

BIDO version 3.2

1. 概要

BIDO は微動アレイから位相速度を解析するプログラムです. 本 3.2 版は 3.0 からのアップデート版です. スペクトル解析のコア部は 3.0 と変わっていません. データ処理やアルゴリズムの説明は以前版のマニュアルでご確認ください. 今回, Windows ユーザーにとってはフロントエンド UI が変更されたこと, 不規則アレイや異なる時間に取得したアレイデータセットを利用できるように前処理プログラムに最小限の変更を加えたこと, 位相速度読取用 GUI (pvreader) を追加したことが異なります. 以下, これらの変更に関連する部分のみ重点的に解説します.

2. インストール

2-1 動作環境

BIDO はシェルスクリプト (bash), フォートランプログラム gfortran, Python 3 (pvreader の GUI) で書かれたプログラムの組み合わせで動きます. シェルによるファイル処理部は基礎的なコマンドの組み合わせ (UNIX で「パイプ」と呼ばれる処理) が多用されています. 実は Windows はこのような処理が得意ではありません. Linux や OSX では軽く動く一方, Windows では操作性が悪く, 実時間としての計算速度が遅くなります.

そこで BIDO3.2 は暫定的に Linux や OSX での利用を前提としました. したがって, このバージョンでは BIDO3.0 まで用いてきた Windows 用の UI (MSYS によるターミナル等) や実行ファイルも削除されています. ただし, Windows はバージョン 10 以降, WSL 呼ばれる LINUX が標準で動くようになっていますので (WSL は Windows Subsystem for Linux の略), これで動かすことは可能です.

BIDO は2バイト文字 (日本語等) を扱えません. したがって, OS へのログイン名やデータディレクトリ等は全て半角英数とし, 2バイト文字は使わないようにして下さい. これは BIDO のデータやプログラムが位置する途中のパス名も含めて同様です.

BIDO3.2 を使うために, 以下の外部ソフト (freely downloadable) を予めインストールしておいてください. これらは BIDO3.2 のスペクトル解析と位相速度読取用 GUI (pvreader) の両方で必要となります.

- xterm

<https://en.wikipedia.org/wiki/Xterm>

- gnuplot

<http://www.gnuplot.info/>

これらのソフトは, Linux/WSL (ubuntu) の場合, 以下のコマンドでインストールできます.

```
sudo apt install xterm [type return key]
```

```
sudo apt install gnuplot-x11 [type return key]
```

2-2 Window ユーザー

WSL は Microsoft Store で "ubuntu" を検索すれば簡単に導入できます. 詳細は適当な WEB ページを検索して下さい. なお, 本マニュアル作成時は WSL にはバージョン 1, 2 の 2 つがあ

り, ubuntu にはバージョン 18, 20, 22 がありました. BIDO の動作は WSL1 と ubuntu20 の組み合わせで確認しました.

WSL を初めてご利用になる方は, WSL のインストールが済んだら, Linux のターミナルを立ち上げて以下のコマンドで利用環境を整えて下さい.

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt install gnuplot-x11
sudo apt install xterm
```

これには少々 (20-30 分程度?) 時間がかかるかもしれません. その後の処理は 2-3 節と同様です.

2-3 Linux, OSX (OS 依存性なし)

一般の Linux や OSX でプログラムを動作させるためにはこの節に従って下さい. まず, Windows の WSL の場合 (2.2 節) と同様に, 以下のように外部ソフトを入れておいてください.

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt install gnuplot-x11
sudo apt install xterm
```

PC に gfortran がインストールされていれば自分でソースプログラムをコンパイルできます. それ以外のフォートランコンパイラではコンパイルおよび動作を確認していません.

開発環境をインストールする手順はおそらく次のようなものかと思います (以下は Windows の WSL の場合).

```
sudo apt install build-essential
sudo apt install gfortran
```

を実行して下さい.

次に, pvreader の GUI を動かすために, Python 開発環境 (Python3) をインストールする必要があります. Windows の WSL にはデフォルトで Python3 が入っていますが, いくつかのモジュールを追加でインストールする必要があります. 以下の通りインストールして下さい. これは native の ubuntu や OSX の場合も同様です.

```
sudo apt install pip
pip install --upgrade pip
pip install numpy
pip install matplotlib
sudo apt install python3-tk
```

これで準備が整いました. 以下の手順でプログラムをコンパイルして下さい.

```
cd BIDO3.2
./Install.sh [type return key]
```

3. 使い方

位相速度の解析手順は BIDO3.0 までと変わりはありません。具体的には、ターミナル(xterm)を起動して以下のコマンドを実行してください。

```
run.sh [type return key]
```

もしくは

```
run.sh data_path/param.sh [type return key]
```

ただし、「data_path」は param.sh, seism.d および該当するデータファイルの入ったディレクトリまでのパスに書き換えて下さい。

位相速度読取用 GUI (pvreader)の使い方については別添のマニュアルを参照して下さい。

4. 解析内容

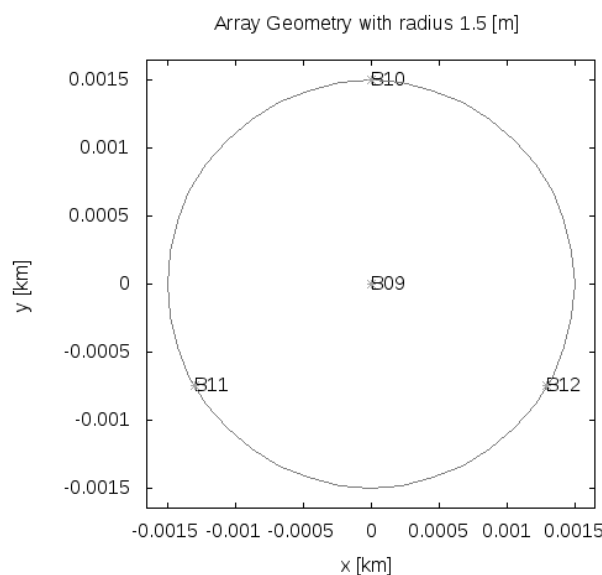
以下、位相速度の解析でこれまでと異なる事項を述べます。

4-1. 不規則アレイへの対応

seism.d に円形アレイが記述されている場合、これまで通りの計算が実施されますが、それに加えて、2点 SPAC (Cho, 2020), ESAC (Ohori et al., 2002), nc-SPAC (Cho, 2019)の計算も実施されるようにしました。seism.dに不規則アレイが記述されている場合、2点 SPAC, ESAC, nc-SPACのみが適用されます(2点 SPAC については BIDO3.0 から導入済)。

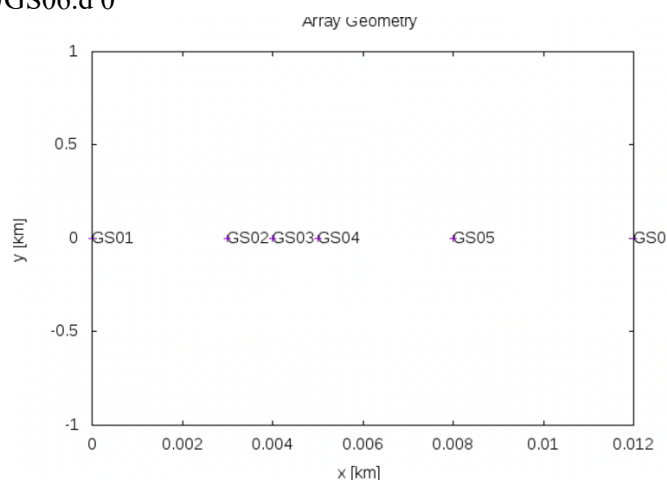
例えば、seism.dが以下のように記されていたら、下図のような半径 1.5m の円形アレイの意味ですので、自動的に CCA, esac, nc-cca, nc-spac, SPAC 法が適用されます。

```
#COMP 3 [1 ud only/ 2 horizontal (ns & ew) only/ 3 three components]
#DT 0.01 [Sampling time interval of the waveform data (s)]
0.000000 0.000000 B09.d 1
0.000000 0.001500 B10.d 0
-0.001299 -0.000750 B11.d 0
0.001299 -0.000750 B12.d 0
```



一方、seism.dが以下のように記されていたら、これは直線上の0, 3, 4, 5, 8, 12 mの位置にセンサーを並べた直線アレイを意味していますので、円形アレイではありません。したがって、ESACとnc-spac, SPAC (1p)の計算が実行されます。

```
#COMP 1 [1 ud only/ 2 horizontal (ns & ew) only/ 3 three components]
#DT 0.005 [Sampling time interval of the waveform data (s)]
0.000000.000000GS01.d 0
0.0030000.000000GS02.d 0
0.0040000.000000GS03.d 1
0.0050000.000000GS04.d 0
0.0080000.000000GS05.d 0
0.0120000.000000GS06.d 0
```



(注)

seism.dでGS03.dのIDが1となっていることにご注意ください。つまり、センサーGS03の位置が「アレイの中心点」と見なされています。これは便宜的に「中心とみなす」と理解していただければOKです。BIDOプログラムでは、ID=0の全てのセンサーが1つの円環上にあるかどうかをチェックして、Yesならば「円形アレイ」、1つでも円環上にないセンサーがある場合、「非円形アレイ」と判断します。つまり、「非円形アレイ」であることをプログラムに理解させるために、適当なセンサーのIDを1と設定する必要があります。身もふたもない言い方ですが、非円形アレイとしたい場合、どのセンサーでもいいのでセンサーの1つにID=1を設定し、その他は全てID=0として下さい。

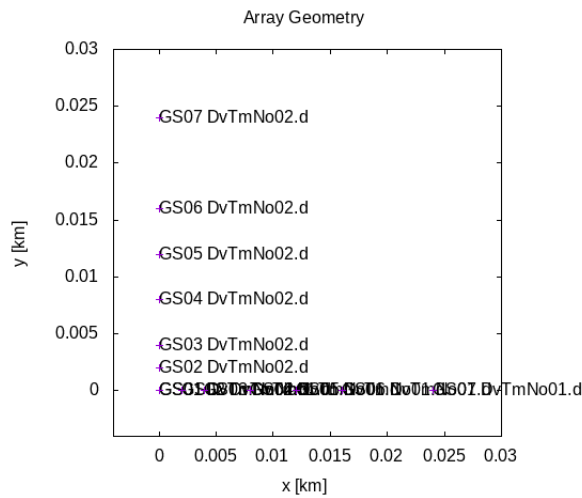
4-2. 異なる時間に取得したアレイデータセットへの対応

BIDO3.2は、異なる時間に取得したアレイデータ(e.g., Morikawa et al., 2004; Cho 2023)を一括して処理できる仕様となっています。例えば、以下のseism.dを見てください。

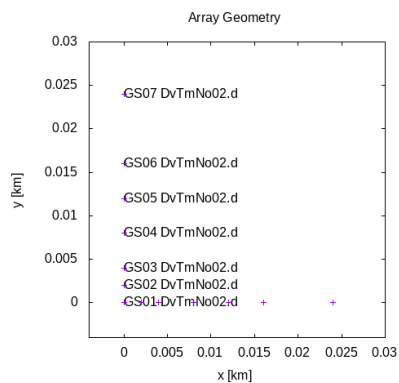
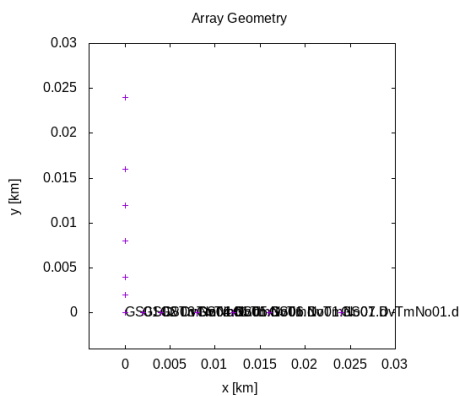
```
#COMP 1 [1 ud only/ 2 horizontal (ns & ew) only/ 3 three components]
#DT 0.005 [Sampling time interval of the waveform data (s)]
0.000000 0.000000 GS01GS11_DvTmNo01.d 1
0.002000 0.000000 GS02GS11_DvTmNo01.d 0
0.004000 0.000000 GS03GS11_DvTmNo01.d 0
0.008000 0.000000 GS04GS11_DvTmNo01.d 0
0.012000 0.000000 GS05GS11_DvTmNo01.d 0
0.016000 0.000000 GS06GS11_DvTmNo01.d 0
```

0.024000	0.000000	GS07GS11_DvTmNo01.d 0
0.000000	0.000000	GS01GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.002000	GS02GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.004000	GS03GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.008000	GS04GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.012000	GS05GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.016000	GS06GS11_DvTmNo02.d 0
0.000000	0.024000	GS07GS11_DvTmNo02.d 0

このファイルに対応するジオフォンの位置は下図の通りです。



ただし、この seism.d の記載していることはそれだけではありません。観測現場ではまず位置 0, 2, 4, 8, 12, 16, 24 m にセンサーを並べた直線アレイを x 方向に向けて設置して微動アレイ観測を実施し(下図左)、次に、同じ仕様の直線アレイを y 方向に設置し直して、再度、微動アレイ観測を実施したことを表しています(下図右)。(これらの図では、ファイル名が記載されているプラスマークの位置でジオフォンが稼働していたということを意味しています。)



繰り返しになりますが、

GS01GS11_DvTmNo01.d

GS02GS11_DvTmNo01.d
GS03GS11_DvTmNo01.d
GS04GS11_DvTmNo01.d
GS05GS11_DvTmNo01.d
GS06GS11_DvTmNo01.d
GS07GS11_DvTmNo01.d

および,

GS01GS11_DvTmNo02.d
GS02GS11_DvTmNo02.d
GS03GS11_DvTmNo02.d
GS04GS11_DvTmNo02.d
GS05GS11_DvTmNo02.d
GS06GS11_DvTmNo02.d
GS07GS11_DvTmNo02.d

の 7 ファイルずつがそれぞれ同じ時刻に記録したデータセットとなります。

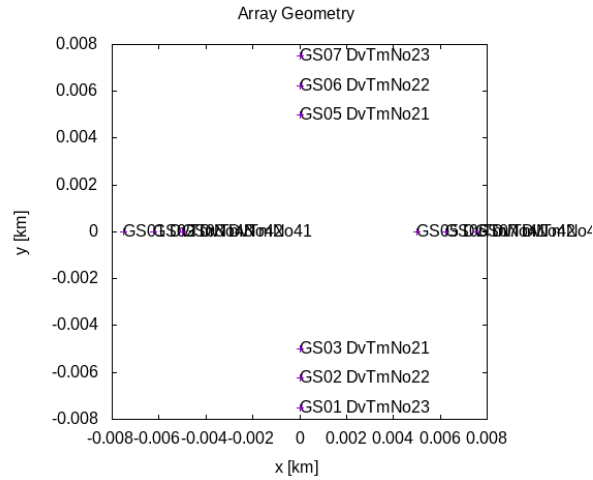
ファイル名からお気付きになったと思いますが、ファイル名のうち、"_DvTmNoXX"の部分が同じものが「同じ時刻に記録した」ことを意味しています。つまり、異なる時刻に記録したアレイデータセットを一括で処理したい場合、ファイル名の最後に、

_DvTmNoXX

という識別 ID をつけて、「同時刻に記録した」ことが分かるようにして下さい。なお、大文字・小文字は区別されます。また、冒頭の横棒「_」はアンダースコアです。BIDO3.2 では、データファイル名に"_DvTmNo"が含まれる場合、"_DvTmNoXX"の部分が同じものに関してのみクロススペクトルやコヒーレンス、SPAC 係数を評価する仕様としています。

練習として、もう一つ、やや難しい例を示します。

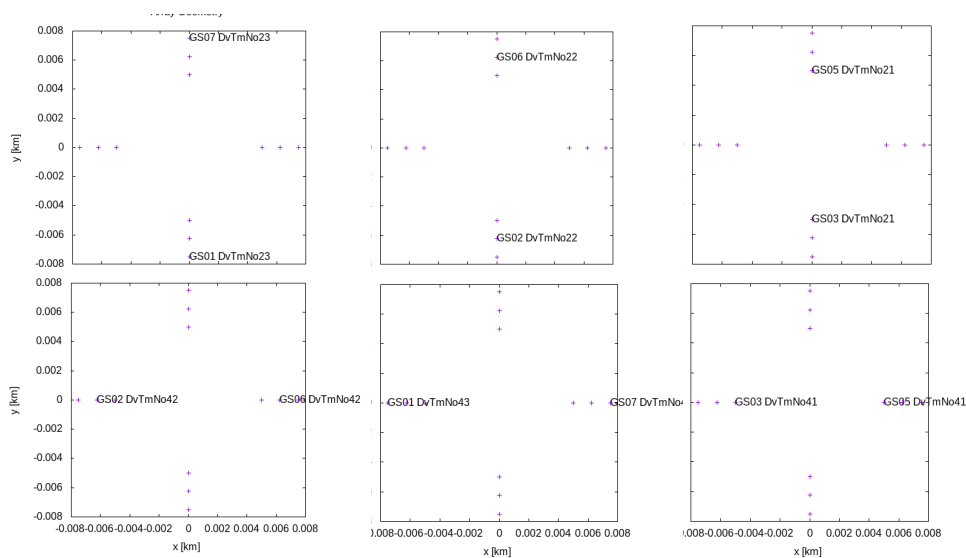
```
#COMP 1 [1 ud only/ 2 horizontal (ns & ew) only/ 3 three components]
#DT 0.005 [Sampling time interval of the waveform data (s)]
0.0000 -0.00750 GS01_DvTmNo23.d 0
0.0000 -0.00625 GS02_DvTmNo22.d 0
0.0000 -0.00500 GS03_DvTmNo21.d 0
0.0000 0.00500 GS05_DvTmNo21.d 1
0.0000 0.00625 GS06_DvTmNo22.d 0
0.0000 0.00750 GS07_DvTmNo23.d 0
-0.00750 0.00000 GS01_DvTmNo43.d 0
-0.00625 0.00000 GS02_DvTmNo42.d 0
-0.00500 0.00000 GS03_DvTmNo41.d 0
0.00500 0.00000 GS05_DvTmNo41.d 0
0.00625 0.00000 GS06_DvTmNo42.d 0
0.00750 0.00000 GS07_DvTmNo43.d 0
```



この `seism.d` によって示される観測状況が想像できるでしょうか. 実は, これは2点アレイ(1ペアアレイ)を, 配置を変えながら6回繰り返した状況を表しています. 以下の6ペアが同時に記録した2点アレイということになります.

- GS01_DvTmNo23.d と GS07_DvTmNo23.d
- GS02_DvTmNo22.d と GS06_DvTmNo22.d
- GS03_DvTmNo21.d と GS05_DvTmNo21.d
- GS07_DvTmNo23.d と GS07_DvTmNo43.d
- GS02_DvTmNo42.d と GS06_DvTmNo42.d
- GS03_DvTmNo41.d と GS05_DvTmNo41.d

つまり, 次のように配置を変えながら2点アレイを6回繰り返したというのが答えです.



4-3. 半径によるクラスタリング

不規則アレイは2つのセンサー間の距離がバリエーションに富むものもあり, すべての2点アレイ(2点 SPAC 法)を評価すると数が多くなり過ぎて実用的ではない場合があるかもしれませ

ん。そこで BIDO3.2 ではアレイ半径によるクラスタリング処理により 2 点アレイの統計評価を行なうことにしました。

具体的には、まず前処理として、アレイ全体からセンサー 3 つを選び、

- ・三角アレイの内角が全て 40° から 140° の範囲に入る。
- ・辺長の変動係数(標準偏差と平均値の比)が 0.1 以内に入る(=直角 2 等辺三角形よりも正三角形に近いことと等価)。

という条件を満たすセンサーの組み合わせを全て三角アレイ(3-pair array, 3p-array)とみなします。次に、こうして得られる 3p-array を凝集型階層クラスタリング・アルゴリズム(Spath, 1980)を用いてグループ化し、各グループの SPAC 係数および対応する位相速度の平均を評価することになりました。その際、クラスター内でアレイ半径の相違が 10%以上異なる場合、強制的に別グループとしてみなすことにしました。

こうして得られたグループには"3pAPX_n**CL**"というファイル ID が振られています。"3p" は同じセンサー間距離(アレイ半径)が同じ SPAC 係数が 3 pairs あることを意味しています。APX は"approximation"の略で、概ね同じアレイ半径という意味です。n**の**はグループを構成する要素数、CL**の**はクラスターの番号を意味します。

同様なグルーピング処理を、2 つの 2 点アレイのペア(=L 型アレイもしくはクロスアレイに対応)についても適用しています。具体的には、アレイ全体から次の条件を満たす 2 点アレイのペアを抽出し、2-pair array (2p-array)とします。

- ・2 つの 2 点アレイのなす角が 40° から 140° の範囲に入る。
- ・2 つの辺長の変動係数(標準偏差と平均値の比)が 0.1 以内に入る。

そして、こうして得られる 2p-array を凝集型階層クラスタリング・アルゴリズム(Spath, 1980)を用いてグループ化し、各グループの SPAC 係数および対応する位相速度の平均を評価することにしていきます。その際、クラスター内でアレイ半径の相違が 10%以上異なる場合、強制的に別グループとしてみなすことにしたのは上と同様です。

こうして得られたグループには"2pAPX_n**CL**"というファイル ID が振られています。"2p" は同じセンサー間距離(アレイ半径)が同じ SPAC 係数が 2 pairs あることを意味し、APX は"approximation"の略で、概ね同じアレイ半径という意味、n**の**はグループを構成する要素数、CL**の**はクラスターの番号を意味しています。

4-4. ゼロクロシング法に基づく位相速度同定への対応

バージョン 3.2 ではゼロクロシング法(Aki, 1957; Ekström et al., 2009; Cho et al. 2021; Cho 2023)に基づく位相速度の同定が可能となっています。この方法は位相速度読取用 GUI (pvreader)で適用できるようになっています。アルゴリズムは Cho (2023)に記載してあります。詳細は別添のマニュアルを参照して下さい。

Aki, K., 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **35**, 415–457.

Cho, I., 2019, Compensating for the impact of incoherent noise in the spatial autocorrelation microtremor array method, *Bull. Seismol. Soc. Amer.* **109**, 199-211, doi:10.1785/0120180153.

Cho, I., 2020, Two-sensor microtremor SPAC method: potential utility of imaginary spectrum components, *Geophys. J. Int.*, 1735-1747, doi:10.1093/gji/ggz454.

- Cho, I. 2023, Spatial autocorrelation method for a simple microtremor array survey at a rock/stiff-soil site, *J. Geophys. Int.*, in press.
- Cho, I., S. Senna A. Wakai, K. Jin and H. Fujiwara, 2021, Basic performance of a spatial autocorrelation method for determining phase velocities of Rayleigh waves from microtremors, with special reference to the zero-crossing method for quick surveys with mobile seismic arrays, *Geophys. J. Int.*, **226**, 1676-1694, doi:10.1093/gji/ggab149.
- Ekström, G., Abers, G. A. & Webb, S. C., 2009. Determination of surface-wave phase velocities across US Array from noise and Aki's spectral formulation, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L18301. doi:10.1029/2009GL039131
- Morikawa, H., Sawada, S. & Akamatsu, J., 2004. A method to estimate phase velocities of Rayleigh waves using microseisms simultaneously observed at two sites, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **94**, 961–976. doi: 10.1785/0120030020.
- Ohuri, M., Nobata, A. & Wakamatsu, K., 2002. A comparison of ESAC and FK methods of estimating phase velocity using arbitrarily shaped microtremor arrays, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92**, 2323–2332. doi:10.1785/0119980109
- Spath, H., 1980, Cluster analysis algorithms: for data reduction and classification of objects, Chapter 4, John Willey & Sons, N.Y., 226p.

Contact:

Ikuo Cho (ikuo-chou@aist.go.jp)

位相速度読み取り GUI: pvreader

1. 概要

pvreader は微動アレイデータ解析プログラム BIDO3.2 による位相速度の解析結果から位相速度の目視読み取りを行うためのプログラムです。

2. 使い方

ダイアログボタンの起動

ターミナル(xterm, kterm 等)を起動して以下のコマンドを実行してください。

```
pvreaqder.sh [type return key]
```

以下のようなボタンが現れると思います。ただし、計算機環境によってはボタンの見え方が異なるかもしれません。



ボタンの意味は下記の通りです。

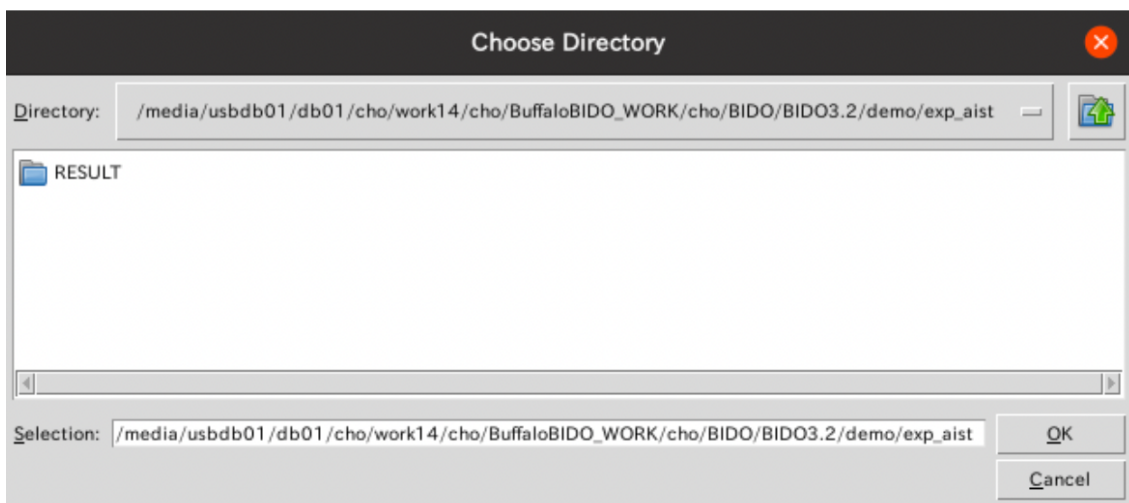
“DataDir” BIDO3.2 の計算結果が格納されたデータディレクトリの指定。

“RunShell” pvreader の実行。

“Quit” 終了

ディレクトリの選択

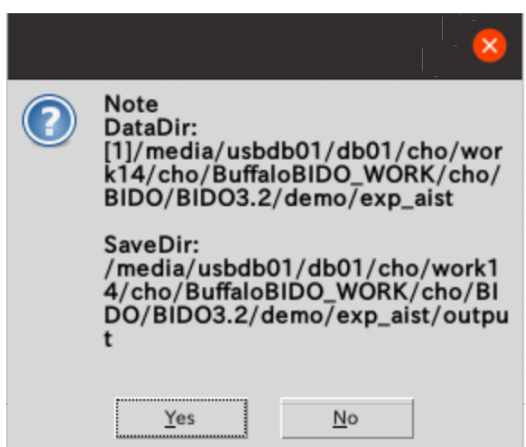
早速使ってみましょう。まず，“Datadir”をクリックし，BIDO3.2 による計算結果が含まれるデータディレクトリを指定して「OK」をクリックします。



同一サイトで複数のアレイを実施し、それらをまとめて評価したい場合もあると思います。このように、データディレクトリが複数個ある場合、ディレクトリの指定を同様に繰り返して下さい。

PVREADER(GUI)の起動

問題がなければ“RunShell” をクリックします。すると、下記のようなダイアログが立ち上がり、データのありかと読み取り結果の保存先が示されます。



問題がある場合は No を押せば終了します。Yes を押せば xterm が起動して位相速度プロットの準備を開始します。ゼロクロス点の自動読み取り等の前処理が実行されます。

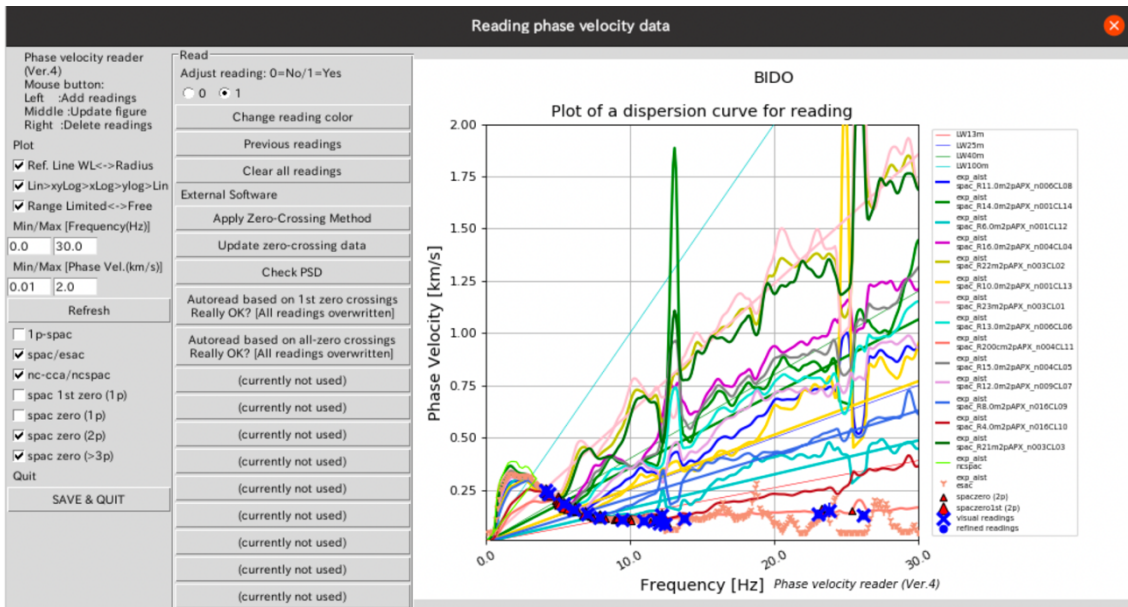
```

bash
Datadir and File found: /home/cho/demo/exp_aist/RESULT/seism.log
mkdir -p result_point/dummysite/OTHERS
mkdir -p result_point/dummysite/RESULT
OUTPUT result_point/dummysite/OTHERS/radius.d
Program ./Analysis_Point.sh
-----
Read phase velocity
-----
OUTPUT: result_point/dummysite/array/RESULT/rpw/readpv_auto.sh
WARNING in ./Analysis_Point.sh (no. of data differs; Zero padding done)

```

軸範囲の調整

しばらく待つと、以下のような分散曲線のグラフがプロットされます。軸の範囲やプロットするデータを取捨選択してグラフの見やすさを調整して下さい。軸の範囲の調整後は「Refresh」ボタンを押して変更を反映してください。

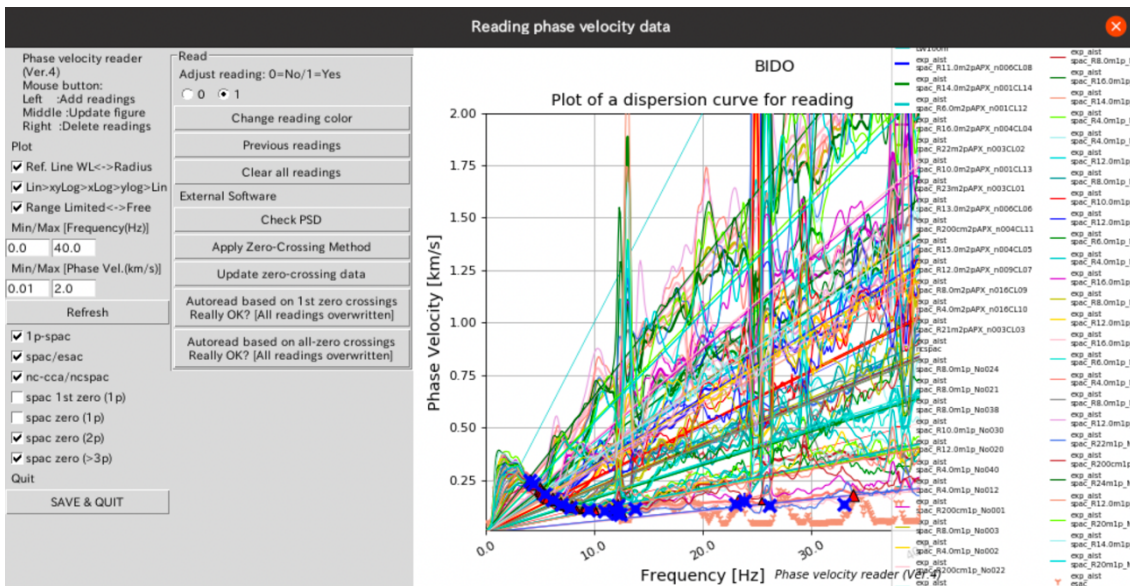


プロットデータの取捨選択

プロットするデータを取捨選択は以下のチェックボックス部で行います。

- 1p-spac
- spac/esac
- nc-cca/ncspac
- spac 1st zero (1p)
- spac zero (1p)
- spac zero (2p)
- spac zero (>3p)

このうち、1p-spac の“p”は“pair”の意味です(i.e., 1-pair spac). SPAC 法の最小単位は 2 つのセンサーで構成される 2 点アレイですが、センサー1対ということでここではこれを 1p-spac と表記しています. BIDO3.2 ではアレイを構成する全てのセンサーのペアについて 1p-spac を適用しますので、一般に非常に多くの結果が示されることとなります(下図).



“spac 1st zero (1p)”は 1p-spac の SPAC 係数にゼロクロス法を適用して得られる位相速度のうち、第1ゼロクロス点に対応するものです. “spac zero (1p)”は 1p-spac の SPAC 係数にゼロクロス法を適用して得られる全ての(後続ゼロクロス点を含む)位相速度です.

“spac 1st zero (2p)”は 2-pair array にゼロクロス法を適用して得られた位相速度です. 例えば、直線アレイを 2 回方向を変えて実施した場合、1対の 2 点アレイを平均した方がよりロバストな結果になると考えられます. BIDO3.0, 3.2 ではこのようなケースも自動計算で“spac_Rxx2p”という ID のついたファイルを生成するようになっています(BIDO3.0 のマニュアル, Appendix 1-2).

“spac 1st zero (> 3p)”は 3-pair array あるいはそれ以上のペア数のアレイにゼロクロス法を適用して得られた位相速度です. 通常の三角アレイはこれにあたります.

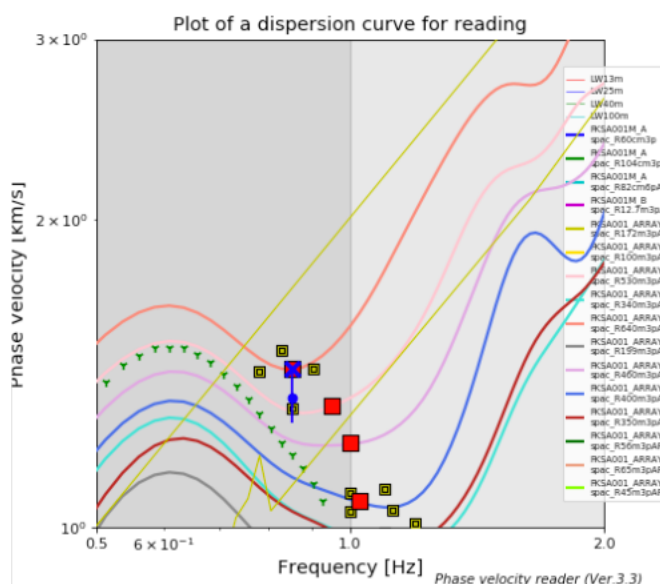
初期自動読み取り

パネルに付された青クロスは位相速度の自動読み取り結果です。pvreaderの起動時は、ゼロクロス法やその他の手法の解析結果を参考として自動読み取りがなされます。手法ごとに信頼できる波長帯域が少しずつ異なりますので、自動読み取りの際は、手法ごとの特性が考慮されています。したがって、この自動読み取り値はそれなりに参考になるはずですが、自動読み取りはオプション(支援機能)であり、ノイズの影響で誤っていることも多々ありますので、必ず目視で確認してください。ゼロクロス法の結果も必ずSPAC係数に立ち返って目視で確認してください(「Applying zero-crossing method」参照)。

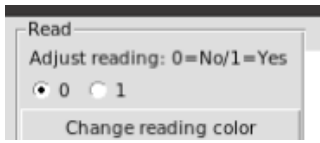
目視読み取り

グラフ上を左クリックすると読み取りマークが追加されます。右クリックすると読み取りマークを削除できます。

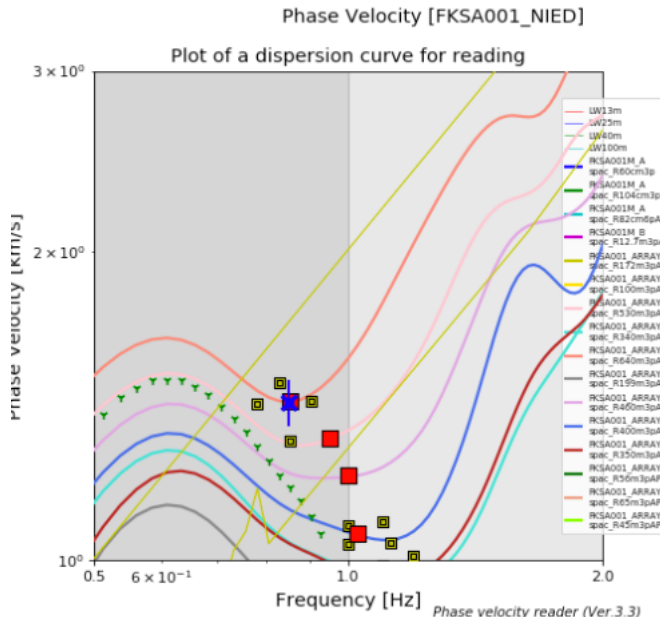
pvreaderには「読み取り結果の自動調整機能」がついています。例えば、下図で左クリックしたのは赤四角の×印の部分ですが、読み取り値は縦棒付きの青丸となっていて、×印の場所と異なっています。これは、この付近では複数の位相速度の結果があり、アレイサイズとの相対波長に依存する重み付き平均値に読み取り値が自動調整されるようになる仕様となっているからです(「読み取り結果の自動調整機能」)。つまり、目視読み取りと言ってもあくまでもおかしな結果がないかをチェックすることに重点が置かれています。しかし、この「お節介機能」のせいで自分の考えと別な点が自動的に読み取られているにも関わらず、それに気付かないまま読み取り作業を終了してしまうことがあるかもしれません。十分ご注意ください。



「読み取り結果の自動調整機能」はオフにすることができます。pvreaderの「Adjust reading」のラジオボタンを0にすれば良いです。これを0にすれば、次の1個のデータに限り、自動調整機能がオフにされます。具体的には、



こうすれば、下のように赤四角に合わせた読み取りが可能となります。

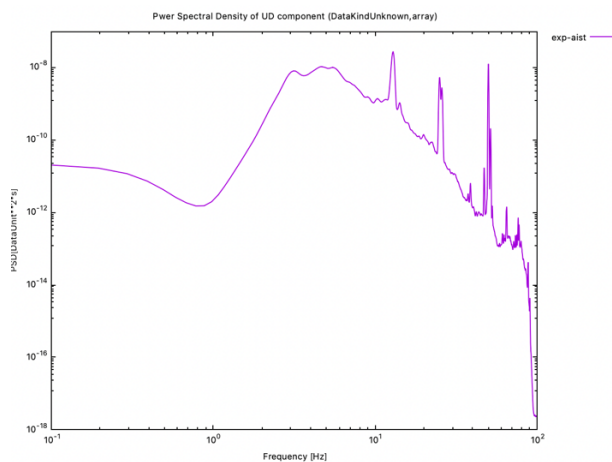


すべてのデータを自動調整オフで読み取りたい場合はデータごとに繰り返しラジオボタンをオフにしなければなりません。

その他の各ボタンの機能

「Check PSD」

PSD をプロットできますので SNR の参考になるかもしれません。なお、表示は gnuplot で行なっています。ツールバーのバツ印がグラフの上で「q」をクリックすればプロット画面を終了できます。



「Applying Zero-Crossing Method」

SPAC 係数スペクトルからゼロクロス点を読み取るためのツールです. 詳細は後述.

「Update zero-crossing data」

「Applying Zero-Crossing Method」で読み取った後(または読み取りの最中)はこのボタンを押してゼロクロス点に対応する位相速度のプロット(赤四角, 赤三角, 黄色四角)をアップデートして下さい.

「Autoread based on 1st zero crossing」

ゼロクロス(2p, 3p アレイの第 1 ゼロ)の読み取り値を分散曲線の読み取り値に変換します. 読み取り値が小さな周波数区間でばらついている場合, 読み取り値はそれらの平均になります. なお, これまでの読み取り値は全て消去されますのでご注意ください.

「Autoread based on all zero crossing」

ゼロクロス(2p, 3p アレイの第一ゼロおよび後続のゼロ)の読み取り値から分散曲線を読み取る場合, このボタンを押せば自動読み取りを実施します. 後続ゼロはゼロ番号に逆比例する重みをかけて後続であればあるほど重みが小さくなるようになっています. これまでの読み取り値は全て消去されますのでご注意ください.

「SAVE & QUIT」

SaveDir に作成されたファイル index.html を適当なブラウザで開けば作業結果を見ることができます. また, 同ページから位相速度の読み取り結果を DL できます.

個別の結果は以下のファイルに格納されています(ブラウザで見るものと同じ内容です).

*info.d DataDir, SaveDir の情報

*vr.d 位相速度の読み取り結果.

周波数[Hz] 位相速度[km/s] 標準偏差[km/s] データ個数 read_adjust_ID
標準偏差:ここではシンプルに, 読み取り点の直近の位相速度データに関連する値を挿入しています. 本来データがない地点の読み取りにも補間されて代入されることがあり, その場合は厳密には正しい値とは言えません. また, ここでは複数の異なる手法で得られた位相速度がプロットされていますので, 異なる手法で得られた結果のばらつきについても評価すべきという考え方もあるでしょう. したがって, ここで提示された誤差はあくまでも1つの簡易指標と理解して下さい.

データ個数: BIDO の nseg_segave に一致します(BIDO のコンパイル時に src/PARAM.h で NROBUST4AVERAGE_INC が指定されていない場合).
read_adjust_ID: 0/1 の別です. 初期自動読み取りは全て 0 と設定されています.

*spaczeros.d SPAC 係数のゼロクロス点の情報

目視, 自動読み取りの別なく以下のフォーマットでデータが書き出されます.

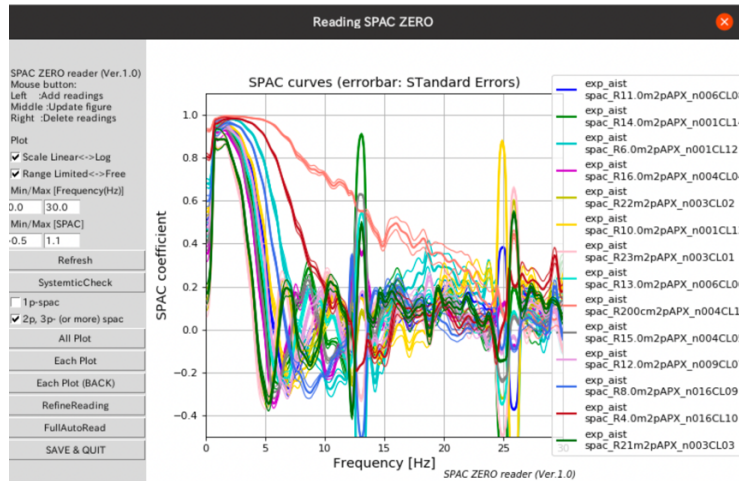
周波数[Hz] 位相速度[km/s] ゼロ番号 directory 名, ファイル名, アレイ半径
[km]

*image.png 位相速度読み取り GUI (pvreader)のスナップショット.

*png. SPAC 係数と対応する PSD 及びゼロクロス点の読み取り値のプロット.

ゼロクロス法用 GUI: spac zero reader

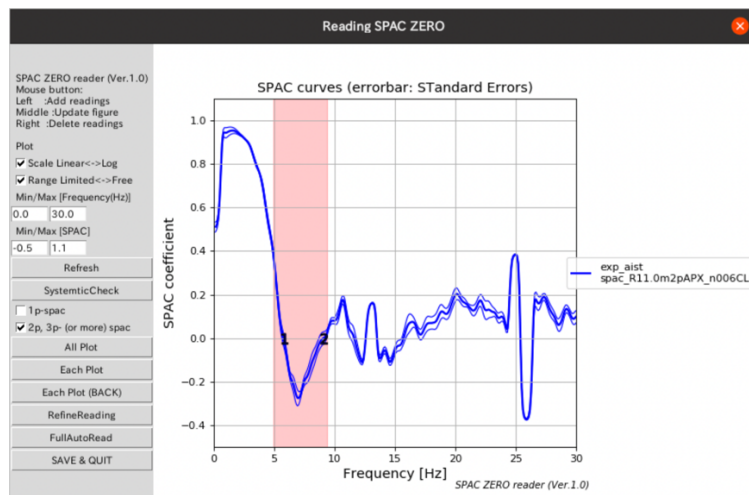
pvreader の標記ボタンをクリックすると、ゼロクロス法におけるゼロクロス点の目視読み取りを実施するための GUI が起動します。



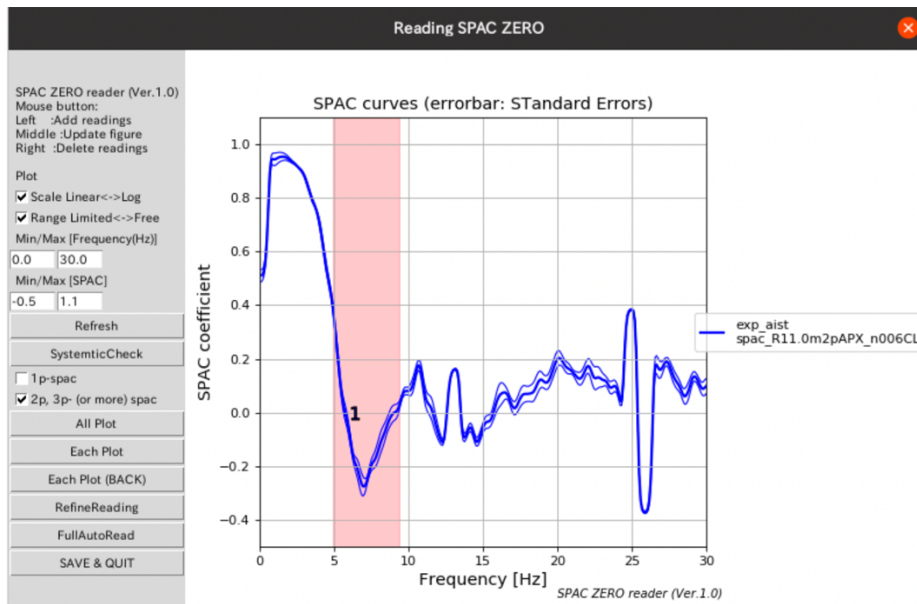
初期画面では、1p-spac もしくは 2p, 3p- (or more) spac のチェックボックスで示されるアレイの全ての SPAC 係数が示されています。

読み取りの実施

“Each PLOT”をクリックしてください。読み取りのために個別の SPAC 係数がプロットされます。



SPAC 係数は既に自動読み取りがなされていますが、自動読み取り結果がおかしい場合は目視で読み直す必要があります。左クリックで最大 9 個まで読み取り(右クリックで消去)できます。これらの個別プロットには誤差(標準誤差)として細線もプロットされています。SPAC 係数がゼロを横切ることの信頼性(有意性)を判断するための補助としてご利用ください。



なお、上図のように読み取り値がずれている場合、RefineReading ボタンを押すと自動調整されます。また、FullAutoRead ボタンを押せば自動読み取りの結果が再現されます。

読み取りが終了したら“Each PLOT”を再度クリックして次の SPAC 係数に進みます。やり直したい場合、“Each PLOT (BACK)”で戻ります。なお、SPAC 係数のラベルに「APX」が付いているものや「CL(クラスター)」ものがあります。これらの意味は BIDO 本体の解説に記載されています。

自動読み取り

SPAC 係数のゼロクロス点と思われる部分には自動読み取りされたゼロクロス点がゼロ番号を表す数字とともにプロットされています。自動読み取り基準は Cho (2023)の通りです。これらの自動読み取り結果を参考にしつつ、目視確認を行なって下さい。

なお、全ての自動読み取りには、安定化のため、描画されている SPAC 係数よりも数段強い平滑化をかけたデータが用いられています。そのため、SPAC 係数のプロットと自動読み取り結果がずれることがありますので、その場合は目視読み取りにより修正して下さい。つまり、ここでプロットされている SPAC 係数がオリジナルデータですので、これを目視で読み取った結果の方に、より高い信頼性が置かれるべきと考えられます。

読み取り支援機能(赤帯)

縦の赤帯は第一ゼロクロス点が現れると推定される範囲を示しています。この赤帯は以下の手順で与えられます。

- 1) 読み取り対象となっている SPAC 係数の半径を r_0 として、SPAC 係数を $r > r_0$, $r < r_0$ の 2 つのグループに分ける。

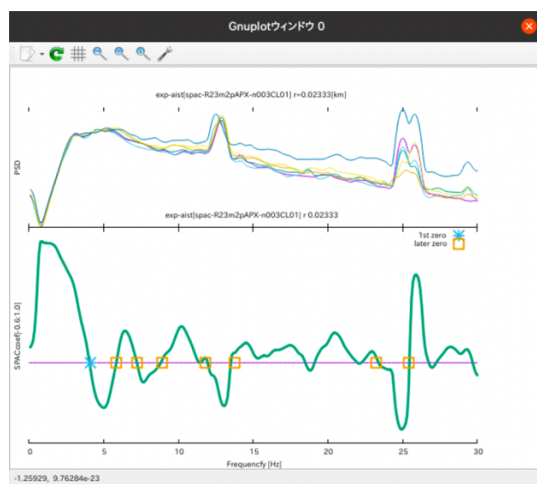
2) $r > r_0$ のグループの第 1 ゼロクロス点に対応する周波数を平均(既読のデータを用いて計算)して赤帯の最小周波数とする. また, $r < r_0$ のグループの第 1 ゼロクロス点に対応する周波数を平均して赤帯の最大周波数とする. 平均化の際は, 半径の乖離が大きくなると小さくなるような重みとして, それぞれ $r_0/r, r/r_0$ という重みをかける.

上記の処理は, 「 r が小さくなると第 1 ゼロクロス点は高周波数側に移動する」という仮定(「分散曲線が正分散する」という仮定と等価)に基づきますのでご注意ください.

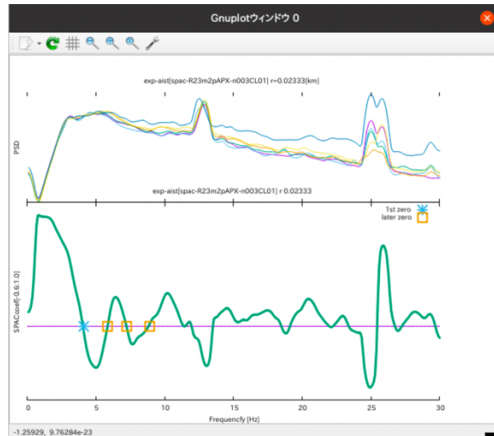
読み取り支援機能(「Systematic Check」ボタン)

全ての SPAC 係数 (2-p, 3-p arrays) が r の大きい順にプロットされます. その際, ゼロクロス点の読み取り結果も含めてプロットされます. gnuplot を使っていますので, ツールバーのバツ印がグラフの上で「q」をクリックすればプロット画面を終了し, 次のプロットに進みます. あたかもアニメーションのように, r が小さくなるにつれてゼロクロス点の読み取り値が徐々に小さくなる様子を観察することができると思います. また, SPAC 係数の上には, その SPAC 係数の評価に用いられた観測点の PSD も示されます. これにより, 読み間違いや不自然なゼロクロス点, 機械による震動(モノトニックなピーク)等を洗い出すことができるかもしれません.

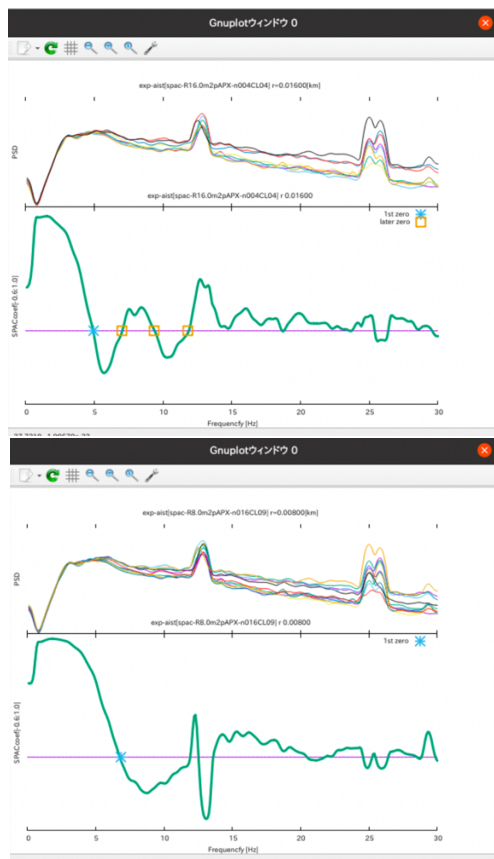
例えば, 以下のスナップショットで, 上パネルの PSD には 12.5 Hz, 25 Hz 周辺にモノトニックなピークが見られます. それに対応して, 下パネルの SPAC 係数も不自然なパルス状になっています. 自動読み取りではこれらのピークに関連するゼロクロス点を後続のゼロクロス点として読んでしまっています.



そこで, 目視読み取りによってこれらの読み取り点を削除します.



このような作業を繰り返しつつ、ゼロクロス点が系統的に変化するように読み取りを進めると概ねうまくいくのではないかと思います。



Cho, I. 2023, Spatial autocorrelation method for a simple microtremor array survey at a rock/stiff-soil site, *J. Geophys. Int.*, in press.