

東北地方太平洋沖地震津波による 伊勢湾での応答特性

渡久地 優*・藤井 智史(琉球大 工)
日向 博文(愛媛大 工)

もくじ

- 研究背景
- 紀伊水道における津波観測例
- 伊勢湾における津波観測の緒元
- データ解析
- まとめ

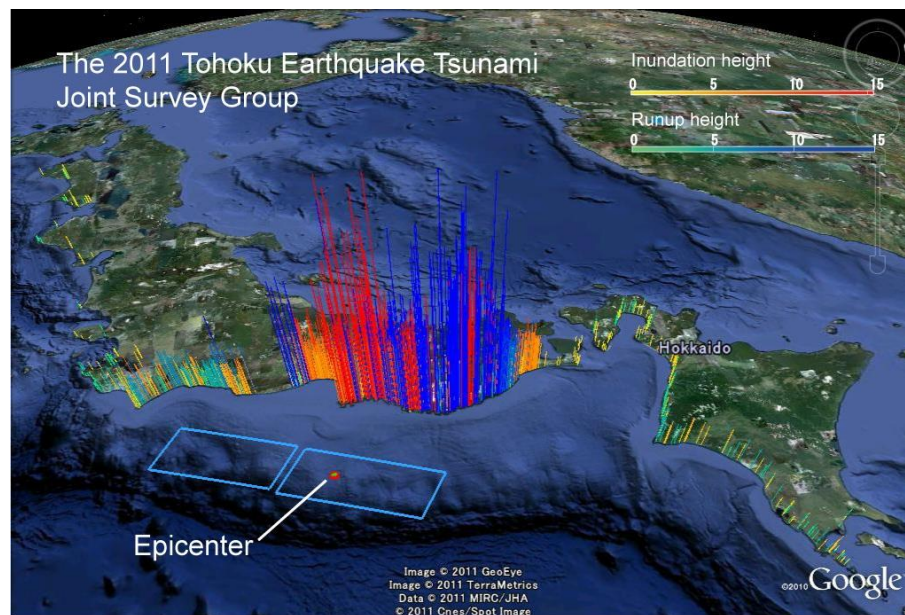
研究背景

- 日本は四方を海に囲まれた海洋国
- 東北地方太平洋沖地震津波

- マグニチュード(Mw): 9.0
- 死者: 19,335人
- 行方不明者: 2,600人
- 負傷者: 6,219人
- 推定被害額: 約17兆円

・東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)被害報2015年
(平成27年,総務省)

・東日本大震災における被害額の推計について(内閣府)



(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ
<http://www.coastal.jp/ttjt>)

- 津波警報システムにおける津波の過小評価 ➡ 海洋レーダー
⇒ 津波観測の重要性

研究背景

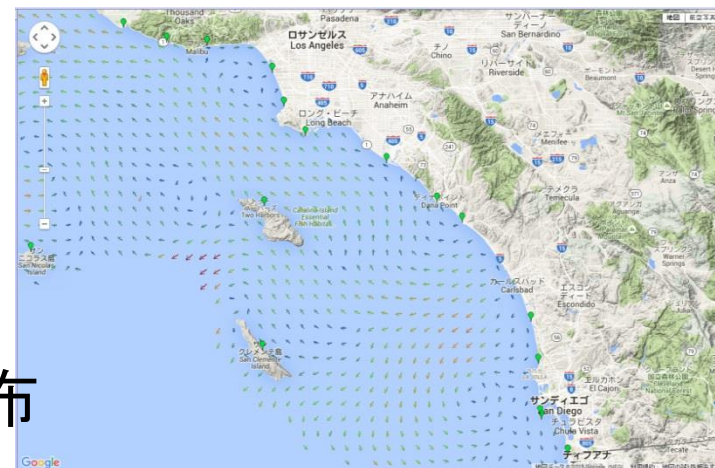
海洋レーダの特徴

■ 高時空間分解能

- ✓ 沖合の流速を連続的に観測可能
- ✓ 点観測では得られない詳細な流速分布

■ 陸上設置型

- ✓ 荒天時でも運用可能かつ保守が容易
- ✓ (比較的)コストが安い！



Coastal Observing Research and Development Center
<http://cordc.ucsd.edu/projects/mapping/maps/>



CODAR Ocean Sensors
http://www.codar.com/SeaSonde_gen_specs.shtml

➡ 津波観測に有用となる

海洋レーダによる津波観測

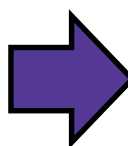
理論的アプローチの例

- Barrick(1979): 津波検知の可能性を提案。
- 藤井, 徳田(1997): 津波観測モードの提案(特許)。
- Lipa, et al. (2006): バンド流速を用いた演算による津波検知の提案。

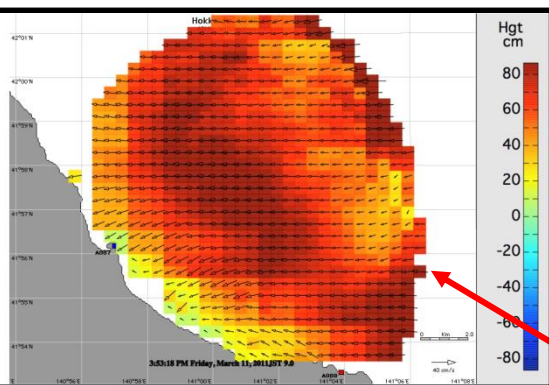
これまで、実際の津波が観測された例は存在しなかった。

なぜなら...

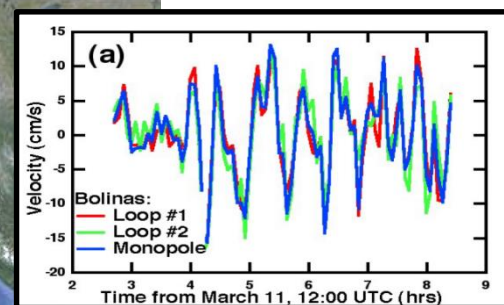
- 津波の発生頻度が少なかった。
- 海洋レーダの設置が不十分だった。

 2011年、東北地方太平洋沖地震によって生じた津波が、国内外のレーダで初めて観測された。

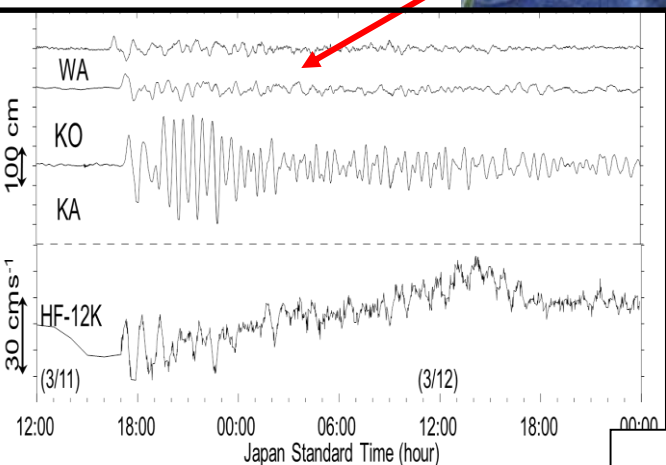
海洋レーダによる津波観測



Lipa et al. (2011)



Lipa et al. (2011)



Hinata et al. (2011)

<http://user.numazu-ct.ac.jp/~tsato/webmap/map/gmap.html?data=history>

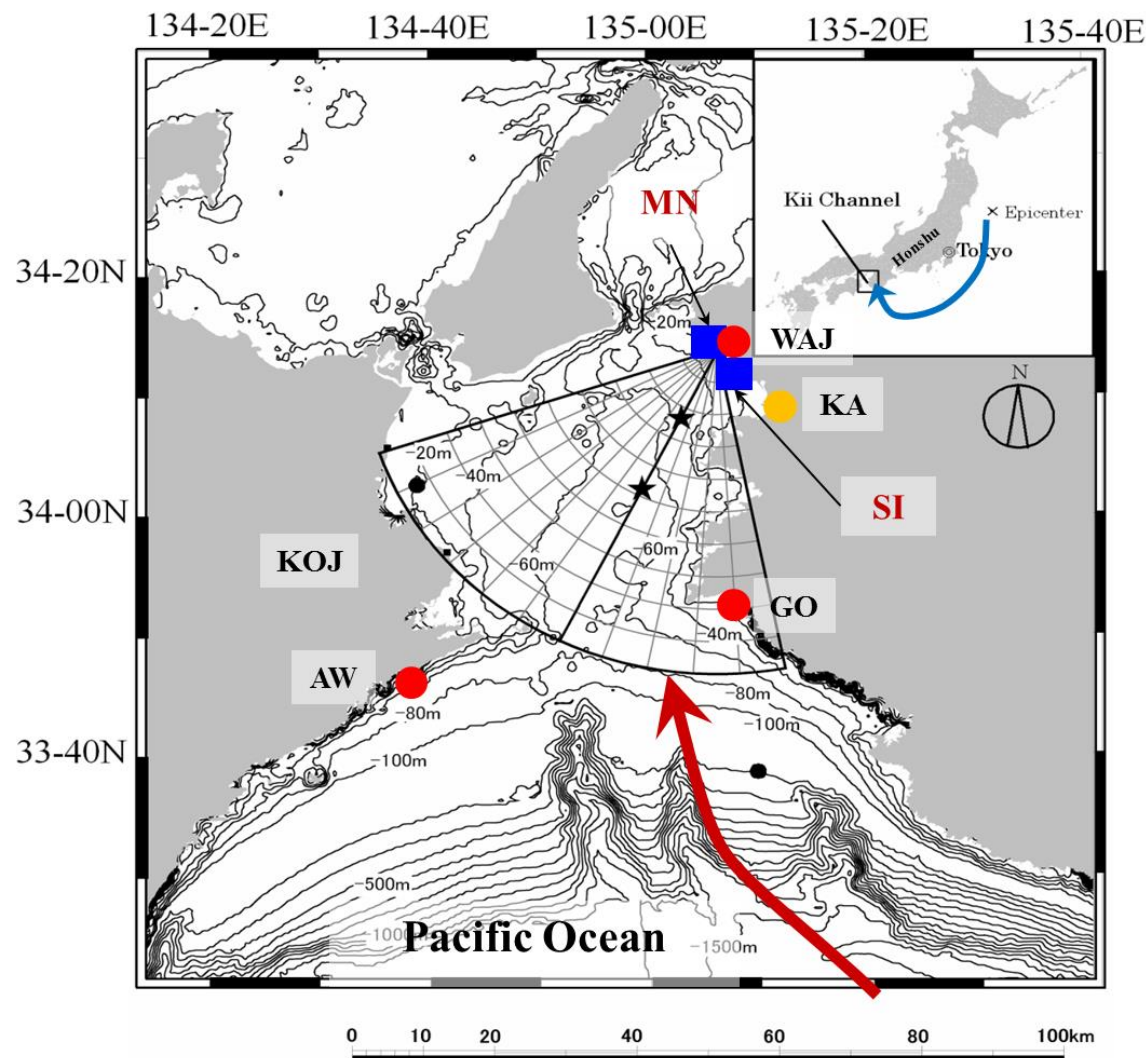
➤ 国内外の海洋レーダによって津波が観測

本研究
伊勢湾に設置された海洋レーダでの津波観測について報告

もくじ

- 研究背景
- 紀伊水道における津波観測例
- 伊勢湾における津波観測の緒元
- データ解析
- まとめ

紀伊水道における津波観測例



- 受信アレイ: 3エレ八木 × 8
 - ・ 方位分解能: 7.5 deg.
 - ・ 観測範囲: ±45 deg.
- レーダ方式: FMICW
- 中心周波数: 24.515 MHz
- 掃引周波数幅: 100 kHz
 - ・ 距離分解能: 1.5 km
- 送信電力(ピーク): 200 W
- 観測距離: 50 km
- 時間間隔: 1分

MLIT: Ministry of Land Infrastructure
Transport and Tourism
JMA: Japan Meteorological Agency
GIA: Geospatial Information Authority

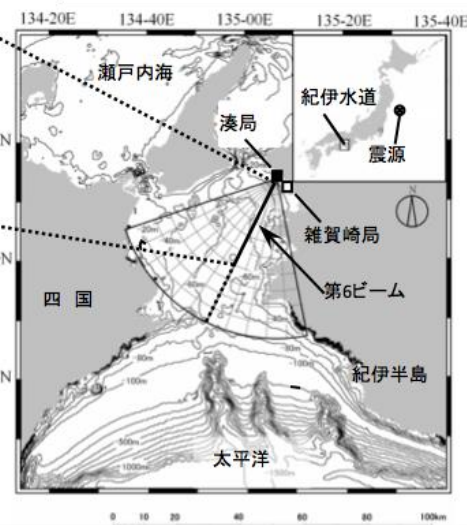
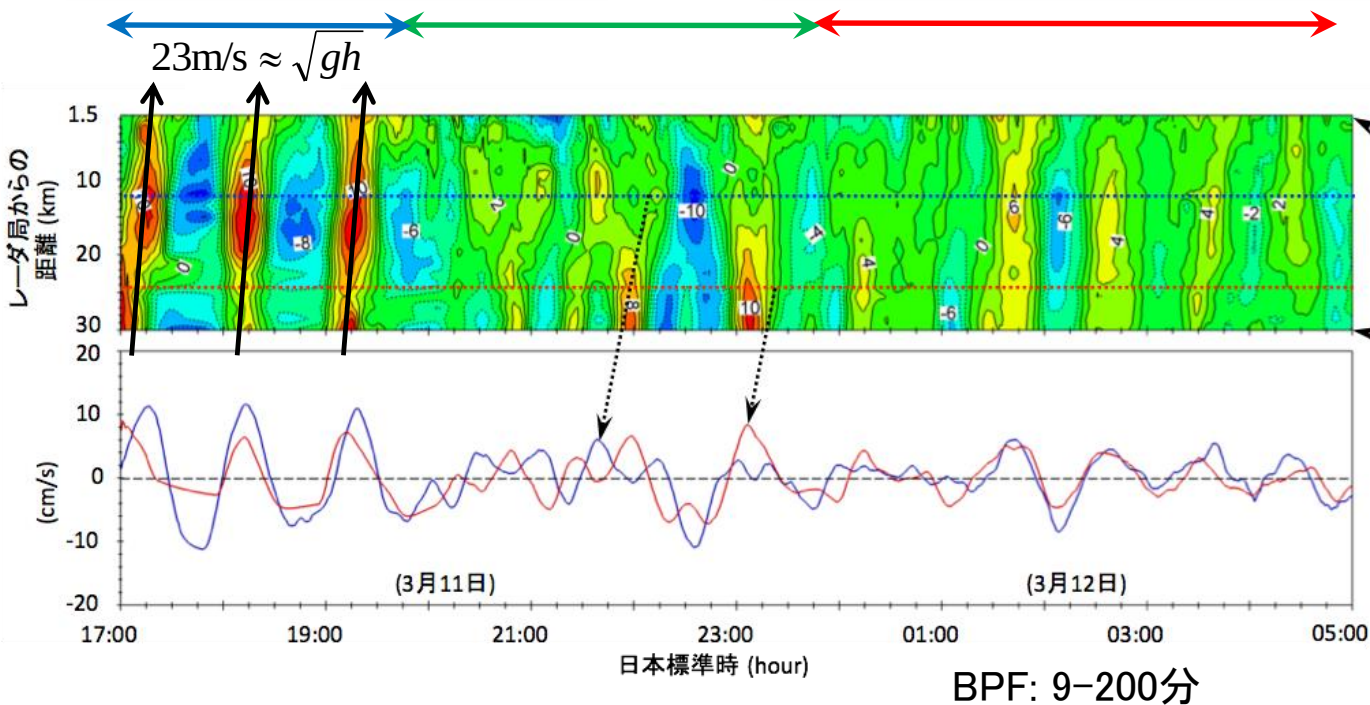
津波の伝搬→副振動の発生

副振動：高次モード？ 周期約30分



進行波：周期60-70分

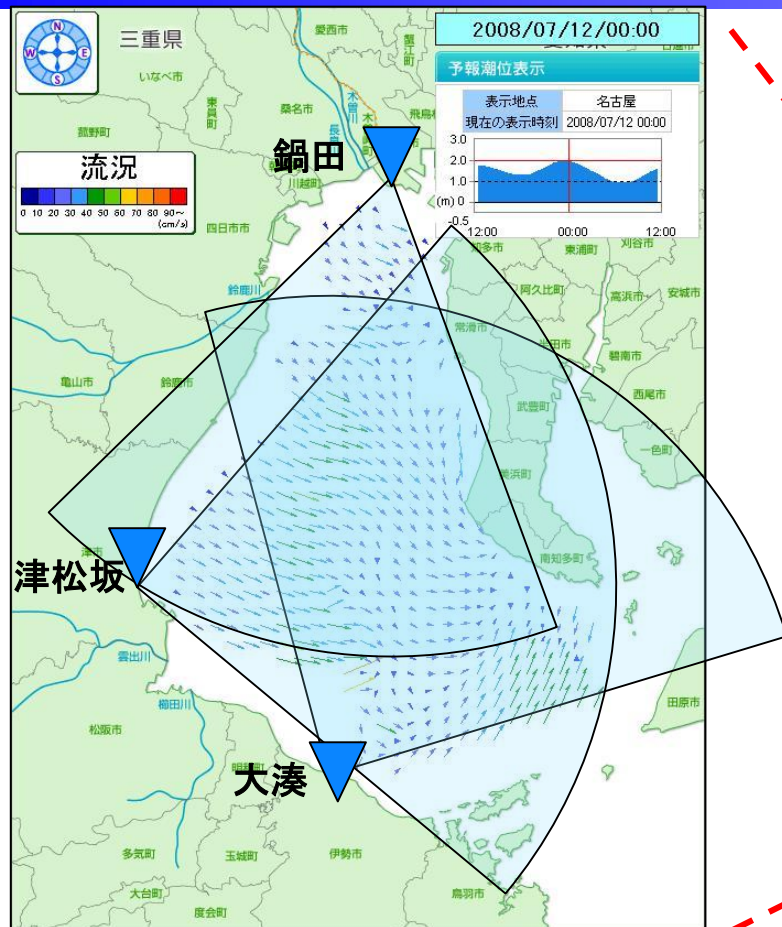
副振動：高次モード＋低次モード？ 周期約60分



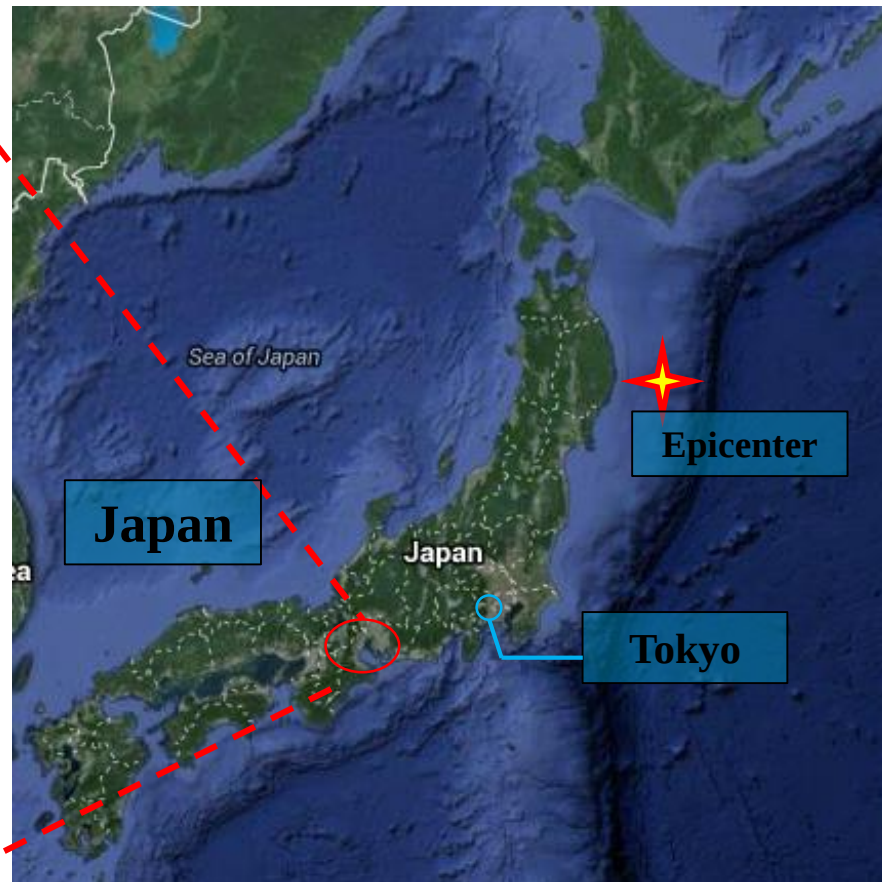
もくじ

- 研究背景
- 紀伊水道における津波観測例
- 伊勢湾における津波観測の緒元
- データ解析
- まとめ

海洋レーダ緒元



(伊勢湾環境データベースHPより)

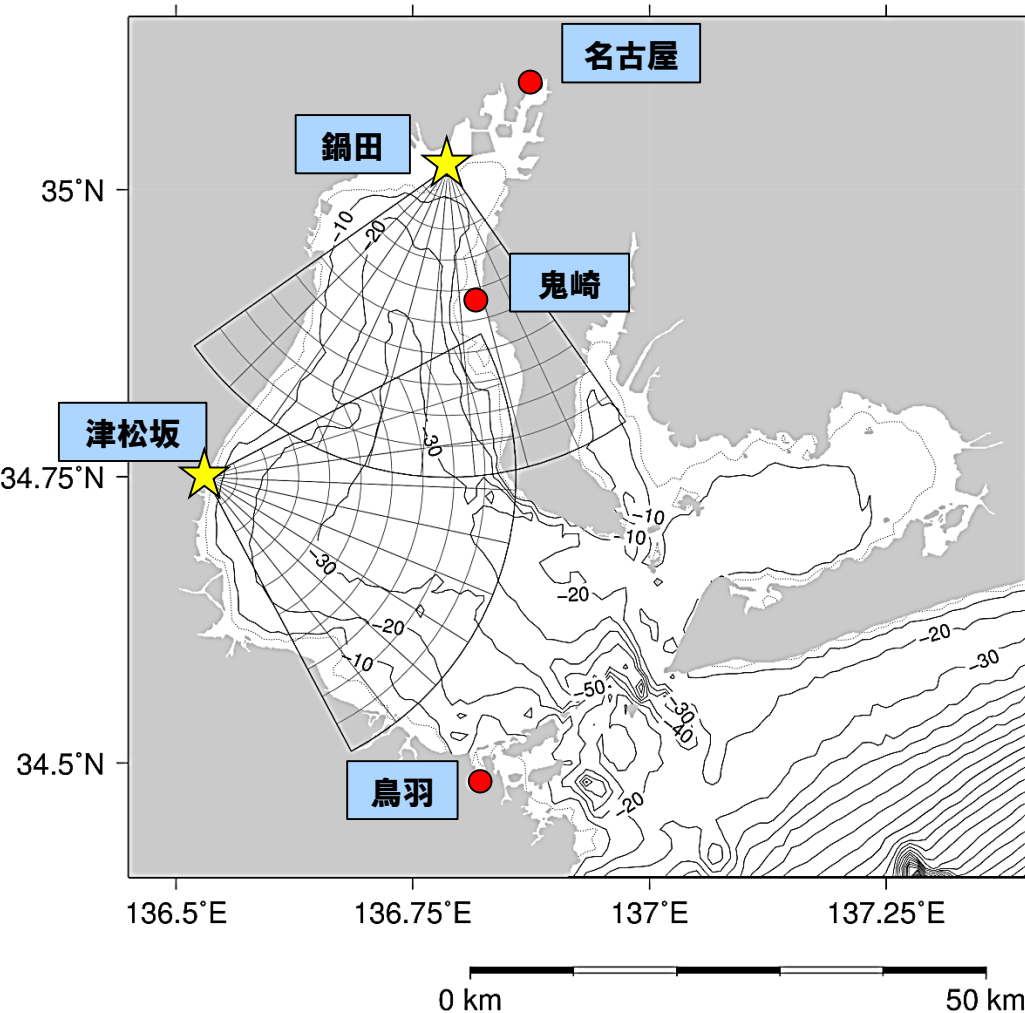


研究目的

海洋レーダを用いて、伊勢湾での津波の応答特性を知る。

流速・水位変動データ緒元

★ レーダ局 ● 潮位観測所



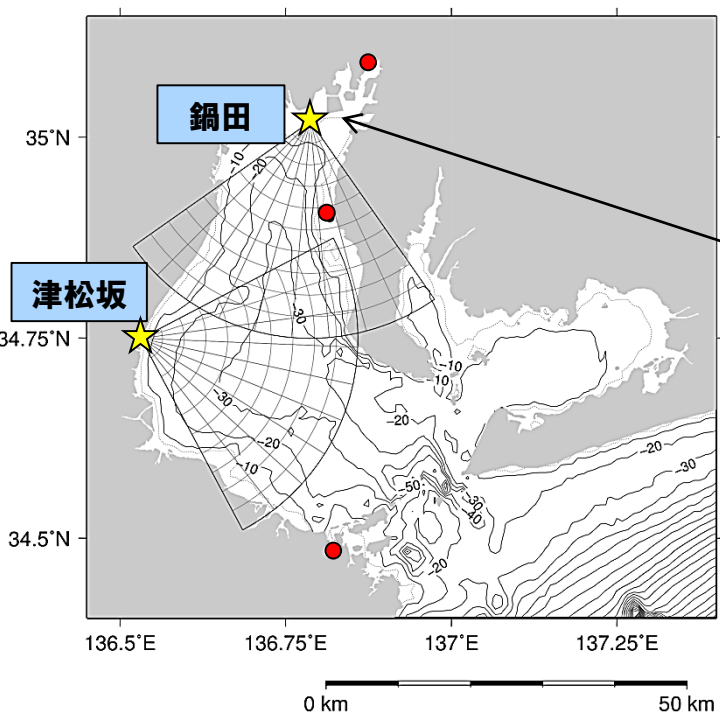
SeaSonde(CODAR)

- 送信アンテナ: 垂直モノポールアンテナ
- 受信アンテナ: 垂直モノポール×1+クロスループアンテナ×2
 - ・ 方位間隔: 5 deg.
- レーダ方式: FMICW
- 中心周波数: 24.515 MHz
- 掃引周波数幅: 100 kHz
 - ・ 距離分解能: 1.5 km
- 観測距離: 50 km

Japan

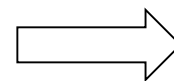
- 時間間隔
- 津松坂、鍋田: 5min
- 鬼崎、名古屋、鳥羽: 30sec

本研究で用いたレーダの緒元



SeaSonde(CODAR):

直交ループアンテナとモノポールアンテナの組み合わせで到来方向推定し方位の情報を得る

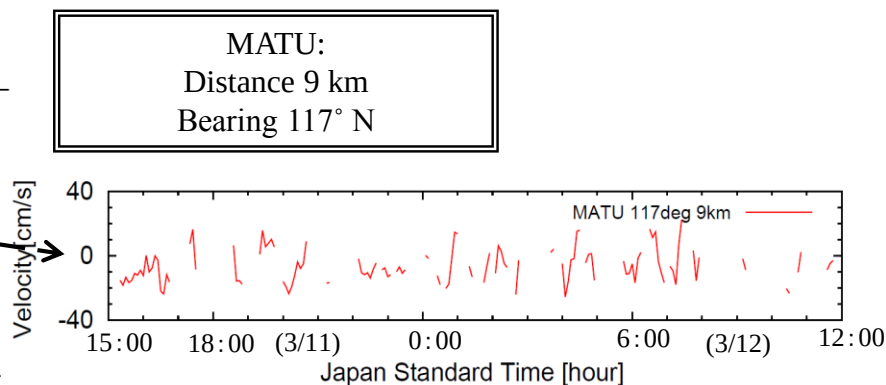
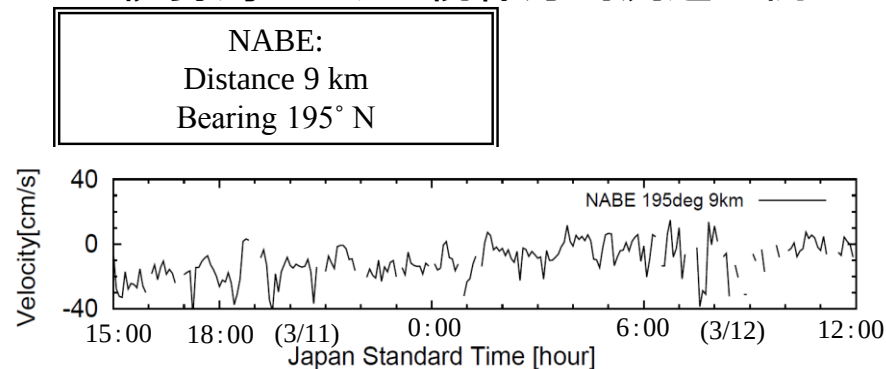
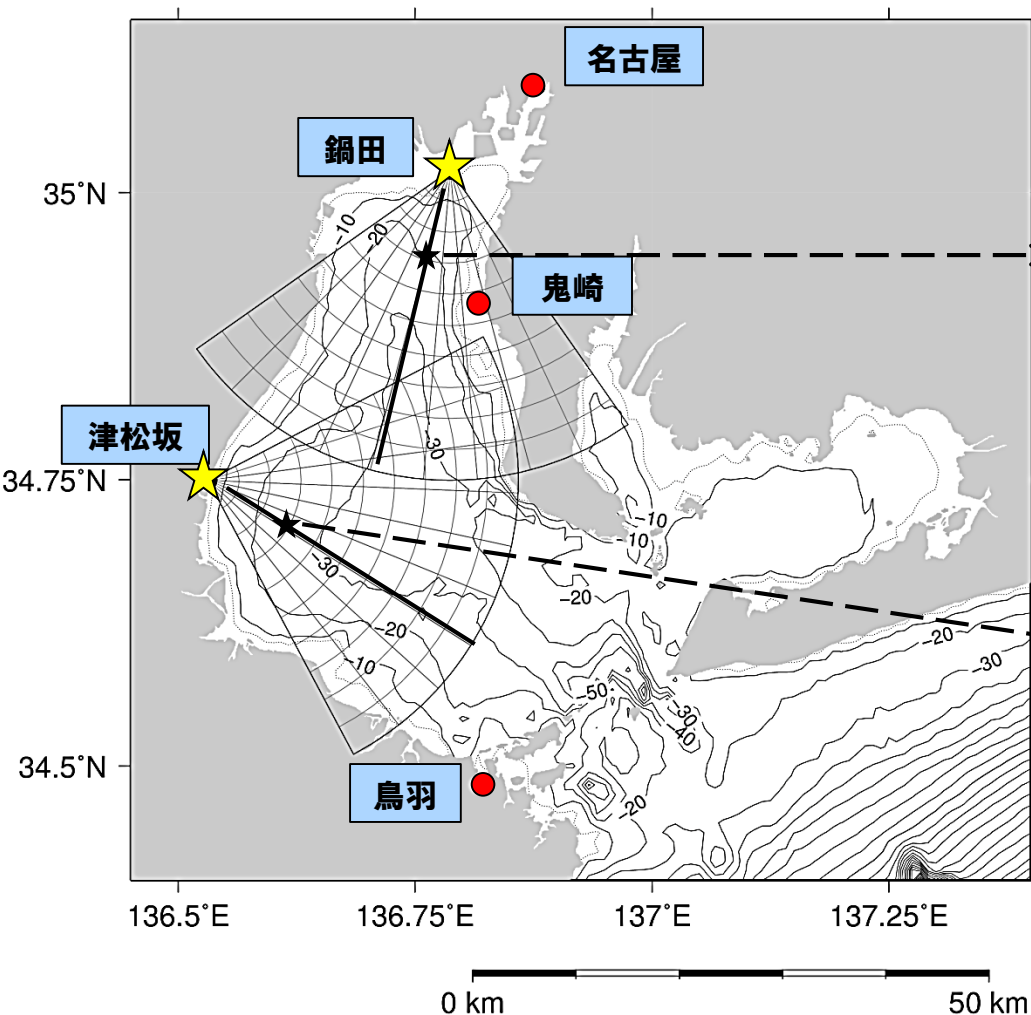


○アンテナの小型化
○全方位同時観測

×流速はアンテナパターンから得られるスペクトル形状から算出。
⇒短時間ではSN比が著しく低下; 観測距離の低下、欠測点の増加

5分間隔で算出した視線方向流速

伊勢湾レーダ 視線方向流速の例

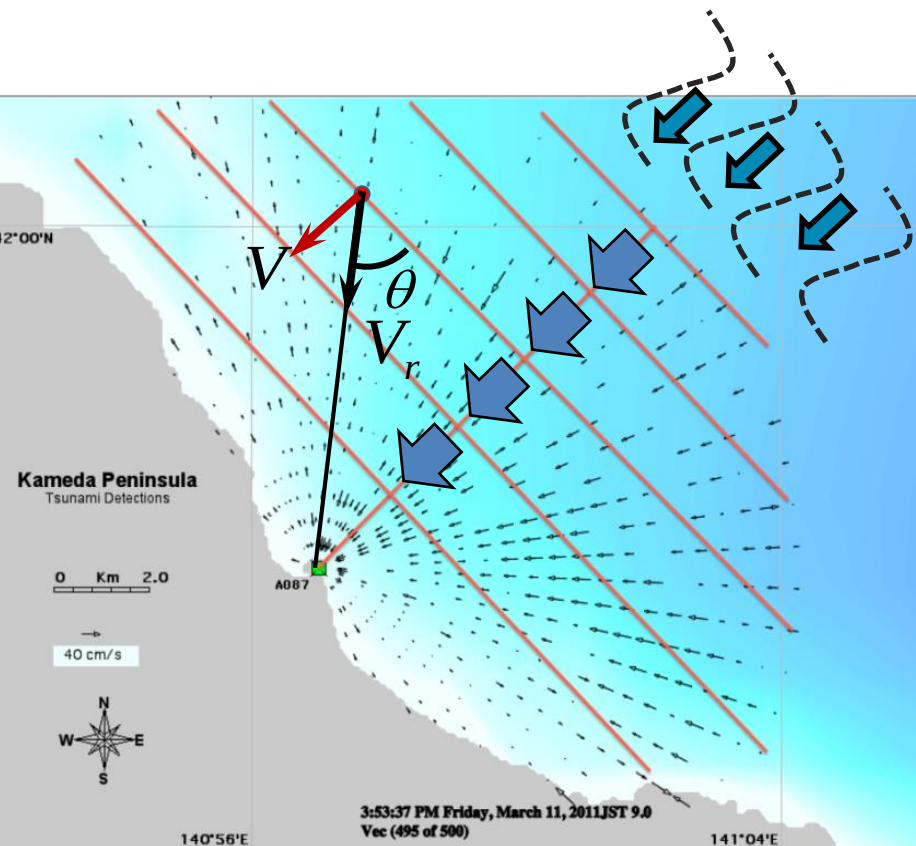


空間平均で欠測を補う



バンド流速(Lipa et al. (2006))
を使用する。

バンド流速の算出



(modified from Lipa et al. (2006)).

スネルの法則：津波は等深線(赤色の線)に垂直に進行する

海洋レーダの視線方向を V_r とする

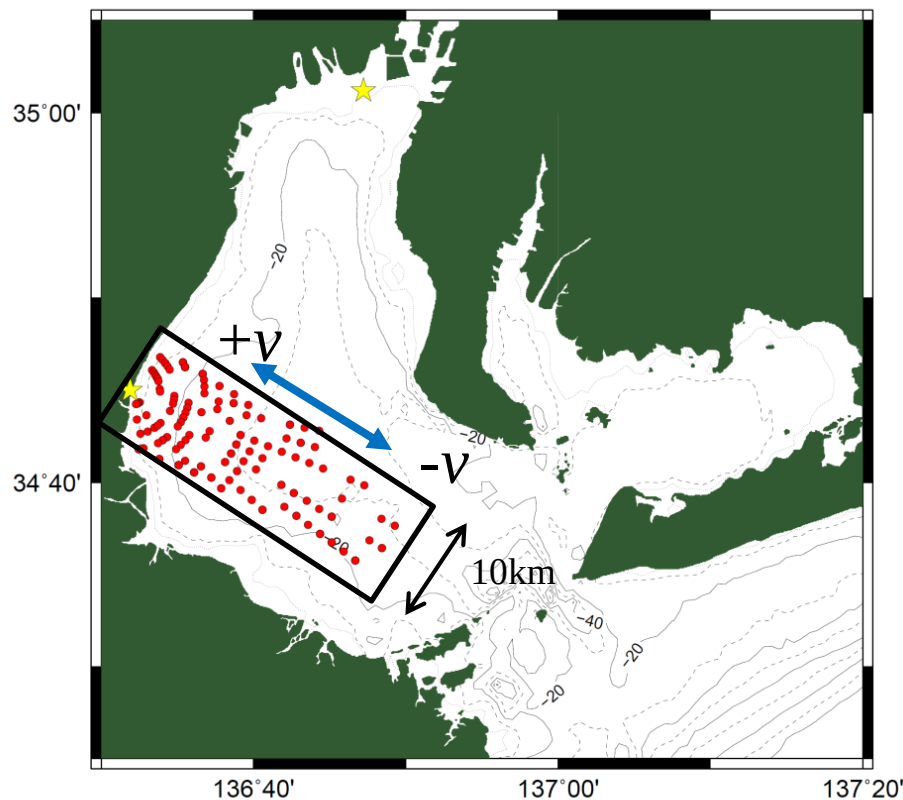
各地点の視線方向流速 V_r を、次の式によって変換。 $V = V_r \sin \theta$

V をレーダから2km毎に平均化し(青色矢印)、これをバンド流速とする。

➤ 視線方向流速⇒バンド流速へ変換

バンド流速の定義

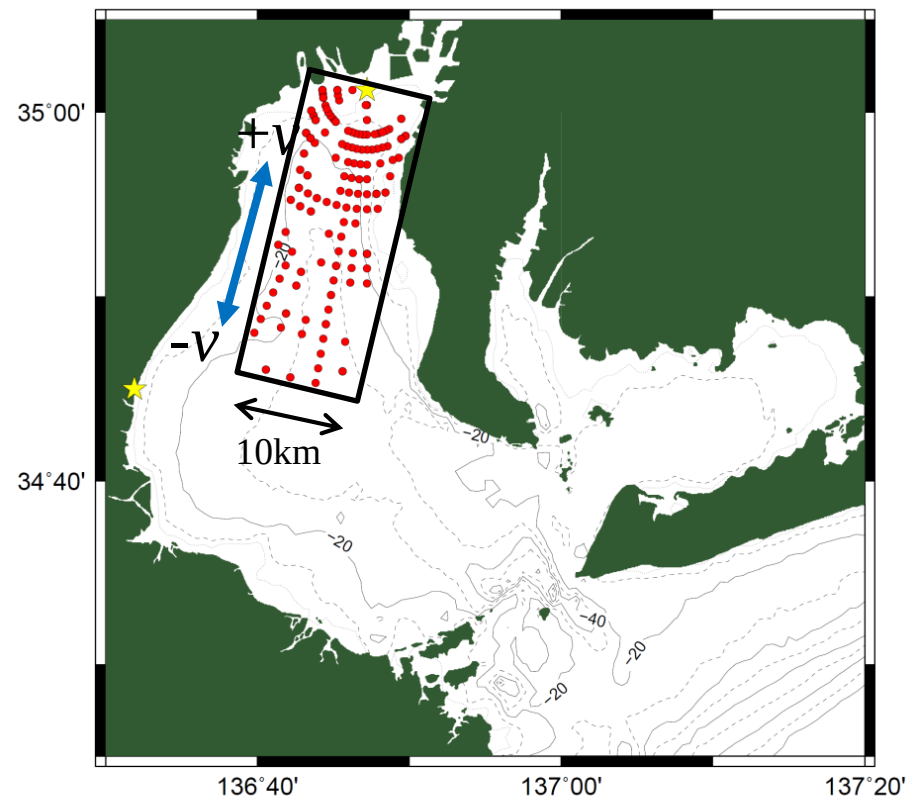
各地点の視線方向流速⇒岸向き成分へ変換、平均化
 津松坂局: 117° 鍋田局: 195° (北を 0° 時計回りを正)



GM 2015 Aug 22 17:32:16 /lonlat2.csh

北から 117°
 レーダから2km間隔、幅10km

10 km



GM 2015 Aug 22 17:11:52 /lonlat2.csh

北から 195°
 レーダから2km間隔、幅10km

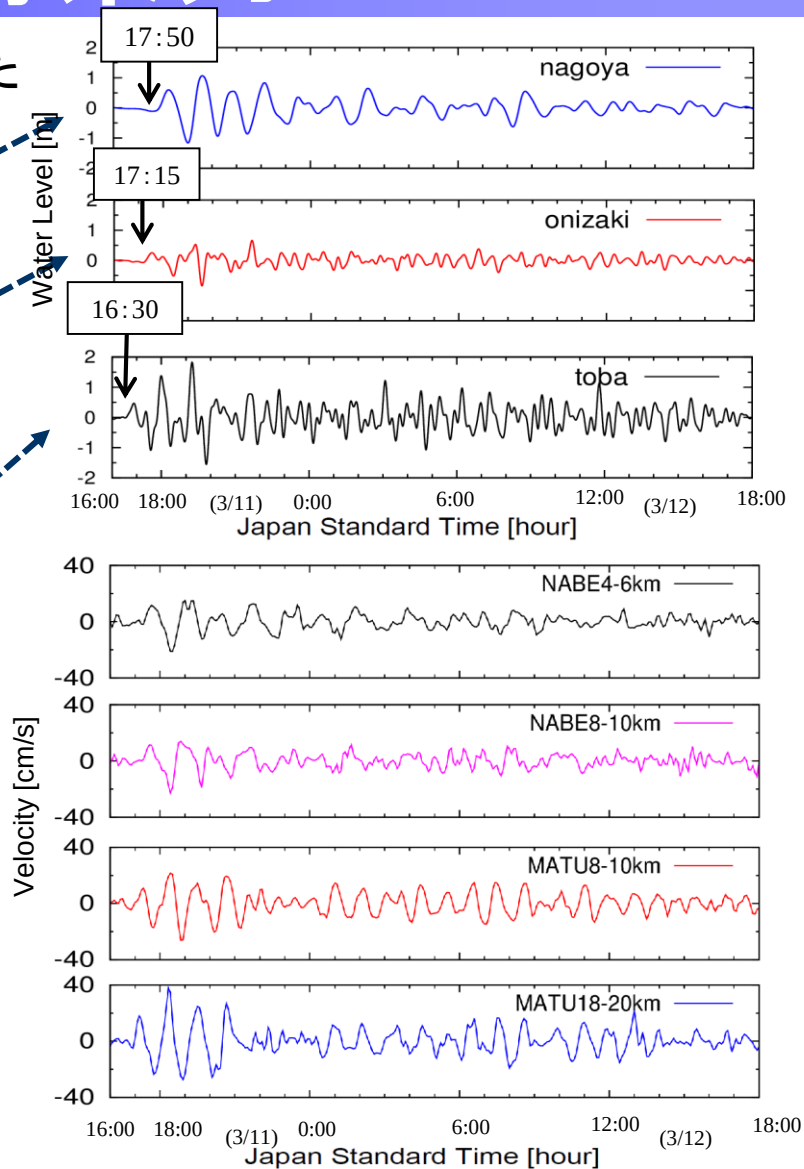
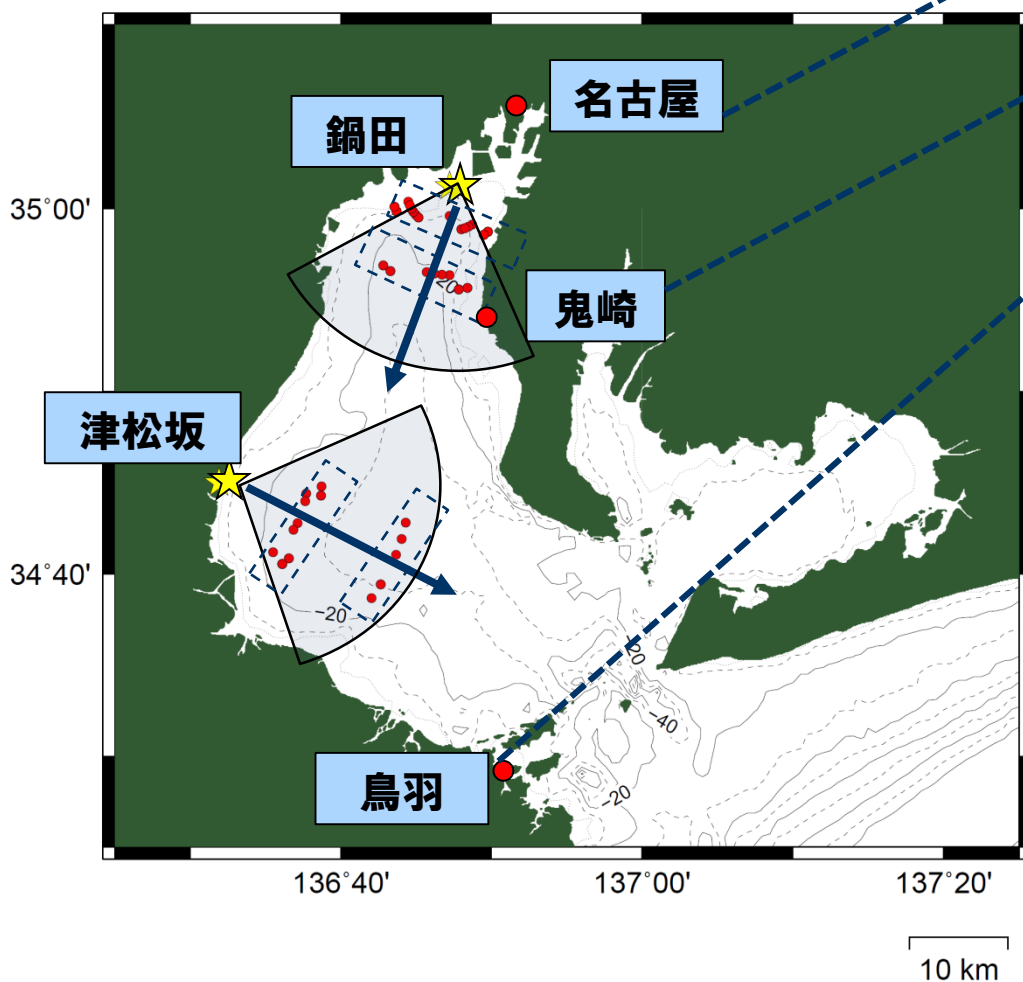
10 km

もくじ

- 研究背景
- 紀伊水道における津波観測例
- 伊勢湾における津波観測の緒元
- データ解析
 - 流速・水位変動
 - 合成流速場
 - スペクトル解析
 - EOF解析
- まとめ

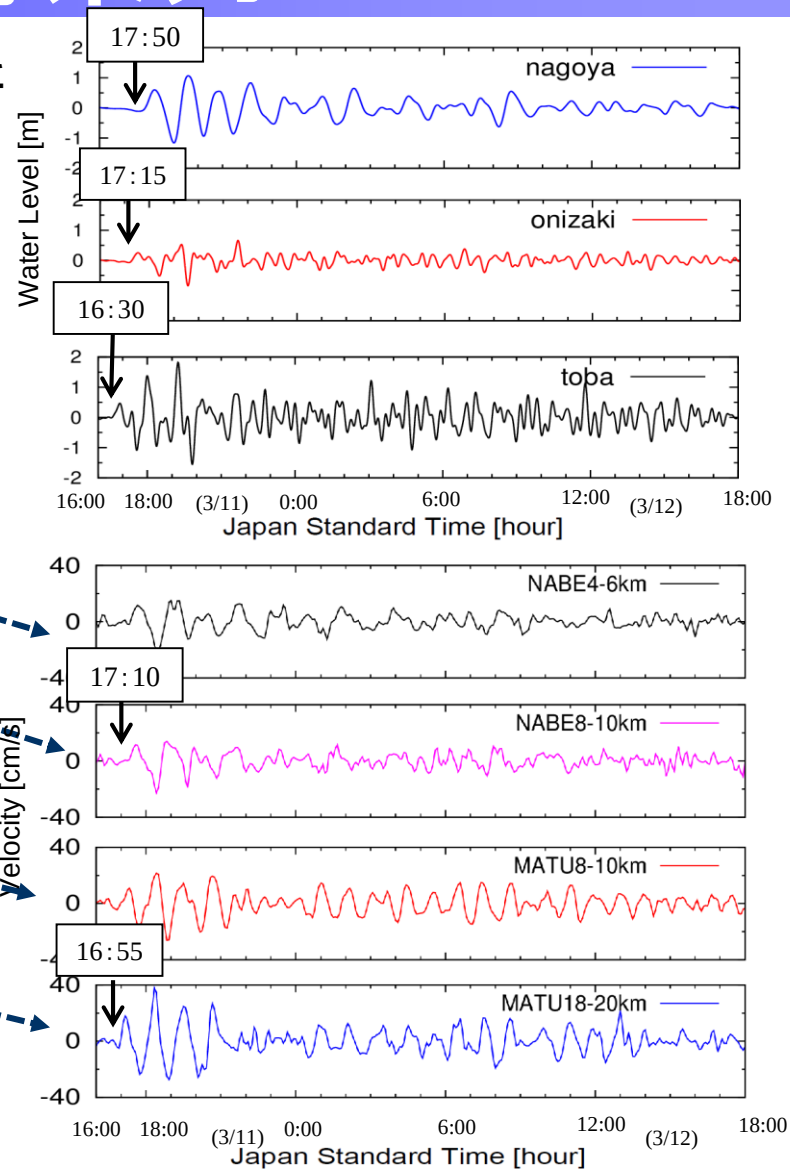
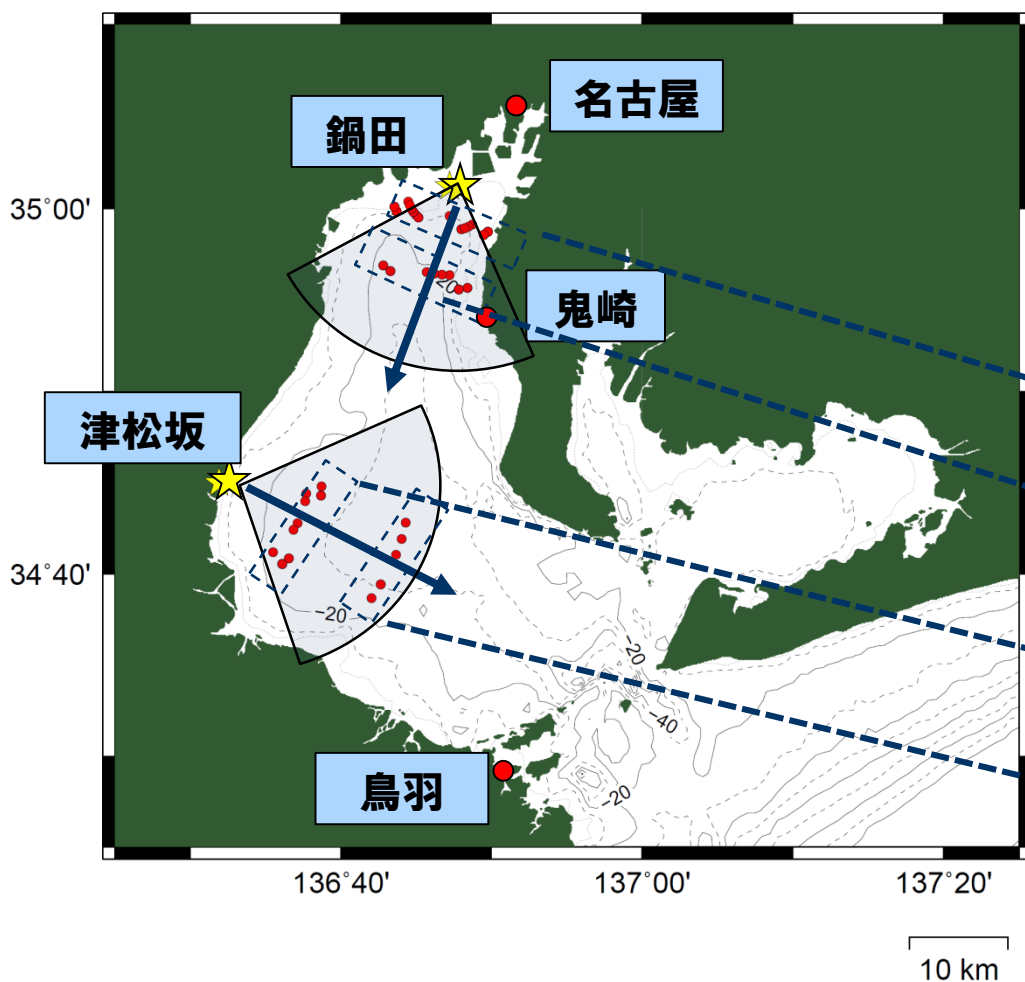
流速・水位変動時系列

流速の算出には、Lipaら(2006)のバンド流速を用いた
15-200分のバンドパスフィルタにより潮汐除去



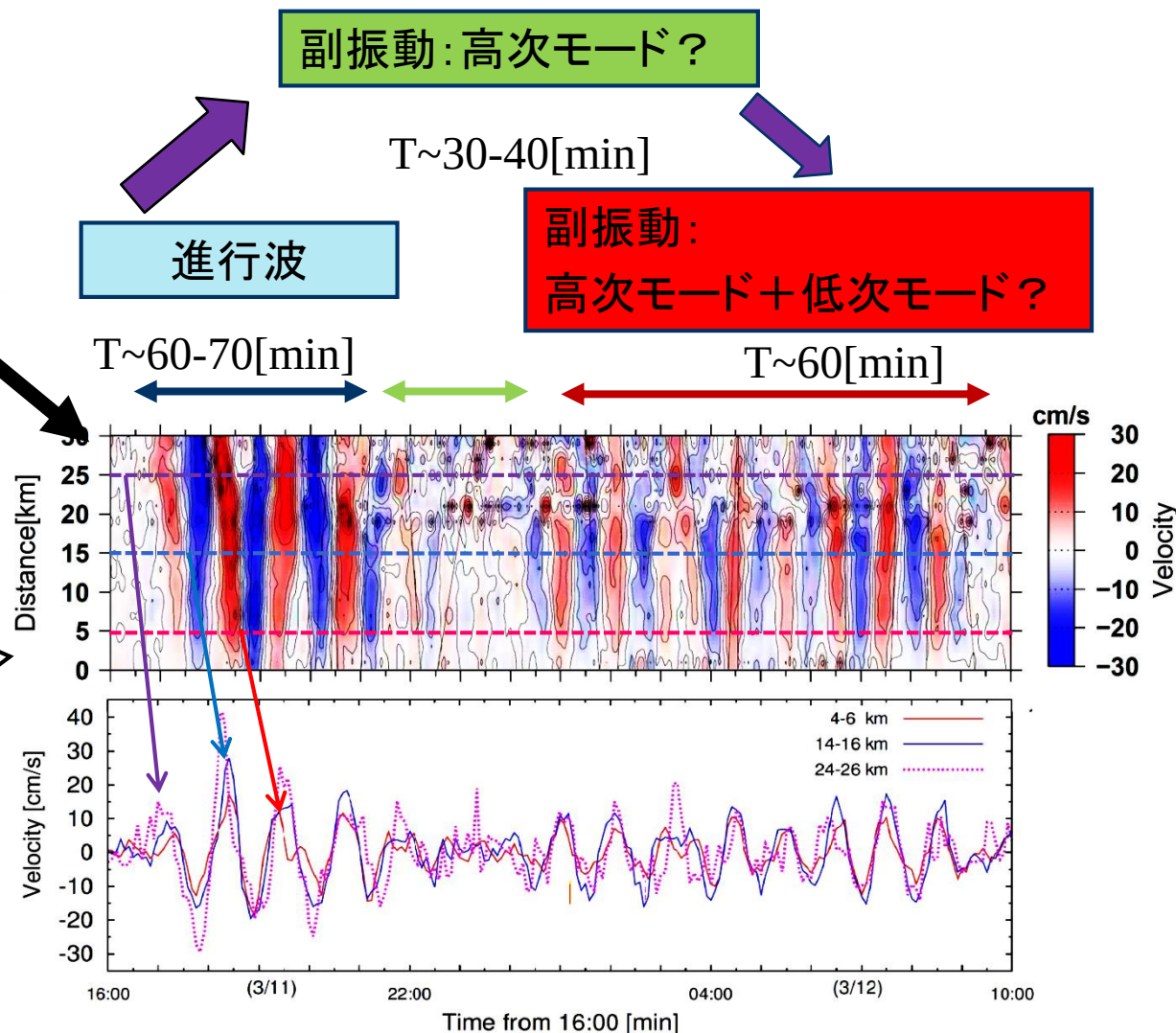
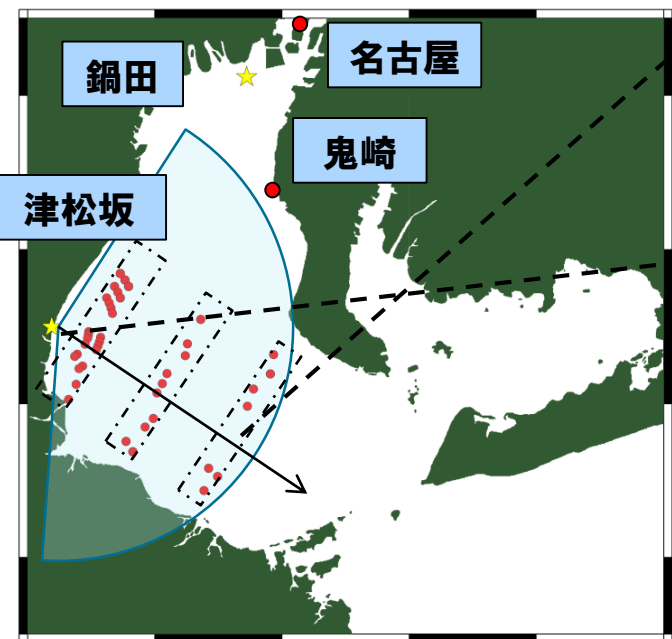
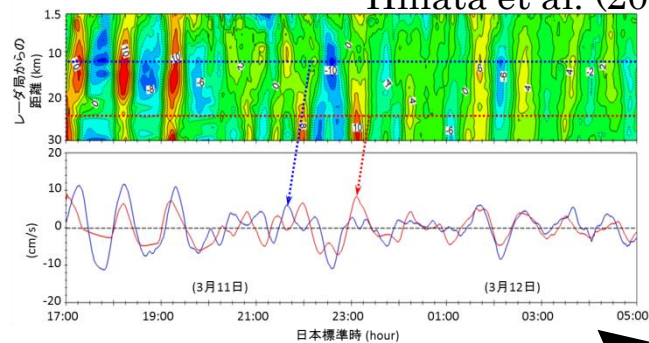
流速・水位変動時系列

流速の算出には、Lipaら(2006)のバンド流速を用いた
15-200分のバンドパスフィルタにより潮汐除去



津波の伝搬→副振動の発生

Hinata et al. (2011)



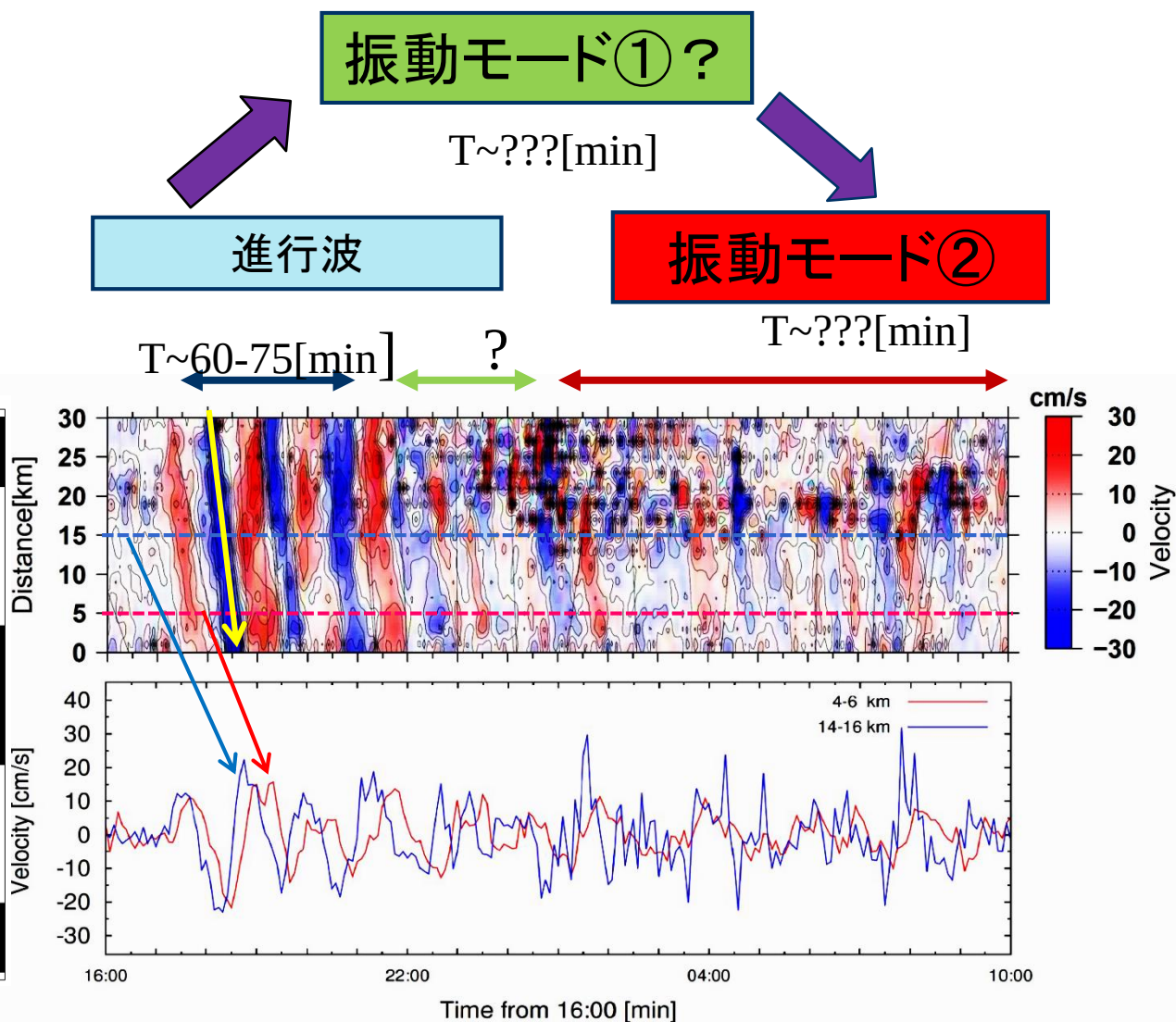
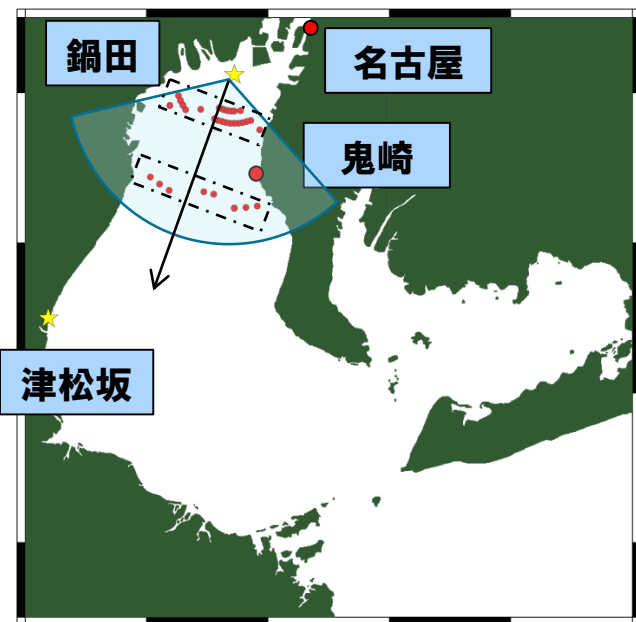
津波の伝搬→副振動の発生？

$$47[\text{km/h}] \cong \sqrt{gh}$$

$$= 52[\text{km/h}]$$

$$(h = 20[\text{m}])$$

鍋田局



合成流速場

進行波(40-100min)

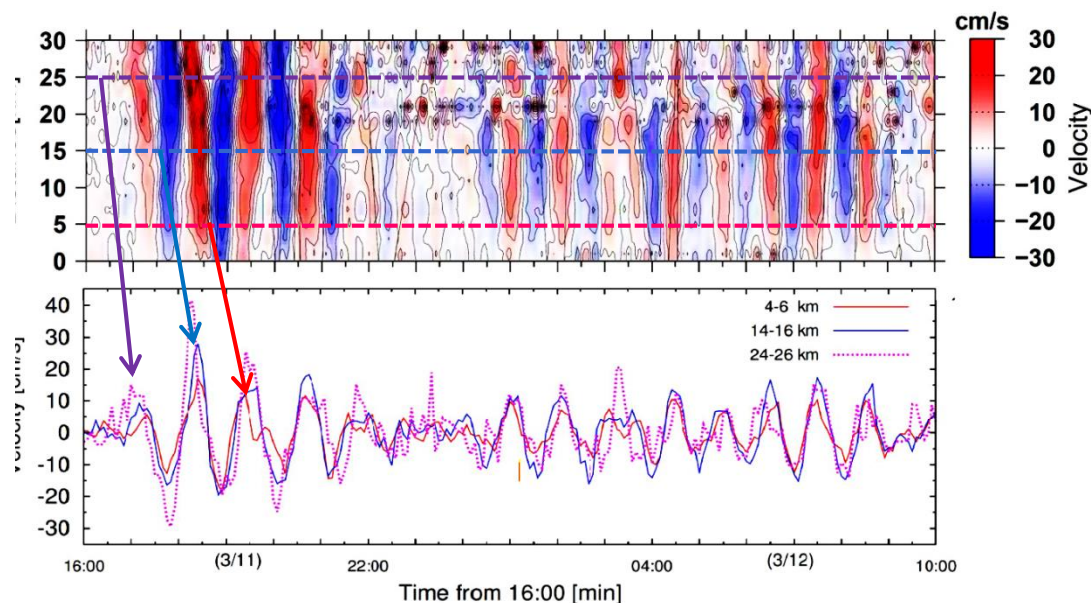
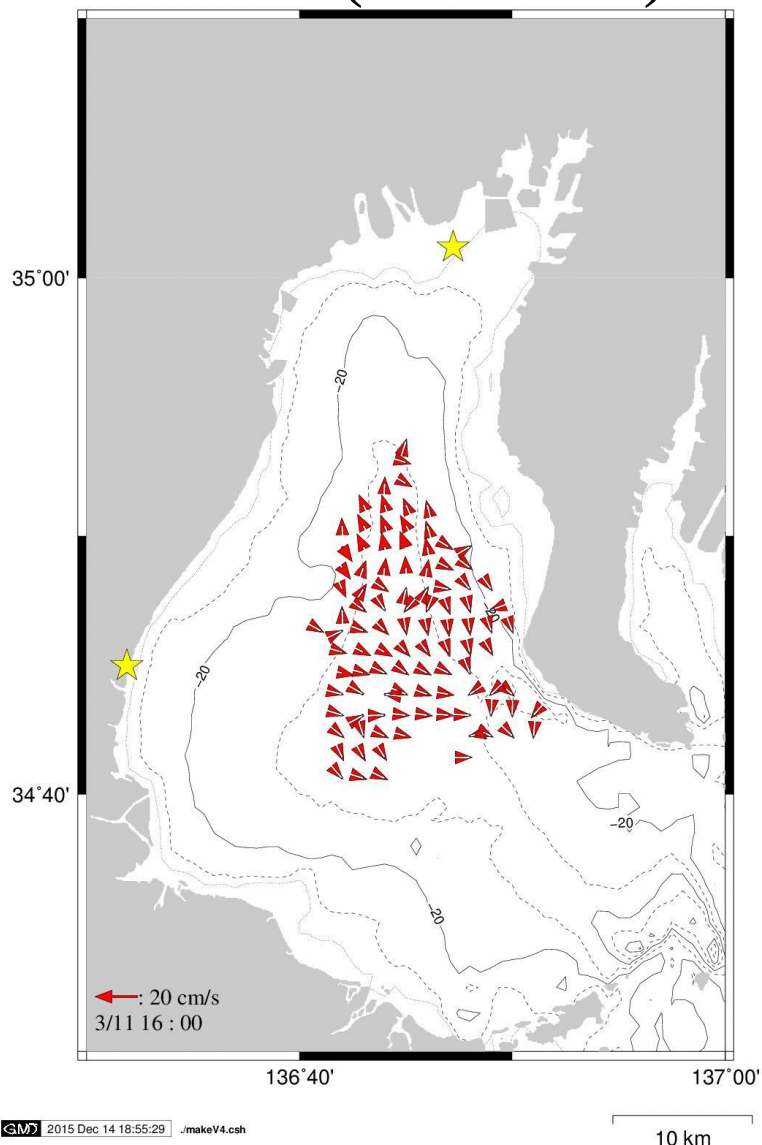
流速・水位変動時系列から直接求めた
進行波の周期:約60-80min

3/11 17:10頃に津波到来。弱い押し波

3/11 17:10-22:30: 進行波が到来

3/11 22:30-0:30: 複雑な振動

3/12 0:30- :東西方向に振動



合成流速場の時間変化

3/11 17:10頃に津波初波
到来。弱い押し波
(3/11 17:15)



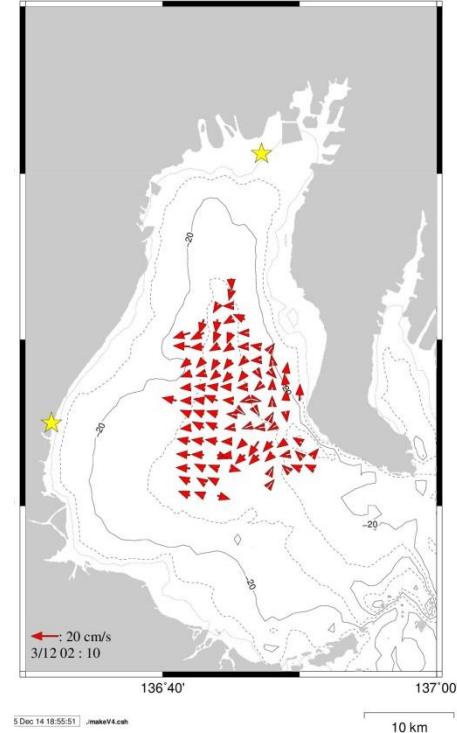
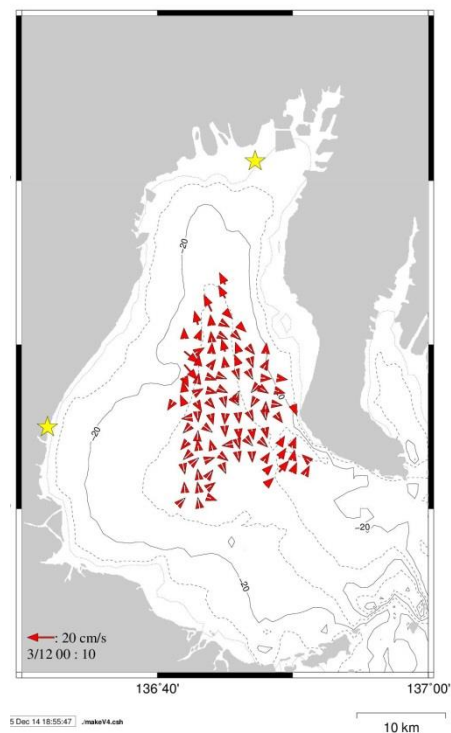
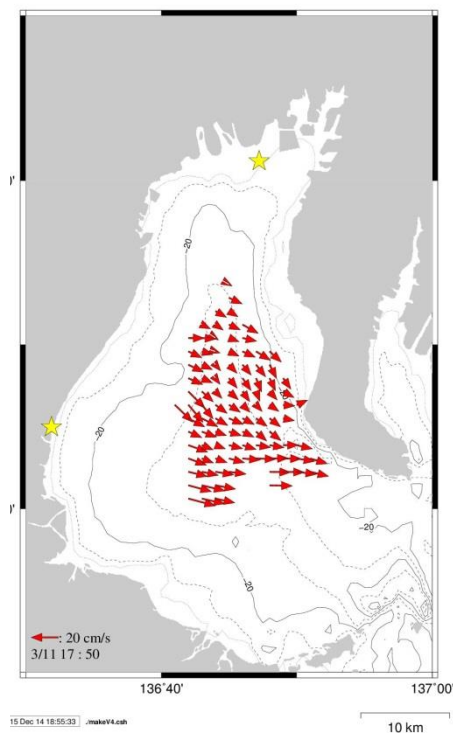
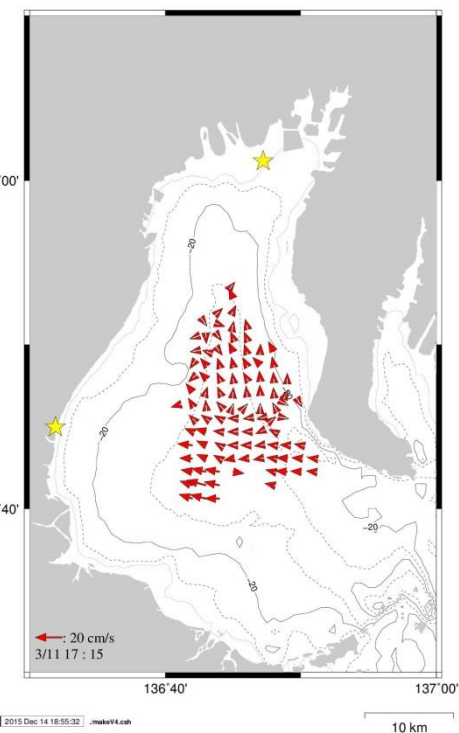
3/11 17:10-22:30
進行波による流速場
(3/11 17:50)



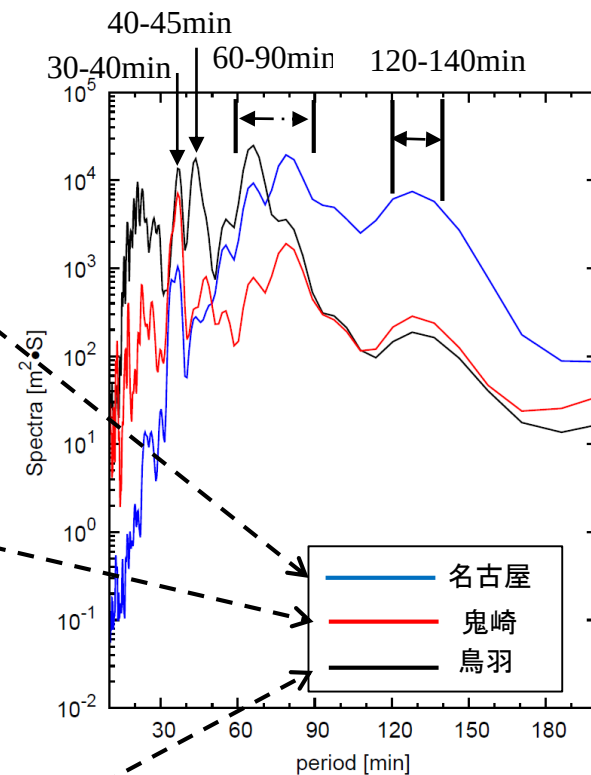
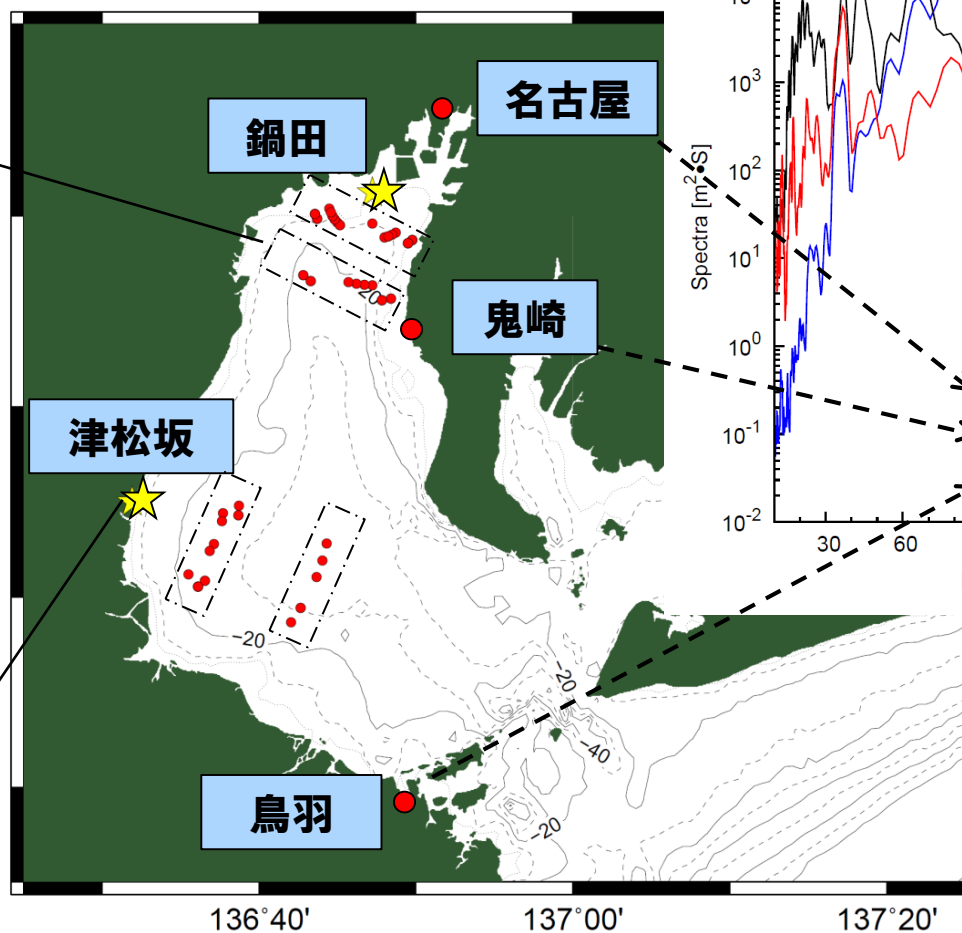
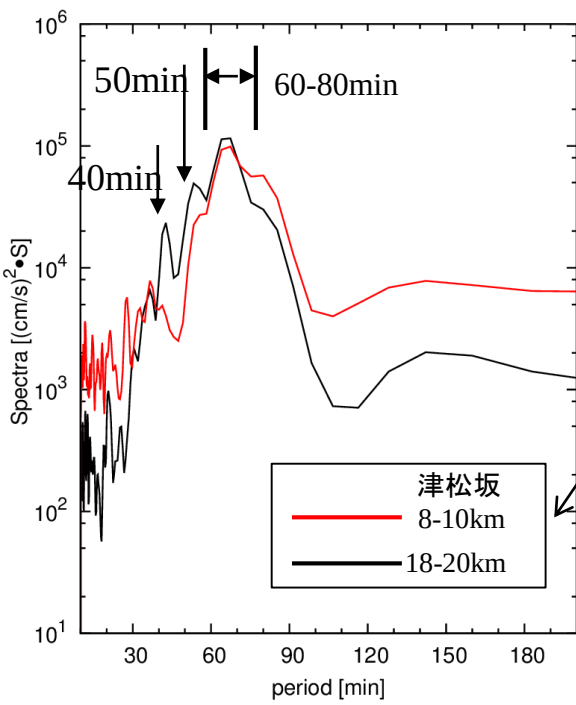
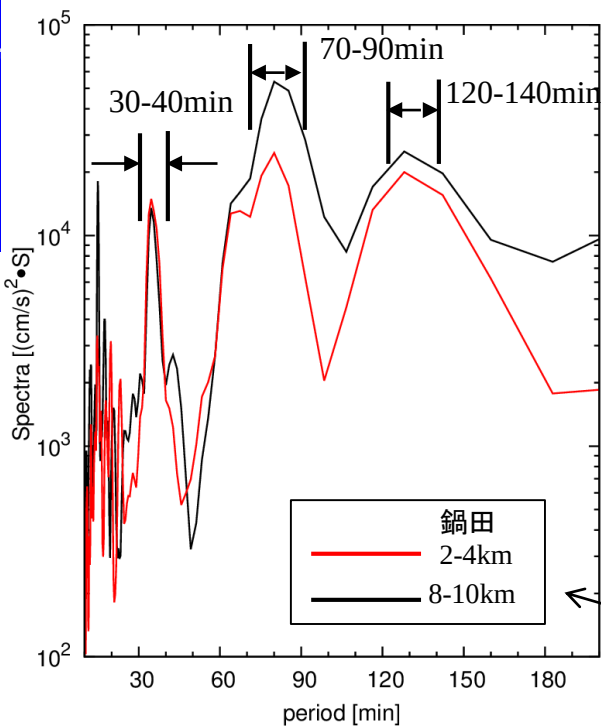
3/11 22:30-0:30
複雑な振動
(3/12 00:10)



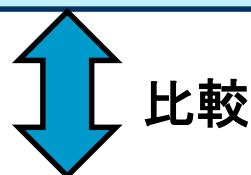
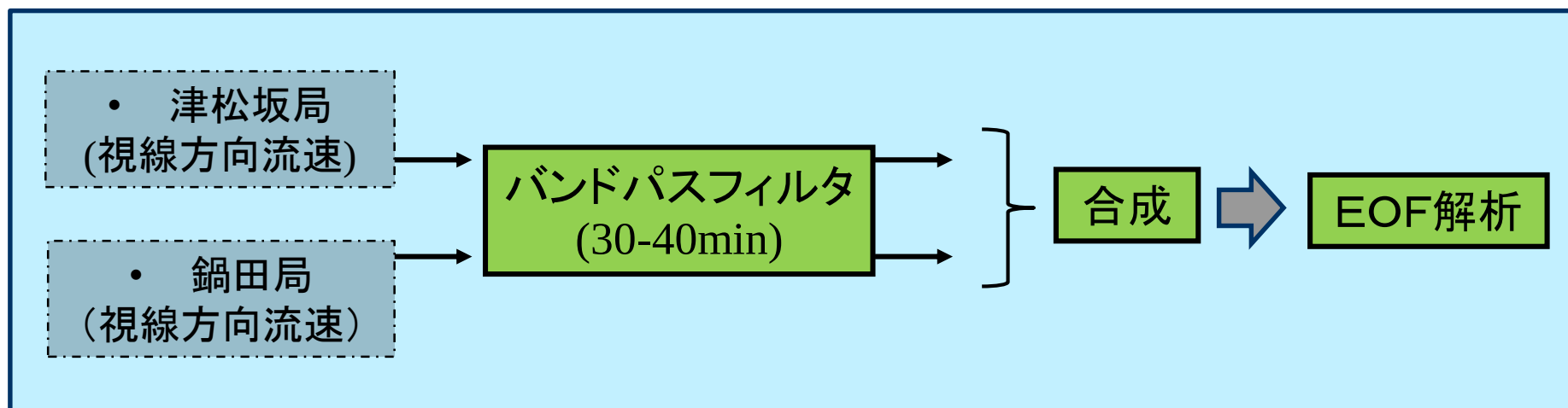
3/12 0:30-
東西方向に振動
(3/12 02:10)



スペクトル解析



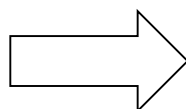
振動モードの抽出



Loomisの方法(物理モデル)

線形長波の式

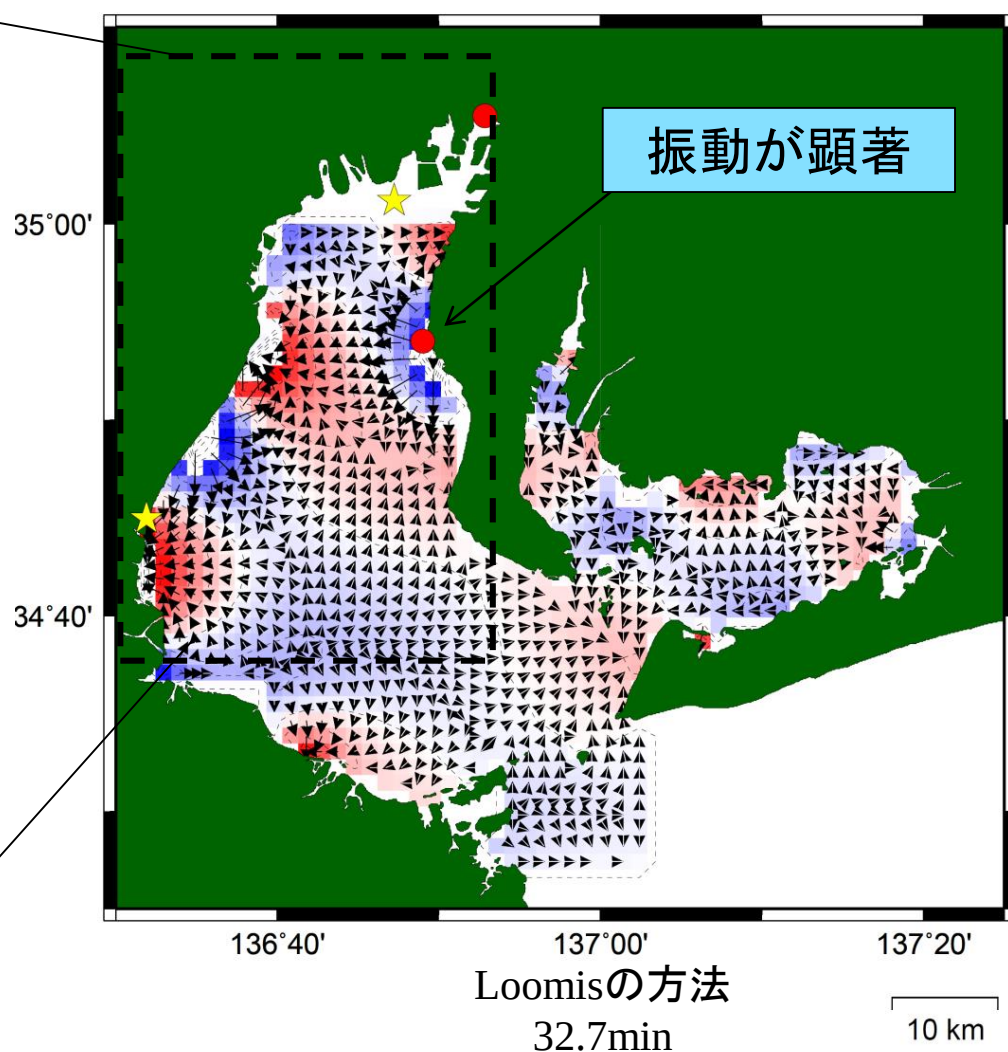
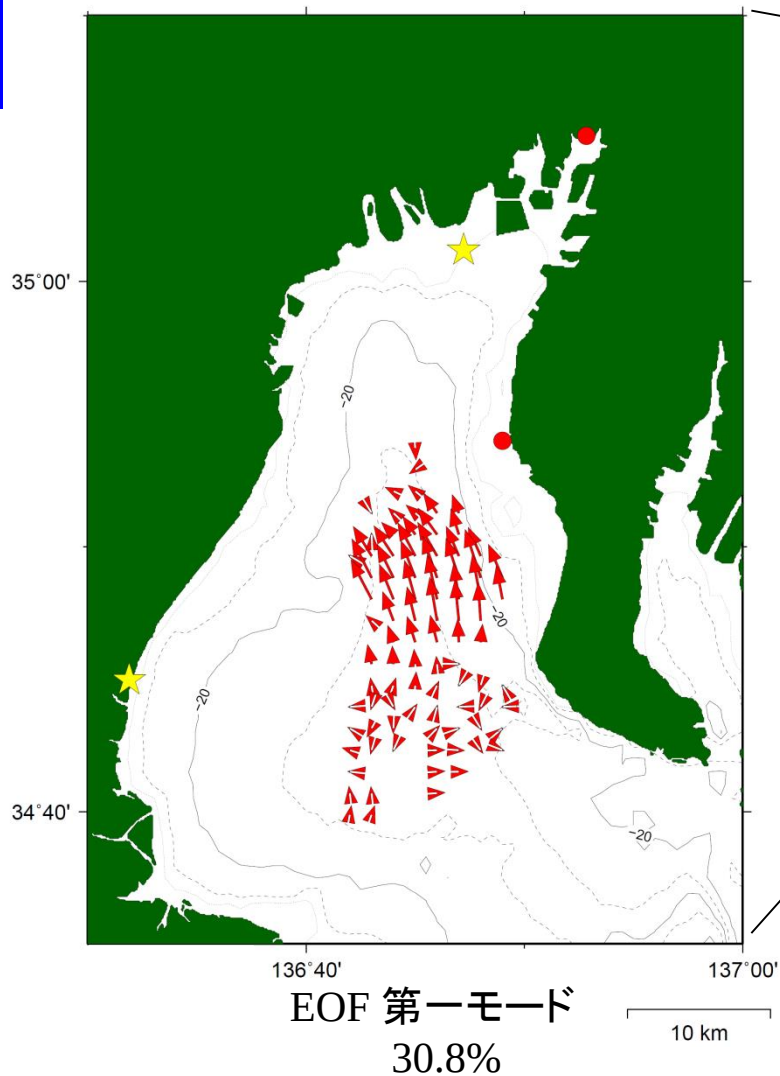
$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = g \nabla \cdot (h \nabla \phi) \\ \phi = \phi_0(x, y) e^{i\omega t} \text{ (流速ポテンシャル)} \end{cases}$$



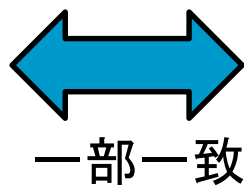
固有値問題として ϕ を解く

$$\nabla \cdot (h \nabla \phi_0) = -\frac{\omega^2}{g} \phi_0$$

(Loomis, 1975)



✓ 湾の中央部から北西向きの
流速パターンが存在。北西-
南東向きの振動



✓ 鬼崎付近、知多半島中央部
で水位変動が大きい。
✓ 水位変動スペクトルと一致。

まとめと今後の予定

- 伊勢湾に設置されたレーダにおいても津波が観測された
 - バンド流速を用いて流速変化を観測
 - 津松坂局で進行波に続く二つの副振動モードを観測
- 紀伊水道と同様に30-40分の周期で副振動が存在
 - 鬼崎で30-40分周期に最も高いエネルギー
 - Loomisの方法によって振動の存在を確認
 - EOF解析による振動モードの算出
 - 伊勢湾中央部から北西向きの振動パターン
 - 鬼崎付近での流速の収束・発散は見られず
- 今後、副振動の詳細な検討
 - 得られた振動パターンにおける位相の違いについて、比較
 - 振動モードの周期変動の解析(STFTなど)



謝辞

名古屋港湾空港技術調査事務所に海洋レーダに関する観測資料を提供いただきました。



ご清聴ありがとうございました