

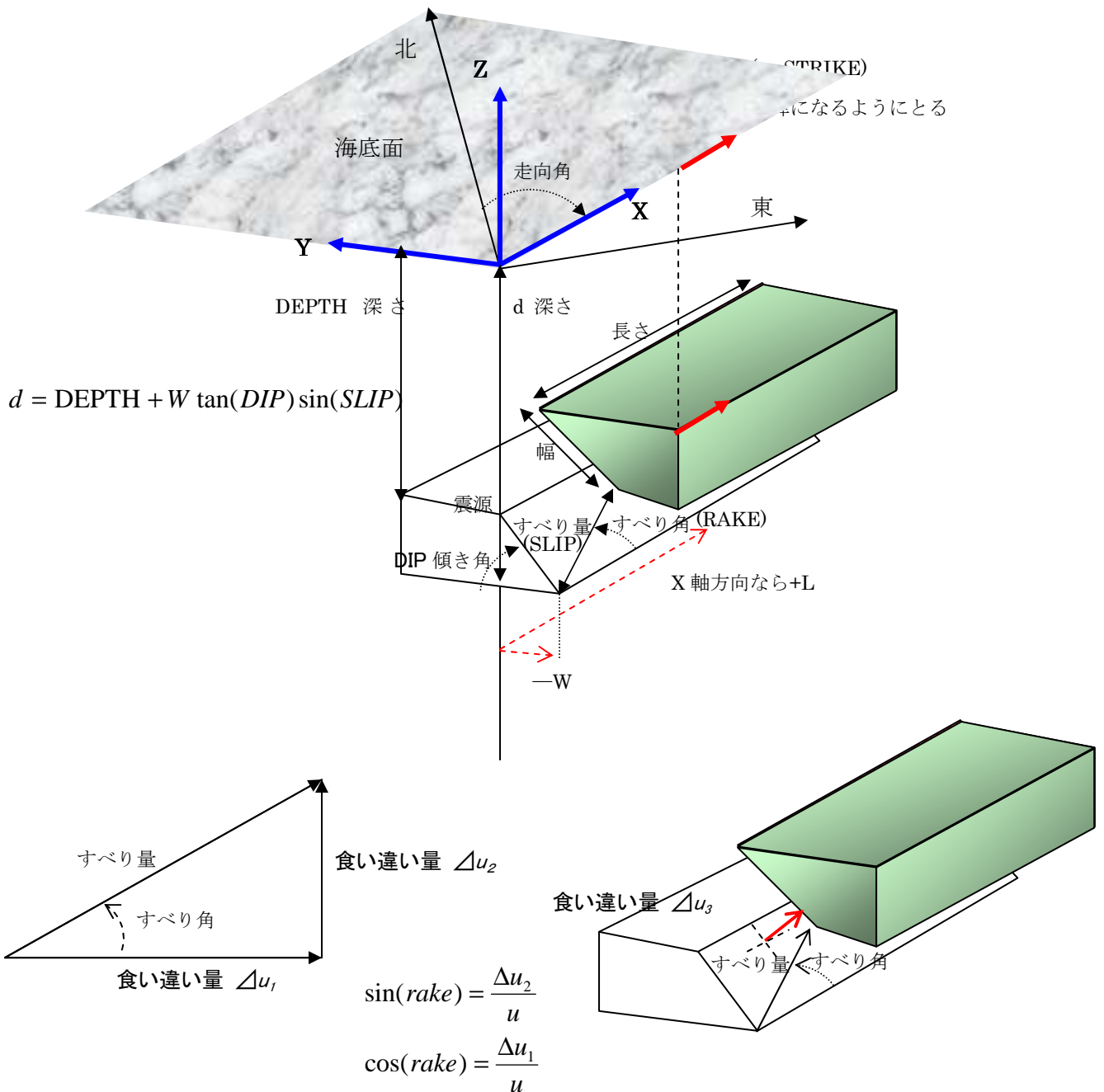
## 断層破壊による地盤変移計算

初期波源の作成 .....	2
初期波源作成ツールの使用方法 .....	3
起動方法 .....	3
計算パラメータファイル .....	5
初期波源の作成 2 .....	9
使用するソフトウェア .....	9
MICAP-G による初期波源の作成手順 .....	10

## 初期波源の作成

初期波源は海底地盤の隆起や陥没による海水全体の動きによる初期の波でシミュレーション（流体方程式）の初期条件となる。断層破壊による海底での地殻変動は数十秒程度の短時間の変位のためその上の海水の横方向拡散は殆ど無視でき海底地殻の鉛直変位がそのまま初期の波に変わる。そのため断層破壊による地盤変位量の鉛直方向の変位量を求めることが初期波源を求めることと同じになる。

断層を決定する各種パラメータ「断層パラメータ」



## 初期波源作成ツールの使用方法

### 起動方法

faultDefromationSolv **計算パラメータファイル**

計算が終わると

dx\_distance.txt

Initial\_wave\_data2.csv

faultLines.bmp

FaultParameters.bmp

Initial\_wave\_data2.bmp

を生成します。

複数の断層が時間差で動く場合は上記に加えて

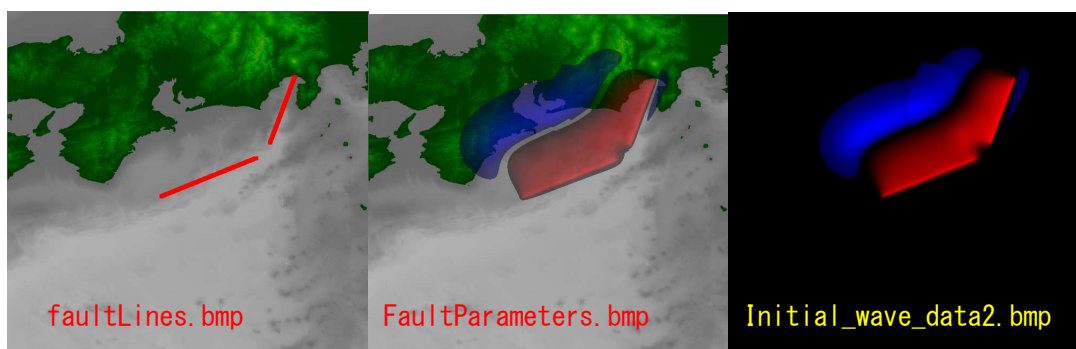
Initial\_wave\_data3.csv 等のファイルが生成されます。

シミュレーションに必要なファイルは赤枠のファイルだけです。

### 安政東海地震の地震断層パラメーター

北緯	東経	深さ	走向	傾斜角	すべり角	長さ	幅	すべり $U$	地震モーメント $M_0 / 10^{21} \text{N} \cdot \text{m}$	$M_w$
33.90°	138.13°	3km	245°	24°	113°	150km	100km	4.0m	3.0	8.3
35.14°	138.73°	2km	198°	34°	71°	115km	70km	4.0m	1.6	8.1

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%AE%89%E6%94%BF%E6%9D%B1%E6%B5%B7%E5%9C%B0%E9%9C%87>



### 環境変数

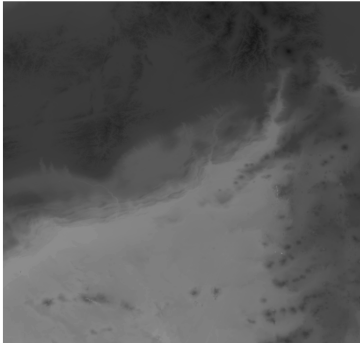
**XY\_DISPLACEMENT**=水平方向変位の影響

考慮する場合 0 以外、考慮しない場合は 0（デフォルトでは 0）

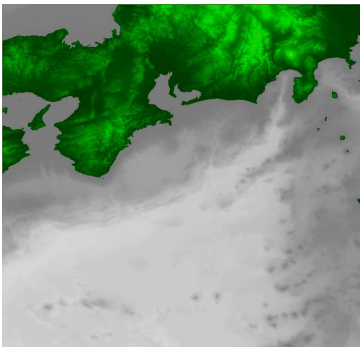
入力ファイル（ファイル名は固定です。かならず記載のファイル名で24bitのビットマップ画像である事が前提です）※必須ではありません。

**水深データ water\_depth\_data.bmp**

グレースケール（0～255）黒から 255（白）が最も深い  
グレースケール RGB 成分が全て同じ値



**表示用テクスチャ topography\_data\_mask.bmp**



上記の画像ファイルは計算結果を表示するためだけに使われます。なので正確である必要はありません。

## 計算パラメータファイル

単位は MKS 単位系を使用。計算パラメータのフォーマットは

### キーワード

パラメータ値

改行

の繰り返しで構成される。利用可能なパラメータは以下のとおり。画像の階調が 0~255 のため適切に補間されるように設定する必要がある。**最低限必要な設定項目**。

※ 具体的な数値等が記載されている箇所は参考例である。

### ID

任意の文字列（ファイル名として使える文字に限る）

### DX

水平方向メッシュ単位長

### DY

垂直方向メッシュ単位長

### LON

経度データ 1

経度データ 2

経度データ 3

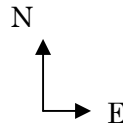
経度データ 4

1

2

3

4



※ 断層計算で使用される（津波シミュレーションでは参照されない）

※ 経度データは **度,分,秒** という形式で指定します

### LAT

緯度データ 1

緯度データ 2

緯度データ 3

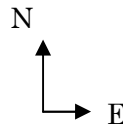
緯度データ 4

1

2

3

4



※ 区画内は双線形補間で値が想定される。コリオリ効果を考慮する場合は省略しない。

※ 緯度データは **度,分,秒** という形式で指定します

## XY\_DISPLACEMENT

水平方向変位の影響

考慮する場合 0 以外、考慮しない場合は 0（デフォルトでは 0）**FAULT\_PARAMETERS** の直前の設定が反映される（モジュール）。環境変数で指定した場合は全ての **FAULT\_PARAMETERS** に反映される。

**FAULT\_PARAMETERS** または

**FAULT\_PARAMETERS T 時間差** または

**FAULT\_PARAMETERS T 時間差 S 時間**

経度

緯度

断層長さ

走向

幅

深さ(上端)

傾斜角

すべり角

すべり量

断層パラメータを設定する。(複数指定可能)

このパラメータは津波のシミュレーション計算では参照されない。

時間差は最初の断層変移を基準として何秒後に変移が始まるかを指定する。シミュレーションは最初の断層変移から始まるため T0 または T 指定無しの断層が一つ以上ある事が必要。

※T を省略すると 0 秒の指定として扱われる。

※S を省略すると **RISETIME (ライズタイム)** が適用される。

時間差を指定した場合は以下のファイルが生成されます。

**Initial\_wave\_data2.csv**

**Initial\_wave\_data3\_0.csv**

**Initial\_wave\_data3\_N<sub>1</sub>.csv**

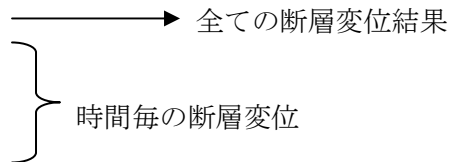
...

**Initial\_wave\_data3\_N<sub>m</sub>.csv**

基準水面 (0m) との差 (±値) N<sub>1</sub>~N<sub>m</sub> は変位開始時刻で小数点以下 3 桁までが可能。断層の変位時間も考慮する場合は

**Initial\_wave\_data3\_N<sub>m</sub>S<sub>k</sub>.csv** のように出来る。S<sub>1</sub>~S<sub>k</sub> は変位時間。

津波シミュレーションで断層変位に時間差がある場合はこれらの全てのファイルが必須です。



地震モーメント ( $\mu$  : 岩盤の剛性率、D:すべり量、S:断層総面積)

$$M_0[\text{N} \cdot \text{m}] = \mu DS$$

$$\mu = 4.10 \times 10^{10} [\text{N/m}^2] = 41 [\text{GPa}]$$

モーメントマグニチュード

$$\log_{10} M_0 = 1.5 M_w + 9.1$$

マグニチュード

$$M_w = 0.88 M + 0.54$$

半無限弾性体において任意の閉曲面  $\Sigma$  におけるくいちがい量  $\Delta u_j$  を与えることによる周辺の変位 Volterra の式を用いて Steketee(1958)は以下のとおりとした。

$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \delta_{jk} \lambda \frac{\partial u_i^{\ell}}{\partial \xi_{\ell}} + \mu \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] \nu_k dS$$

地盤はポアソン固体( $\lambda = \mu$  , ポアソン比=1/4)を仮定する。

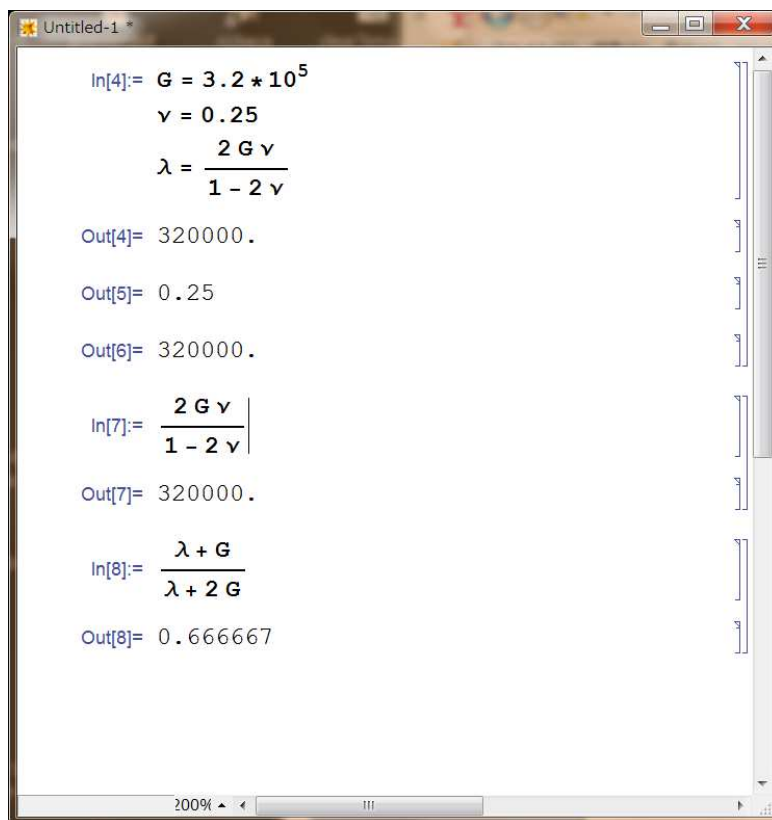
$\lambda$ はラメの第一定数

$\mu$ はラメの第二定数という。 $\mu$ は剛性率ともいい、 $G$ と表記される。

$\nu$  (ポアソン比) は 0.25,  $G$  (剛性率) は  $3.2 \times 10^5$  bar (32GPa)

$$\lambda \text{ (ラメの第一定数)} = \frac{2G\nu}{1 - 2\nu}$$

地盤はポアソン固体( $\lambda = \mu$  , ポアソン比=1/4)を仮定する。





## 初期波源の作成 2

気象研究所が公開しているツールでも波源を GUI で作成する事ができます。

初期波源作成ツール「faultDefromationSolv.exe」をした場合は以下の操作は不要です。

## 使用するソフトウェア

MICAP-G

<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/micapg.html>

okada(1992)によってまとめられた均質半無現弾性体内における矩形断層のくいちがいや点力源による地殻変動を計算を行う。

<ftp://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/pub/GPS/MICAP/>

gnuplot

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

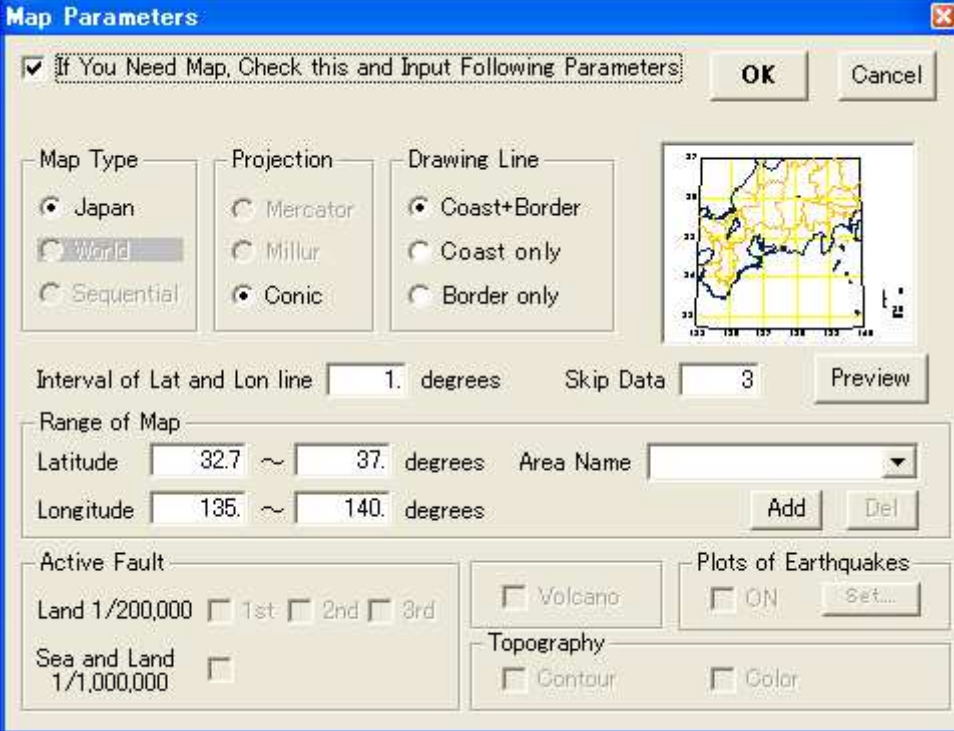
GIMP

<http://www.geocities.jp/gimproject2/download/gimp-download.html>

## MICAP-G による初期波源の作成手順

MICAP-G で断層パラメータを設定する

設定地域の設定

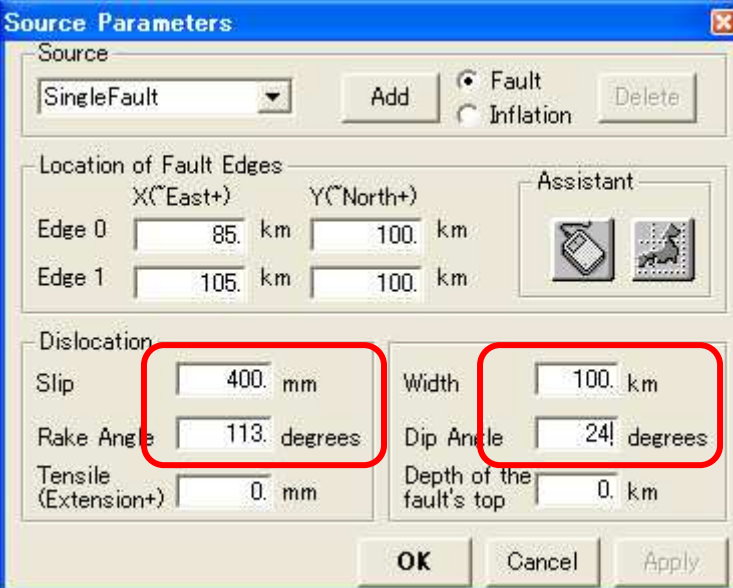


The 'Map Parameters' dialog box is shown with the following settings:

- ☒ If You Need Map, Check this and Input Following Parameters
- Map Type: ☒ Japan, ☐ World, ☐ Sequential
- Projection: ☐ Mercator, ☐ Millur, ☒ Conic
- Drawing Line: ☒ Coast+Border, ☐ Coast only, ☐ Border only
- Interval of Lat and Lon line: 1. degrees
- Skip Data: 3
- Range of Map: Latitude 32.7 ~ 37. degrees, Longitude 135. ~ 140. degrees
- Area Name: (empty)
- Active Fault: Land 1/200,000 ☐ 1st ☐ 2nd ☐ 3rd, Sea and Land 1/1,000,000 ☐
- Volcano: ☐
- Plots of Earthquakes: ☐ ON,
- Topography: ☐ Contour, ☐ Color

A preview map is shown on the right side of the dialog.

表示されている地図上でマウスで区画を設定して **Preview** で表示を更新しながら所定の地域を領域に設定する（マウス右ボタンを押しながら矩形を作成する）



The 'Source Parameters' dialog box is shown with the following settings:

- Source: SingleFault (dropdown), ☒ Fault, ☐ Inflation,
- Location of Fault Edges:
  - Edge 0: X("East+") 85. km, Y("North+") 100. km
  - Edge 1: X("East+") 105. km, Y("North+") 100. km
- Dislocation:
  - Slip: 400. mm
  - Rake Angle: 113. degrees
  - Tensile (Extension+): 0. mm
  - Width: 100. km
  - Dip Angle: 24. degrees
  - Depth of the fault's top: 0. km

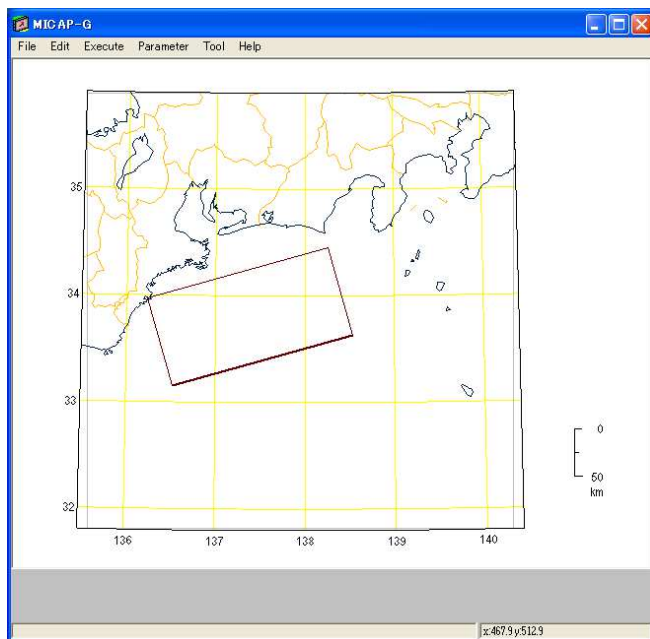
The 'Slip' and 'Width' fields are highlighted with red boxes.

# 安政東海地震の地震断層パラメーター

北緯	東経	深さ	走向	傾斜角	すべり角	長さ	幅	すべり $U$	地震モーメント $M_0 / 10^{21} \text{N} \cdot \text{m}$	$M_w$
33.90°	138.13°	3km	245°	24°	113°	150km	100km	4.0m	3.0	8.3
35.14°	138.73°	2km	198°	34°	71°	115km	70km	4.0m	1.6	8.1

断層の位置を設定するには Assistant を使うのが便利

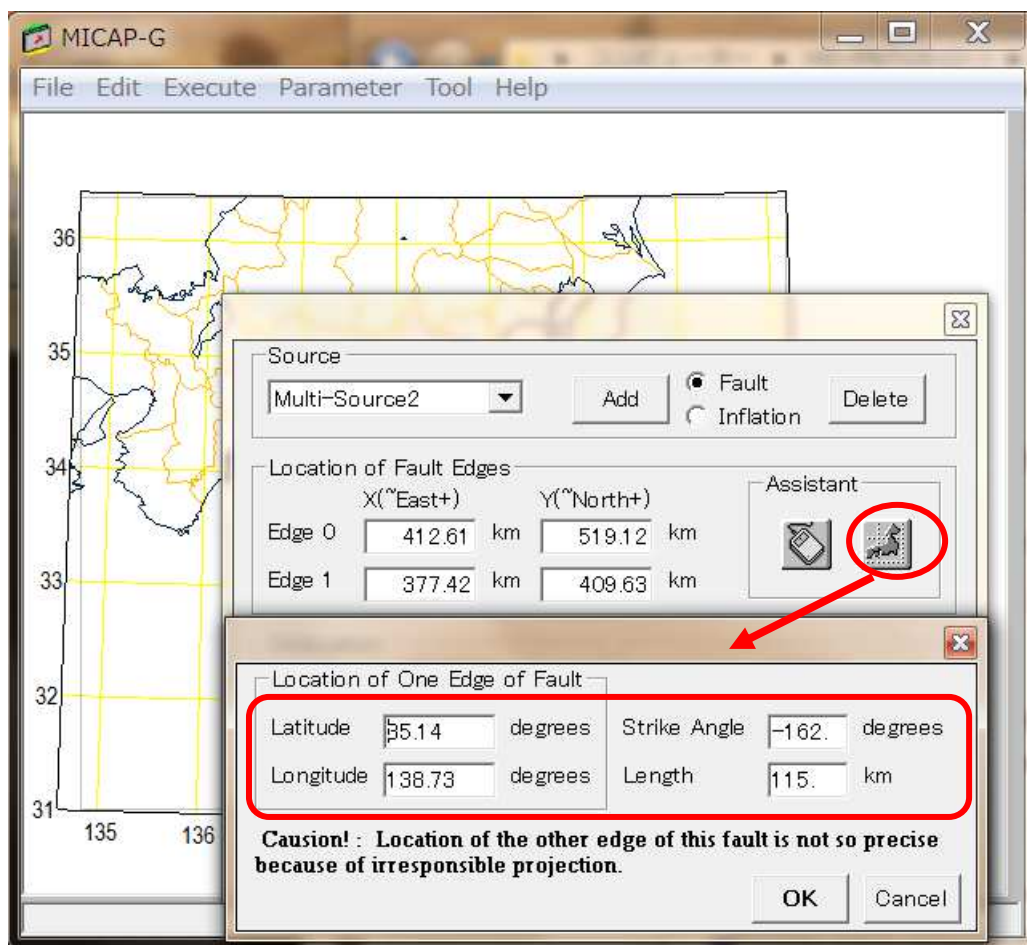
断層に沿った位置に線を引けばよい。



正確な断層を設定するには緯度、経度と断層長さと方向を設定する

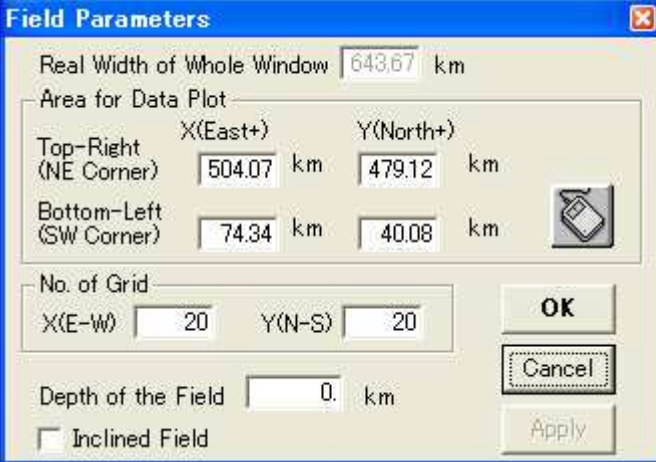
# 安政東海地震の地震断層パラメーター

北緯	東経	深さ	走向	傾斜角	すべり角	長さ	幅	すべり $U$	地震モーメント $M_0 / 10^{21} \text{N} \cdot \text{m}$	$M_w$
33.90°	138.13°	3km	245°	24°	113°	150km	100km	4.0m	3.0	8.3
35.14°	138.73°	2km	198°	34°	71°	115km	70km	4.0m	1.6	8.1



さらに断層を追加する場合は「Add」で上記と同様にパラメータを設定する。

計算領域の設定



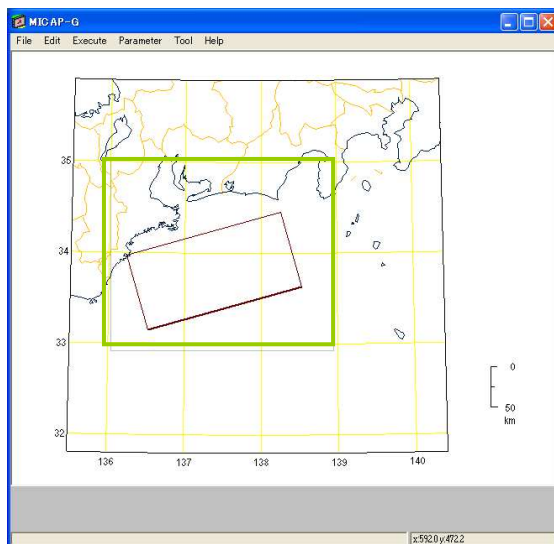
The 'Field Parameters' dialog box is shown with the following settings:

- Real Width of Whole Window: 643.67 km
- Area for Data Plot:
  - Top-Right (NE Corner): X(East+) 504.07 km, Y(North+) 479.12 km
  - Bottom-Left (SW Corner): X(East+) 74.34 km, Y(North+) 40.08 km
- No. of Grid:
  - X(E-W): 20
  - Y(N-S): 20
- Depth of the Field: 0 km
- ☐ Inclined Field

Buttons: OK, Cancel, Apply

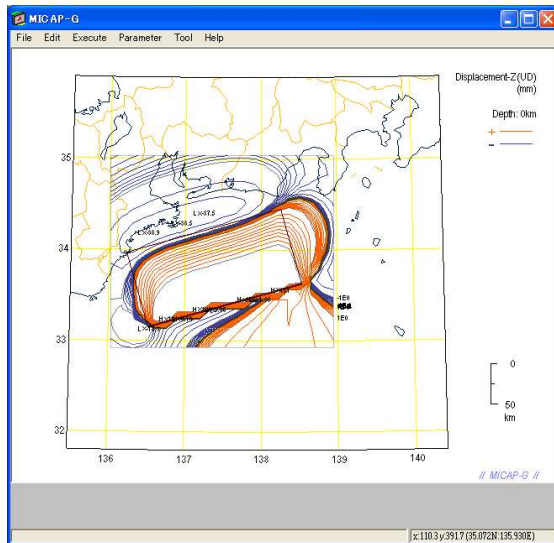
これも Assistant を使うのが便利

地図上でマウスで計算領域に設定する（マウス右ボタンを押しながら矩形を作成する）



津波計算に必要な初期波源を計算する

「Execute」→「Contur」→「Displacement-Z」



計算は 20x20 グリッドで計算されるのでこれを精度良く設定する。

この結果をファイルの出力する。

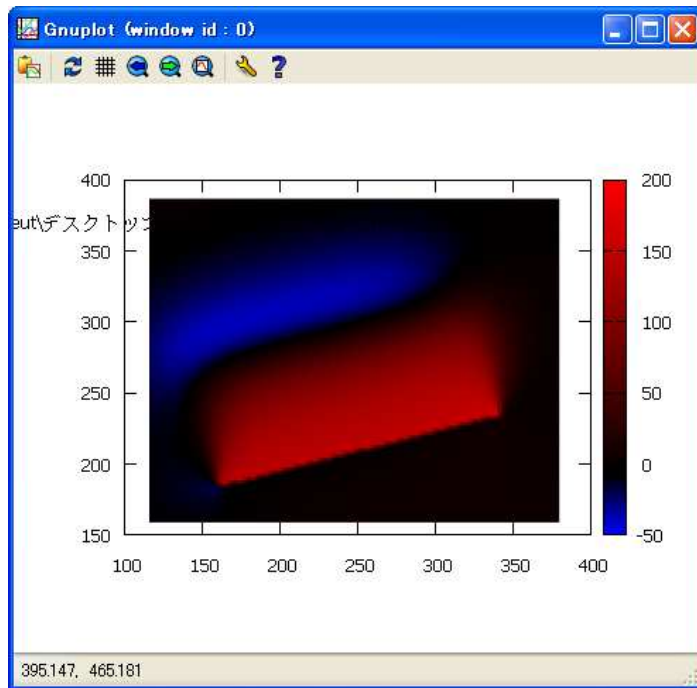
「File」→「Store Strains」

出力ファイルの 1 カラム、2 カラムが X,Y 座標、3, 4, 5 カラムが (X,Y,Z) 変移量なので 1, 2, 5 カラム目だけを抽出する。

1	1.162E+02	1.63E+02	-4.32E+00	1.107E+00	-8.029E+00	-8.45E-02	9.892E
2	1.162E+02	1.613E+02	-4.388E+00	7.491E-01	-8.25E+00	-9.297E-02	8.831E
3	1.162E+02	1.636E+02	-4.435E+00	3.755E-01	-8.466E+00	-1.018E-01	7.653E
4	1.162E+02	1.658E+02	-4.456E+00	-1.284E-02	-8.676E+00	-1.109E-01	6.357E
5	1.162E+02	1.681E+02	-4.445E+00	-4.153E-01	-8.878E+00	-1.199E-01	4.948E
6	1.162E+02	1.704E+02	-4.393E+00	-8.314E-01	-9.066E+00	-1.285E-01	3.427E
7	1.162E+02	1.727E+02	-4.293E+00	-1.261E+00	-9.242E+00	-1.362E-01	1.799E
8	1.162E+02	1.749E+02	-4.136E+00	-1.703E+00	-9.402E+00	-1.425E-01	6.644E
9	1.162E+02	1.772E+02	-3.911E+00	-2.158E+00	-9.544E+00	-1.488E-01	-1.77E
0	1.162E+02	1.795E+02	-3.61E+00	-2.627E+00	-9.667E+00	-1.485E-01	-3.715E
1	1.162E+02	1.818E+02	-3.222E+00	-3.112E+00	-9.768E+00	-1.469E-01	-5.773E
2	1.162E+02	1.84E+02	-2.739E+00	-3.613E+00	-9.847E+00	-1.413E-01	-7.958E
3	1.162E+02	1.863E+02	-2.151E+00	-4.133E+00	-9.905E+00	-1.313E-01	-1.028E
4	1.162E+02	1.886E+02	-1.452E+00	-4.674E+00	-9.941E+00	-1.163E-01	-1.278E
5	1.162E+02	1.909E+02	-6.349E-01	-5.24E+00	-9.958E+00	-9.597E-02	-1.545E
6	1.162E+02	1.932E+02	3.041E-01	-5.833E+00	-9.957E+00	-7.018E-02	-1.834E
7	1.162E+02	1.954E+02	1.367E+00	-6.457E+00	-9.942E+00	-3.894E-02	-2.145E
8	1.162E+02	1.977E+02	2.558E+00	-7.115E+00	-9.918E+00	-2.435E-03	-2.482E
9	1.162E+02	2.E+02	3.867E+00	-7.809E+00	-9.885E+00	3.895E-02	-2.844E

```
set contour base
unset surface
set pm3d
set pm3d map
unset contour
set palette defined (-500 "blue",0 "black",2500 "red")

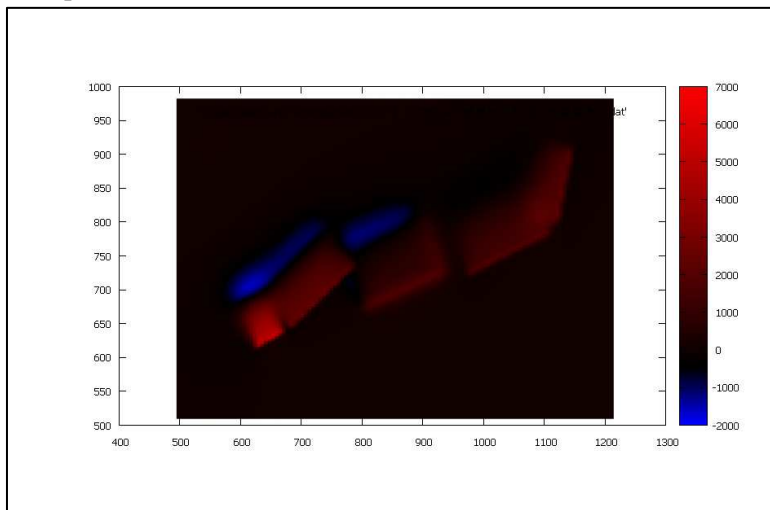
splot 'データファイル名.dat'
```



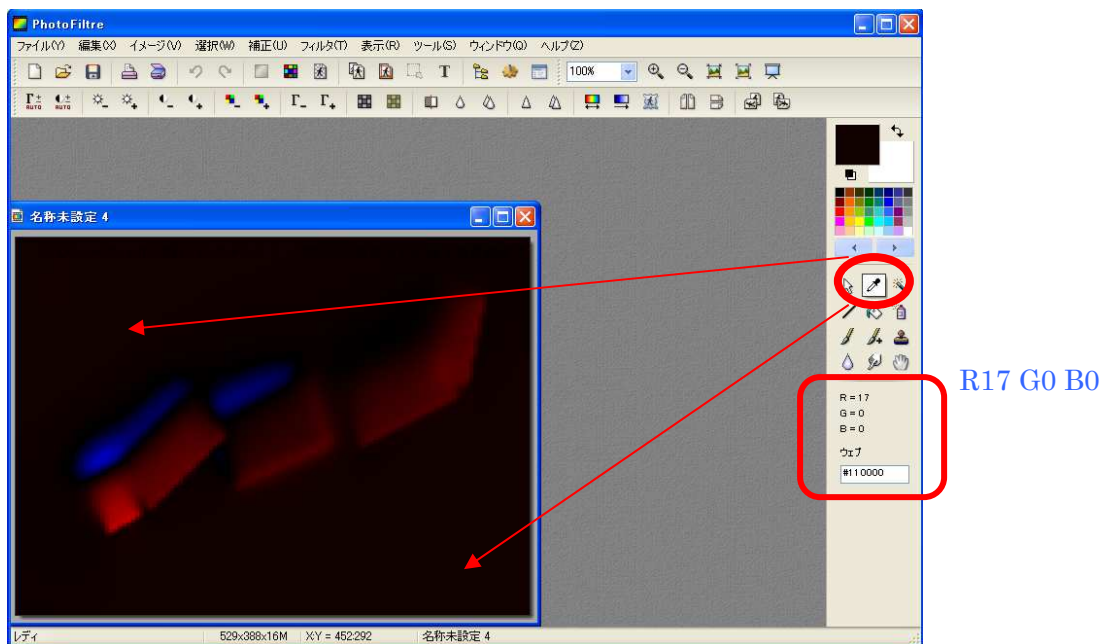
これで波源データが作成できる。

初期波源作成ツール「faultDefromationSolv.exe」で計算した場合は以下の操作は不要です。  
faultDefromationSolv.exe の 出 力 ファ イ ル 「 Initial\_wave\_data2.bmp 」 を  
「Initial\_wave\_data.bmp」に変更するだけです。但し、位置合わせが必要な場合は以下で  
説明する位置合わせの方法で調整する事もできます。

Gnuplot で作成したデータの不要な箇所を削除



必要に応じて PhotoFilter で背景ノイズを削除する。例えば上記の例で切り出したデータは  
RGB を見てみると R17 G0 B0 になっている

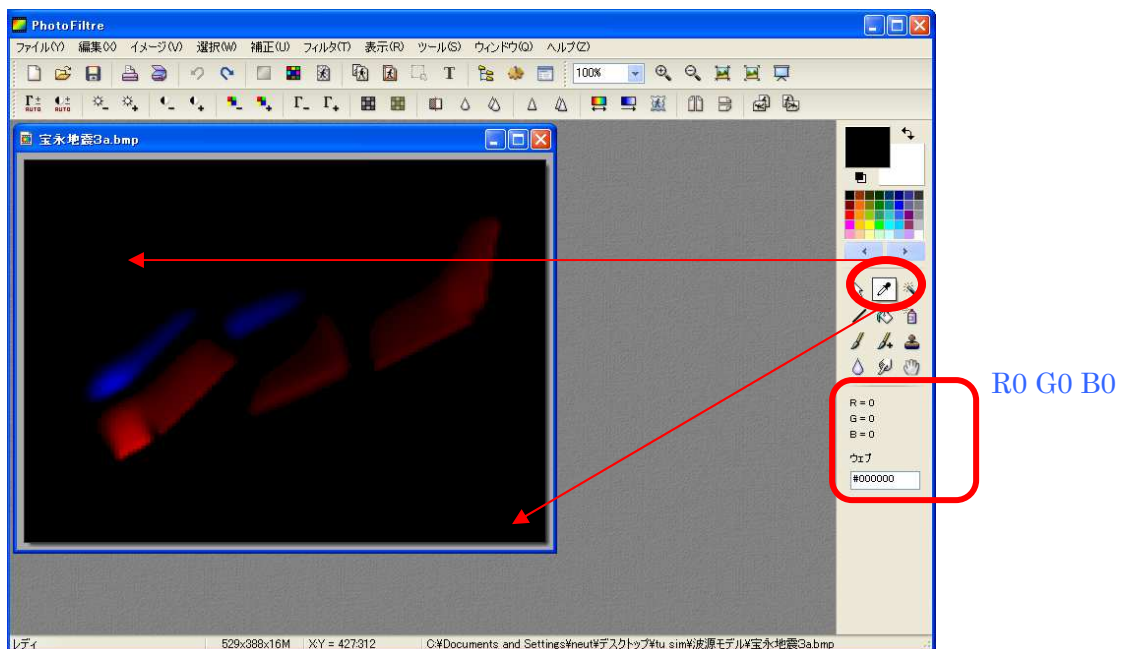


これらが残っていると初期波の形状に反映されて画像の矩形がくっきりと波形となってしまう。そのためにこの余分なデータを除去する必要がある。



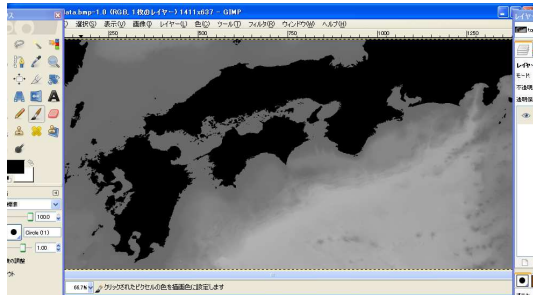


塗りつぶし色を黒(R0 G0 B0)に選択して許容値を適切に設定して編集する。

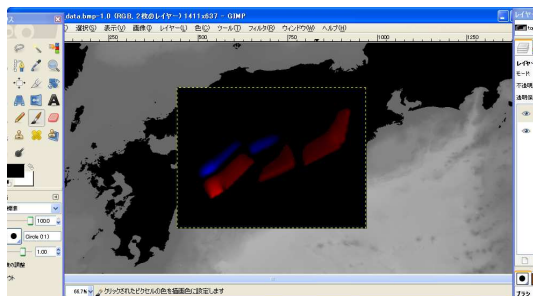


許容値を大きくしすぎると必要な波源も削除されてしまうのでトライ＆エラーで実施する。  
次に GIMP を使用して作成した波源を地形に合わせて所定の位置に設定する。

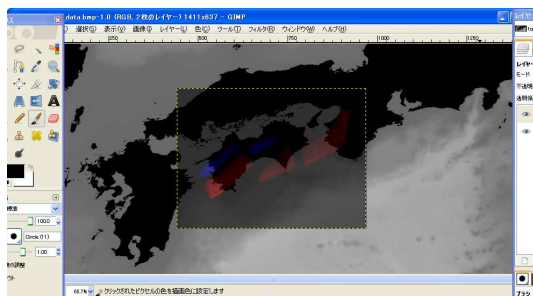
GIMP を起動して海底地形データ「topography\_data.bmp」を取り込む。



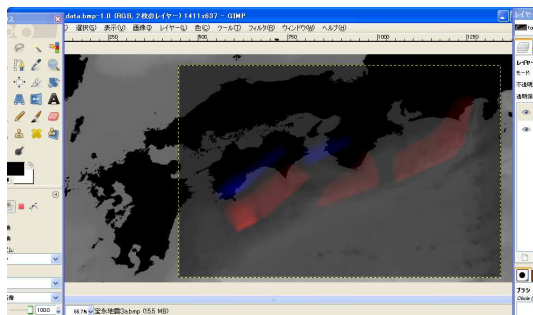
次に先ほど作成した波源データを取り込む。これで二つのレイヤーが作成される。



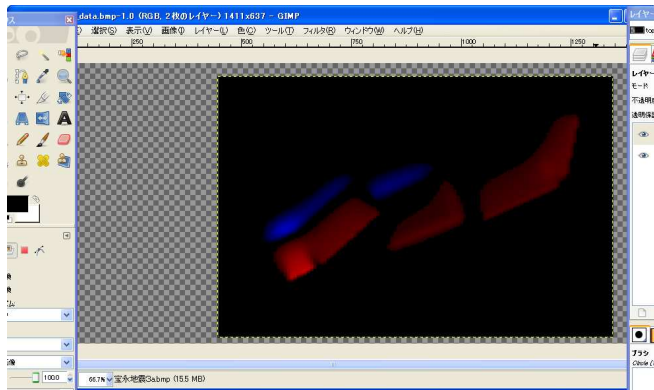
次に波源データを半透明にする。



これで地形が透けて見えるので位置あわせがやりやすくなる。位置あわせは「ツールボックス」を使用して移動、拡大縮小、回転を行って下の地形に合わせる。



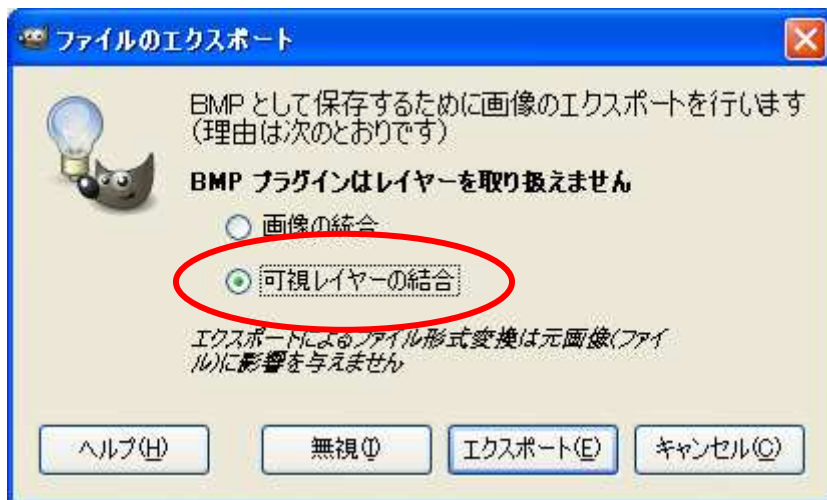
位置あわせが出来たら海底地形を完全な透明にして波源データの透過を無くす。



これで波源データの作成は殆ど終了。画像の保存方法にも若干の注意すべき点がある。  
「名前を付けて保存」で画像の名前を「Initial\_wave\_data.bmp」に変更する。



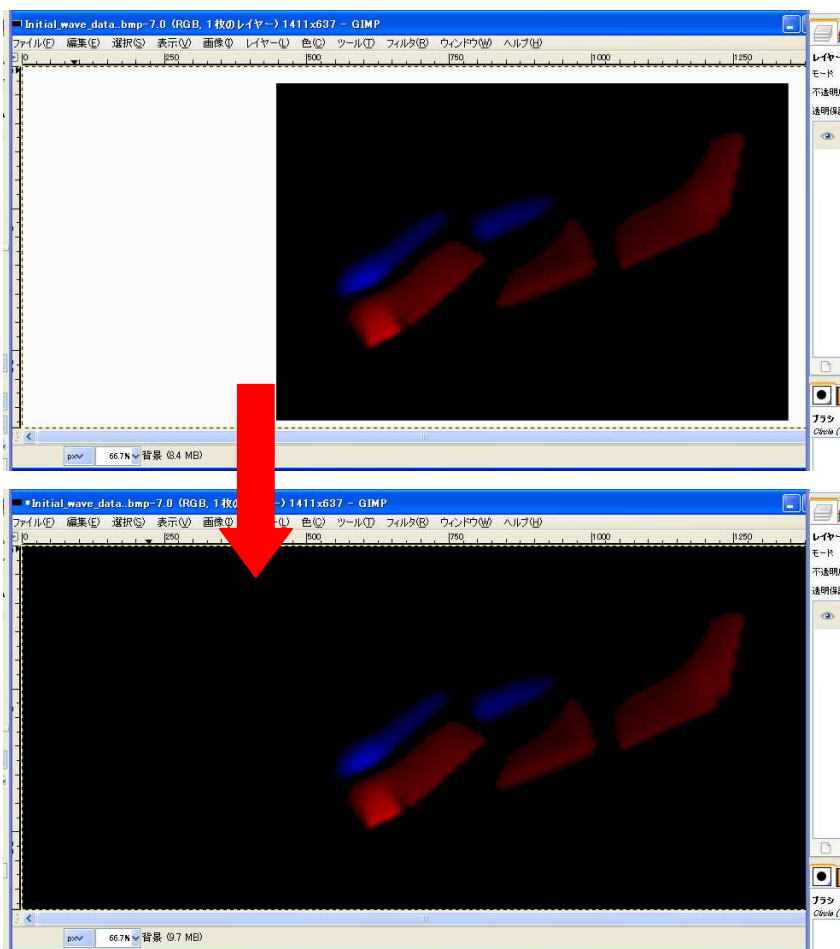
「保存」ボタンを押して「ファイルエクスポート」ダイアログが出るので「可視レイヤーの結合」を選択する。



これで海底地形データと同じサイズで保存される事になる。次に画像形式を24ビットにして $\alpha$ 値を除去する。



これでほぼ波源データの作成は完了だが余白を黒にする必要があるので保存したデータを再度 GIMP に取り込んで



完成。