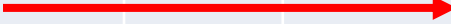
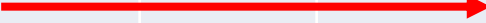


## 1-2 沿岸防災手法の工学的評価

日 28-1-1-2

1/13

|                    | 2013                                                                               | 2014 | 2015 | 2016 | 2017      | 2018                                                                                  | 2019 | 2020 |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| 日本海側沿岸の海象特性と沿岸防災手法 |   |      |      |      |           |                                                                                       |      |      |
| 海岸堤防の津波減災性能と限界     |  |      |      |      |           |                                                                                       |      |      |
| 沿岸低地における津波の氾濫予測    |                                                                                    |      |      |      | 北海道<br>東北 | 北陸<br>西日本                                                                             |      |      |
| 日本海沿岸に適した津波防災手法    |                                                                                    |      |      |      |           |  |      |      |

## 研究の背景/目的

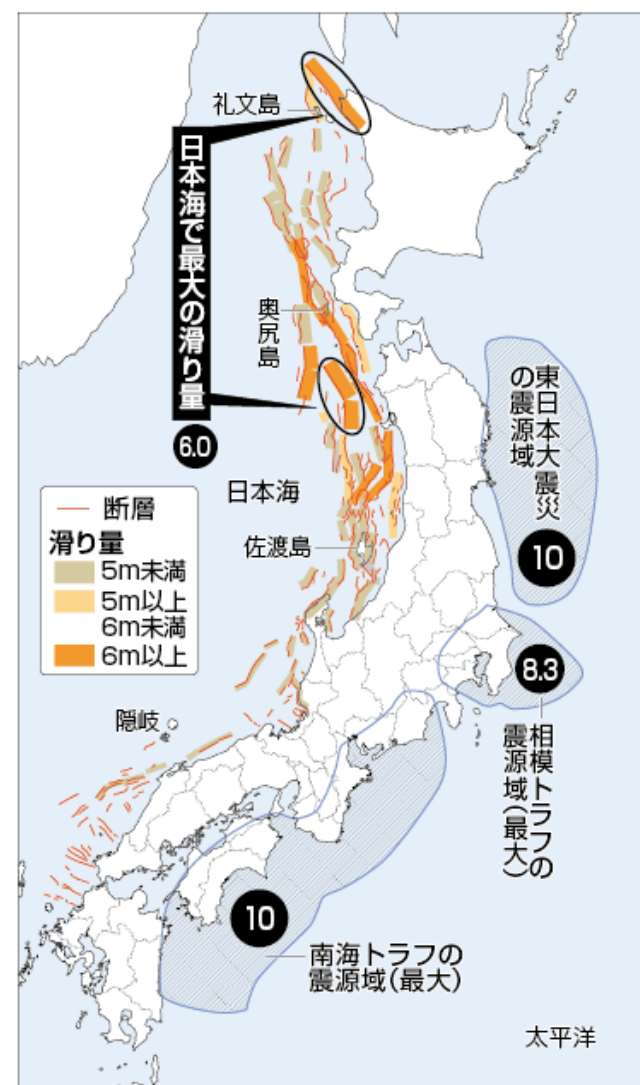
適切な防災・減災計画を策定するためには、各地域・地区における最大クラスの津波高を推定する必要がある。

市町村ごとに津波高を推定する必要があるが、市町村ごとに津波の伝播計算を実施するのは非効率である。

### 研究の目的：

任意の波源から来襲する津波波形を短時間で推定できる高速津波計算システムの構築

日本海沿岸の津波発生要因となる海底断層

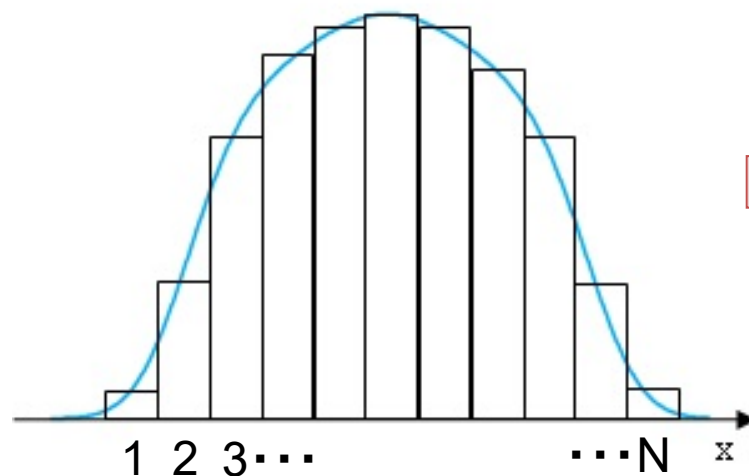


(注) 丸数字は断層の平均滑り量(m)

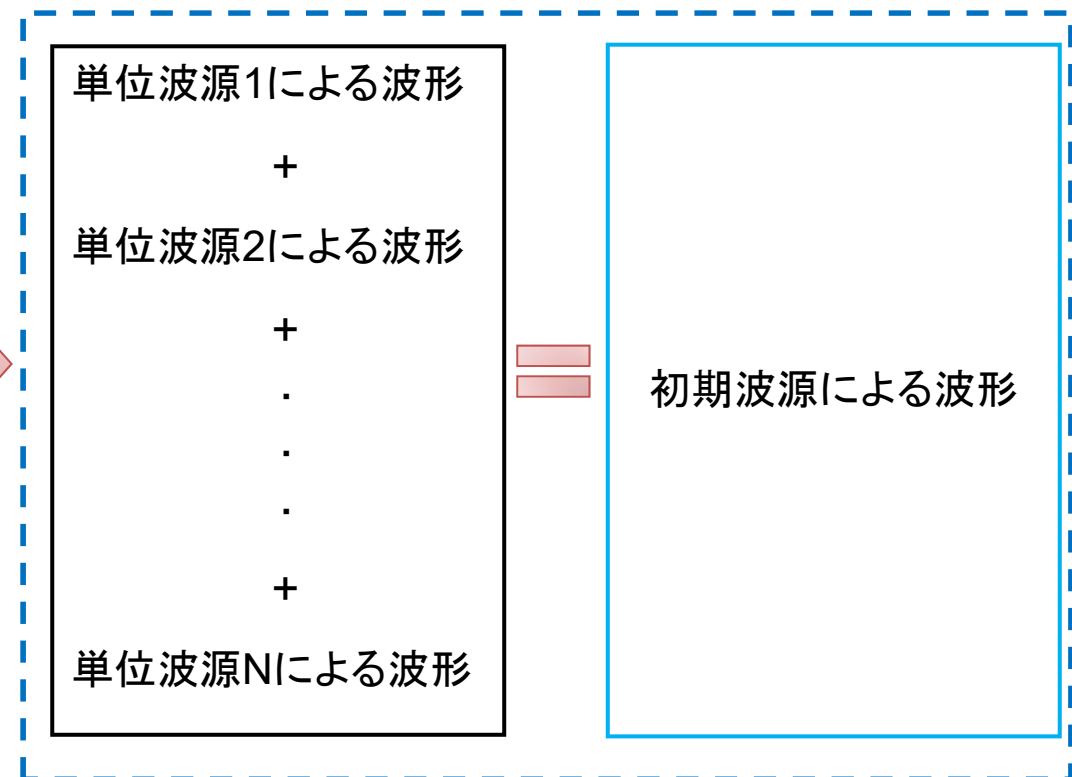
(出典:時事ドットコムホームページ)

# 高速計算の概念－単位波源の導入－

支配方程式が線形るとき、解の重ね合わせが成立する(伊藤ら,2013)

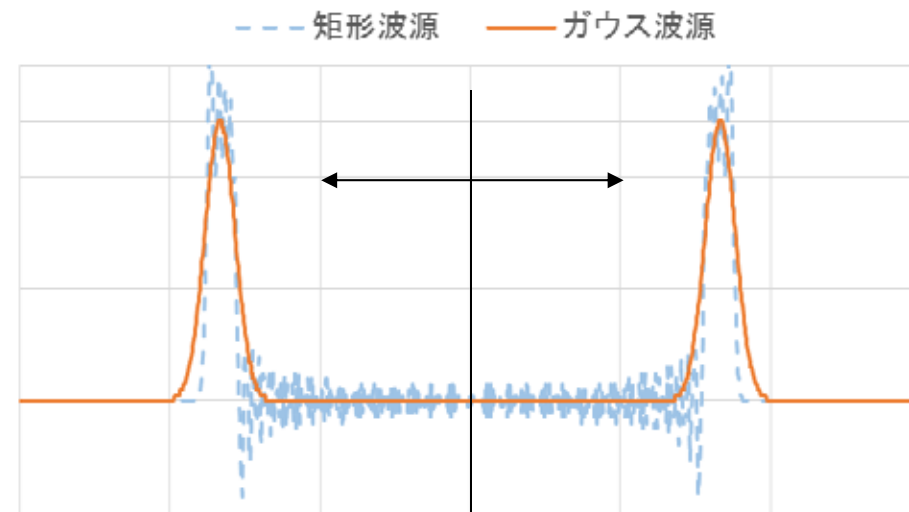
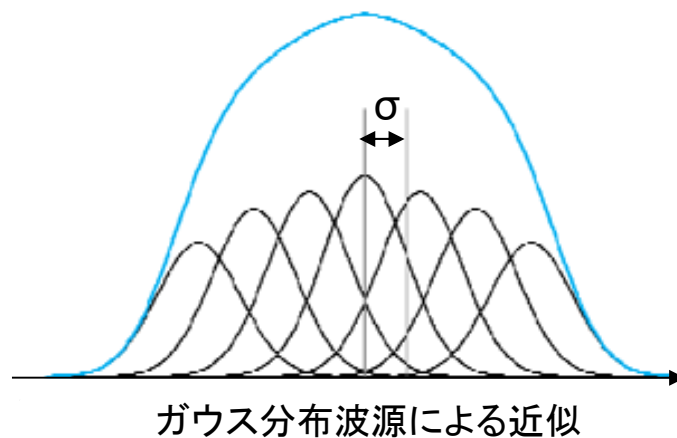
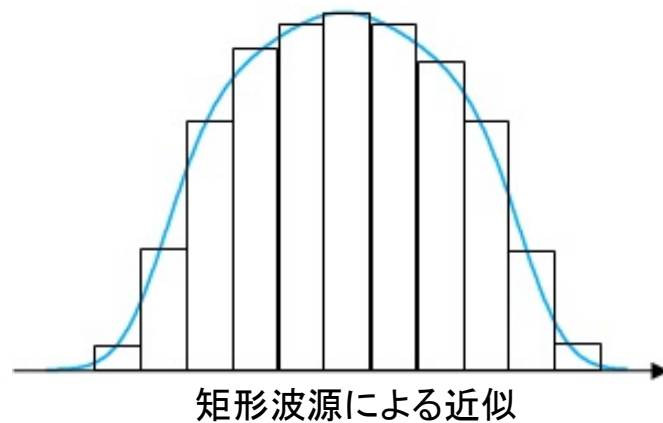


初期波源を単位波源で近似する



ある地点における水位変動

# 単位波源の形状～ガウス分布形状

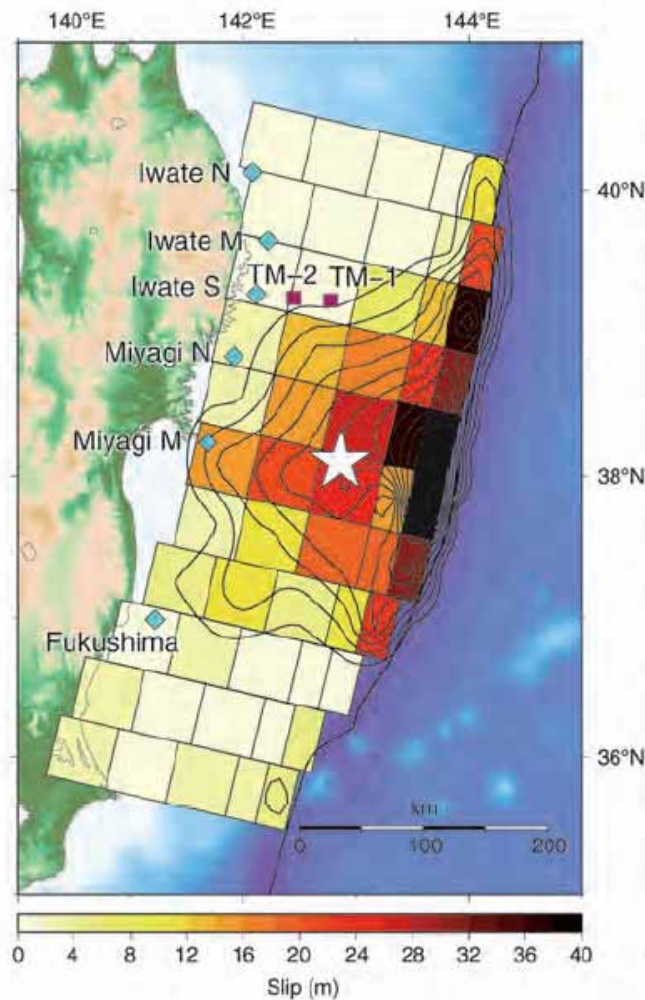


## ガウス分布波源のメリット

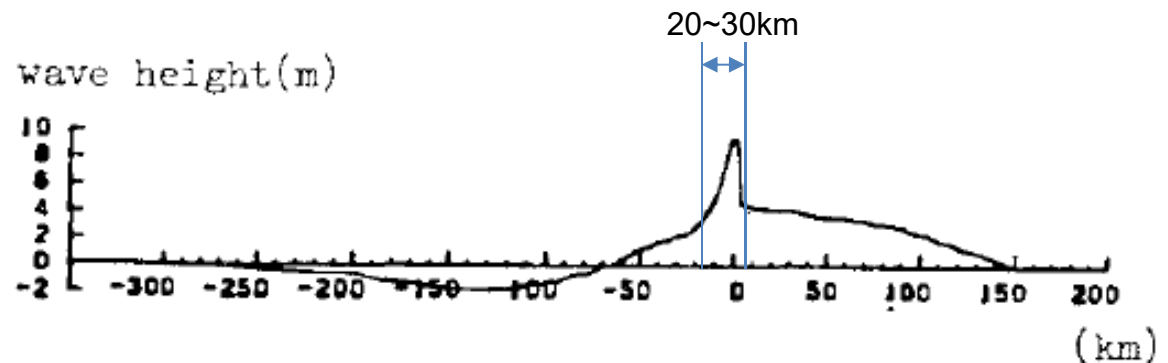
数値振動が生じない

空間解像度が比較的低くても計算精度が劣化しない

# 単位波源の大きさの選定



2011東北津波の断層モデル  
(出典: Satake et al. 2013)



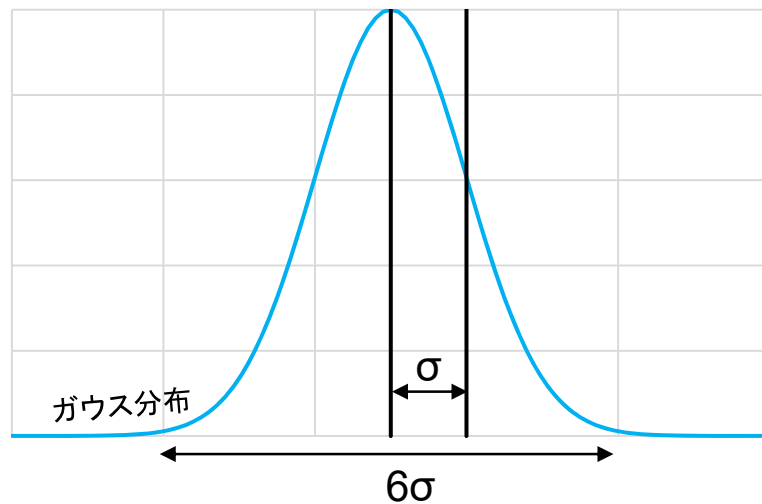
1964年アラスカ津波の断面波形(出典: 今村ら1986)

1. 断層モデルの推定精度は数十kmのオーダー
2. 1964年アラスカ津波では20~30km程度の短波長の津波が発生



**$\sigma=5\text{km}$ のガウス分布波源**

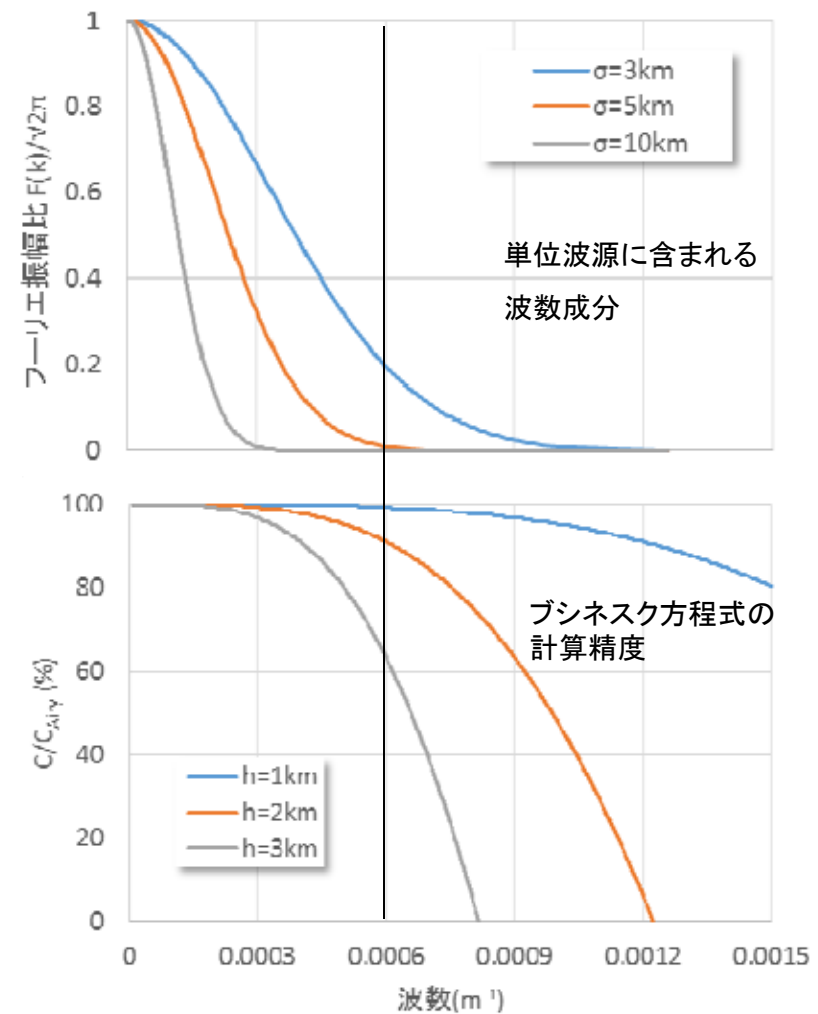
# 単位波源の大きさと計算精度の関係



一次元ガウス分布とそのフーリエ変換式

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x) = \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\} \\ F(k) = \sqrt{2\pi} \exp\left\{-\frac{(k\sigma)^2}{2}\right\} \end{array} \right.$$

$\sigma=5\text{km}$ , 水深 $3\text{km}$ のときの誤差は40%程度



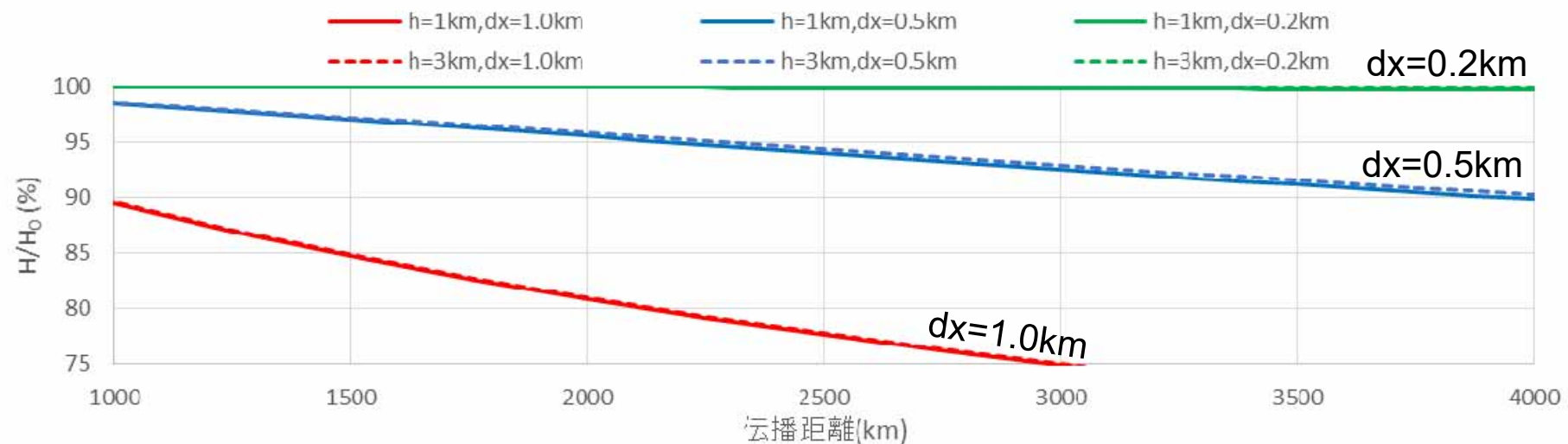
ブシネスク方程式の計算精度

# 計算格子間隔と伝播距離による計算精度

一次元水平床水路に単位波源を置き、線形長波理論に基づく伝播計算を行う

➤ 単位波源は相似形を保って伝播する保存解となる

数値的に得られる波高/理論的に得られる波高=計算精度



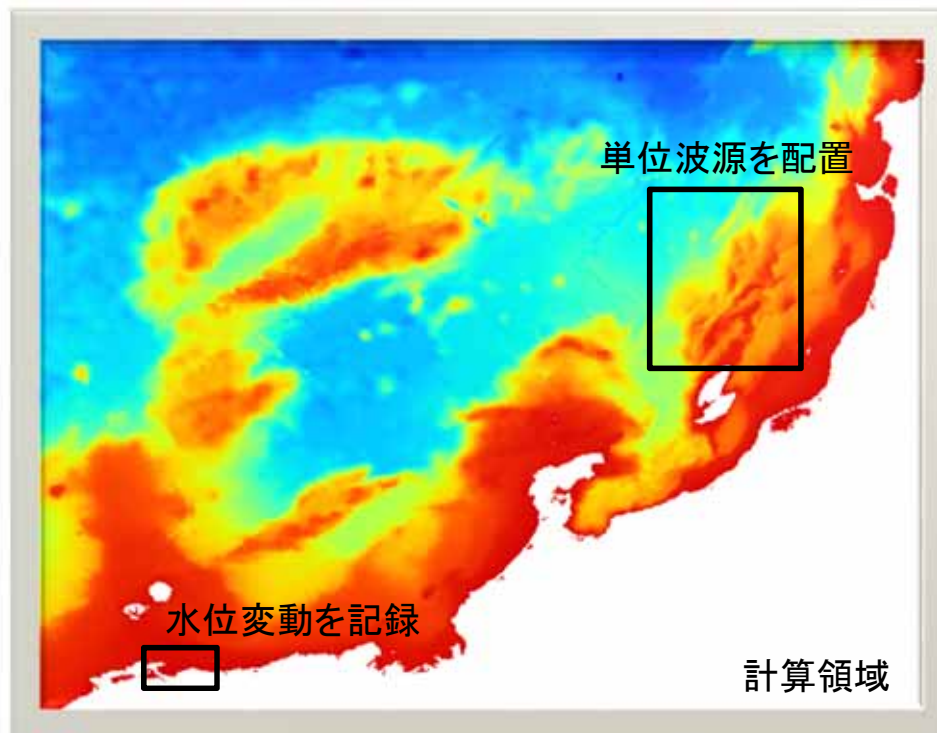
# 単位波源のデータベースの構築

支配方程式: 球面座標系平面二次元ブシネスク方程式(後藤, 1991)

差分法: 二段階混合差分法(岩瀬ら, 1998)

単位波源の大きさ:  $\sigma = 5\text{km}$

単位波源は新潟県佐渡島北方沖に配置し、鳥取県沖における水位変動(150分間)を記録



$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \lambda} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} M \cos \lambda + \frac{\partial N}{\partial \theta} \right] = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = -fN + \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} \left\{ \frac{h^3}{3} F_1 + \frac{h^2}{2} F_2 \right\} - \frac{\partial h}{\partial \lambda} \left\{ \frac{h^2}{2} F_1 + h F_2 \right\} \right]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \lambda} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} = fM + \frac{1}{R \cos \lambda} \left[ \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{h^3}{3} F_1 + \frac{h^2}{2} F_2 \right\} - \frac{\partial h}{\partial \theta} \left\{ \frac{h^2}{2} F_1 + h F_2 \right\} \right]$$

$$F_1 = \frac{1}{R \cos \lambda} \left\{ \frac{\partial^2}{\partial t \partial \lambda} (u \cos \lambda) + \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial \theta} \right\}$$

$$F_2 = \frac{1}{R \cos \lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left( u \cos \lambda \frac{\partial h}{\partial \lambda} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left( v \frac{\partial h}{\partial \theta} \right) \right\}$$

# 初期波源を単位波源の重ね合わせに変換

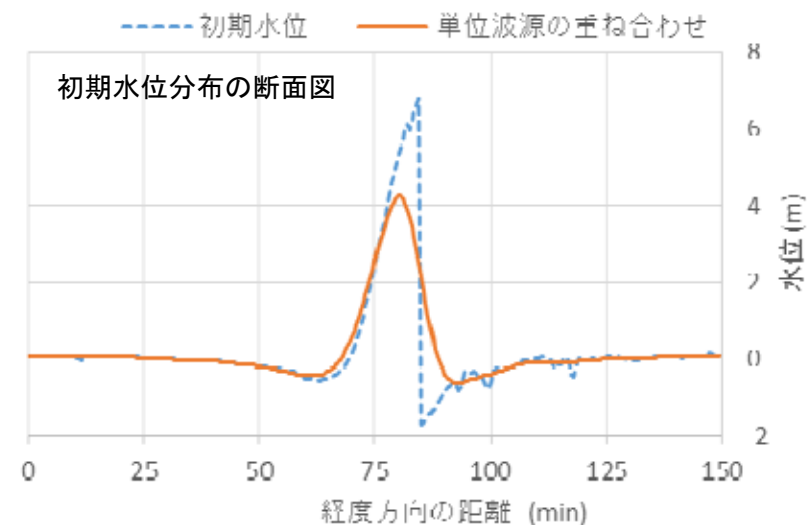
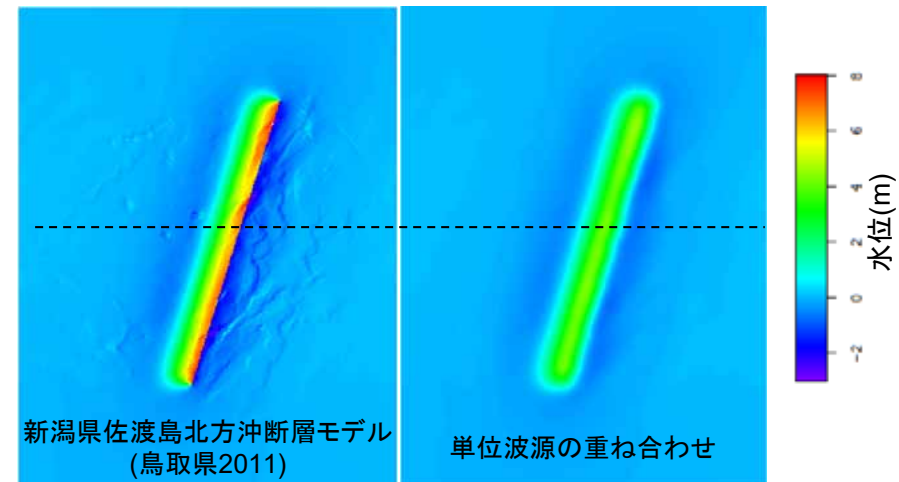
1. Okada(1992)とTanioka・Satake(1996)より初期水位分布を求める
2. ガウス分布の重み関数を用いて初期水位分布に移動平均を施す
3. 初期水位分布を二次元ガウス分布の重ね合わせとして次式で表す

$$\eta_0(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \exp \left[ -\frac{(x - x_{ij})^2 + (y - y_{ij})^2}{2\sigma^2} \right]$$

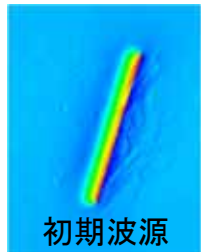
$\eta_0$ : 任意格子点の初期水位

$a_{ij}$ : 単位波源の高さ

4. 各格子点の水位が一致するように、単位波源の高さを選点法(ガウスの消去法)により決定する



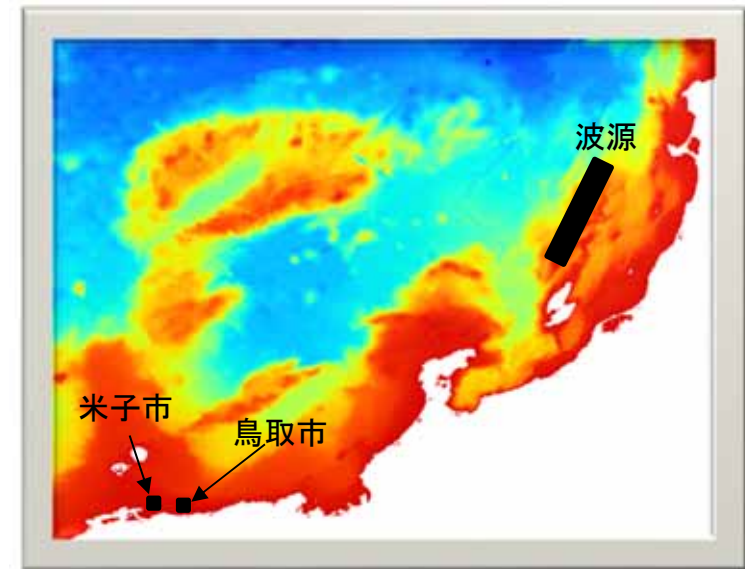
# 計算結果の確認



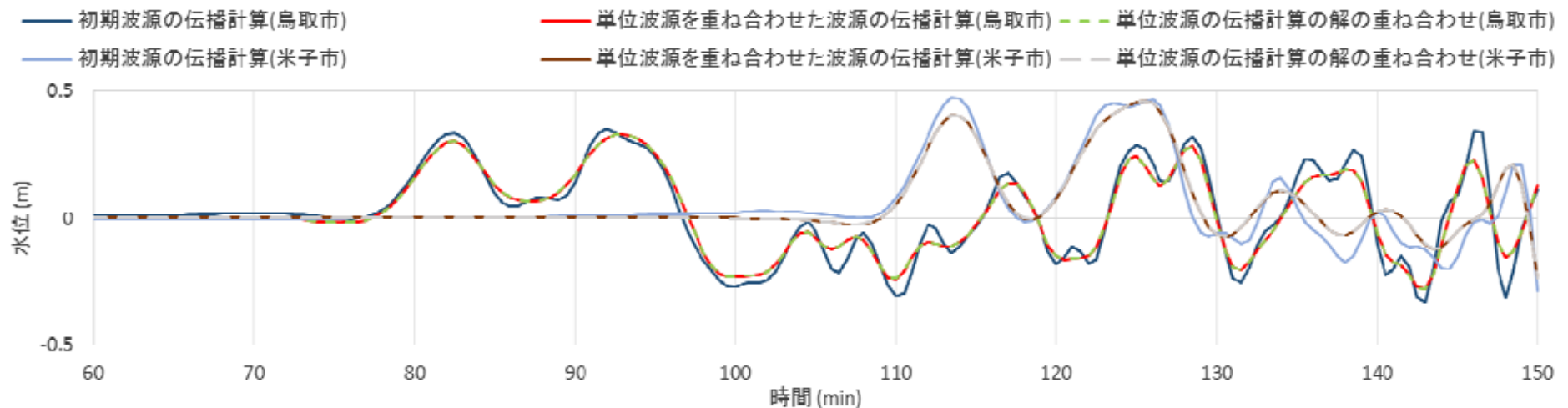
(1) 初期波源の伝播計算(通常の計算)



(2) 単位波源群の要素の解の重ね合わせ  
(3) 単位波源群伝播計算

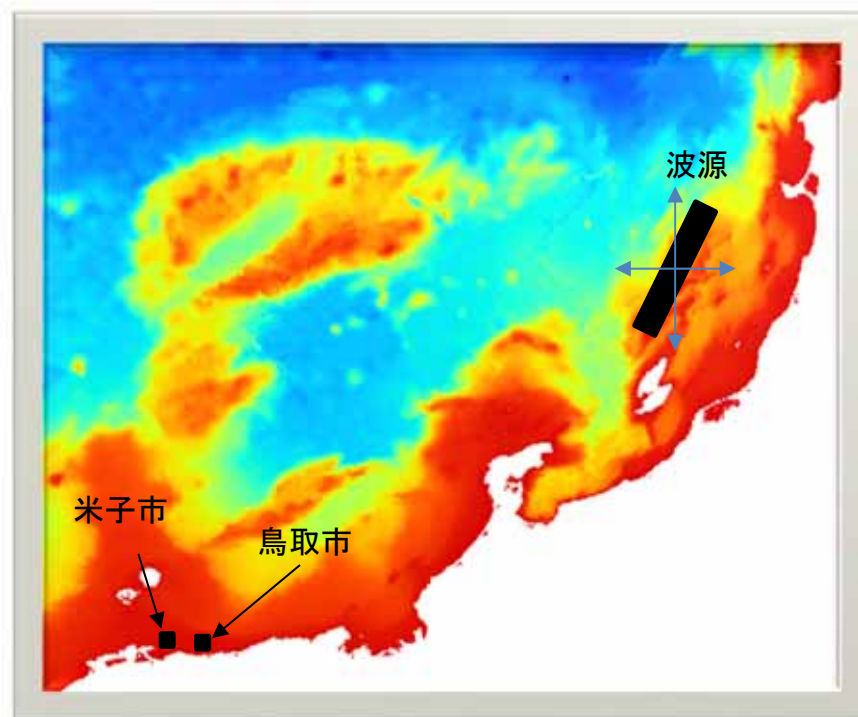


(2)と(3)の津波波形は完全に一致しなければならない

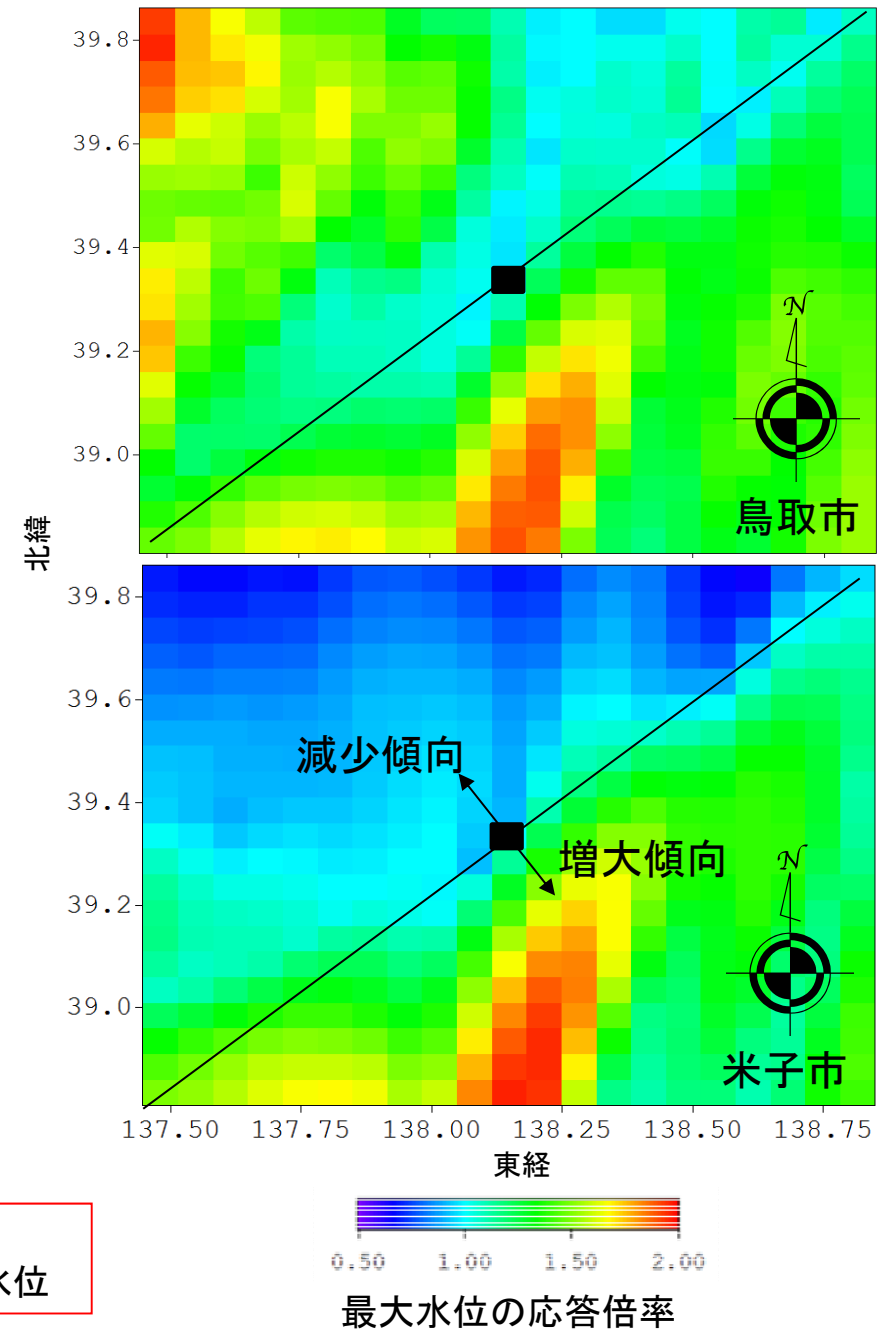


# 波源特性の分析

大きさや形状を変えずに単位波源群を平行移動  
 ➤ 波源位置の変化による応答の変化を考察



応答倍率の定義:  
 波源位置が変化した時の最大水位/波源初期位置での最大水位



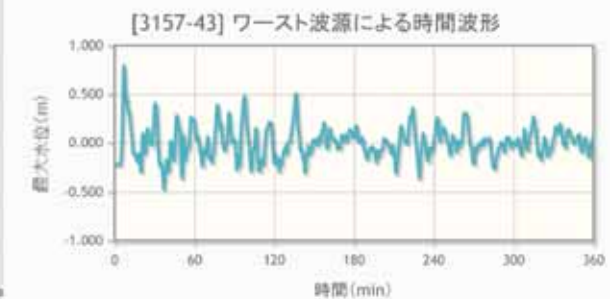
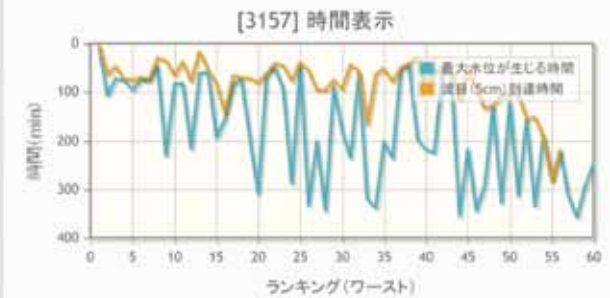
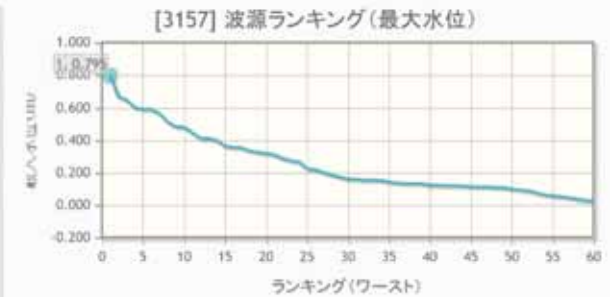
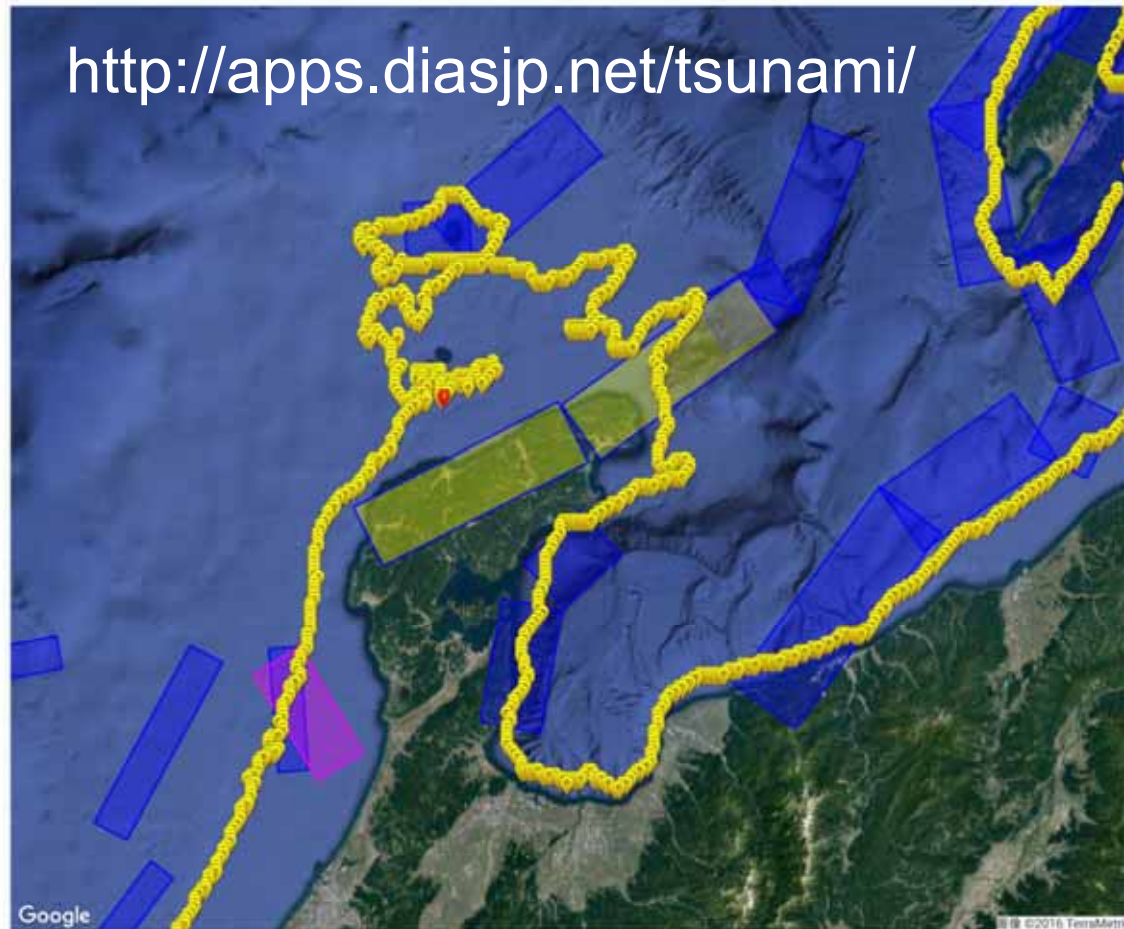
# まとめ

山中・佐藤・田島・下園・佐貫:線形ブシネスク理論に基づく高速津波計算システムの構築, 土木学会  
論文集B2(海岸工学), Vol. 7, No. 2, I\_206-I\_210, 2014

- 線形ブシネスク理論＋ガウス分布単位波源  
→ 任意地点の津波波形を高速に計算するシステム
- 波源の不確実性 ↔ 最大津波水位の確率分布  
→ 特定地点に最悪の被害をもたらす津波波源を、市町村レベルできめ細かく検討できる

| 2016  | 2017          | 2018           | 2019          | 2020                    |
|-------|---------------|----------------|---------------|-------------------------|
| 沿岸の津波 | 陸上氾濫の<br>確率分布 | 氾濫被害のリス<br>ク分析 | 被害軽減対<br>策の効果 | 日本海側にお<br>ける最適な<br>津波防災 |

<http://apps.diasjp.net/tsunami/>



## 断層パラメータ入力

| D 緯度(°) 経度(°) 深さ(km) 走向(°) 傾斜(°) すべり角(°) 長さ(km) 幅(km) すべり量(m) |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|---------------------------------------------------------------|--------|----------|-----|-----|----|----|----|----|---|
| 1                                                             | 37.061 | 136.5533 | 0.7 | 150 | 30 | 42 | 26 | 13 | 2 |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |
|                                                               |        |          |     |     |    |    |    |    |   |

