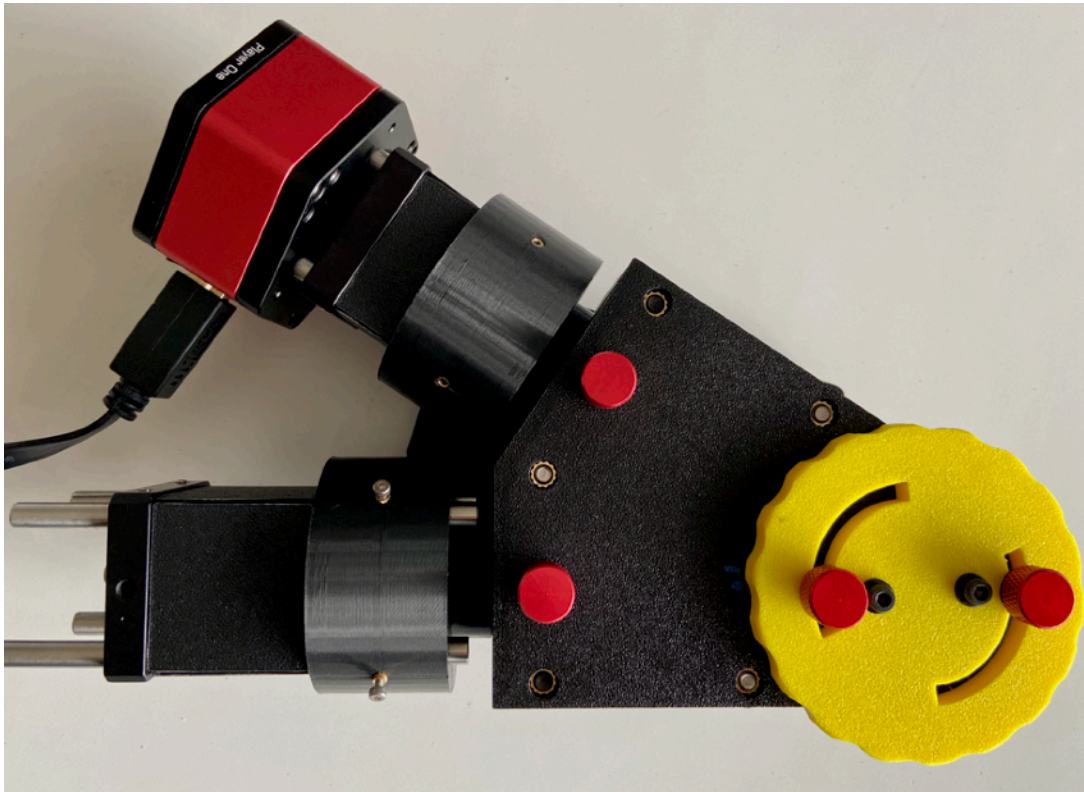


Sol'Ex分光器使用方法

mkanzaki@me.com



Sol'Ex Version2 分光器の外観

Sol'Ex 分光器について

Sol'Exは太陽観察用のDIY分光器でフランスのChristian Builさんにより開発されていて、オープンソースとして公開されています。またパーツをまとめたキットや3Dプリンタで印刷したケースも販売されています。私はこれを少し改造して実験室での汎用分光装置として使ってます。なので以下に書いてあることはSol'Exを少し改造した装置を元にしてます。

コリメートレンズと集光レンズはオリジナルSol'Exとはちょっと違い、どちらも $f=100\text{ mm}$ で 25 mm 直径のアクロマートレンズに変えてます。グレーティングは 1200 gr./mm のものを使っています（ブレイズ波長 500 nm ）。グレーティングは交換可能ですが、厚さ 6 mm のものしか使えません。それらの光学パーツはソーラボかエドモンドで入手してます。ケース部分などは3Dプリンターで自分で印刷してます。本体のstlファイル（Sol'Ex Version 2）は上記のSol'Exサイトからダウンロードできます。また、Sol'Ex Proという少しアップグレードしたバージョンが販売されています[Azur3dprint:<https://www.azur3dprint.fr/accueil/azur3dprintshop-com>]。

Sol'Ex Version 2を少し改造してソーラボの 30 mm ケージに接続できるようにしました。そうすることで例えば光ファイバーからの光を分光したり、直接顕微鏡からの光を分光することが可能となります。詳しくは神崎のwikiをご覧ください。Sol'Exについては (<https://mkanzaki.sakura.ne.jp/pukiwiki/?cmd=edit&page=SolExPro%E3%83%A1%E3%83%A2>) を、実験室の分光器としての利用は (<https://mkanzaki.sakura.ne.jp/>)

pukiwiki/?%E5%88%86%E5%85%89%E5%99%A8%E8%87%AA%E4%BD%9C%E3%83%A1%E3%83%A2) を参照してください。

現在、自作したSol'Ex Ver.2が2台、購入したSol'Ex Proが1台があります。Sol'Ex Proは太陽観測用に使えるようにほとんど改造せずにはしていますが、実験室用分光器としても使うこともできます。

分光器用測定ソフトについて

分光器測定用ソフトはPlayer One Astronomyのカメラ用のSDKに入っていたPythonのサンプルプログラムをベースにMac上で開発しています（Windows, Linux, Raspberry Piでも動きます）。動かすためにはSDK最新版（それに含まれるライブラリーなどが必要）をPlayer One Astronomyのサイトからダウンロードします。それからMacの場合はlibusbのインストールが必要（brewでインストールできます）。さらにPythonのライブラリーでMatplotlib, scipy, numpy, TKinterなどをインストールしておく必要があります。Raspberry Piの場合はMatplotlibのみインストールが必要です。

POA-spectrum.pyは汎用のスペクトル測定プログラムです。普通に分光測定で使いますが、校正用スペクトルを測定する時にも使います。POA-spectrum.pyでも2D画像は見られますが、拡大の機能はないので、調整時などで2D画像を拡大して見る時はAstroDMx CaptureやSharpCapを使った方がいいでしょう。POA-spectrum.pyの利用方法はこの文書の後の方をご覧ください。

起動するとPlayer One AstronomyのカメラがPCに繋がっていない場合は繋がっていないとの表示が出ます。複数カメラが繋がっている場合は1つずつカメラ名を示してそれを使うかどうか尋ねる表示が出るので使うカメラでYesを選択します。

pythonプログラムを使うためのPOAのSDKのインストール

まずはpythonをインストールします。必要なライブラリーをインストール。LinuxおよびRaspberry Pi OSの場合にMatplotlibをインストールするには

```
% sudo apt install python3-matplotlib
```

POAの[サイト](#)から使っているOSのSDKをダウンロードして、展開します。Windowsの場合だけは同じサイトのCamera Driverをインストールする必要があります。

SDKのlib/からCPUにあったライブラリーを使うpythonのあるディレクトリにコピーします。例えばRaspberry Pi 4BはArm64なので、lib/arm64から*.soをコピーします。ただエイリアスが正しくコピーできないことがあります（エイリアス作り直すか、dllの指定で本体ファイル名を使うように変える）。python/からpyPOACamera.pyをコピーして、使うpythonプログラムと同じディレクトリに置きます。テスト用のPOA_Camera_Test.pyがあるので、必要ならそれもコピーします。ただこれはpythonライブラリのcv2を使うので、そのインストールが必要になります（分光用プログラムでは使いません）。pyPOACamera.pyの最初の方のdllがWindows用になっているので、LinuxとMacの場合はここを直して、dllがOSに対応するようにWindowsの設定をコメントアウトして、対応OS部分をアクティブにします。必要ならライブラリの場所もここで設定できます（ライブラリを移動させている場合）。

Mac, Linuxの場合はlibusbインストールが必要です（最近のRaspberry Pi OSは不要でした）。Linuxの場合は

```
% sudo apt-get install libusb.1.0.0
```

LinuxとRaspberry Piの場合、libusbがrootしか使えないので、pythonプログラムをsudoして起動しないと使えません。これを回避するためには/etc/udev/rules.dにusb.rulesファイル（テキストファイル）を作成（sudoで作成）します。usb.rulesには以下の1行を書き込んで保存。

```
SUBSYSTEM=="usb", MODE="0666"
```

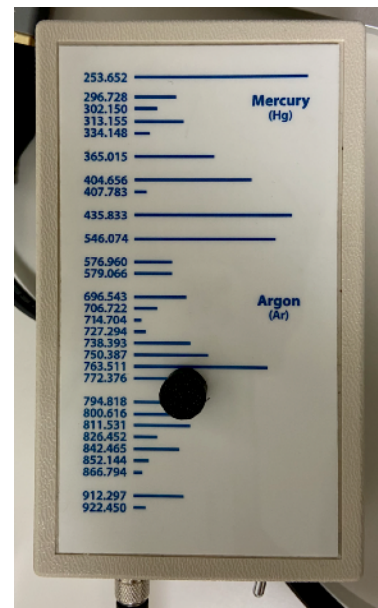
なおその後気づいたのですが、SDKにこのルール（99-player_one_astronomy.rules）が既に用意されているので、それをLinuxやRaspberry Piにコピーして、sudo install 99-player_one_astronomy.rules /lib/udev/rules.d/を実行します。

これで一般ユーザーで使えるようになるはずです。1度rebootしておきます。

波長校正

既に校正されているはずなので普段実施する必要はありませんが、カメラを交換した時や波長範囲を変えた時には波長校正が必要です。単にラフにスペクトルを見るだけなら（横軸ピクセルでいいなら）校正する必要はありません。

右の写真のHg-Ar光源（Ocean OpticsのHG-1）が第3研究棟3階分光実験室にあるので、それと分光器を光ファイバーで繋がります。そしてそのスペクトルをPOA-spectrum.pyで取得します（明るいので少し露光時間を下げたほうがいいかも）。スペクトルを保存しておきます（そのためにはSet Dirでdirectoryを設定して、エントリーにファイル名を書き込んでから測定します）。それをfitykのようなピークフィットできるプログラムで読んで、ピーク位置を求めます。その位置（ピクセル）と波長（HG-1の本体に書いている）の関係を2次多項式でRなどでfitします。その係数をテキストファイル



wavelength_calibration_coefficients.txtに書き込んでおきます。

既にあるファイルを参考にしてください（1行目コメント、2行目に2次の係数、3行目に1次の係数、4行目0次の係数）。このファイルはPOA-thermometer.pyでは起動時に自動的に読み込まれます。POA-spectrum.pyの場合は一番下のCalibrationのところのボタンをクリックするとこのファイルを読み込むことができます。横軸を波長にするにはチェックボックスをチェックしておく必要があります（読み込みと自動的にチェックされる）。最後の2行には使ったbinningのtopとbottomの値を書き込んでおきます。

現状、強度校正の機能はありません。

分光器の調整方法

1) 波長範囲の調整：黄色いハンドル部分の下に回折格子が載っているので、ハンドル部分の2つの赤いネジを緩めると回折格子を回転できます。Hg-ArかNeランプ光源をつないで、スペクトルをPOA-spectrum.pyの”Show 2D”やSharpCapやAstroDMx Captureで2D画像を見ながら範囲を移動させます（本体には黒布を被せておくか部屋を暗くして）。適当な位置になったら赤いネジを締めて固定します。

2) スペクトルの上下位置の調整：スペクトルの現れる位置をCMOSセンサー上下の中央付近に持ってきておいた方が色々便利です。もし中央付近から大きくズレている場合は調整してください（厳密に中央にある必要はありません）。上下位置は黄色いハンドル部分の黒いネジ2つの締め加減を変えることで移動できます（片方を緩めるともう片側を締める）。これもPOA-

spectrum.pyの”Show 2D”やSharpCapやAstroDMx Captureで2D画像を見ながら範囲を移動させます。

3) **スペクトル傾きの調整**：2D画像を表示した時にスポットが横方向に並んでいるのですが、水平方向から傾いている場合はカメラを回転させて調整します。特にbinningしている時にその範囲から外れていると測定スペクトルの強度が外れた部分でおかしくなります。調整方法はカメラ側を固定している赤いネジを緩めることでカメラを回転させることができます。2D画面表示をしながら水平に合わせて、赤いネジを締めます。

4) **カメラ側フォーカス調整**：こちらは普段調整する必要はありません。カメラを取り付けているケージプレートの固定ネジ4つを緩めるとカメラを前後に移動できます。赤いネジを緩めてカメラ側の筒を本体から外して、遠くの風景を見ながら（露光時間をかなり短くします）、ケージプレートを移動させてフォーカス位置で固定します。

5) **コリメート（ファイバー）側フォーカス調整**：（カメラ側のフォーカス調整が終わっていることが前提）普段調整する必要はありませんが、調整する場合は赤いネジを緩めてコリメート部分を本体から外します。またカメラ側も外しておきます。この2つの筒を固定する筒状の治具（右写真）があるので、それに両側から2つを挿入します。ファイバーを繋いで、もう片端にはHg-Ar光源を繋いでおくか、外光（蛍光灯）に向けておきます。2D画像を見ながらファイバーコア像が最もシャープになるようにファイバー端が載っているケージプレートを移動させます。ケージプレートを固定して、筒の部分を赤いネジで締めて固定します。



CMOSカメラ取り付け

現在あるPlayer One Astronomyの非冷却カメラには形状が2種類あって、Ceres-MやCeres-462Mのようなスティックタイプともう一回り大きい六角形でM42ネジが付いているタイプです。どちらもこの分光器に取り付け可能ですが、大きい六角形の方が感度やサイズの的には有利なので普段はそちらが付いてます。

大きい六角形型のカメラはM42内ネジがあるので、M42外ネジで中央がSM1内ネジになっているアダプタ（ソーラボ）を使ってレンズ筒（これはソーラボのSM1ネジ）と接続しています。フォーカス調整はカメラがケージプレートに固定されているので、ケージプレートを移動することで可能です。

カメラの向きを上下逆さにする必要がある場合、スペクトルが左右逆になります。その場合はプログラムでreverseをチェックすると左右が反転します。

注意

光ファイバー取り付け時には最後までネジを回して固定してください。途中で止めるとフォーカスがズレます。

隙間などから外光が入ってバックグラウンドが上がります。使用時は部屋を暗くするか、黒布で分光器のカメラ部分を覆うなどしてください（既に付いている場合があります）。

メンテナンス

自作しているので故障は基本直すことができます。神崎まで依頼してください。

POA-spectrum.pyの使用法

POA-spectrum.pyは私が作ったPlayer One AstronomyのCMOSカメラを使った汎用のスペクトル測定pythonコードです。画像の取得、スペクトルへの変換、スタッキング、スペクトルデータの保存などが可能です。起動すると出てくるGUI画面を右図に示してます（図はMacの場合）。なお改良により見かけが変更されていることがあります。最新版は冷却カメラにも対応しています。

光ファイバーで光源を繋いでから、普通は設定値そのままでもいいので、一度”1Shot”ボタンをクリックして測定してみます。もし強度が弱い場合はExp.timeを増加させます。逆に強度が強く、CMOSセンサーが飽和している場合はExp.timeとGainのラベルが赤くなります。その場合はExp.timeとGainを下げてください。Gainは1~500くらいの範囲で設定します（カメラにより最大値が多少変わります）。Gainを上げると感度が上がりますが、ノイズも増えます。Exp.timeは単位がミリ秒ですが、マイクロ秒の設定も可能です（0.01とか）。スペクトルが見える時はBin. set/resetのSetボタンをクリックします。

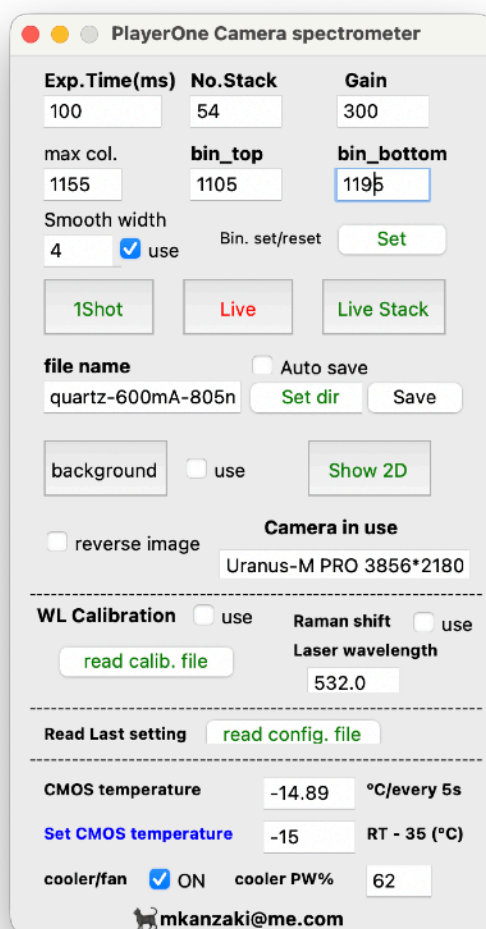
冷却可能なカメラの場合は一番下に設定温度が出てくるので、そこに温度を入力して、cooler/fan ONチェックボックスをチェックします。温度は室温から35~40 °C程度下げることができます。-15 °Cに設定して問題ないことを確認してます。冷却を止める時はcooler/fan ONのチェックを外してください。なお5秒毎に温度等の表示を更新しています。なお冷却可能なカメラではPCからのUSBによる電源供給が十分でなく冷却しないことがあります。その場合は電源をカメラに繋ぐ必要があります。

“1Shot”は1度測定してそのスペクトルを表示して止まります。これは測定時に使います。また“1Shot”を実行するとmax col.にCMOSセンサーの上下方向で強度の強い部分を示します。これは横方向にbinningした結果から最大値を求めているので、スペクトルが横に展開されている位置を示しているはずですが、ただしノイズの多い場合にはその限りではありません。これを目安にbin_topとbin_bottomを設定するとSN比の良いスペクトルを得ることができます。Bin. set/resetの隣のSetボタンをクリックすると自動でbinningを設定します（さらにマニュアルで調整することも可能）。それで“1Shot”を実行するとSN比が改善されているはずですが、bin_topとbin_bottomを初期値に戻したい時は再度Setボタンをクリックします。bin_bottomの初期値はカメラセンサーの高さ（ピクセル）になります。

2分岐ファイバーの場合には一度に2つスペクトル測定ができないので、binning設定を変えてそれぞれで測定してください。

“Live”ボタンをクリックすると、測定とスペクトル表示を繰り返します（積算はしません）。主に調整の時に使います。繰り返し測定している時はボタン文字が赤くなっています。再度ボタンをクリックすると止まり、文字が緑色になります。“Live”は自動では止まらないので、他の操作をする前に再度クリックして止める必要があります。

一方“Live Stack”は繰り返し測定を行って積算しその結果をライブで表示します。なので徐々にSN比が改善していきます。使う時はまずNo.Stackに繰り返し回数を設定します。そして“Live



Stack”ボタンをクリックします。測定中はボタンの文字が赤くなりNo.Stackの数字がカウントダウンします。測定回数に達すると自動で止まりますが、途中で止めたい時はボタンを再度クリックします。ボタン文字が緑に変わるはずです。

デフォルトではスペクトルは保存されません。保存したい場合はSet Dirボタンでデータを保存するディレクトリを指定します（Auto saveは自動的にチェックされます）。次回から”1Shot”, “Live”, “Live Stack”を実行した時にスペクトルがcsvファイルで保存されます。一番最初の行に測定条件などが書かれています。ファイル名末尾にはタイムスタンプが自動で付きます。そのため1回毎にファイル名を変える必要はありません（上書きにはなりません）。テストで測定する時などはAuto saveのチェックを外しておきます。Auto saveにしてない場合でも、Saveボタンで現在表示されているスペクトルを保存できます。

“background”ボタンはbackgroundスペクトルを取得します（”1Shot”相当）。例えばラマン測定の場合ならレーザーを切っておいて測定して、それをbackgroundとします。実行するとスペクトルではなく2Dイメージが表示されます。隣のuseチェックボックスをチェックすると次回から測定毎にbackground分が引かれたスペクトルが表示されます。これは”Live Stack”や”Show2D”でも有効です。Exp.timeやGainを測定と同じにしておく必要があります。もしそれらを変えた時は再度backgroundを測定する必要があります。

“Show 2D”ボタンはCMOSセンサーに写ったものが画像として表示されます。スペクトルがどう見えるか知りたい時やカメラが回転してないかチェックする場合に使います。分光器への入力に光ファイバーを使っているので、ピークのあるところにファイバーのコアによる円盤状イメージが小さく見えるはずですが、その付近のみを取り出して、さらに上下に積算（binning）したものがスペクトルになります。Show 2Dはその積算の位置を決める時に役立ちます。またCMOSカメラが回転しているかどうか分かります。スペクトルが水平ではない場合は画面を見ながらカメラを回転させて水平にします。このディスクがドーナツ上に見える時はフォーカスがちょっとずれています（スペクトルではピークの頂上が少し分裂して見えるはずですが）。

“Show 2D”も繰り返し測定して自動では止まらないので、他の操作をする前にボタンをクリックして止めます。また、Auto saveをチェックしている場合は止まった時に2Dイメージがpngファイルとして保存されます。

reverse imageチェックボックスは表示されるスペクトルおよび2Dイメージの左右を反転します。カメラを上下逆に取り付けた場合にはチェックしてください。

Camera in useは現在使っているカメラの種類（とピクセル数）を示しています。なお現在このソフトで使えるのはPlayer One AstronomyのCMOSカメラだけです。カラーカメラの場合は自動でSmooth widthがチェックされますが、モノクロカメラでは自動でチェックはされません。

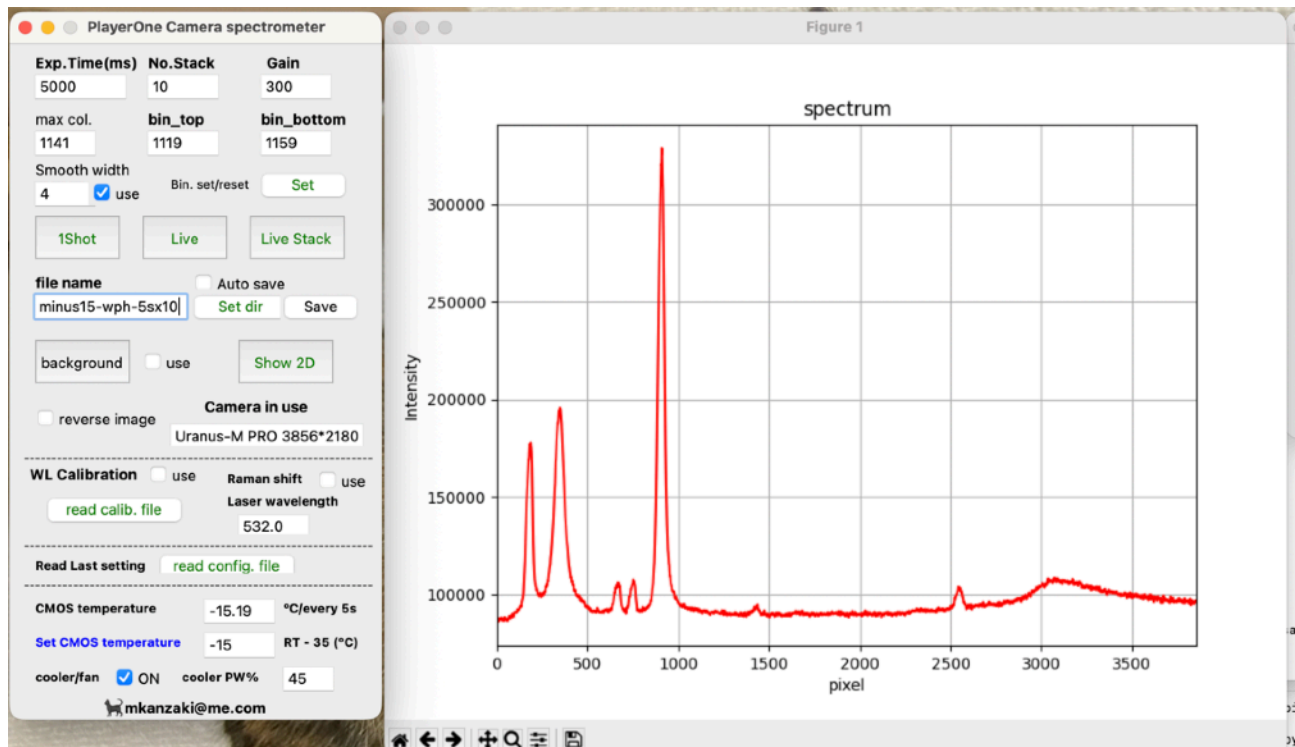
破線下の部分は波長校正データの読み込みです。これを実施する前はスペクトルの横軸はピクセルになってます。”read calib. file”ボタンをクリックするとファイル選択ダイアログが開くのでそこで予め作っている校正ファイルを読み込みます。読み込むとuseチェックボタンが自動的にチェックされ、それ以降の測定結果の横軸が波長になります。ラマンスペクトルを測定している場合には使用しているレーザーの波長をLaser wavelengthのところに入力して、Raman shift横のuseチェックボックスをチェックすると以後の測定で横軸がレーザー波長からの相対波数になります。

校正ファイル自体は校正用光源のスペクトルをこのソフトで測定して、ファイル名をつけて保存します。それをfityなどのソフトでピーク位置をfitして、その位置（ピクセル）と校正光源のピーク波長を2次多項式でfitして、その係数を校正ファイルに書き込みます。形式は既存のファイ

ルを参照してください。ミニ分光器の場合で校正光源にHG-1を使った場合はGUIの校正プログラムが使えます。重要なのは実際に校正を利用する時と同じ条件にしておくことです。

一番下は最後に使った設定を読み込むボタンです。このソフトの終了時にその時点の設定が自動的に保存しています。次回にそれを読み込むことができます（自動では読み込みません）。

終了するにはGUIウィンドウのクローズボックスをクリックします。プロットのウィンドウがいくらか残ることがありますが、それらもクローズボックスをクリックして全てクローズしてください。



POA-spectrum.pyを使って785 nmラマンシステムで測定したラマンスペクトル（石英）