

カルマンフィルタによる津波データ同化方式の検討

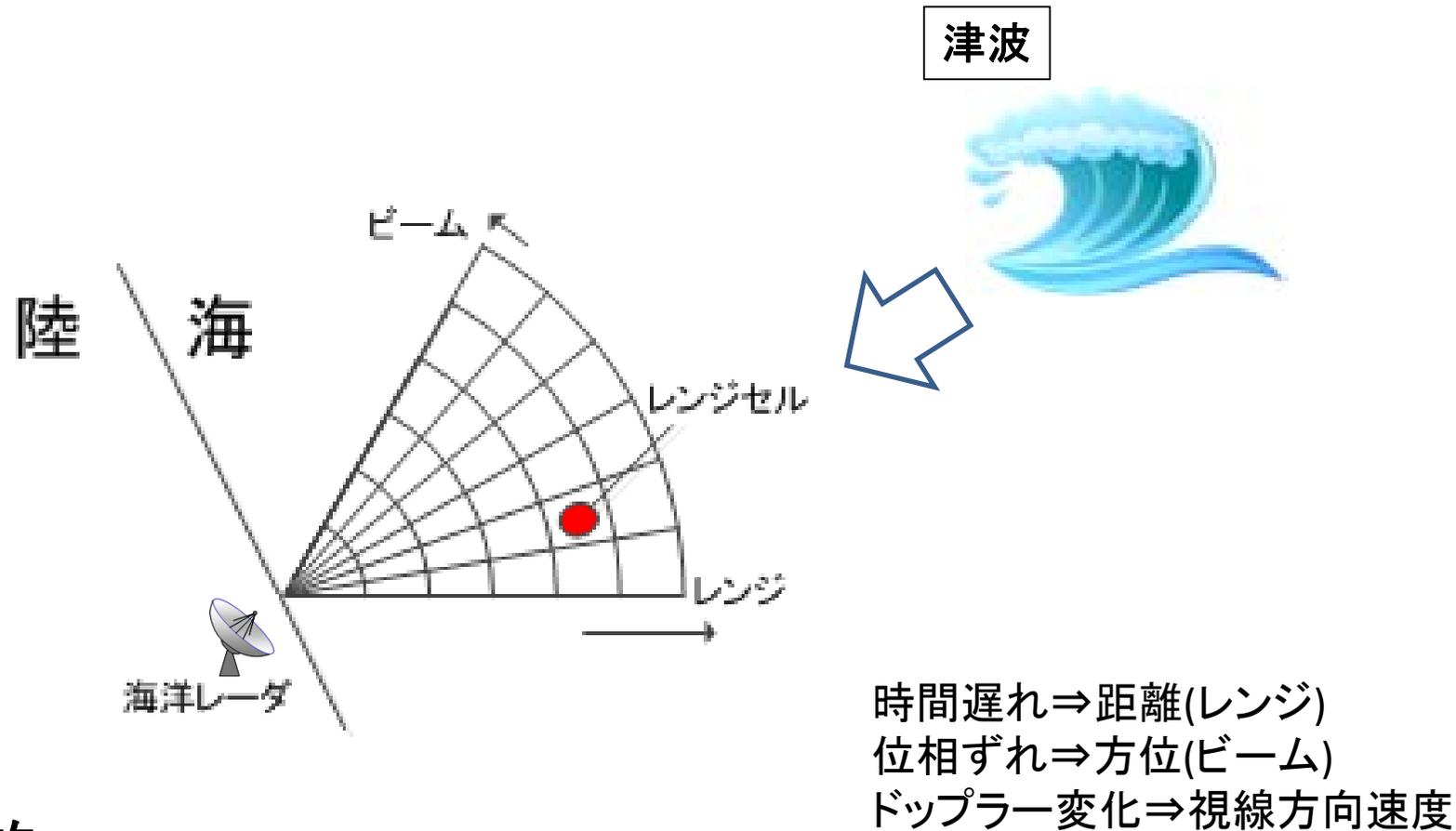
山田 哲太郎 石川 博章 永野 隆文 中西 孝行

磯野 泰三 有岡 俊彦 小幡 康

三菱電機株式会社

- 1.背景
- 2.課題と従来方式
- 3.提案方式
- 4.シミュレーション
- 5.まとめ

海洋レーダでは、レンジ・ビーム内の視線方向の流速を抽出できる。

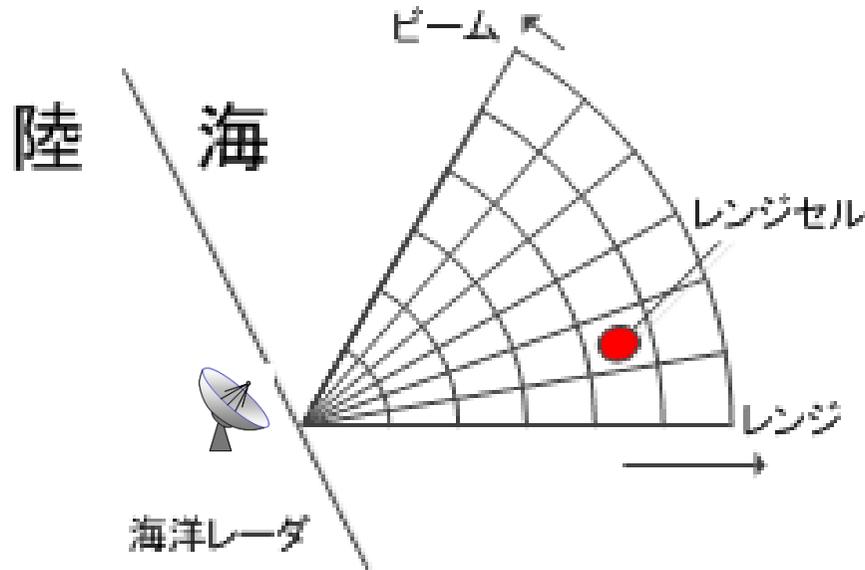


目的

津波の防災・減災を目的として、沿岸に設置したレーダを用いて津波の状態(流速値・波高値)を早期に正確に把握する。

1. 背景

海洋レーダを利用した津波の波高推定方式の処理構成と前提を示す。



前提

- ・短時間の観測
→流速の計測誤差が大きい

適用範囲

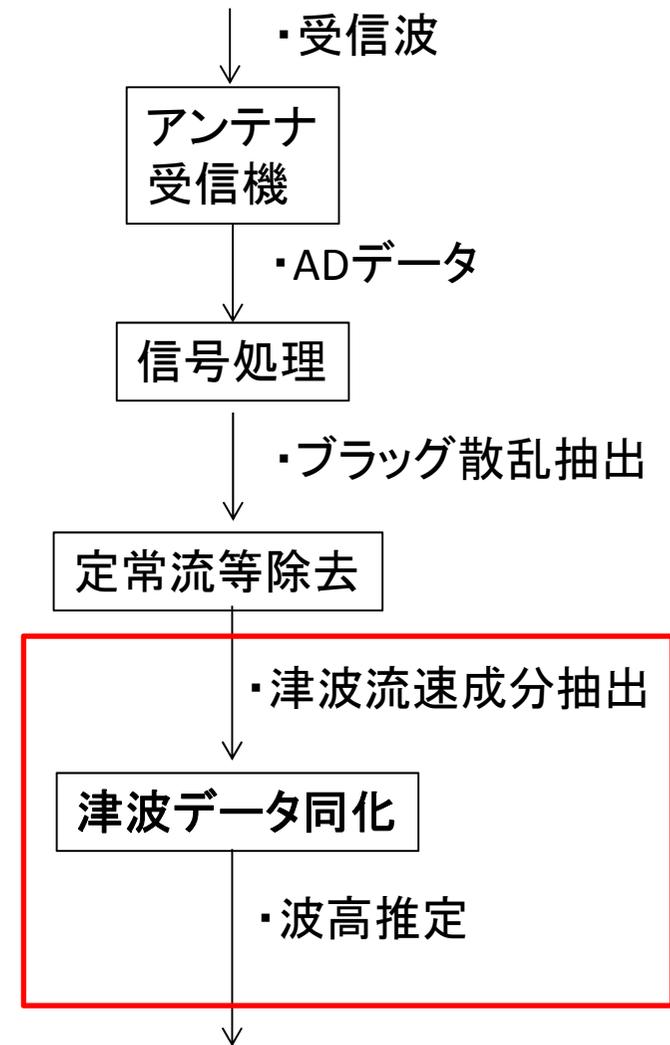


図 提案方式の適用範囲

津波の支配方程式(浅水方程式)を示す.

運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{\frac{7}{3}}} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{\frac{7}{3}}} = 0$$

t : 時間
 x, y : 距離
 M, N , 流量
 η : 波高
 D : 全水深
 g : 重力加速度
 n : マニング係数

連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

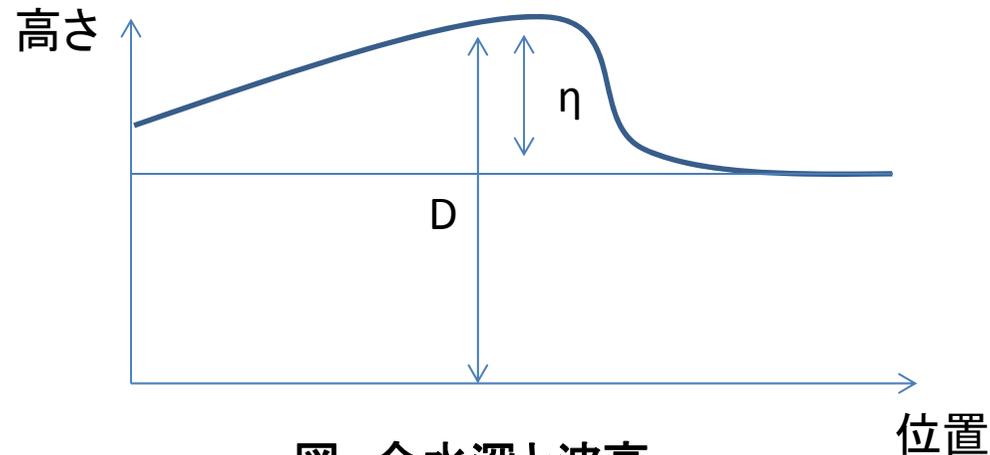


図 全水深と波高

[従来技術] 微分方程式による波高値の算出方式. 沿岸に設置した津波計と単体のレーダで覆域内の沖合の波高値を算出することができる.

レーダビーム毎に線形1次元浅水方程式(運動方程式)を適用

流速値の時間差 \downarrow 波高値の空間差(波高差 $\Delta\eta$)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0$$

$$\eta_{x_d} = \eta_0 + \int_{x_0}^{x_d} -\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} dx$$

t : 時間
 x : 距離
 v : 流速
 η : 波高
 g : 重力加速度

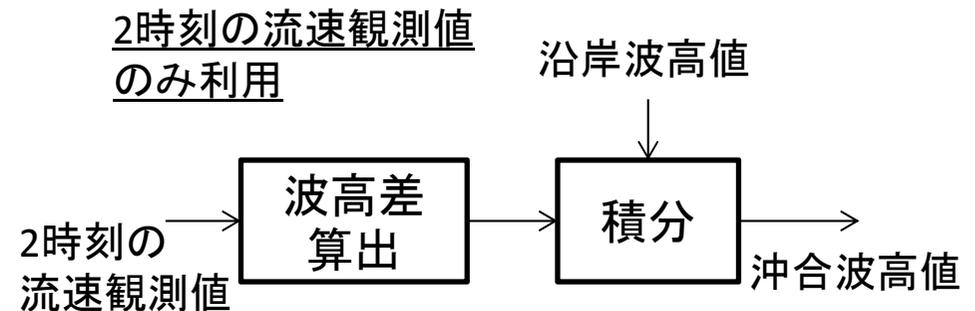
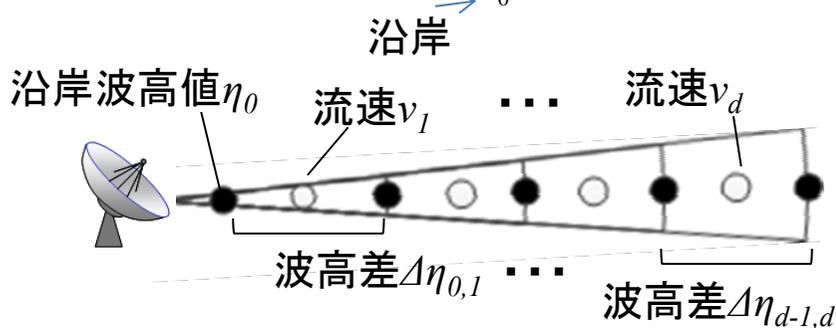


図 従来方式の処理ブロック

課題

レーダの観測誤差を考慮すると、レンジセル毎の流速値を沖合方向に積分するため、波高推定の誤差が大きい(誤差が積算する)

3. 提案方式

津波の運動モデルとレーダで得られる流速観測値をカルマンフィルタを用いて統合する方式を提案する。

【カルマンフィルタによる津波データ同化方式】

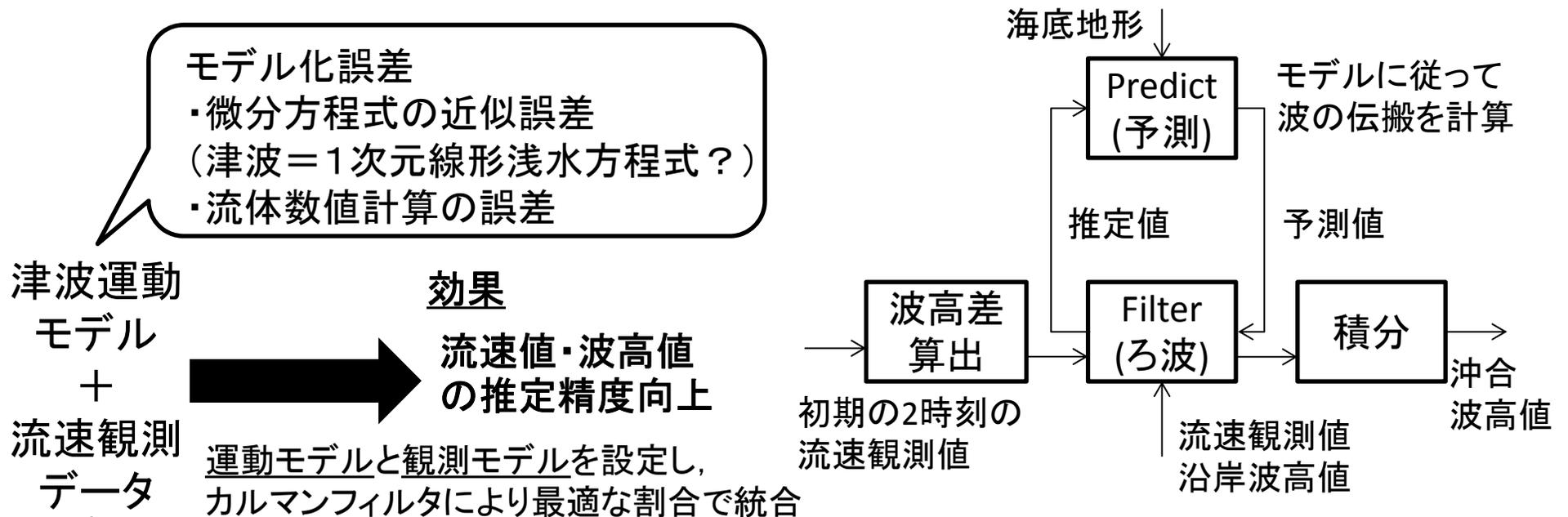


図 提案方式の処理ブロック

センサ(レーダ)誤差

- ・熱雑音による誤差
- ・サンプリングに起因する誤差

従来方式は2時刻の流速値の情報しか使わないが、提案方式は過去の流速値の全情報を用いて波高値を推定するため推定精度が向上する。

運動方程式と連続式によるPredict(予測)とFilter(ろ波)について説明する。

流速・波高差(流速の時間変化)を状態ベクトルに持つカルマンフィルタ

運動方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0$$

流速値は？

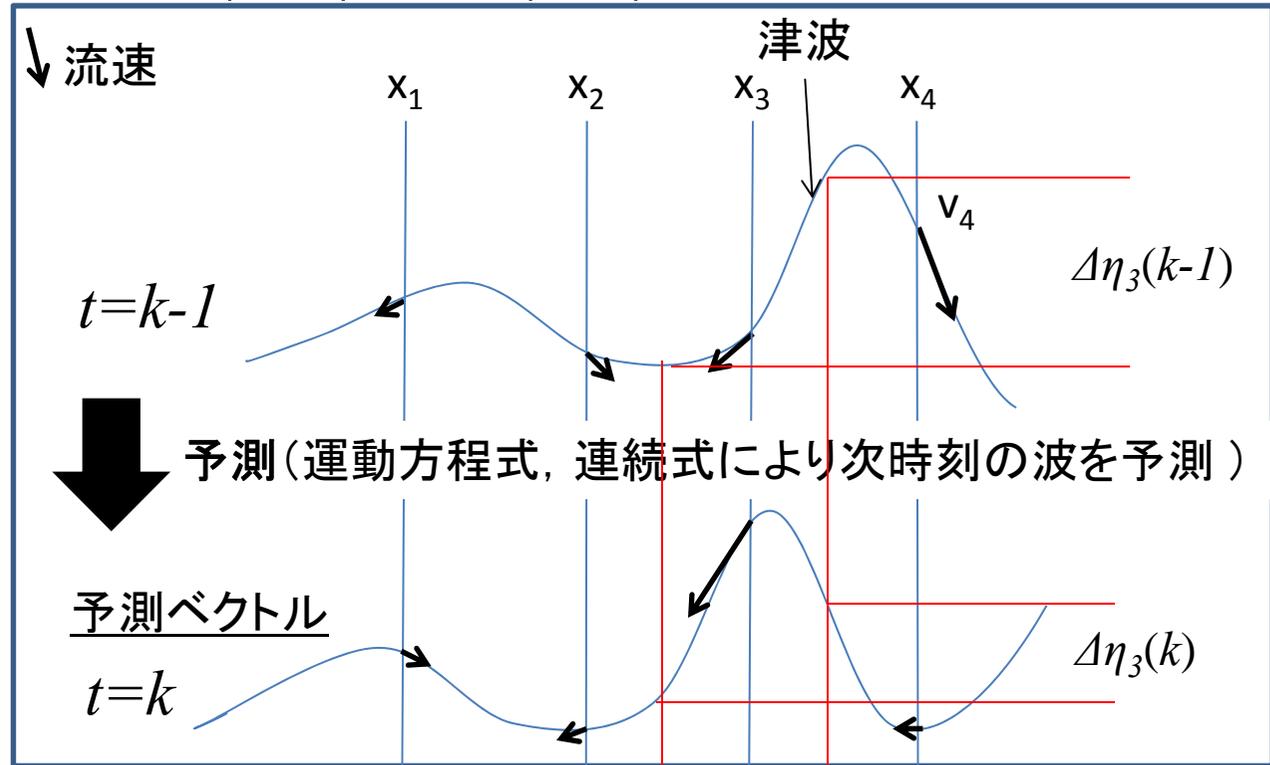
連続式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 v h}{\partial x^2} = 0$$

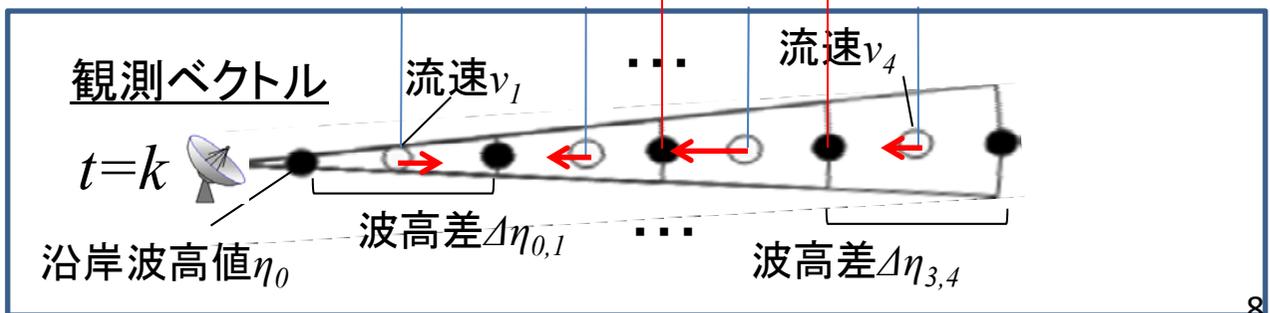
波高差は？

Predict(予測)とFiltering(ろ波)を繰り返すことで、誤差を抑圧できる。

t: 時間 x: 距離
v: 流速 η: 波高
g: 重力加速度
h: 水深



ろ波(予測ベクトルと推定ベクトルを誤差分布に応じて統合)



3. 提案方式

津波の伝搬の様子と提案方式の
沖合波高値算出のフローを示す。

① 初期値設定

運動方程式より2時刻の流速値
から波高差の初期値を設定

② 予測・ろ波

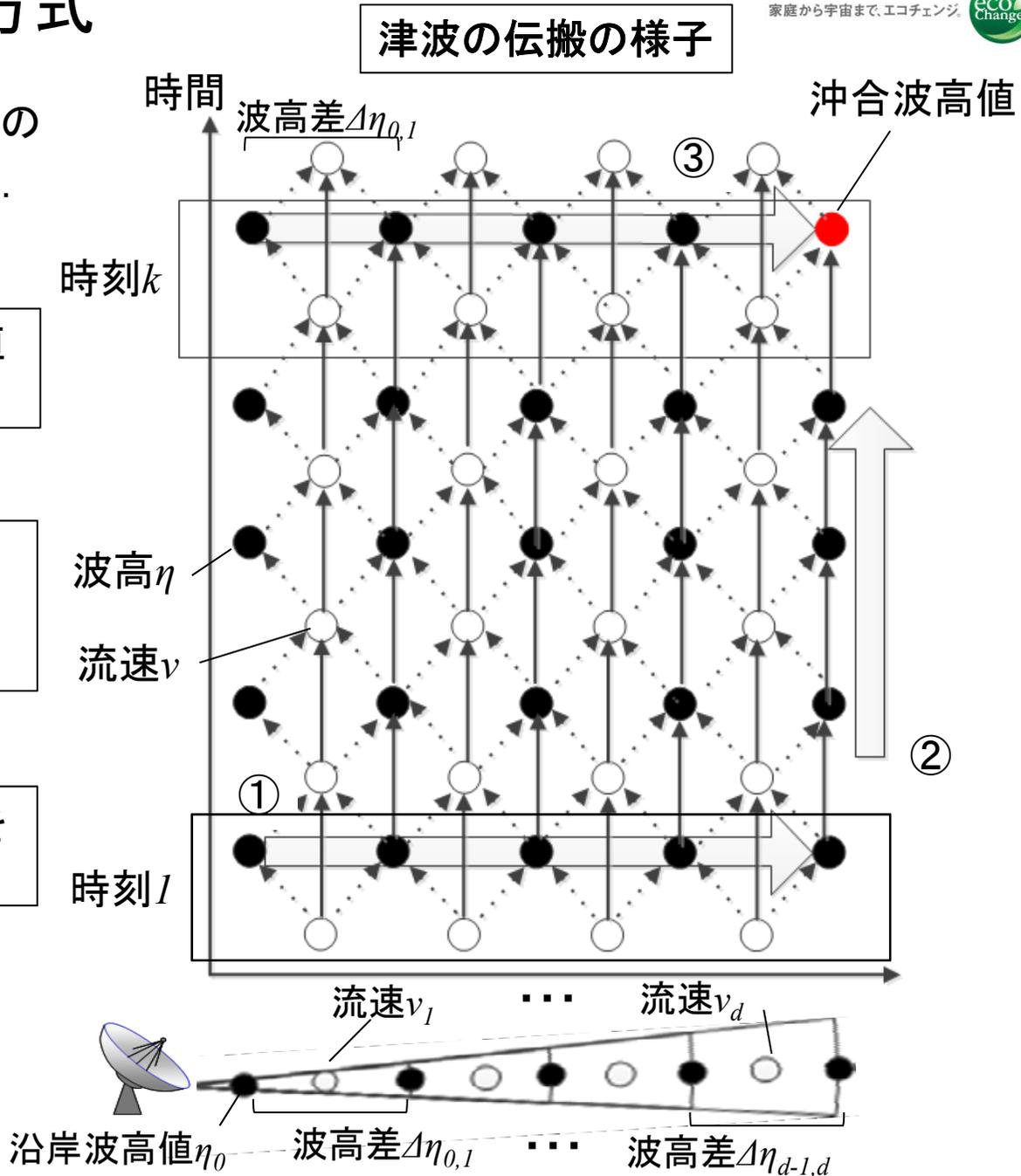
沿岸波高値・波高差に対して、
カルマンフィルタを用いて
予測とろ波を繰り返す

③ 積分

推定した沿岸波高値・波高差を
沖合方向に加算

沖合波高値

図 提案方式のフロー



3. 提案方式

津波の伝搬の様子と提案方式の
沖合波高値算出のフローを示す。

① 初期値設定

運動方程式より2時刻の流速値
から波高差の初期値を設定

② 予測・ろ波

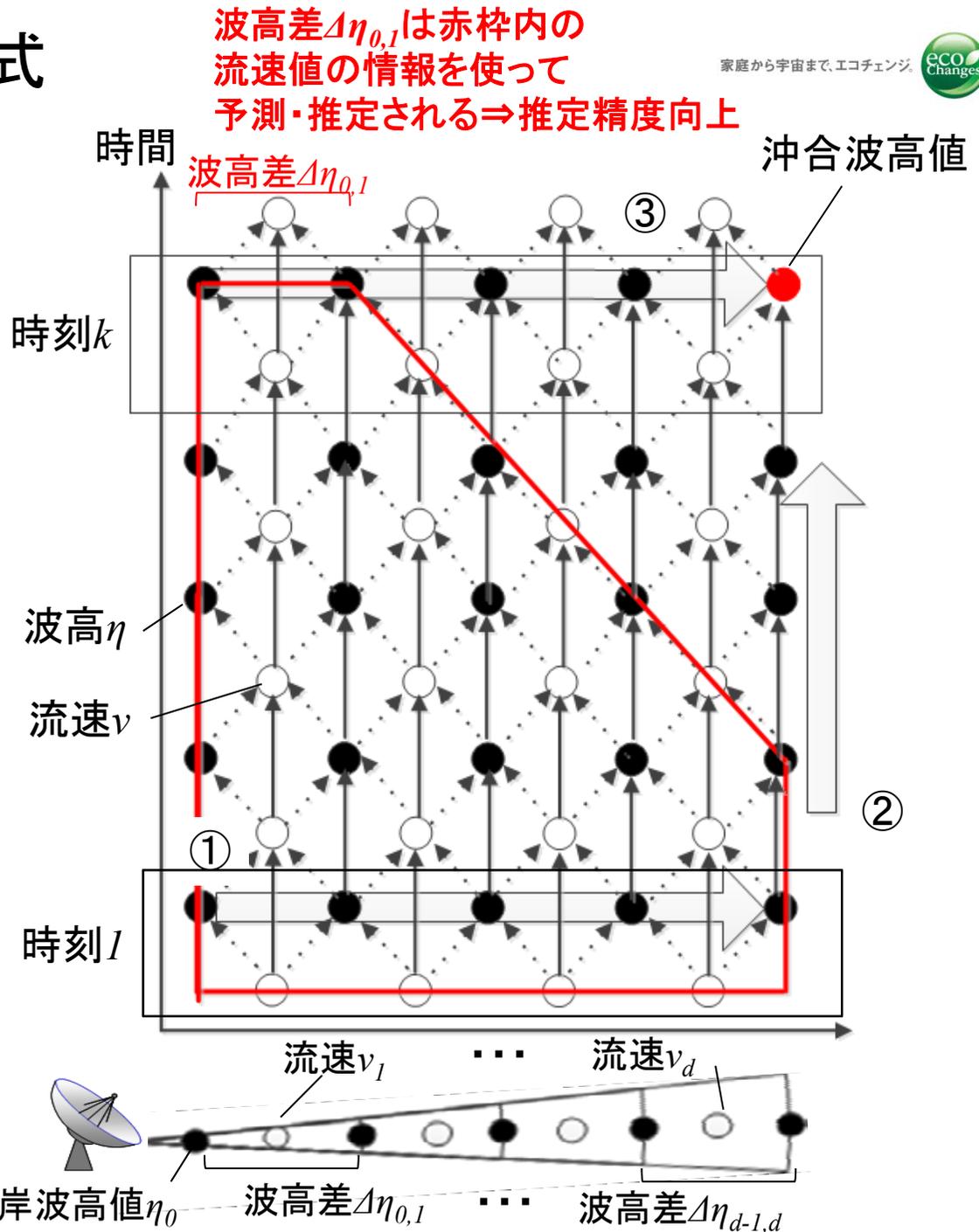
沿岸波高値・波高差に対して、
カルマンフィルタを用いて
予測とろ波を繰り返す

③ 積分

推定した沿岸波高値・波高差を
沖合方向に加算

沖合波高値

図 提案方式のフロー



1次元の津波シミュレーションを用いた原理検証を示す。

シナリオ
50km遠方に初期波高
1mの津波を発生。
津波は1次元の線形浅
水方程式に従うとした。

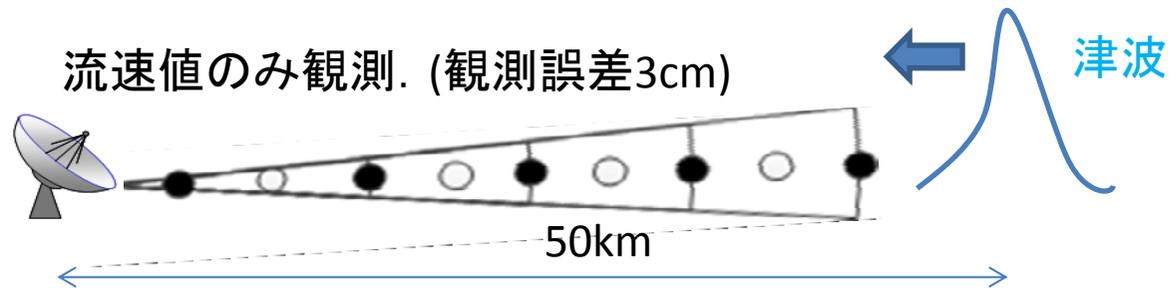


表 シナリオ1の詳細パラメータ

	単位	記号	シナリオ1
レンジビン間距離	m	Δx	1500
レンジビン数		d	33
サンプリング間隔	s	Δt	20
水深	m	h	1000 (一定)
流速観測誤差 (標準偏差)	m/s	r_v	0.03

1次元の津波シミュレーションに対する提案方式の推定結果を示す。

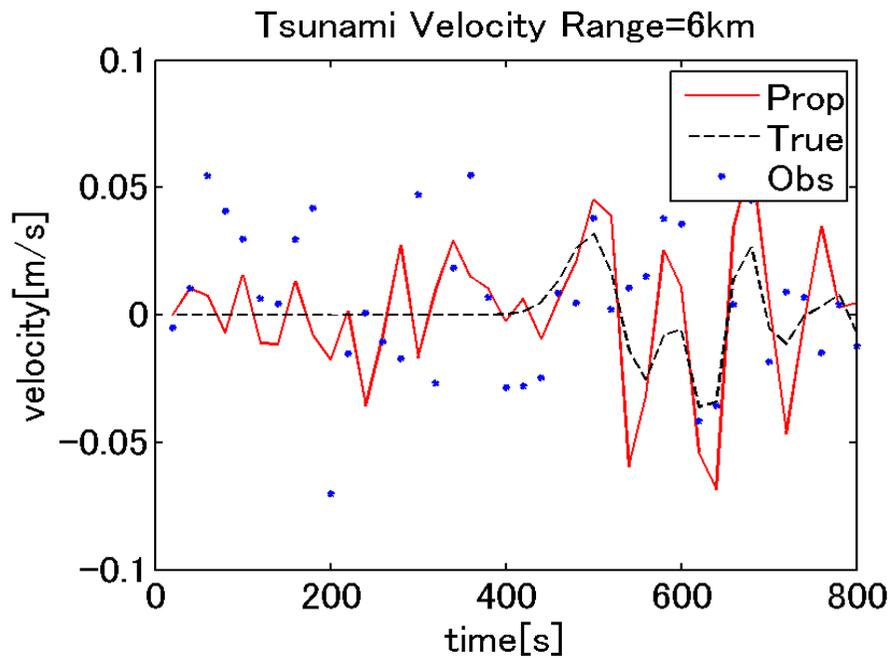


図 真の流速値と推定値(近距離)

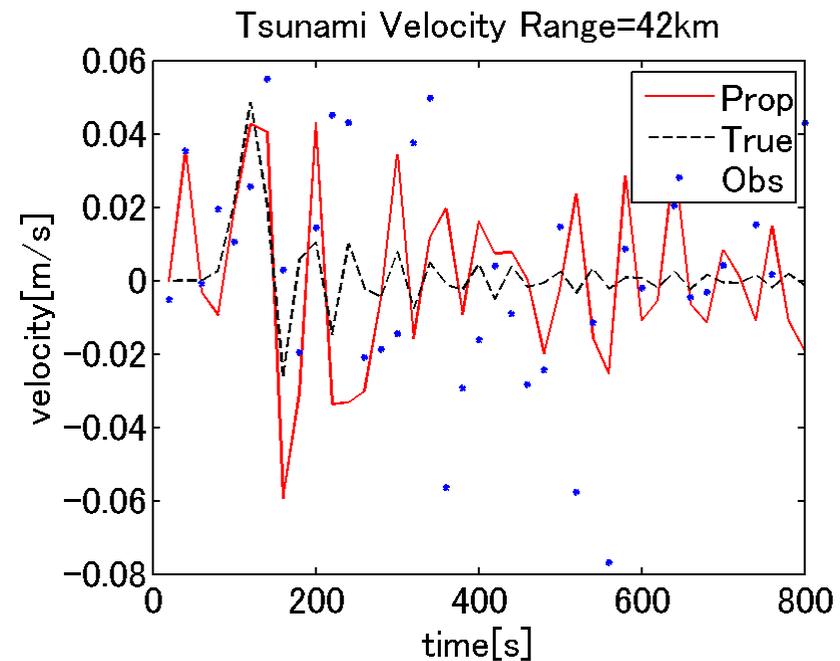


図 真の流速値と推定値(遠距離)

1次元の津波シミュレーションに対する提案方式の推定結果を示す。

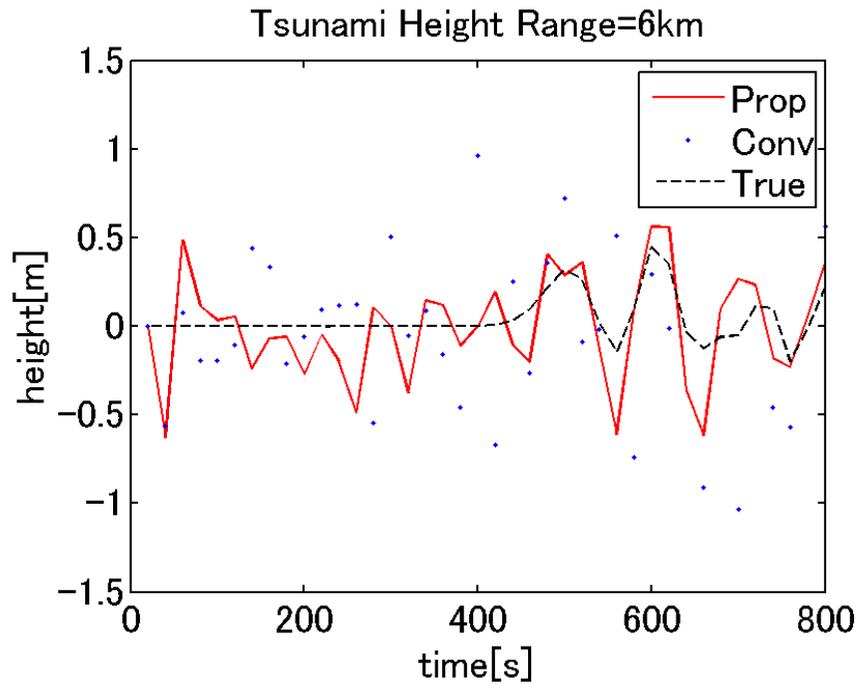


図 真の波高値と推定値(近距離)

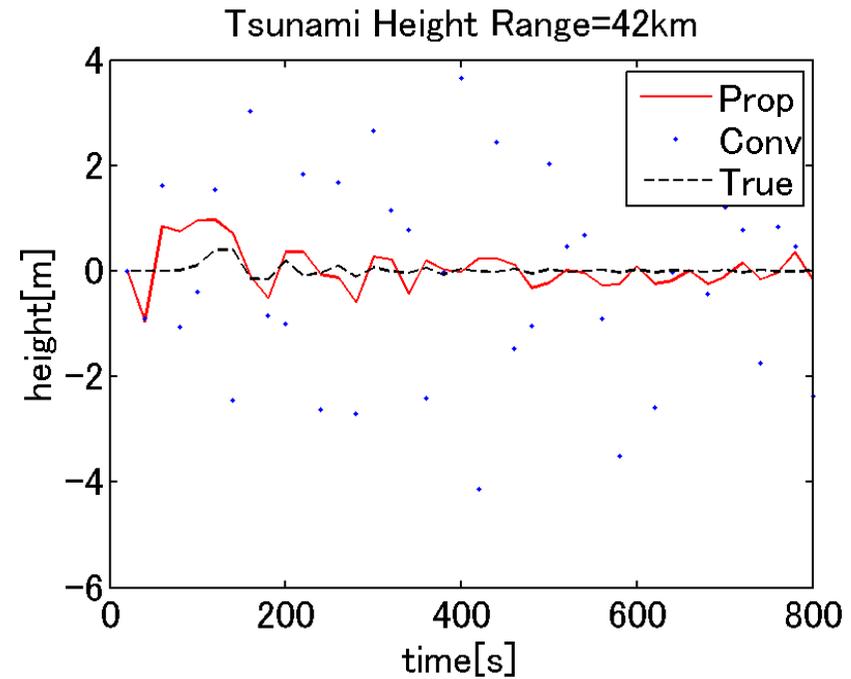


図 真の波高値と推定値(遠距離)

1次元の津波シミュレーションに対する提案方式の推定結果を示す。

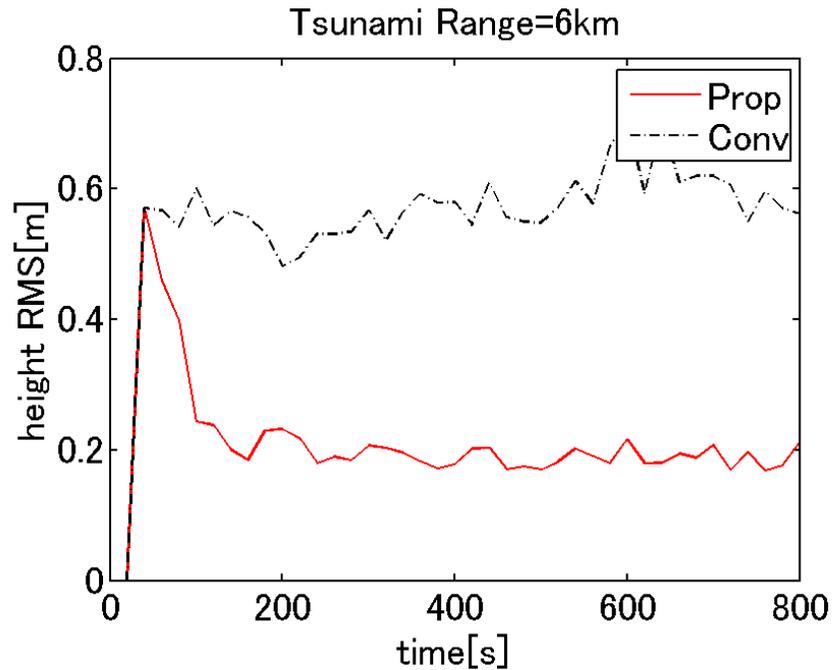


図 波高推定値の誤差RMS(近距離)

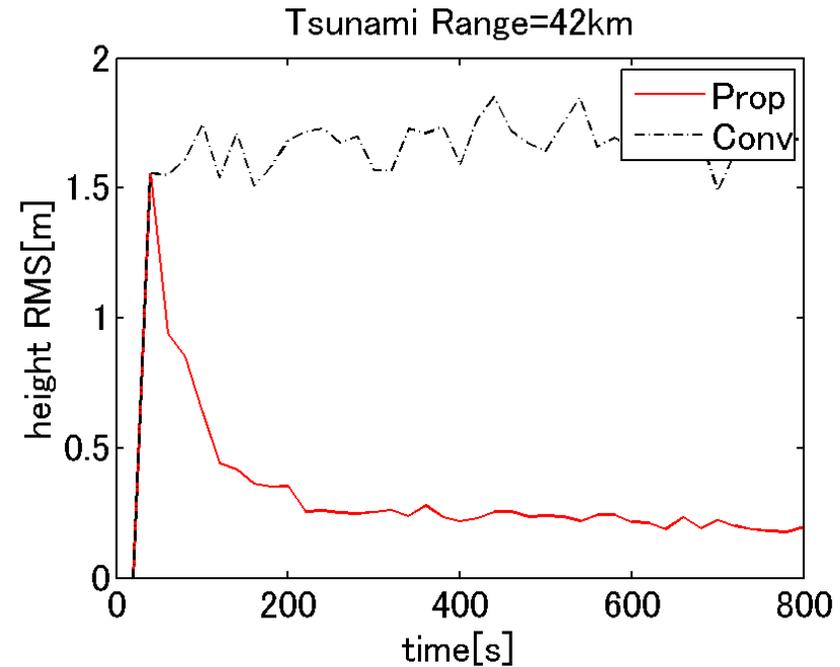


図 波高推定値の誤差RMS(遠距離)

RMS: Root Mean Square

4. シミュレーション(2次元津波モデル)

南海トラフの巨大地震モデルにおける津波シミュレーション※の結果を示す。

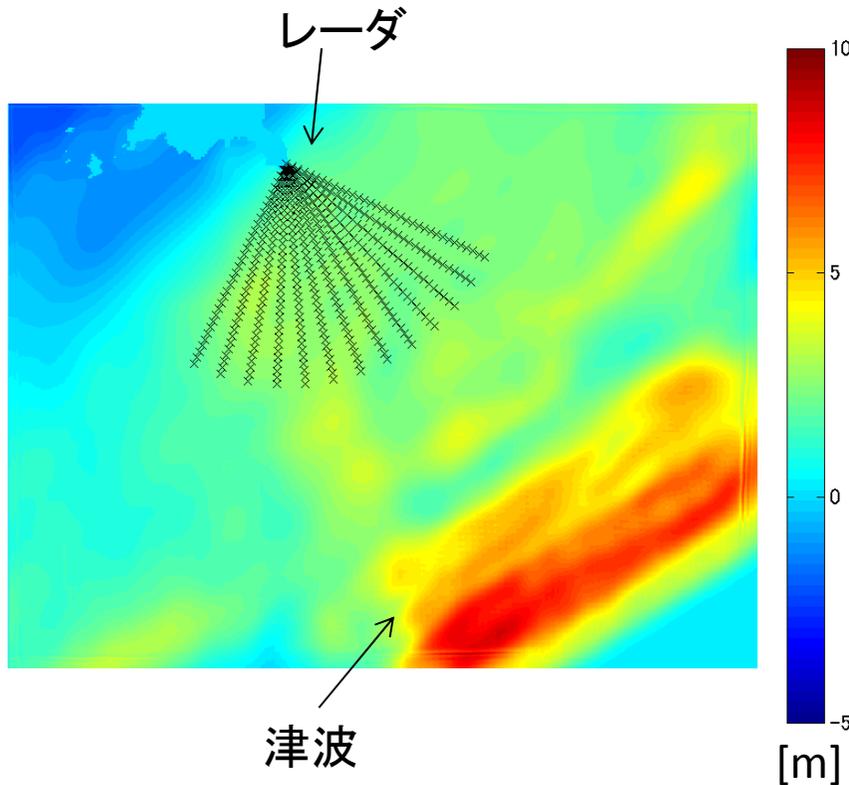


表 シナリオ2のパラメータ

	単位	記号	シナリオ2
レンジビン間距離	m	Δx	1500
レンジビン数		d	33
サンプリング間隔	s	Δt	40
水深	m	h	90~1000
流速観測誤差 (標準偏差)	m/s	r_v	0.05

図 南海トラフの巨大地震モデルにおける津波

※内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会

<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/> (2014年12月24日)

4. シミュレーション(2次元津波モデル)

南海トラフの巨大地震モデルにおける津波シミュレーション※の結果を示す。

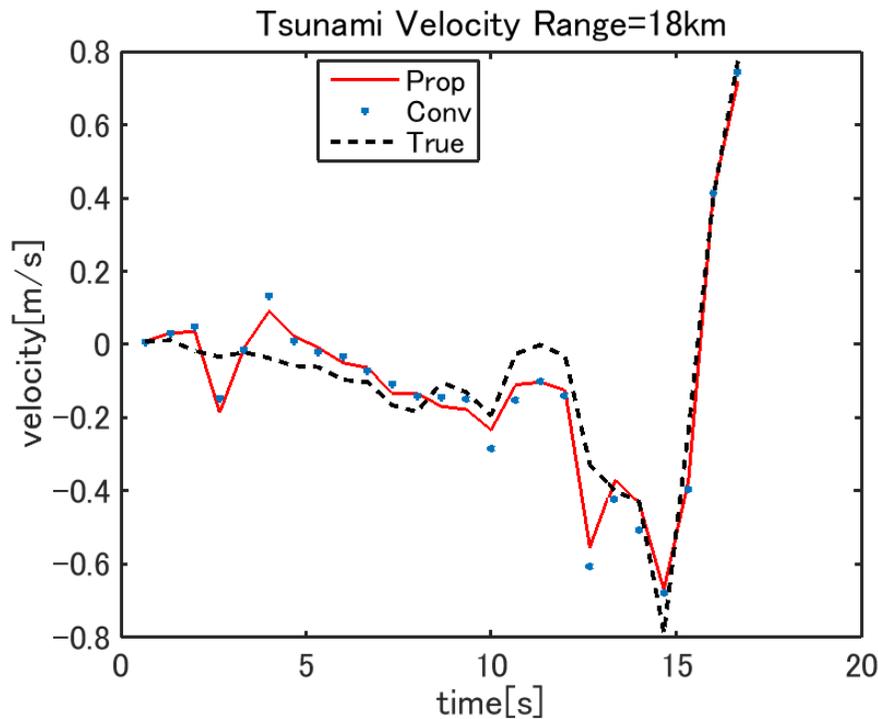


図 真の流速値と推定値(近距離)

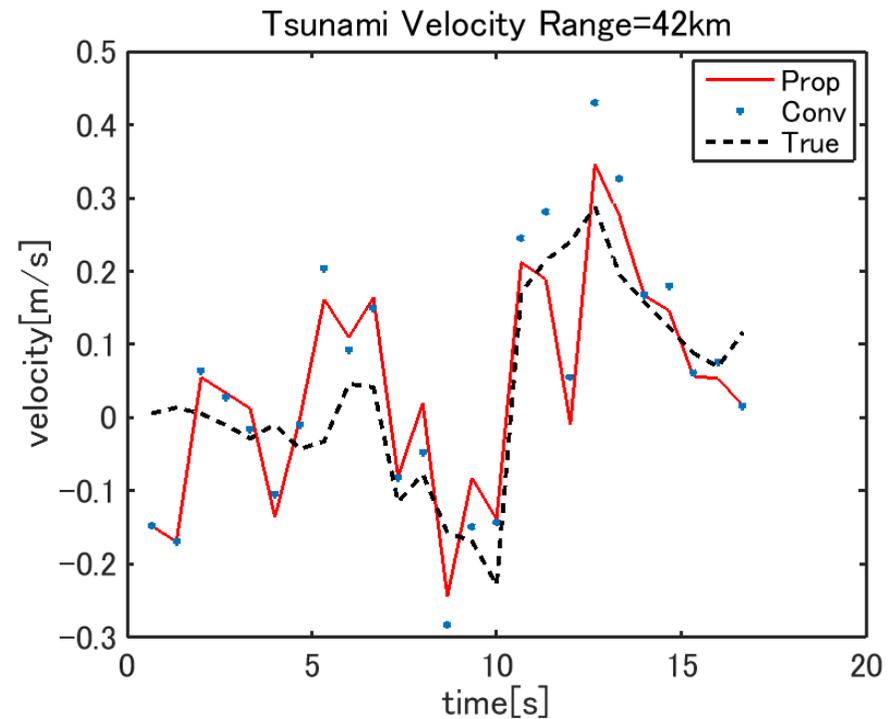


図 真の流速値と推定値(遠距離)

※内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会

<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/> (2014年12月24日)

4.シミュレーション(2次元津波モデル)

南海トラフの巨大地震モデルにおける津波シミュレーション※の結果を示す。

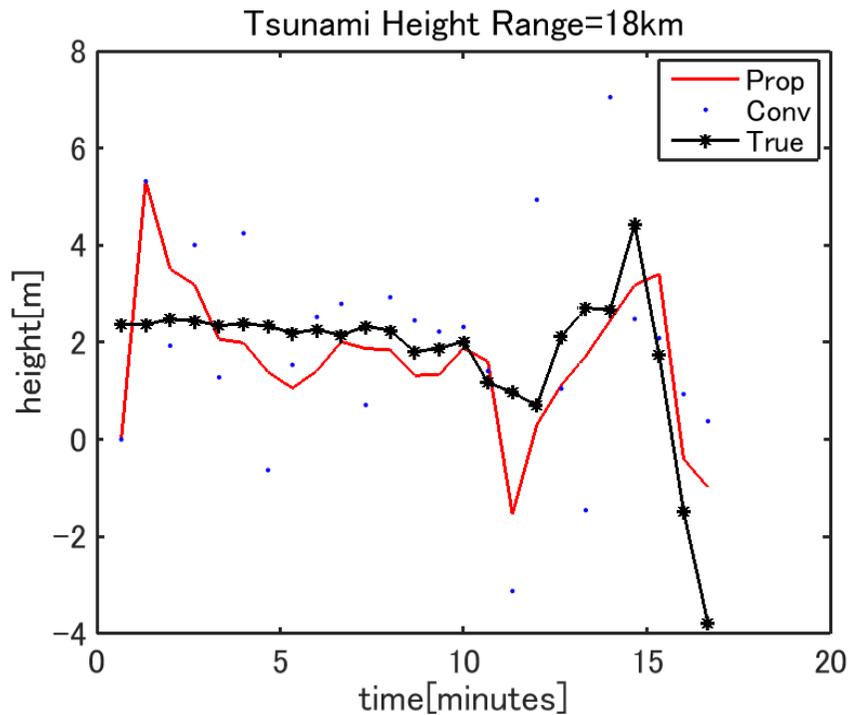


図 真の波高値と推定値(近距離)

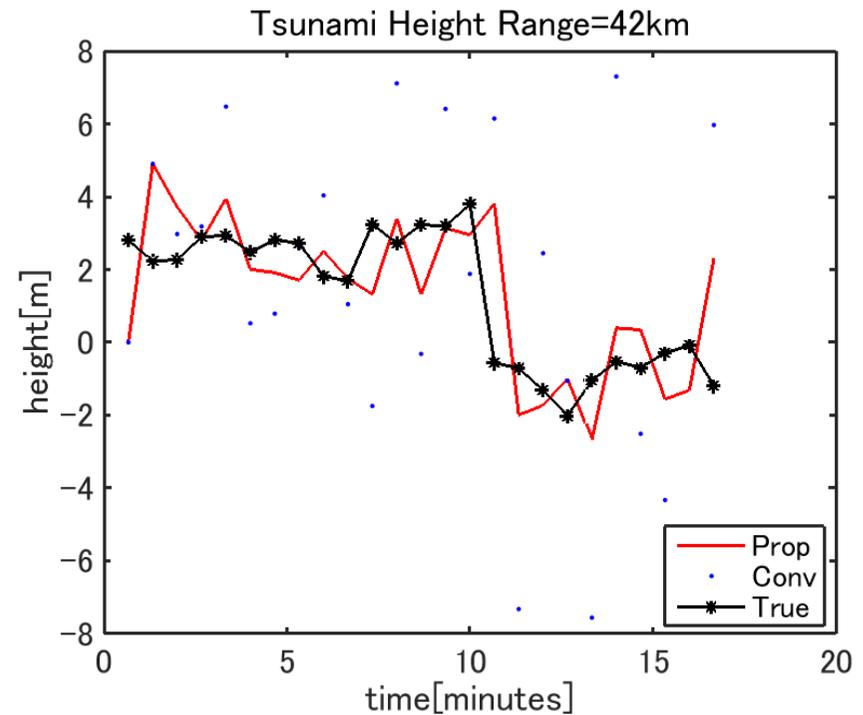


図 真の波高値と推定値(遠距離)

※内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会

<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/> (2014年12月24日)

レーダの流速観測値を用いた津波データ同化方式を検討。

・南海トラフの巨大地震モデルに対して、提案アルゴリズムの評価を行ったところ、流速値のフィルタリング効果と、従来方式と比較して波高値の推定精度向上を確認した。

今後

- ・アルゴリズムの改良
- ・実データ検証