

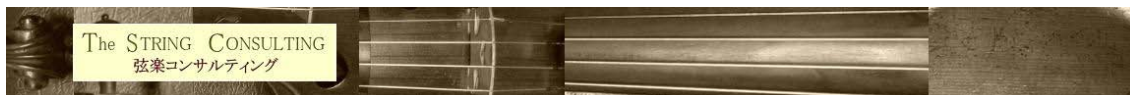
弦楽器解析ソフトウェア

MAESTRO

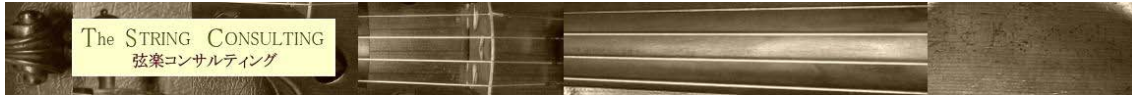
Version 4.0



ユーザーマニュアル 4.1



1. はじめに	3
2. MAESTRO の特長	
3. お気づきの点、ご要望などのカスタマーサポート	
4. インストール&アンインストール	4
4.1 動作環境	
4.2 インストールの方法	
4.3 アンインストールの方法	
4.4 インストールの注意事項	
5. 機能と操作	5
5.1 機能の説明	5
録音機能とWAVE ファイルの保存	
WAVE 音源再生	
音圧表示	
五線譜表示	
音程ずれ解析	
周波数分布解析	
スコア&記録	
ポジショニング補正	
音程診断	
ヴィブラート診断	
立ち上がり診断	
輝き診断	
エクスポート	
5.2 使用の流れ	10
5.3 画面の操作方法	11
5.3.1 演奏の録音方法とWAVE ファイルの保存方法	
5.3.2 WAVE ファイルの読み込み	
5.3.3 WAVE ファイルの再生	
5.3.4 解析の前提条件設定	
5.3.5 WAVE ファイルの解析 - 基礎解析(五線譜、音程ずれ)	
5.3.6 周波数特性	
5.3.7 周波数特性(比較モード)	
5.3.8 音程矯正	
5.3.9 音程ずれ分布	
5.3.10 ヴィブラート診断	
5.3.11 立ち上がり診断	
5.3.12 輝き(倍音)診断	
5.3.13 解析ファイルの出力	
6. 解析仕様	23
6.1 音圧表示	
6.2 五線譜表示	
6.3 音程ずれ表示	
6.4 周波数表示	
6.5 ノイズカット強度	
6.6 音程ずれ分布と音程スコア	
6.7 立ち上がりスコア	
6.8 倍音分布と輝きスコア	
7. MAESTRO の課題	27



1. はじめに

MAESTRO(マエストロ)をご利用頂きまして、誠にありがとうございます。本商品はユーザーの演奏した弦楽器の音を解析し、演奏を上達させるためにはどうしたらよいかを導く弦楽器コンサルタントソフトウェアです。

「弦楽器上達の近道は、自分の出した音をよく聴くこと」と言われています。自分の音を聴くことで、音程と音の安定さを客観的に評価することを試みているわけです。

MAESTRO は演奏の特徴を目で見て確認することができるため、聴くことによる自己評価の効果をより上げることができます。その結果、演奏を立体的に捕らえることができ、「どうしたらよい音が出るのか」という課題に取り組みやすくなります。

演奏スコアや音程修正などのユニークな機能を使えば、短期間での上達も期待できます。また、このような練習用途の他、波形解析機能を利用して、楽器選定にも利用できます。

これまでになかった弦楽器の音声視覚化機能を持つ弦楽器コンサルタントソフトウェア MAESTRO。MAESTRO で弦楽器の世界に更に陶醉してみませんか。

2. MAESTRO の特長

MAESTRO は弦楽器演奏能力の向上に必要な基礎的解析機能を備えています。これらの解析による演奏能力向上の試みは教師によって生徒に伝えられてきましたが、抽象的かつ感覚的な伝達が多く、必ずしも生徒は教師の意図を理解できていませんでした。

本ソフトウェアは抽象的解釈を一切排した物理解析に基づいています。また、グラフ機能を始めとする視覚確認を重視しています。これにより、弦楽器の学習者は演奏の向上に何が必要なのかを具体的に理解することができます。

現在のところ、MAESTRO のように弦楽器の演奏解析に着目した市販ソフトウェアはありません。これには 3 つの理由があると考えています。ひとつは、倍音成分の豊富な弦楽器の音声解析は一般に困難であり(例えば高分解能での周波数解析など)、この分野への挑戦が少なかったことです。ふたつめは、開発コストがかかりすぎ、一般の学習者が製品を購入する見込みがないためです。実際、音声解析ソフトという一般的名目で製品がありますが、最も廉価なものでも数十万円、場合によっては 200 万円以上で販売されています。最後に、弦楽器演奏の要点についてアイデアを持つ方と、物理解析(及びプログラミング)の技術を持つ方が一致しなかったことです。

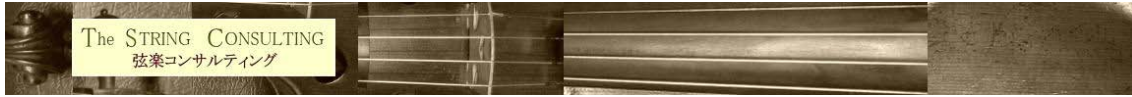
THE STRING CONSULTING は、弦楽器と物理解析、ならびにプログラミングに長けるスタッフを有しています。開発の結果、前述の基礎的解析機能を持つソフトウェアの発売に至りました。また、この製品コンセプトの流布を願い、手軽に購入できる価格を設定しました。

MAESTRO は日々進化する製品です。これから解析精度の向上と機能の充実を目指し、開発に邁進してまいります。なお、MAESTRO を購入して頂きましたお客様には 1 年間の無償アップデートを保証致します。

3. お気づきの点、ご要望などのカスタマーサポート

MAESTRO は日々進歩致します。お客様の貴重なご意見を是非お聞かせ下さい。製品へのご要望はできる限り製品に反映いたしたいと存じます。弊社へのご連絡は以下の Email アドレスまでお願い致します。

THE STRING CONSULTING
MAESTRO カスタマーサポート
wgsxk026@ybb.ne.jp



4. インストール & アンインストール

4.1 動作環境

- ・Microsoft Windows XP、Vista、7
- ・.Net Framework 4.0 以上
- ・画面の解像度 1024 × 768 ピクセル以上
- ・1GHz 以上の CPU(推奨)
- ・1GB 以上のメモリー(推奨)
- ・100MB の空きハードディスク(インストール用)
- ・ネットワーク接続(インストールとマニュアル閲覧用)
- ・CD-ROMドライブ(ダウンロードによるインストールを実行しない時に必要)

4.2 インストールの方法

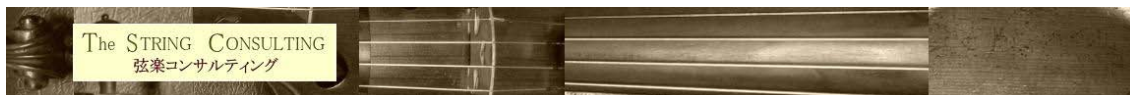
「maestroPackage」フォルダーに含まれる「setup.exe」をダブルクリックし、ウィザードに従ってインストールして下さい。

4.3 アンインストールの方法

「スタート」メニュー → コントロールパネル → プログラムの追加と削除
から「MAESTRO」を選択し、アンインストールして下さい。

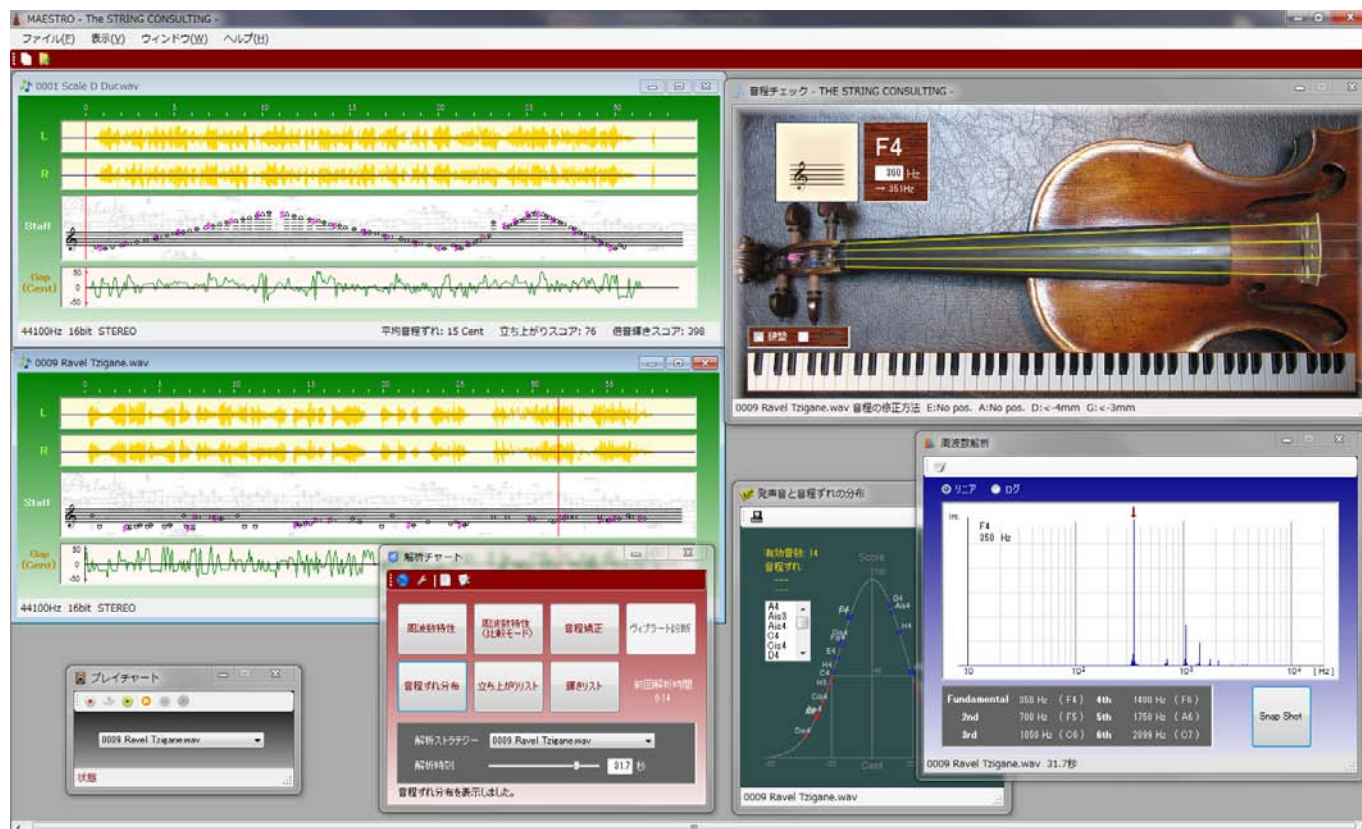
4.4 インストールの注意事項

インストールは管理者権限のユーザーでログインした後に行ってください。インストールには、弦楽コンサルティングが発行する ID が必要です。



5. 機能と操作

MAESTRO には弦楽器演奏の向上に着目した、ユニークな機能が搭載されています。この章では、MAESTRO の全機能と実際の解析手順について紹介します。



5.1 機能の説明

MAESTRO は以下の機能を持っています。

○ 録音機能と WAVE ファイルへの保存（マイクが必要です）

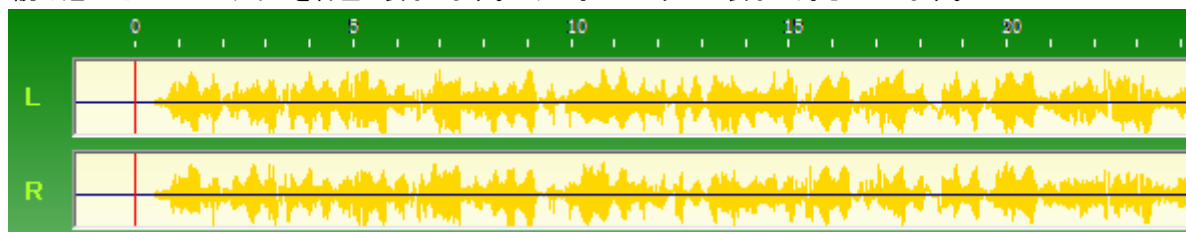
パーソナルコンピュータへマイクを接続することで、演奏を録音することができます。IC レコーダー等、市販の録音装置を用いて採取した WAVE 音源であっても、MAESTRO で解析することができます。

○ WAVE 音源再生

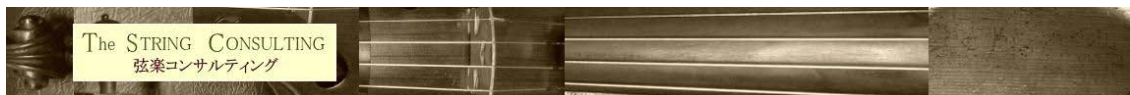
WAVE ファイルを読み込み、MAESTRO 上で再生できます。大ホールの音響を模擬した再生モードもあります。

○ 音圧表示

読み込んだ WAVE ファイルを音圧で表示します。ステレオ／モノラルの表示に対応しています。



横軸: 時間、縦軸: 音圧



○ 五線譜表示

読み込んだWAVE 音源を解析し、五線譜で表示します。



○ 音程ずれ解析

演奏中発声した音の周波数を解析し、正しい音程とどれくらいの違いがあるかを時系列のグラフで表示します。音程ずれの単位はセント (Cent) です。音律はユーザーが選択した平均律／純正律を基準としています。

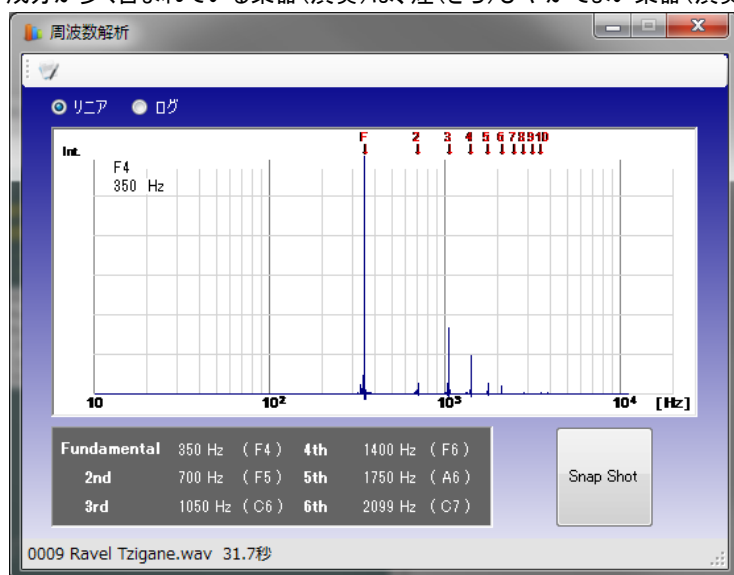


横軸: 時間、縦軸: 音程ずれ (±50 セント)

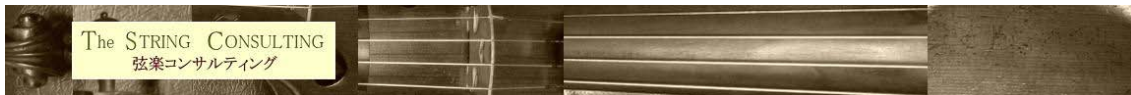
○ 周波数分布解析

ユーザーが指定した時刻における、(1)周波数分布図、(2)発声音名、(3)基音周波数及び倍音周波数を表示します。

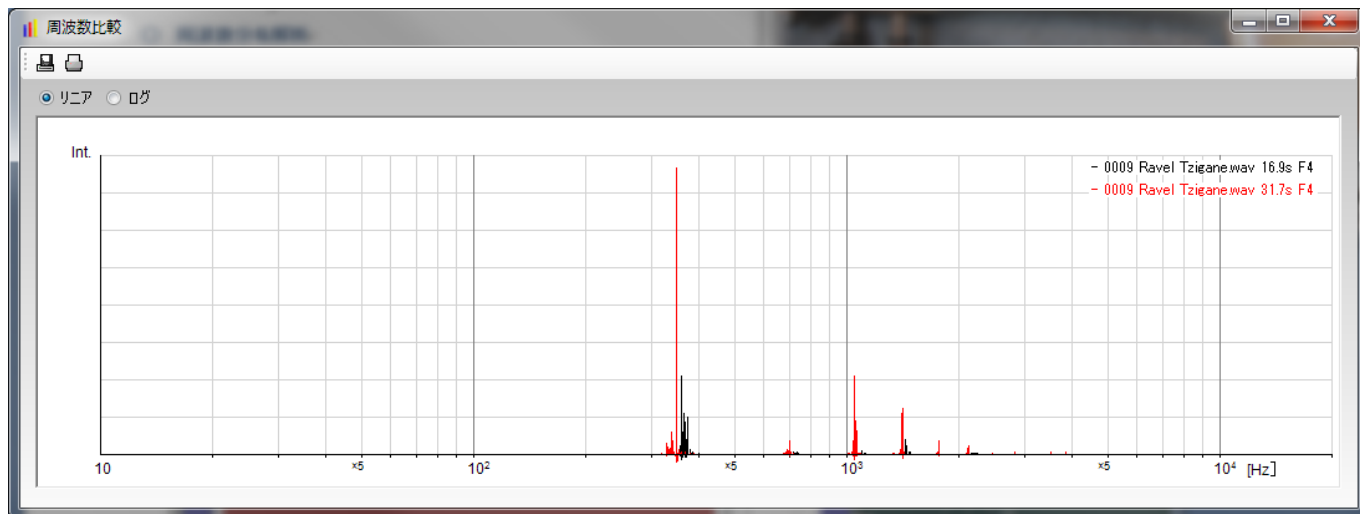
下図は周波数分布図の例です。矢印(↓)で示されているスペクトルの位置が発生した周波数の位置(基音・倍音)です。その他のスペクトルは主に倍音を示していますが、これら倍音の豊富さで楽器の特徴を考察することができます。すなわち、倍音成分が多く含まれている楽器(演奏)は、煌(きら)びやかでよい楽器(演奏)であると言えます。



横軸: 時間、縦軸: パワースペクトル



更に、異なる WAVE ファイル間での周波数比較も可能です。



○ 演奏スコア

弦楽コンサルティングでは、素晴らしい弦楽器演奏の前提は、(1) 音程が正しいこと、(2) 音量が大きく、音の立ち上がり時間が短いこと、(3) 倍音成分を多分に含んでいること、であると考えています。MAESTRO は独自の解析方法に基づき、これら 3 点をスコア化します。以下に各スコアの概要を説明します。スコアの詳細は 4 章の解析仕様をご参照ください。

(1) 平均音程ずれ

ユーザーが設定した平均律／純正律の音律を基準とした音程ずれをセントに変換し、発声音あたりの平均ずれを表示します。

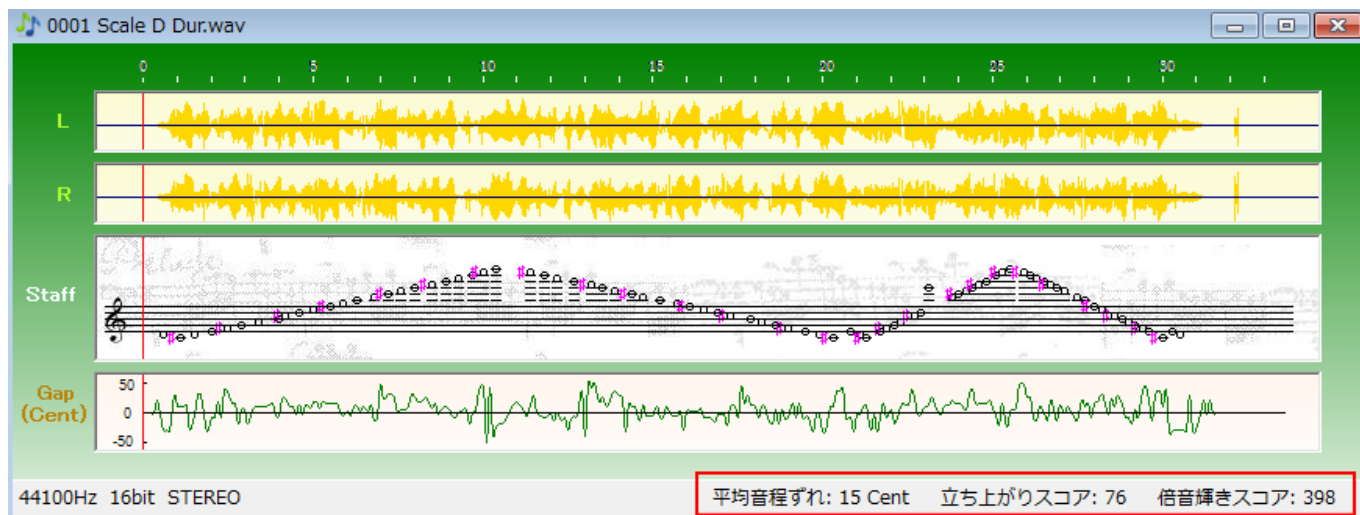
(2) 音の立ち上がり

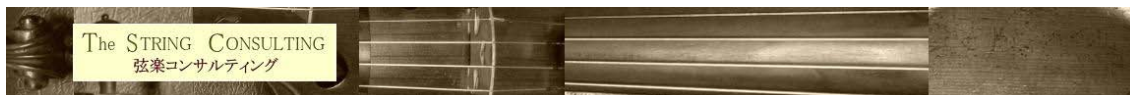
音量と音の立ち上がり時間を診断し、100 点満点のスコアで表します。

(3) 輝き

ユーザーの楽器と演奏に含まれる煌びやかさを倍音で診断し、点数化します。

演奏スコアの機能を使えば、日々の練習の成果を経時的に確認することができます。

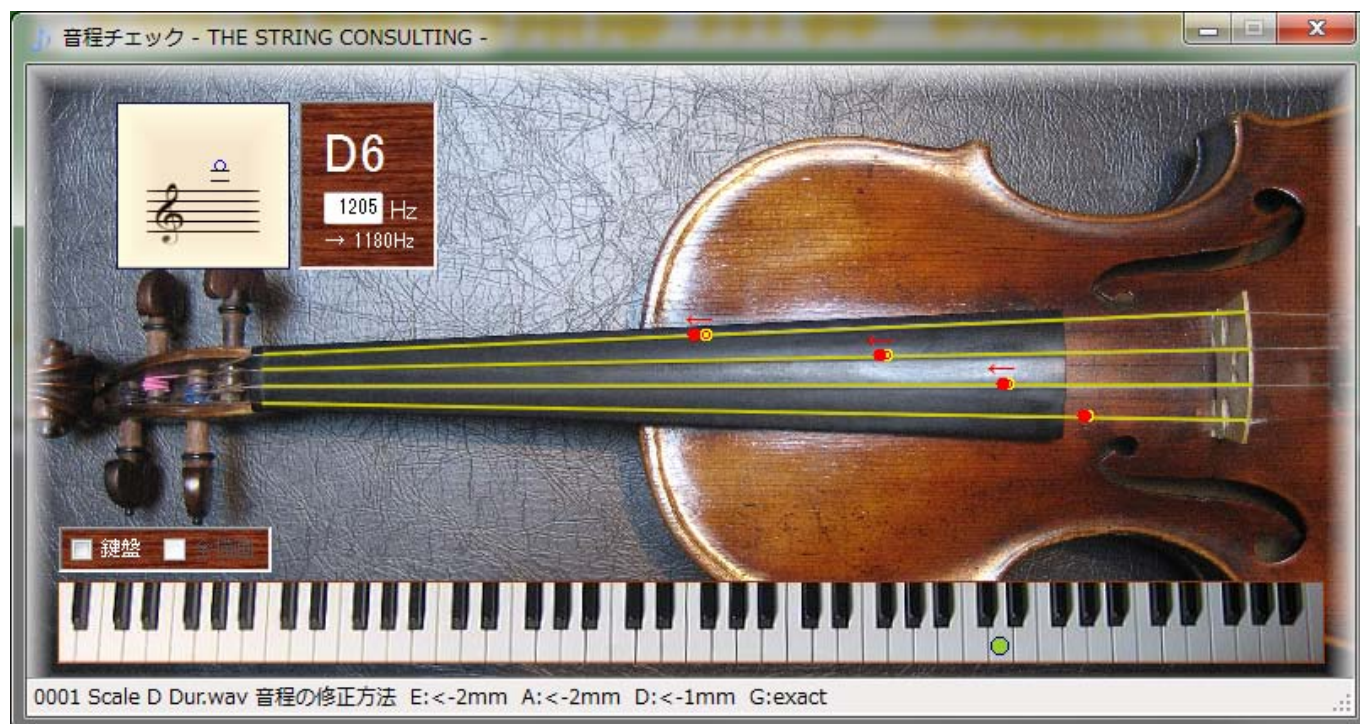


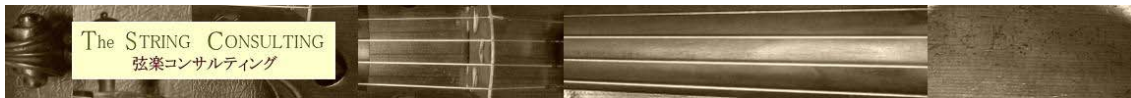


○ ポジショニング補正

ある時刻にユーザーが発声した音について、正しい音程を出すためのポジションを表示します。下図のヴァイオリンをご覧ください。弦上で、●がユーザーの押さえた位置です。●は正しい音程の位置です。このようにして、GDAEの各弦で押さえるべき位置を理解することができます。また、●と●の距離を弦ごとに表示します(単位は mm)。補足データとして、五線譜表示、鍵盤での位置表示、ユーザー発声周波数、正しい周波数も記載されます。

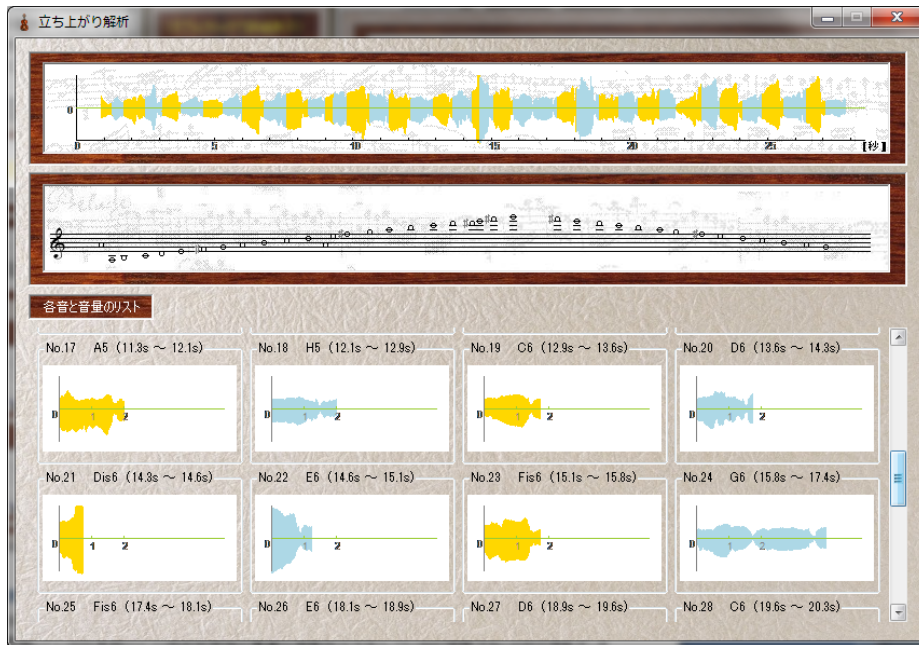
鍵盤にポインターを合わせることで、ヴァイオリンでの各弦のポジショニングを教えてくれる機能も付加しています。弦楽器初学者にとって高音のポジショニングは分かりにくいものですが、この機能を使えば簡単にポジションを知ることができます。





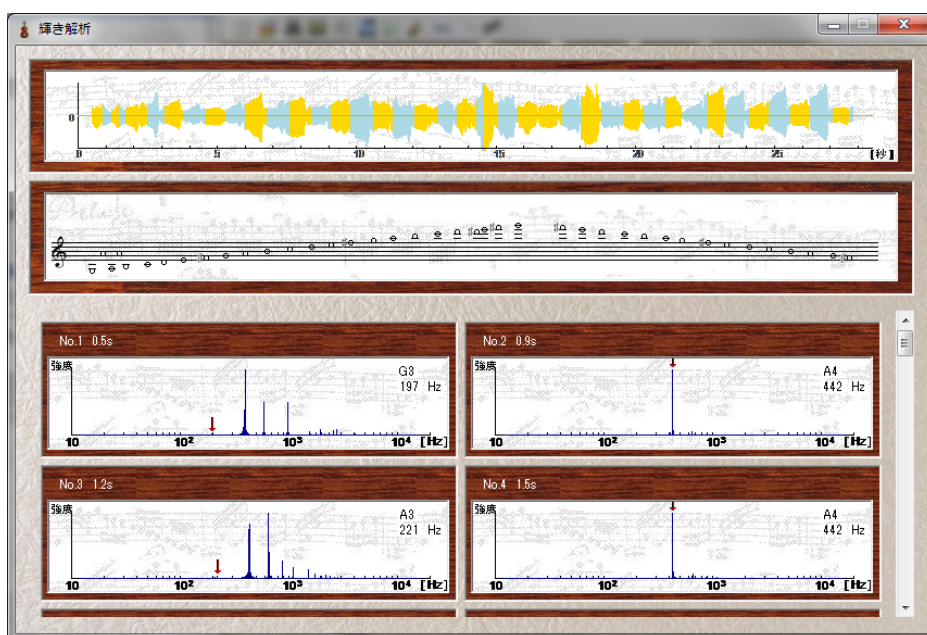
○ 立ち上がり診断

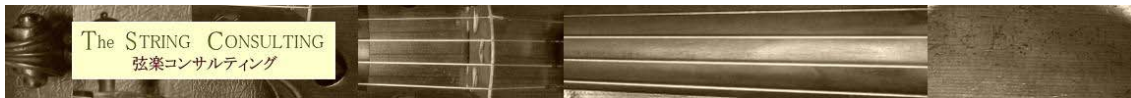
録音中にユーザーが発声した全ての音について、立ち上がりの早さを観察するための機能です。弦楽器の発音は下図のように台形型になりがちですが、四角形型の発音プロファイルを目指すことで、素早い発声速度を実現することができます。まずは本機能で、自身の発声音形をよく観察してみてください。



○ 輝き診断(倍音診断)

録音中にユーザーが発声した全ての音について周波数解析を行い、グラフを表示する機能です。このグラフの一覧を見ることで、ユーザーの使用している弦楽器のどの周波数帯域が豊富な倍音成分を含んでいるか理解することができます。また、楽器同士の比較にも大変有効です。





○ エクスポート

解析に使用したデータや解析結果をテキストファイルでエクスポートする機能を備えています。

analysis_0001 Scale D Dur.wav_0-39s_442hz_calib100 - メモ帳

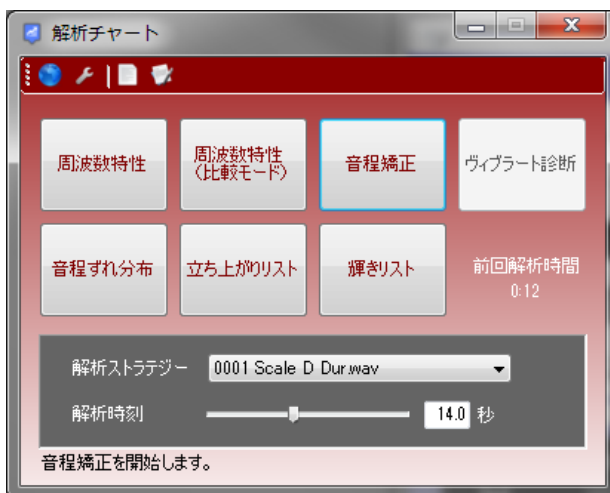
時刻[秒]	演奏周波数	目標周波数	音程ずれ[セント]	音量	音名	ノイズアラート
0.1	10.09368896	27.825 0	283.9609318	A0	ノイズ: 音程(低すぎ)	
0.2	5.383300781	27.825 0	247.9917641	A0	ノイズ: 音程(低すぎ)	
0.3	14.80407715	27.825 0	247.628432	A0	ノイズ: 音程(低すぎ)	
0.4	10.09368896	27.825 0	291.3217704	A0	ノイズ: 音程(低すぎ)	
0.5	49.79553223	49.22215418	20.05020988	3202.270028	G1	ノイズ: 音程(低すぎ)
0.6	294.7357178	294.9996078	-1.54935735	3215.597867	D4	OK
0.7	290.0253296	294.9996078	-29.44095796	4807.763098	D4	OK
0.8	290.0253296	294.9996078	-29.44095796	8716.376351	D4	OK
0.9	290.0253296	294.9996078	-29.44095796	12805.70394	D4	OK
1	300.1190186	294.9996078	29.78605103	15629.71362	D4	OK
1.1	279.9316406	278.442552	9.233832898	13824.91301	Cis4	OK
1.2	279.9316406	278.442552	9.233832898	13971.73368	Cis4	OK
1.3	279.9316406	278.442552	9.233832898	20511.56278	Cis4	OK
1.4	279.9316406	278.442552	9.233832898	21322.05676	Cis4	OK
1.5	290.0253296	294.9996078	-29.44095796	20658.95812	D4	OK
1.6	294.7357178	294.9996078	-1.54935735	10190.23358	D4	OK
1.7	300.1190186	294.9996078	29.78605103	12778.91802	D4	OK
1.8	300.1190186	294.9996078	29.78605103	18112.56766	D4	OK
1.9	294.7357178	294.9996078	-1.54935735	18898.94172	D4	OK
2	325.0167847	331.125864	-32.23857427	15266.86103	E4	OK
2.1	329.7271729	331.125864	-7.328302068	4057.288053	E4	OK
2.2	329.7271729	331.125864	-7.328302068	8206.564393	E4	OK
2.3	334.437561	331.125864	17.228621	10909.54409	E4	OK
2.4	329.7271729	331.125864	-7.328302068	15295.44898	E4	OK
2.5	379.5227051	371.6762155	36.16779401	8761.129964	Fis4	OK
2.6	379.5227051	371.6762155	36.16779401	9303.00482	Fis4	OK

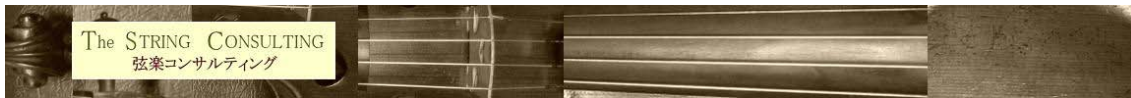
5.2 使用の流れ

MAESTRO の使用の主な流れは、(1)演奏の録音と保存、(2)録音ファイルの読み込みと再生、(3)解析とスコア化、となります。具体的には、以下の①から⑨を参照ください。

- ① 演奏の録音 & WAVE ファイルの保存
- ② WAVE ファイルの再生
- ③ WAVE ファイルの読み込みによる音圧表示
- ④ WAVE ファイルの一般的な解析(五線譜表示、音程解析、周波数解析、スコア表示)
- ⑤ 特殊解析Ⅰ (音程診断)
- ⑥ 特集解析Ⅱ (録音・楽器別周波数比較)
- ⑦ 特殊解析Ⅲ (ヴィブラート診断)
- ⑧ 特殊解析Ⅳ (立ち上がり診断)
- ⑨ 特殊解析Ⅴ (輝き診断)

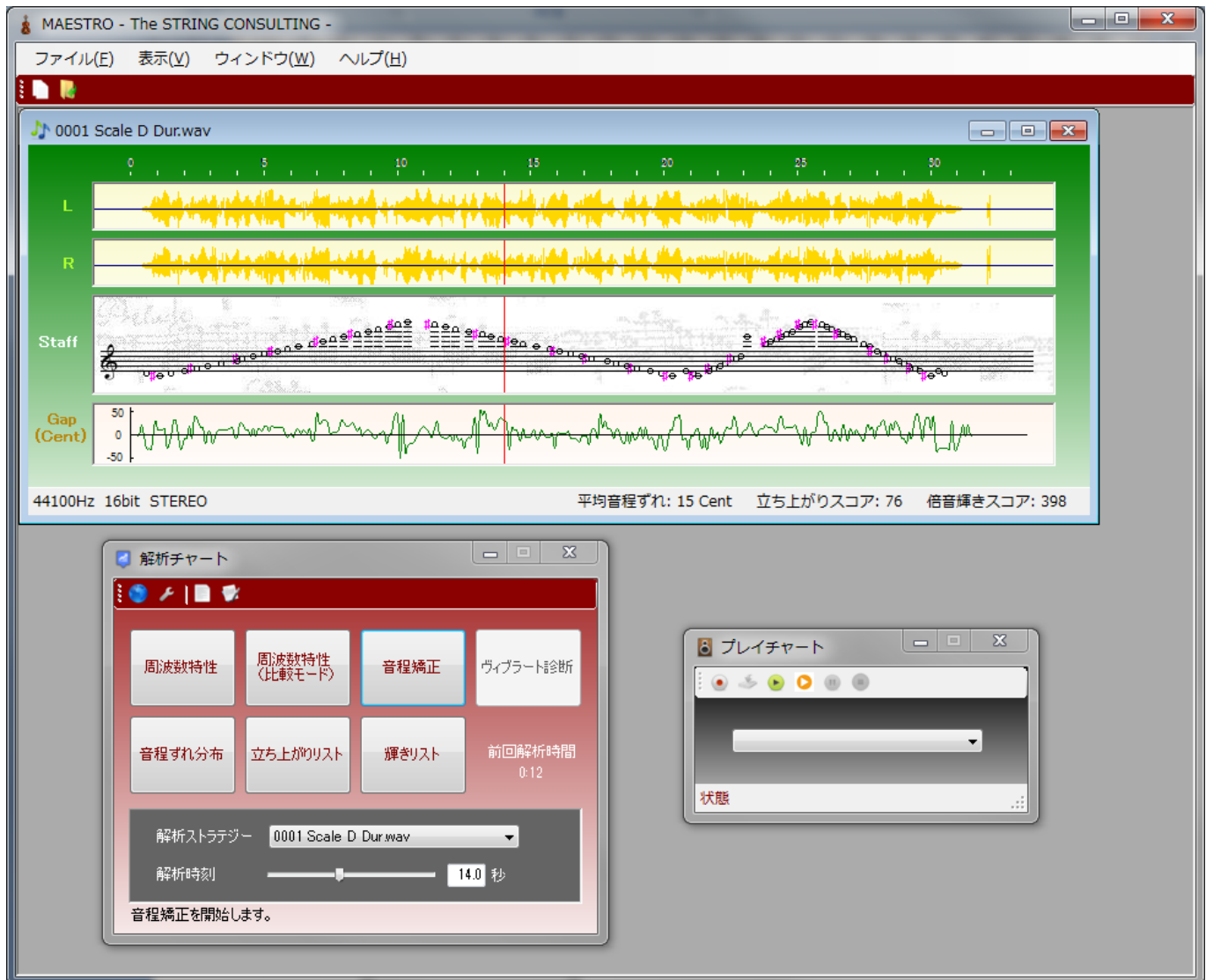
MAESTRO では、全ての解析実行は「解析チャート」画面より行います。





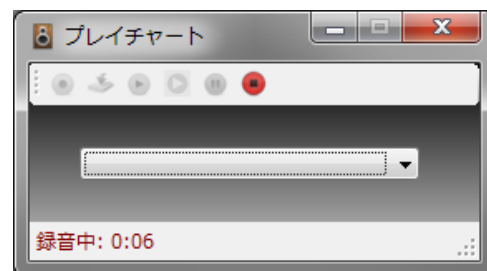
5.3 画面の操作方法

MAESTRO のご利用の流れを、実際の操作の視点から説明します。下図は MAESTRO のメインウィンドウです。




5.3.1 演奏の録音方法と WEVE ファイルの保存方法

ご利用のパーソナルコンピュータにマイクを接続してください。メインウィンドウから、【表示 → プレイチャート】を選択して下さい。プレイチャート上で録音アイコン を押すと、録音が始まります。録音を終了する時には終了ボタン を押して下さい。録音した音は WAVE ファイル保存アイコン を押して**必ず保存してください**。自動では保存されません。

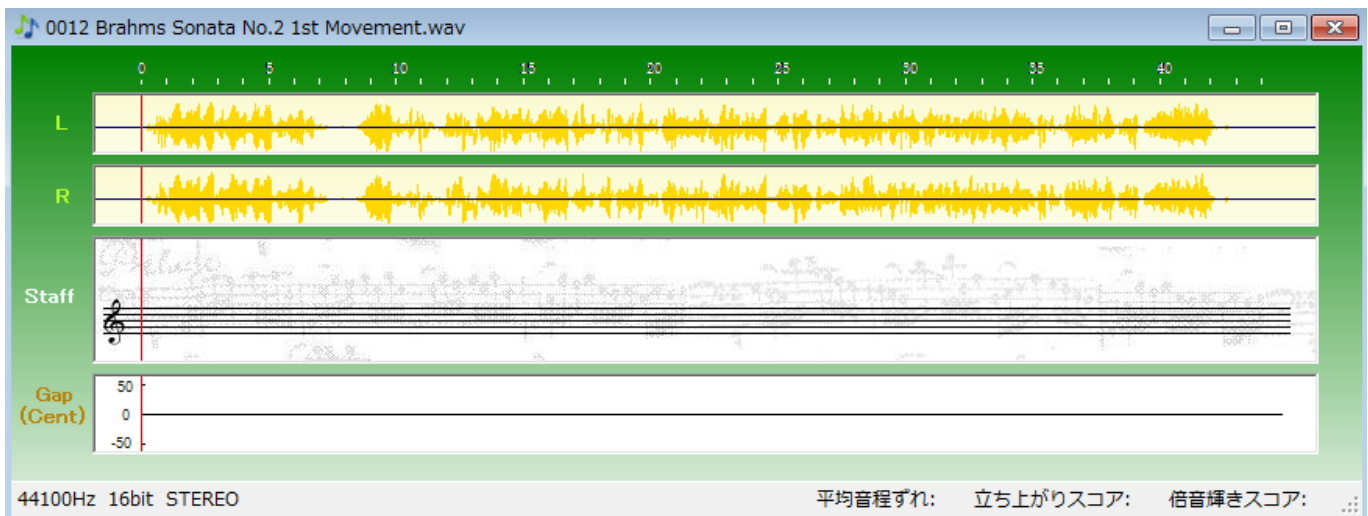


5.3.2 WAVE ファイルの読み込み(音源解析と再生の準備)


音源を解析したり再生したりするには、WAVE ファイルを読み込む必要があります。WAVE ファイルを読み込むためには、メインウィンドウの WAVE ファイル読み込みアイコン  を押すか、【ファイル→開く→録音ファイル】を指定してください。下のポップアップ画面が現れますので、WAVE ファイルの音圧プレビューを見ながら、解析対象時刻を 60 秒以内で設定して下さい。60 秒は、MAESTO での最長解析時間です。より快適な解析パフォーマンスを維持するためには、解析時間を 30 秒程度に設定して下さい。




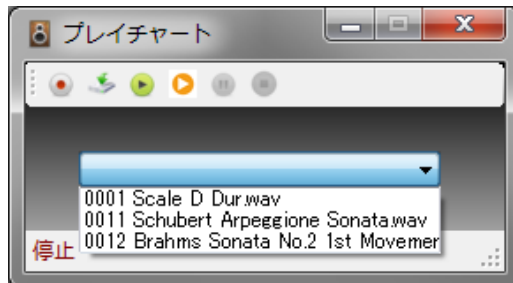
WAVE ファイルの読み込みが終了すると、メインウィンドウ上に新しい解析ストラテジー画面が生成されます。



5.3.3 WAVE ファイルの再生

読み込んだ WAVE ファイルは、プレイチャート画面上の再生アイコン  で再生できます。同画面上のコンボボックスから読み込んだ WAVE 音源を選択することができます。

大ホールの音響を模擬したモードで再生するには、 を押して下さい。

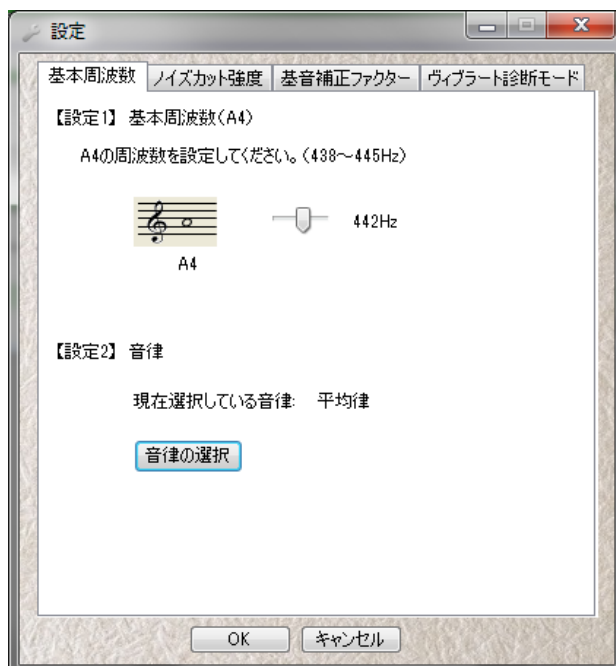


5.3.4 解析の前提条件設定

【解析→設定】にて解析の前提条件を設定します。設定項目は、基本周波数、ノイズカット強度、基音補正ファクター、ヴィブラート診断モードです。

(設定 1 基本周波数と音律)

A4 の周波数を設定して下さい。デフォルト周波数は 442Hz、設定範囲は 438Hz から 445Hz です。スライダーを移動して設定値を変更して下さい。

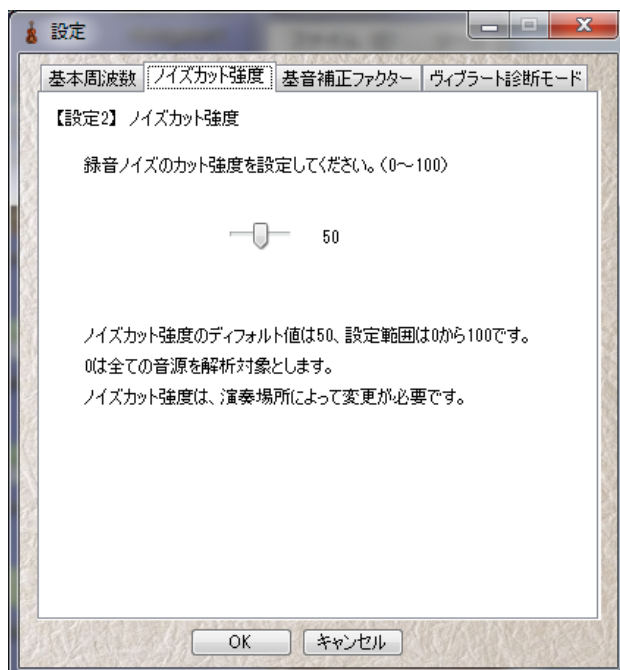


次に「音律の選択」ボタンを押して、下記画面より音律を選択して下さい。



（設定 2 ノイズカット強度）

雑音から発声音名を機械的に解析することを避けるため、ノイズカットのレベルを設定します。デフォルト値は 50、設定範囲は 0 から 100 です。0 は全ての音源を解析対象とします。ノイズカット強度は、演奏場所によって変更が必要です。ノイズカットの詳細いアルゴリズムは第 4 章の解析仕様をご参照ください。



(設定 3 基音補正ファクター)

発声音名解析に必要な変数の 1 つです。解析された音声のスペクトルでは、必ずしも基音の音量が倍音の音量よりも大きいとは限りません。この現象により、例えば発声音が仮に A3 の場合であっても、倍音である A4 が発声音として解析されてしまう可能性があります。

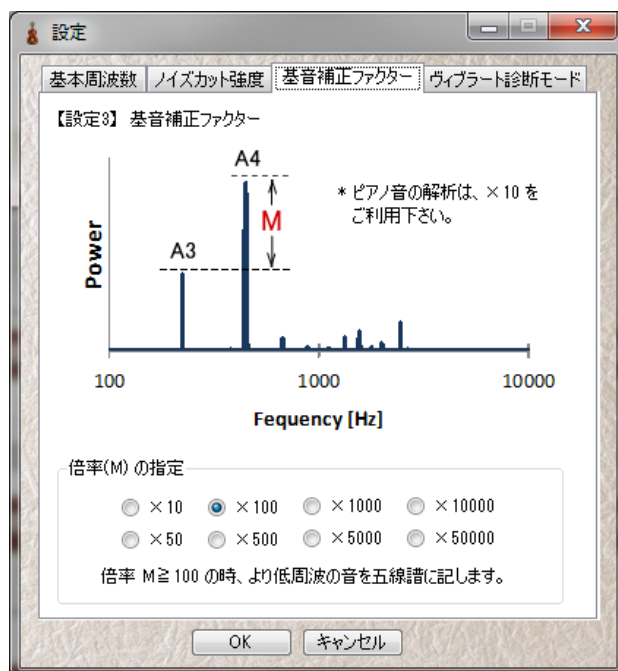
基本補正ファクターは、検出された発声音のスペクトルノルムとその分数周波数のスペクトルノルムの倍率閾値です。該閾値以内であれば、分数周波数に該当する音名を基音として認めます。

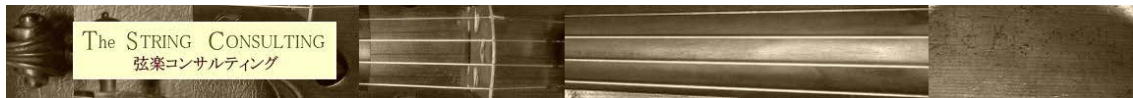
例えば一次解析の結果、884Hz(A4)がスペクトルノルム 1000 で、発声音であると認められたとします。ところが分数周波数である 442Hz(A3)のスペクトルノルムを調べてみると 50 であったとします。互いの倍率は 20 です。この時、基音補正ファクターが 20 以上である場合は、A3 を基音周波数として最終出力します。

弦楽器は倍音の豊富な楽器ですので、演奏場によって基音と倍音のスペクトルノルムに逆転が起こることがあると考えています。よって弦楽器の音の周波数解析には、基音補正ファクターが必須です。ピアノの発声基音のスペクトルノルムは倍音に比べて非常に大きくなっています。この場合、基音補正ファクターを大きくしすぎると、ノイズを発声周波数として出力してしまいます。ピアノ音の解析を行う場合の基音補正ファクターは、経験上 10 倍で十分であることが分かっています。

基音補正ファクターは演奏環境によって最適な設定が異なります。解析された発声音を五線譜で確認して頂き、最適な設定値を探して下さい(10~50000 まで)。

一般的に、基本補正ファクターの数値が大きくなるほど、基音の探索感度が高くなると理解できます。

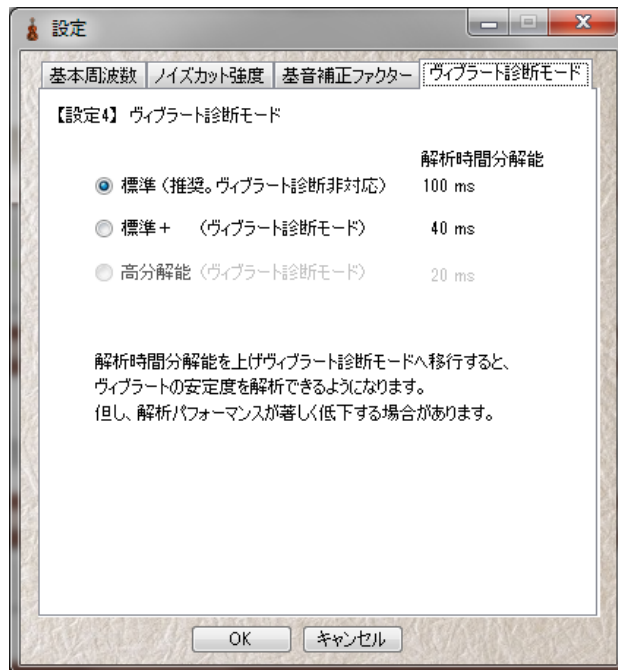





(設定 4 ヴィブラート診断モード)

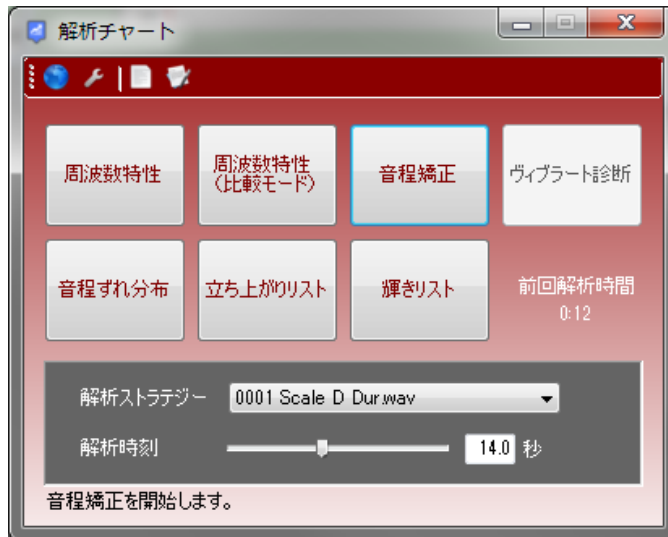
MAESTRO の標準解析時間分解能は 100ms です。ヴィブラート診断を行う場合はモードをヴィブラート診断モードに変更し、解析時間周波数を 40ms に変更して下さい。

このモードでは時間分解能が向上しますが、一方で解析精度が低下する可能性があります。また、解析時間が標準モードよりもかかります。更に時間分解能が高い高分解能モードは、現在開発中です。



5.3.5 WAVE ファイルの解析 - 基礎解析(五線譜、音程ずれ)

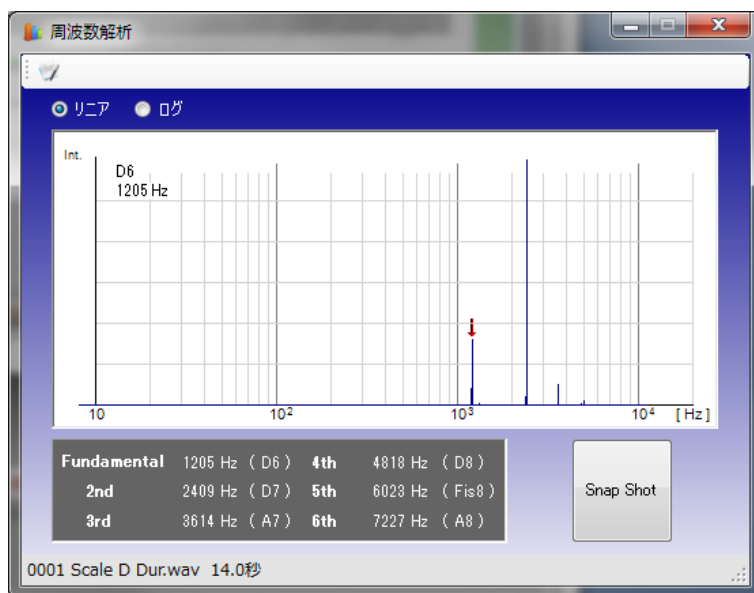
メインウィンドウの【表示→解析チャート】で解析チャートを表示して下さい。あらかじめ読み込んでおいた WAVE ファイル名が解析ストラテジーコンボボックス内で選択できます。任意のストラテジーを選択して、基礎解析実行ボタン  を押して下さい。基礎解析が終了すると、ストラテジー画面上的五線譜グラフと音程ずれグラフが描画され、「周波数解析」等の特殊解析を実行できるようになります。



全ての解析実行はこの解析チャートより行います。

5.3.6 周波数特性

解析チャートの周波数特性ボタンを押すと、ユーザーが設定した WAVE 録音ファイル中の任意時刻における発声周波数グラフが表示されます。解析時刻は解析チャートの「解析時刻」のスライダーバー、もしくはテキストボックスより設定します。Y 軸はリニア、ログの各スケールから選択できます。



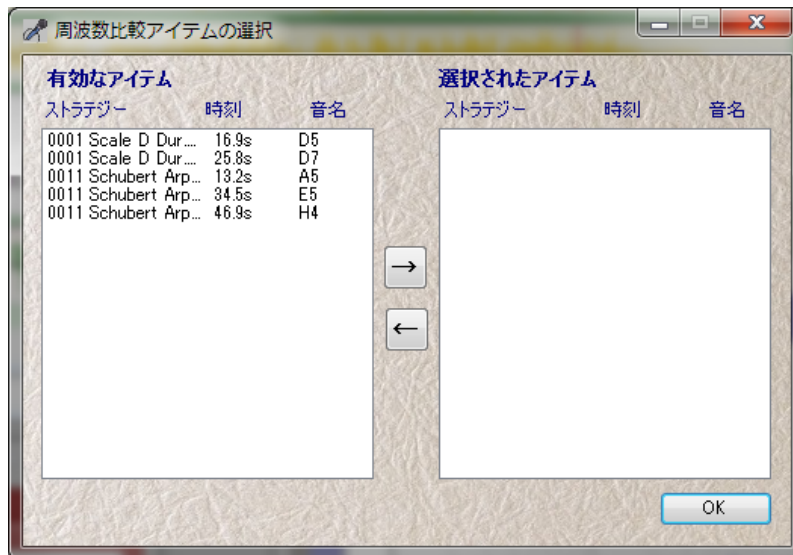
この画面で、基音及び倍音の周波数と音名を確認できます。

「スナップショット」ボタンを押すと表示スペクトルを記憶することができ、その他のスペクトルと比較する準備を行います。スペクトル

どうしを比較するには、解析チャートの周波数特性(比較モード)を使用します。

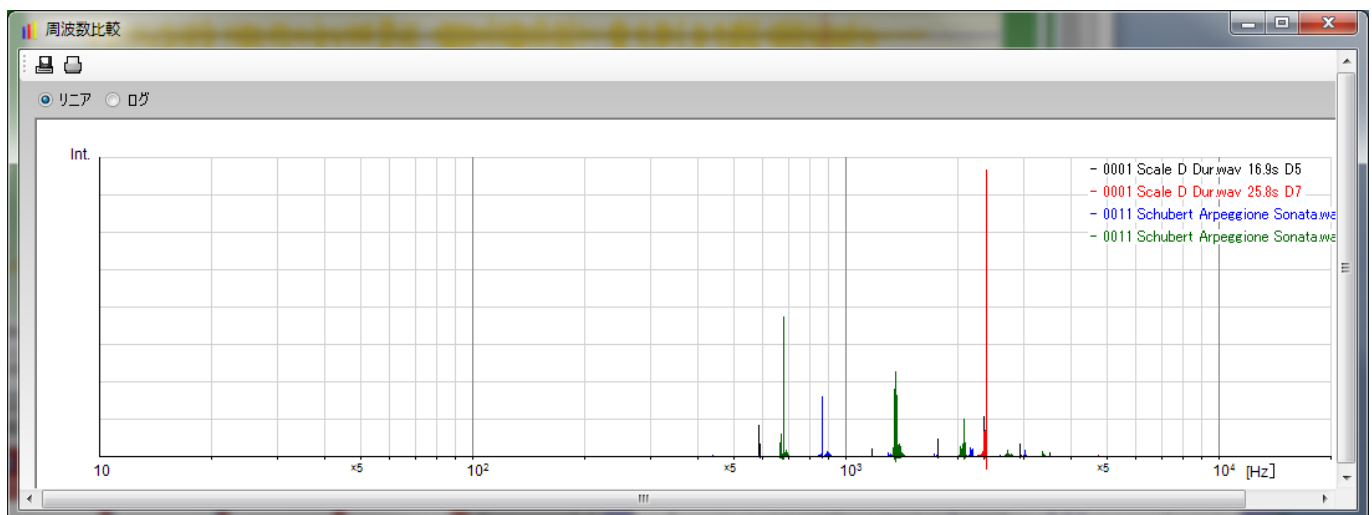
5.3.7 周波数特性(比較モード)

異なる時刻、ストラテジー間で周波数を比較します。あらかじめ5.3.6の周波数特性画面で、比較したいスペクトルをスナップショットで記憶しておきます。この状態で解析チャートの「周波数特性(比較モード)」ボタンを押すと、スペクトルを比較するアイテムを選択する画面が表示されます。



比較アイテムを左のボックスから右のボックスに移動させ OK ボタンを押すと、周波数比較画面が現れます。一度に比較できるアイテムの数は4つまでです。

この機能は楽器の購入選定時において、周波数特性を調べるのに有効です。



5.3.8 音程矯正

解析チャートの「音程矯正」ボタンを押すことで、「解析時刻」で設定している時刻における発声音の音程を補正するために、押さえるべき指板上の位置を示す図(音程チェック)が表示されます。

指板上の位置表示は、周波数と鍵盤でも実行することができます。

周波数で指定する場合は、周波数入力テキストフィールドに、任意の周波数を入力して「指定」ボタンを押してください。入力周波数に最も近い音名を持つ補正周波数が表示され、入力周波数と補正周波数がそれぞれ●と●で指板上に表示されます。

鍵盤で表示する場合は「鍵盤」チェックボックスをチェックし、任意音の鍵盤上までカーソルを移動させてください。ヴァイオリンで同音を出すための指板上の位置を●で表示します。鍵盤上の複数の音を指定する場合、「鍵盤」チェックボックスにチェック後、さらに「全描画」チェックボタンをチェックしてください。

周波数と鍵盤による位置の表示機能は、各弦のハイポジションでの正しい位置の指定にお困りの方に特に有効です。

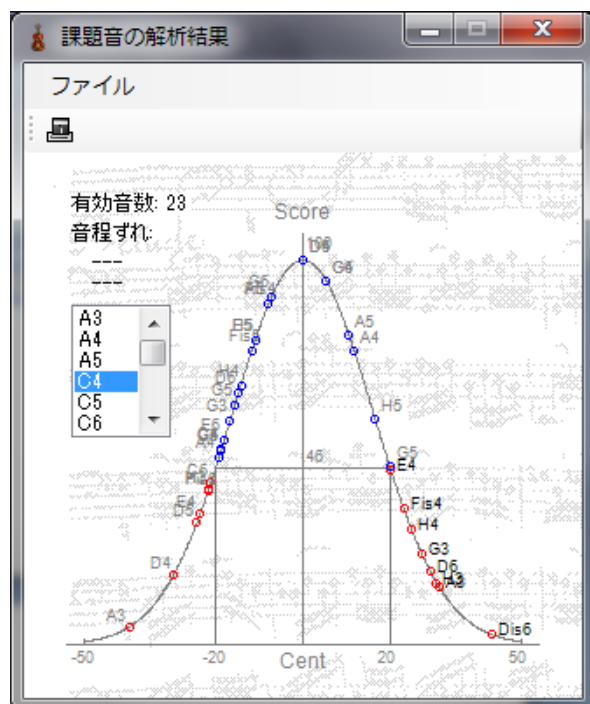


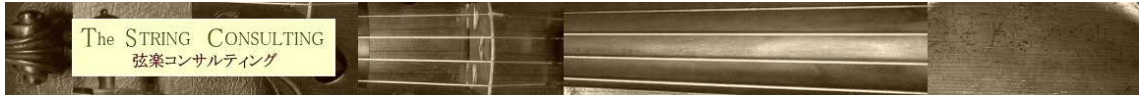
解析設定時刻が0秒の場合、ストラテジー中最も音程ずれの大きかった音を自動で検出し、その時刻における診断を行います。

音程矯正は音程チェック図は、基礎解析を実行していなくても表示させることができます。

5.3.9 音程ずれ分布

解析ストラテジーから「音程ずれ分布」ボタンを押すと、音程ずれの分布図がポップアップします。横軸は音程のずれ量(セント)、縦軸は MAESTRO 独自の音程ずれスコアです。ずれ量が小さなほどスコアが高くなります。音程ずれ分布図では、WAVEE ファイル中で発声した全ての音についてスコア分布を表示します。画面左側のウィンドウに発声した音名のリストが表示されますが、任意の音名を選択すると、分布図中の該当ドットがハイライトされます。





5.3.11 立ち上がり診断

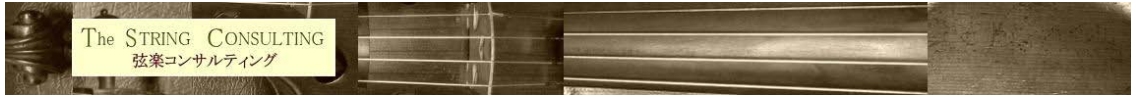
解析チャートの「立ち上がりリスト」ボタンを押すことで、各発声音の音量プロファイルリストを表示します。

5.3.12 輝き(倍音)診断

解析チャートの「輝きリスト」ボタンを押すことで、全発声音の周波数リストを表示します。

5.3.13 解析ファイルの出力

各解析画面には、解析ソースと解析結果をテキスト出力させるボタンを用意しています。



6. 解析仕様

MAESTRO は独自のアルゴリズムに基づきユーザーの演奏を解析していますが、「音程」「エッジ」「輝き」の各スコアや各グラフなど、出力を最も分かりやすい形で表現しています。一方で、MAESTRO は弦楽器の響きを視覚化することを目的の一つにしています。下記に MAESTRO で使用されている解析仕様を全て公開します。お客様にはぜひ一読をお願いし、視覚化の助けにいただきたいと思います。

6.1 音圧表示

WAVE ファイルから読み込んだ数値データを時系列で表示したものです。ただし、サンプリングはオリジナルのデータに比べて 1/5 に圧縮しています。また、縦軸は各データの最大音圧を基準にして自動的にスケーリングされています。

6.2 五線譜表示

音圧データを 0.1 秒ごとに分割して基音の周波数を解析し、最も近い周波数を持つ音程を表示しています。周波数解析には FFT (Fourier Fast Transform) を使用しています。

0.1 秒ごとに割り出された音程が直前の 0.1 秒の音程と同等の場合、音符を区切らずに表現しています。

五線譜表示の時間軸(横軸)は音圧表示と音程ずれ表示の各時間軸と同期しています。

6.3 音程ずれ表示

0.1 秒ごとに周波数解析を実行し、基音周波数とそれに最も近い周波数を持つ音名との差を時系列に沿って Cent で表示しています。音程ずれの算出方法は以下の演算に基づきます。

$$(\text{音程ずれ [Cent]}) = 1200 \log \frac{(\text{ユーザーの基音周波数})}{(\text{正しい周波数})}$$

基本周波数については、4.4 周波数表示の項を参照してください。

6.4 周波数表示

ユーザーが指定した演奏の時刻から 0.1 秒間の音圧データについて、周波数空間で表現したものです(パワースペクトル)。縦軸は、10Hz 以上における最大強度に従って自動的にスケーリングされています。

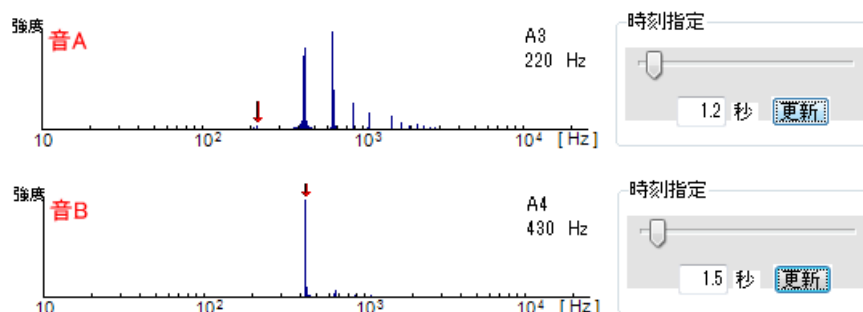
スペクトル中、発声音の基音と考えられる周波数に矢印を付加しています。基音の解析仕様は以下の通りです。10Hz 以上の周波数帯で最大強度の周波数を暫定的に基音周波数に設定します。暫定基音周波数の 1/2、1/3、1/4、1/5、1/6 に相当する周波数に ±5Hz の帯域を付加した領域において、前述暫定基音周波数の 1/100 以上の強度を持つ場合、前述暫定基本周波数の設定を変更します。また、前述条件に合致するより小さな周波数を優先して基音周波数に再設定します。例えば、データ中の最大スペクトル強度が 600Hz で 10000 であったとします。また、周波数の 1/2、1/3、1/4、1/5、1/6 (300、200、150、120、100Hz) に相当する強度がそれぞれ、4000、5000、1000、120、0 であったとします。この場合、1/2、1/3、1/4、1/5 に相当する周波数が、基音周波数となる条件を満たしています(>10000/100)。この中では、1/5 が最も小さな周波数(120Hz)ですので、120Hz を基本周波数と再設定することになります。

画面に表示されている周波数は、前述の解析で得られた基音周波数です。また、音名は基音周波数に最も近い周波数を持つ音に基づいています。

周波数表示による裏返り音の発見について述べます。下図は MAESTRO の五線譜表示です。ト長調のスケール練習を解析しています。スケールは G から始まっていますが、音 A と音 B でオクターヴの関係になっています。



この 2 音を時刻指定スライダーバーで指定して各周波数を見てみると、以下の関係が分かります。



音 A の基本周波数は 220Hz であると解析されています。しかし倍音の強度に比べてその強度は非常に小さく、ほとんど音が裏返っていることが分かります。音が裏返っているとは、倍音周波数の強度が基本周波数の強度に比べて支配的に大きい状態です。そしてわずか 0.3 秒後に音 B が発声された時には、本来の基本周波数 220Hz が検出されないほど倍音周波数が支配的になってしまいました。このように倍音周波数が支配的な裏返り状態にあるとき、弦を指板にきちんと押さえつけていないか、弓で弦を十分に振幅させていない場合が多いです。

6.5 ノイズカット強度

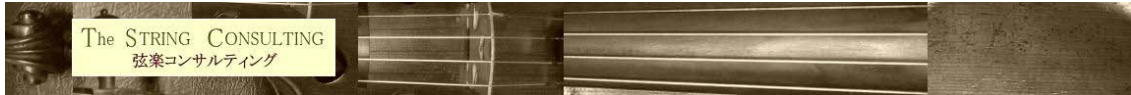
ノイズカット強度は、{0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100} の合計 11 段階で設定が可能です。0 を選択した場合、全ての音源を解析の対象とし、ノイズとして扱われる音圧はありません。その他 10 段階の設定に関しては、以下のアルゴリズムによってノイズカットされます。

あるWAVEファイル中に含まれる最大音圧の指数をPとします。例えば最大音圧が 123456789 であったならば、 $P=8$ です。 $(\because 1.23 \times 10^8)$ 例えばノイズカット強度が 10 に設定されている場合、音圧が $10^{(10-6)}$ 以下のものは、全て音圧 0 に指定されます。前述指数中の -6 はノイズカット強度 10 に設定された固有の数値であり、その他のノイズカット強度には以下の数値が設定されています。

ノイズカット強度	設定数値
20	- 5.5
30	- 5.0
40	- 4.5
50	- 4.0
60	- 3.5
70	- 3.0
80	- 2.5
90	- 2.0
100	- 1.5

100 は最もノイズカット割合が高く、音圧が $10^{(P-1.5)}$ 以下のものは全てノイズとして取り扱われます。

この他、解析分解能時間のみに解析された連続性のない音(例えば、解析分解能時間が 0.1 秒として、ある任意時刻における 0.1 秒間のみ孤立した音が解析された場合)は「孤立音」、ヴァイオリン・ヴィオラに対してあまりにも低すぎると考えられる音名が解析された場合は「音程(低すぎ)」として取り扱われます。



6.6 音程ずれ分布と音程スコア

音程ずれはガウス分布に従って、評価しています。ガウス分布の一般形は下記の通りです。

$$y = A \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{\sigma} \right)^2 \right\}$$

ここで y は発声音の各音程スコア、 x は音程ずれ [Cent] に相当します。MEASTRO では、音程ずれが全くない ($x = 0$ [Cent]) の場合をスコア $y = 100$ 、音程ずれが 20 [Cent] の場合をスコア $y = 46$ と定義しています。音程ずれが 0 [Cent] を中心に分布すると考えると、 $A = 100$ 、 $\sigma \approx 16$ となります。音程ずれ分布はこの演算式に従い、各音の音程ずれとスコアの関係を図示したものです。分布の中でも、スコア 46 点以上 (音程ずれ 20 [Cent] 以下) を合格の意味を込めて緑色で、それ以外の音は注意音として赤で表示しています。

音程スコアは、発声音の各音程スコアを平均化して表示しています。

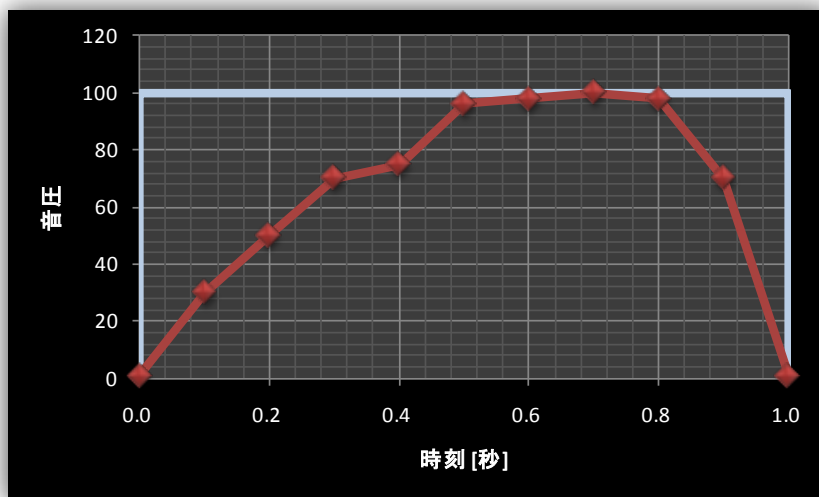
6.7 立ち上がりスコア

立ち上がりは任意の音を立ち上げ／下げるのに要した時間から、音のシャープさを評価したものです。立ち上げ／下げに要した時間が短いほど、スコアは高くなります。

下図を参照してください。赤の折れ線は、ある同一音が発声している時刻における音圧の様子を表しています。この音は 1 秒間続き、発声中の最高音圧値は 100 だったとします。演奏者がこの音を出すための目的音圧が 100 であったとすると、目的達成まで発声開始から 0.5 秒かかっていることとなります。同じように立ち下りを解釈してみると、図の場合、0.2 秒かかっています。理想的には立ち上がり／下がりには要する時間は無限小であり、青色で示す矩形形状が想定されます。

そこで最高音圧値と発声持続時間で形成される下図のような四角形を理想的な立ち上がりと定義し、その面積 S_0 を計算します。一方で、演奏者が発声させた音圧カーブと X 軸で囲まれる面積 S を計算します。この領域の計算には数値積分法の一つである台形法を用いています。任意発声音の各立ち上がりは S / S_0 で算出されます。例えば下図の場合ですと、この音の立ち上がりは 68.9 点でした。立ち上がり時間を短縮させることができれば、メリハリのしっかりした音を出すことができ、スコアも上昇するでしょう。

全体の立ち上がりは各発声音の平均値から算出されています。

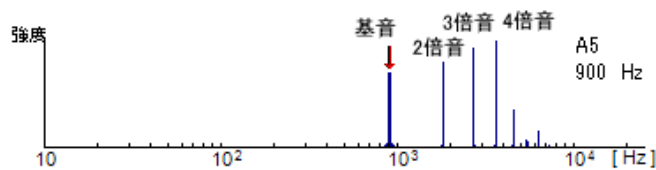


6.8 倍音分布と輝きスコア

下図はある時刻に弦楽器から発声された音のパワースペクトルです。パワースペクトルとは、振動の周波数成分とその強度の関係を表したグラフを指します。

弦楽器のパワースペクトルは基本振動数を持つ基音と、基本振動数の整数倍(×2, 3, 4, ...)の振動数を持つ倍音から成っています。

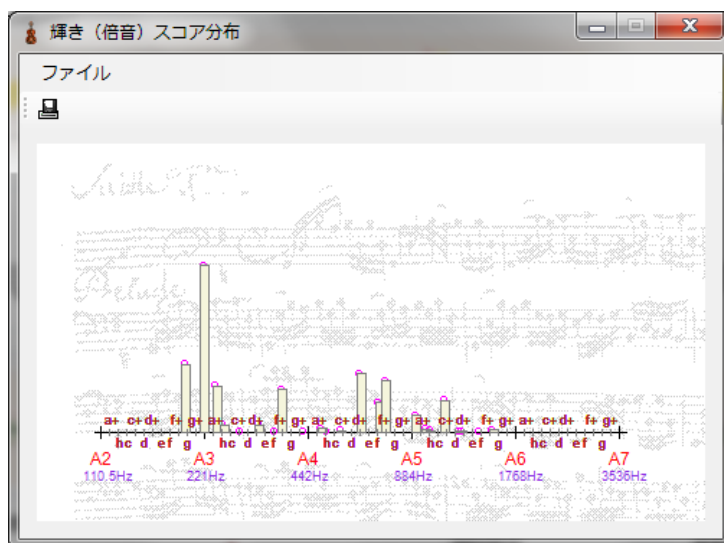
倍音成分を豊富に持つ音ほど煌びやかに聞こえます。このパワースペクトルの分析方法を利用すれば、奏者の演奏レベルや楽器のレベルを査定することができます。倍音に豊かな共振成分を持つ楽器は一般的に高価です。しかし楽器選定の際に、採取した音をこの機能で分析すれば、より客観的な評価が可能になります。



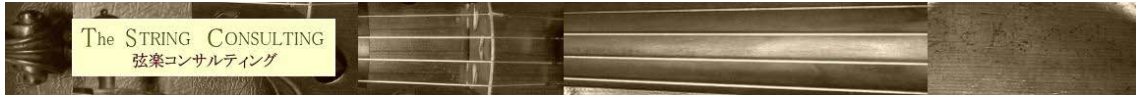
下図は、弦楽器で発声した音の倍音スコアを分布グラフとして表現したものです。各音の倍音スコアの算出方法は以下の通りです。

$$H_{\text{score}} = M_{\text{fundamental}} + 10M_{2\text{nd}} + 10^2M_{3\text{rd}} + 10^3M_{4\text{th}}$$

M は倍音周波数のスペクトル強度です。倍音分布の強度を見ることで、演奏と楽器の煌びやかさを診断することができます。また分布の具合を見ることで、どの周波数帯の音に強みを持つか診断することができます。(* 現在、未対応です。)



輝きスコアは、各音の倍音スコアを平均化したものです。



7. MAESTRO の課題

- 音名解析精度

音名解析の精度向上は、MAESTROの最大の課題の一つです。音名解析の精度が上がると、演奏評価の信頼性を上げることができます。このためには、高速フーリエ変換(FFT)による周波数解析精度を上げることと音名解析アルゴリズムを改良することが求められます。弦楽器は倍音成分が豊富なため、ピアノなど他の楽器に比べて難解なスペクトル解析を行わなければなりません。しかも解析アルゴリズムは演奏環境(主に音の反射)によって変わるため、現在の MAESTRO はこの設定を倍音補正ファクターなどユーザーのマニュアル設定に頼っています。

- 高速パッセージ

MAESTRO の解析時間分解能は 100ms です。高速パッセージやスピッカートによる演奏に対応するためには解析時間分解能を上げなければなりません。これは使用しているパーソナルコンピュータの性能によるため、現在は分解能を大きく上げる対応をしていません。

- 重音(ダブルストップ)

重音は弦楽器演奏の魅力の一つですが、MAESTRO の解析はこれに対応していません。前述したように、まずは音名解析アルゴリズムの精度向上が求められるからです。このアルゴリズムを向上させたうえで、重音解析に取り組む予定です。

- 低音

現在の MAESTRO はヴァイオリンの音域のみに対応しています。将来はヴィオラとチェロの解析に着手します。

MAESTRO は日々改良を加えています。上記課題はいずれも開発項目に取り入れております。