

海洋レーダ研究集会 (H26.12.10-11)
九大応力研

外海域における津波検知のための基礎観測

電力中央研究所 坂井伸一、松山昌史
中部電力 奥田康三、上原史洋

研究の背景

内閣府／地震・津波関連指針等検討小委員会が2012年に公表した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針および関連の指針類に反映させるべき事項について(とりまとめ)」の中で、津波観測網の整備が今後の課題として挙げられている。

これを受け、沿岸域に立地する原子力発電所では、大規模地震発生後の初動判断や災害が発生した場合の対策実施判断のための手段として、自主的な津波観測網の整備に取り組み始めている。

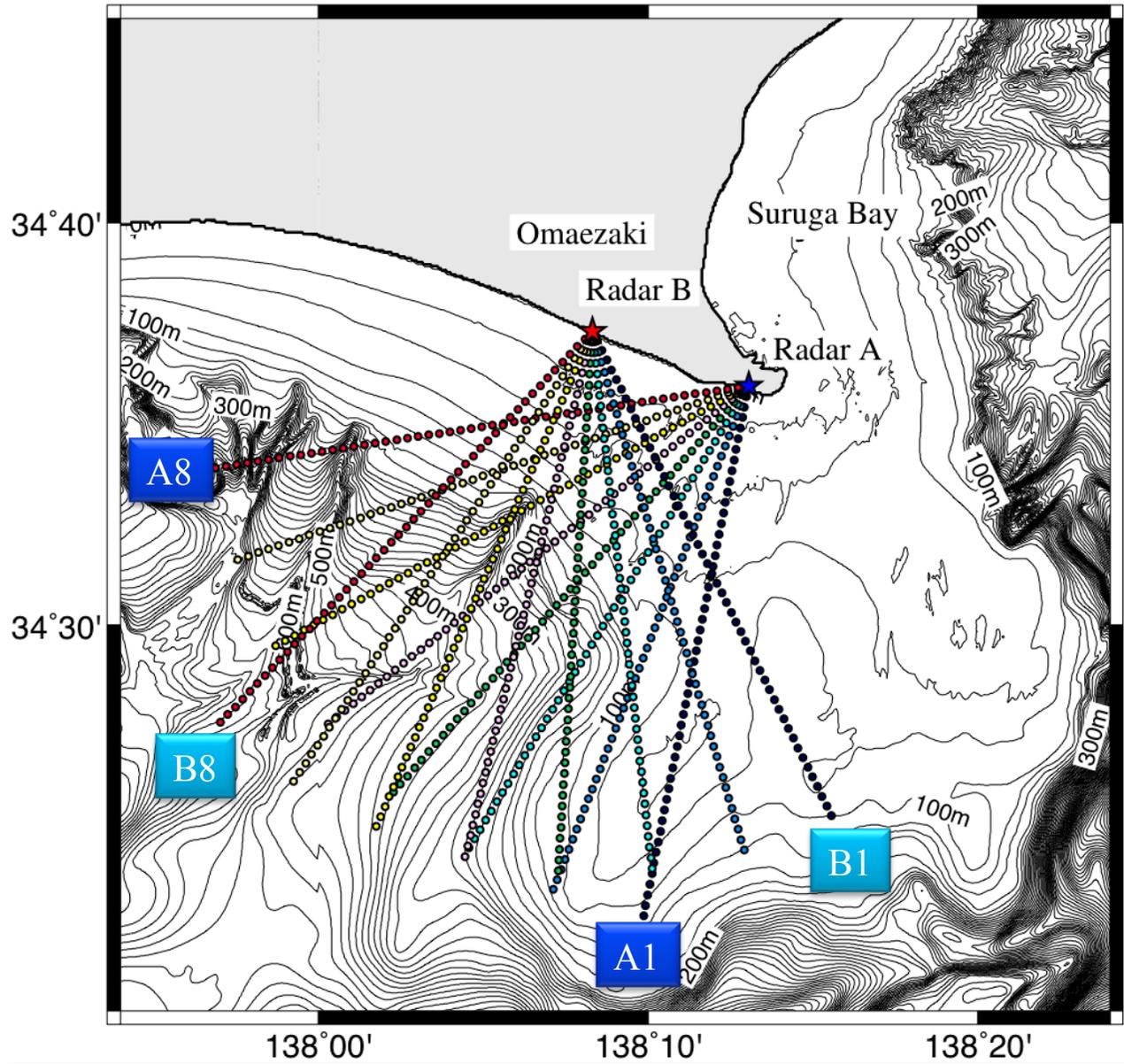
海洋レーダは、広域の流況変動を連続観測できるため、津波検知に有用と考えられるが、実観測(特に短時間観測)結果に基づく知見が少ない。

研究の目的

早期警報のための津波検知アルゴリズムの確立や検知してから津波が到達するまでの時間把握等については、対象地点の周辺地形を考慮した数値シミュレーションによる検討が必須となる。

本研究では、外海域に立地する原子力発電所前面海域を対象に、津波シミュレーションを実施する上で重要となる、最大探知距離や観測精度の変動特性、および自然環境下における海域流動の短時間変動特性等を、実観測により把握することを目的とする。

VHF帯DBF海洋レーダによる観測範囲



A局

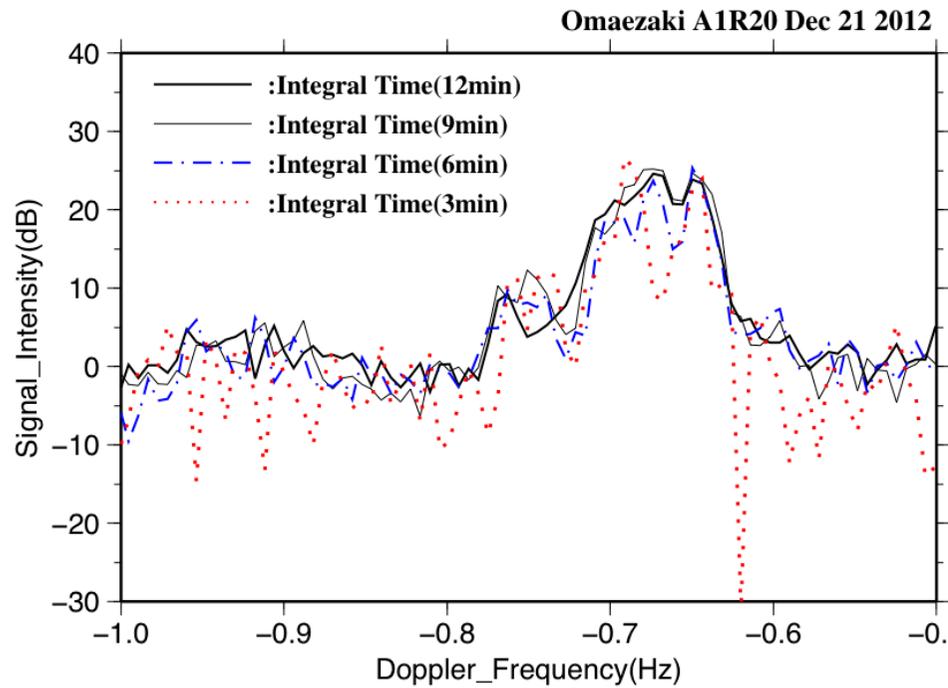


B局

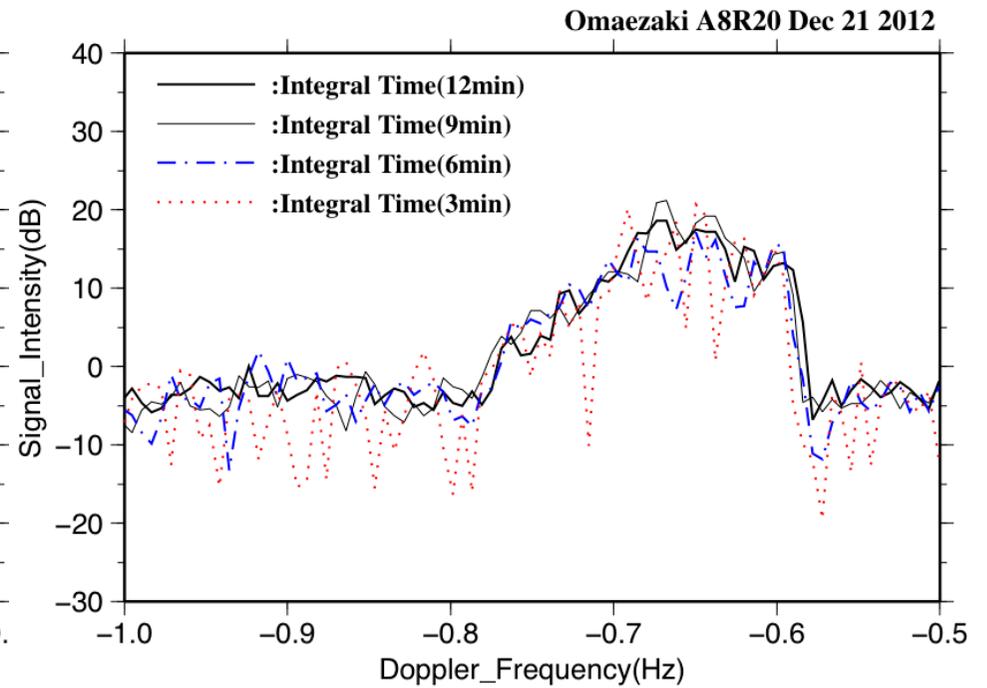


観測積分時間の違いと1次散乱ピーク

Beam A1R20



Beam A8R20



観測期間

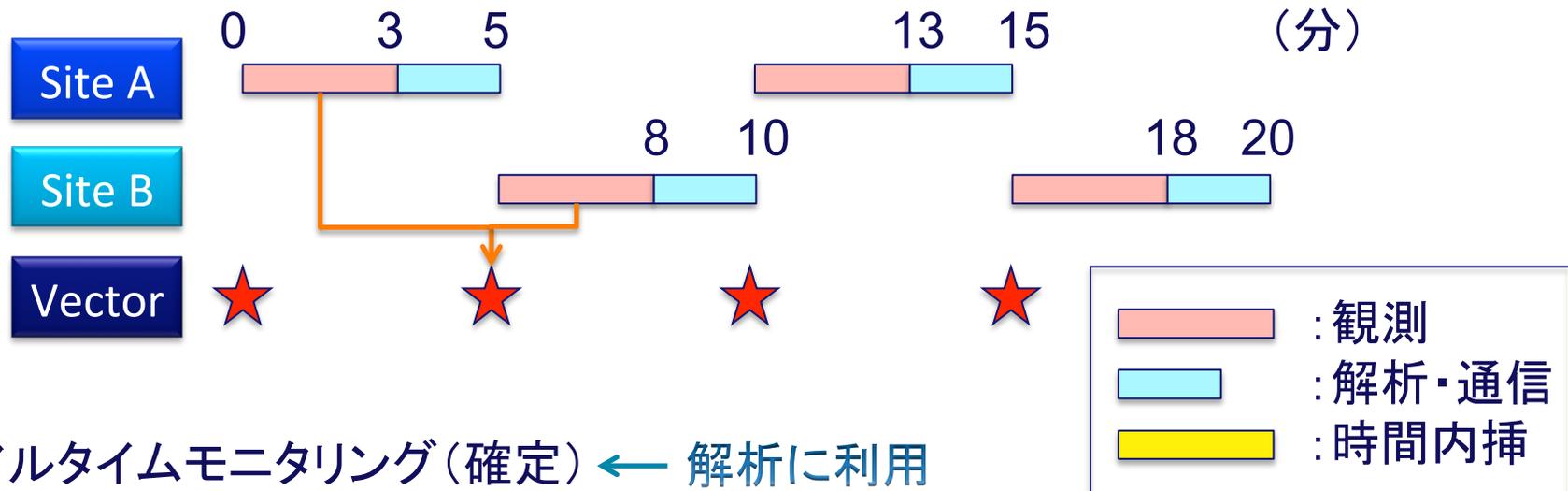
期間	備考
2012.12.21 ~ 2013.07.13	A局単独／約204日間
2013.10.18 ~ 2013.12.05	B局単独／約48日間
2013.12.09 ~ 2013.12.29	両局／約20日間
2014.01.06 ~ 2014.02.08	両局／約33日間
2014.02.17 ~ 2014.04.23	両局／約65日間
2014.04.28 ~ 2014.05.13	両局／約14日間
2014.05.14 ~ 2014.07.09	両局／約55日間
2014.07.19 ~ 2014.08.28	両局／約39日間
2014.09.16 ~ 2014.10.26	両局／約40日間
2014.10.27 ~ 2014.11.11	両局／約16日間
2014.11.11 ~ 現在	両局／約29日間経過



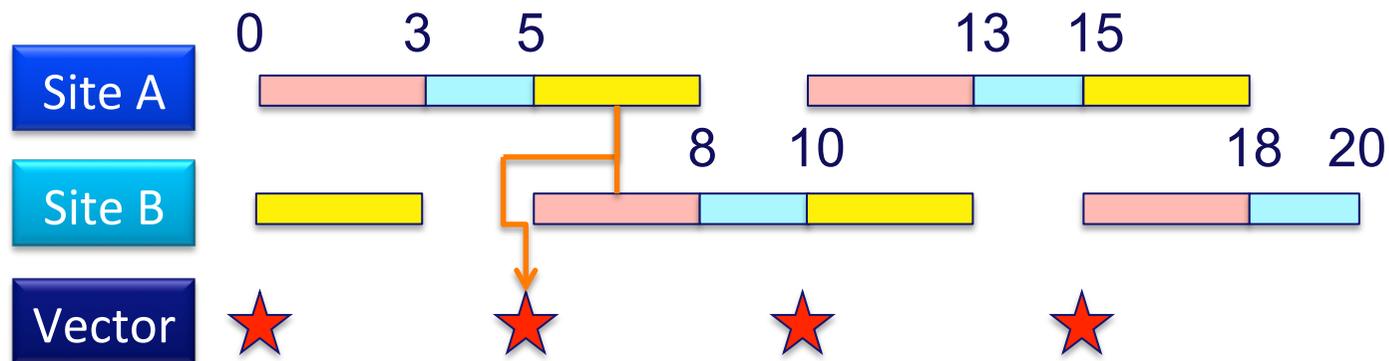
* 10日間以上の連続観測期間のみを表示

観測スケジュールとデータ処理

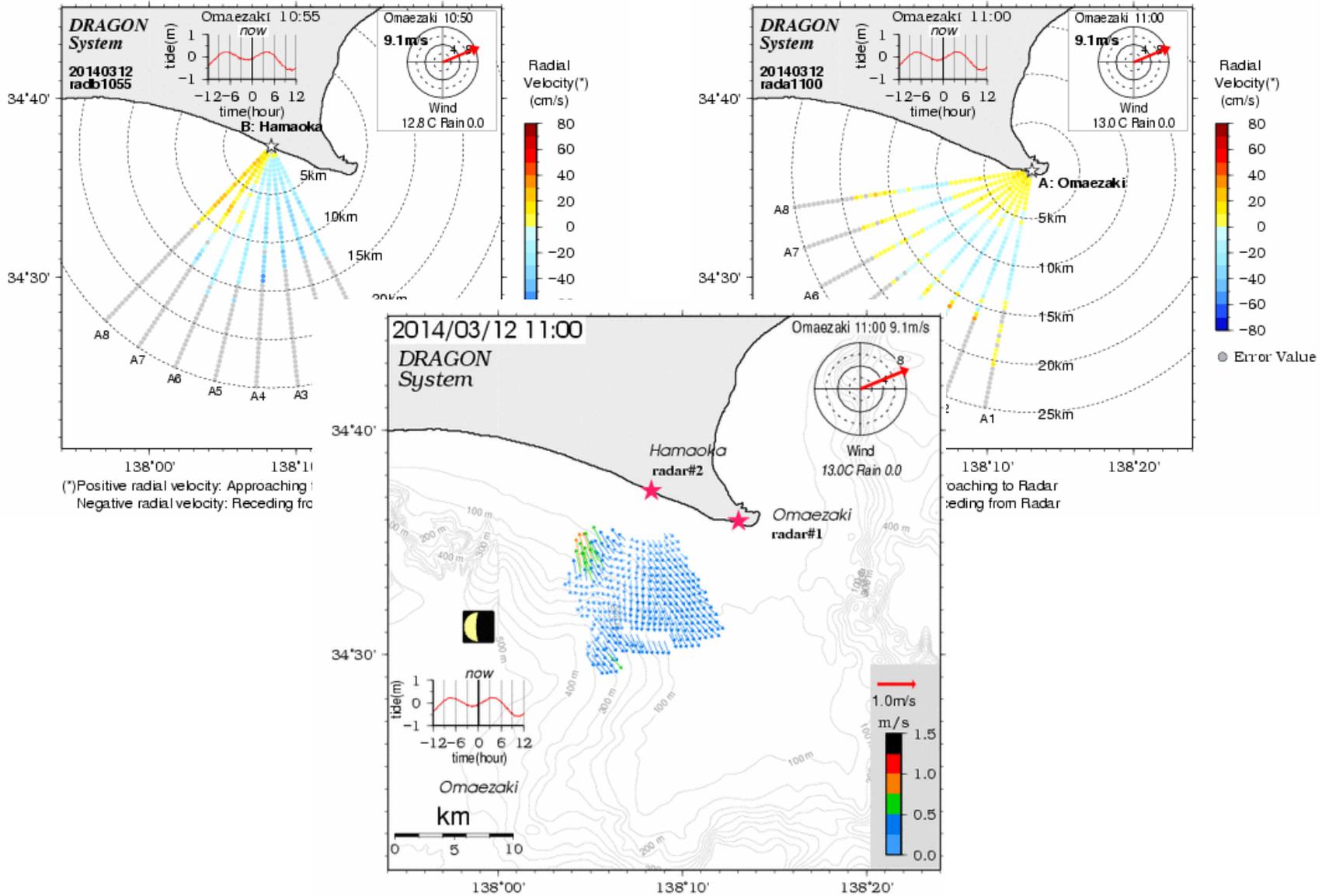
リアルタイムモニタリング(速報)



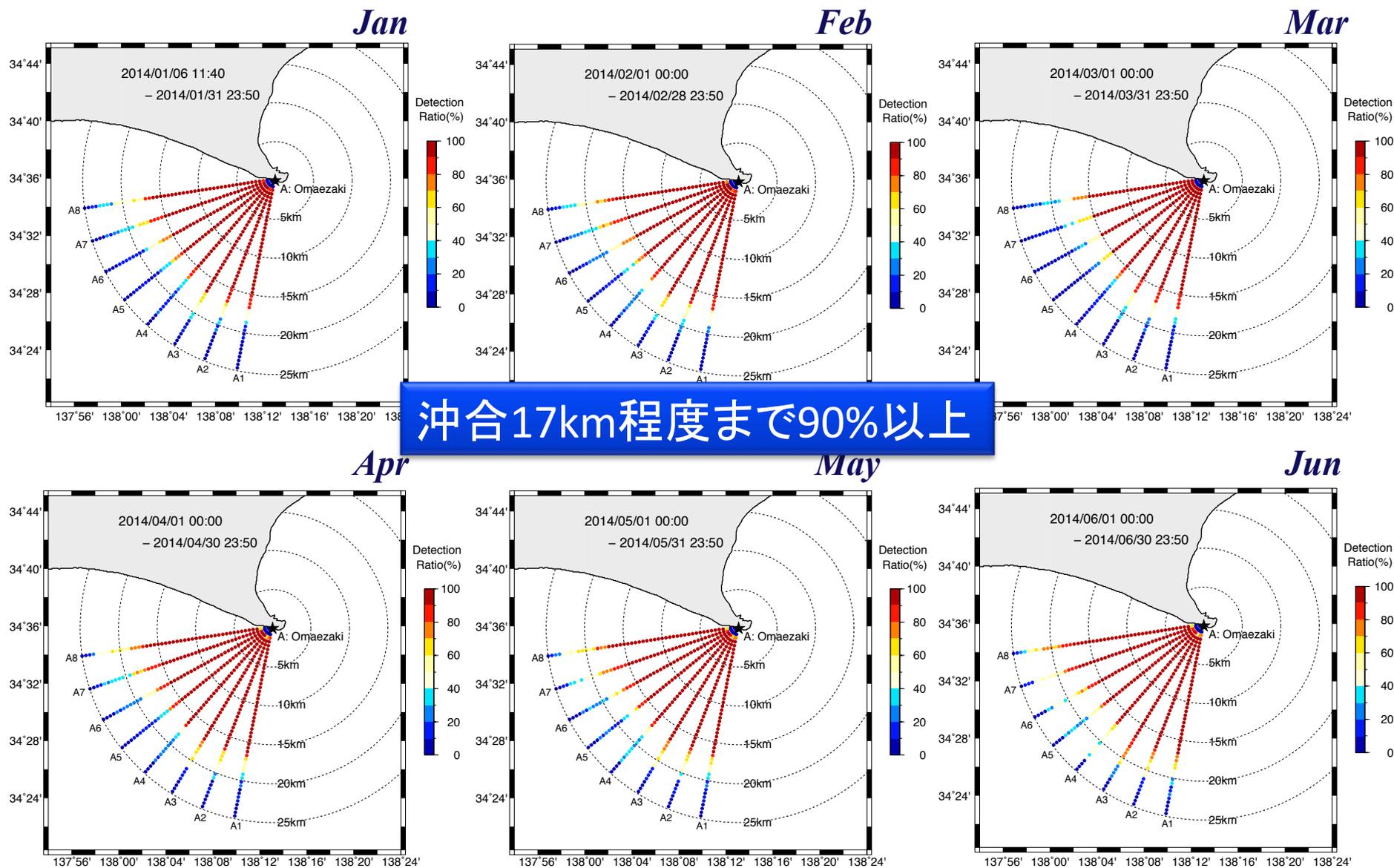
リアルタイムモニタリング(確定) ← 解析に利用



リアルタイムモニタリングシステム

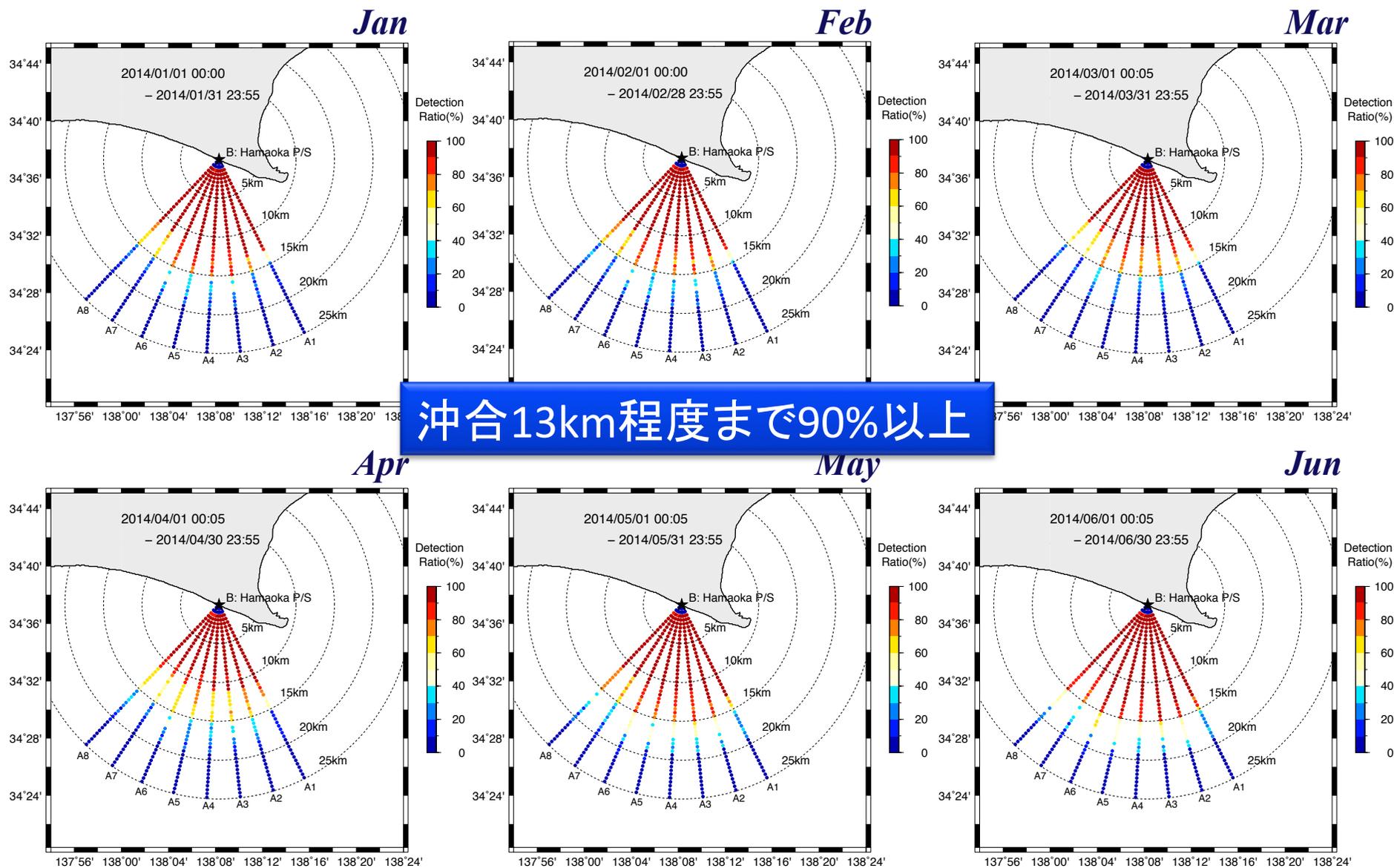


A局視線流速の月平均測得率の変動特性(2014年)



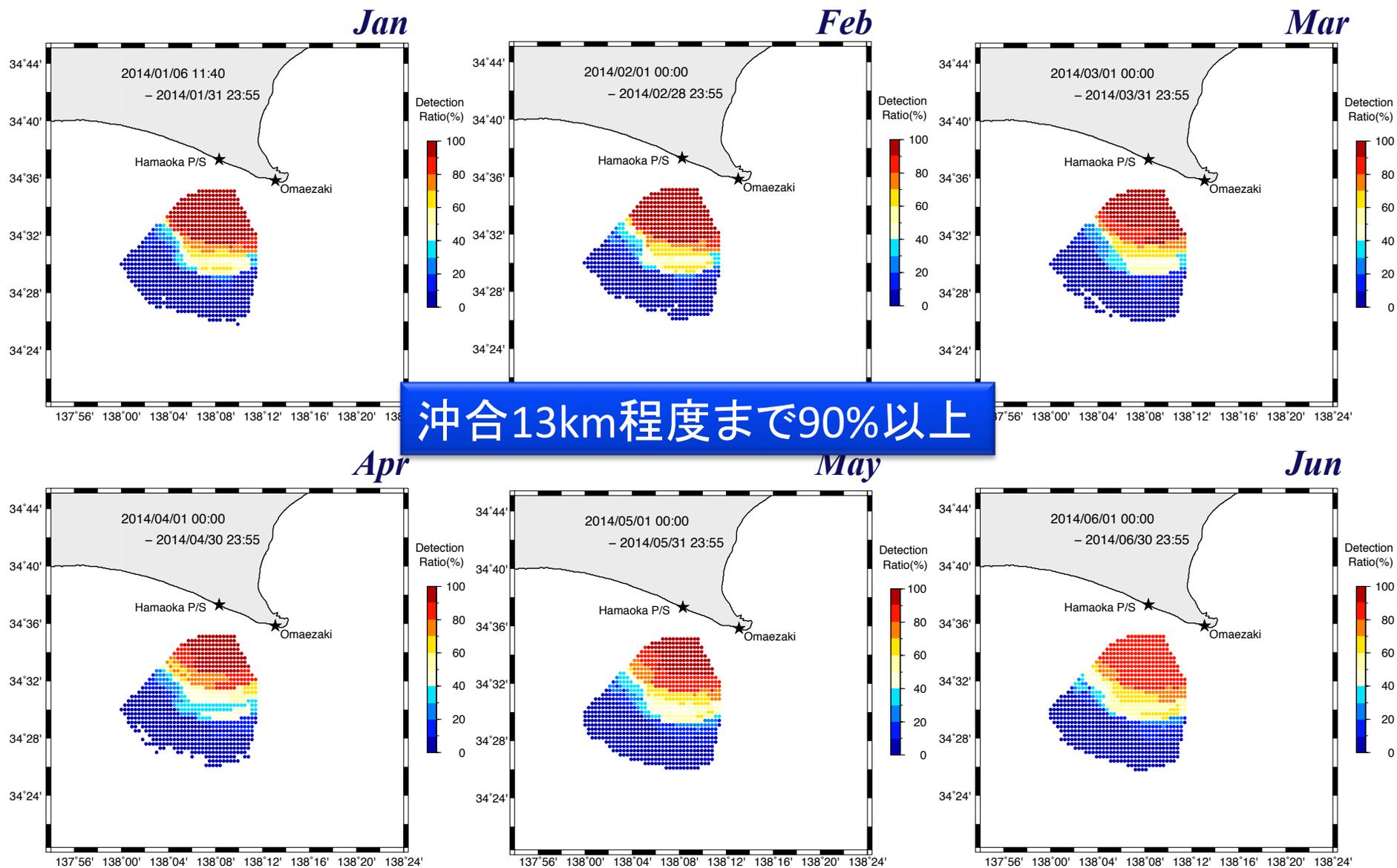
沖合17km程度まで90%以上

B局視線流速の月平均測得率の変動特性(2014年)

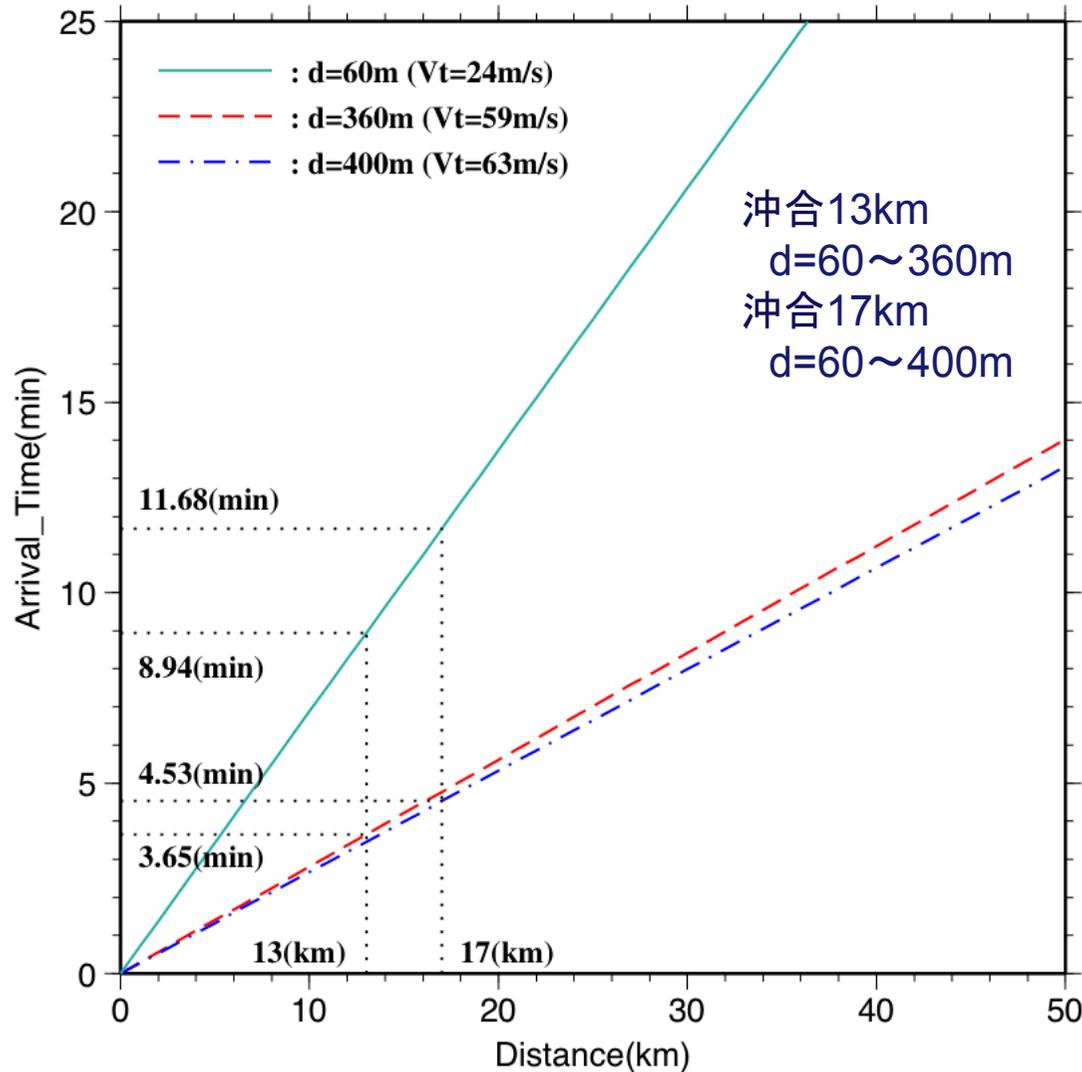


沖合13km程度まで90%以上

流速ベクトルの月平均測得率の変動特性(2014年)



津波到達までの猶予時間の事前検討



$$T = \int_0^L \frac{dx}{Vt(d)}$$

津波の伝播経路(水深変化)を考慮せず、各局で津波を検知できる最大探索位置の水深を用いて到達時間Tを見積もった結果

A局: 5分~11分程度

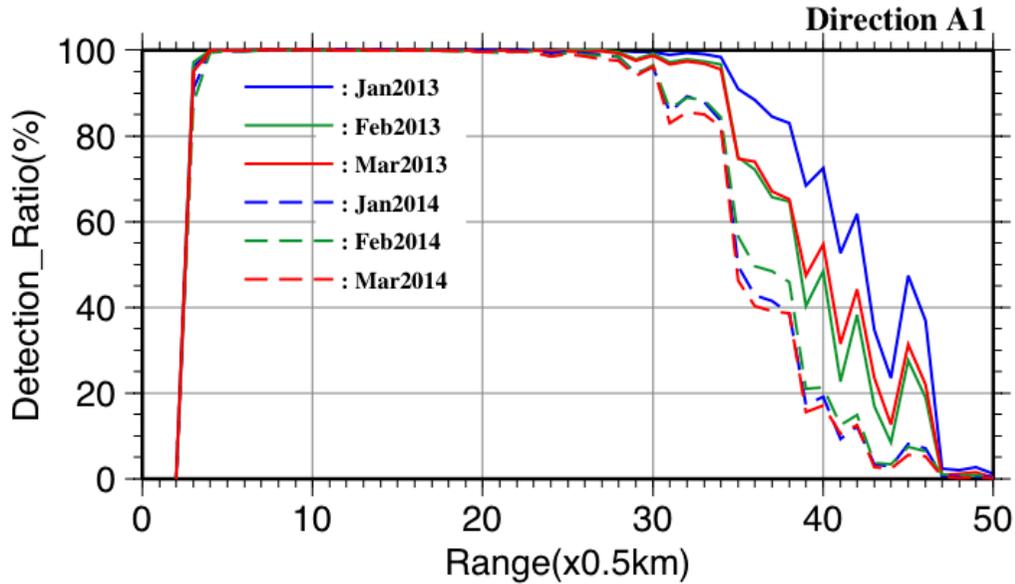
B局: 3分~9分程度



詳細は数値シミュレーションを実施

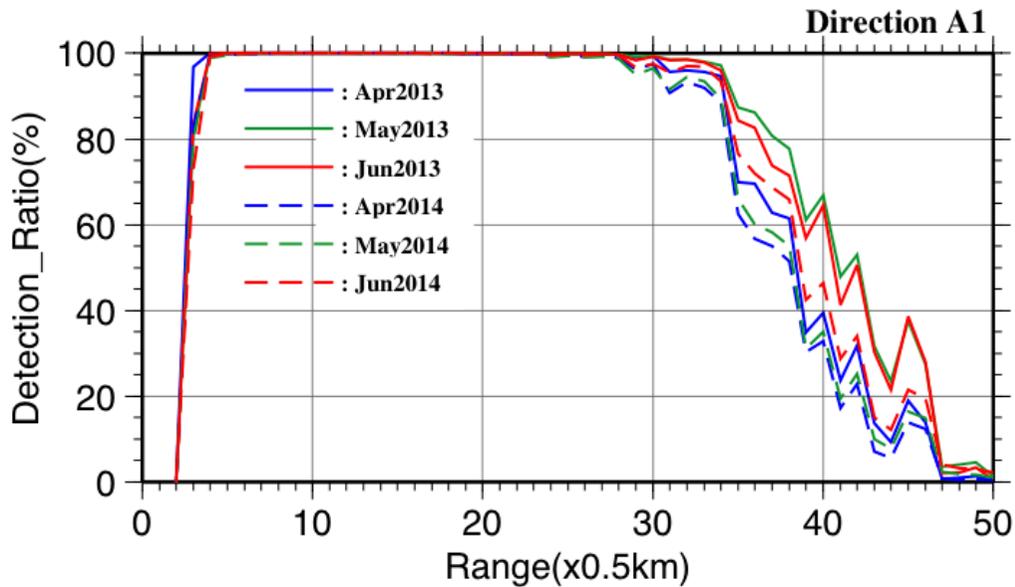
最大探知距離の月平均別変動特性 (A1視線流速)

冬季
(1~3月)



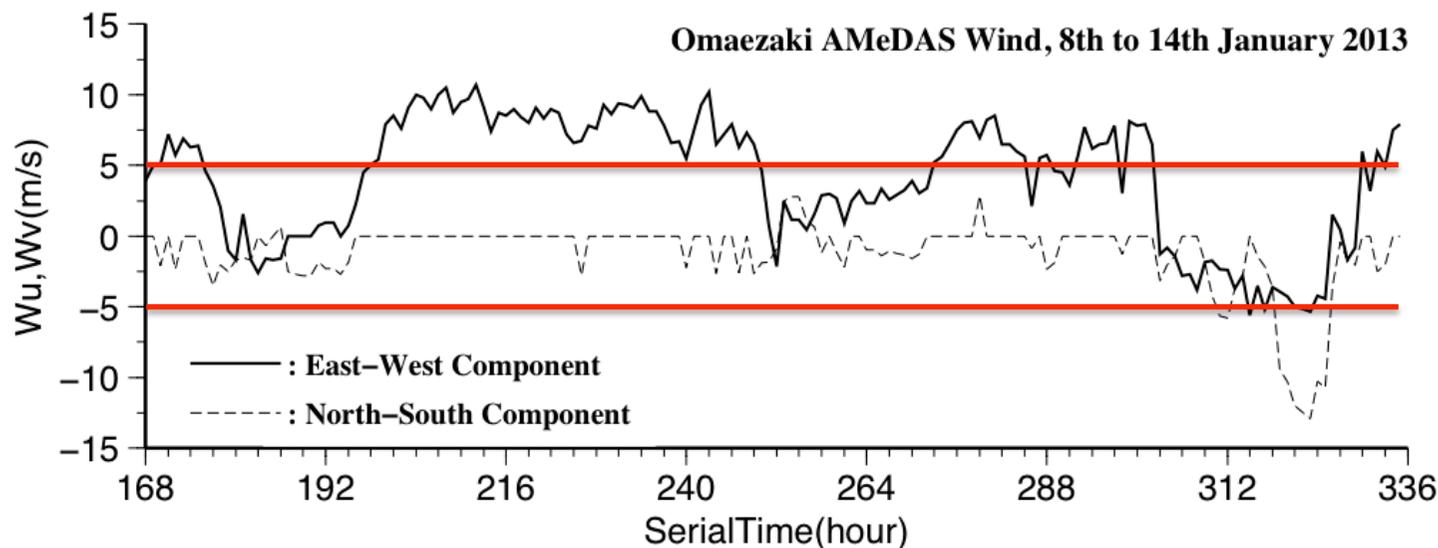
レンジ34以遠で急激に低下

春季
(4~6月)

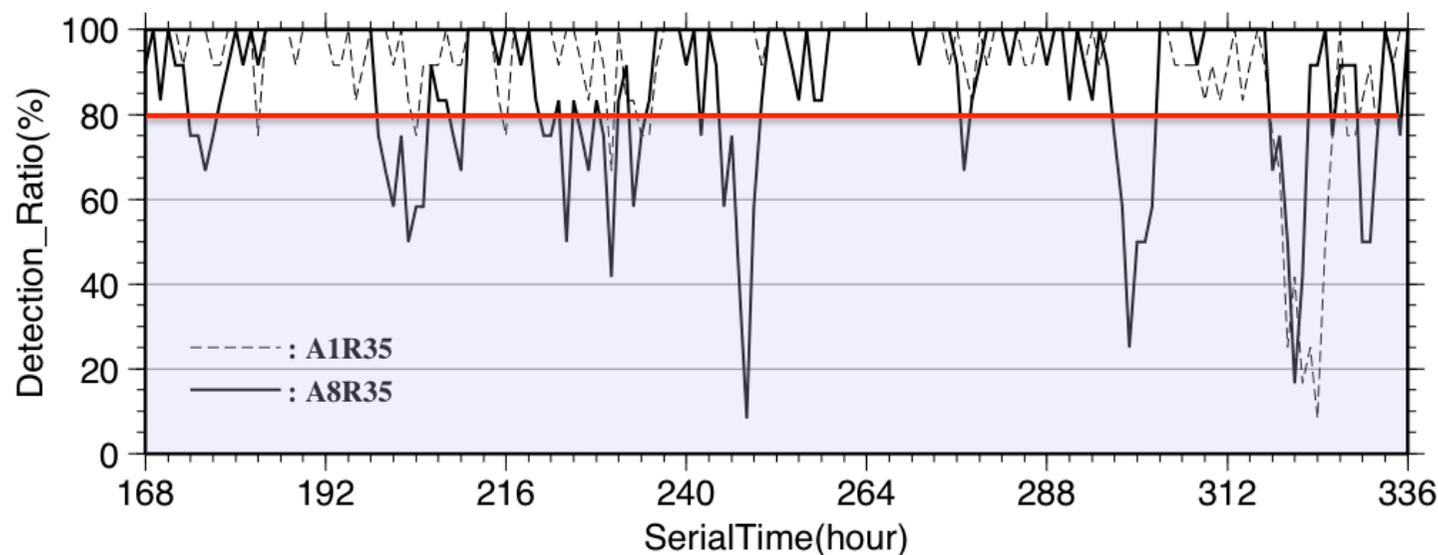


低下傾向が時間的に変動

レンジ35の測得率変動と風浪の関係 (A1視線流速)

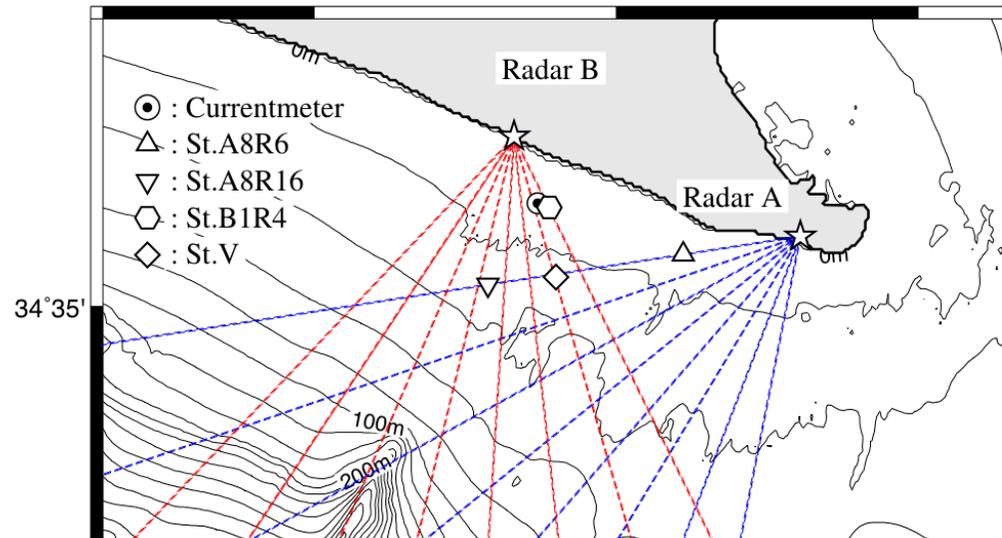


風速が5m/sを越える場合に沖合の測得率が急激に低下する



風浪による海面粗度変化の影響が考えられる

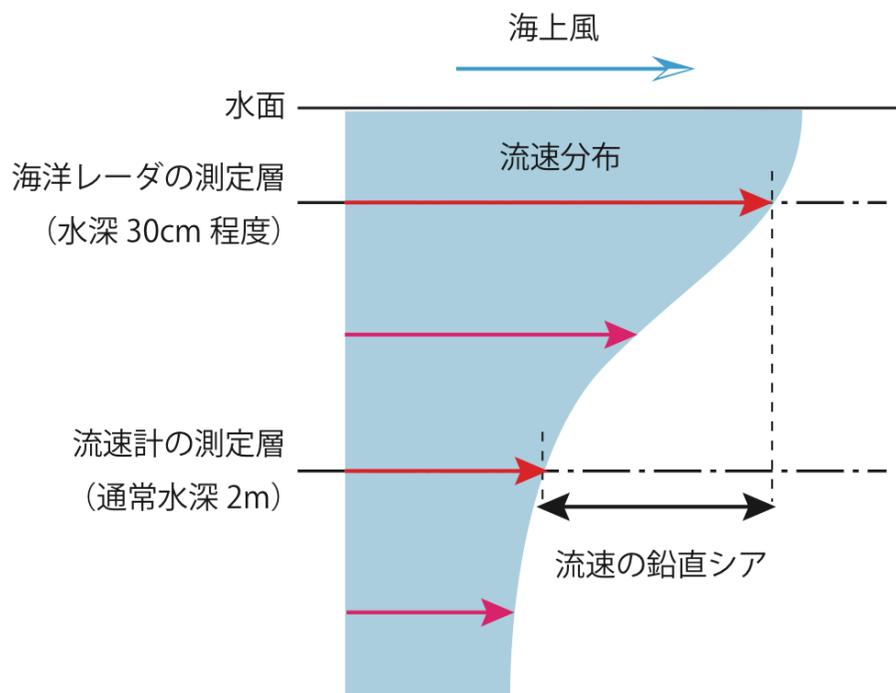
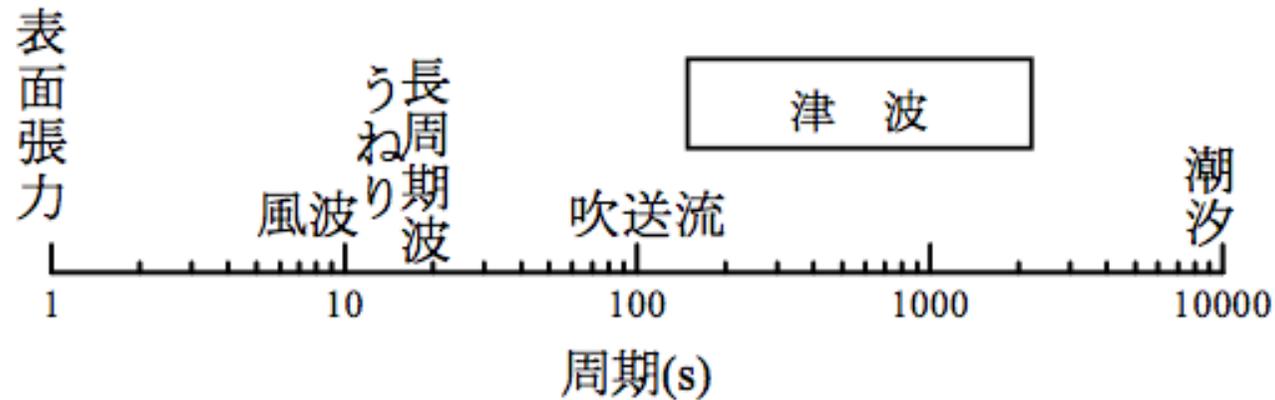
最短時間単位(3分)による連続観測の測定精度



期間	2013年冬季				2013年春季				2013年秋季				2014年冬季			
	02. 01~03. 08				05. 08~05. 23				10. 28~11. 14				02. 06~02. 25			
測点*	N	R	a	b	N	R	a	b	N	R	a	b	N	R	a	b
A8R6	4999	0.40	0.23	2.16	2161	0.62	0.47	-0.45	-	-	-	-	1866	0.47	0.38	-2.91
A8R16	4999	0.27	0.17	-2.22	2161	0.73	0.85	2.91	-	-	-	-	1866	0.59	0.45	-5.74
B1R4	-	-	-	-	-	-	-	-	2160	0.87	0.54	0.96	2509	0.80	0.49	0.11
V	EW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1876	0.62	0.42	-4.99
	NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1876	0.63	0.52	-0.47

* : N : データ数, R : 相関係数, a : 回帰直線の傾き, b : 回帰直線の切片.

重相関解析による吹送流影響の除去



鉛直渦動粘性係数

$$A_z = 1 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\sim 1 \times 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s})$$

エクマン層厚

$$H_w = 1.5\text{m} \sim 5\text{m}$$

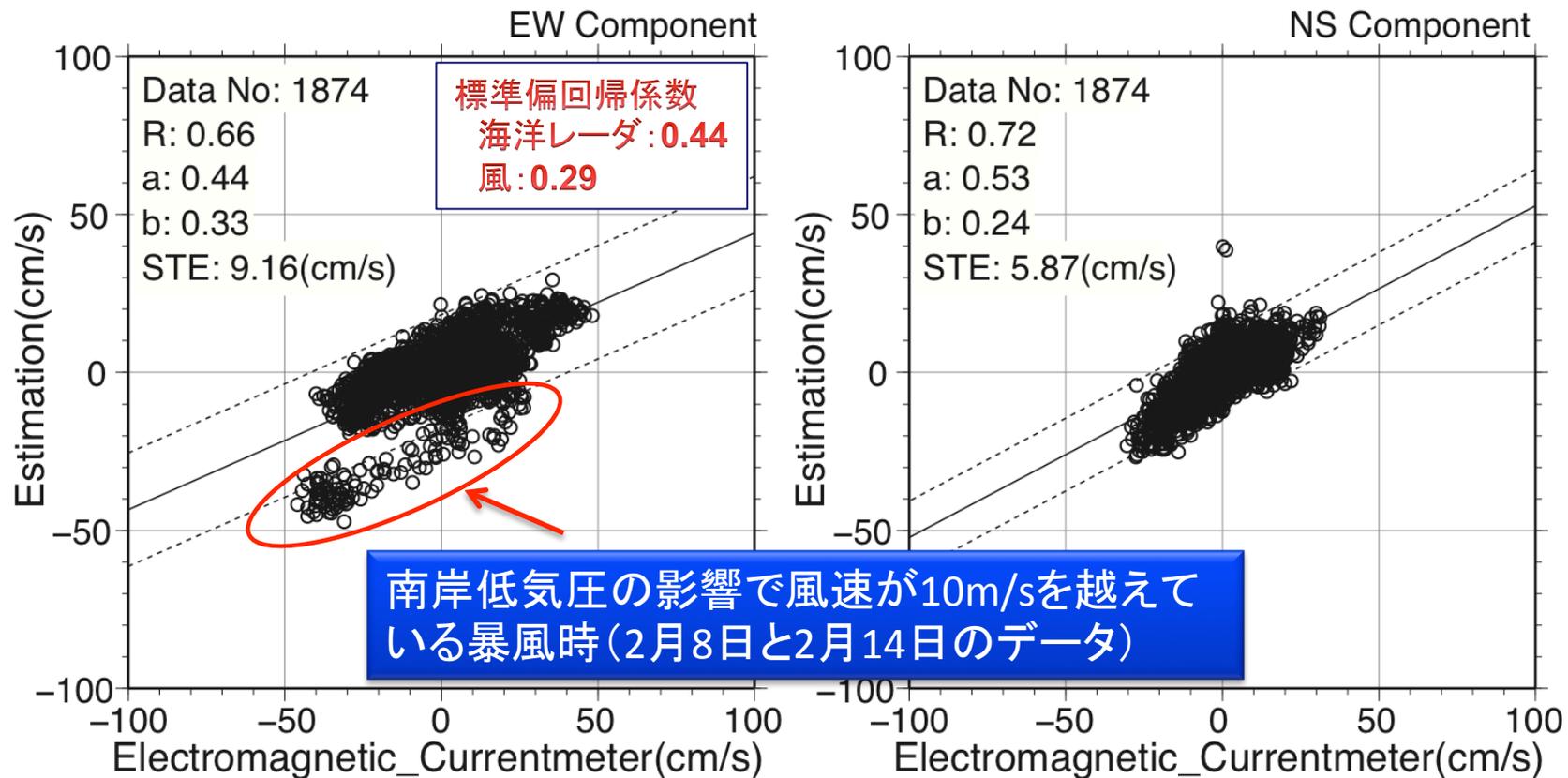
(5~10m程度との試算例もある)

重相関解析による吹送流影響の除去

目的変数: 流速計データ

説明変数: 海洋レーダのデータ、風データ (AMeDAS)

2014.02.06~02.20のデータ



津波によって励起される流速成分

線形長波式

$$u = \eta \sqrt{\frac{g}{H}}$$

η : 津波による水位変形
 g : 重力加速度
 H : 水深

(仮に)

沖合15kmの水深: 300m、津波高さ: 1m

→ 津波流速: 20cm/s程度

2011年3月11日の津波において、噴火湾や紀伊半島の海洋レーダにより、 $\pm 5 \sim 10$ cm/s程度の流速変動を検知 (Hinata et al., 2011; Lipa et al., 2011)

巨大津波は十分検知可能

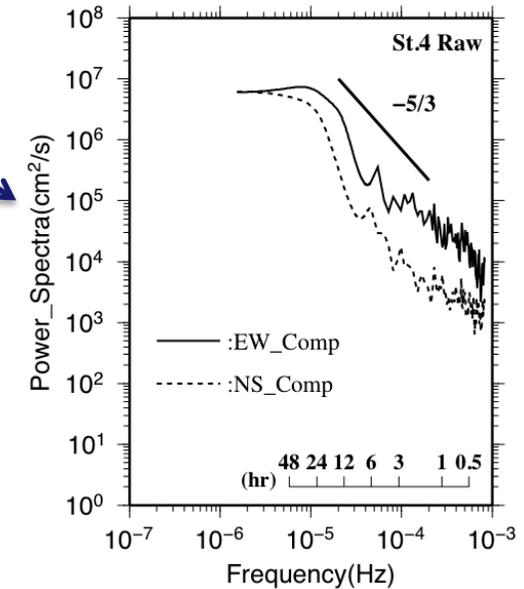
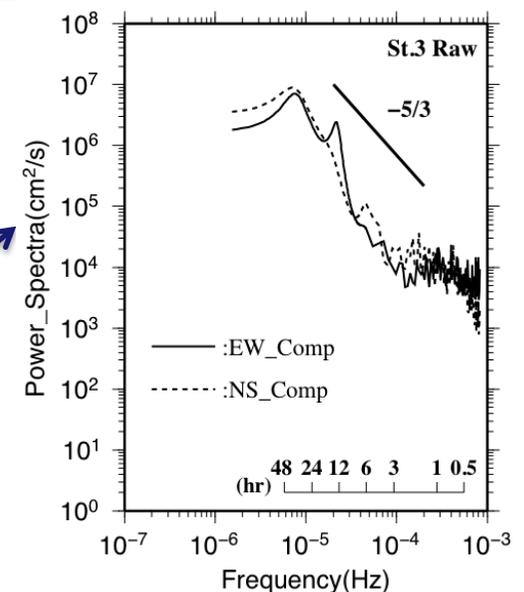
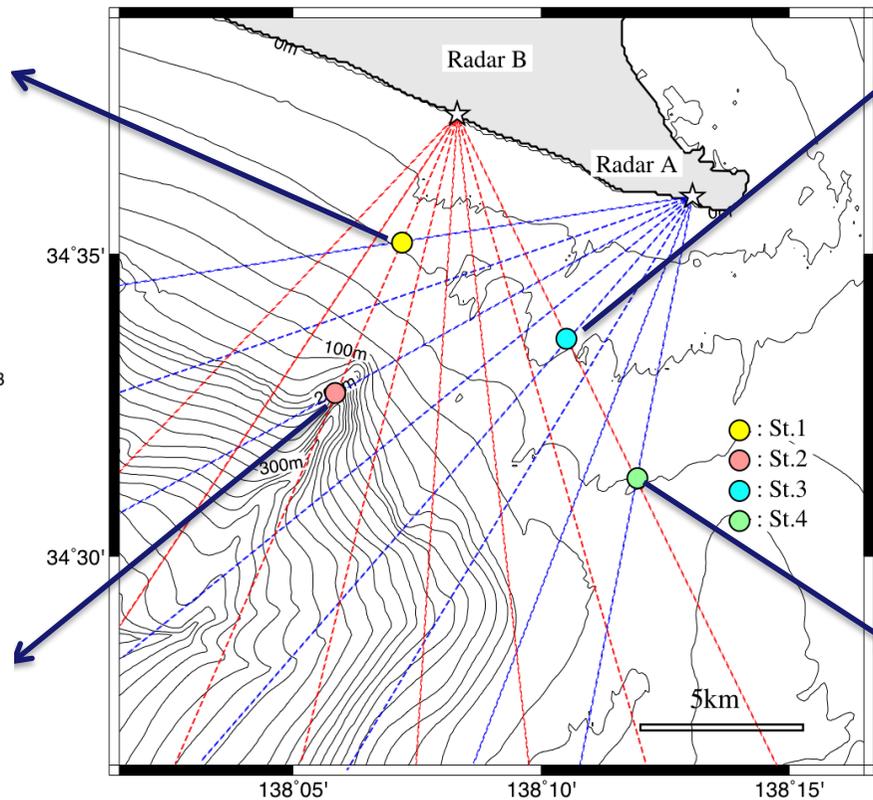
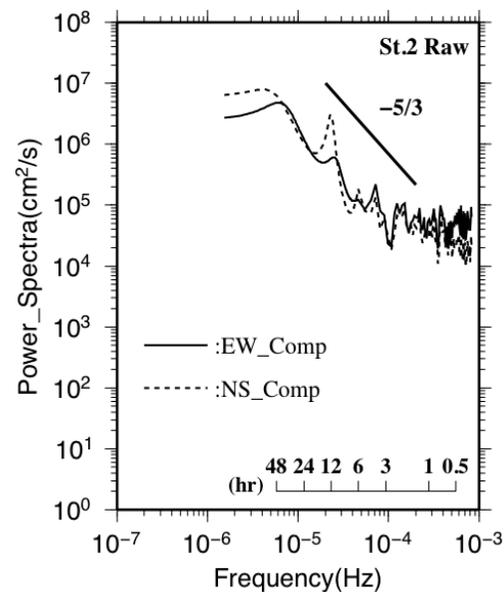
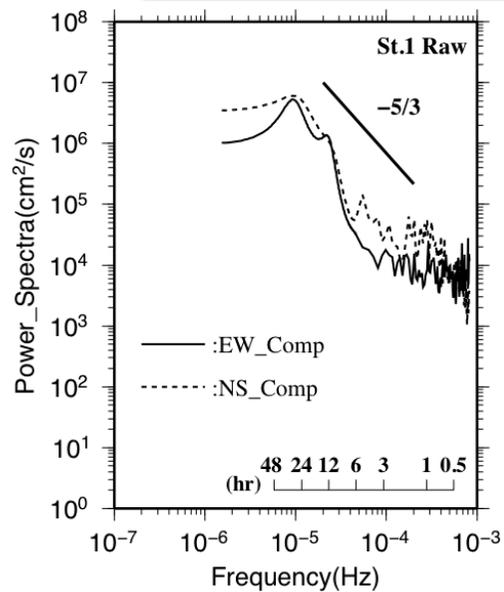


検知可能な津波規模は？

誤報の発生確率は？

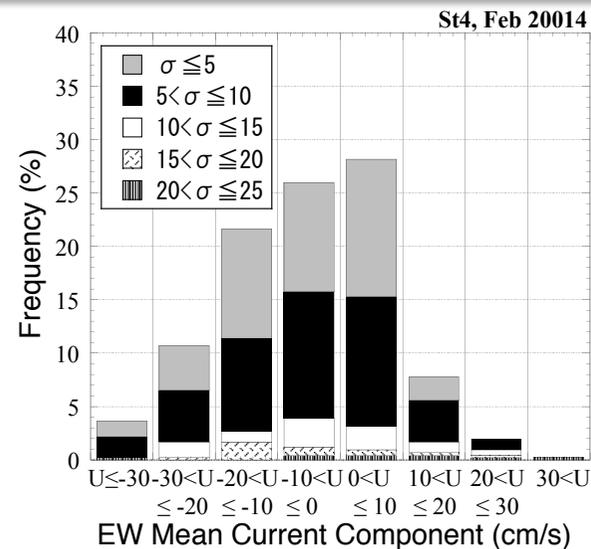
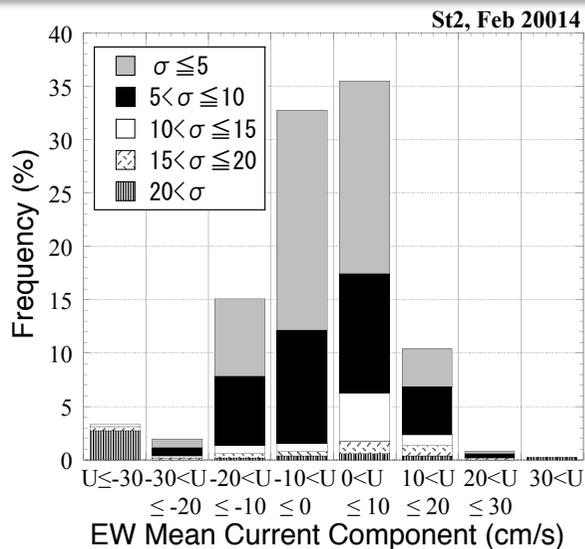
通常時の流速変動の時空間特性を把握しておくことが重要！

自然環境下における海域流動場の変動特性

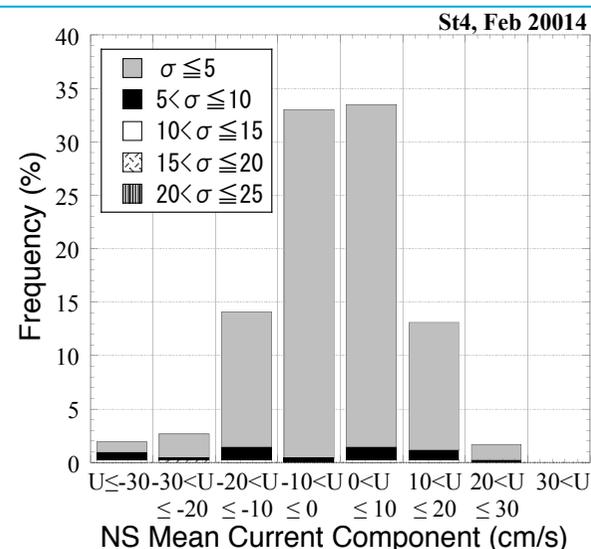
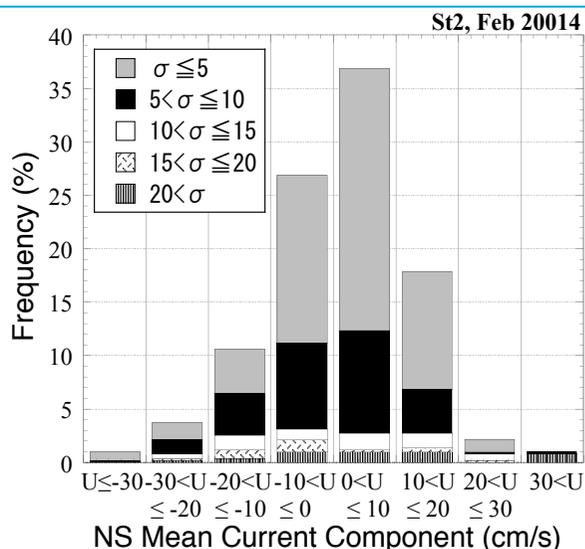


2014年2月のエネルギースペクトル

海域流動場の短時間変動特性



1時間の時間スケールにおける流速の標準偏差は5cm/s程度、10cm/s程度の流速変動となる場合、津波検知精度に影響の可能性



2014年2月の1時間平均と標準偏差の累積相対頻度分布 (St.2とSt.4)

まとめ

- VHF帯の海洋レーダによる遠州灘の実観測を通じ、安定してデータを取得できる範囲の把握や最大探知距離が時間的に変動し、測得率の低下には強風が影響していることが確認された。
- 沖合1kmに係留した流速計との比較により、DBF技術では最短となる3分観測データの観測精度について検討した結果、相関係数は0.6程度となり、両者の違いの要因としては吹送流や測定位置間のずれが影響していると考えられる。
- 1時間程度の自然環境下の流速変動幅は概ね5cm/s程度となり、海洋レーダの分解能で津波を検知可能と考えられるが、沖合では10cm/s程度の自然変動を示す場合もあり、検知アルゴリズムを検討する上では留意しておく必要がある。
- 今後は、現在実施中の数値シミュレーション結果を踏まえ、津波検知アルゴリズムや津波到達時間等について検討する予定である。

補足：海洋レーダの観測精度（1）

VHF帯DBF海洋レーダと流速計との比較（12分観測モード）

海域 (特性)	流速計 (測定層)	観測期間	データ数 (測点数)	単回帰分析*				流速計変動幅 (cm/s)
				成分	相関係数	傾き	切片	
伊勢湾 (内湾 河口部)	係留式電磁	2002.2.18～	998(2)	東西	0.64	0.63	1.76	-25.7～41.2
	流速計 (1m)			南北	0.84	0.71	-7.86	-55.7～27.0
	係留式電磁	2002.2.26		東西	0.46	0.49	2.25	-14.0～36.9
	流速計 (2m)	南北		0.71	0.64	-12.3	-51.1～27.4	
若狭湾 (外海 性)	係留式電磁	2010.12.29～	418(1)	東西	0.78	0.65	2.90	-35.5～37.1
	流速計 (2m)	2011.1.30		南北	0.72	0.93	0.92	-22.3～13.7
大阪湾 (海峡 部)	船舶スポット	2003.1.31、	55(23)	東西	0.82	1.00	1.41	-35.2～112.7
	ADCP(1.5m)	2003.2.17		南北	0.95	1.00	-4.33	-132.5～101.6
有明海 (閉鎖 性内湾)	船舶スポット	2007.8.12、	45(10)	東西	0.96	1.00	2.67	-48.4～52.9
	ADCP(0.9m)	2007.10.26		南北	0.91	1.07	3.62	-73.5～42.1

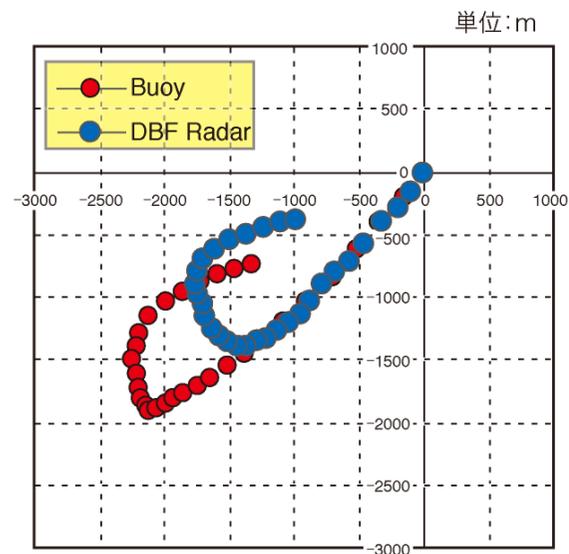
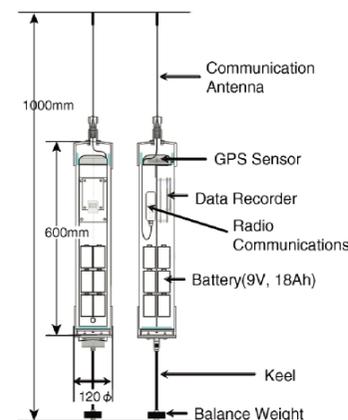
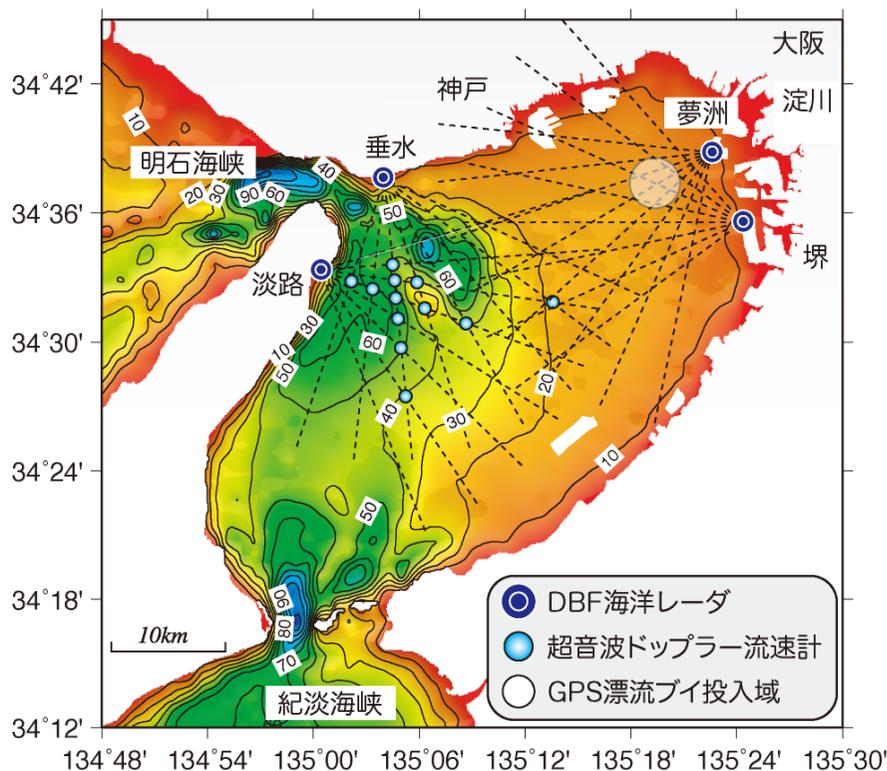
*：流速計データを説明変数、DRAGON システムのデータを目的変数とした場合の結果

出典：坂井伸一 (2012): 海洋レーダによるリアルタイム流動監視システムの実用性, 電力中央研究所報告 V11061

補足：海洋レーダの観測精度(2)

VHF帯DBF海洋レーダとGPSブイとの比較(12分観測モード)

大阪大学との共同研究



出典:中辻啓二, 西田修三, 清水隆夫, 坂井伸一, 松山昌史, 坪野考樹, 森信人 (2004): 浮遊物の挙動予測に向けた海洋レーダの適用性評価, 海岸工学論文集