

短波海洋レーダによる津波検知性能の季節変化

○尾方 浩平¹, 小田切 裕樹², 藤 良太郎^{1,3}, 日向 博文⁴

1.国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部

2.東洋建設株式会社 土木事業本部

3.愛媛大学特任助教 大学院理工学研究科

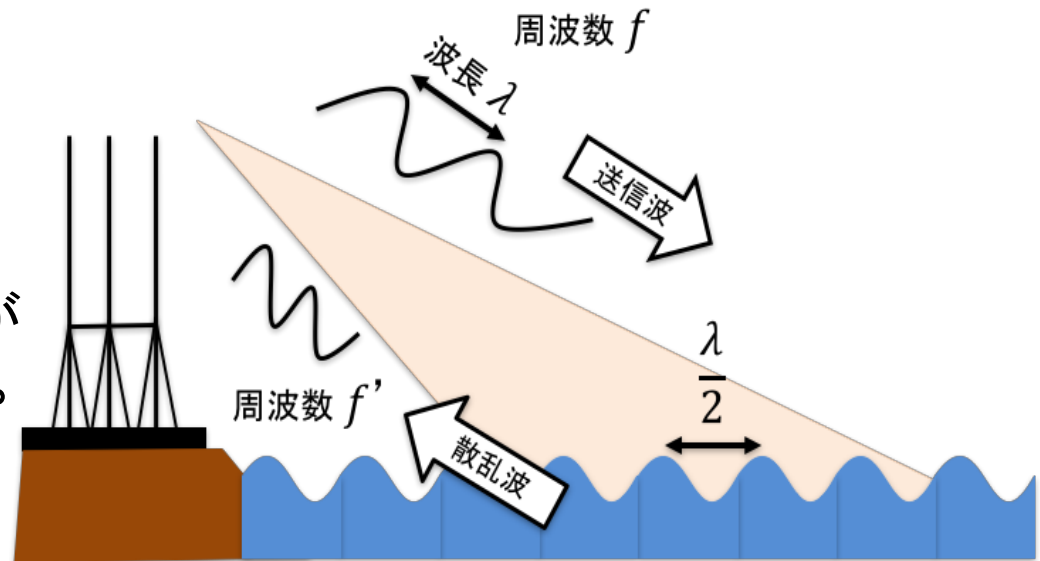
4.愛媛大学教授 大学院理工学研究科

[海洋レーダとは？]

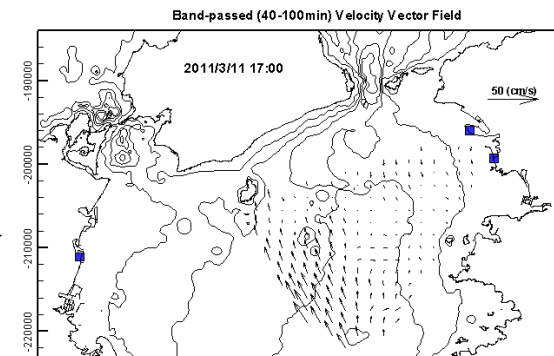
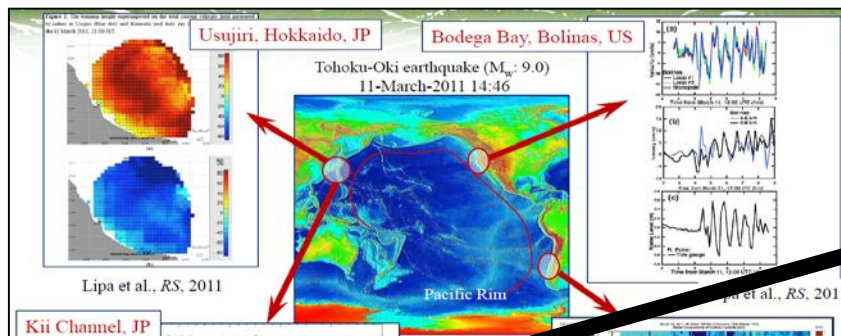
海の流れや波高を遠隔観測する
リモートセンシング機器

一方で、多くの研究者によって
海洋レーダの津波検知への応用が
数值的、理論的に議論されてきた。
(例えば Barrick, 1979)

[東日本大震災による津波]

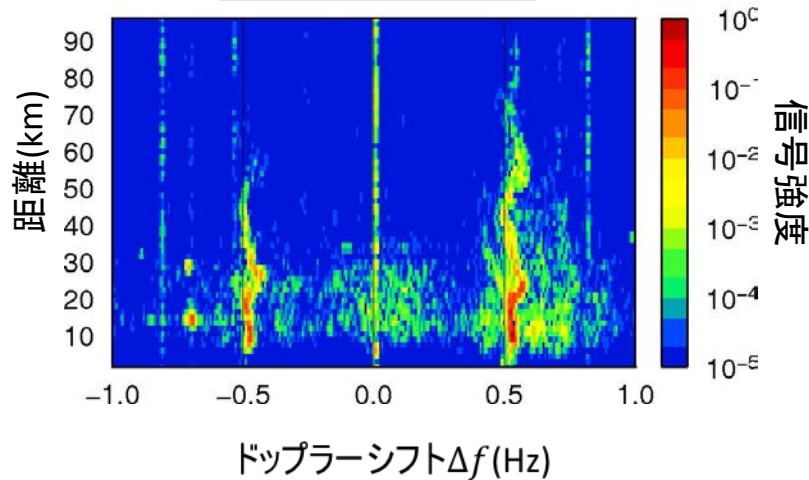


→日本、米国、ドイツ・チリの研究者が**津波流速変動を捉えることに初めて成功**
(Hinata et al, 2011, Lipa et al, 2011, Dzvonnkovskaya et al, 2011)



海洋レーダを改良し、津波検知を可能とする
津波レーダの開発が行われている。

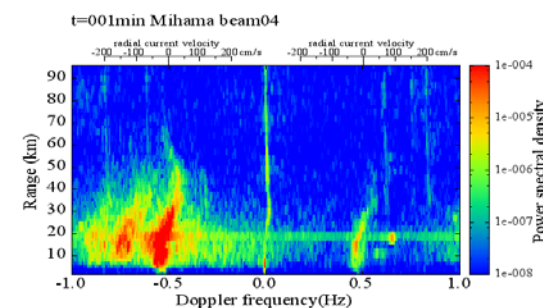
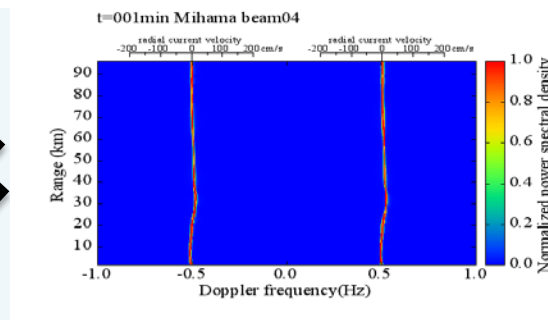
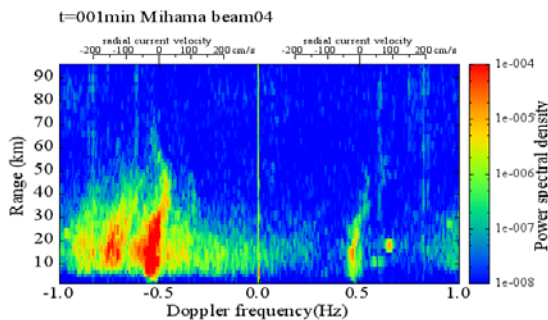
ドップラースペクトル



- ・ **外的要因** による観測精度への影響
 - 波浪 :: 後方散乱波の減衰
 - 外来ノイズ :: 受信波への混信
 - 第1次散乱ピーク読み取り精度が低下
 - 津波検知性能の **統計的な評価** が必要
- ・ 観測された津波は2つのみ (気象津波は除く)
 - 性能検証用のデータが圧倒的に不足

Fuji and Hinata (2017)

[仮想津波観測実験] (Gurgel et al., 2011)



海洋レーダによる観測受信信号
($S(b, m, t)$)

数値シミュレーションによる
津波のみの信号
($\Theta(b, m, t)$)

仮想津波の観測データ
($X(b, m, t)$)

既往の研究と本研究の目的

4

Fuji and Hinata (2017)

- 津波流速の相互相関係数の上昇に着目し津波の後続波の検知確率を評価
- 信号ノイズ(SN)比が津波検知確率に大きく影響

信号ノイズ比

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\max\{P_{Sp}, P_{Sm}\}}{\min\{P_{Np}, P_{Nm}\}}$$

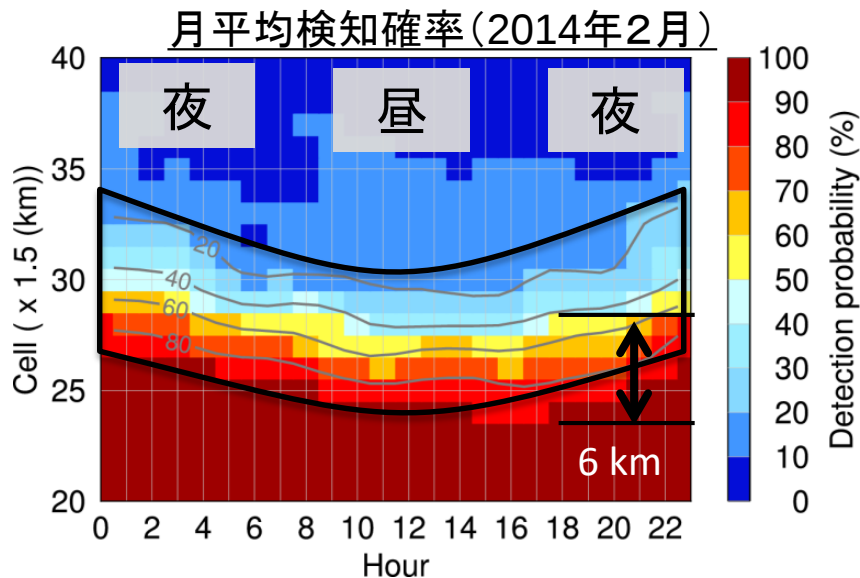
P_{Sp}, P_{Sm} : signal (plus, minus)

P_{Np}, P_{Nm} : noise (plus, minus)

→ 距離や波浪によって減衰

→ 人間活動による外来ノイズ

大気中に存在する電離層の発達程度によって増減する



35km(25レンジ)以遠に着目すると,, ,

- ・昼間に検知確率低下
- ・夜間に検知確率上昇



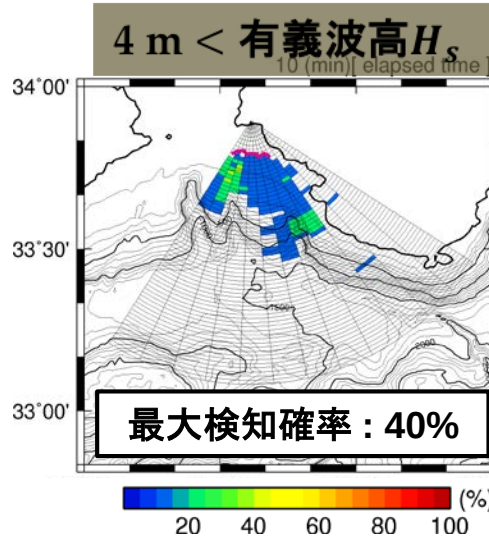
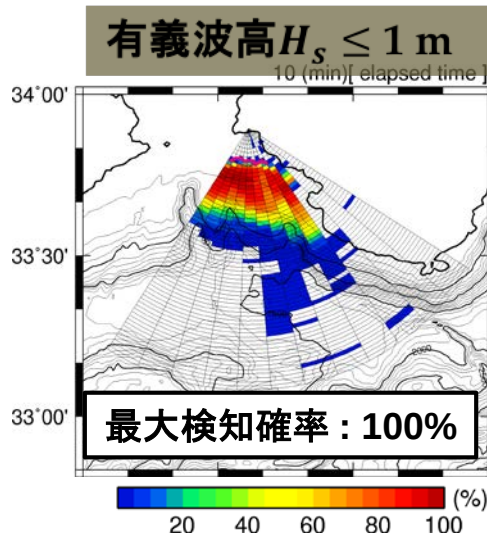
昼間に発達しやすいという電離層の日周変動に伴った検知確率の変動を確認

既往の研究と本研究の目的

5

Ogata et al (2018)

- 仮想津波観測実験に基づいてリアルタイム津波検知確率を評価（2014年2月を対象）



津波発生時の有義波高に着目

津波検知確率と波浪状況(有義波高)の関係性を評価



有義波高が4mを越えると
津波検知困難

ノイズ変動幅

ノイズレベルは
・波高に依存しない
・距離方向に同程度

シグナル変動幅 vs ノイズ変動幅

波浪状況によって変動

距離減衰
(波浪も影響)

電離層発達: 強

対象期間

2014年2月
(高波浪)

波浪状況

Ogata et al
(2018)

- 仮想津波観測実験に基づいて1年間の津波検知性能を検討

→ 津波検知確率の季節変化とそのメカニズムを評価する

美浜局と南海トラフ巨大地震津波

6

- 海洋短波レーダ(美浜局)

- NJRC(長野日本無線)社製レーダ
- 中心周波数 : 24.515MHz
- ビーム本数 : 04ビーム
- 距離分解能 : 1.5km
- 設置期間 : 2012/9~2016/2
- 対象期間 : 2014年 (1 年間)

- 南海トラフ巨大地震検討ケース3津波

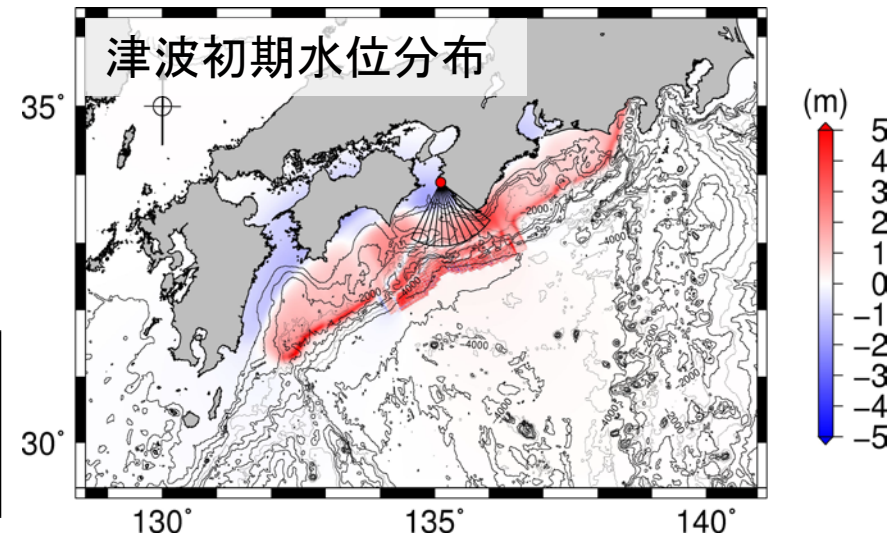
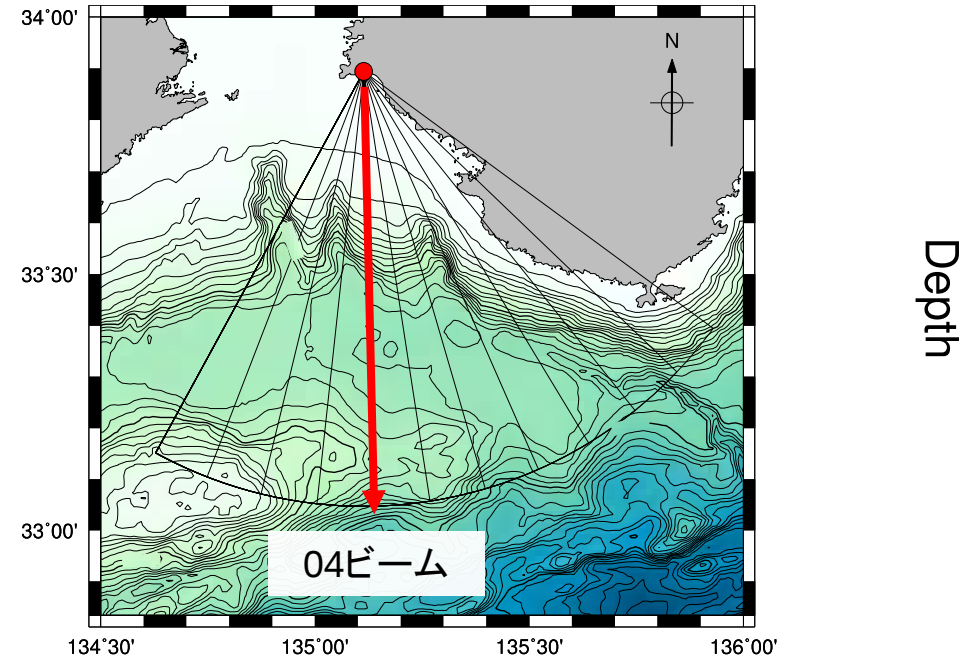
非線形長波方程式

$$\frac{dM}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0,$$
$$\frac{dN}{dt} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0.$$

連続式

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

η : 静水面からの水位変動量, g : 重力加速度,
 M : x方向のフラックス, N : y方向のフラックス,
 D : 全水深, マニングの粗度係数 (n) : 0.025

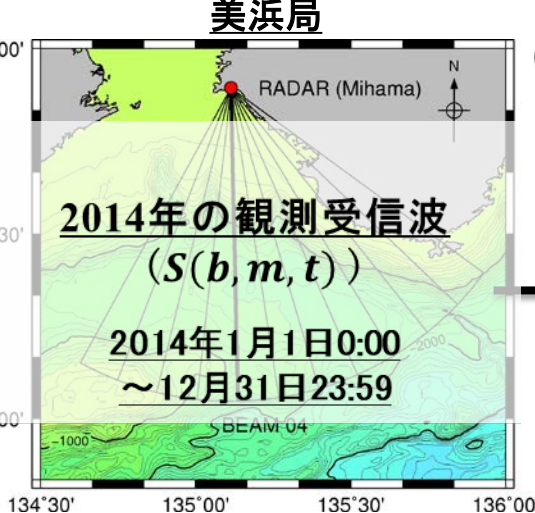
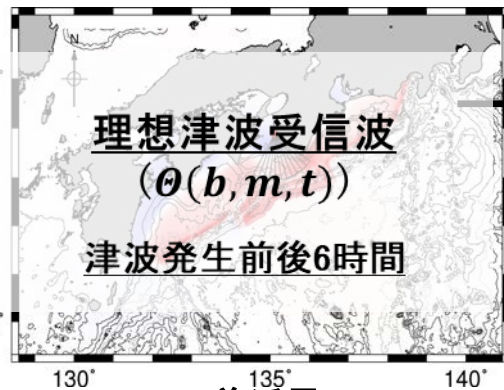


仮想津波観測実験の手順

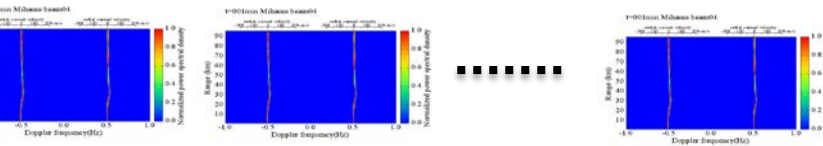
7

南海トラフ巨大地震津波

津波発生時刻を1時間ずつずらしながら合成



各月1日



月末

6:00

7:00

17:00

第 1シナリオ

第 2シナリオ

最終シナリオ

月単位でシナリオ作成

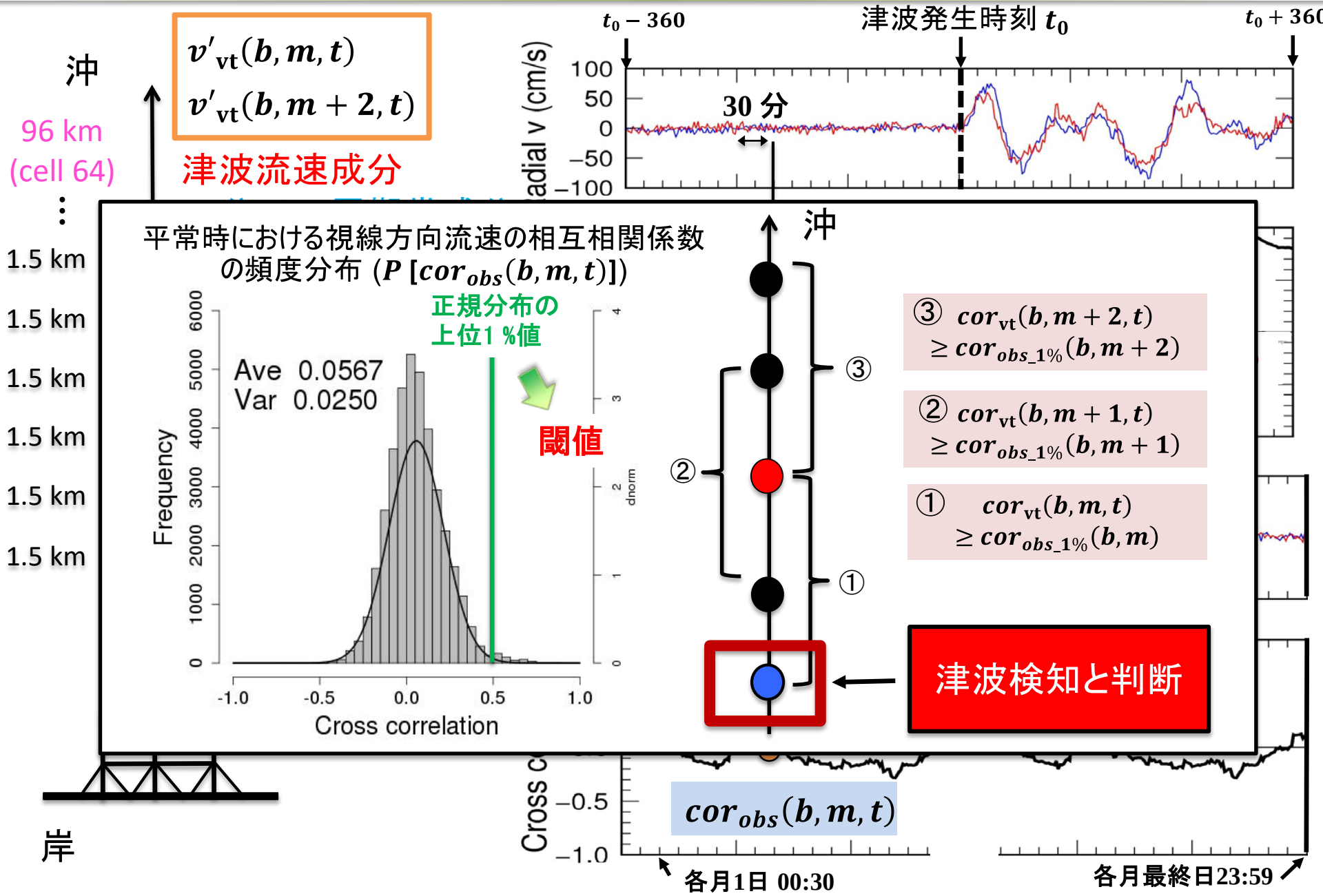
各月おおよそ600通りの仮想津波観測受信波
(合成受信波 ($X(b, m, t)$))

各月の総シナリオ数

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
シナリオ数	661	596	656	623	638	643	655	658	639	115	517	640

リアルタイム津波検知手法

8

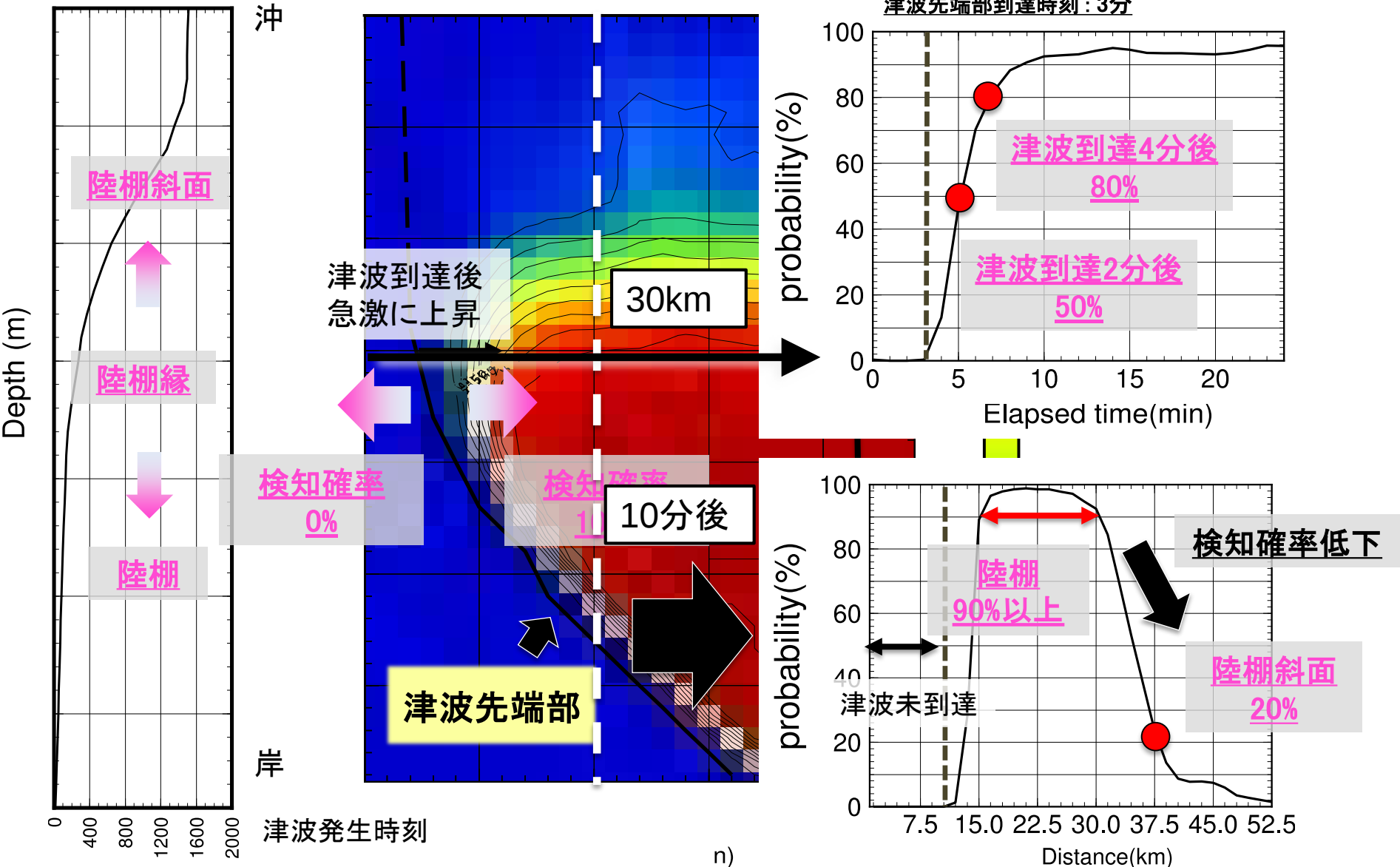


4月のリアルタイム津波検知確率

9

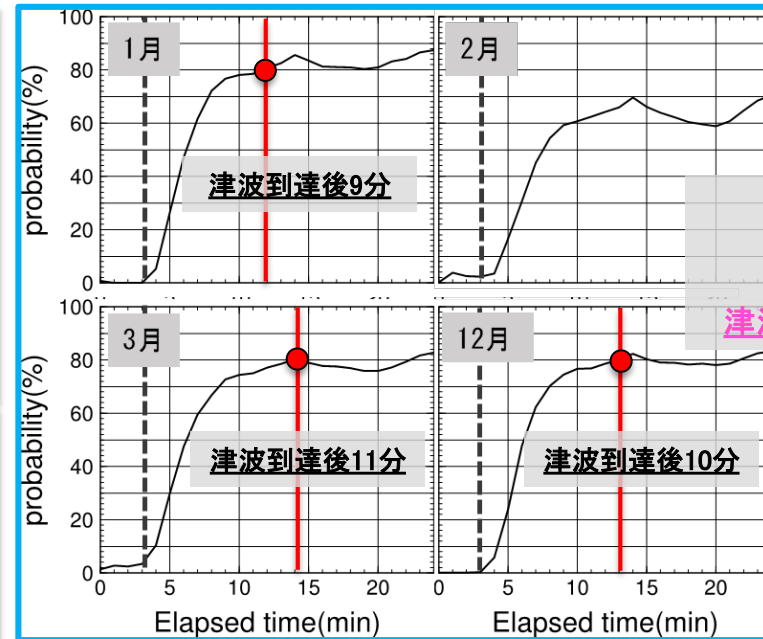
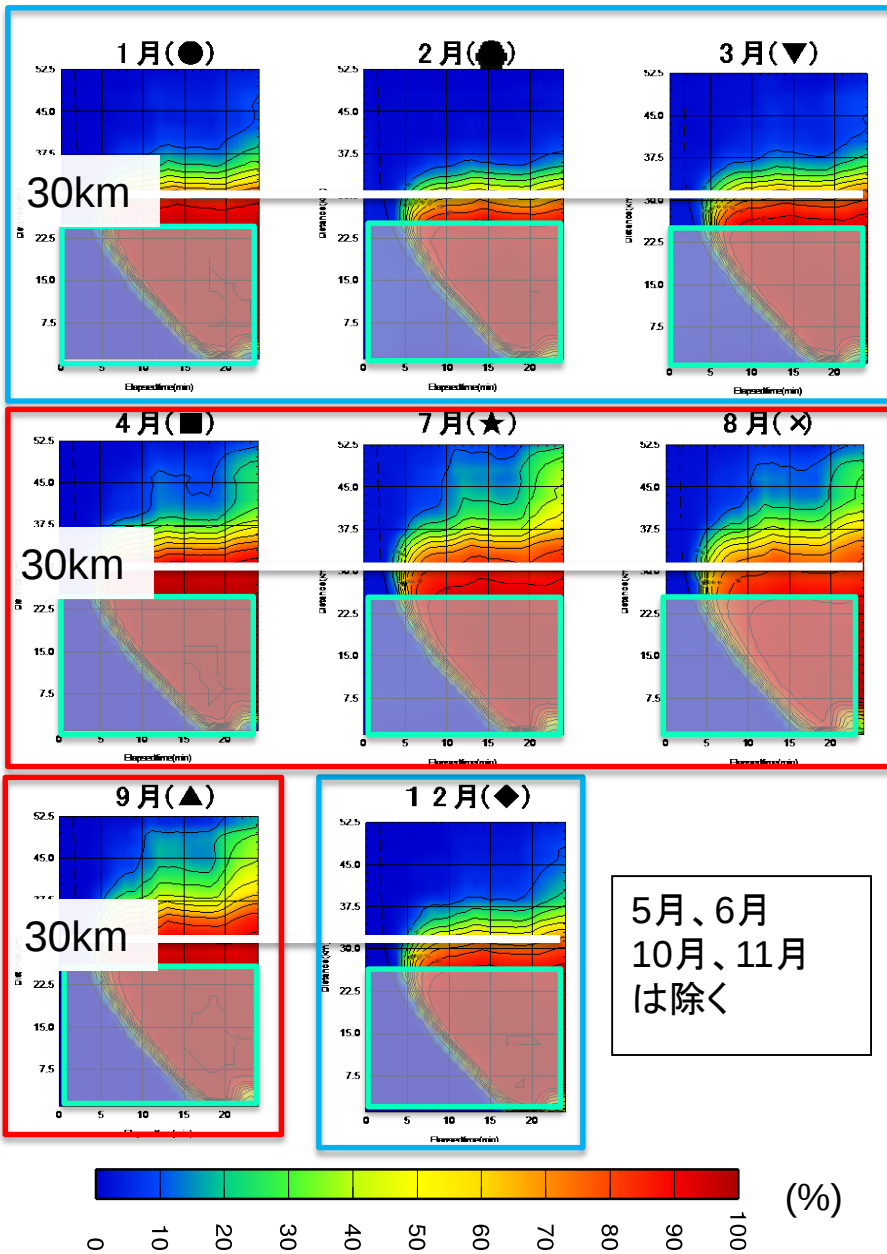
4月のリアルタイム津波検知確率

(%)



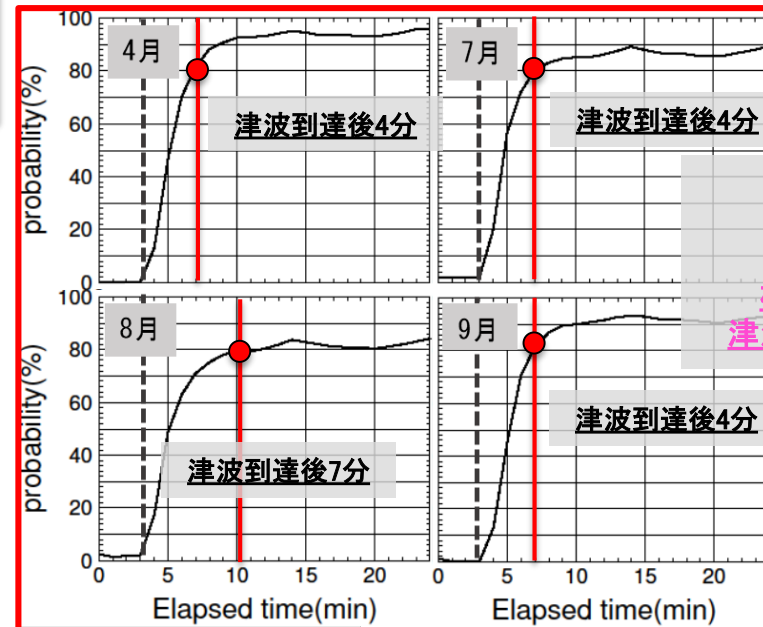
2014年各月のリアルタイム津波検知確率

10



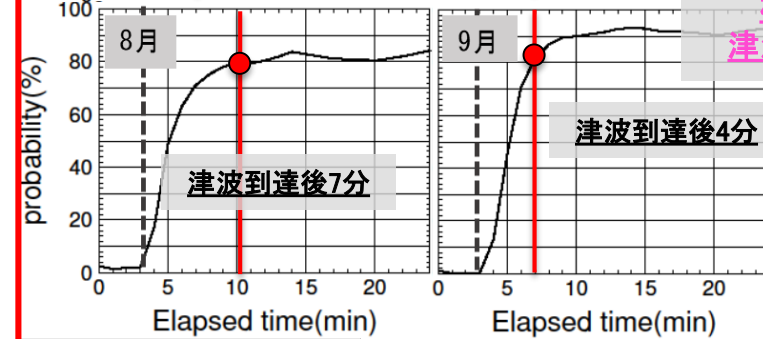
冬季

検知確率80%
津波到達後約10分



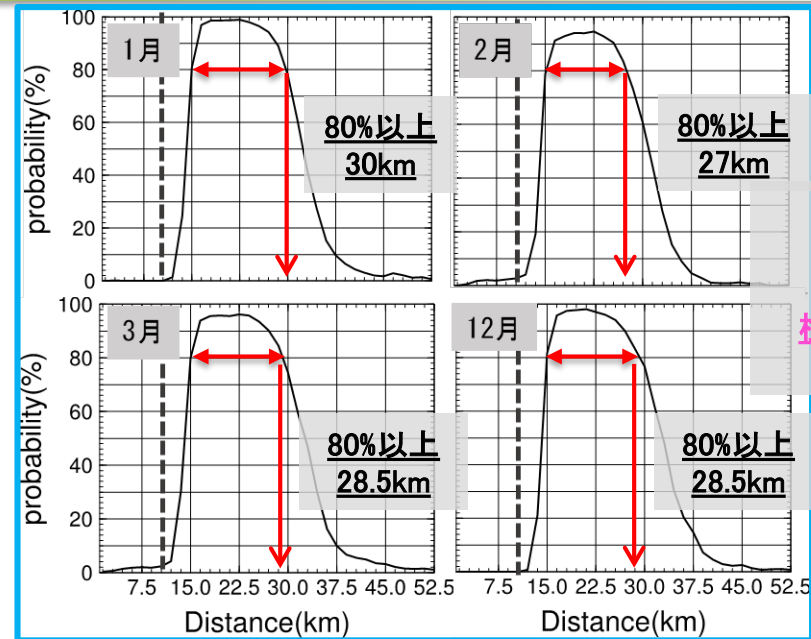
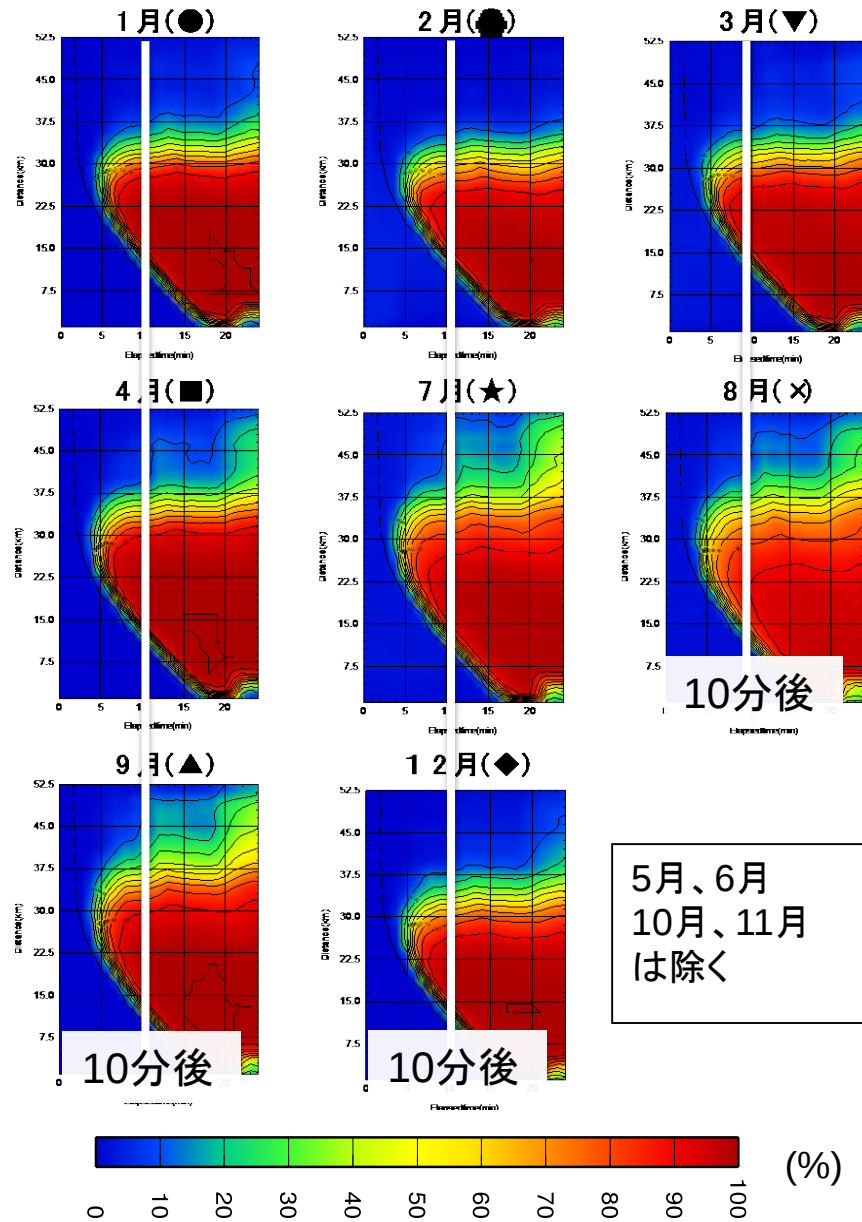
夏季

検知確率80%
津波到達後約4分



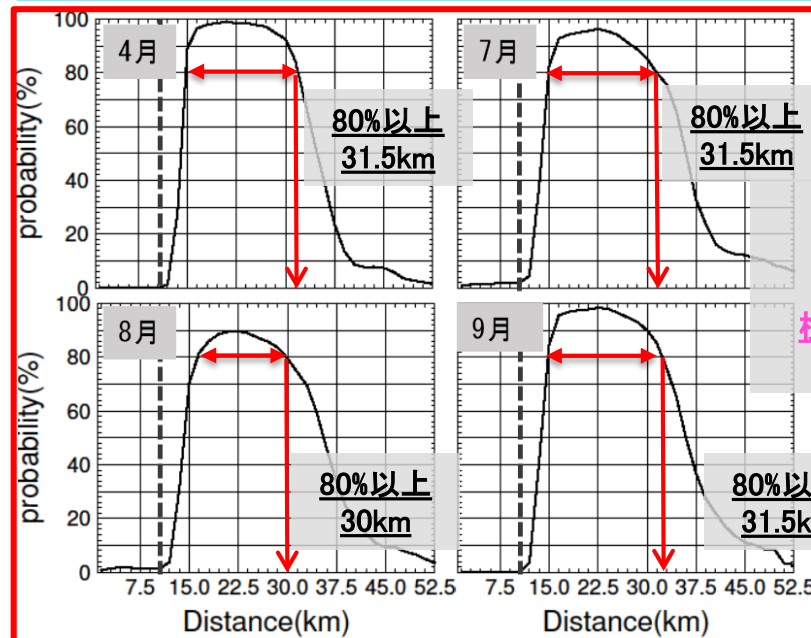
2014年各月のリアルタイム津波検知確率

11



冬季

検知確率80%
27-30km

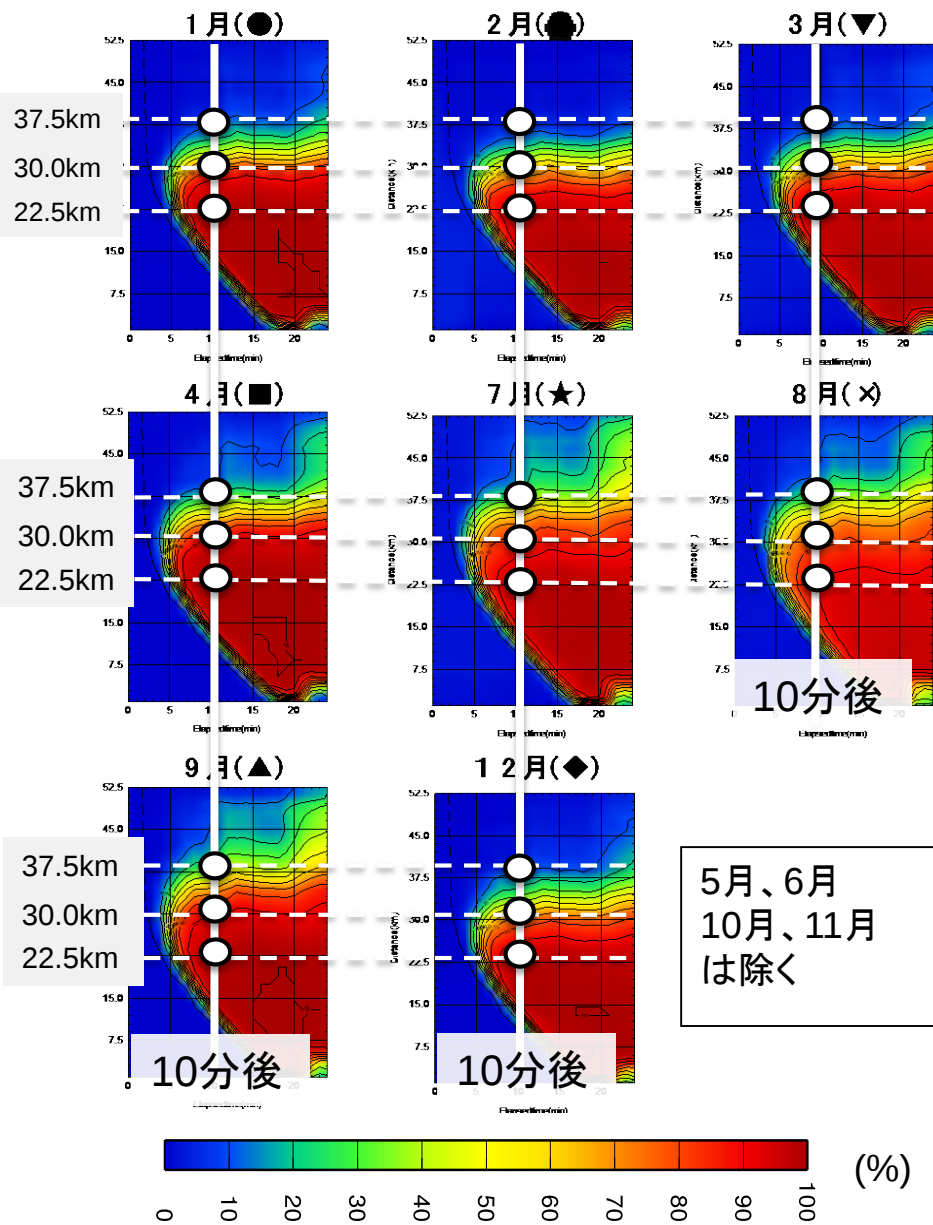


夏季

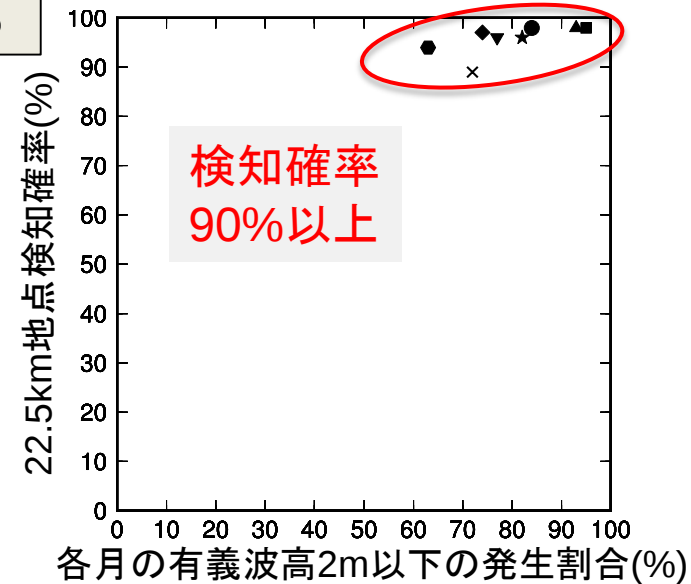
検知確率80%
30-31.5km

有義波高(2m以下)と津波検知確率の関係

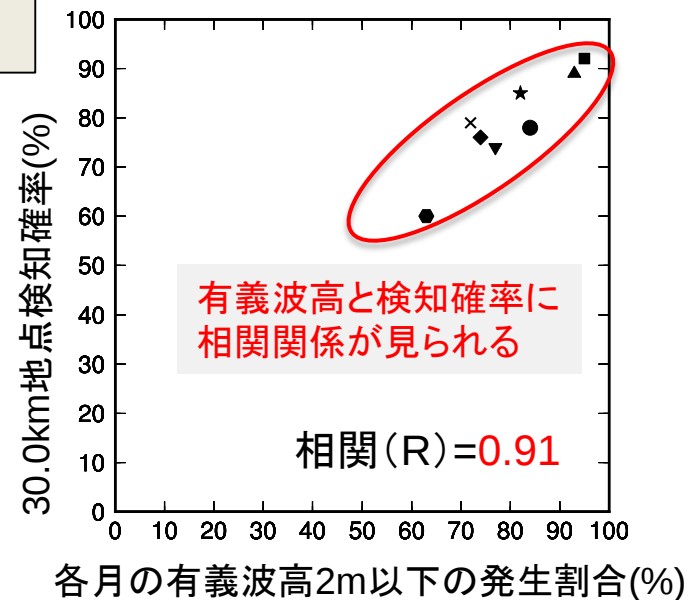
12



陸棚
(22.5km)



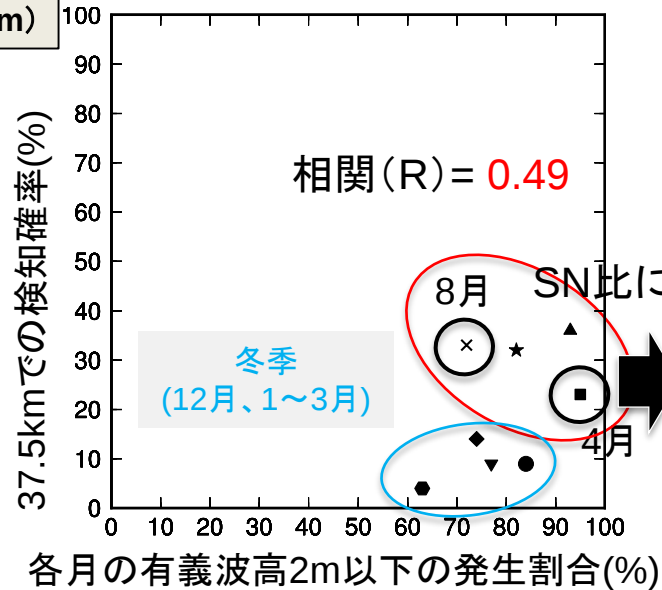
陸棚縁
(30km)



津波検知確率への影響要因(SN比)

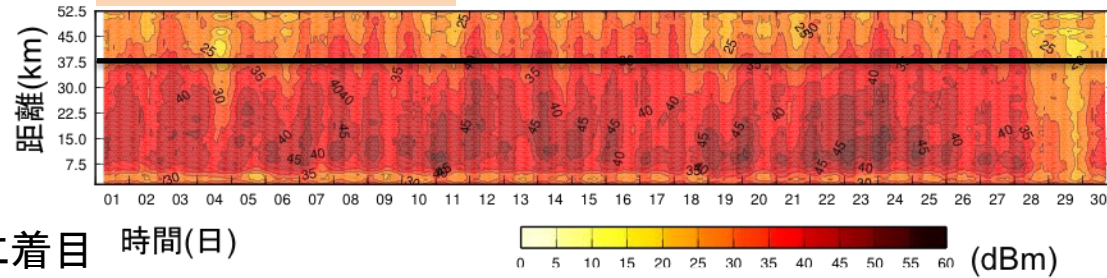
13

陸棚斜面
(37.5km)



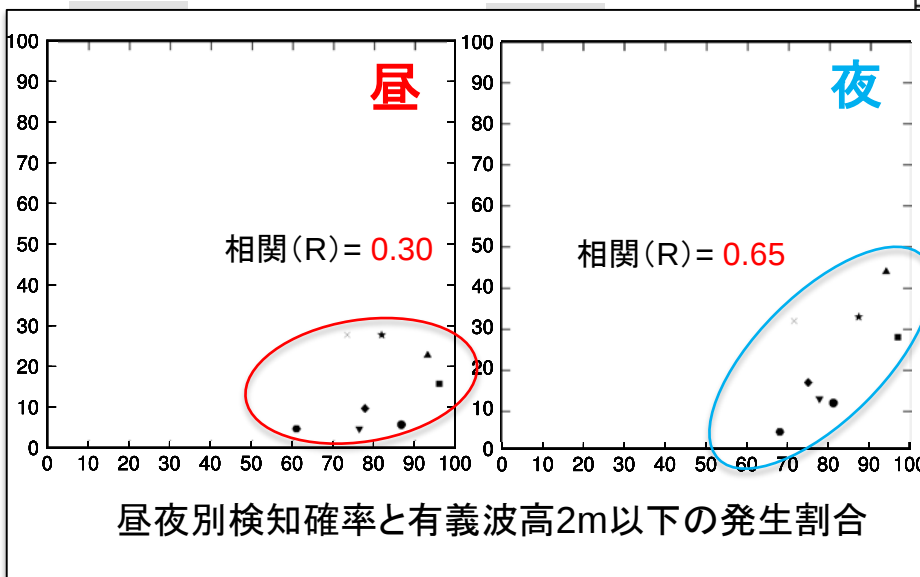
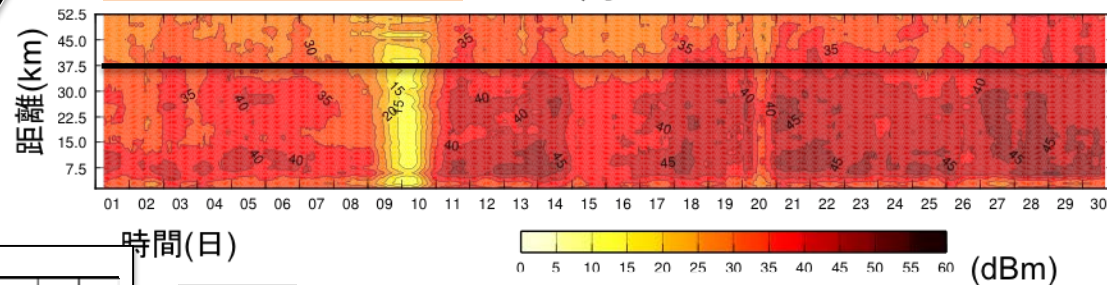
電離層発達: 強い

4月



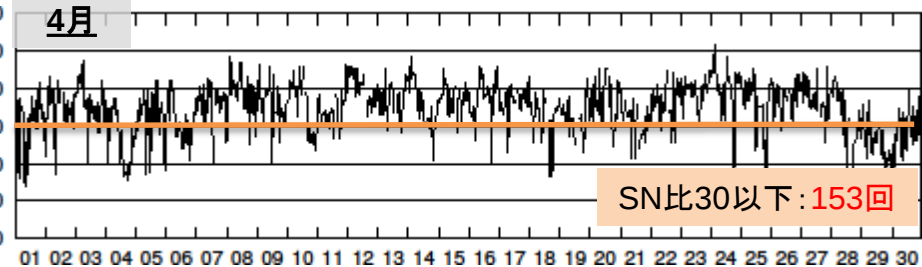
電離層発達: 弱い

8月

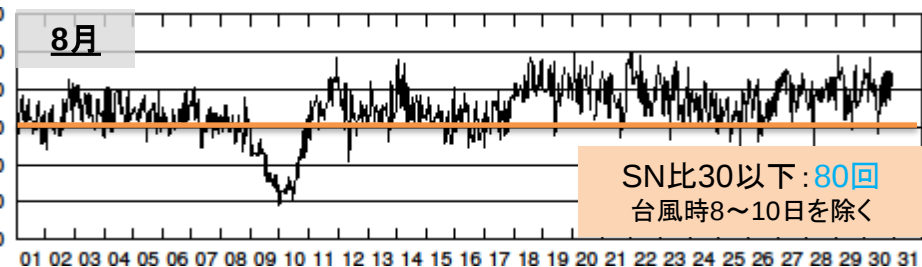


時間(日)

4月



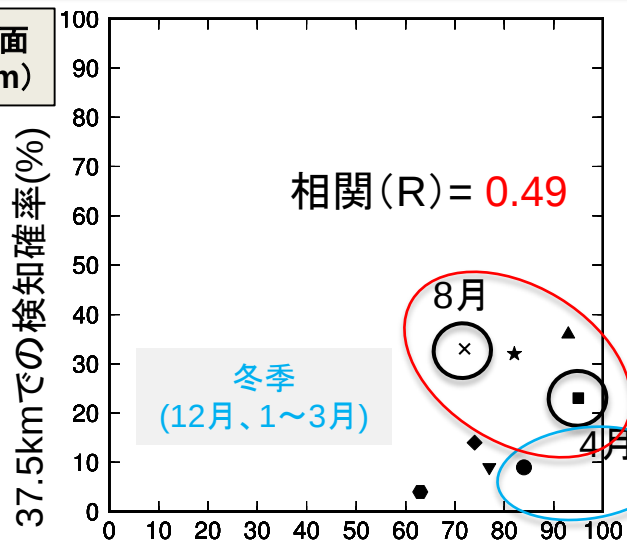
8月



津波検知確率と有義波高・電離層の関係

14

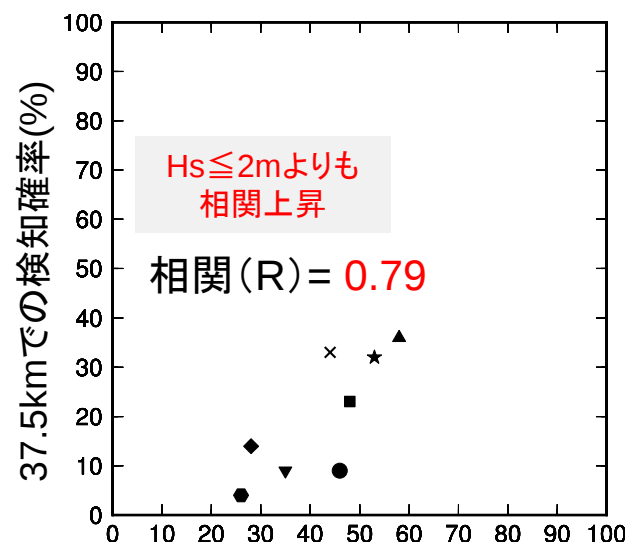
陸棚斜面
(37.5km)



各月の有義波高2m以下の発生割合(%)

陸棚斜面
(37.5km)

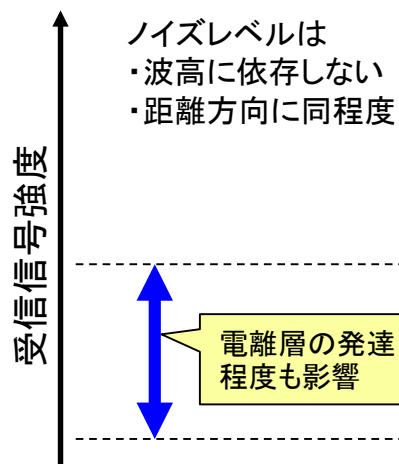
$H_s \leq 1m$ の発生割合



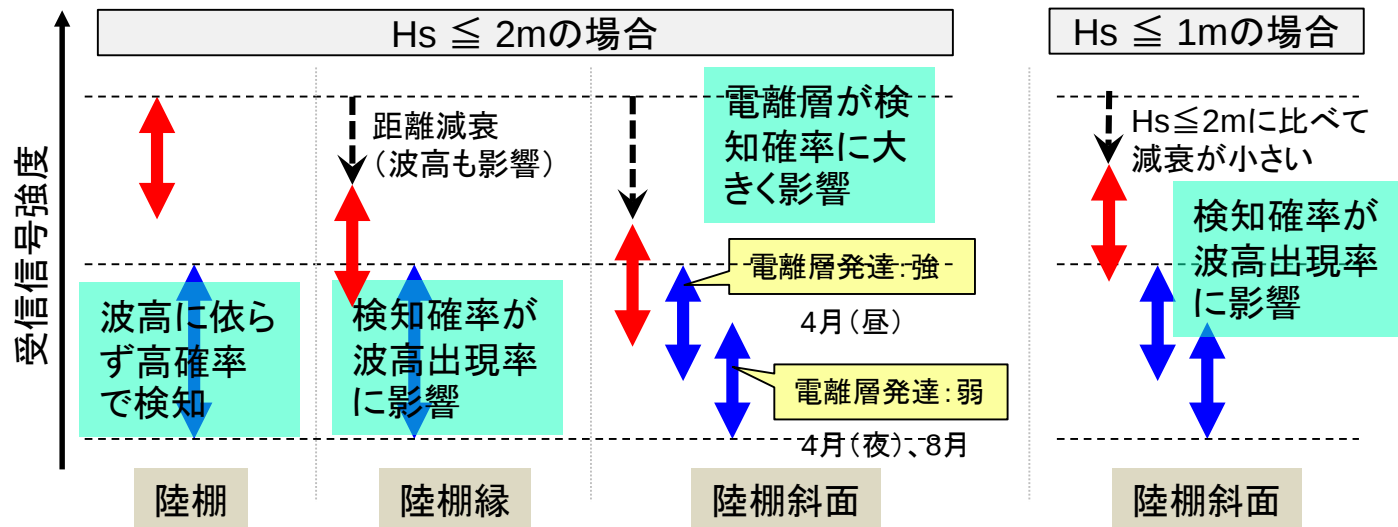
各月の有義波高1m以下の発生割合(%)

→ 電離層に依らず津波を検知

ノイズ変動幅



シグナル変動幅 vs ノイズ変動幅



仮想津波観測実験に基づいて2014年1年間の津波検知確率を示し、有義波高による検知確率の変化を検討

- Ogata et al(2018)の手法を用いてリアルタイム津波検知確率を算出
- 2014年の津波検知確率結果から年間の季節的な変動を検討
 - 冬季(1~3,12月)と比べて夏季(4,7~9月)の方が検知性能が良好であった
 - 季節的に変化する波浪状況及び電離層の発達程度が検知性能に影響

