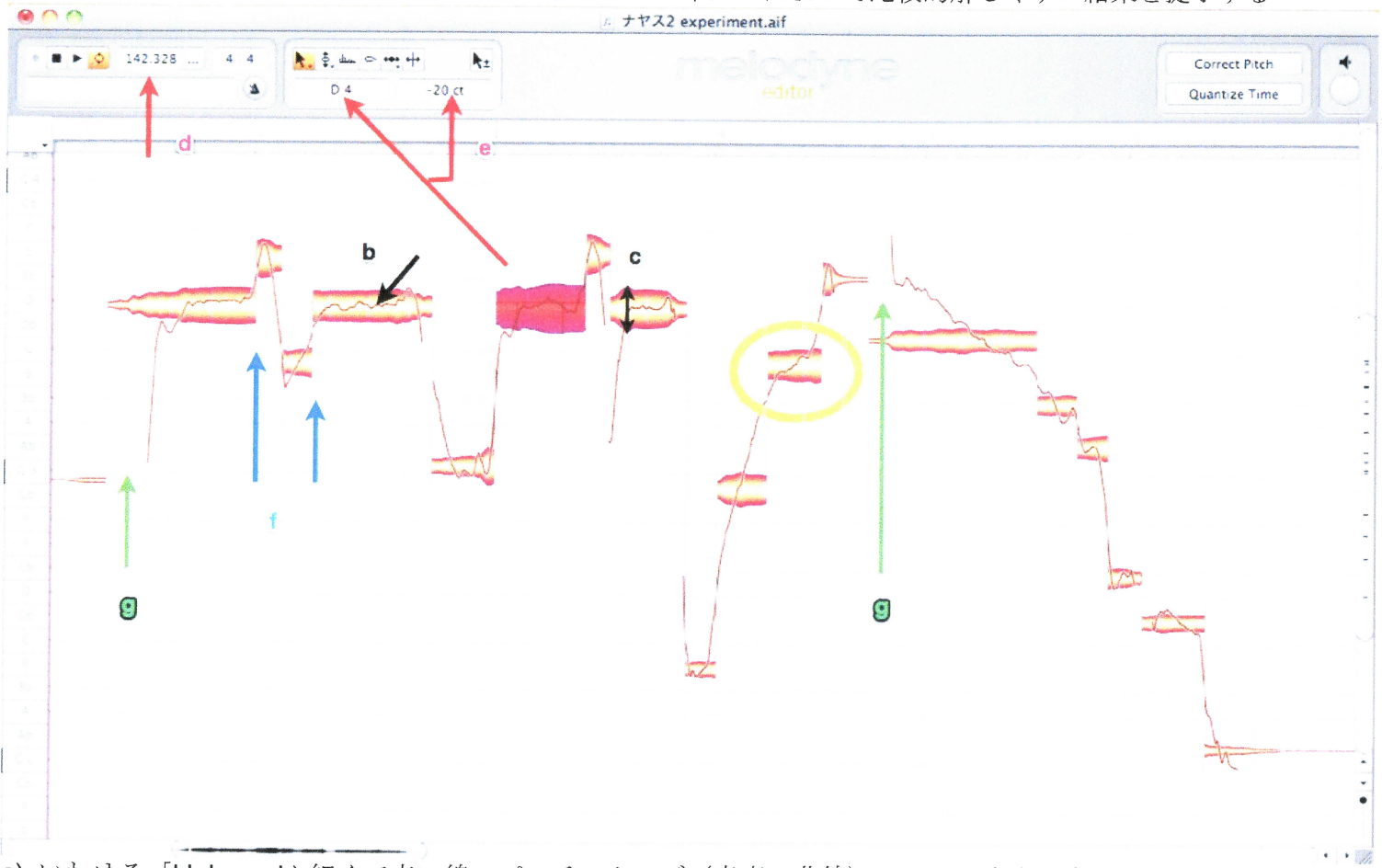
研究内容	本研究で使用するメロダインの機能は、現在では、「メロディック」、「ポリフォニック」と「リズミック」のモードを提供するが、「メロディック・モード」の場合は自己相関関数係の計算方法、「ポリフォニック・モード」の場合は FFT に基づいた計算方法を利用する。「ポリフォニック・モード」のピッチ検出の改善に関しては、瞬時周波数計算に基づいて研究中である。 それぞれの方法は利点も弱点もある。ACF を利用して、音を時間的な面も周波数も両方非常に細かく検査することができる反面、単声の音楽しか分析ができず、いわゆるオクターブ・エラーが発生することもあり、ノイズへの耐用性も問題である。一方、FFT による方法は、多声の音楽の分析は可能であるが、計算的に重くて、スペクトル漏れという問題が存在し、不確定性原理によって、測定の細かさには限界がある。その様々な問題点の中でも、現在では計算的重さやスペクトル漏れはかつてよりも重要でなくなり、ACF におけるノイズの耐用性の問題には以下で説明する CASA のコンテキストで、利点が潜んでいる。しかし、その他の問題は今でも簡単に克服することはできない。 上述の方法によって、入力した音の物理的な特性は何らかのグラフで視覚的に表示される。しかし、グラフを解釈することは、FFT によるスペクトログラムであれ、ACF による推定した基本周波数の曲線であれ、決して簡単ではない。この問題をより理解するためには 80 年代末に始まった CASA(計算論的聴覚情景解析)という科学分野が参考になる。自動採譜のアプローチの多くは、人間の解釈をモデル化するために、いくつかのヒューリスティクス(例えば:ノイズが音のオンセットを表す傾向がある)に応じて音の特徴を抽出して、様々なヒューリスティクスを統計的な方法(HMM やベイジアンネットワーク、サポートベクターマシン、ニューラルネット)を利用しながら合算し、ボトムアップのパラダイムに基づいている。このようなアプローチが限界に達しているということはいろいろ指摘されてきたが(例えば Paiva 2007 、Leman ら 2008)、トップダウンのパラダイムを生かす自動採譜のプログラムは現在では音楽の限られた分野(例えばいくつかの特徴を持っているポップス)にしか存在しない(例えば Ryynänen&Klapuri 2008)。 音楽民族学の立場からすると、統計的な方法も特定のスタイルに基づいたトップダウンモデルも、ともにあまり望ましいとは思われない。統計的な方法は訓練が必要であるが、どのジャンルの音楽を訓練に用いたかによってピッチ検出システムの動作環境が異なり、訓練に用いたジャンルと異なる音楽を採譜したときに、その採譜対象に適したピッチ検出の結果を示すとは限らないからである。たとえば、リコーダーの音のオンセットを高い確率で見つけることのできる採譜システムが、声明の音のオンセットをも適切に判断できるとは限らない(Collins 1996)。 メロダインも CASA の研究に基づいたヒューリスティクスによって比較的読みやすい結果を提示する(説明書図1)。しかし、メロダインは高級な統計的方法を利用するより、利用者にいわゆる「ノートアサインメントモード」でいくつかの「キュー」(手がかり)を提供して、最終的にはその「潜在的」なキューの中で一番当たるものを選ぶことは、プログラムを操作する人間に委ねられている。(説明書図2)

研究内容 （続き）	ここで特に問題になるのは、プログラムと利用者の間のでき得る限り順調なフィードバックの方法である。メロダインにはそのためにいくつかの可能性が存在し、音楽の種類によって、その可能性の合理的な組み合わせは多少異なると思われる。 声明の装飾音の採譜に効果的な方法は音のストレッチング（音伸ばし）を行って、装飾音の細部をゆっくり聞くことである。メロダインはストレッチングのためにいわゆる Local-Sound-技術を使い、この技術によって、音をいかに伸ばしても、音の乱れは現在で知られている他の方法よりはるかに少ない。（Thielemann 2010；ちなみに、Thielemann はこの技術を初めて 2009 年に提案したが、その時すでに、メロダインはその技術を10年以上も使用していた。Thielemann とメロダインの発明者である Neubäcker ノイベカ氏はこの技術を、たがいの研究を知らずして個別に開発していたのである。）さらに、メロダインは Local-Sound 技術を、スクラッビングの時にも利用するため、音楽を様々なテンポで聞いたり、分かりづらい箇所を繰り返したり、必要に応じて「ノートアサインメントモード」で「潜在的」なキューを調べたりすることは便利に行うことができる。 2）真言宗豊山派声明の装飾音の採譜と分析 本研究において、真言宗豊山派を代表する僧侶、青木融光師と孤嶋由昌師が演唱する声明の CD から、次の装飾音のサンプルをとって採譜し分析した。 糸切節（それぞれ八カ所）・由下（それぞれ五カ所）・ナヤス（それぞれ二カ所）・藤由（それぞれ二カ所）・折捨（それぞれ二カ所）・由反（それぞれ二カ所）・極短・雲雀反・伽陀由、合計 48 カ所の装飾音。 それぞれの採譜結果を、まず『新義真言声明集成楽譜篇第二巻』に掲載した五線譜と比べた。この五線譜作成の意図は、個別の音に対応するような記述的採譜ではなく、旋律の規範形を表すことを目指しているものであるが、この五線譜をメロダインによる採譜と照合した結果、問題のある箇所を発見することができた。 青木融光師と孤嶋由昌師の演唱に見られる装飾音を同曲の同じ旋律型でもって比較すると（雲雀反など）、メロダインで図示される形状に明らかな差異が認められた（説明書: 図3、4）。さらに、複数の旋律型のサンプルを分析した結果、装飾音における個人様式が浮き彫りになった。特に、両師のポルタメントには各々の唱法の特色が類型的に見られ、メロダインの画面に示される形状にはその特色がはっきりと現れており、その形状を見ればどちらの演唱か直ちに分かるほどであった。

研究内容 （続き）	青木師の演唱にはさらに特徴的な技法が見られるが、これは伝統的な博士譜で特に指示されているレベルのものではない。例えば、説明書図5では、それぞれのビブラートの形に関連性が見られ、西洋音楽でいうところのモティーフの変更のようにも考えられる。説明書図6は青木師の特徴的な技法のひとつで、ポルタメントにビブラートが加えられるという珍しい技法である。 このような現象から、青木融光師の演唱上の意識は、五線譜の「音符」や博士譜の単位より細かい要素に向けられていたのではないかと推測している。従って、その要素に相応しいレベルの分析方法が望ましく思われる。惜しむらくは、青木師が故人となられているため、それをご本人に確認できないことである。 その他、非常に古い声明の録音（大正時代：瑜伽教如師）をメロダインを使用して採譜することを試みた。根本的には、このようにノイズがたくさん入っている録音もメロダインによって採譜可能であるが、採譜の前にメロダインの「ノートアサインメントモード」で、本質的な音と非本質的な音を選別する作業に多くの労力を要した。この問題の解決法については、ノイベカ氏が現在開発中である、新しい瞬時周波数計算に基づく「ポリフォニック・モード」検出が有効であると思われ、大きな期待を寄せている。 Nick Collins (2006) Towards Autonomous Agents for Live Computer Music: Realtime Machine Listening and Interactive Music Systems PhD Thesis. Centre for Science and Music, Faculty of Music, University of Cambridge Marc Leman, Frederik Styns and Nicola Bernardini (2008): Sound, Sense and Music Mediation: a Historical-Philosophical Perspective. in Pietro Polotti, Davide Rocchesso [編]: Sound to Sense - Sense to Sound: A state of the art in Sound and Music Computing Berlin: Logos Verlag, pp.15-46 Rui Pedro Paiva (2007): Melody Detection in Polyphonic Audio. PhD thesis, University of Coimbra Matti P. Ryynänen & Anssi P. Klapuri (2008): Automatic Transcription of Melody, Bass Line, and Chords in Polyphonic Music. Computer Music Journal 32:3, pp. 72-86 Henning Thielemann (2010): Untangling Phase and Time in Monophonic Sounds. Journal of Signal and Information Processing, 2010, 1, pp. 1-17

研究のポイント	音楽民族学の研究において、従来の自動採譜の機械やソフト（特にメログラフ、Cooper＆Sapiro が勧めた Praat、スペクトルグラム、さらに AudioScore や Widi4 などの商業的なソフト）は理解困難であったり、またその他の問題もいろいろ指摘されてきた。それに比べて、メロダインによる採譜の結果は読みやすく、ソフトの操作も簡単である。いわば音を見る顕微鏡のようなツールとして利用できる。 従って、五線譜では表記しにくいような細部を詳しく調べることができる。一つの例として、本研究は声明の装飾音の詳細を様々な側面から分析した。
研究結果	本研究は、メロダインの機能性をより明らかにすることができ、このソフトを利用するインタラクティブな採譜方法の正確な働きを確認することができた。また、他のソフトとのパフォーマンスと比較すると、現在ではこのような採譜方法が卓越していることも明らかになった。そして、声明の装飾音のインタラクティブな採譜のために、出来る限り簡単なワークフローを作ってみた。具体的な分析によって、①声明の装飾音における明確な個人差を確認した、②五線譜でも伝統的な楽譜（博士、仮博士）でも記録できない音楽要素の存在を理解することができた、③『新義真言声明集成楽譜篇第二巻』に掲載した五線譜の正誤を検証することができた。
今後の課題	今後の課題は、主に以下の三つが考えられる。 ①本研究の声明の採譜は、新しい分析方法を必要とする現象を含む。僧侶が意識すると考えられる音楽要素は必ずしも既存の楽譜にすべて表現されていない。例えば青木融光師の特殊的なビブラートには、いくつかの異なるタイプを識別することができる。このような「楽譜レベルより微細なパターン」はまず声明、または、ほかの日本の声楽ジャンルにも多く存在すると思われるが、その分析は現在までほとんど行われていない。しかし、このような分析は音の細かい動きを採譜できるツールに依存するという意味で、今回の研究はこのような分析の必然的な準備として考えられるだろう。 ②東洋音楽学会で発表した際、聴衆の中には、インドの声楽の装飾音を同じようにメロダインを使って採譜することに関心を見せていた研究者もいた。今回説明した方法は装飾音の複雑な単声音楽をジャンルを問わず当てはめることができると思うが、場合によってその使用方法を多かれ少なかれ音楽のジャンルに合わせる必要がある。 ③メロダインは多声の音楽を採譜できる可能性もあるが、多声音楽の問題は単声音楽の採譜の問題を遥かに上回る。メロダインは多声音楽をどこまで正確に採譜できるか、または、多声音楽の場合、インタラクティブな採譜方法はどの様な手順で進むべきなのか、これらについては今後の課題としたい。

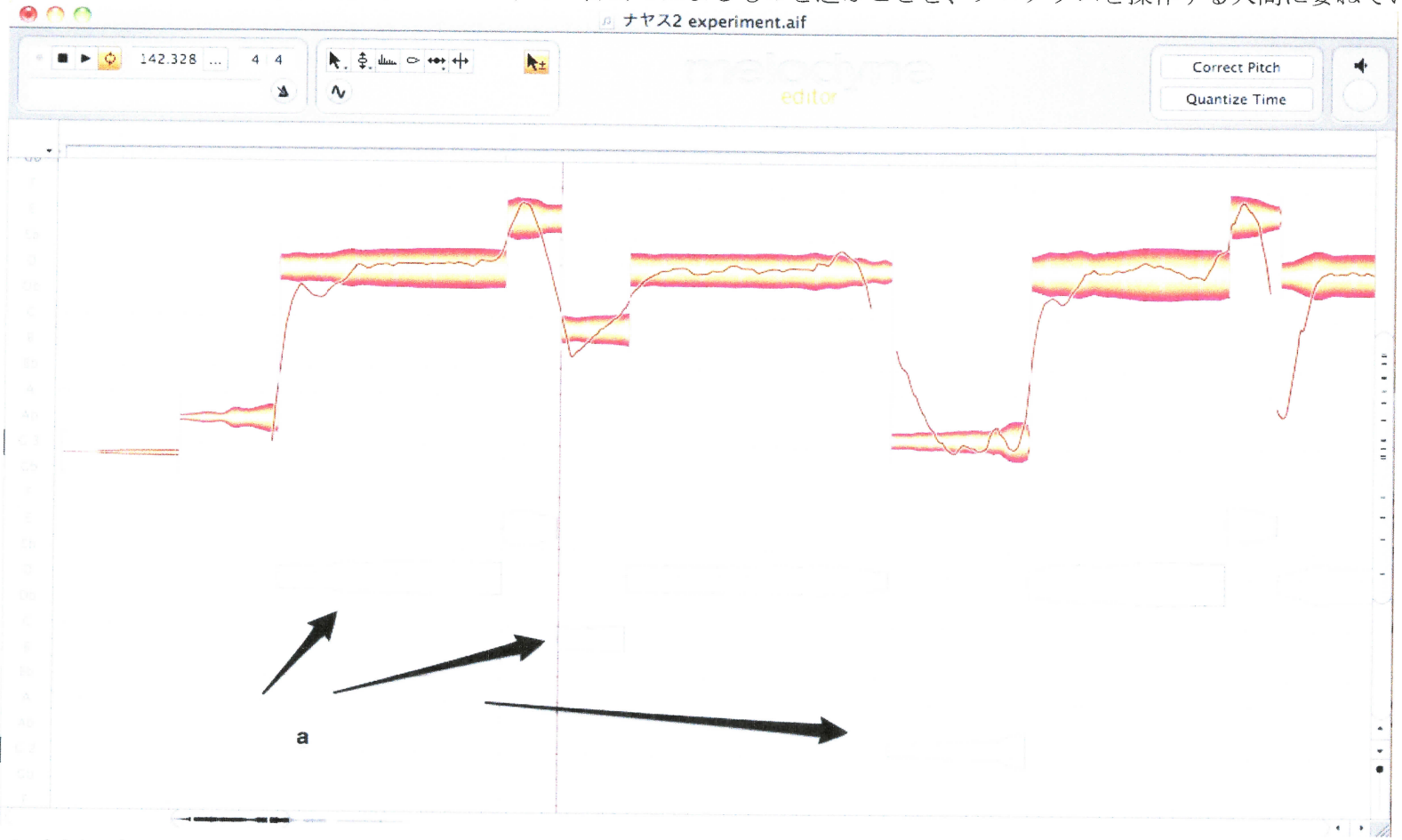
図1:メロダインはCASAの研究に基づいたヒューリスティクスによって比較的解しやすい結果を提示する



a) いわゆる「blob」　b) 細くて赤い線：ピッチ・カーブ（音高の曲線）c) blobの太さ：音量
d) メロダインが自動的に測定するテンポ（声明の装飾音を調べる時にはあまり関係がないが、例えば声明の速さを調べたいならば役に立つ）
e) 赤くなった blob の平均ピッチ　f) メロダインが自動的に認めるスプリット・ポイント（音のオンセット、子音など）
g) このような、ピッチを表す赤い線が続かないところでも、追加的なスプリットポイントを入れると音の高さを測定することができる。
（場合によって、ノートアサインメントモードでいくつかの可能な高さの間に選ばなければならない。メロダインがいくつかのピッチを提供する場合、このピッチの割合は根本的に整数比あり、音の延長上には影響がない。

（注:フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。）

図２:メロダインは高級な統計的方法を利用するより、利用者にいわゆる「ノートアサインメントモード」でいくつかの「キュー」（手がかり）を提供し、最終的にはその「潜在的」なキューの中で一番当てはまるものを選ぶことを、プログラムを操作する人間に委ねている。



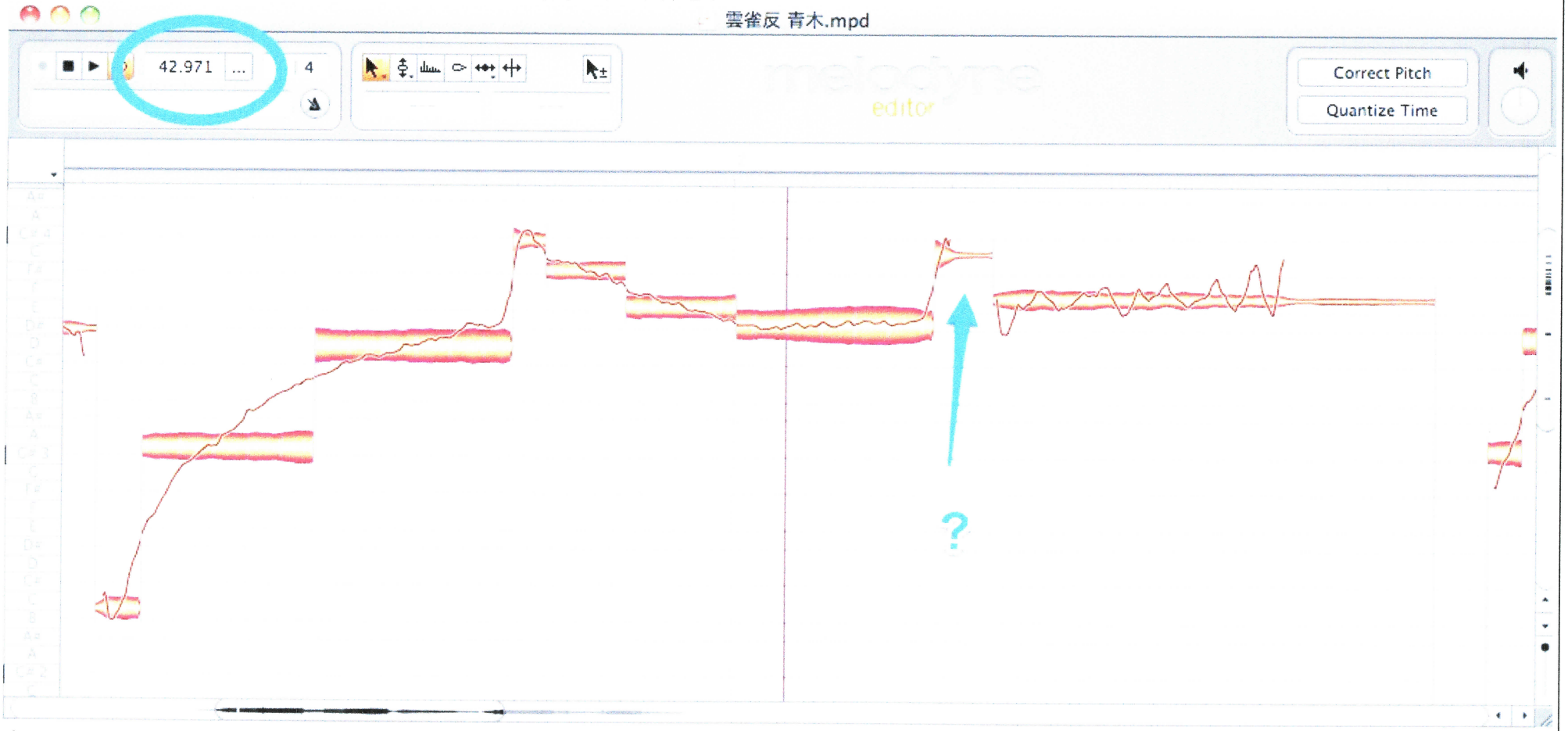
a) 空洞した blob は、メロダインによって「潜在的」なノートとして認識されている音である。殆どの場合では、この音のすべては一オクターブ低くい（ACF には音の基本周波数とその半分の周波数で極小値があるのは特徴的である）。上の例では、空洞でないノートは正しい。

（注:フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。）

図３＆図４

青木融光師と孤嶋由昌師の演唱に見られる装飾音を同曲の同じ旋律型で比較すると（雲雀反など）、メロダインで図示される形状に明らかな差異が認められた。

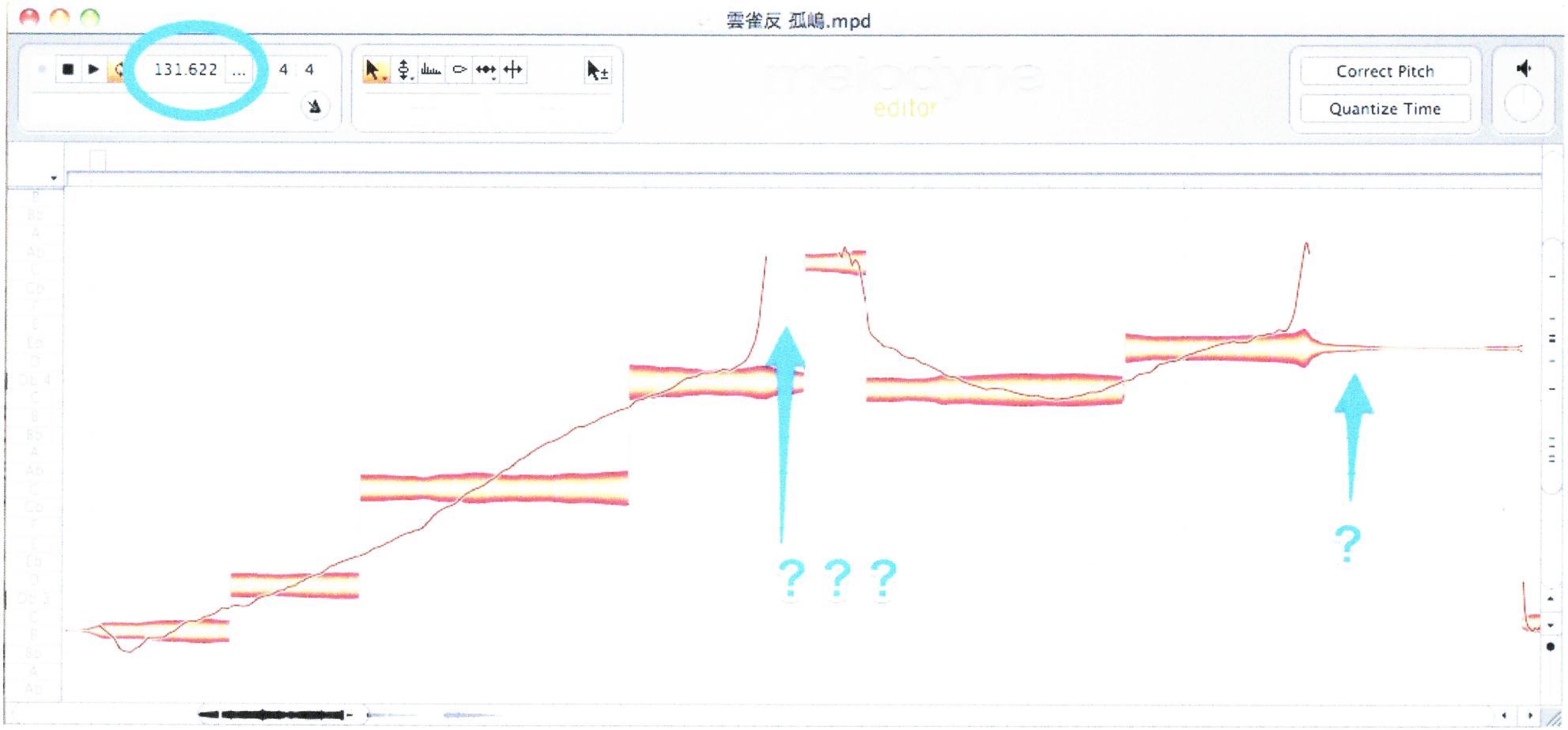
図３a: メロダインの最初の分析結果　ー　青木融光師の雲雀反



青い印の方に、スプリットポイントを入れると、赤い線が現れないところには子音があり、はっきりしたピッチがない。

メロダインが測定するテンポについて（青い楕円）、図1を参照。装飾音の採譜において、このテンポは関係がない。

図 4a：メロダインの最初の分析結果　一　孤嶋由昌師の雲雀反



三つの?マークが付いた印のところでは、スクラッビングを行なうとはっきりした音が聞こえる。スプリット・ポイントを入れると、ピッチが高く上昇することが分かる。その一方、後半の青い印のところには、子音があった、はっきりしたピッチは確認できない。

図３b：青木融光師の雲雀反

1) の長いポルタメントにおける音高変化は少しずつおだやかになり、２)の方には、声は裏声に入らず、およそ４度を上がる。

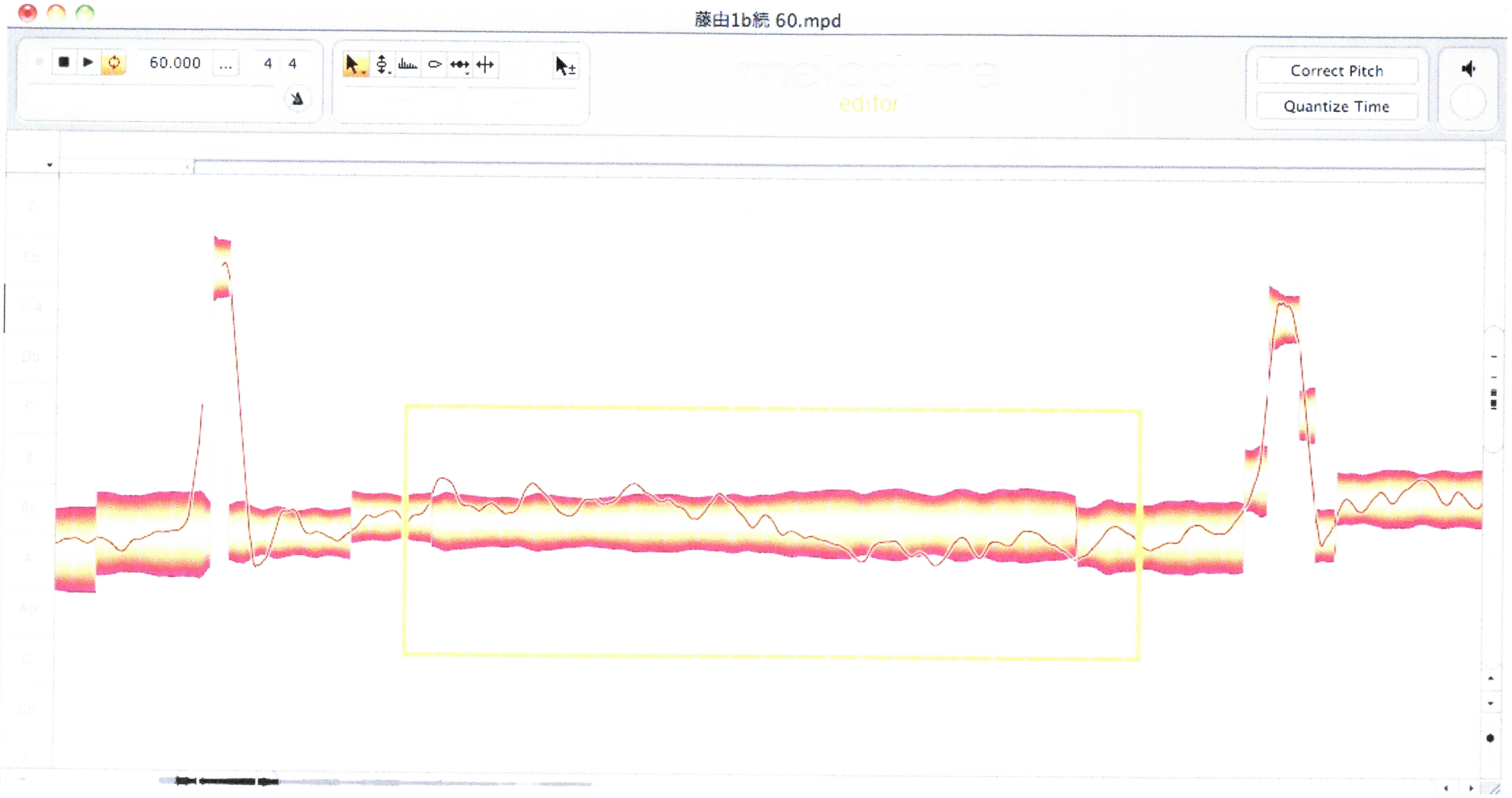
図４ｂ：孤嶋由昌師の雲雀反

１）の長いポルタメントのスピードは最初から最後まで、殆ど変わらない。２）の方は、声が裏声に入り、上がる音程はほぼ短七度という非常に広い音程である。

図５：ここでは、それぞれのビブラートの形に関連性が見られ、西洋音楽でいうところのモティーフの変更のようにも考えられる。

a) から c)まではっきりしたパターンの変化が見える（それぞれの一番高い音（青い印）は少しずつさげて、ピークの間の時間が短くなって、b）と c)においては、割合長く続けられている音の前には、声は少しさがる（黄色の印））。さらに、ビブラートの中においては、a)と b)には一つの大きな山があり、c)の方には二つの山が現れる。

図６：ここでは、青木師の特徴的な技法のひとつで、ポルタメントにビブラートが加えられるという珍しい技法である。（黄色の四・細い赤い線で表されたビブラートは少しずつさがっている）。



（注:フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。）

この研究は、以下の学会で発表、及び大学講義、論文執筆を行った。

学会発表

1. 第九回中日音楽比較国際学術検討会
日時:2012 年 10 月 13 日
場所:中国・斉南
.
2. 東洋音楽学会東日本支部第 64 回定例研究会発表
日時:2012 年 4 月 21 日
場所:東京芸術大学

大学講義

3. Robert-Schumann-Hochschule Düsseldorf (デュッセルドルフ国立音楽大学)
日時:2012 年 2 月 10 日
場所:ドイツ・デュッセルドルフ

4. Hochschule für Musik und Theater Hamburg (ハンブルク国立音楽大学)
日時:2012 年 2 月 15 日
場所:ドイツ・ハンブルク

5. Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover (ハノーファー 国立音楽大学)
日時:2012 年 2 月 17 日
場所:ドイツ・ハノーファー

論文

6. 第九回中日音楽比較国際学術検討会の発表に関しては、『第九届中日音楽比較国際学術研究会:論文集』(第九届中日音楽比較国際学術研究組委会　山東・済南)では、日本語(「自動採譜へのインタラクティブ・アプローチ　ー　メロダインを用いたご詠歌装飾法の採譜と分析」)または中国語で論文を執筆した。

それぞれの発表に関する書類または論文を添付した:

1. 第九回中日音楽比較国際学術検討会の日程表
2. 東洋音楽学会の例会案内、発表のプレゼンテーション(Keynote を使用)、配布資料、報告書(未発表)
3. ＋4。大学で発表を行った確認書
5. (3. ＋4。)と同様の確認書＋予定表(ドイツ音楽理論会の会報 -- GMTH の「Newsletter」)
6. 論文のコピー

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)