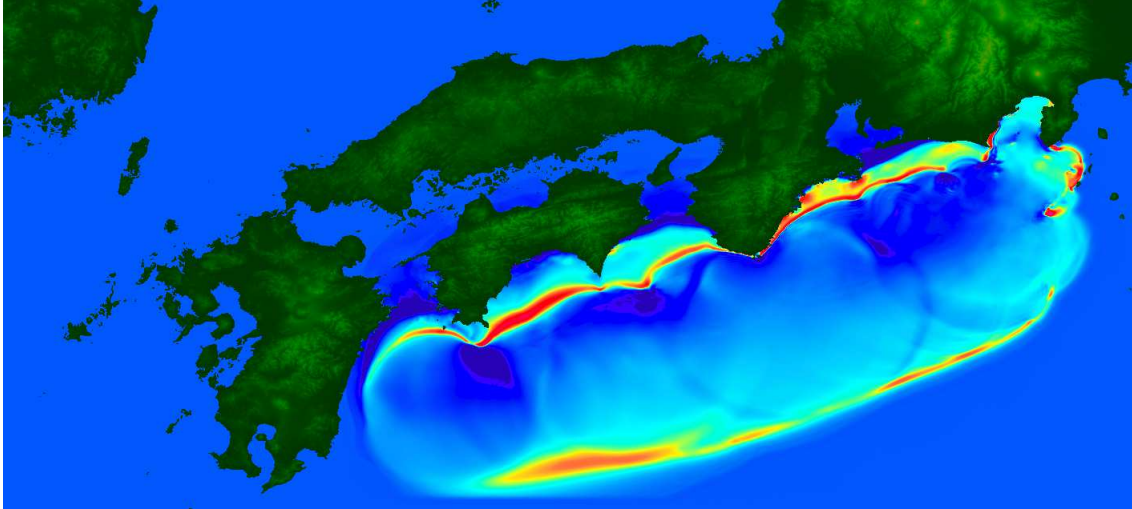


# 津波シミュレータ

津波・高潮・河川の(遡上)伝播シミュレーション



|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 出来ること .....                          | 3  |
| 起動方法 .....                           | 3  |
| 単位系 .....                            | 3  |
| 環境変数 .....                           | 4  |
| ●初期波源データ .....                       | 8  |
| ●地形データ .....                         | 8  |
| ●陸地フラグ .....                         | 8  |
| ●表示用テクスチャ .....                      | 9  |
| ●摩擦係数データ .....                       | 9  |
| ●緯度データ .....                         | 10 |
| ●波形の断面出力用 .....                      | 11 |
| ●波高さ出力 .....                         | 11 |
| 計算パラメータファイル .....                    | 12 |
| 時間の考え方 .....                         | 31 |
| 低気圧（台風）の設定 .....                     | 32 |
| 護岸・堤防判定時の計算 .....                    | 33 |
| 津波高と人的被害予測式 .....                    | 34 |
| 建造物およびその他の損害予測 .....                 | 36 |
| 建造物の流出 .....                         | 36 |
| 瓦礫の発生量の予測 .....                      | 37 |
| 瓦礫処分に関わる経済損失予測 .....                 | 37 |
| 津波堆積物量の予測 .....                      | 37 |
| 計算の安定化と地形修正 .....                    | 38 |
| 数値発散の例 .....                         | 40 |
| ■数値振動や数値発散（異常に高い波高となる結果）を起こす場合 ..... | 41 |
| 出力結果 .....                           | 42 |
| 可視化 .....                            | 45 |
| 2D 表示 .....                          | 45 |
| 起動方法 .....                           | 45 |
| 3D 表示 .....                          | 46 |
| 起動方法 .....                           | 46 |

## 出来ること

初期波源から津波、低気圧による高潮、河川の伝播、氾濫を計算します。またその計算結果をリアルタイムに2DコンタCGで表示します。この2DコンタCGは計算の後で何度でも見る事が出来ます。

計算パラメータの指定で津波遡上計算や3DCGが可能です。3DCGはWaveFrontのOBJ形式で出力されるので他の3Dソフトに取り込む事も可能です。

※OBJ形式で出力は本システムでは拡張したフォーマットで出力しているため若干の修正が必要です。

河川氾濫については別紙「河川氾濫解析」を参照下さい。

## 起動方法

**tsu.exe**   **計算パラメータファイル**

計算には計算パラメータファイルと計算に必要な入力ファイルが必要です。計算パラメータは計算を行うために必要な条件等を記載したテキストファイルで入力ファイルは津波シミュレーションに必要な地形条件のファイル等です。

## 単位系

単位系は特に断りがない限り「MKS単位系」です。

## **環境変数**

### **RUNUP**

計算パラメータファイルに遡上計算する RUNUP の指定が無くても環境変数[RUNUP]の値が 1 に指定されている場合は環境変数の遡上計算が有効になります。0 を指定すると遡上計算は無効になります。

### **WAVE\_SCALE\_COEF**

環境変数「WAVE\_SCALE\_COEF」に値を指定して実行すると出力の波高をデフォルトの倍率に指定した倍率を掛けた高さに強調されます。ただし、これは OBJ ファイル出力結果にしか影響しません。

### **WAVE\_SCALE**

環境変数「WAVE\_SCALE」に値を指定して実行すると出力の波高を指定した倍率に強調されます。ただし、これは OBJ ファイル出力結果にしか影響しません。0 以下の値を設定した場合は海域のスケールと一致する値に設定されます。

### **ELV\_SCALE**

環境変数「ELV\_SCALE」に値を指定して実行すると出力の陸地標高を指定した倍率に強調されます。ただし、これは OBJ ファイル出力結果にしか影響しません。0 以下の値を設定した場合は 6.0 に設定されます。

### **DEPTH\_SCALE**

環境変数「ELV\_SCALE」に値を指定して実行すると出力の水域水深を指定した倍率に強調されます。ただし、これは OBJ ファイル出力結果にしか影響しません。0 以下の値を設定した場合は 6.0 に設定されます。

### **MIN\_DEPTH**

環境変数「MIN\_DEPTH」に値を指定して実行すると指定した値が最低水深になるように地形を修正する。水深は基準水深 0m から深海へ向かう方向を+とする。

### **CRUSTAL**

環境変数「CRUSTAL」に 0 以外を指定して実行すると津波シミュレーション時の地殻変動変位を出力する。

### **BATHEMETRY\_SMOOTH**

環境変数「BATHEMETRY\_SMOOTH」に値を設定すると陸地近傍（10 格子）の水域をラプラシアン平滑化を行います。数値発散が起きる場合は有効な設定です。

### **KML\_EXPORT**

環境変数「KML\_EXPORT」に 0 以外を指定して実行すると津波シミュレーションの結果を「google\_earth」フォルダに出力します。

### **CHACKER\_BORD\_DEBUG**

環境変数「CHACKER\_BORD\_DEBUG」に 0 以外を指定して実行するとレギュラー格子に特有のチェッカーボード不安定を認識した結果を image に出力します。この場合はチェッカーボード不安定除去は行いません。デバック用の設定のため使用しないで下さい。

### **DAMAGE\_ESTIMATION**

環境変数「DAMAGE\_ESTIMATION」に 0 を指定して実行すると被害想定計算および出力を行いません。その分計算速度が向上します。

### **GLOBAL\_SCALE**

環境変数「GLOBAL\_SCALE」に値を指定して実行すると 3D データをしてしたスケールで拡大または縮小して出力します。

### **OBJ\_STANDERD**

環境変数「OBJ\_STANDERD」に 0 以外を指定して実行すると標準の OBJ 形式として出力します。(ただし、付属の Viewer (TSUNAMI3Dviwer) では表示できなくなります)。

### **OBJ\_NORMALIZE**

環境変数「OBJ\_NORMALIZE」に 0 以外を指定して実行すると 3D データの重心を原点とする 5x5x5 の BOX 内に収まるようにデータサイズを変更します。

### **OBJ\_MATERIAL\_E**

### **OBJ\_MATERIAL\_D**

### **OBJ\_MATERIAL\_W**

環境変数に 0 を指定して実行すると 3D データの色属性を付加しません。

OBJ\_MATERIAL\_E が標高データ (地形データ)

OBJ\_MATERIAL\_D が水深データ (海底地形データ)

OBJ\_MATERIAL\_W が水面データに対応します

### **DEPTH\_DOWN**

表示上、海底露出しないはずなのに海底露出してしまう場合に海域データを下げる事が出来ます。下げる値を設定します (デフォルトでは 2300m)

この設定値は計算には影響を与えません。

**EXCLUSION\_RANGE\_MIN**

計算した値と痕跡値が指定値倍未満の痕跡値は除外する。(デフォルトでは-1)

**EXCLUSION\_RANGE\_MAX**

計算した値と痕跡値が指定値倍以上の痕跡値は除外する。(デフォルトでは-1)

EXCLUSION\_RANGE\_MIN、EXCLUSION\_RANGE\_MAX のどちらか一方が-1 の場合はこの除外操作は行われません。

**WINDVECTOR\_PLOT**

0 以外が設定されると 2D コンタプロットで風速ベクトルを表示します。ただし、高潮計算の時に限ります。

**VECTOR\_PLOT**

0 以外が設定されると 2D コンタプロットで流量ベクトルを表示します。

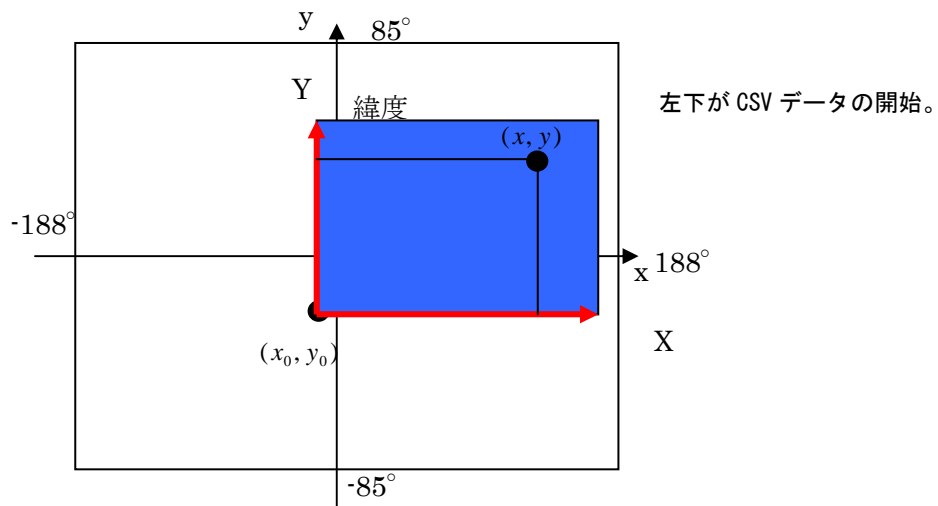
**MANNING\_WATAREA**

マニング係数(0.025)データのスケール係数因子で水域のみに影響する。計算パラメータ「[MANNINIG](#)」を参照の事。環境変数の値が優先されます。

### 入力データのフォーマット

CSV 形式（縦一定、横一定の長方形の区画）※ (WGS84 ellipsoid)

CSV のデータは長方形の区画の格子点の値（標高、水深、波高等）



ただし、領域の（デフォルトでは）20格子分のエリアは吸収領域として使われます。これは実際には存在しない境界（格子が無いだけで実際には領域の外側にも世界がある）人口境界で非現実な反射を防ぐための無反射境界として Crejan (1985) によるスポンジ領域を設定している。従って20格子分のエリア内に初期波源の一部または全部が存在しないように注意する。

各データのファイル名は以下のように決められています。

## ●初期波源データ

**Initial\_wave\_dataUp.csv**  
基準水面（0m）から上方の高さ（+値）

**Initial\_wave\_dataDown.csv**  
基準水面（0m）から下方の高さ（+値）

または

Initial\_wave\_data2.csv  
基準水面（0m）との差（±値）

または時間差で断層変位する場合は

Initial\_wave\_data2.csv → 全ての断層変位結果  
Initial\_wave\_data3\_0.csv  
Initial\_wave\_data3\_N<sub>i</sub>.csv  
... } 時間毎の断層変位  
Initial\_wave\_data3\_N<sub>r</sub>.csv  
基準水面 (0m) との差 (±値)

このファイルが存在する場合はこのデータを優先します。 $N_1 \sim N_m$ 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  $N_m$   $S_k$  .csv** のように出来る。 $S_1 \sim S_k$ は変位時間

## ●地形データ

水深データ water\_depth\_data2.csv  
基準水面 (0m) からの水深 (+値)  
標高データ elevation\_data2.csv  
基準水面 (0m) からの標高 (+値)

または

水深・標高データ water\_depth\_data3.csv  
基準水面（0m）からの標高と水深（±値）

このファイルが存在する場合はこのデータを優先します。

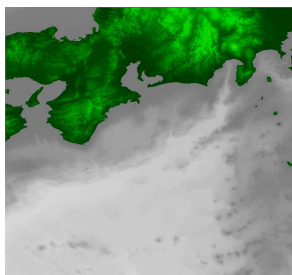
## ●陸地フラグ

**topography\_data.csv**  
0 が陸地、255 が海域を表す



### ●表示用テクスチャ

topography\_data\_mask. bmp



陸地に対してカラー等の任意の色や模様などが設定できます。2D コンタ表示に使われます。

topography\_data\_mask2. bmp



topography\_data\_mask2. bmp は topography\_data\_mask の陸域補足データで省略可能です。例えば topography\_data\_mask の陸域データを他の地図データに入れ替えたい場合に利用できます。例えば google map や google earth などから得たデータを使いたい場合です。

topography\_data\_mask2 では赤に近いデータは topography\_data\_mask で置き換えられます。また白はそのまま残す事が出来ます。google map 等の著作権表示を入れておきたい場合等に使う事が出来ます。

以下のデータは省略出来る。

### ●摩擦係数データ

manning\_data. csv

このファイルが無い場合はシミュレーション時に自動生成されます。

manning\_data. bmp がある場合は画像の濃淡を使い manning\_data. csv を生成します。

白=1 → 黒=0



パラメータ MANING で係数に変換します。

### ●緯度データ

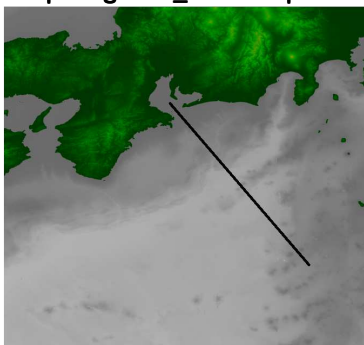
**latitude\_data.csv**

**dx\_distance.txt**

dx\_distance.txtは緯度によってX方向(東西方向)の距離が異なるための補正に使われる。  
縦格子数分の X 格子長さを1行毎に記述されたテキストファイル(低緯度から高緯度方向に記述)。

●波形の断面出力用

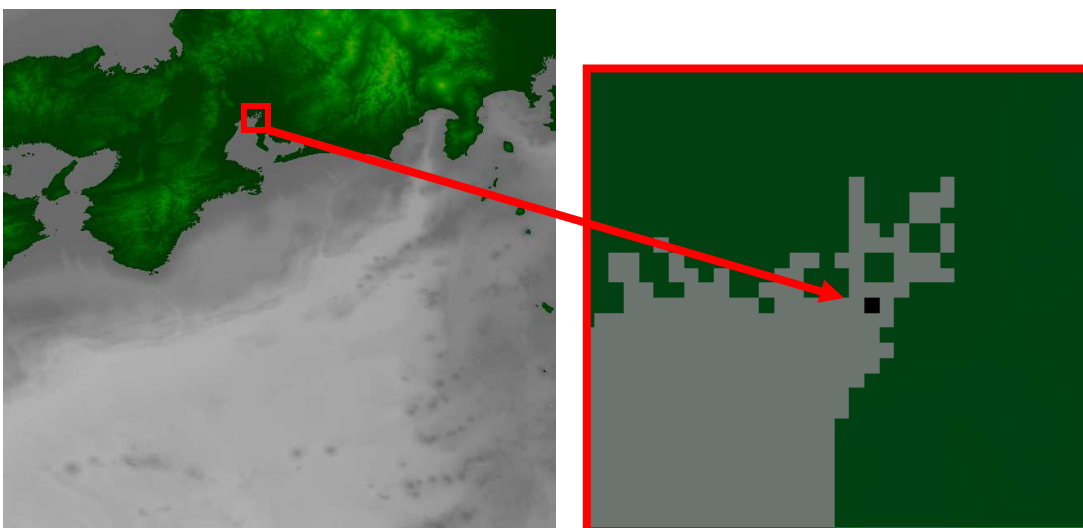
samplingLine\_data.bmp



RGB=(0, 0, 0) (黒) で引かれた線上の波形を出力する。画像を左から水平方向にスキャンして黒の箇所の1点の波高を抽出してそれをスキャンラインを1ピクセル毎に変更しながら波形を算出する。計算パラメータ「[SAMPLING](#)」で制御されます。省略可

●波高さ出力

samplingpoint\_data.bmp



RGB=(0, 0, 0) (黒) で打たれた1点上の波高を出力する。画像の黒の箇所の1点の波高を抽出してその位置の波高を算出する。計算パラメータ「[SAMPLING](#)」で制御されます。省略可

topography\_data\_edit.bmp

は地形修正データです。詳細は「地形修正」を参照下さい。

## 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。

河川氾濫解析におけるパラメータは「河川氾濫解析」を参照下さい。

### ID

任意の文字列（ファイル名として使える文字に限る）

### W\_SCALE

初期波源最高高さスケール係数

### TIME\_STEP

CFL (Courant FradricsLevy) 条件に対する係数 ( $0 < CFL < 1.0$ )

### SIM\_TIME

シミュレーション時間

### STOP

全体の最大波高

計算終了条件（全体の波高が指定値になった時に計算を終了する）

### DX

水平方向メッシュ単位長

注意事項：この値は「dx\_distance.txt」がある場合は利用されません。

参照：別紙、「断層破壊による地盤変移計算」初期波源作成ツール「faultDefromationSolv.exe」で断層計算をすると生成されます。なので断層計算しない場合はこのファイルが存在していると DX で指定した値の格子と見なされません。

### DY

垂直方向メッシュ単位長

## N

シミュレーションステップ数

※SIM\_TIME が優先します。

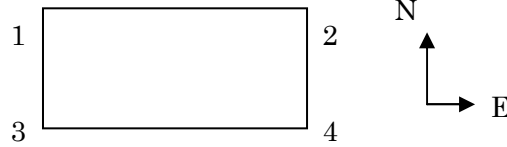
## LON

経度データ 1

経度データ 2

経度データ 3

経度データ 4



※ 断層計算で使用される（設定しない場合は津波シミュレーションでは参照されませんが設定されていると緯度による水平方向に補正が行われます。）

※ 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



※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。また津波シミュレーションでは設定されていると緯度による水平方向に補正が行われます。その場合はLONの設定も必要。）

※ 緯度データは **度,分,秒** という形式で指定します

## D

断層までの最短距離

※Dは計算前に津波高さを推定する計算を行うのに必要。シミュレーションでは参照しない。

## L

断層の長さ

※Lは計算前に津波高さを推定する計算を行うのに必要。シミュレーションでは参照しない。

## RISETIME

ライズタイム

※地殻変動時間。指定しない場合は10秒として計算する。

## MANNING

マンニング係数データのスケール係数 マンニング係数データのスケール係数 2

マンニング係数データのスケール係数 2は水域のみに影響する。水域のマンニング係数は  $0.025 \times \text{マンニング係数データのスケール係数} \times \text{マンニング係数データのスケール係数 2}$  になる。

この値は環境変数[MANNING\_WATAREA]で設定出来る。

※ マンニング係数データのスケール係数 2は省略できる。マンニング係数データのスケール係数 2を省略した場合は1.0である。

※1.0の時マンニング係数は0.025である。

## ABSOR

20, 0.015

グリッド数, 減衰パラメータ (20, 0.015 はデフォルト)

※吸収境界条件 Crejan(1985)

#### SMOOTH

*0.03 0.11 0.03*

*0.11 0.49 0.11*

*0.03 0.11 0.03*

*0*

出力結果の平滑化カーネル（3 x 3）最後の値が 0 無効、1 有効

## CORIOLIS

コリオリ効果を考慮するか（0：無視、1：考慮）※LATの設定が必要。

## SOLITON

ソリトン分裂を扱うか（0：無視、4：考慮）

## SOLVER

ソルバタイプ（1：線形波長理論 2：非線形波長理論 3：非線形分散波理論）

※0または省略時は非線形分散波長理論

コリオリ効果、ソリトン分裂は1では無視する。ソリトン分裂は1、2では無視する。

4を指定すると非線形分散波理論で Peregrine の式を使う。

SOLVER が 1 の時

線形長波方程式

※移流項と分散項、水平渦動粘性項が全て 0

SOLVER が 2 の時

非線形長波方程式

※分散項が全て 0

SOLVER が 3 の時、SOLITON が 3 の時

非線形分散波方程式

※分散項の水深勾配が全て 0

SOLVER が 3 の時、SOLITON が 4 の時

非線形分散波方程式

全ての項を評価する。

SOLVER が 4 の時、SOLITON が 3 の時

非線形長波方程式

※水平渦動粘性項を考慮

#### UPWINDOW

風上差分法精度（1：1次精度 3：3次精度）

移流項の評価に適用します。省略時は非線形分散波の時は3次精度それ以外は1次精度）

#### RUNUP

遡上シミュレーションを考慮するか（0：しない 1：する）

デフォルトでは「しない」

※陸地境界と基準水面に急激なギャップがあると数値計算で異常な波形振動が現れるなど計算が不安定になるためそのようなギャップが生じないようにする。

※環境変数[RUNUP]が1に指定されている場合は環境変数の設定が有効になる。

#### MIN\_DEPTH

最低水深

※海底の露出がないように、最低水深を設定する。陸側境界条件では完全反射条件を用いているため陸地に近い浅瀬では波の谷が水深より深くなる（非物理的）数値になって海底が露出してしまふ事がある。

#### REVETMENT

護岸、堤防と見なす段差

※デフォルトでは50cm。ただし、30cm未満は無視する。

#### SAMPLING

波形の断面を出力する時間

※0：出力しない

※時間：指定時刻の波形の断面を出力してシミュレーションを終了

「[●波形の断面出力用](#)」を参照

#### POINT\_SAMPLING

指定点の波高を出力するかどうか

※1：出力 0：出力しない。「[●波高さ出力](#)」を参照



## **FILTER\_ORDER**

次数

※lele の高次精度陽的差分フィルタで指定次数精度のスキームを適用します。

※Compact Finite Difference Schemes with Spectral-like Resolution SANJIVA K. LELE  
値は 6, 8, 10 のどれかです。これ以外の場合は 10 が適用されます。

## **FILTER\_CYCLE**

流量 波形 圧力振動

指定値は lele の高次精度陽的差分フィルタリングを計算の何回目毎に適用するかを指定します。  
流量は流量フラックスを全域にフィルタリングし、圧力振動は圧力振動だけをフィルタリングして除去します。波形フィルタリングは全域にフィルタリングを実施します。  
0 以下を指定するとデフォルト値を適用します。

## **RENDER\_Z\_SCALE**

レンダリング用データの波高のスケール (1.0)

## **RENDER\_STEP**

レンダリングの時間間隔

## **REALTIMEIMAGE**

※1: (デフォルト) 計算結果をリアルタイムに画像化する (image フォルダ)

※2: 計算結果を再出力する (全計算が終了した後に色の調整を行う)

## TIDE\_LEVEL

潮位補正量

CHKPOINT\_BEGIN~CHKPOINT\_ENDの評価でこの補正值で評価する。

## CHKPOINT\_BEGIN

地名

255 緑成分 青成分

信頼度 痕跡値

LON:経度 LAT:緯度

PTN:痕跡パターン

石巻市寄磯浜  
255 90 0  
A13.13

地名

255 緑成分 青成分

信頼度 痕跡値

LON:経度 LAT:緯度

PTN:痕跡パターン

## CHKPOINT\_END

CHKPOINT\_BEGIN~CHKPOINT\_ENDで指定した箇所をチェックして波高を出力して対数平均、対数標準偏差によるシミュレーションの適合度を評価する。色は画像「chkpoint\_data.bmp」の設定と対応する。LON:経度 LAT:緯度およびPTN:痕跡パターンは省略できます。

痕跡パターンの値

遡上高 = 1

浸水高 = 2

浸水深 = 3

不明 = 4

その他 = 999

不明のケースは浸水深として解釈する。

信頼度はA, B, C, D, , , アルファベット。地名の先頭が\*の場合は評価には採用しません。

| 判断基準        |   |           |  |
|-------------|---|-----------|--|
| 信<br>頼<br>度 | A | 信頼度大なるもの  | 痕跡明瞭にして、測量誤差最も小なるもの                                |
|             | B | 信頼度中なるもの  | 痕跡不明につき、聞き込みにより周囲の状況から信頼ある水位を知るもの。測量誤差小            |
|             | C | 信頼度小なるもの  | その他砂浜などで異常に波がはい上がったと思われるもの、あるいは測点が海辺より離れ測量誤差が大なるもの |
|             | D | 信頼度極小なるもの | 高潮、台風などの影響で痕跡が重複し、不明瞭なもの、など                        |

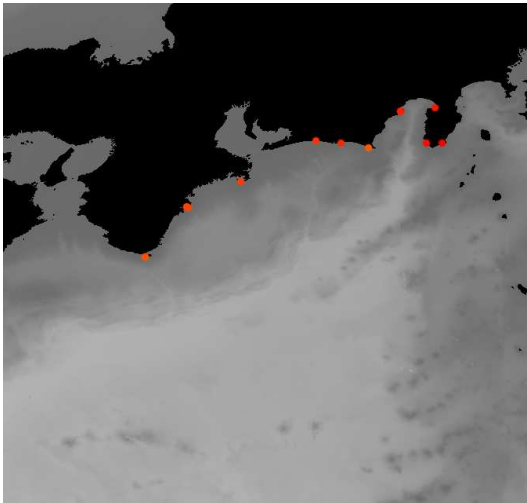
※ 首藤伸夫・卯花政孝（1995）

1994 年北海道東方沖地震津波の痕跡高、第 2 編調査資料、津波工学研究報告、第 12 号。

地名の先頭が\*の場合は参考値とする意味で相田指標の評価には参照されない。

@が付く場合は同一箇所に複数のデータがあり値のバラつきがある場合に付きます。

チェックポイント chkpoint\_data.bmp



マークした位置の波高をチェックする。チェックポイントはRGB=(255, x, y)の色で設定する(x及びyは0～254)。

CHKPOINT\_BEGIN~CHKPOINT\_END 次のように書くことで別ファイルにする事が出来ます。

CHKPOINT\_BEGIN

@チェックポイント定義ファイル名

CHKPOINT\_END

### チェックポイントファイルの中身は

LON:経度 LAT:緯度は省略できます。

CHKPOINT\_BEGIN

地名

255 緑成分 青成分

信頼度痕跡値

LON:経度 LAT:緯度

PTN:痕跡パターン

石巻市寄磯浜

255 90 0

A13.13

地名

255 緑成分 青成分

信頼度痕跡値

LON:経度 LAT:緯度

PTN:痕跡パターン

CHKPOINT\_END

#### AVERAGE\_DENSITY

1 メッシュ内の平均人口密度

※人的被害を算出します（遡上計算をする場合のときだけ有効になる）。

省略した場合は343とする。

#### HOUSE\_NUMBER\_RATE

1 メッシュ内の建造物率（人口に対する建造物数）デフォルトでは3.5（3.5人に1軒）

※建造物損害を算出します（遡上計算をする場合のときだけ有効になる）。

#### EXPORT\_OBJ

0：何もしない（デフォルト）

1：（デフォルト）計算結果を3次元のOBJ形式のファイルも出力する

#### CSV2OBJ

※0：何もしない（デフォルト）

※1：計算結果を3次元のOBJ形式に変換するだけの処理を行う

環境変数「WAVE\_SCALE」に値を指定して実行すると出力の波高をデフォルトの倍率に指定した倍率を掛けた高さに強調されます。

#### OBJSMOOTH

※0：3次元のOBJ形式をスムージングしない。

※1：3次元のOBJ形式にスムージング処理を行う（デフォルト）

**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

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。

~~※時間差は 10 秒を最小単位として処理される。~~

※ 経度データは **度,分,秒** という形式で指定します

※ 緯度データは **度,分,秒** という形式で指定します

## FLOWRES

### 係数

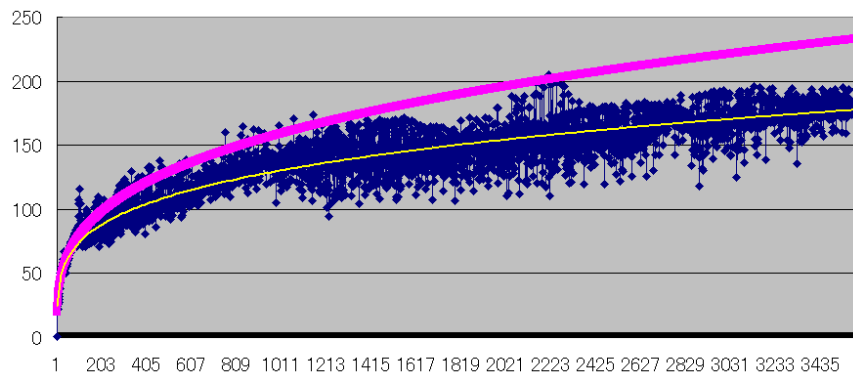
計算された流量を制限します。数値発散が起きる場合は有効な設定です。デフォルトでは 1 を係数として制限します。浅い水域で（特に非線形長波で計算した場合）に有効です。水深 50m 以下で移流項の分母がゼロに近い時に数値計算が破綻する可能性があるためこの制御があります。

## FLOWRES2

### 係数

計算された流量を制限します。数値発散が起きる場合は有効な設定です。デフォルトでは 100 を係数として制限します。**FLOWRES** との違いは流量の計算値が通常考えられるバンド内にあるかどうかでそれを超える場合は何らかの異常が合ったとみなして制限します。

流量と水深には概ね下図のような関係が見られます。



赤紫のカーブが制限曲線となります。この制限曲線の定数倍によって制限を調整できます。

## DMIN

### 最低水深

移流項の計算でこれ以下の全水深の部分項を計算しないようにする。



## STORM\_SURGE\_ONLY

計算モード -1: 津波計算のみ (デフォルト) 1: 高潮計算のみ 0: 津波と高潮同時計算

## STARTUP\_TIME

立ち上げ時間

低気圧（台風）の設定が安定するまでのランニング時間を設定します。

シミュレーションで設定位置で突然台風が発生することは本来ないため計算安定性のために必須です。

## TYPHOON\_BEGIN

0 経度 1 緯度 1 最大風速半径 1 気圧 1 [hPa] 速度 1 [km/h]

到達時間 2 経度 2 緯度 2 最大風速半径 2 気圧 2 [hPa] 速度 2 [km/h]

...

到達時間  $n-1$  経度  $n-1$  緯度  $n-1$  最大風速半径  $n-1$  気圧  $n-1$  [hPa] 速度  $n-1$  [km/h]

到達時間  $n$  経度  $n$  緯度  $n$  最大風速半径  $n$  気圧  $n$  [hPa] 速度  $n$  [km/h]

## TYPHOON\_END

低気圧（台風）の規模と移動を定義します。

※ 経度データは 度, 分, 秒 という形式で指定します

※ 緯度データは 度, 分, 秒 という形式で指定します

到達時間 2 から 到達時間  $n$  は省略（省略時は-1）できます。省略した場合は距離と速度から自動で設定します。

基準時間は協定世界時 UTC である事に注意。JST (日本標準時) は UTC + 9 時間である。

速度 1 から 速度  $n-1$  は省略（省略時は-1）できます。省略した場合は距離と到達時間から自動で設定します。

最大風速半径は省略（省略時は-1）できます。省略した場合は「加藤史訓（2005）：高潮危険度評価に関する研究，国総研資料，第 275 号，p.10.」で自動設定します。

気象庁のベストトラックのファイルによる定義も可能です。

<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>

## TYPHOON\_BEGIN

@ファイル名 台風名 台風 ID 最大風速半径

## TYPHOON\_END

## CD\_COEF

海面抵抗係数に対する補正倍率

最大風速半径 x2 以内のみに適用される。

## CD\_COEF2

海面抵抗係数に対する補正倍率

全域に適用される。

係数は最終的には  $CD\_CEF \times CD\_COEF2$  倍される。

## IMPACT

隕石衝突による津波計算 (0 か 1 を指定)

隕石衝突による津波計算をする場合は 1 を設定する。

## METEORITE\_PARAMETERMP

経度

緯度

クレータ直径  $r_0$

クレータ深さ  $D$

初期波の立ち上がり

初期波高さ  $W$

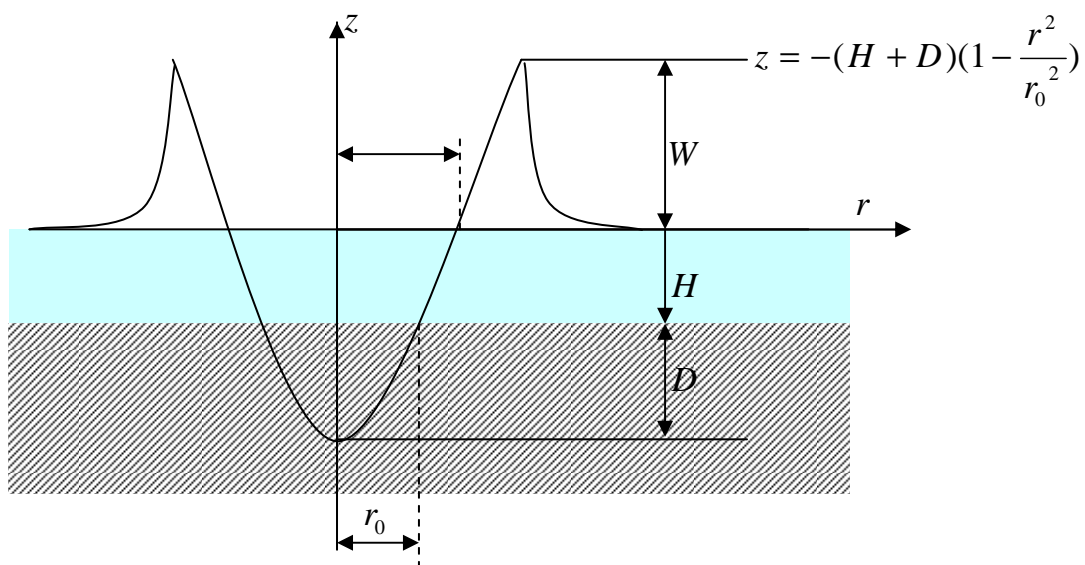
隕石のパラメータを設定する。

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。

※ 経度データは 度, 分, 秒 という形式で指定します

※ 緯度データは 度, 分, 秒 という形式で指定します

※ 初期波の立ち上がりは現在は未使用のパラメータです。



## TSUNAMI\_START\_TIME

津波発生までの時間

## COLOR\_BAR\_MIN\_MAX

最大値 最小値

波高のカラーバーの最大最小を指定します。例えば波が設定した最大以上になったときカラーバーの右端のカラーとなります。

## HORIZONTAL\_EDDY\_VISCOSITY

水平渦動粘性係数

デフォルトでは0です。また非線形分散波では自動設定されます。

指定した場合はその値になります。その場合はログではマイナス値として表示されます。また指

定値を-1以下に設定すると  $0.01(\sqrt{dx dy})^{4/3}$  に設定されます。

## DISPERSION\_COEF1

係数

分散項

$$\alpha \left( \left( \frac{1}{3} + B \right) h^2 \left( \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2} + \frac{\partial^3 N}{\partial t \partial x \partial y} \right) + B g h^3 \left( \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial x \partial y^2} \right) \right)$$
$$\alpha \left( \left( \frac{1}{3} + B \right) h^2 \left( \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x \partial y} + \frac{\partial^3 N}{\partial t \partial y^2} \right) + B g h^3 \left( \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial y^3} \right) \right)$$

に指定の定数  $\alpha * 0.1$  を掛けて値を調整します。デフォルトでは1.0

## DISPERSION\_COEF2

係数

分散項

$$\beta \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial x} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 N}{\partial t \partial y} \right) + h \frac{\partial h}{\partial y} \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^2 N}{\partial t \partial x} \right) + B g h^2 \left( \frac{\partial h}{\partial x} \left( 2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right) \right)$$
$$\beta \left( h \frac{\partial h}{\partial y} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^2 N}{\partial t \partial y} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial x} \right) + h \frac{\partial h}{\partial x} \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial y} \right) + B g h^2 \left( \frac{\partial h}{\partial y} \left( 2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right) \right)$$

に指定の定数  $\beta * 0.01$  を掛けて値を調整します。デフォルトでは1.0

## GAP

~~係数~~

~~格子間の鉛直方向のギャップ判定値を格子間隔[m]に対する係数で指定する。これから算出される値以上の段差を格子間のギャップとして認識して数値振動（数値発散）を抑制するようにギャップのある箇所~~の移流項を1次精度風上差分で計算する。デフォルトでは0.1

## GAP\_DEPTH

~~係数~~

~~格子間の鉛直方向のギャップ判定範囲を格子間隔[m]に対する係数で指定する。これから算出される値以上の水深での段差を格子間のギャップとはしない。デフォルトでは0.35~~

## STEEP\_SLOPE1

最低水深 近傍との差

格子間の鉛直方向のギャップ判定値を格子間隔[m]で指定する。これから算出される値以上の段差を格子間のギャップとして認識して数値振動（数値発散）を抑制するようにギャップのある箇所に移流項を1次精度風上差分で計算する。デフォルトでは 30.0 30.0

## STEEP\_SLOPE2

最低水深 近傍との差

格子間の鉛直方向のギャップ判定値を格子間隔[m]で指定する。これから算出される値以上の段差を格子間のギャップとして認識して数値振動（数値発散）を抑制するようにギャップのある箇所の流量を制限する。デフォルトでは 25.0 25.0

パラメータ **FLOWRES** を参照、この値の 0.25 倍で上限を設定する。

以下は変更しない。

**COLORMAP**

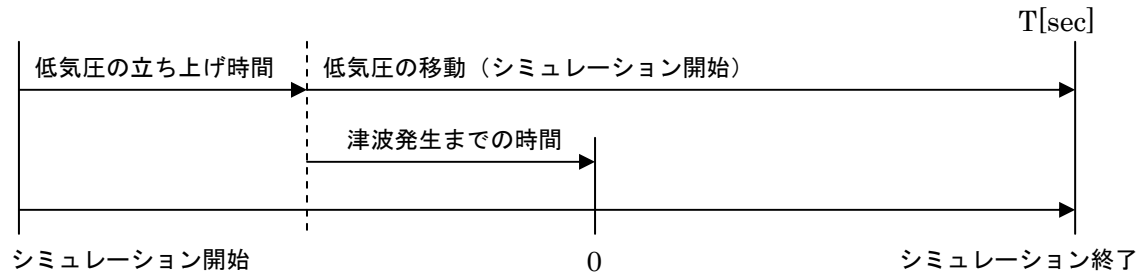
0, 0, 0

**RENDER\_ONLY**

0

## 時間の考え方

基本は津波発生を0としています。従って低気圧の立ち上げ時間はシミュレーションの時間には影響しません。また津波同時計算の場合は津波発生時点で一旦シミュレーションの時間は0に再設定されます。



## 低気圧（台風）の設定

例えば伊勢湾台風では

TYPHOON\_BEGIN

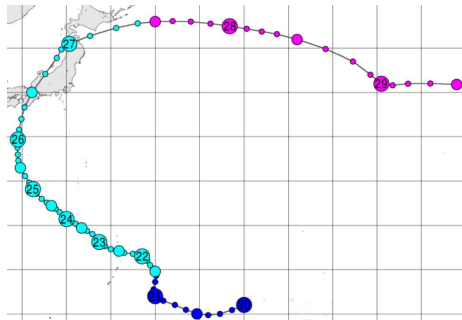
@bst5159.txt **VERA 5915** 100000

TYPHOON\_END

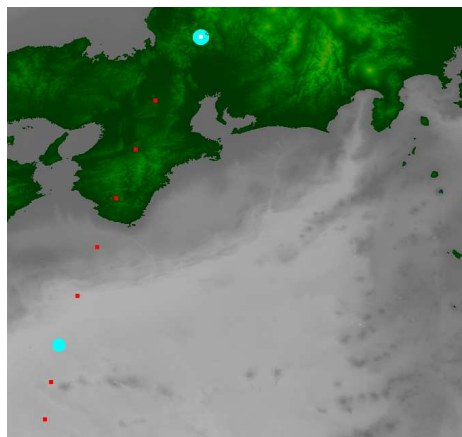
となります。ファイル名「bst5159.txt」は気象庁のベストトラックのファイルです。

<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>

台風の経路データは必ずしも計算領域にあるとは限りません。例えば伊勢湾台風では



図のような計算領域内では例えば下の図のような水色の2点しかありません。本システムではデータの間に5点を補間します（赤い点）





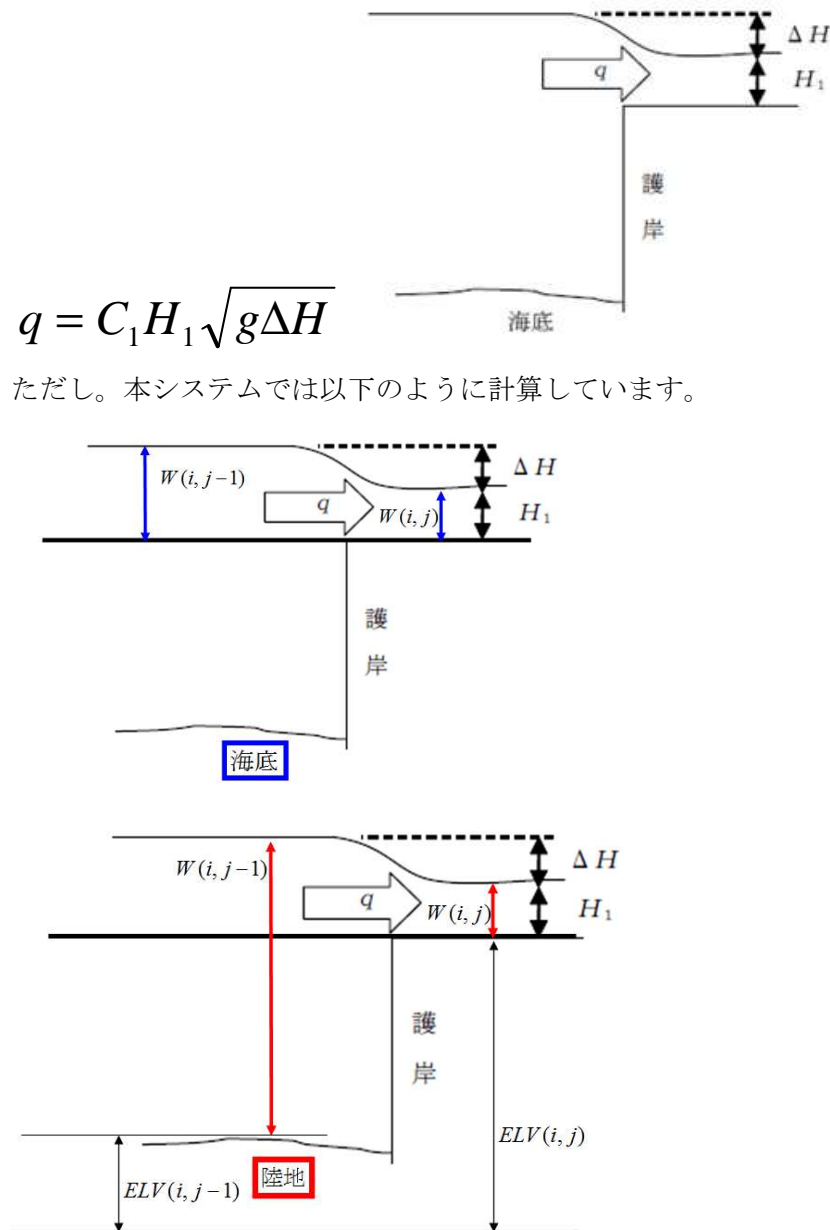
## 護岸・堤防判定時の計算

護岸または堤防と判定された箇所では相田の公式で流量を計算します。

相田(1977)による相田公式は護岸越流を次のように計算します。

$$q = C_1 H_1 \sqrt{g \Delta H}$$

ただし、本システムでは以下のように計算しています。

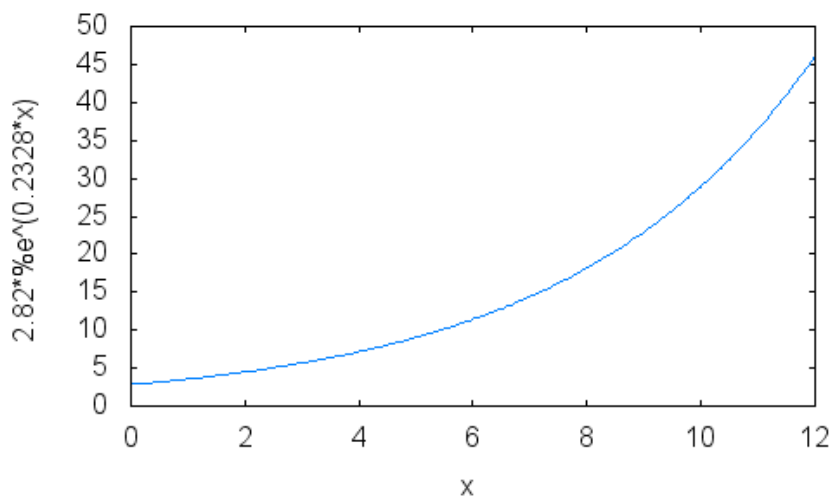


## 津波高と人的被害予測式

人的被害は以下のように算出しています。

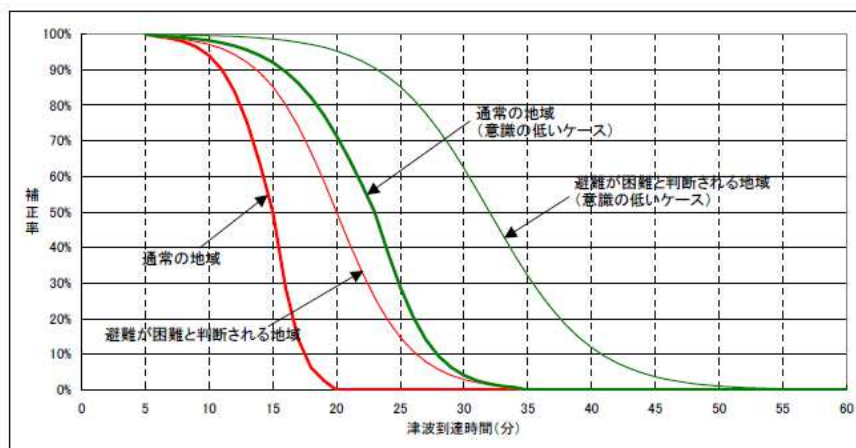
※「東海地震に係る被害想定手法について-参考資料:東海地震に係る被害想定手法について:平成 15 年, 中央防災会議 東海地震対策専門調査会」p.24

$$\text{死亡率}\% = 0.0282 \text{Exp}(0.2328 \text{浸水深}) \times 100$$



$$\text{到達時間補正率} = \frac{1}{1 + 0.00525 \text{Exp}(0.7(T - 5))}$$

揺れを感知し、避難行動に移るまでの時間を 5 分と仮定



高潮計算のみ実行する場合はこの補正率は考慮しない。

避難意識が低いケースについては

$$\text{到達時間補正率} = \frac{1}{(1 + 5.25 \times 10^{-3} \times \text{Exp}(\frac{0.7T}{3.565}))}$$

高潮計算のみ実行する場合はこの補正率は考慮しない。

これらの計算式に加えて「地震直後に避難しようとする人」、「津波警報入手した時に避難しようとする人」、「津波警報入手出来ない人」、「全く避難しない人」の統計的割合を考慮して算出します。  
※「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 第7回会合」

人口境界（計算領域の最左右上下）にはデフォルトでは20格子分は吸収領域に設定されるためその位置近傍にチェックポイントを設定すると正しい判定結果にはなりません。

## 建造物およびその他の損害予測

### 建造物の流出

$$\text{流出率} = \begin{cases} 0.188 \text{浸水深さ} - 0.172 & \text{浸水深さ} < 5m \\ 0.7421 \text{Exp}(0.0424 \text{浸水深さ}) & \text{浸水深さ} \geq 5m \end{cases}$$

参考) 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第8解会合資料

| 被害区分 | 浸水深(H)                             |                      |
|------|------------------------------------|----------------------|
|      | 木造                                 | 非木造                  |
| 全壊   | $2.0\text{m} \leq H$               | -                    |
| 半壊   | $1.0\text{m} \leq H < 2.0\text{m}$ | -                    |
| 床上浸水 | $0.5\text{m} \leq H < 1.0\text{m}$ | $0.5\text{m} \leq H$ |
| 床下浸水 | $H < 0.5\text{m}$                  | $H < 0.5\text{m}$    |

※浸水と被害の関係（首藤(1992)に基づく。

内陸部における浸水では、流速が弱まっているものと考え、家屋は破壊には至らないものと考えられる。このため、全壊棟数・半壊棟数については、海岸線等に接している N[km] メッシュからのみ発生するものとする。

参考) 中央防災会議

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0316pdf/ks0316013.pdf>

中央防災会議では N=1 としている。本システムでは 3 としている。

本システムでは木造家屋と非木造家屋の比率は 75% 25% として計算している。

### 瓦礫の発生量の予測

瓦礫発生量[m<sup>3</sup>] = 床上浸水（以上）棟数 × 15[m<sup>2</sup>]

体積量の換算は木造 1.9m<sup>3</sup>/ton 非木造 0.64m<sup>3</sup>/ton とする。

### 瓦礫処分に関わる経済損失予測

瓦礫発生量 1 トンあたり 2,200 円として計算（1t あたり（阪神・淡路大震災）の時の値）

### 津波堆積物量の予測

東日本大震災における測定結果より津波堆積物の堆積高を 2.5cm～4cm。

本システムでは 2.9cm としている。

津波堆積物の堆積高に浸水面積を乗じて津波堆積物の体積量を推定する。

推定された体積量に対して、汚泥の体積重量換算係数を用いて津波堆積物の重量を推定する。ここでは、体積重量換算係数として、国立環境研究所の測定結果（体積比重 2.7g/cm<sup>3</sup>、含水率約 50%）を用いて

$(2.7+2.7)/(1.0+2.7)=1.46$  により算出した 1.46 t/m<sup>3</sup>、ならびに産業廃棄物の体積から重量への換算係数（参考値）』（環境省、2006）で示された汚泥 1.10 t/m<sup>3</sup> を用いることとする。

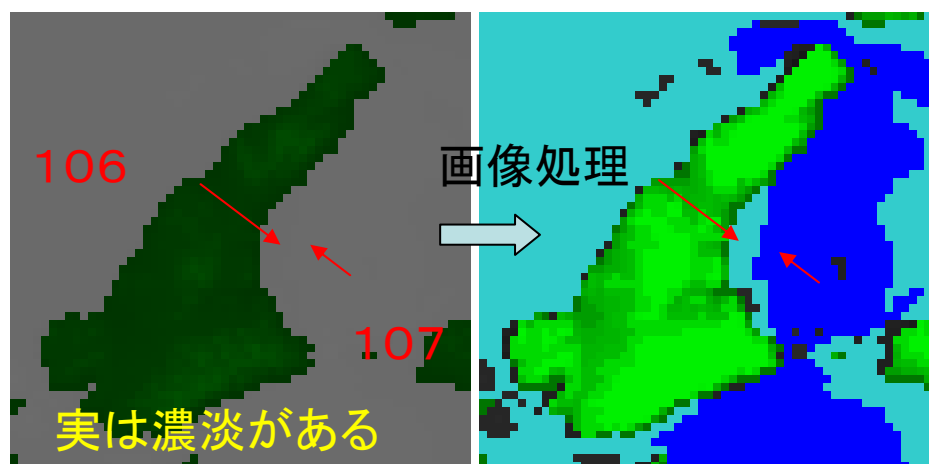
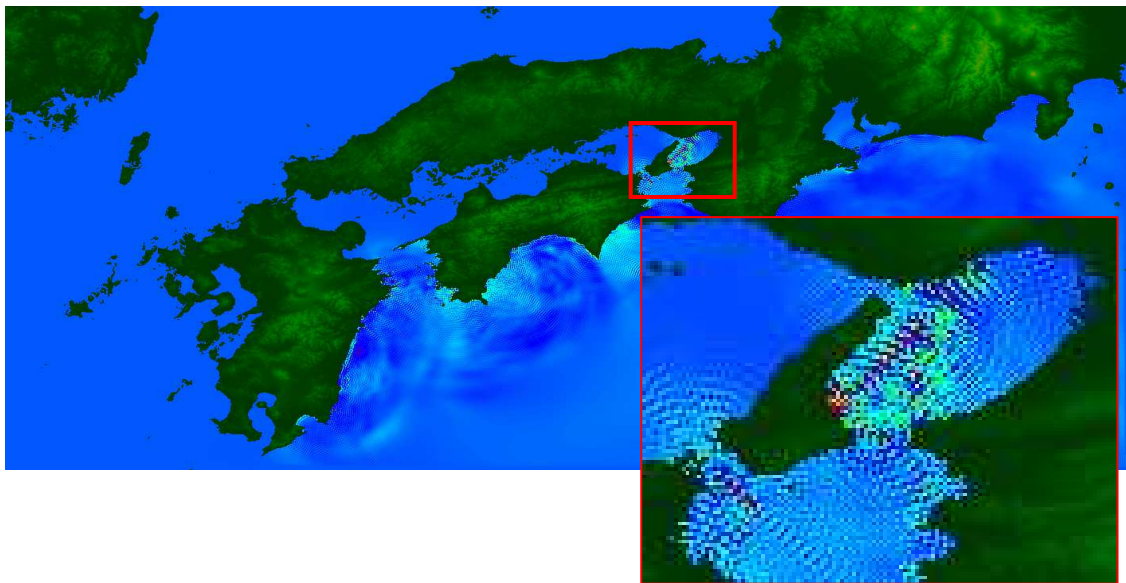
本システムでは固定で 1.35t/m<sup>3</sup> としている。

参考）（「津波堆積物処理指針（案）」（一般社団法人廃棄物資源循環学会））

## 計算の安定化と地形修正

計算が不安定で数値発散、数値振動が起きる場合の殆どが地形データに依存している。特に海底地形のある地点とその近傍点で大きな（例えば100m）ギャップが生じているデータや陸地境界と基準水面に同様な急激なギャップがあると数値計算で異常な波形振動が現れるなど計算が不安定になるためそのようなギャップが生じないようにする。

特にビットマップ画像を元にシミュレーションを行う場合は輪郭に相当する色の境界はボカシ処理を施すなどの処理は実施しておく事を薦める。



線形補間が悪いと 106 と107 で1違いが大きな水深差となる場合がある。

異常計算は106=>20m,107=>150m に補間された例(130mのギャップ)

入力データがどのように解釈されたかは chk ディレクトリに生成されたデータを見ることで大よその修正が必要な箇所などがわかる場合がある。

*IDname\_fullMap* は入力データの標高データと海底データをマージした結果  
*topography\_data\_\_2.bmp* は陸地（基準水面より上）を黒で示している。  
*topography\_data\_\_2.csv* は *topography\_data\_\_2.bmp* を数値グリッドにしたテキスト

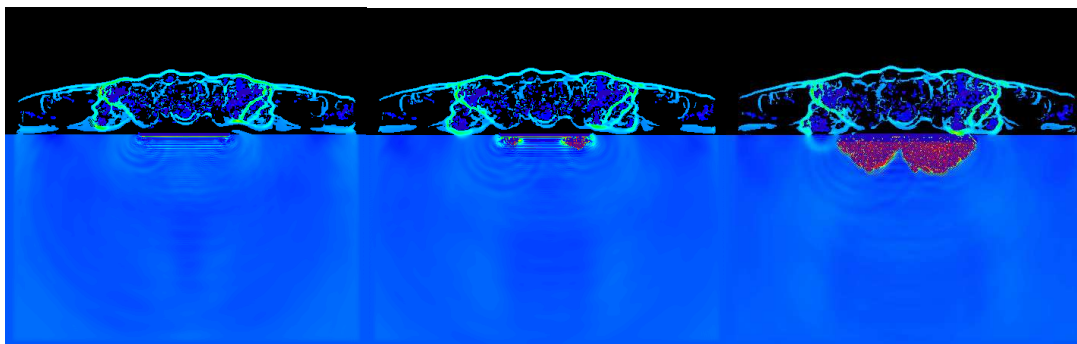
*elevation\_data\_\_2.obj* は標高データで鉛直方向に拡大してギャップを見つけやすくしている。  
*elevation\_data\_\_2.bmp* は濃淡により標高データの鉛直方向の滑らかさを示している。  
*elevation\_data\_\_2.csv* は *elevation\_data\_\_2.bmp* を数値グリッドにしたテキスト

*water\_depth\_data\_\_2.obj* は海底データで鉛直方向に拡大してギャップを見つけやすくしている。  
*water\_depth\_data\_\_2.bmp* は濃淡により海底データの鉛直方向の滑らかさを示している。  
*water\_depth\_data\_\_2.csv* は *water\_depth\_data\_\_2.bmp* を数値グリッドにしたテキスト

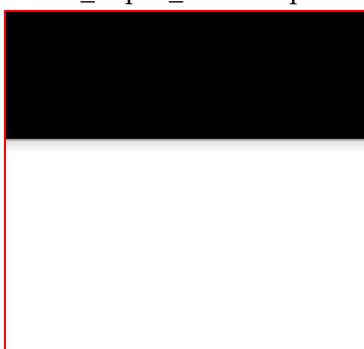
#### *ID名\_DifferenceLevel\_最大段差.bmp*

このビットマップ画像は隣接格子で値が不連続になりうる最大段差のコンタ図になります。

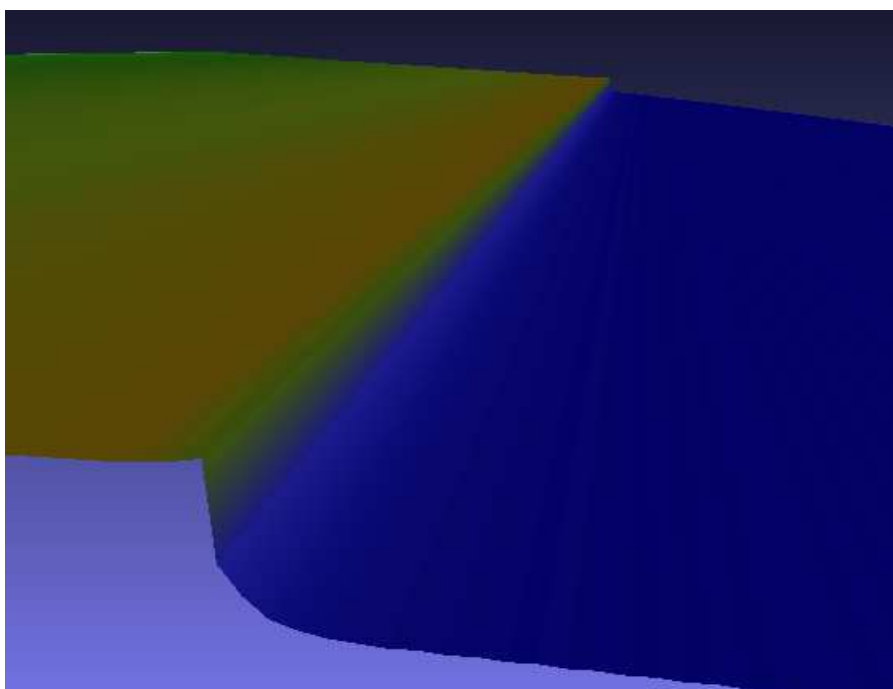
## 数値発散の例



water\_depth\_data.bmp



water\_depth\_data\_\_.obj





## ■数値振動や数値発散（異常に高い波高となる結果）を起こす場合

時間ステップが CFL 条件（Courant-Friedrichs-Lewy Condition）またはクーラン条件を満たさない場合は問題を起こす。システム仕様上この条件を満たすように調整はされているが計算条件によってはさらに小さな値に設定する必要がある。通常は以下のような変更で安定する。

**TIME\_STEP** を小さくしてみる。

殆どの問題はこの設定で解消されるが 0.1 まで下げても解消されない場合は計算条件（初期波、地形等）に依存した問題であるため、まずはデータに異常が無いかを調べてみる。特に目立つ問題が見当たらない場合は以下の対策を試みしてみる。

### 格子点間の連続性に関する問題

このような局所的な対応で駄目な場合は広域的に一次精度風上差分を適用するように UPWINDOW パラメータを変更してみる。（デフォルトでは 1）

**UPWINDOW**

1

これで移流項は一次精度風上差分で評価するようになる。それでも駄目な場合は上記で述べたパラメータ変更を組み合わせと以下を試してみる。

FLOWRES または FLOWRES2 で過大な流量値を制限してみても。

**FLOWRES**

0.3

上記の設定変更でも安定しない場合は移流項の評価を変更してみる。

**DMIN**

0.3

それでも駄目なら計算手法の変更を講じてみる。

**SOLVER** パラメータは 3(非線形分散理論),2(非線形長波),1(線形長波)で 1 まで設定変更出来る。3->2->1 の順で安定性が上がる。ただし、この時点に至って安定しない場合はデータそのものに何らかの異常があると見なすべきである。データの異常とは主に精度からくる異常でデータが間違っているわけではなく、計算上正しく計算できないようなデータを意味している。その多くは「格子点間の連続性に関する問題」にある場合が殆どである。従って地形データ、海底地形データ、初期波データを見直して修正してみる。

主にデータの不連続（段差）が無いか調べて修正可能なら修正してみる。

それでも駄目な場合は諦めるしかない。

## 出力結果

### Output フォルダ

CSV 形式で水位データが出力される

### Image フォルダ

BMP 形式の津波シミュレーション結果が出力される。

### image3D フォルダ

OpenGL による 3D 表示のキャプチャが保存される。

### Obj フォルダ

OBJ 形式の津波シミュレーション結果が出力される。

### Sampling フォルダ

計算パラメータ「[SAMPLING](#)」を指定したとき波形の断面が `gnuplot` 形式で出力される

### wrk フォルダ

作業用のフォルダ

### pov フォルダ(現在未使用)

### render フォルダ(現在未使用)

PovRay 形式のシーンファイルとして津波シミュレーション結果が出力される。

### Terrain フォルダ

地殻変動の時間的変位が OBJ 形式ので出力される。

### google\_earth フォルダ

KML ファイルとして津波シミュレーション結果が出力される。

## Runup\_image フォルダ

浸水領域のコンタ画像が保存される。



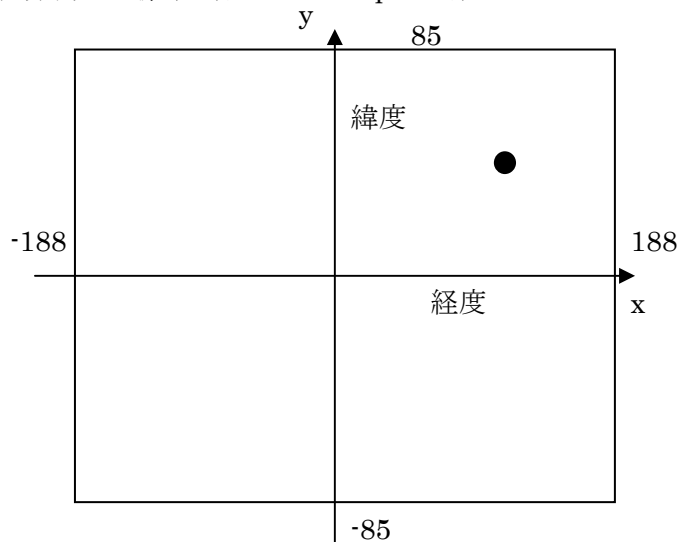
| 浸水深 |               | 深さの目安及び危険度  |   |   |
|-----|---------------|---|---|---|
|     |               | 身体  | 建物  | 自動車   |
|     | 0.00～0.15m 未満 | 足首までつかる深さ。  | 床下浸水  | 0.1m 程度でブレーキが効きにくくなる。                                     |
|     | 0.15～0.50m 未満 | 膝までつかる深さ。<br>流れが(流速 1m/秒程度)あれば 0.3m程度でも歩行が困難となる。                                    | 床下浸水  | 0.3m 程度でマフラーから水が逆流してエンジンに水が浸入。<br>オートマチック車ではクラッチ板の剥離がおきる。 |
|     | 0.50～0.80m 未満 | 腰までつかる深さ。<br>0.5m を超えると歩行が困難となる。<br>1983 年の日本海中部地震による津波では<br>浸水深 0.7m の津波で死亡者が出ている。 | 床上浸水<br>0.5m 以上 1.0m 未満で木造建物は軽微破壊                                     | 車が浮き、ドアの開閉が難しく、中に閉じ込められて、<br>車とともに流出され、危険な状態              |
|     | 0.80～1.20m 未満 | 胸までつかる深さ。<br>路面の状況が良い場合には歩行が可能だが人的被害発生の可能性は非常に高い                                    | 床上浸水<br>1.0m 以上 2.0m 未満で木造建物は半壊                                       |   |
|     | 1.20～2.00m 未満 | 足がつかない深さ。<br>道路歩行中の人は、ほぼ絶望  |   |   |
|     | 2.00～5.00m 未満 | 足がつかない深さ。   | 床上浸水<br>2.0m で1階軒下まで浸水する程度。<br>5.0m で2階軒下まで浸水する程度。<br>2.0m 以上で木造建物は全壊 |   |

〈参考文献〉

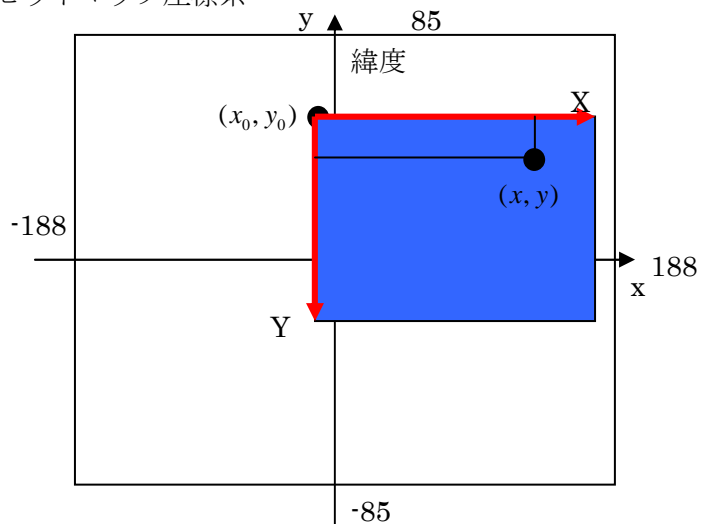
「津波・高潮ハザードマップ作成マニュアル（案）」

## 座標系について

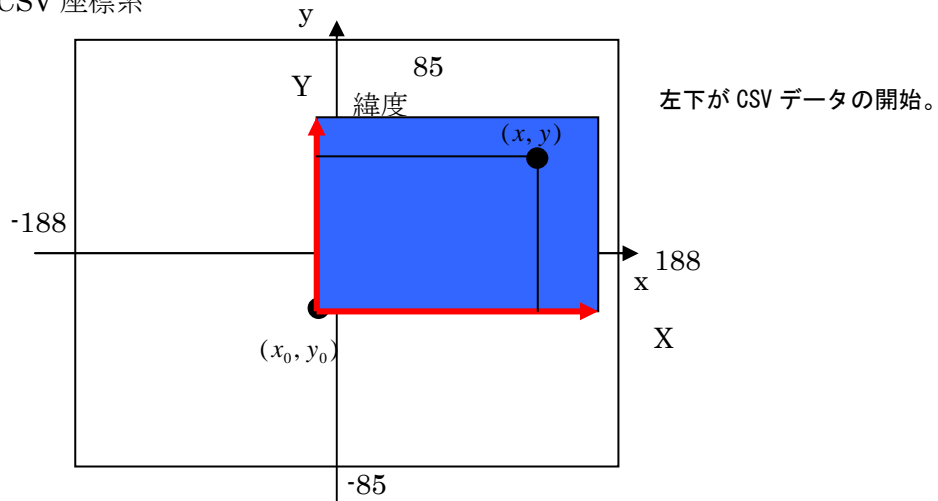
世界測地座標系 ((WGS84 ellipsoid))



ビットマップ座標系



CSV 座標系

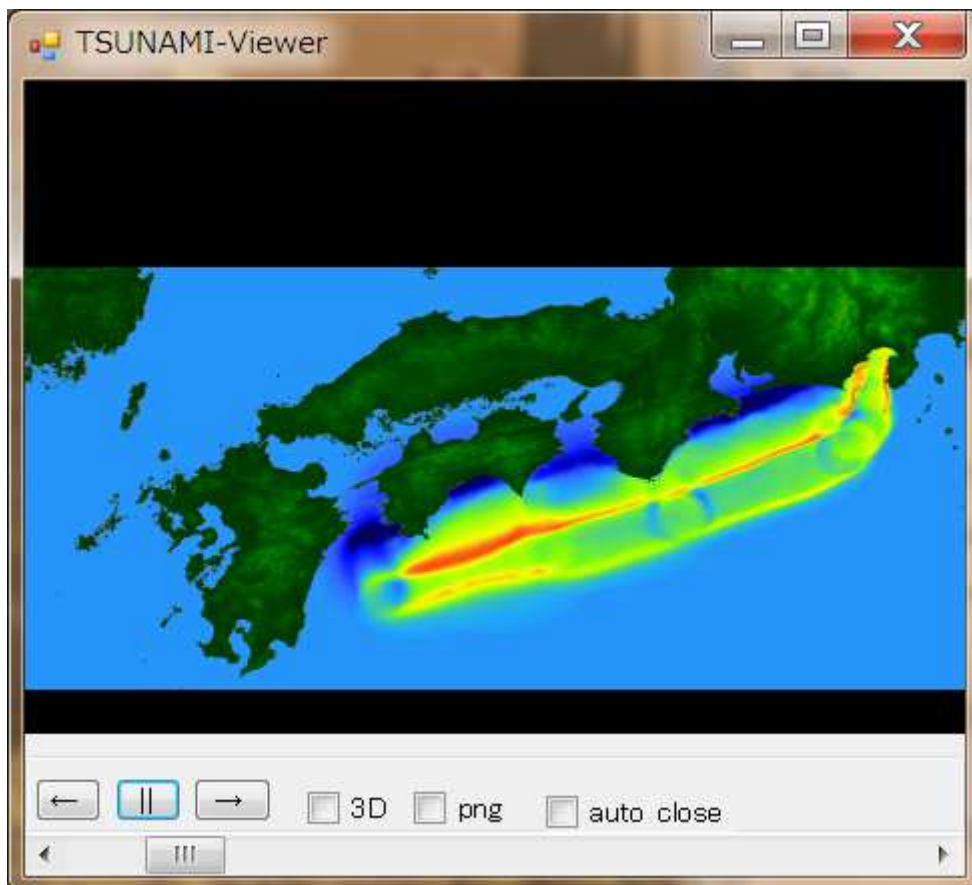


## 可視化

### 2D 表示

#### 起動方法

TSUNAMI リアルタイム 2DViewer.bat    フォルダ名



フォルダ名は計算パラメータ・ファイルが置いてあるフォルダを指定します。

計算実行時にリアルタイムに可視化するには計算パラメータに「[REALTIMEIMAGE](#)」に 1 を指定する。

描画データを最後まで描画した時点で output フォルダに Close というファイルがある場合で auto close が ON になっていた場合は自動的に Viewer プログラムを終了する。

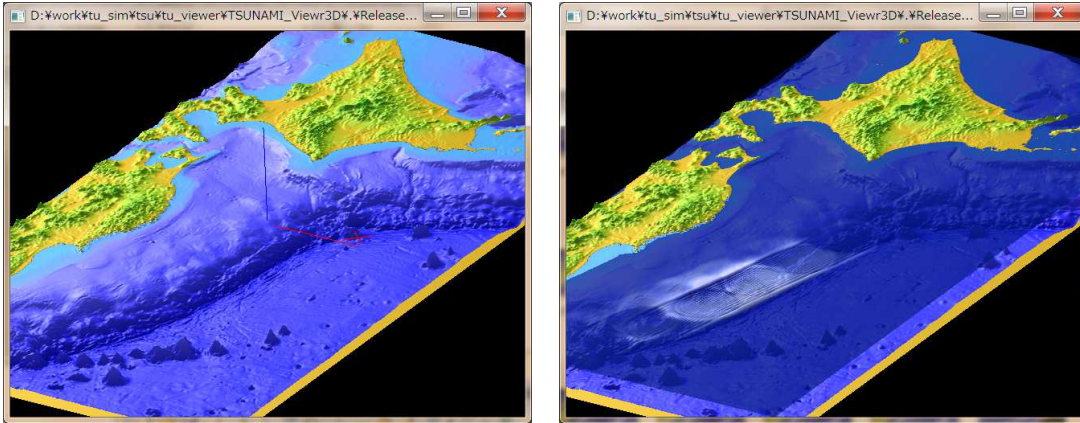
次項に説明する 3D 表示でキャプチャされた 3D 画像が生成されている場合は「3D」にチェックを入れるとそちらの画像アニメーションに切り替わる。

[png]にチェックを入れて「3D」チェックがされていない場合は描画されている画像を PNG 形式にして保存する。

## 3D 表示

### 起動方法

TSUNAMI3DViwer.bat    フォルダ名



フォルダ名は計算パラメータ・ファイルが置いてあるフォルダを指定します。

計算実行時にリアルタイムに可視化するには計算パラメータに「**EXPORT\_OBJ**」に 1 を指定する。

計算の後に可視化するには「**CSV2OBJ**」に 1 を指定してシミュレーションを再実行する。  
この時のシミュレーション実行はシミュレーション結果を 3D データに変換するだけの処理を行います。変換が終わったら「TSUNAMI3DViwer.bat    フォルダ名」で可視化出来るようになります。

### 環境変数

#### COLORMAP

カラーマップ用のビットマップファイル（colormapフォルダに存在するファイル名）

（例）set COLORMAP=wave\_colormap1.bmp

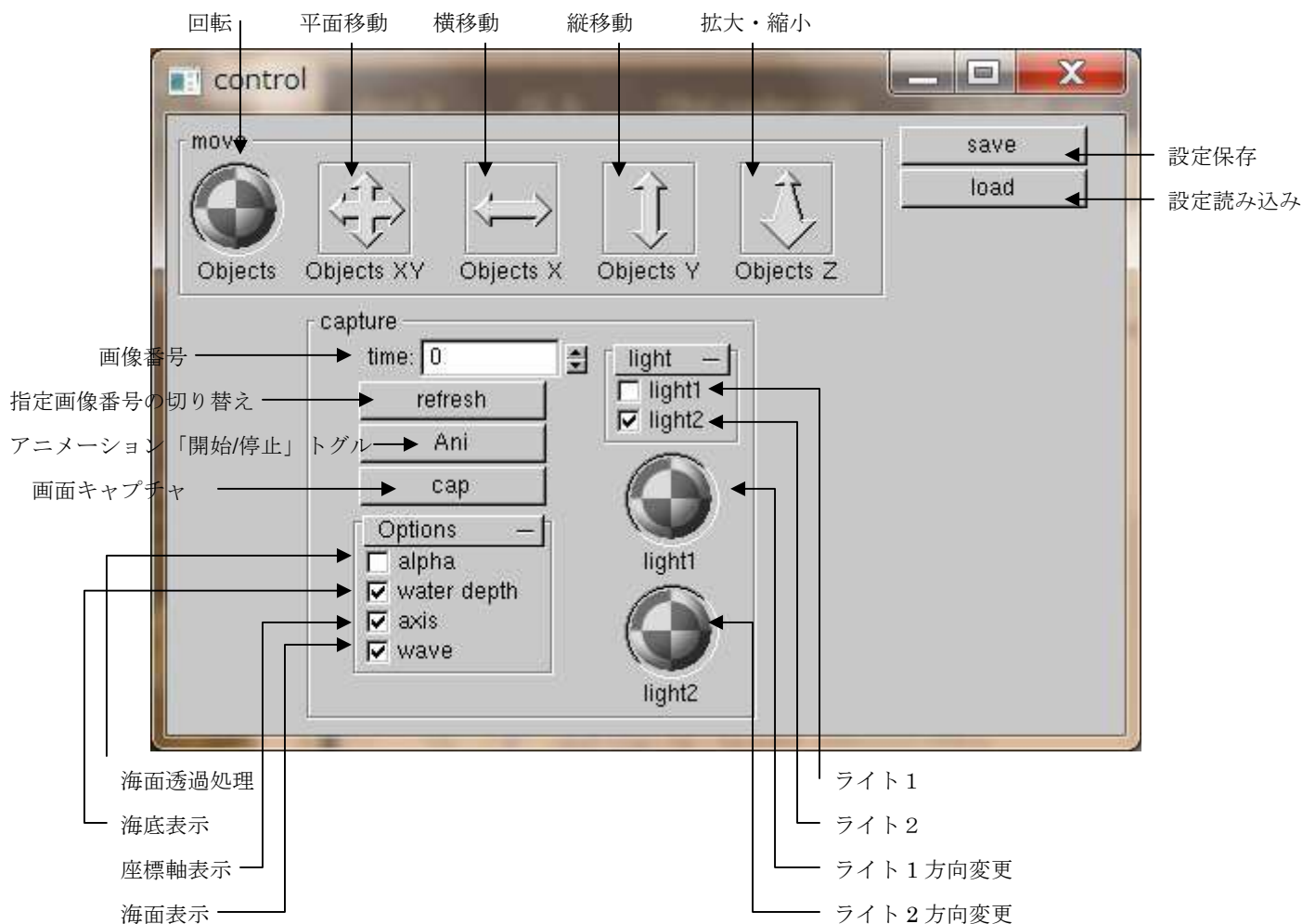
BITMAP 画像はcolormapフォルダーに存在すること。

#### PERSPECTIVE

0 以外の値を設定すると透視投影（perspective projection）で遠近法が効いたレンダリングを行います。デフォルトでは平行投影（orthogonal projection）でレンダリングされます。

#### ALPHA\_BLEND\_VALUE

水域の海面を透過表示にする場合の非透過率（0.0 で透明、1.0 で不透明）を指定できる。  
この環境変数が無い場合は水深に応じて透過になります（浅い程透明）。



## TSUNAMI3Dviewer.exeの起動 [オプション]

### 起動オプション

- offscreen 1      キャプチャをオフスクリーンレンダリングで行う（デフォルト）
- offscreen 0      キャプチャを画面コピーで行う
- end 画像番号      指定の画像番号でシステムを終了する
- scale 値          波高さを鉛直方向に指定した値で補正する
- nvbo 0            VB0を使用しない
- nvbo 1            VB0を使用する（デフォルト）