

海洋レーダを用いた津波波面推定方式の検討

2016/12/14

山田 哲太郎・小幡 康・亀田 洋志・小柳 智之・川相 隆・有岡 俊彦
三菱電機株式会社

- 1.背景
- 2.課題
- 3.提案方式
- 4.シミュレーション評価
- 5.まとめ

1.背景(カルマンフィルタによる津波データ同化方式の検討(2015))

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検討※している。

【カルマンフィルタによる津波データ同化方式】

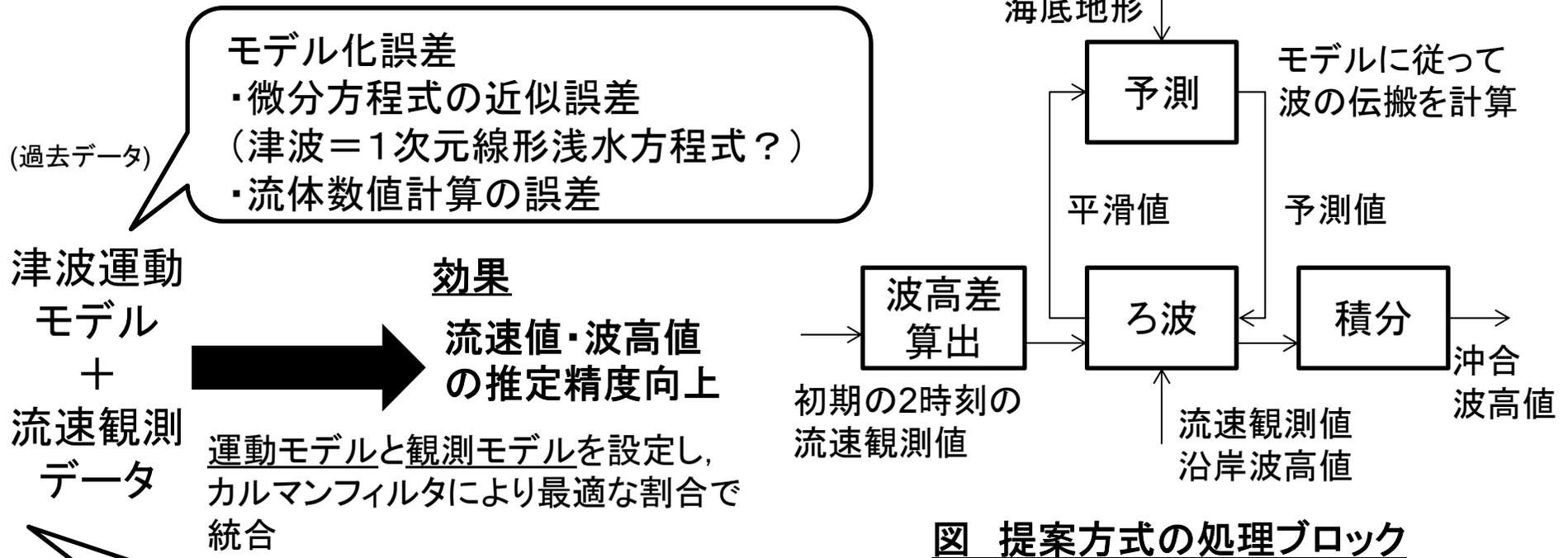


図 提案方式の処理ブロック

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波高推定精度が向上する。

海洋レーダの原理と海洋レーダを用いた津波検出の課題を説明する。

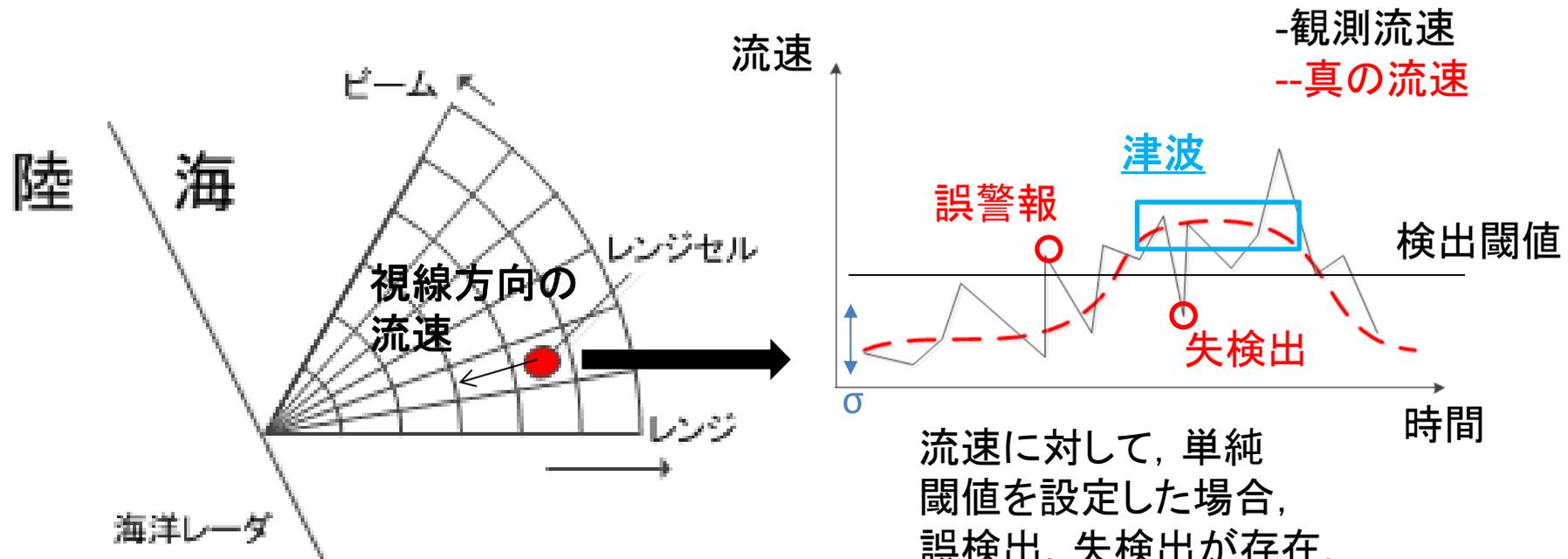
原理

時間遅れ⇒距離(レンジ)
位相ずれ⇒方位(ビーム)
ドップラー変化⇒流速

課題

- ・観測誤差(計測誤差)
- ・可観測性

(レーダでは視線速度のみ計測可能)



流速に対して、単純
閾値を設定した場合、
誤検出、失検出が存在。

従来	流況, 波浪観測	(サンプリング長⇒エネルギー大)
提案	津波観測	(サンプリング短⇒エネルギー小⇒誤差大)

提案方式の処理フローを示す。

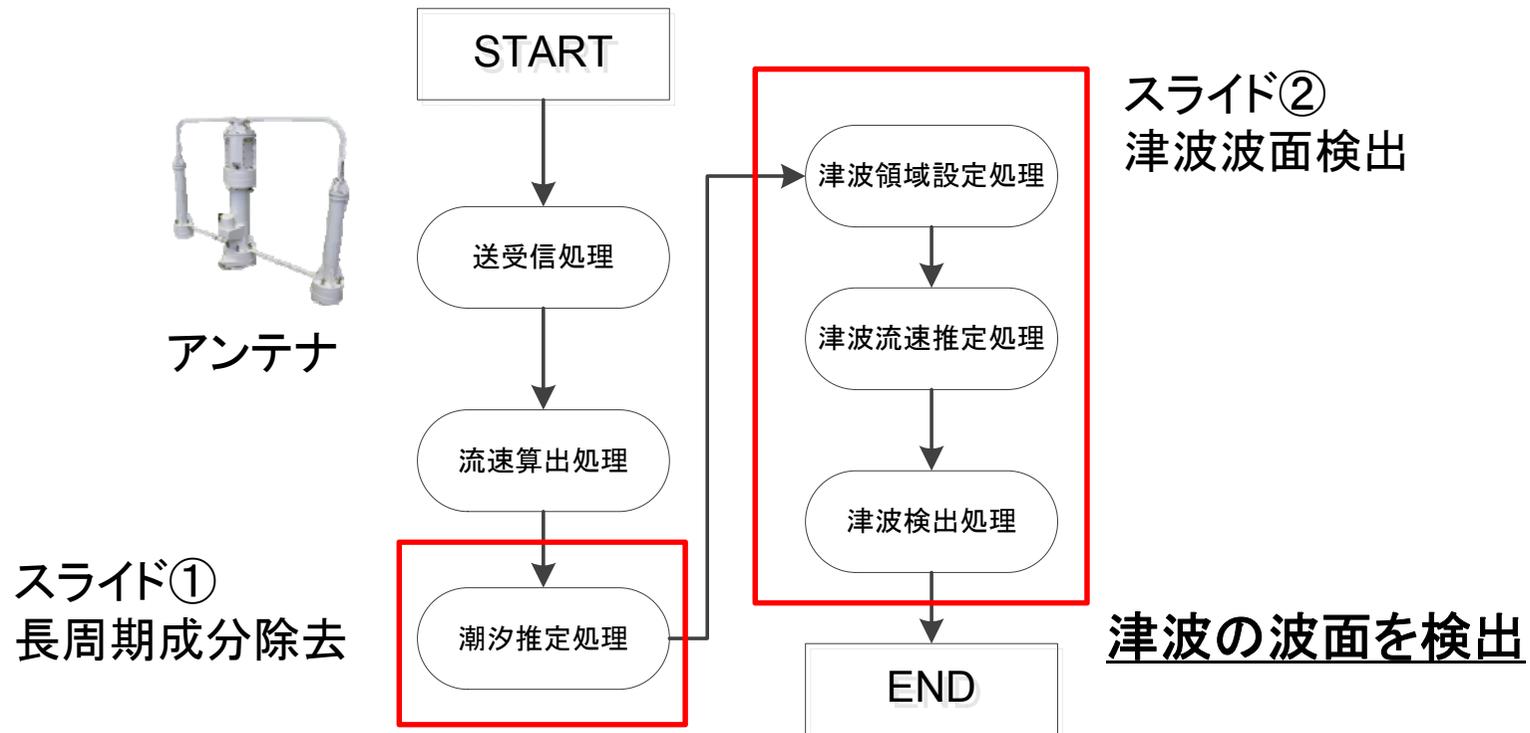
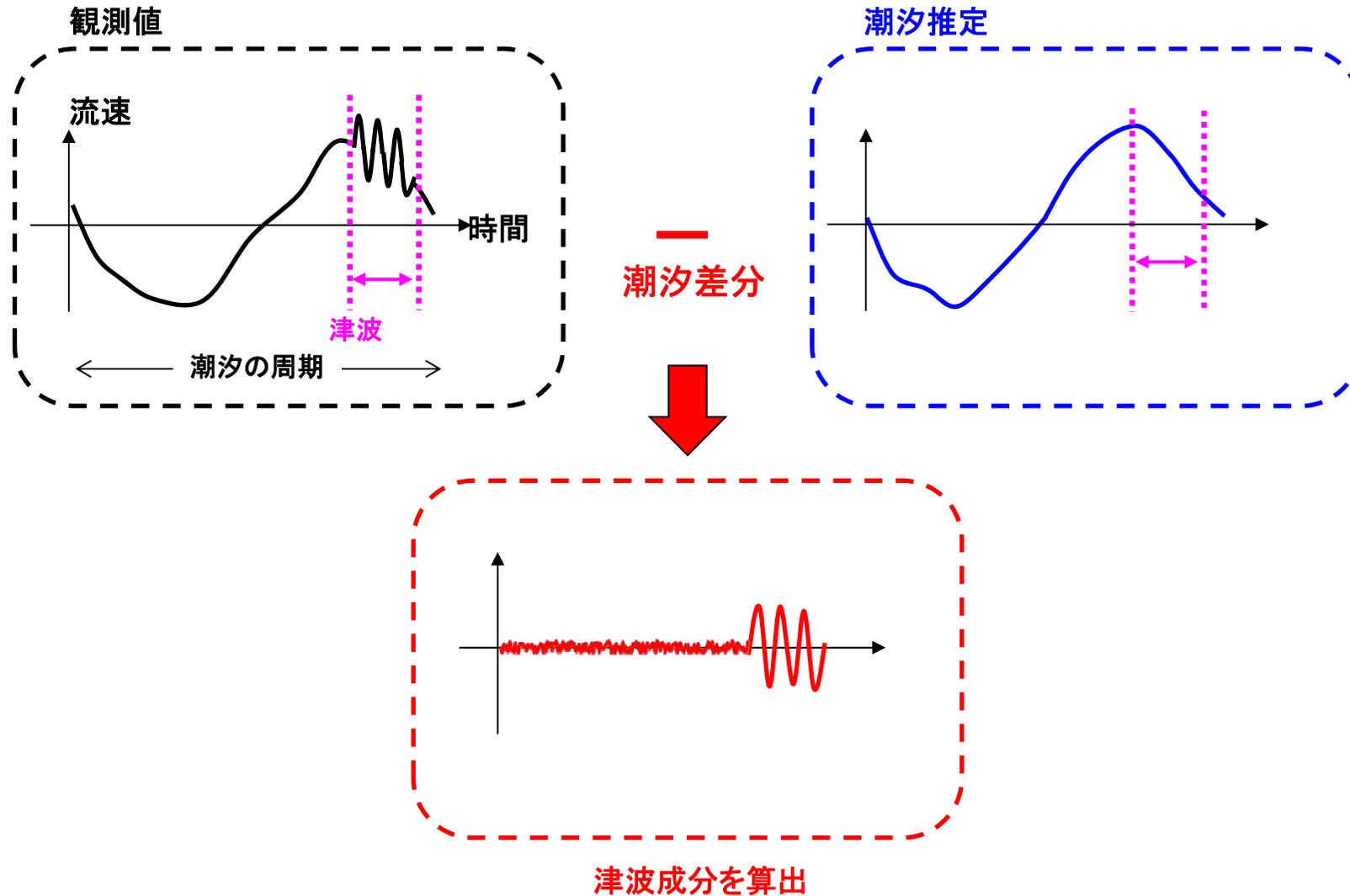


図 提案方式の処理フロー

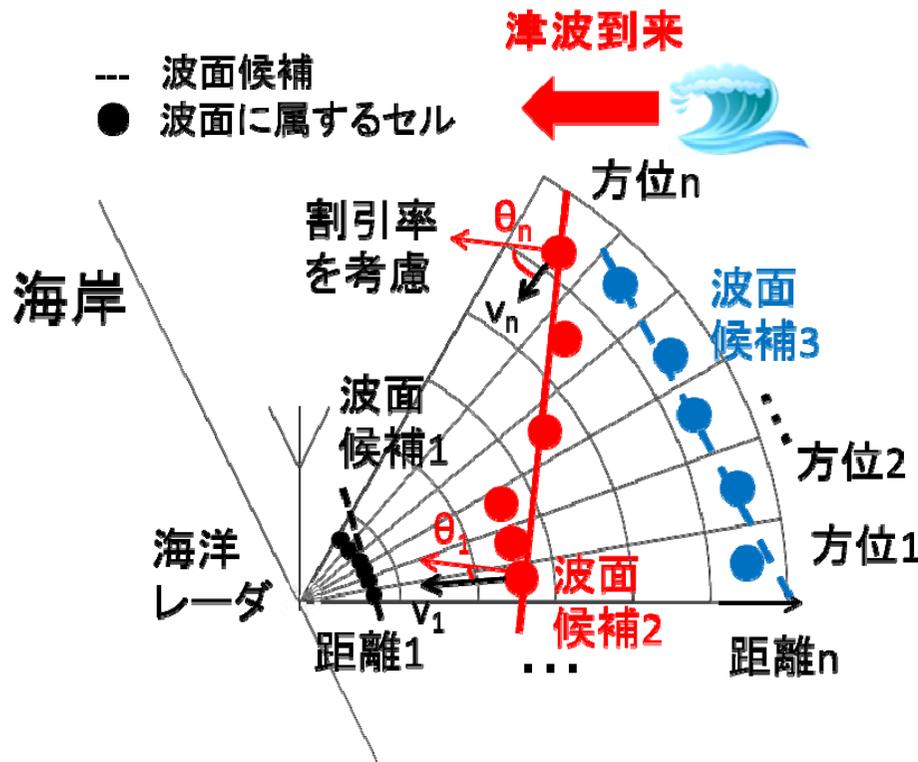
3.提案方式(潮汐推定①)

潮汐(長時間のトレンド成分)を推定し、潮汐成分を差し引くことで、津波成分のみを抽出する。



3.提案方式(津波波面推定②)

津波は流速(流量)が大きい領域が波面として到来するため、津波波面を探索しながら、津波を検出する方式を検討する。



アルゴリズム概略

1. 波面候補を複数(1,2,3...)仮定
2. 波面に属するセルを抽出
3. 波面に属するセルの流速を波面の向きを考慮して*積分
4. 最大流速となる波面の積分流速を閾値判定

*波面と直交するドップラー速度を重視し、波面と並行なドップラー速度は低い重みとする。

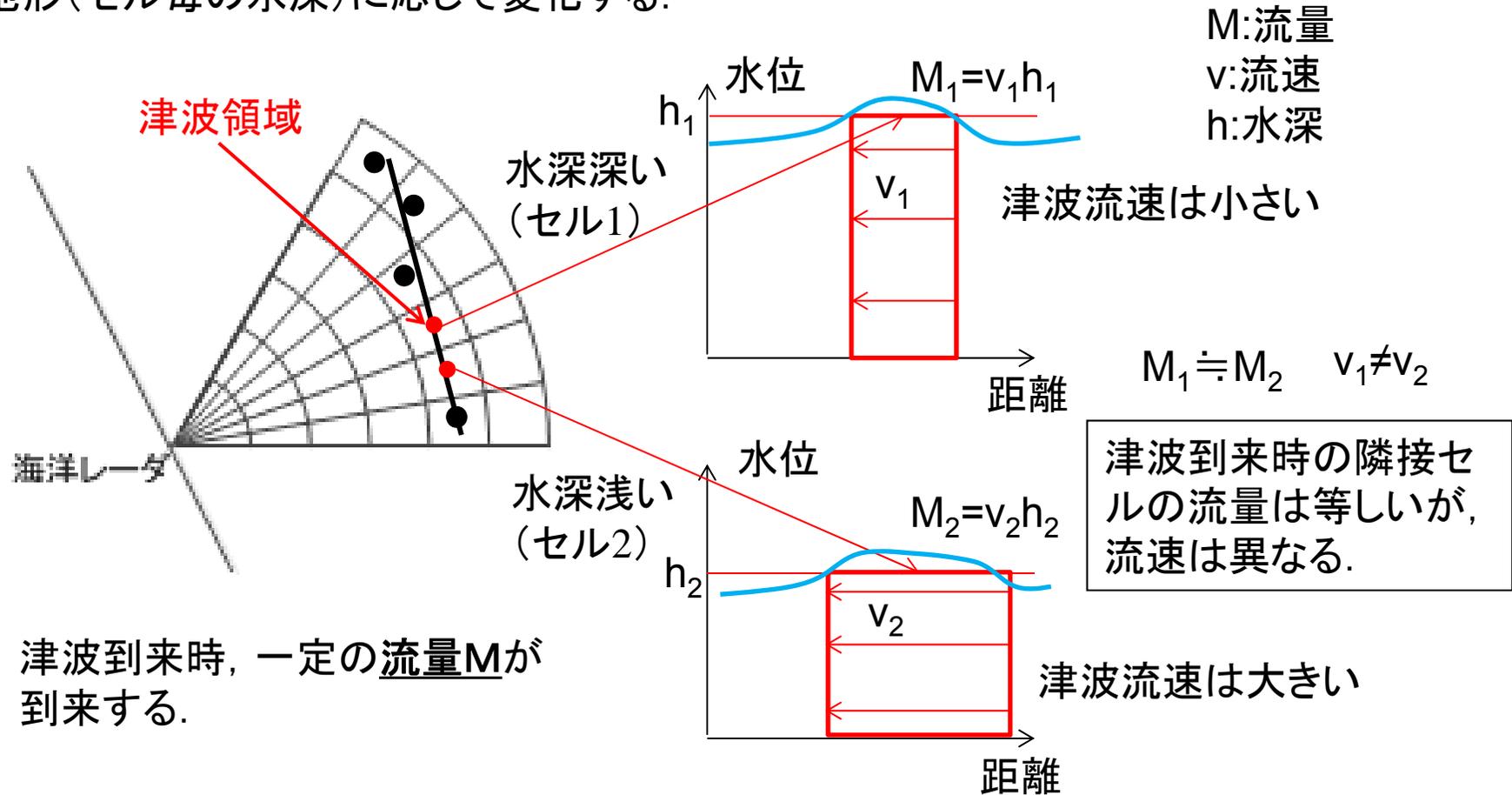
$$v_i^{est1} = \sum_{j \in D_i} v_j \cos \theta_j$$

効果

- ・波面上の複数セルの情報を用いて津波を検出するため、検出性能が向上。
(津波の視認性向上, 誤警報の低減)

3.提案方式(津波波面推定②)

津波とは一定の流量が伝搬する現象である。ただし、セル毎に観測される流速は海底地形(セル毎の水深)に応じて変化する。



水深に応じて隣接セルの流速が変化するため、水深が浅い程重みづけを大きくする津波検出方式を検討。

$$v_i^{est2} = \sum_{j \in D_i} \frac{v_j \cos \theta_j}{h_j}$$

3.提案方式(津波波面推定②)

流速を平均化する処理ではなく、セル毎の津波の観測誤差 σ と水深 h を考慮して、流速を重みづけ平均して計算した重みづけ流速を用いて津波検出を行う。

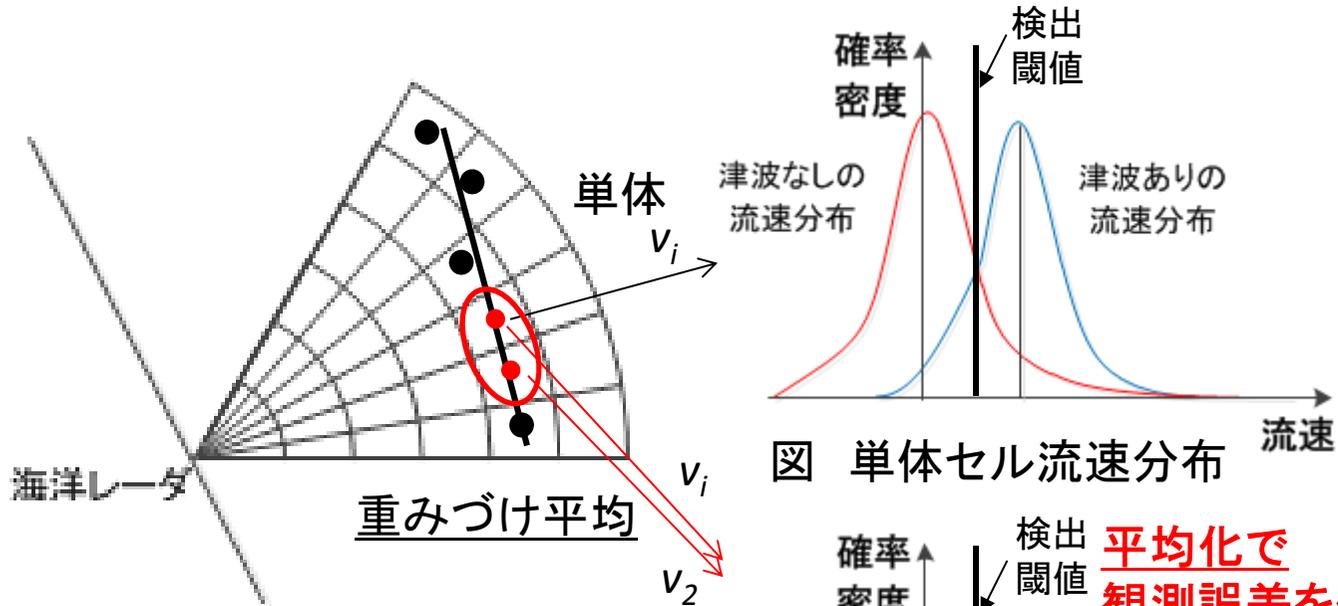


図 単体セル流速分布

流量の最尤推定*

$$M_i^{est} = \frac{1}{C_i} \sum_{j \in D_i} \frac{v_j \cos \theta_j}{\sigma_j^2 h_j}$$

$$C_i = \sum_{j \in D_i} \frac{\cos^2 \theta_j}{\sigma_j^2 h_j^2}$$

津波到来時は流量が一定
(流速は水深に応じて変化)

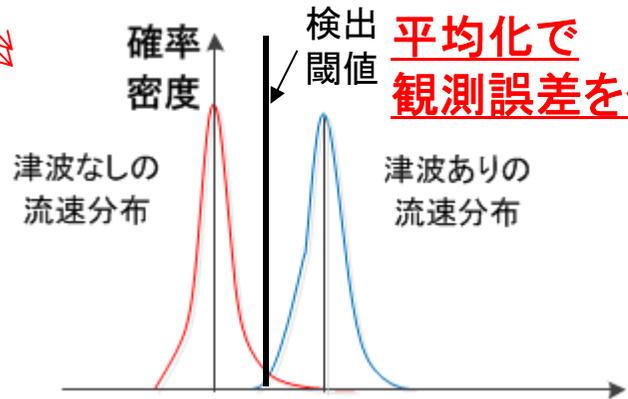


図 平均流速分布(提案)

**平均化で
観測誤差を低減**

水深と観測誤差に
反比例して水深を
重みづけ平均で
観測誤差を低減
して検出性能を向上

*最尤推定によって観測誤差(分散)最小を実現。

3.提案方式(津波波面推定②)

津波波面検出方式の詳細(流量推定式の根拠)について説明する。

観測モデル

$$v_i \sim N(M \times \cos\theta_i/h_i, \sigma_i)$$

ランダム誤差を
正規分布としてモデル化

$N(a,b)$ は平均 a ,標準偏差 b の
正規分布とする

観測流速から流量を最尤推定

$$M_i^{est} = \frac{1}{C_i} \sum_{j \in D_i} \frac{v_j \cos \theta_j}{\sigma_j^2 h_j} \quad C_i = \sum_{j \in D_i} \frac{\cos^2 \theta_j}{\sigma_j^2 h_j^2}$$

推定流量の標準偏差(津波がない場合)

$$\sigma_{M_i} = \frac{1}{C_i} \sqrt{\sum_{j \in D_i} \left(\frac{\cos \theta_j}{\sigma_j h_j}\right)^2}$$

検出用スコア値

$$S_i = \frac{M_i^{est}}{\sigma_{M_i}}$$

検出結果

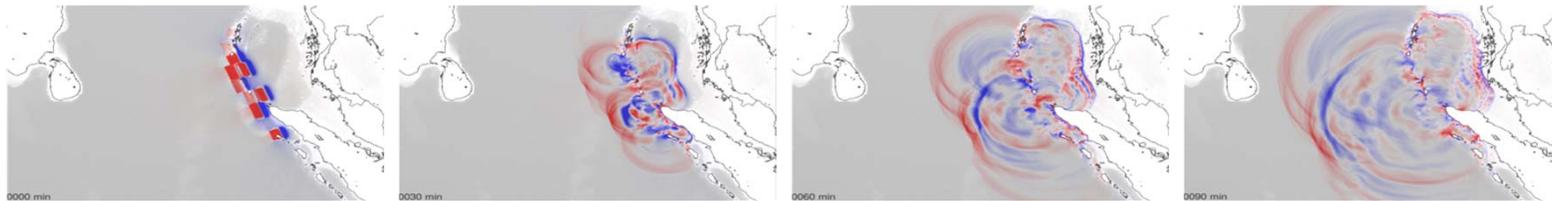
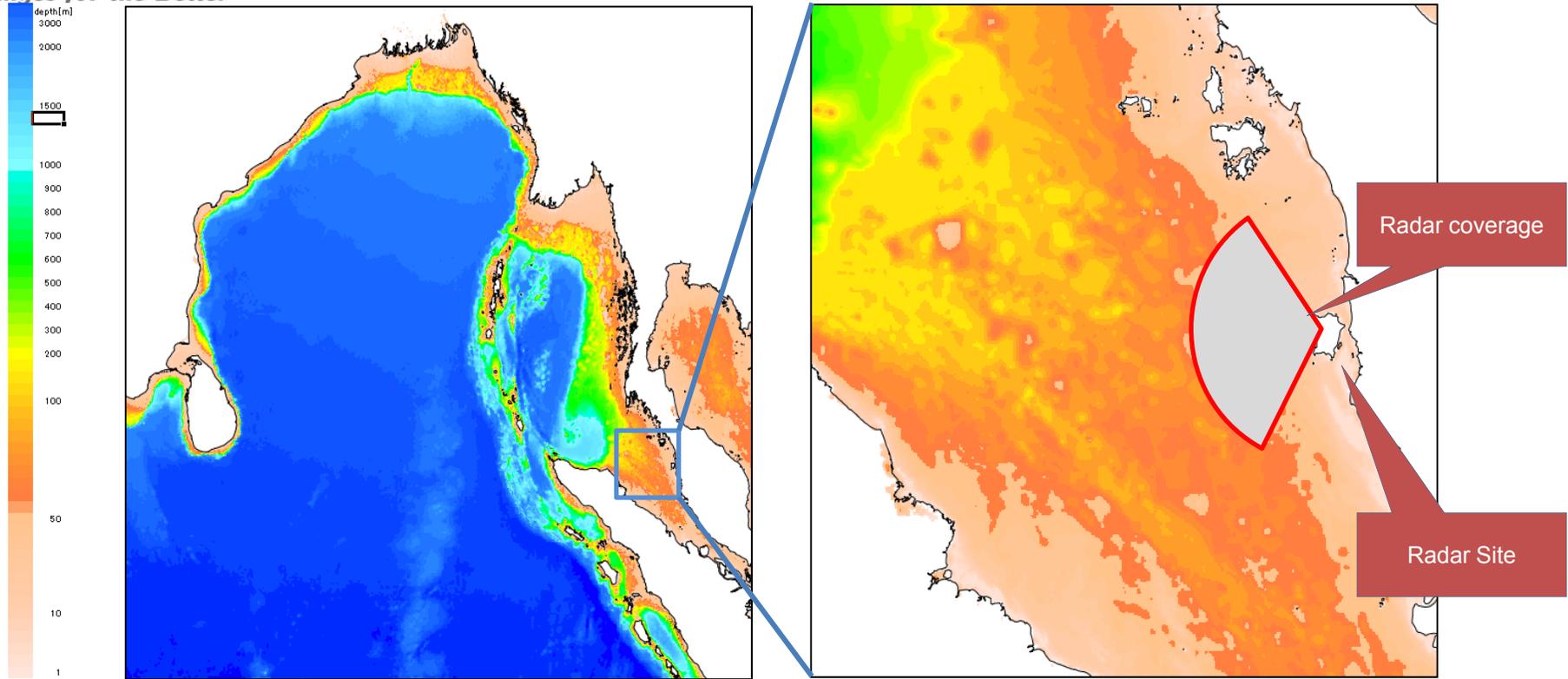
$$Result = \max(S_i) > Th$$

ポイント

- ・津波波面を仮定
- ・誤差を正規分布で仮定
- ・水深、ランダム誤差、波面と観測ベクトルの方位を考慮した津波検出方式

→津波検出の高性能化が実現

4. シミュレーション評価



スマトラ島沖地震を想定した津波シミュレーションによる評価を実施.

4.シミュレーション評価

表 シミュレーション設定

項目	単位	値	備考
最大距離	km	50	
方位範囲	deg	120	
ビーム数		14	
観測誤差	cm/s	10	各セルで一様
サンプリング 間隔	s	32	
モンテカルロ 試行数		10000	
津波データ			スマトラ沖津波 シミュレーション
水深	m	1～60	
検出閾値 (提案・従来)		(5,3.6)	

津波到来時

従来, 提案ともに検出確率は9割程度

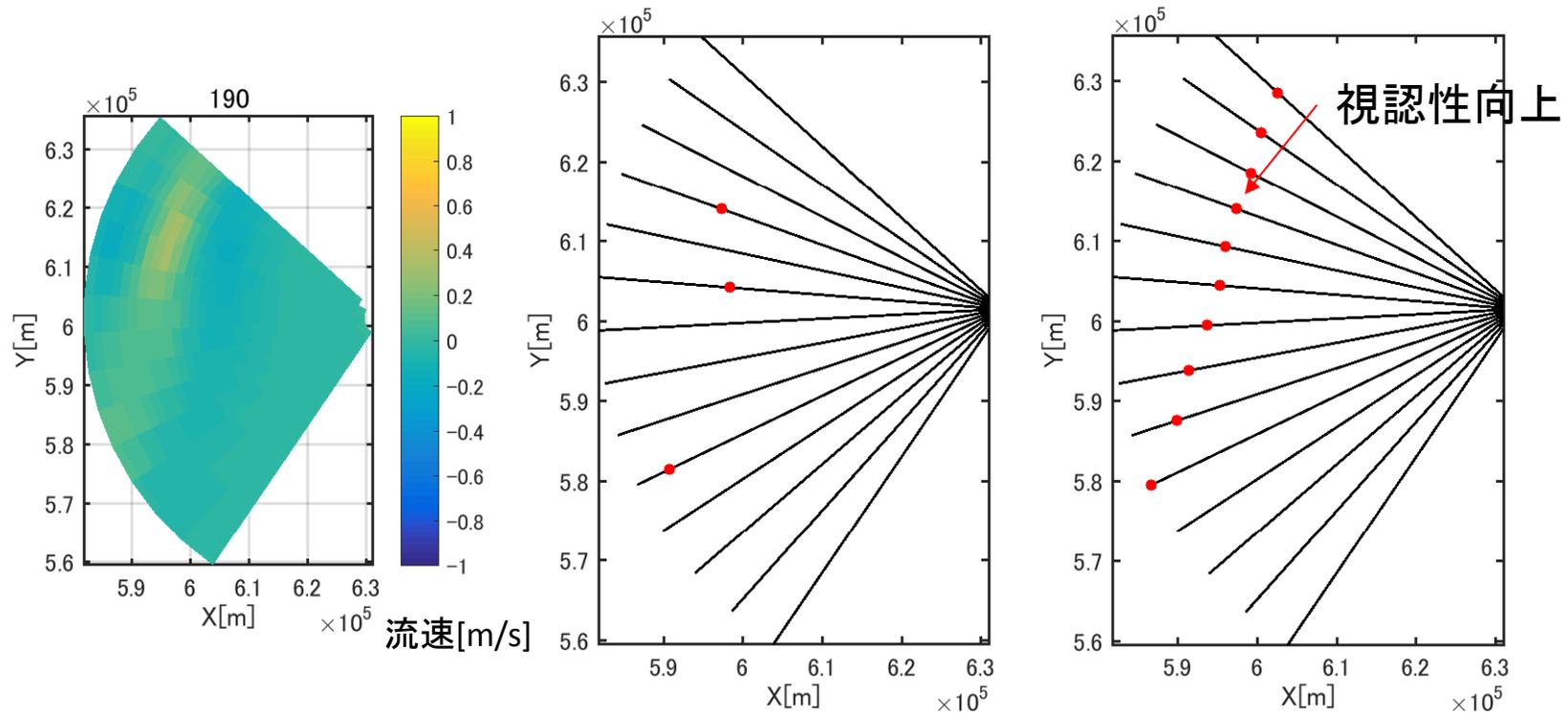


図 津波シミュレーション(真値)

図 従来方式(単純閾値)

図 提案方式

津波到来時

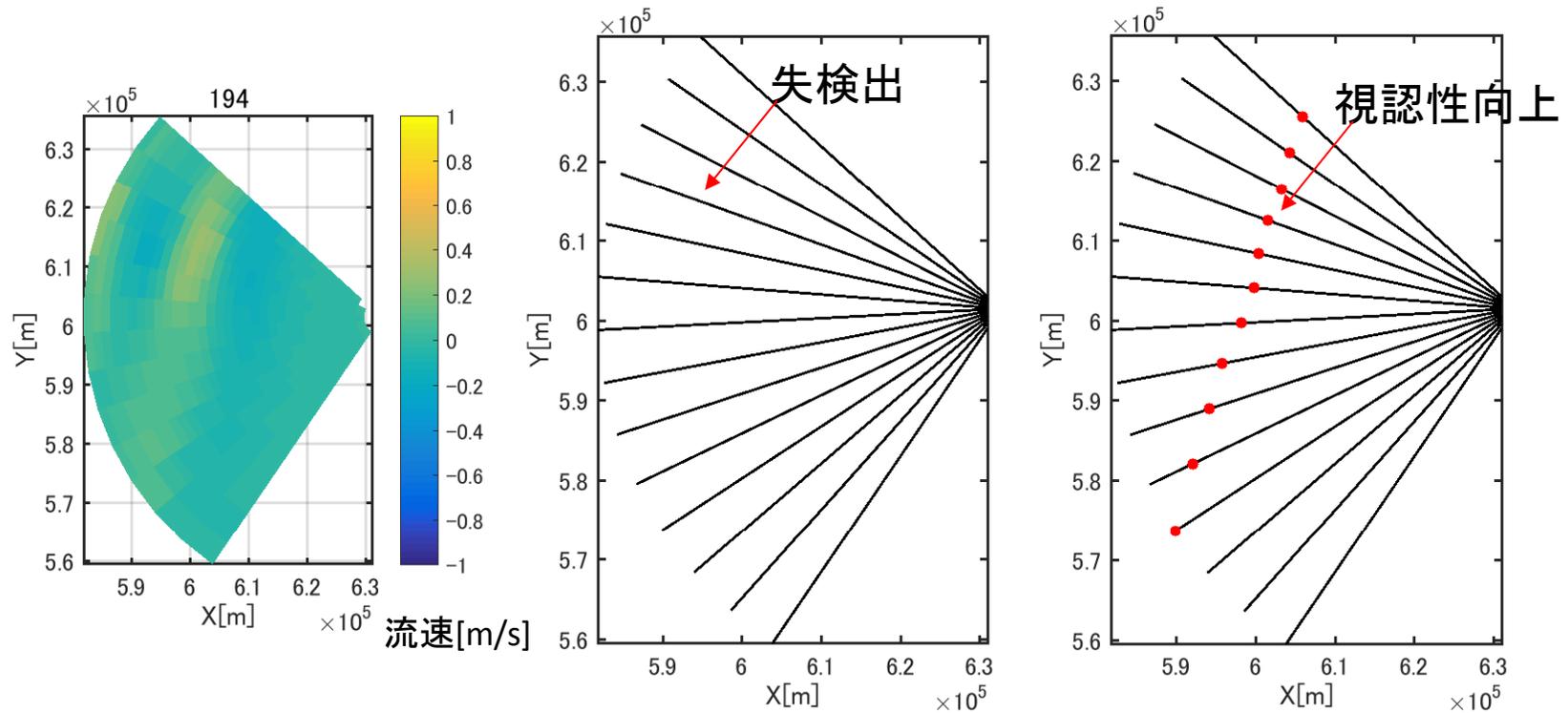


図 津波シミュレーション(真値)

図 従来方式(単純閾値)

図 提案方式

津波到来時

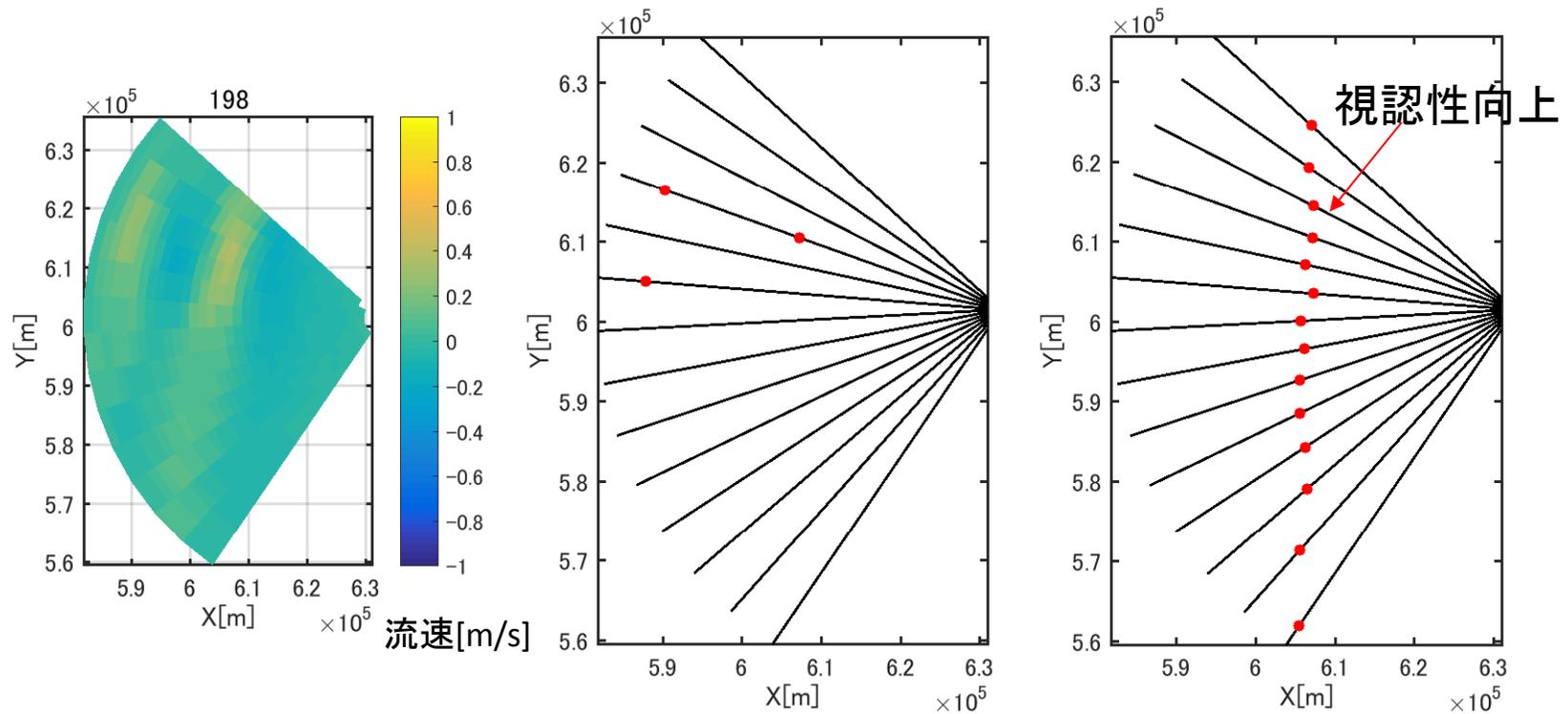


図 津波シミュレーション(真値)

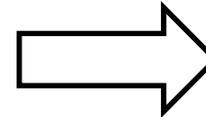
図 従来方式(単純閾値)

図 提案方式

津波が存在しない場合

**検出確保を維持しつつ誤警報を
従来の1/100以下に低減**

誤警報確率
 7.4×10^{-2}



誤警報確率
 6.0×10^{-4}

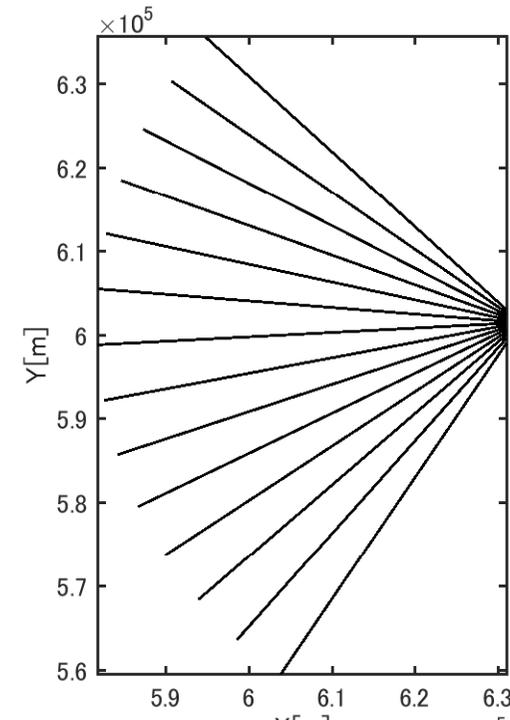
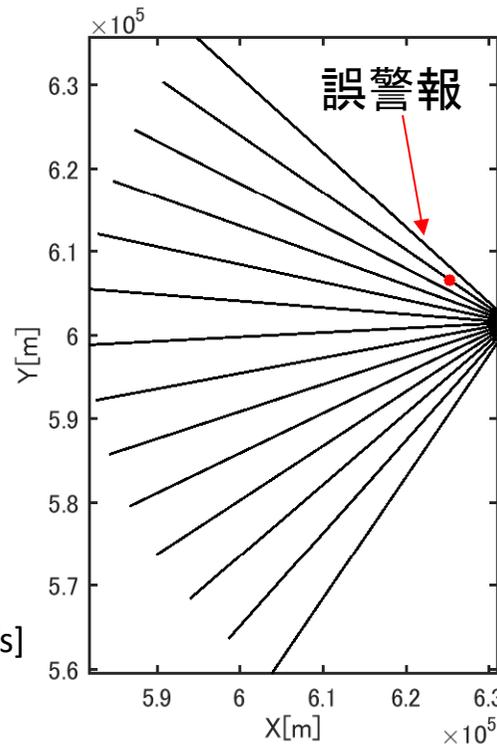
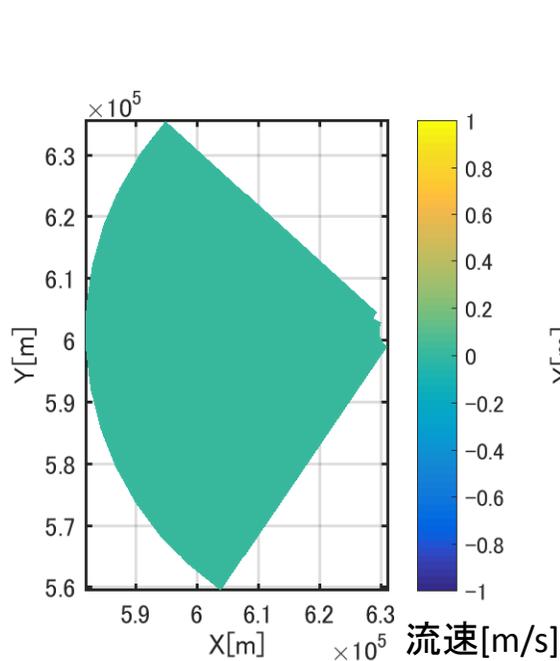
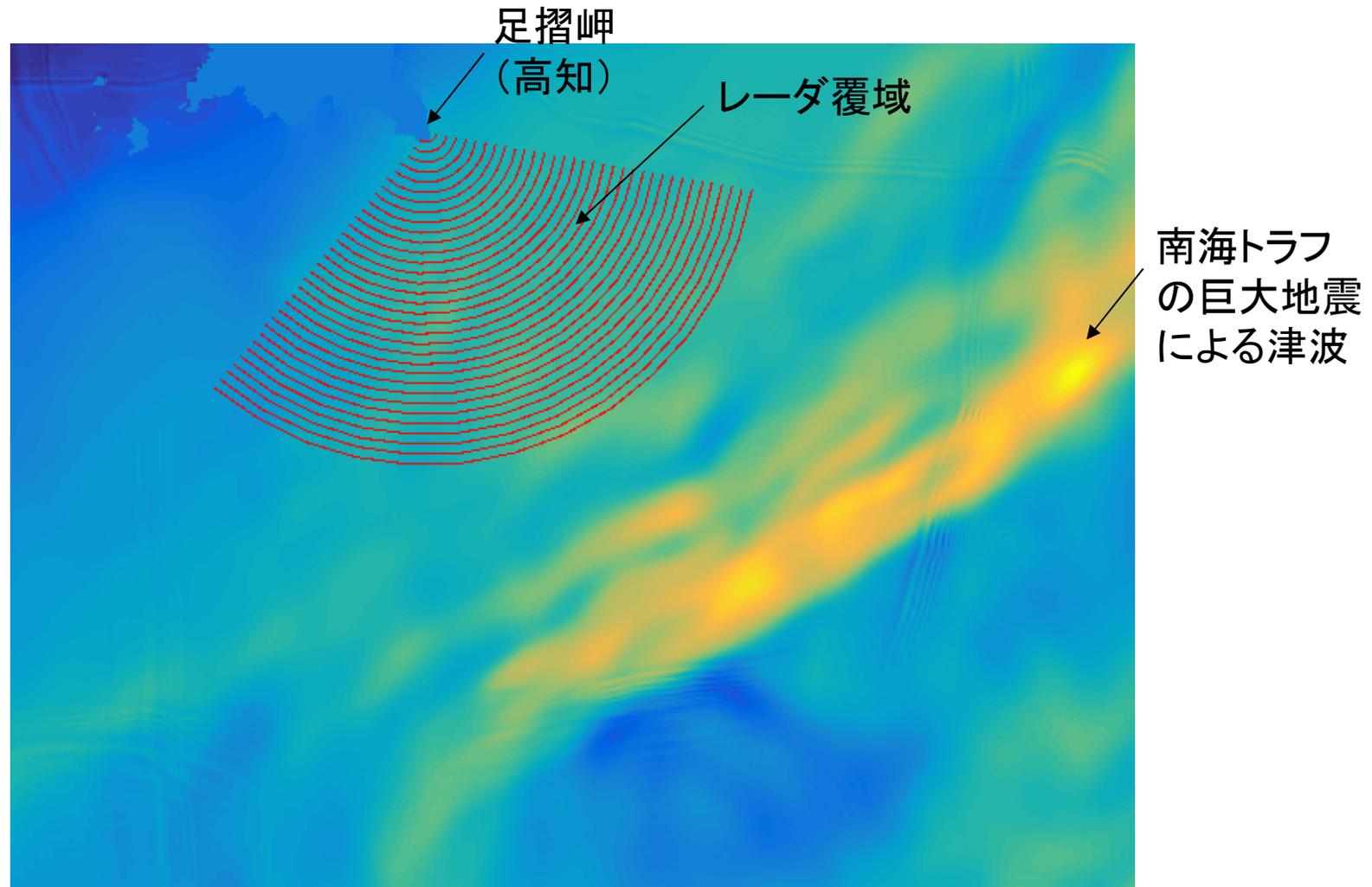


図 津波シミュレーション(真値)

図 従来方式(単純閾値)

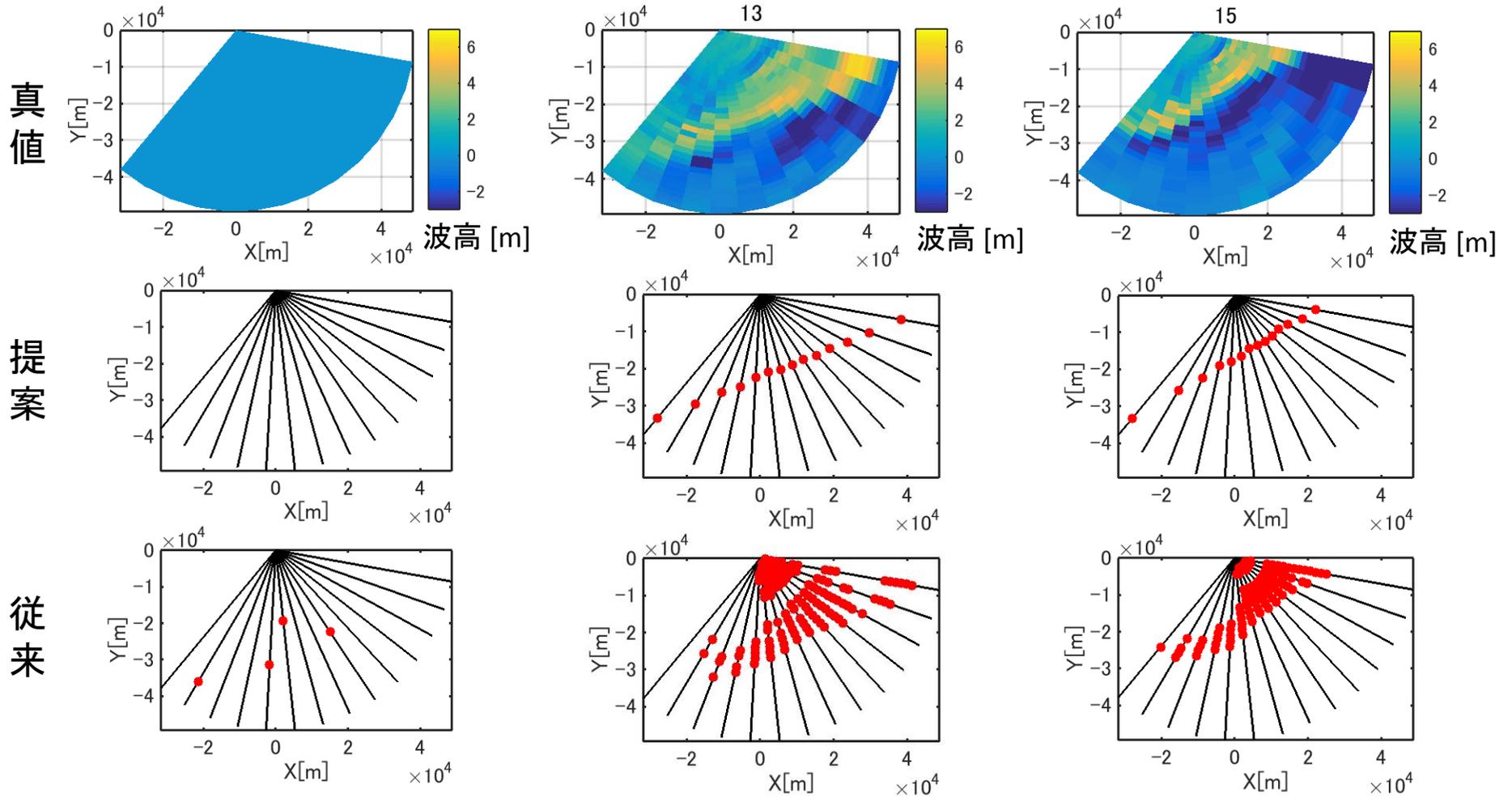
図 提案方式

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。



※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)

津波シミュレーションを用いた波面検出結果を示す。



- ✓ 津波の視認性向上と誤警報の低減を目的として、津波波面推定方式を提案.
- ✓ スマトラ島沖地震, 南海トラフの巨大地震の2シナリオに対して、津波シミュレーションを実施.
- ✓ 提案方式の視認性向上と検出確率を維持しつつ誤警報の低減を確認.
- ✓ 今後の予定
 - ✓ 複雑な地形における方式評価, 実データ評価.