

海洋レーダ研究集会2016

「遠州灘沖の海洋レーダ観測による
防災・環境モニタリングへの活用」

2016年12月14日

電力中央研究所	坂井伸一	松山昌史	新井田靖郎
中部電力	田中良仁	上原史洋	

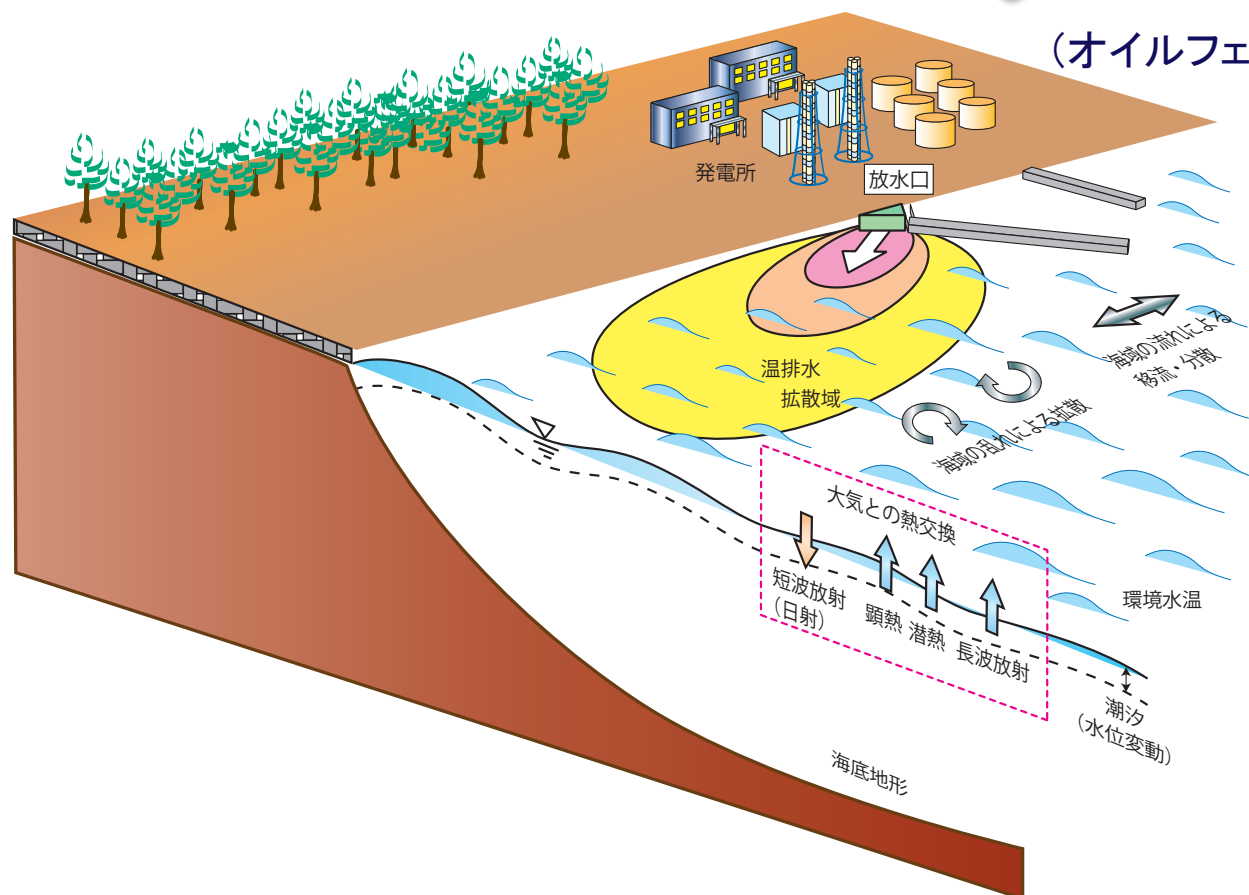
臨海発電所における流動観測の意義

環境面

- 発電所建設に係る環境アセスメント
- 発電所運開後の環境モニタリング
(温排水拡散状況との関連性)

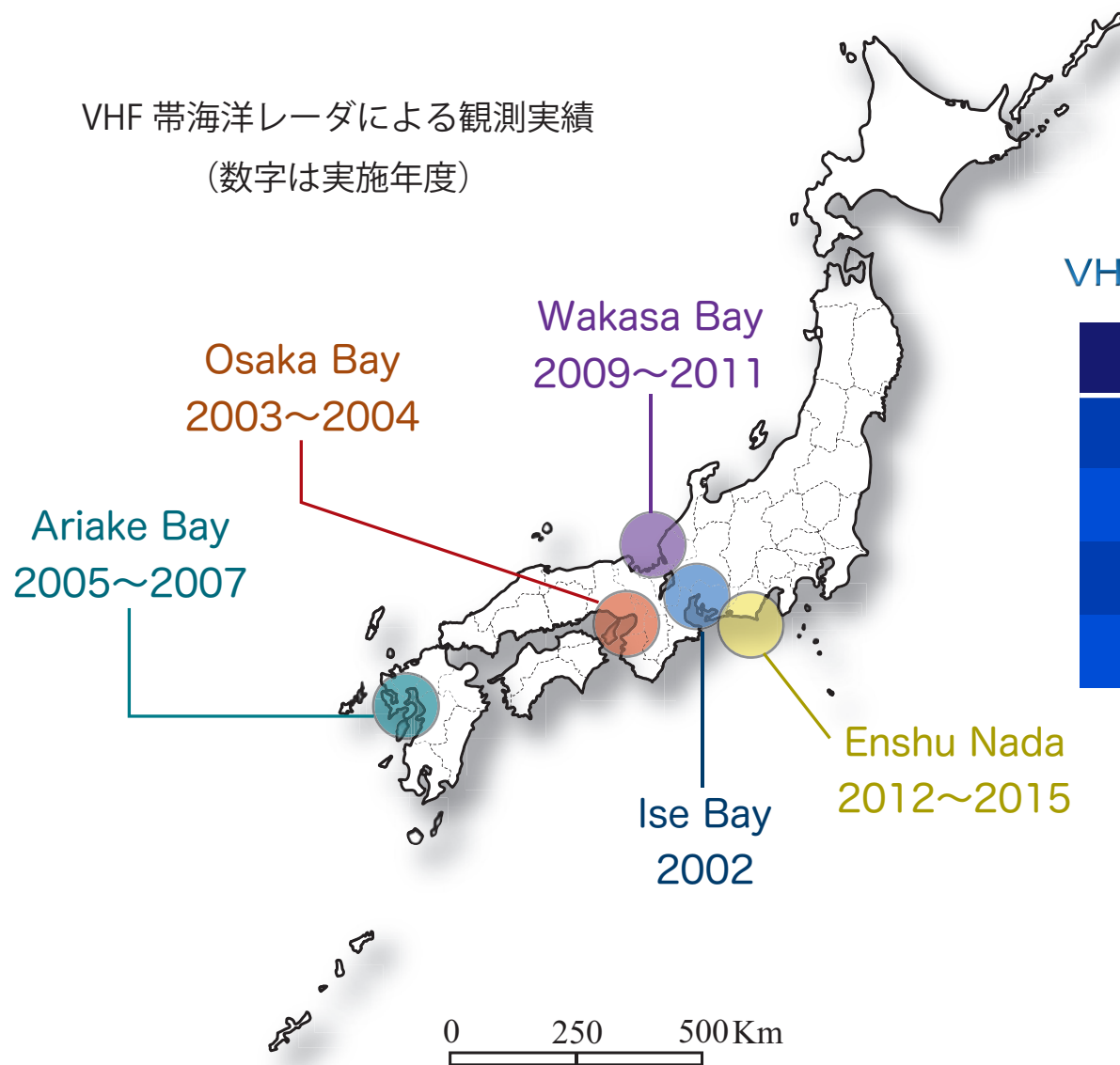
防災面

- 取放水設備の維持・管理(クラゲ対策)
- 津波や高潮(台風)発生時の防災対策
- タンカー事故等災害時の緊急対策
(オイルフェンス等)



様々な海域でのVHF帯海洋レーダの適用性把握

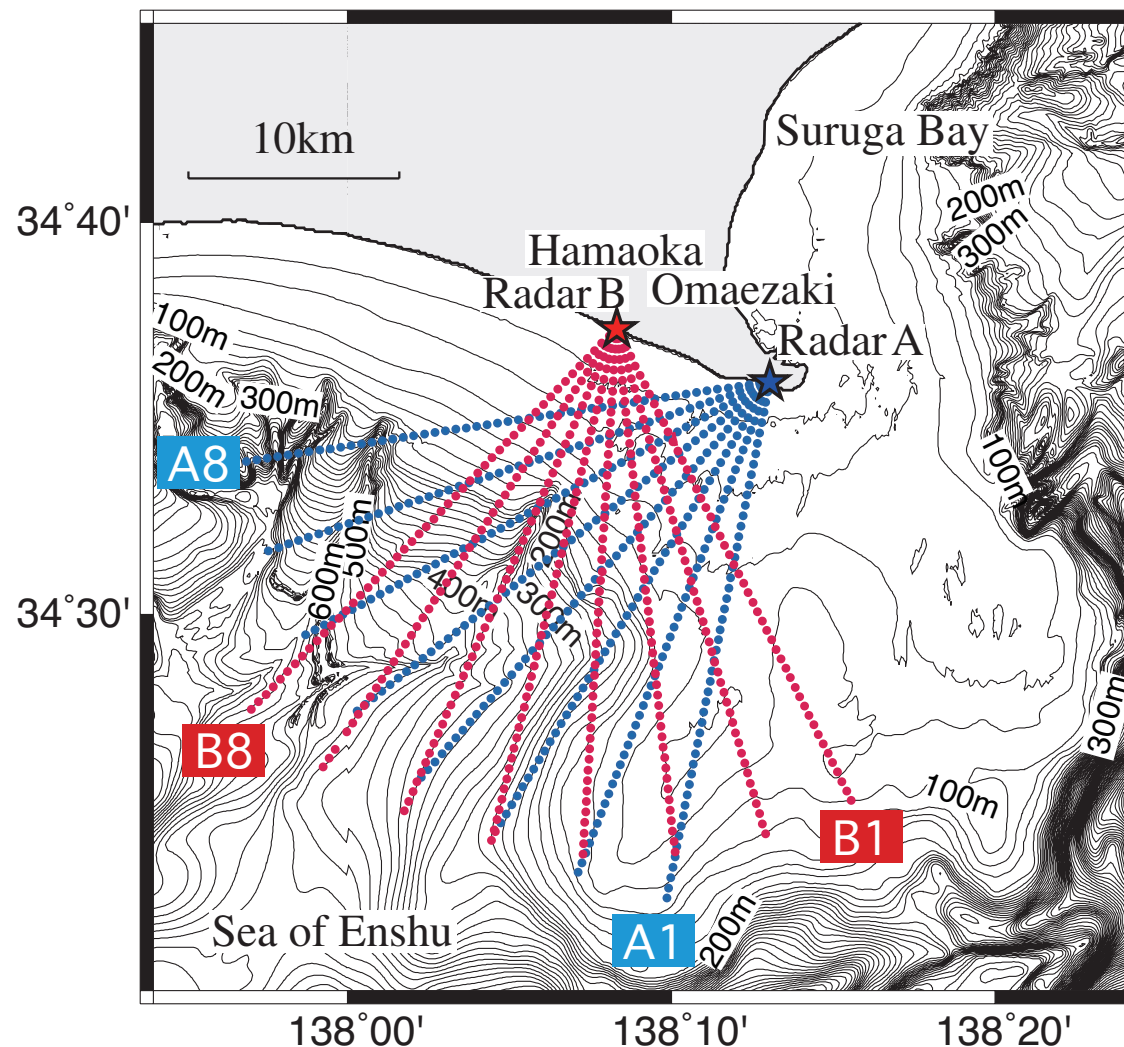
VHF 帯海洋レーダによる観測実績
(数字は実施年度)



VHF帯海洋レーダの基本スペック

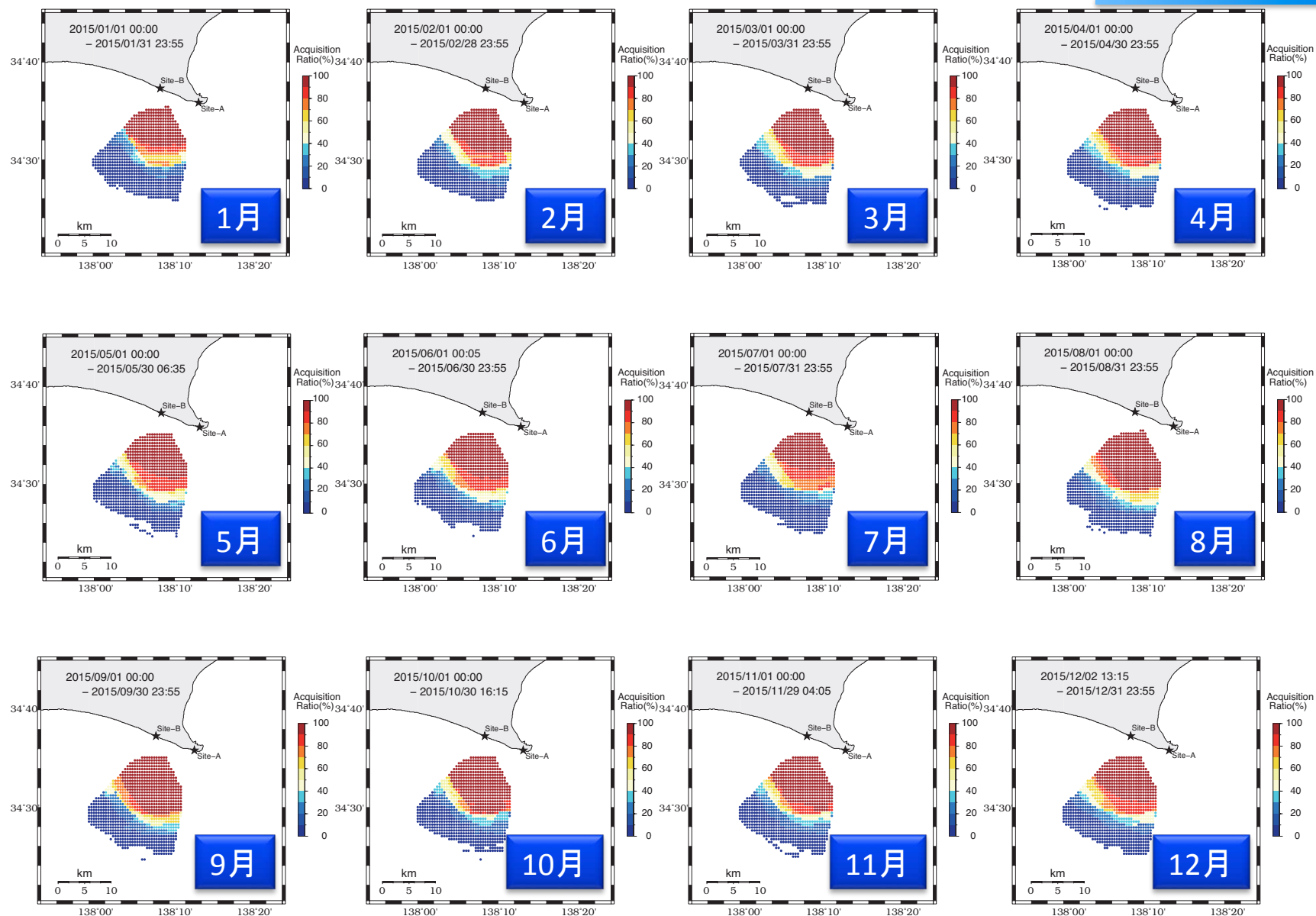
項目	仕様値
距離分解能	500m
速度分解能	2.13cm/s
最大探知距離	25km
観測時間間隔	3~15分

遠州灘沖におけるVHF帯海洋レーダの設置状況と観測範囲

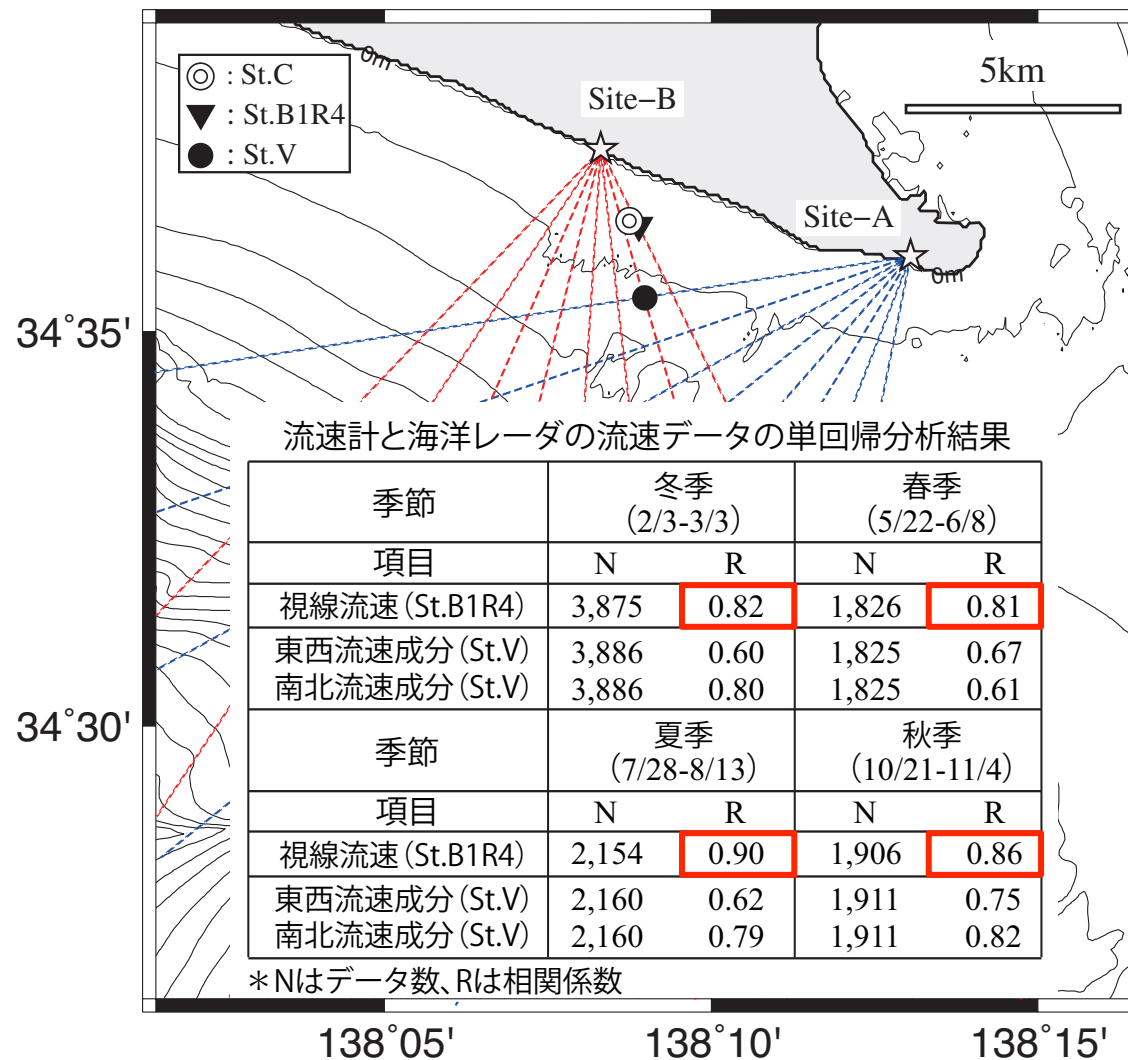


* : A1～A8とB1～B8は、A局とB局の受信方向を示す.

海洋レーダの観測状況(2015年の月平均測得率)

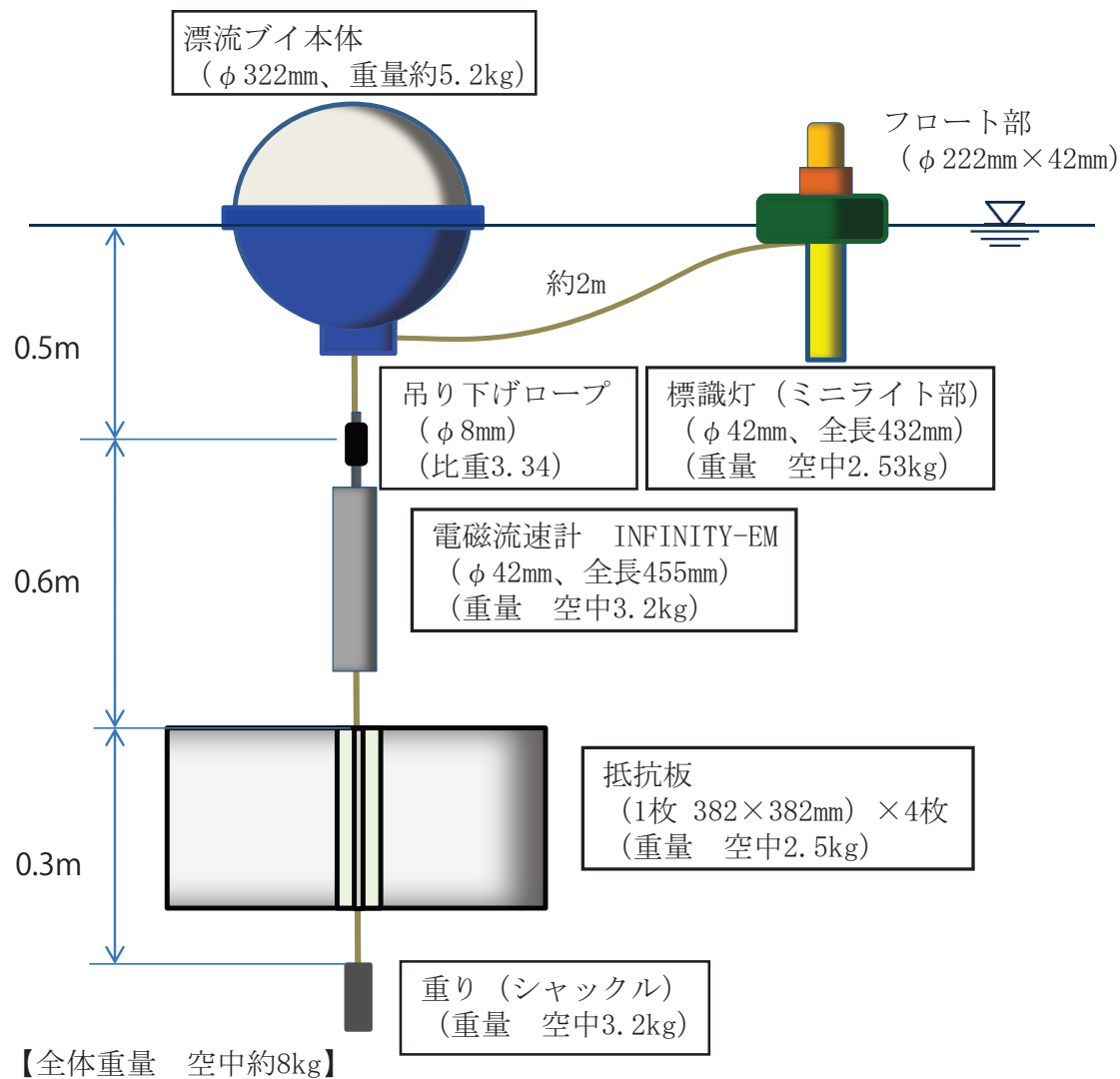


定点電磁流速計との比較による沿岸近傍域の測定精度検証



- 各季節毎に15～30日間の連続データを使用
- 流速計の設置は沖合1kmの水深2m層

GPS漂流ブイ調査との比較による遠方域の測定精度比較

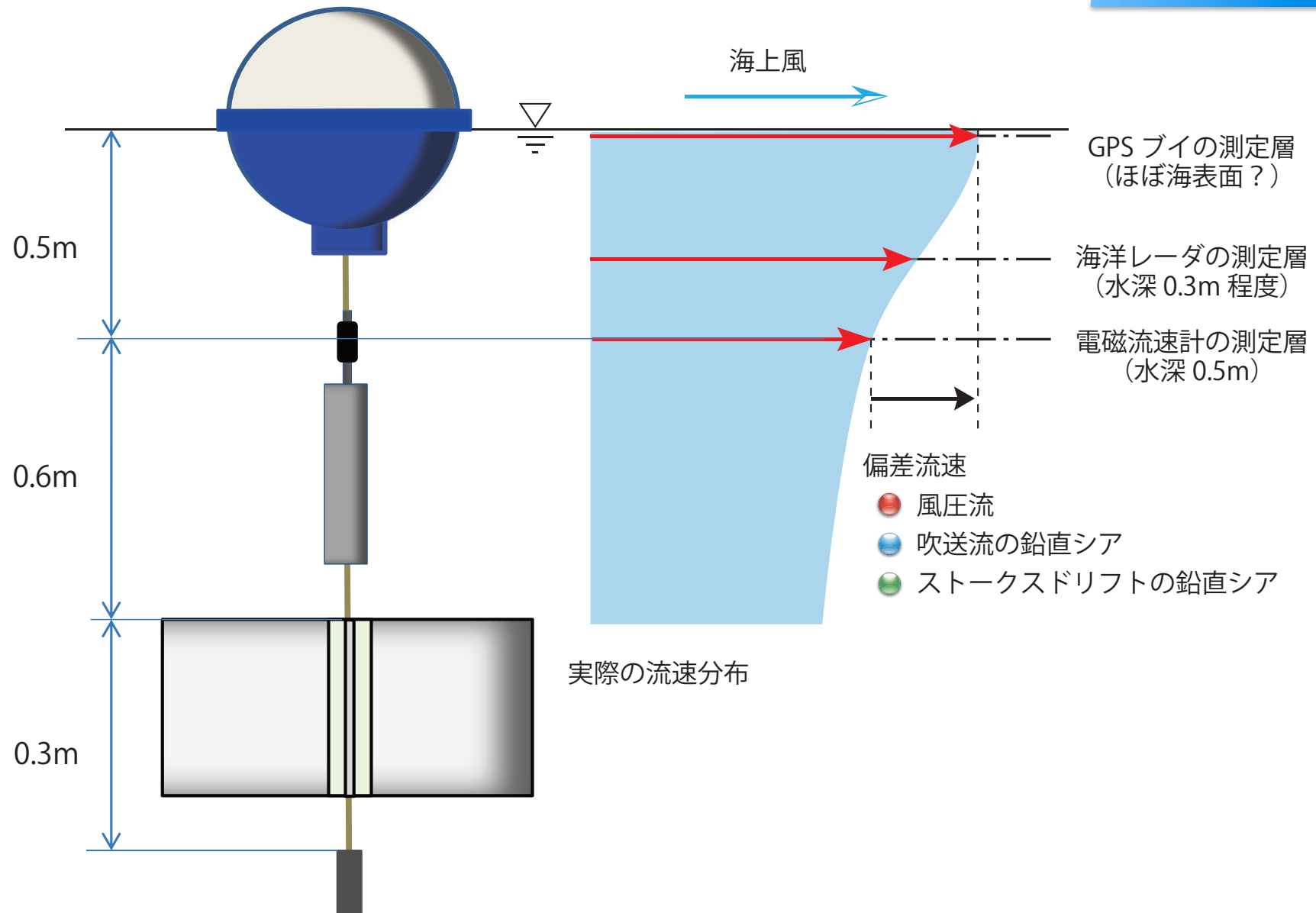


GPS漂流ブイ実験日の気象・海象状況

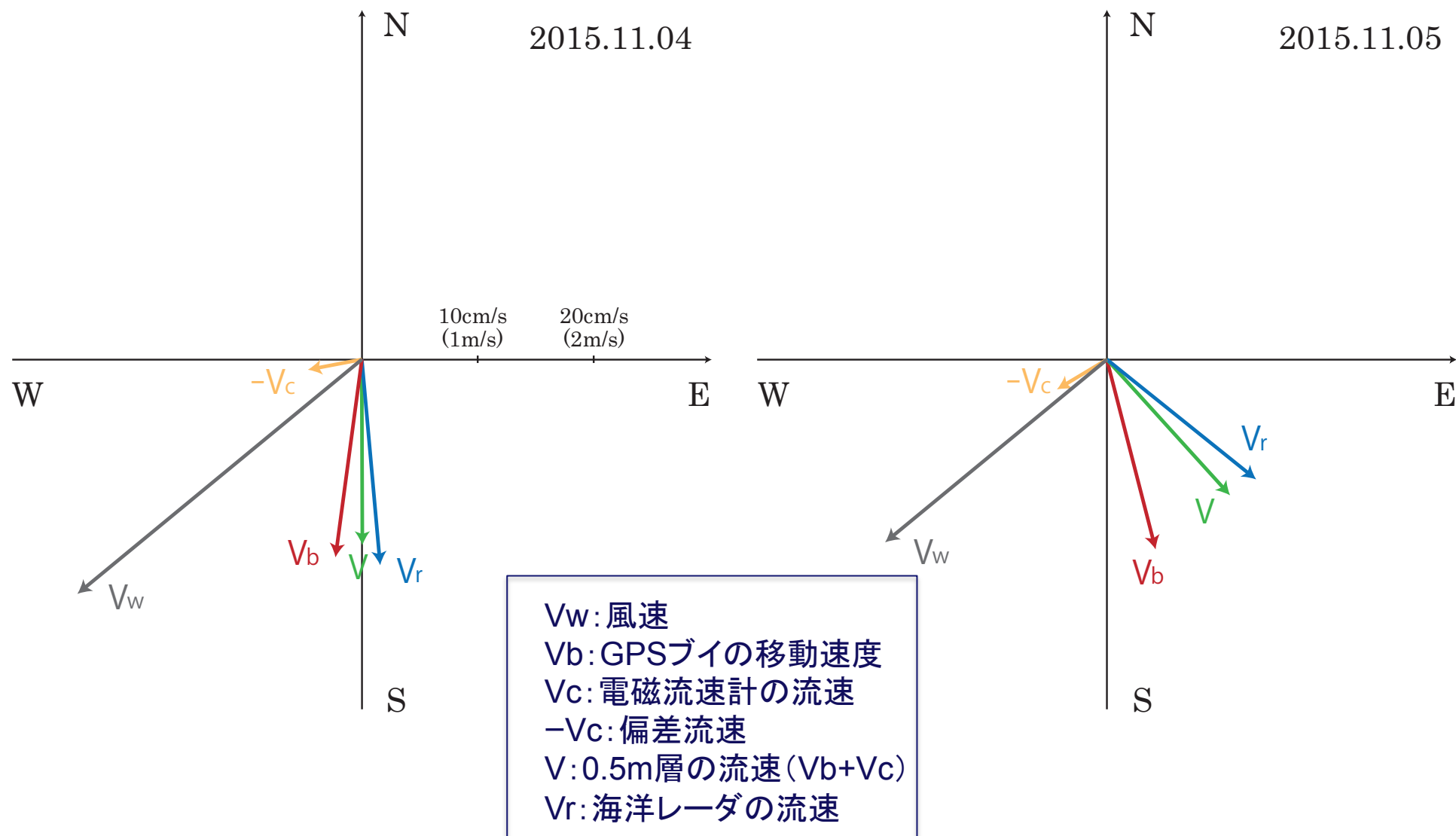
項目 *1		平成 27 年 11 月 4 日	平成 27 年 11 月 5 日
期間		08:20 ~ 16:35	07:45 ~ 15:10
風速	最小 (m/s)	1.3	1.9
	最大 (m/s)	5.4	3.5
	平均 (m/s)	2.6	2.8
	風向範囲	北北東～東北東	北北東～東南東
潮汐	潮期	小潮	小潮
	潮時	上げ潮～下げ潮	上げ潮～下げ潮
	潮位差 (cm/s)	46	69
有義波高	最小 (m)	1.03	0.92
	最大 (m)	1.60	1.20
	平均 (m)	1.4	1.1
有義波周期	最小 (sec)	4.8	5.2
	最大 (sec)	5.2	6.2
	平均 (sec)	4.9	5.7
	波向範囲	南東～南南東	東～東南東

*1：風と潮汐は気象庁のデータ、波浪は国土交通省のデータ

電磁流速計測定結果による偏差流速



GPS漂流バイ観測結果と海洋レーダの測定結果(期間平均値)



吹送流成分とストークスドリフト成分の推定

吹送流成分

$$U_{wd} = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w}} U_{10} \simeq 0.035 U_{10}$$

約5cm/s

ρ_a : 大気の密度 (kg/m^3)、 ρ_w : 海水の密度 (kg/m^3)、

U_{10} : 地上10mの風速 (m/s)

ストークスドリフト成分

$$U_{stk} = \frac{a^2 \sigma k \cosh 2k(z+h)}{2 \sinh^2 kh}$$

約7cm/s

h : 水深 (m)、 a : 波の振幅 (m)、 σ : 角周波数 (rad/s)、

k : 波数 (rad/m)、 z : 水面からの距離 (m)

流速鉛直シア(偏差流速)の評価

項目(期間平均)	11/4(08:20-16:35)	11/5(07:45-15:10)
風速／風向* ¹	3.1／230.5	2.4／230.5
ブイ流速／流向* ¹	16.4／187.6	16.1／165.6
偏差流速／流向* ¹	3.9／259.2	4.2／239.1
0.5m層流速／流向* ¹	15.2／179.8	15.0／137.8
レーダ流速／流向* ¹	17.0／174.9	15.7／128.8
流速比／偏向差* ²	1.3／28.7	1.7／8.6

*¹: 風速と流れの単位はm/sとcm/s、風向・流向は北から時計回り(°)

*²: 流速比は風速に対する偏差流速の比(%）、偏向差は風向に対して時計回り(°)

粒子追跡シミュレーション

流速による移流

$$x_{t_{i+1}} = x_{t_i} + u(x_{t_i}, t) \cdot \Delta t \\ + [\nabla_i u(x_{t_i}, t) \cdot \{u(x_{t_i}, t) \cdot \Delta t\}] \cdot \Delta t + u' \cdot \Delta t$$

流速の剪断力による移流

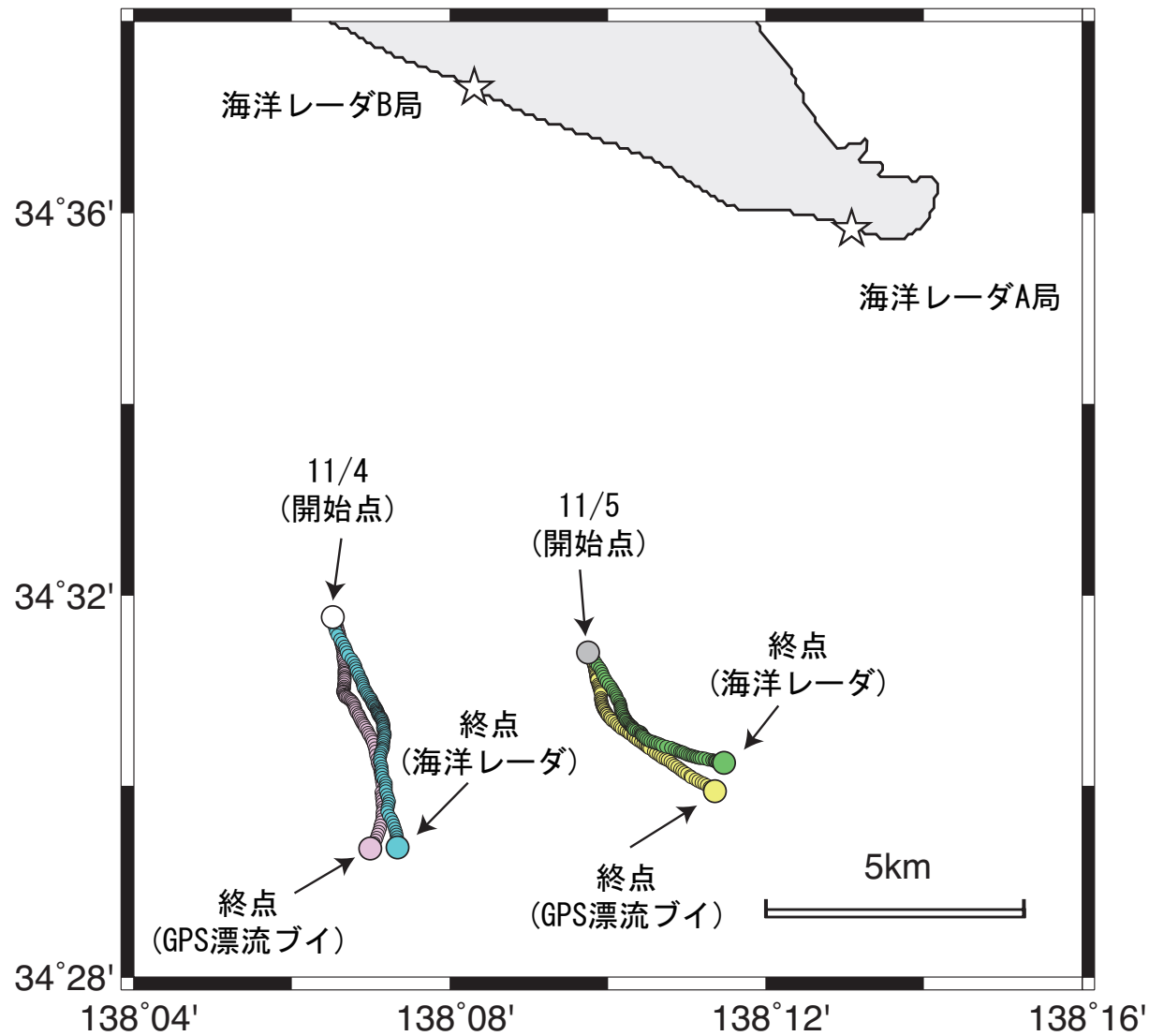
乱流拡散
(一次マルコフ連鎖モデル)

x_{t_i} : 時刻 t_i の粒子の位置 (m)、 $u(x_{t_i}, t)$: VHF帯海洋レーダの流速 (m/s)、

u' : 流速の乱れ成分 (m/s)

* 今回は乱流拡散項は考慮せず実施

粒子追跡シミュレーション結果



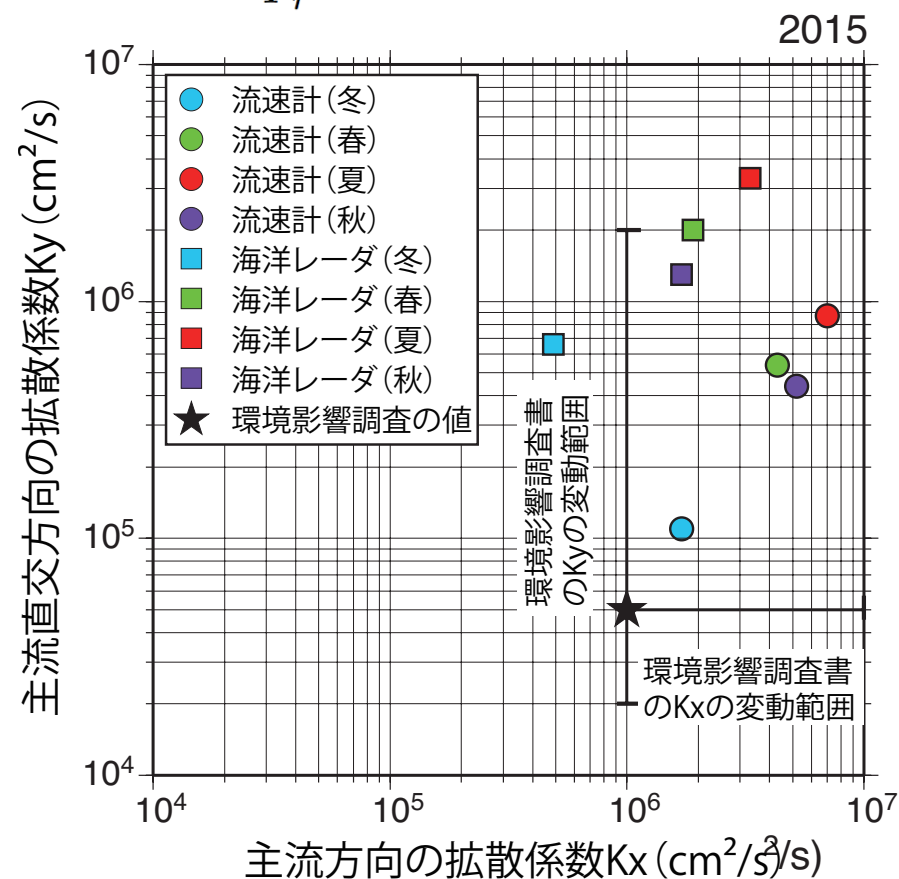
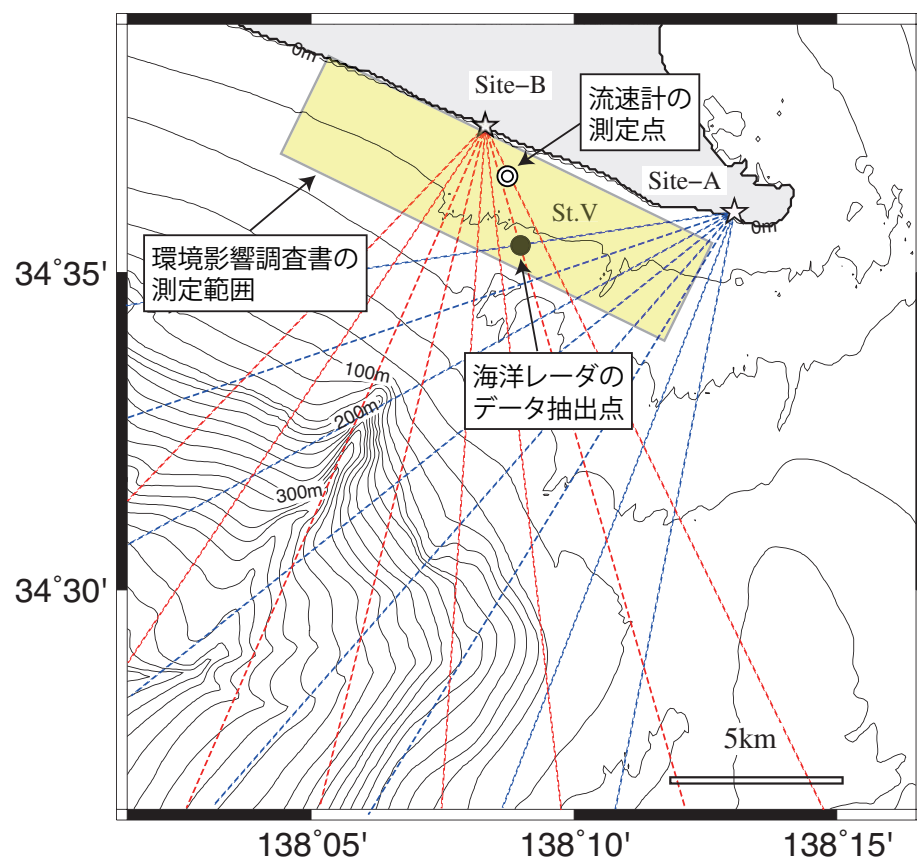
温排水拡散予測のための海域拡散係数の評価

$$A = \overline{U_E'^2} \beta \int_0^\infty R_E(\tau) d\tau$$

$$R_E(\tau) = \frac{C(\tau)}{C(0)}$$

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T U_E(t) U_E(t + \tau) dt$$

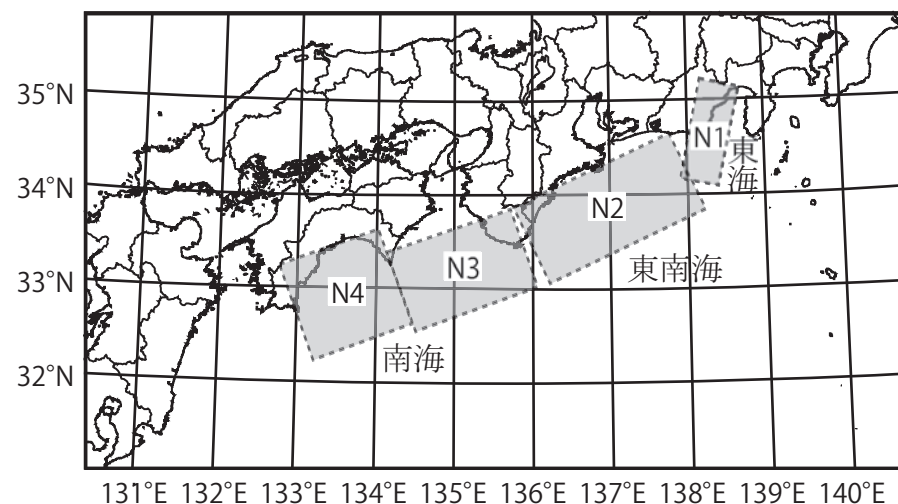
$$K = \frac{A}{P_r}$$



*主流方向は汀線方向と一致

津波シミュレーション(南海トラフ巨大地震)

断層モデル (土木学会2002を参照)

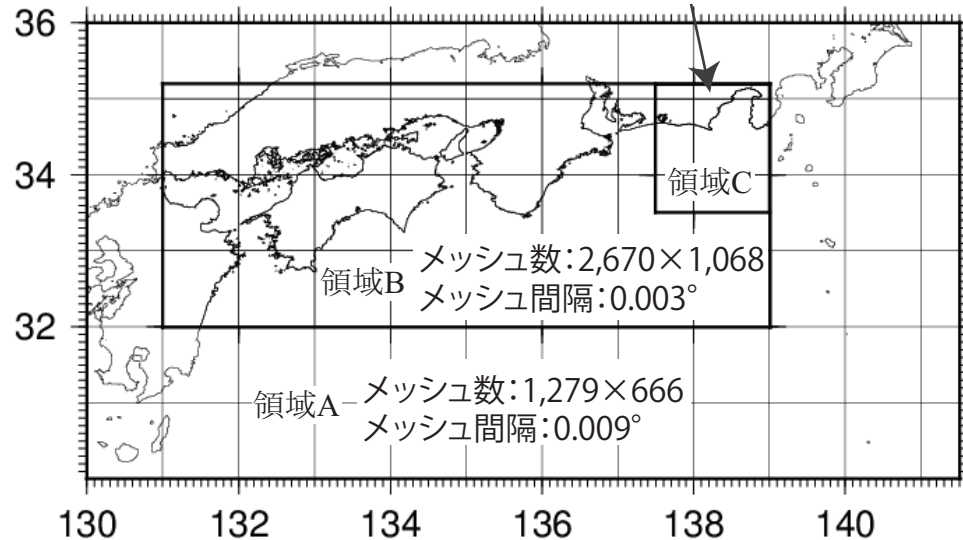


断層モデルの各セグメント諸元

セグメント	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (cm)	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	断層面上縁 深さ(km)
N1	120	50	596	193	20	71	5
N2	205	100	691	246	10	113	5
N3	155	100	646	251	12	113	8
N4	125	120	944	250	8	113	11

津波シミュレーション(南海トラフ巨大地震)

解析領域 メッシュ数:1,503×1,683
メッシュ間隔:0.001°



基礎方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[\frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} N \cos \theta \right] = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gD}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} + \frac{1}{\cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{M^2}{D} \right) \\ + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\cos \theta \frac{MN}{D} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = fN \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gD}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} (\cos \theta \eta) + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\cos \theta \frac{N^2}{D} \right) \\ + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = -fM \end{aligned} \quad (3)$$

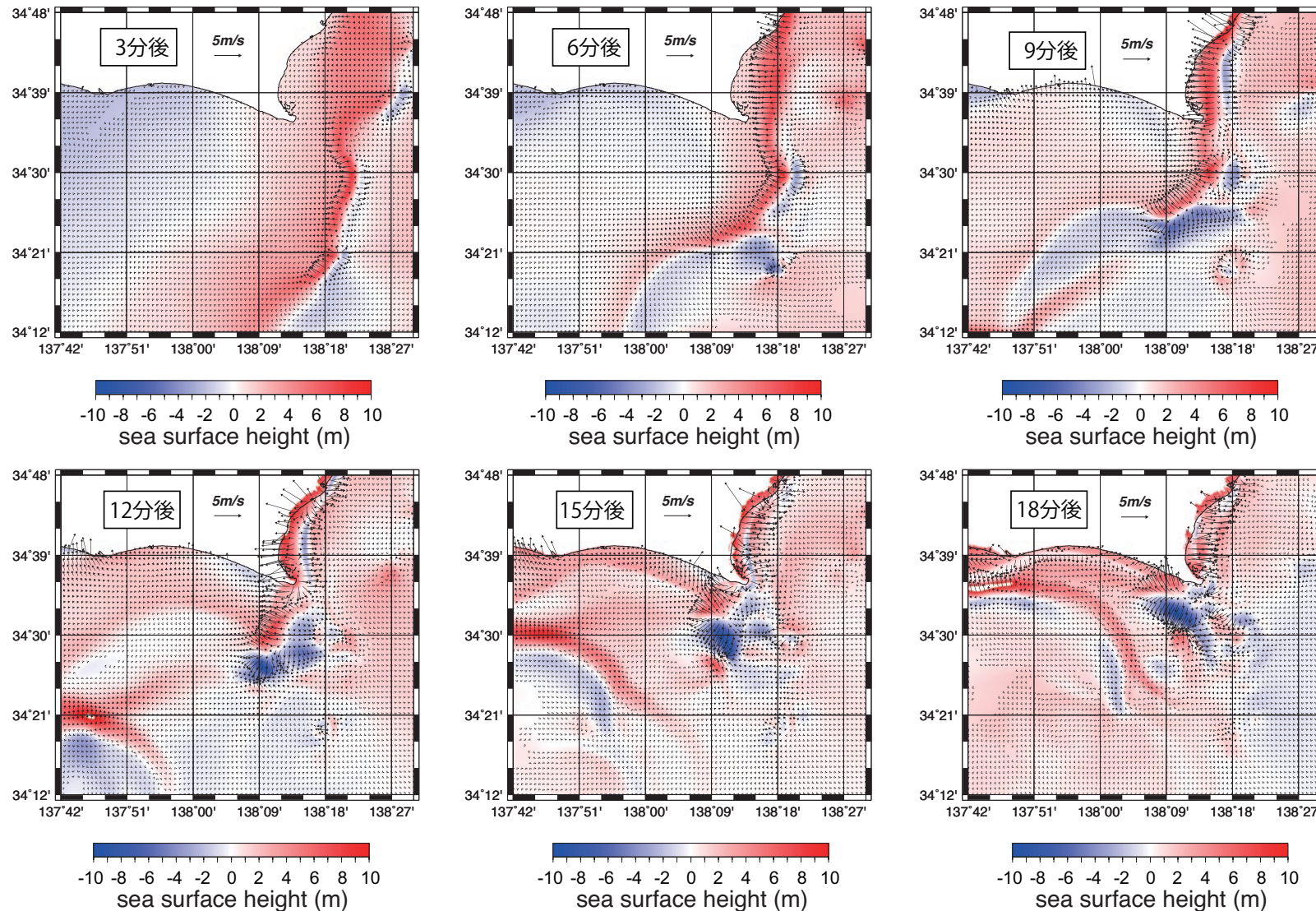
津波シミュレーションケース

ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9
断層規模	小	小*	中	大	大	大	大	大	特大
セグメント	N1-N4	N1-N4	N1-N4	N1-N4	N1	N2	N3	N4	N1-N4
地震(Mw)	8.8	8.8	8.9	8.9	8.1	8.5	8.4	8.5	9.0

* : Case2 のみ水平変位と斜面勾配を考慮して地殻変動計算を実施

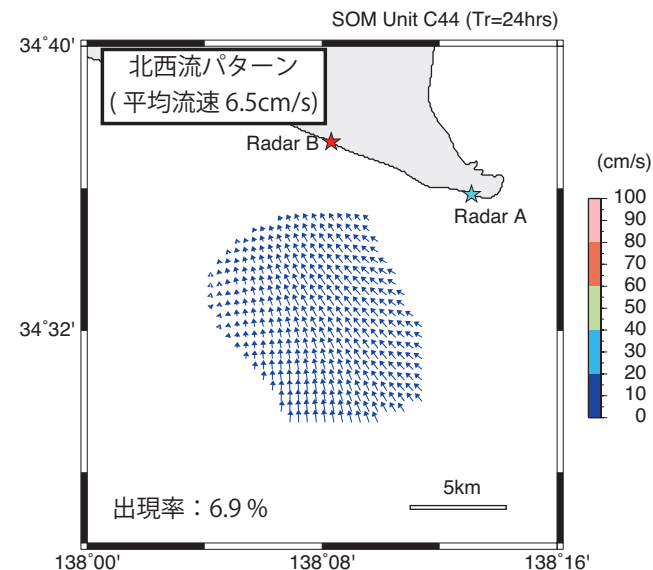
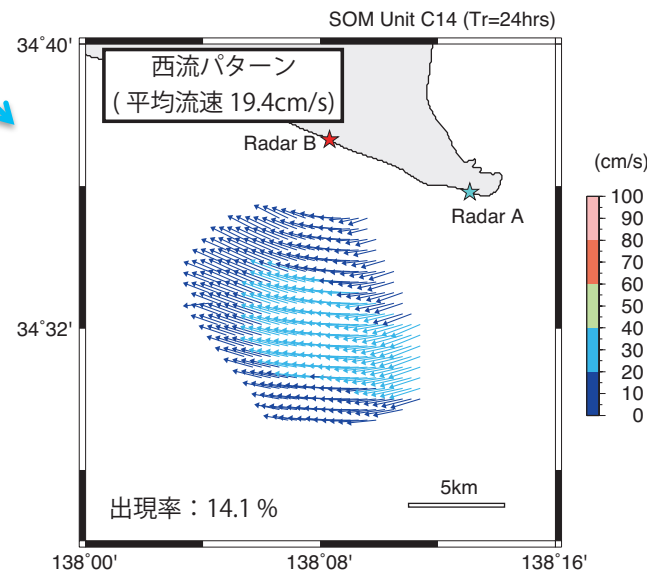
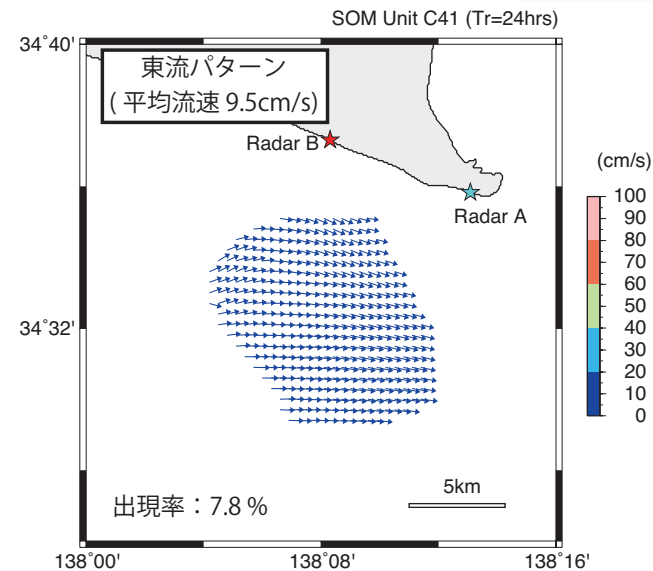
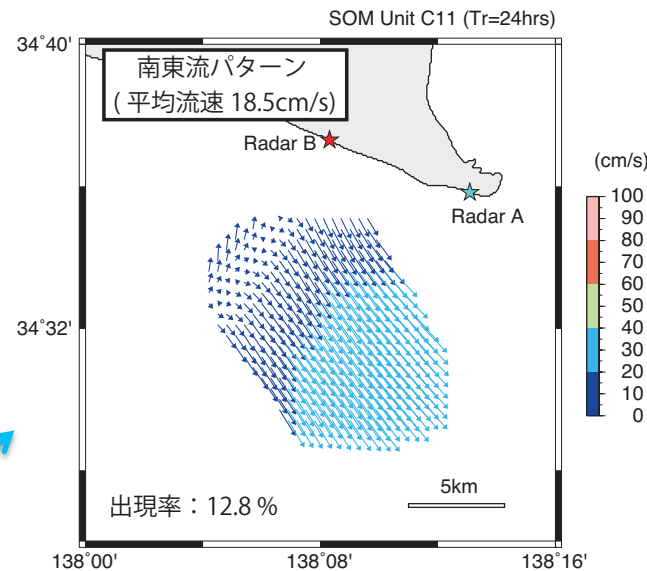
津波の伝播特性 (Case9)

地震発生後の水位と流速分布の時系列

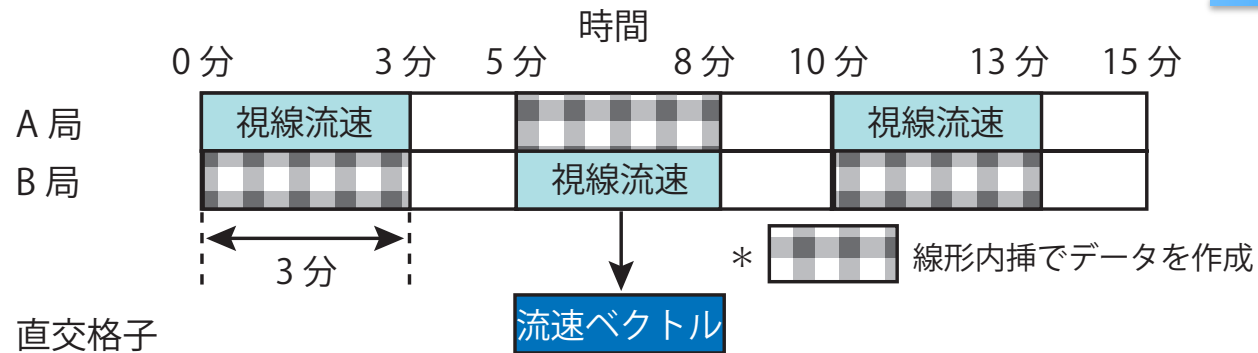


SOMによる24時間スケールの代表的な流速パターン

抽出



擬似津波観測データ



(a) 各海洋レーダ観測による流速ベクトルの算出 (5 分間隔データ)

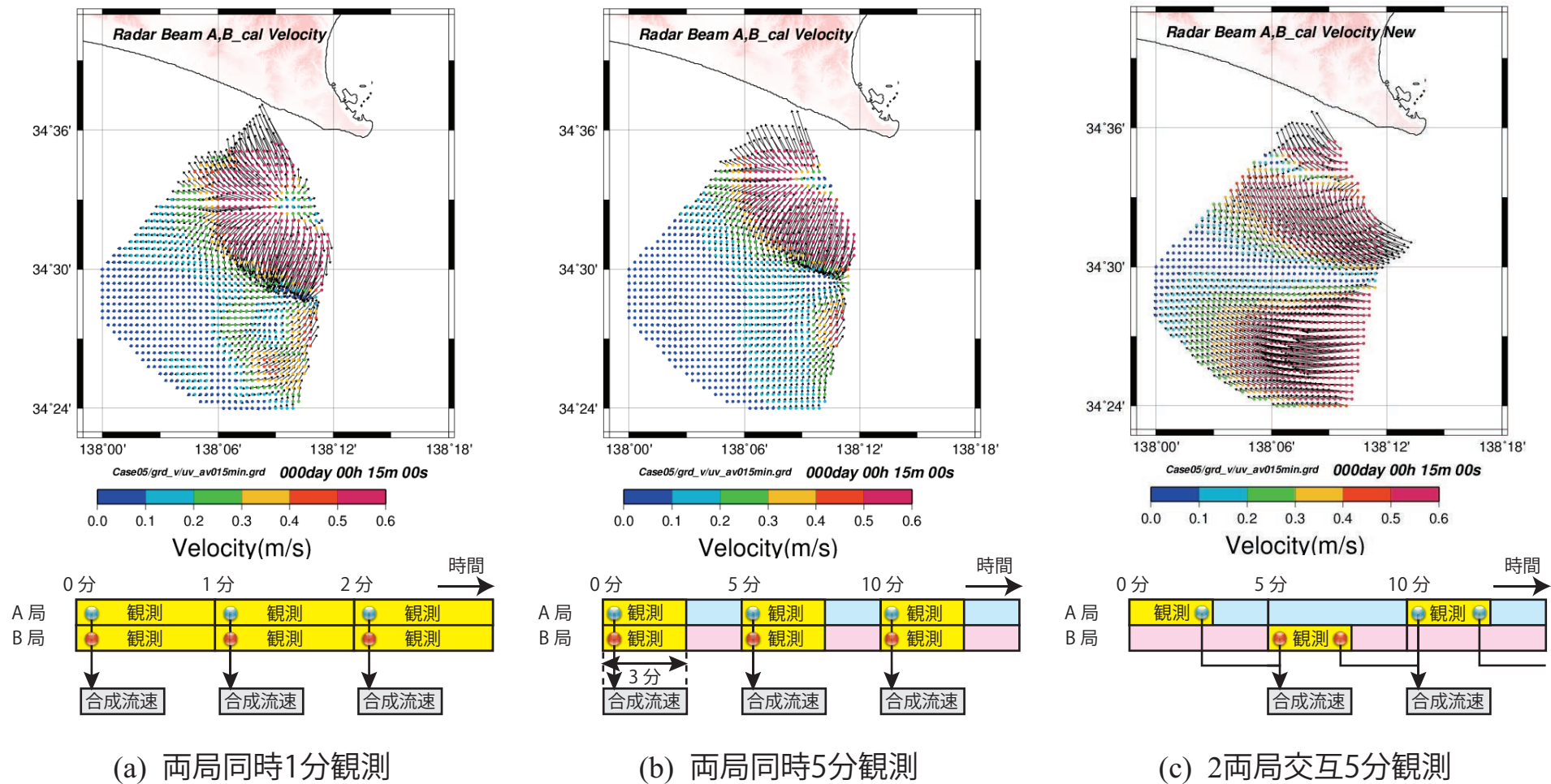


(b) 津波シミュレーション結果 (5 分間隔データ)



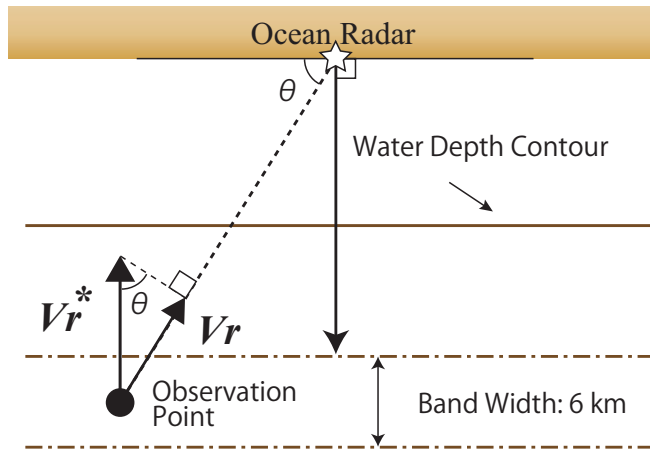
(c) 擬似津波観測データ (5 分間隔データ)

津波伝播把握に要求される観測時間間隔

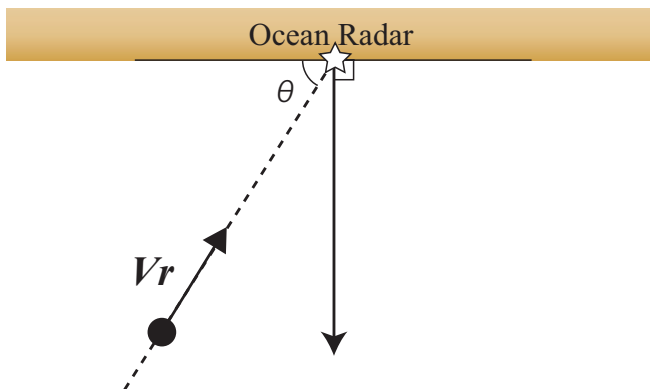


津波検知指標

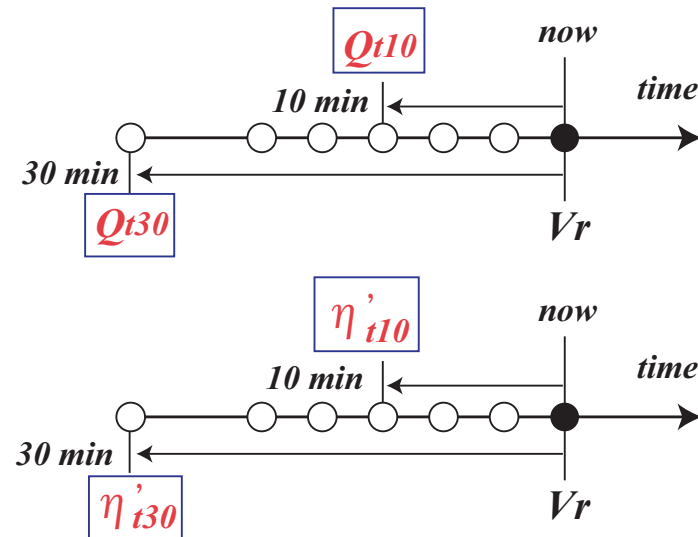
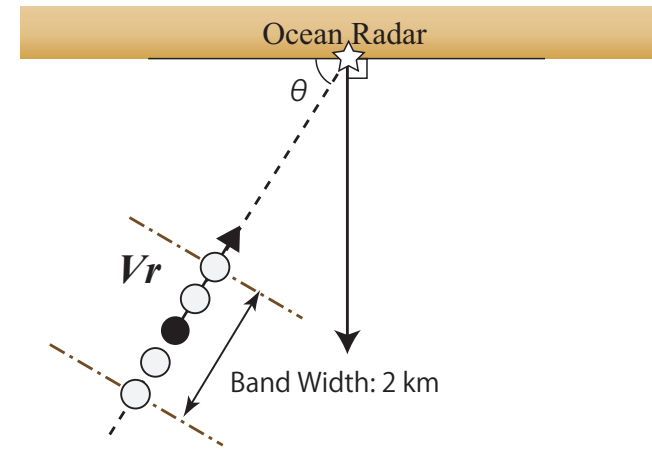
$$Q = \frac{|\langle Vr^* \rangle|}{\sqrt{\langle Vr^{*2} \rangle - \langle Vr^* \rangle^2}}$$



$$\eta_r = |\langle Vr \rangle| \sqrt{\frac{D}{g}}$$

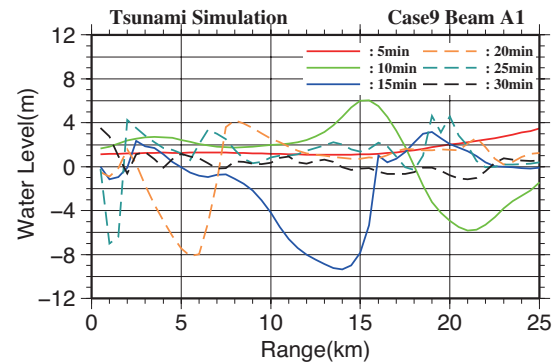


$$Qr5 = \frac{|\langle Vr \rangle|}{\sqrt{\langle Vr^2 \rangle - \langle Vr \rangle^2}}$$

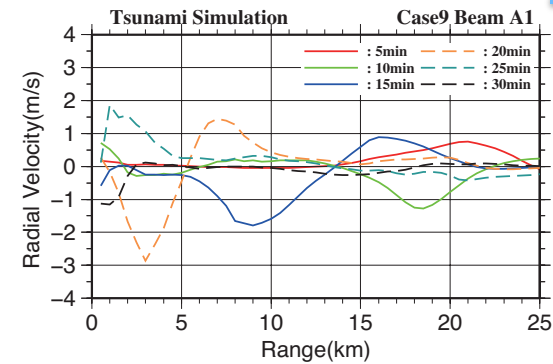


津波検知指標の有効性検討(Case9)

水位

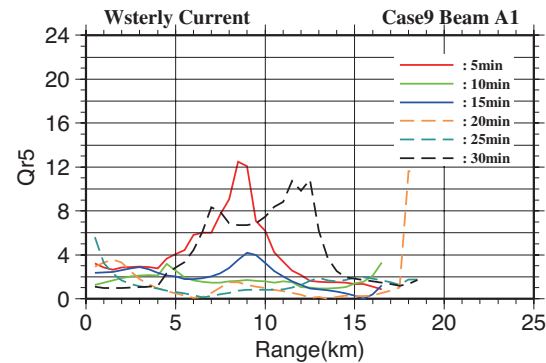


視線流速



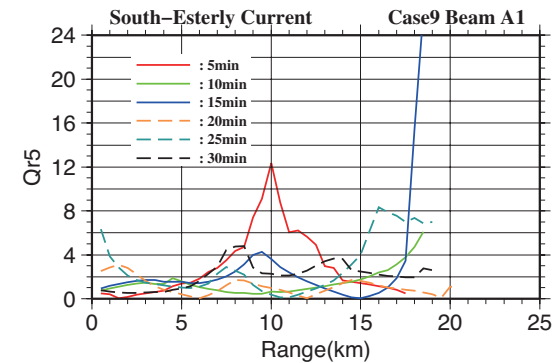
指標 Q_{r5}

(西流パターン)



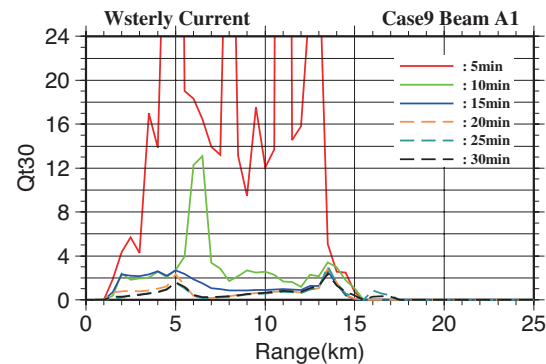
指標 Q_{r5}

(南東流パターン)



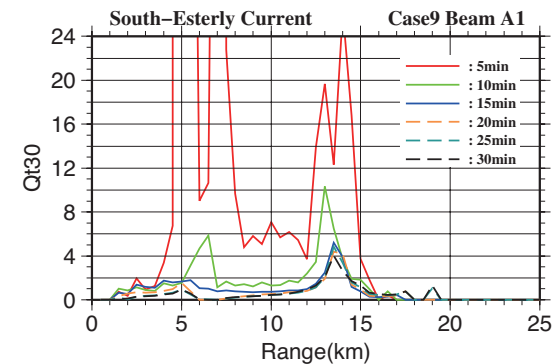
指標 Q_{t30}

(西流パターン)



指標 Q_{t30}

(南東流パターン)

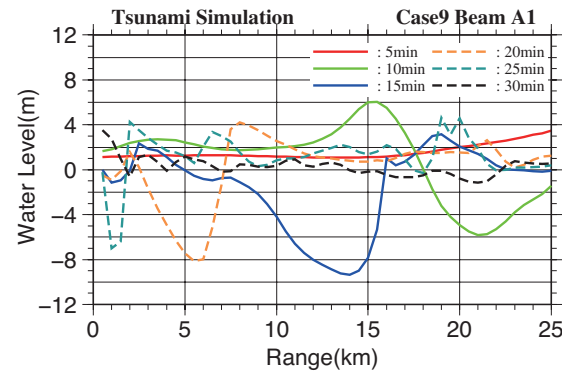


A1視線方向

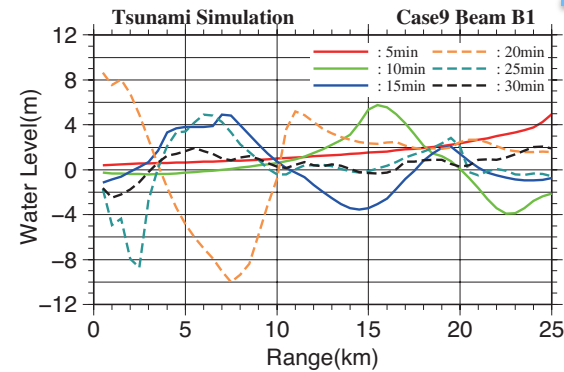
B1視線方向

津波検知指標の有効性検討(Case9)

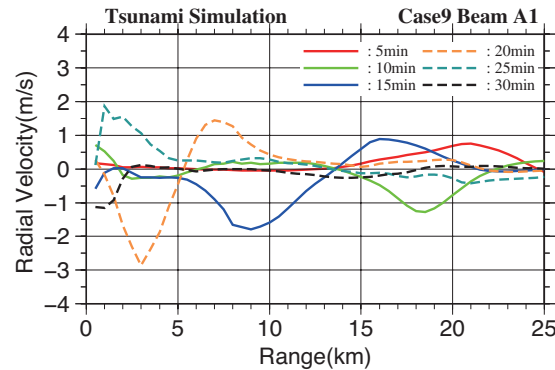
水位



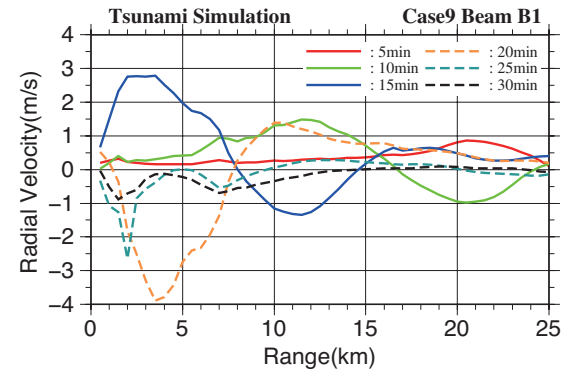
水位



視線流速

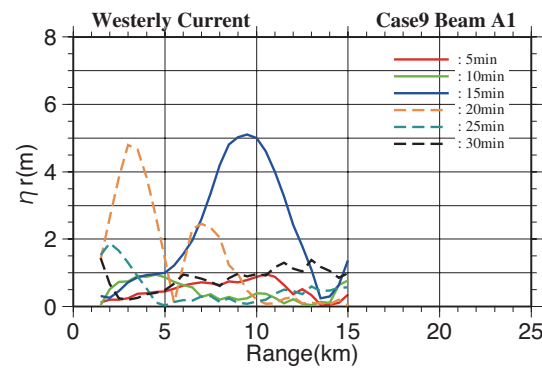


視線流速



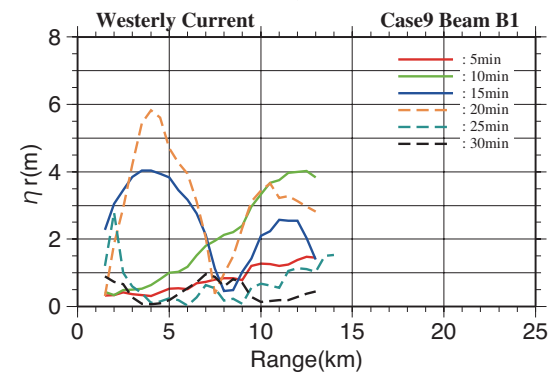
指標 η_r

(西流パターン)



指標 η_r

(西流パターン)

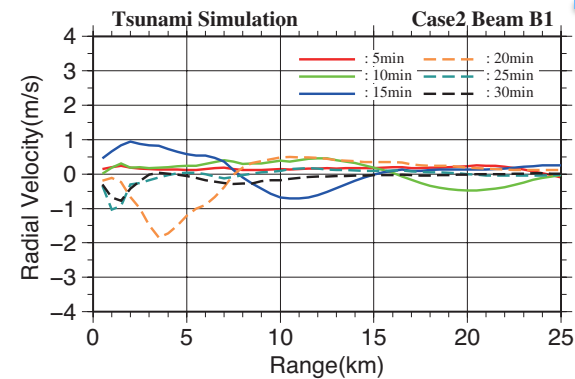
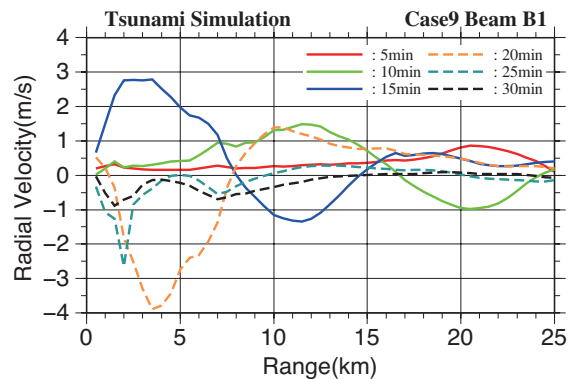


A1視線方向

B1視線方向

流動場や津波規模の違いによる津波検知指標への影響(B1方向)

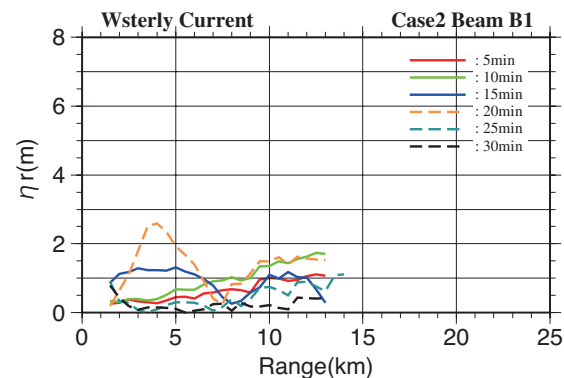
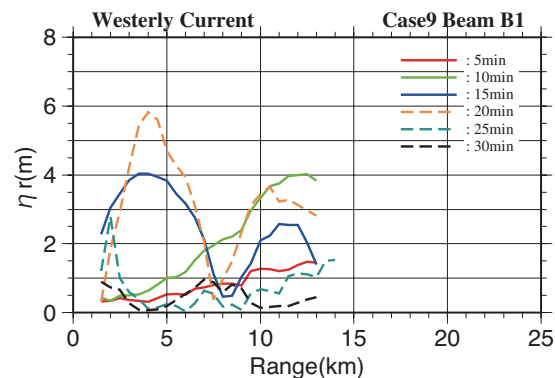
視線流速



視線流速

指標 η_r

(西流パターン)

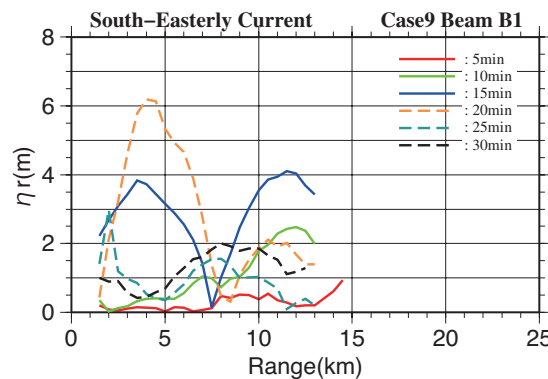


指標 η_r

(西流パターン)

指標 η_r

(南東流パターン)



Case2

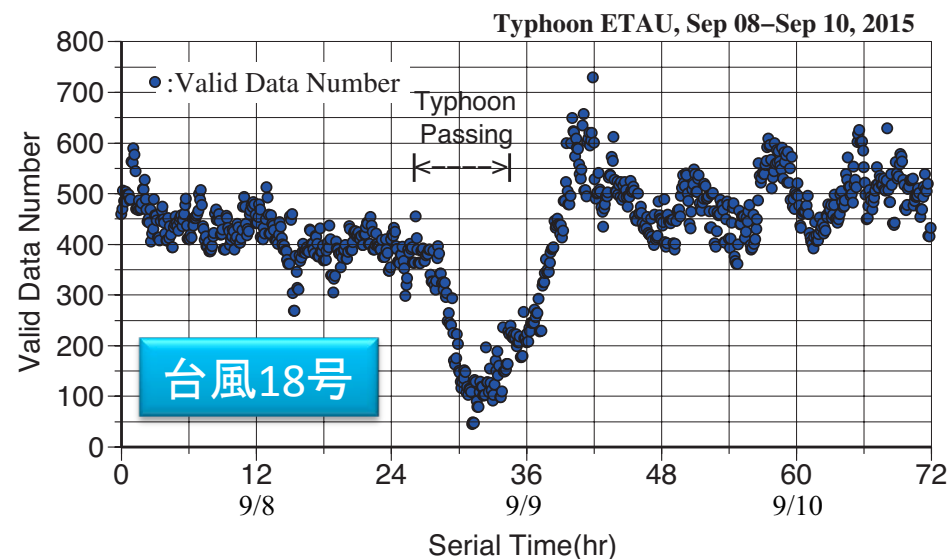
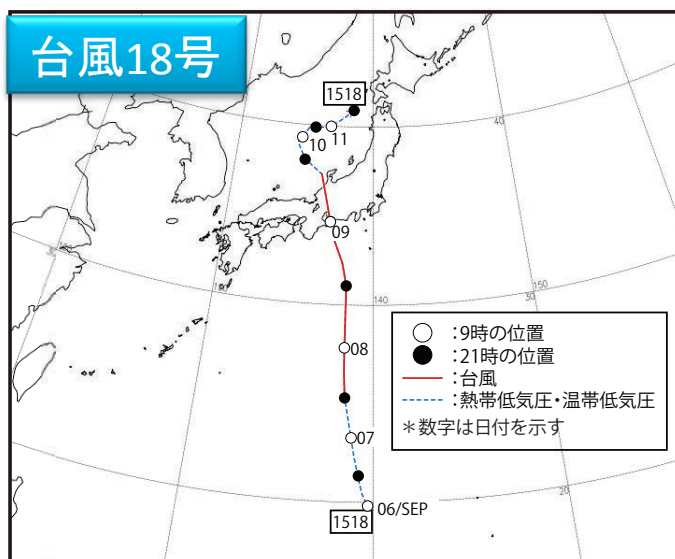
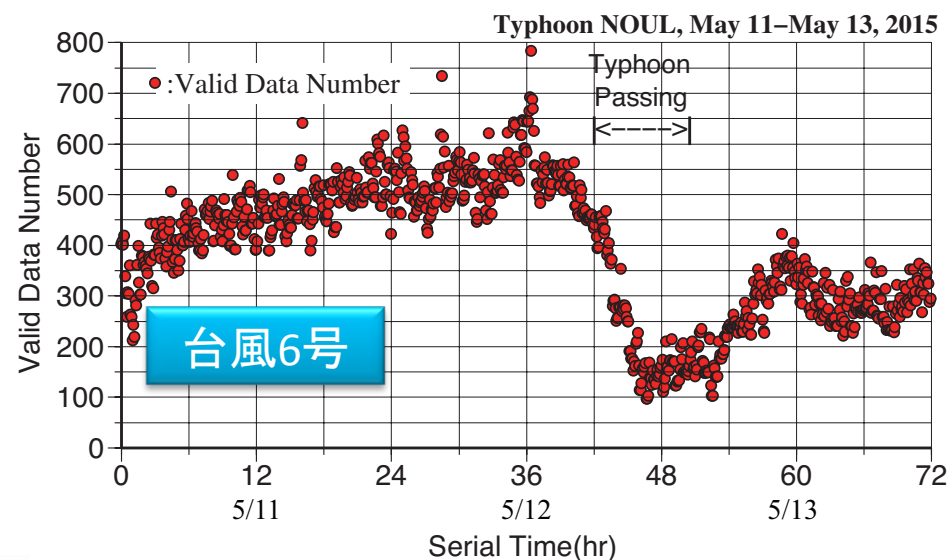
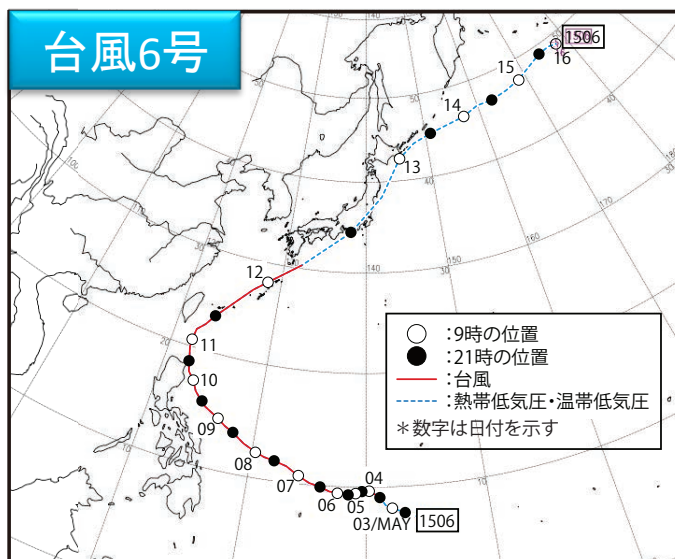
Case9

指標 η_r による津波検知時刻と検知位置

津波判定基準: $\eta_r > 1$

津波ケース	方向	海域流動	検知時刻	検知位置	検知対象
Case2	A1	西流	15分	8.5km	引き波
		南東流	10分	17km	引き波
	B1	西流	5分	12.5km	押し波
		南東流	15分	10.5km	引き波
Case9	A1	西流	15分	9.5km	引き波
		南東流	10分	17km	引き波
	B1	西流	5分	12.5km	押し波
		南東流	10分	12km	押し波

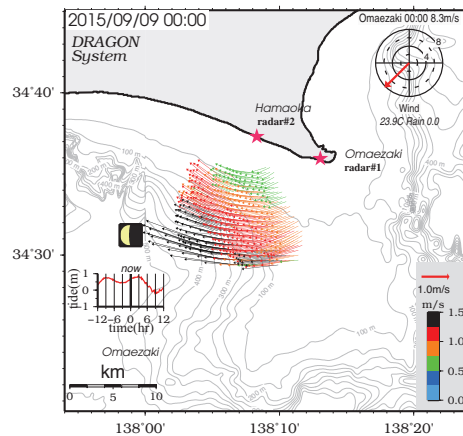
2015年台風6号および18号の経路とデータ測得数の時系列変化



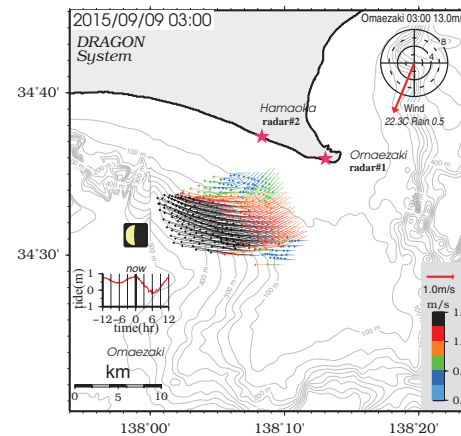
2015年台風通過前後の流況

台風18号

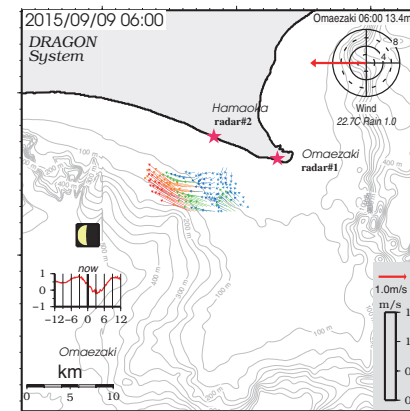
最接近10時間前



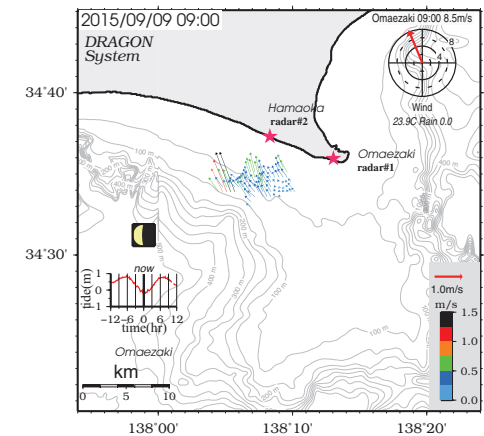
最接近7時間前



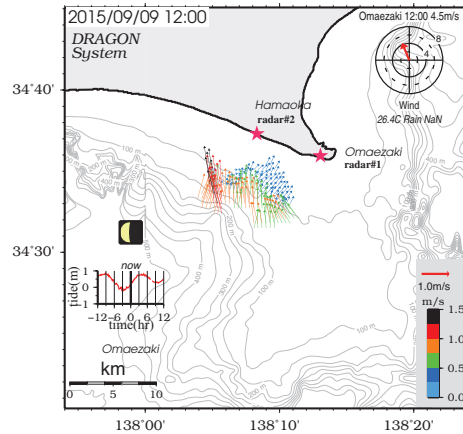
最接近4時間前



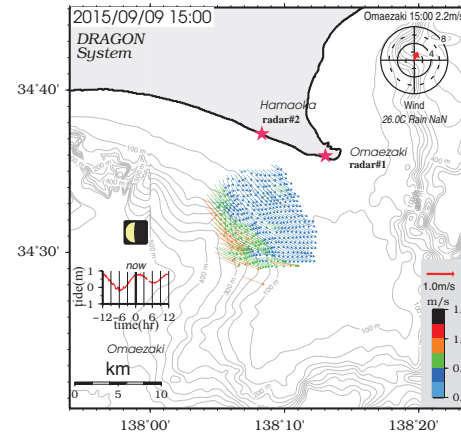
最接近1時間前



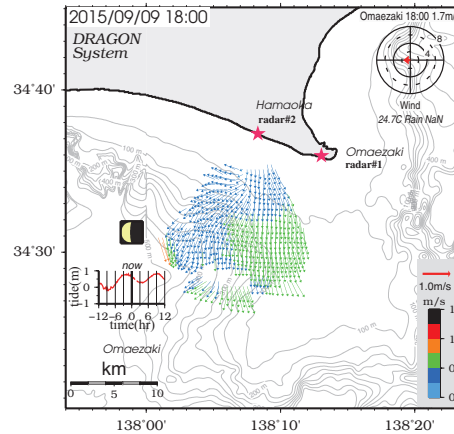
最接近2時間後



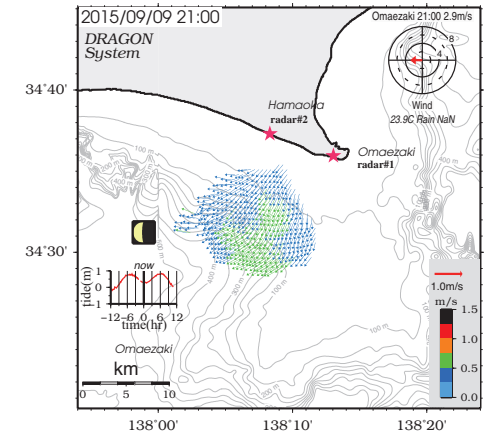
最接近5時間後



最接近8時間後



最接近11時間後



船舶等の従来観測では不可能な台風通過前後の海況を把握できる