

海洋レーダを用いて 表層塩分を計測する試み

海洋レーダ研究集会

日時： 平成22年12月16日(木)～17日(金)

場所： 九州大学応用力学研究所

○吉井匠・坪野考樹・松山昌史・坂井伸一(電中研)

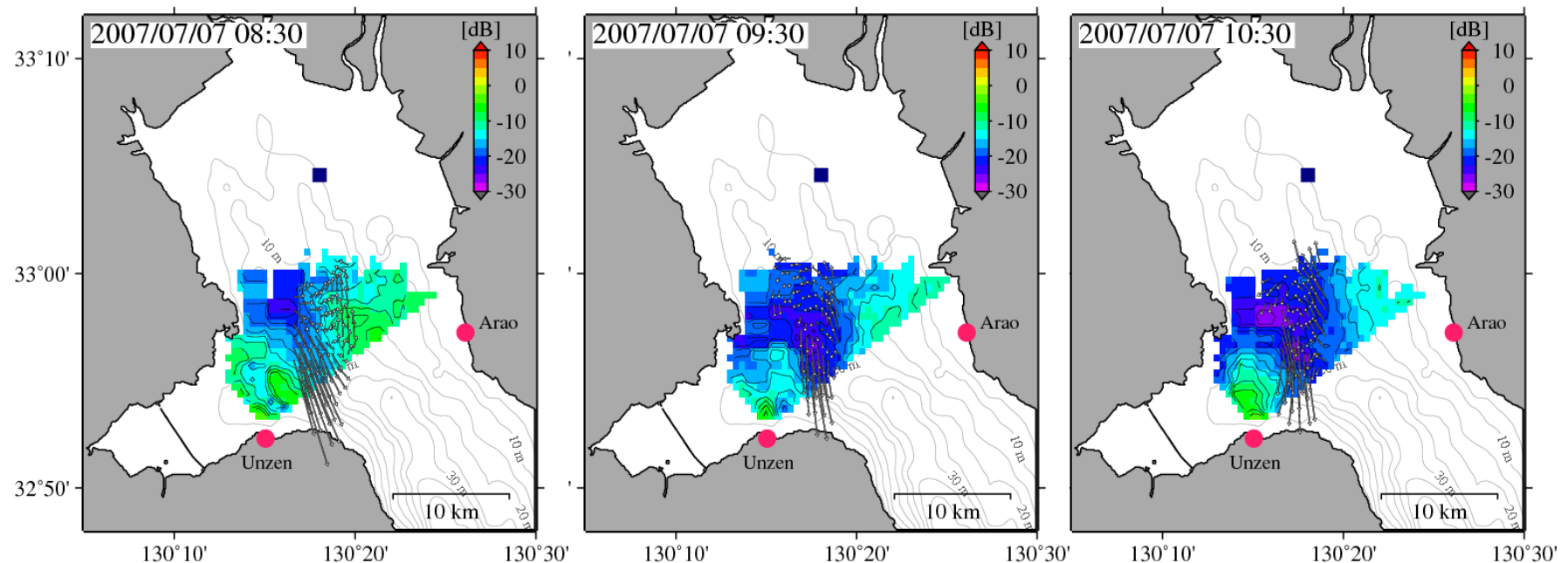
多田彰秀(長崎大工)、藤井智史(琉大工)

はじめに

- 海洋における塩分の役割
 - 海水の密度(海洋大循環～エスチュアリー循環)
 - 植物の生息環境
 - 動物の行動
- 計測方法
 - CTD(外洋, 湾内)・・・コスト的制約, 観測条件の制約
 - リモートセンシング(衛星)・・・時・空間解像度の制約

去年の発表内容

- 海洋レーダの受信電力は、観測海域の塩分に反応している！



(吉井ら, 2010)

海洋レーダを用いて、表層塩分が計測できる??

レーダ方程式

○レーダの受信電力

$$S_{rec} = \frac{P_t G_t \sigma_s A_{rec} A^4}{(4\pi)^2 R^3}$$

P_t :送信信号強度, G_t :アンテナゲイン, σ_s :1次散乱断面積, A_{rec} :アンテナ受信面積, R :観測地点までの距離, A :減衰係数

○減衰係数(Knight and Robson, 1984)

$$A = A_0 - (A_0 - A_{90}) \sin(b)$$

$$A_0 = \frac{2 + 0.33p}{2 + p + 0.6p^2} \quad b = \tan^{-1} \left[\frac{(\epsilon + 1)}{60\sigma\lambda} \right]$$

$$A_{[90]} = \frac{2 + 170p}{2 + 210p + 310p^2} \quad p = \frac{\pi R}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{(\epsilon + 1)^2 + (60\sigma\lambda)}}$$

散乱断面積

- Perfect conductor (Barrick (1972))

$$\sigma(\omega_D) = 2^6 \pi k_0^2 \sum_{m=\pm 1} S(-2m\vec{k}_0) \delta(\omega_D - m\omega_B)$$

- 一般的な物質の場合 (井口(1991))

$$\sigma(\omega_D) = 2^6 \pi k_0^2 \cos^2 \theta \left| \frac{(\kappa - 1) \{ \kappa \sin^2 \theta + (\kappa - \sin^2 \theta) \}}{(\kappa \cos \theta + \sqrt{\kappa - \sin^2 \theta})^2} \right|$$

$$\times \sum_{m=\pm 1} S(-2m\vec{k}_0) \delta(\omega_D - m\omega_B)$$

$$\kappa = \varepsilon^* - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}$$

受信電力

- レーダで受信される電力

$$RSI(\sigma, R) = B_1 S(\pm 2\vec{k}_0) X(\sigma) D(\sigma, R)$$

S : 波浪スペクトルの大きさ, X : 散乱断面積における電気伝導度寄与分,
 D : 距離減衰の関数, B_1 : レーダの装置の影響

- デシベル単位に変換

$$RSI'(\sigma, R) = B'_1 + S'(\pm 2\vec{k}_0) + X'(\sigma) + D'(\sigma, R)$$

問題点

- B_1 の評価
 - レーダのシステムの固有値. 正確な見積もりは難しい.
- $X(\sigma)$ の値の評価
 - 井口(1991)の式では, 電波入射角90度が特異点となっており, 値が算出できない

仮定1

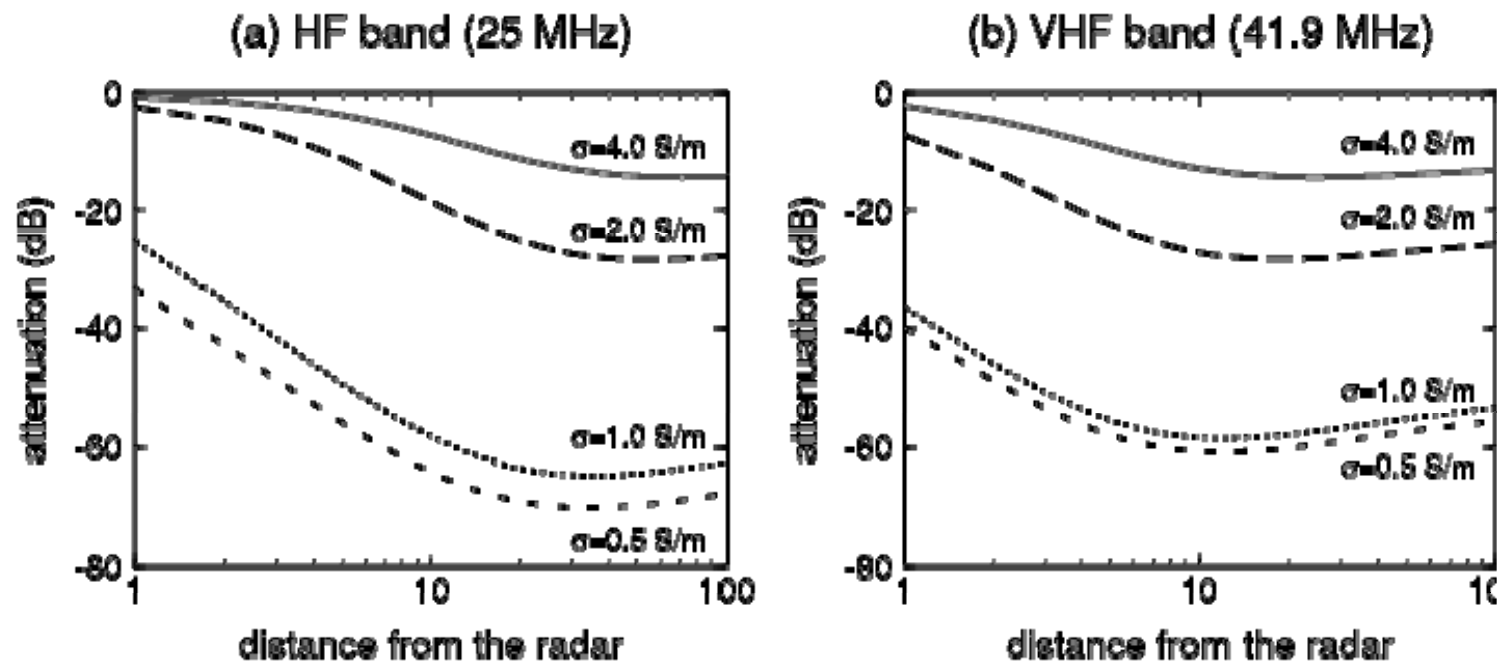
- 電気伝導度がある時点で既知(σ_0)であるとする
- B_1 は時間変化しない

受信電力の変化量は,

$$\begin{aligned}\Delta RSI'(\sigma, R) = & S'_1 + X'(\sigma_1) + D'(\sigma_1, R) + \cancel{B_1} \\ & - S'_0 - X'(\sigma_0) - D'(\sigma_0, R) - \cancel{B_1}\end{aligned}$$

仮定2

- 観測海域の海水の電気伝導度は一様
- 電波の距離減衰は, 10km以上で一定と見なす



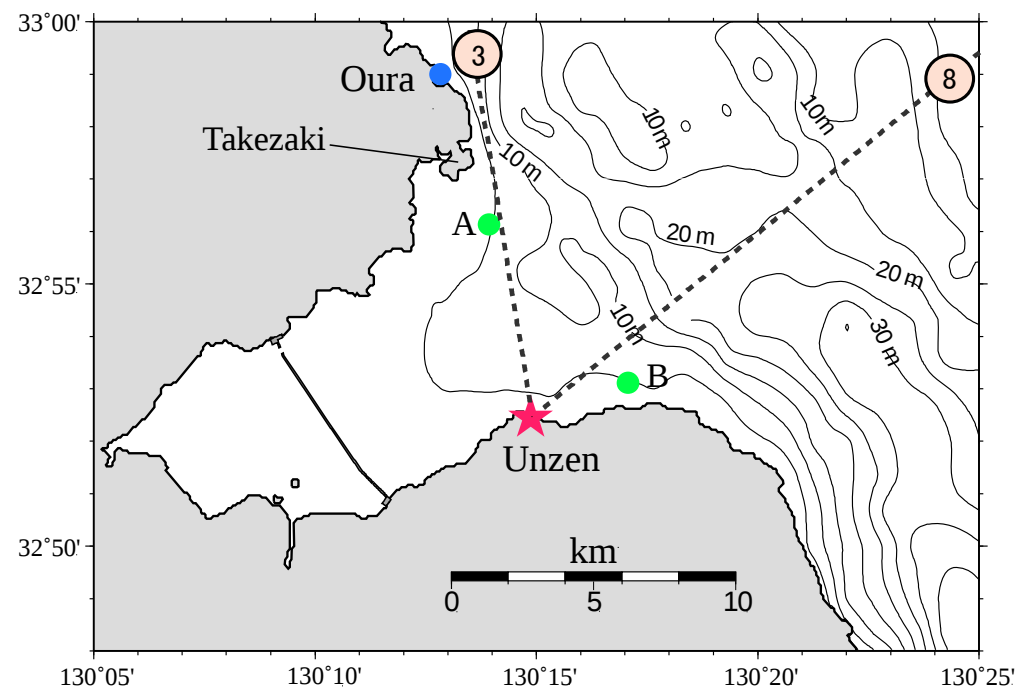
$$D'(\sigma, R) = D_1(\sigma) + D_2(R) \quad R > 10 \text{ km}$$

受信電力の変化

$$\begin{aligned}\Delta RSI'(\sigma) &= (S'_0 - S'_1) + X'(\sigma_0) + D_1(\sigma_0) - X'(\sigma_1) - A_1(\sigma_1) \\ &= (S'_0 - S'_1) + (Z(\sigma_0) - Z(\sigma_1)) \\ &= \Delta S' + \Delta Z(\sigma),\end{aligned}$$

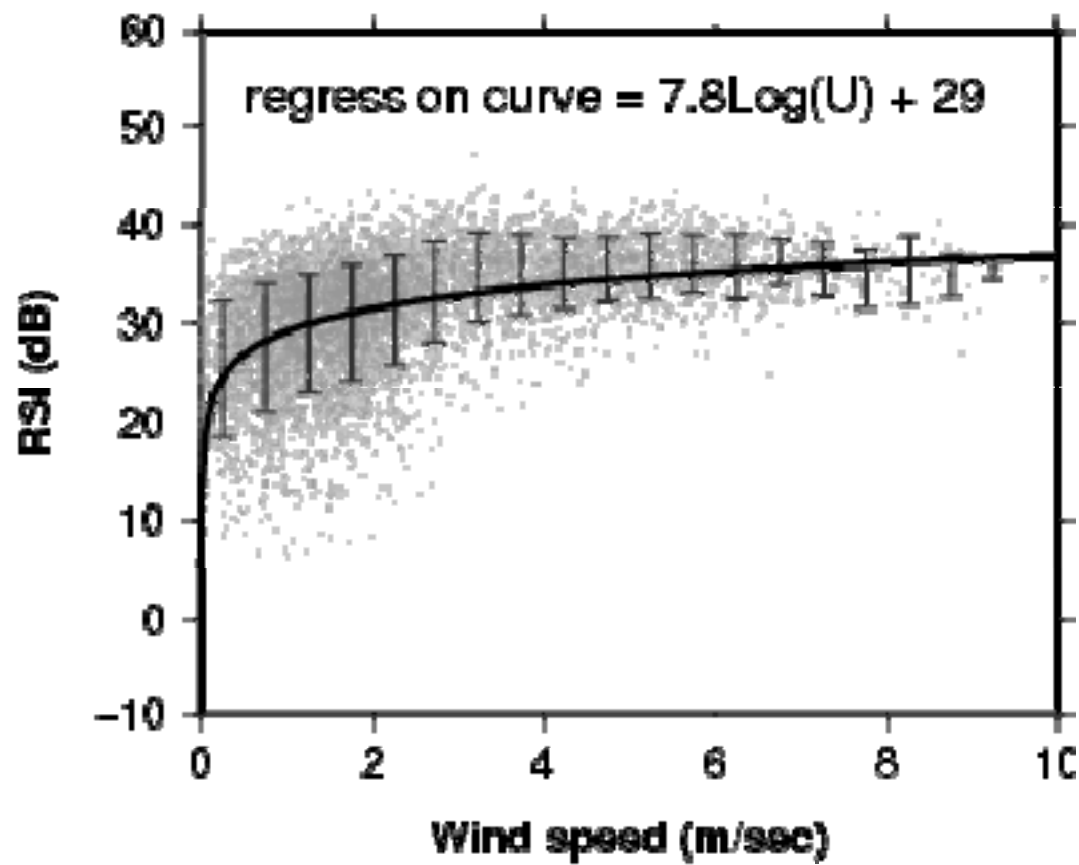
- 受信電力の変化は、波浪スペクトルの関数と、電気伝導度の関数の和

関数の決定



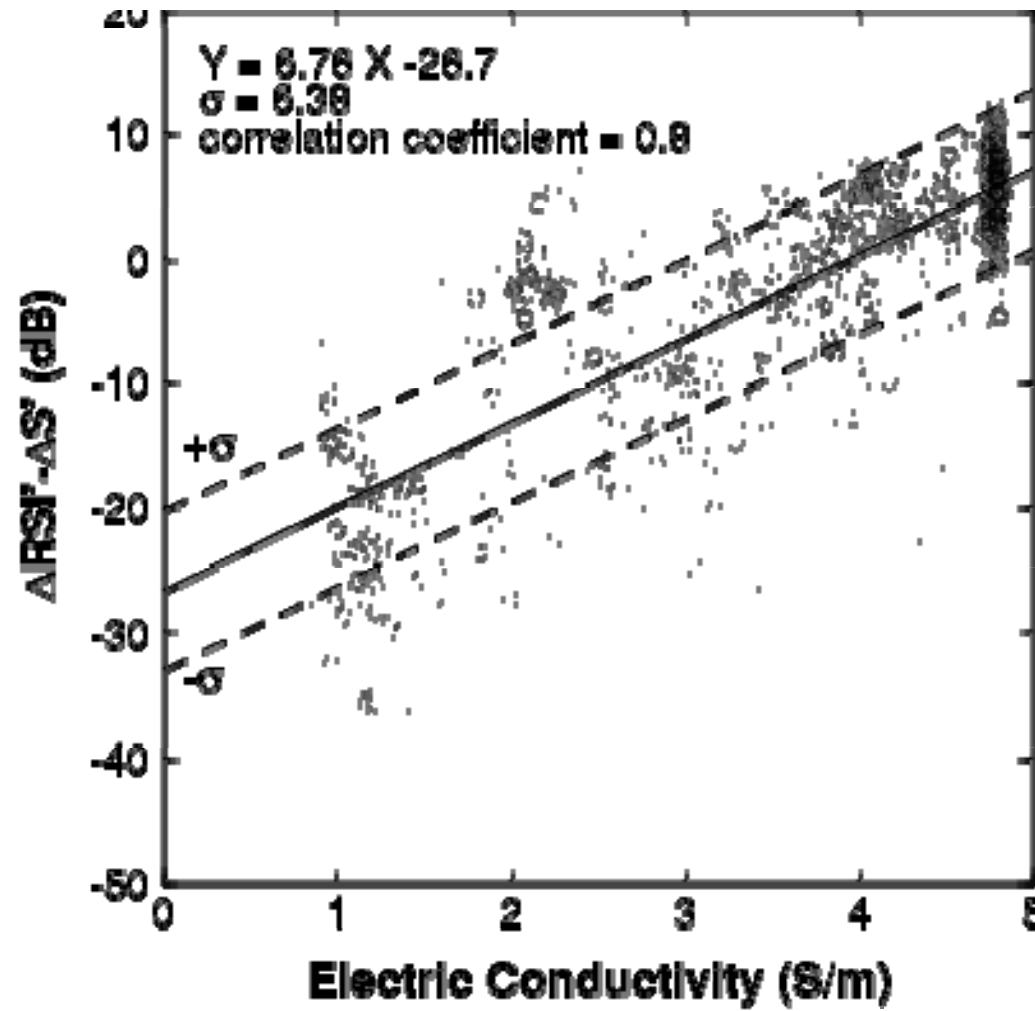
OCTDは水面下1mを計測

波浪スペクトル項



(吉井ら, 2010)

電気伝導度項



電気伝導度の算出式

- 電気伝導度の算出式

$$\Delta RSI'(\Delta\sigma) = 6.76\Delta\sigma + \Delta S'$$

- 受信電力の変化から、電気伝導度の変化量が算出可能
- 基準の電気伝導度は既知であるので、計測時点の電気伝導度が求まる

塩分の算出

- 塩分(PS)は電気伝導度と水温の関数(UNESCO,1981)

$$PS = 0.008 - 0.1692K_{15}^{0.5} + 25.3851K_{15} \\ + 14.0941K_{15}^{1.5} - 7.0261K_{15}^2 + 2.7081K_{15}^{2.5}$$

$$K_{15} = EC(15)/EC_{cl}(15)$$

EC(15): 水温15度における電気伝導度

EC_{cl}(15): 水温15度の基準塩化カリウム液の電気伝導度

- 電気伝導度と水温

$$\sigma(T) = \sigma(T_{ref}) \{1 + \alpha(T - T_{ref})\}$$

$$\alpha \cong 0.02$$

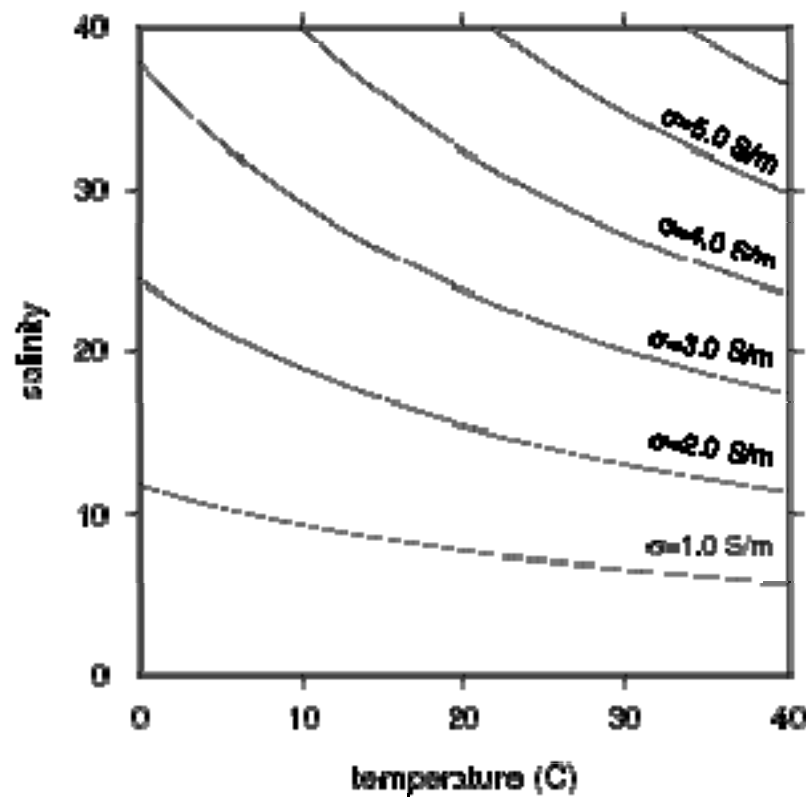
水温の算出

- 観測海域の塩分が一定の場合

$$T = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma(T) - \sigma(T_0)}{\sigma(T_0)} + T_0 \right)$$

初期の水温が既知であれば, 水温を算出可能

電気伝導度，塩分，水温



電気伝導度の水温に対する反応は，塩分に対して小さい



水温の計測精度は低い

CRIEPI (C)

必要な情報と仮定

仮定1:レーダのシステムに固有の減衰項 B_1 は時間変化しない

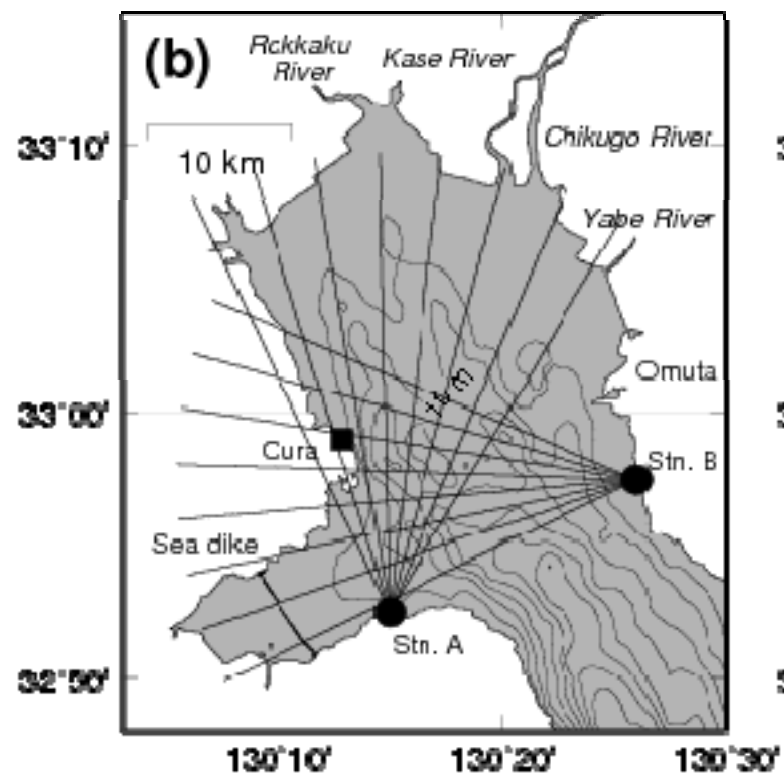
仮定2:観測海域の海水の電気伝導度は一様

必要な情報: ・基準時間における受信電力
・基準時間における水温

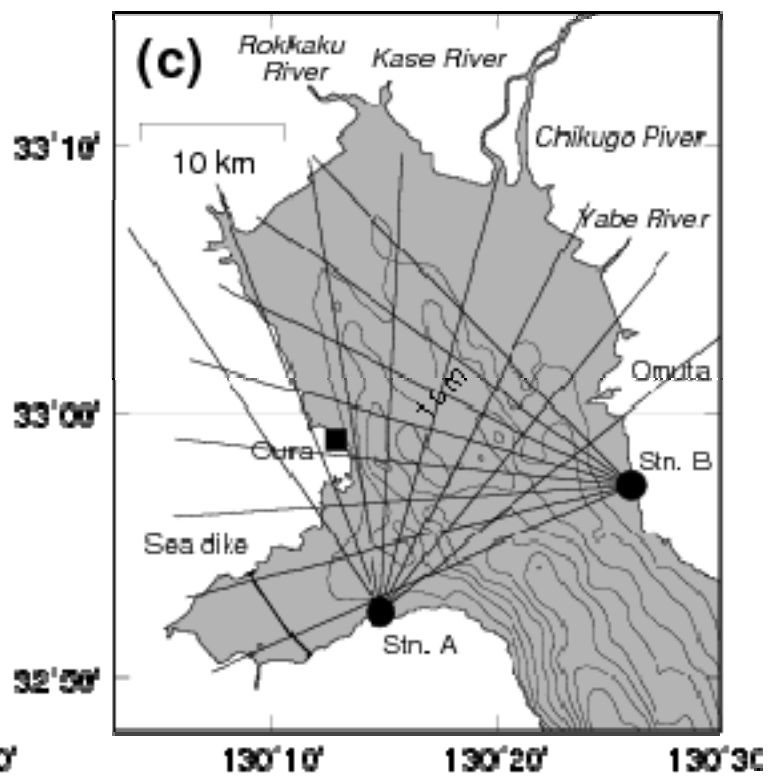
塩分を算出する場合:計測時間における水温

水温を算出する場合: 海域の塩分は基準時間と同じ

観測



2006/6~2006/12



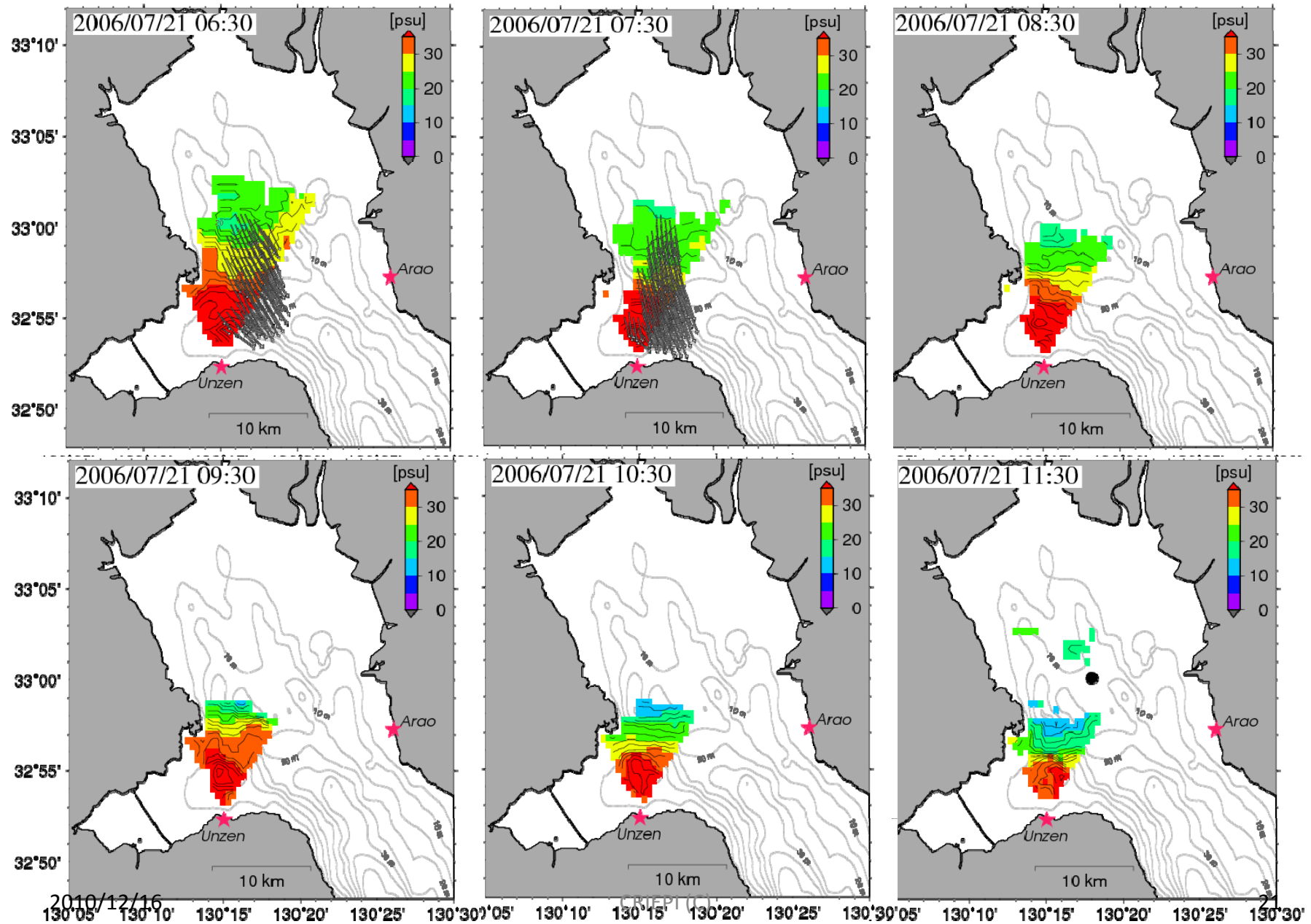
2006/12~2008/2

塩分の観測

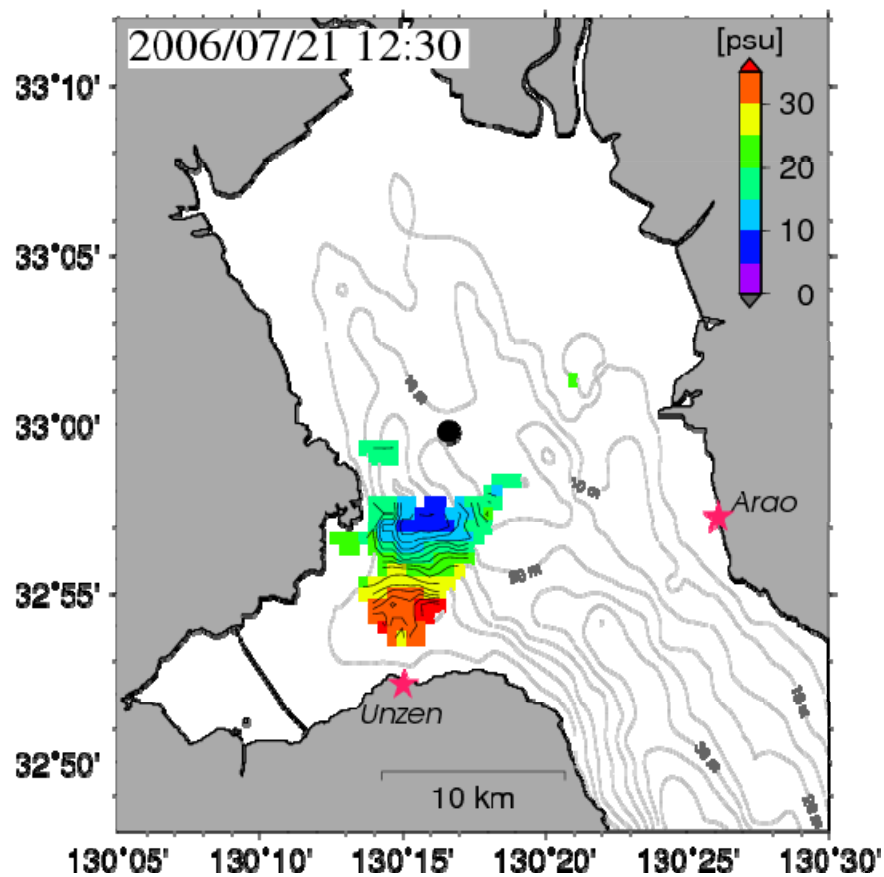
- 初期条件

期間	2006/6/18 - 22
基準水温	23 degC
基準塩分	4.6 S m ⁻¹
計測時水温	23 degC
水温補正係数	0.02
Ec _{cl} (15)	4.0 S m ⁻¹

出水後の塩分



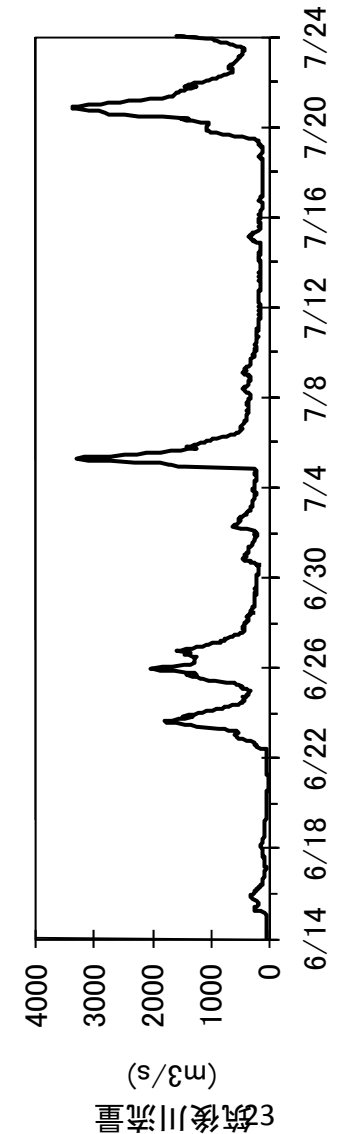
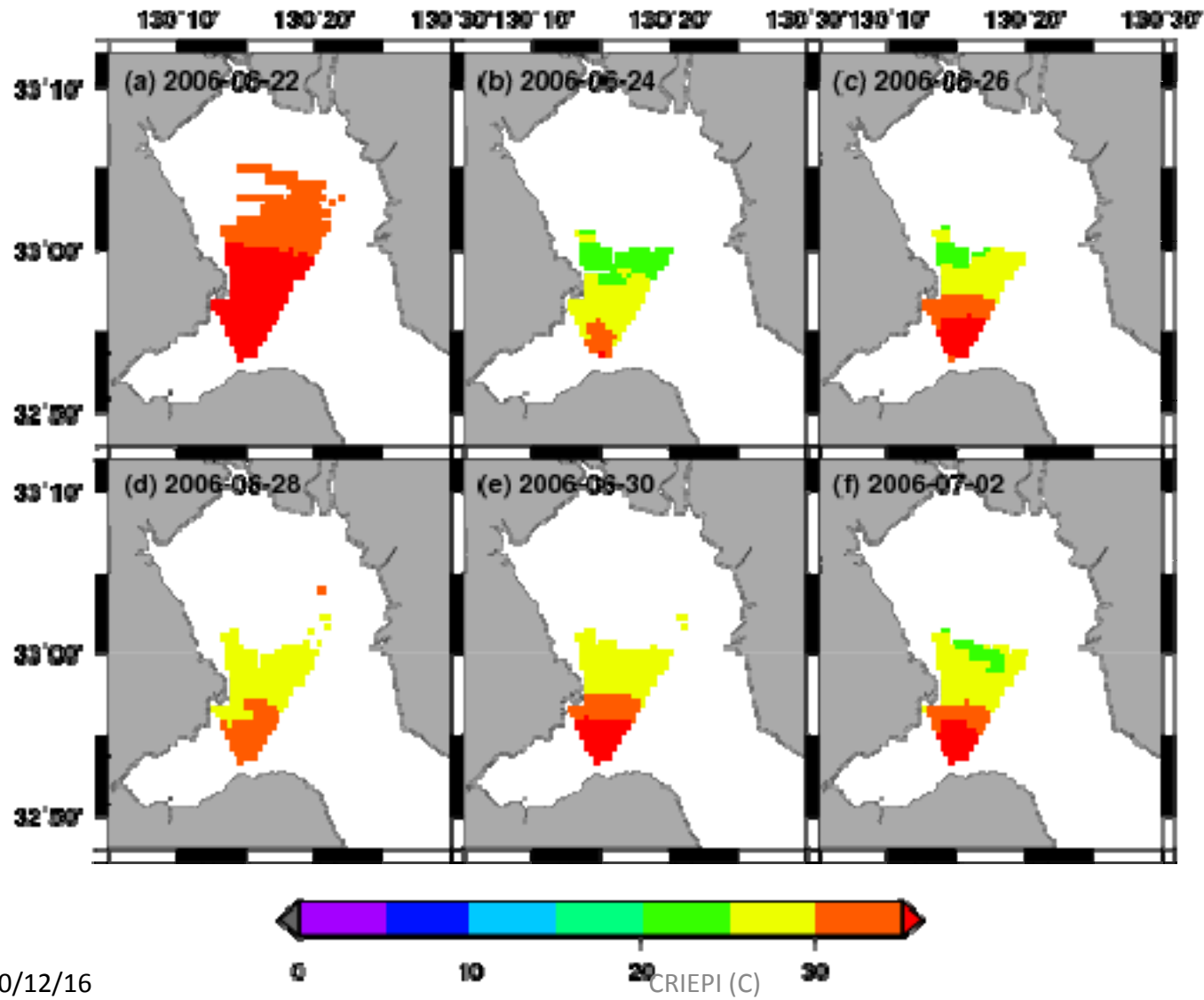
出水後の塩分



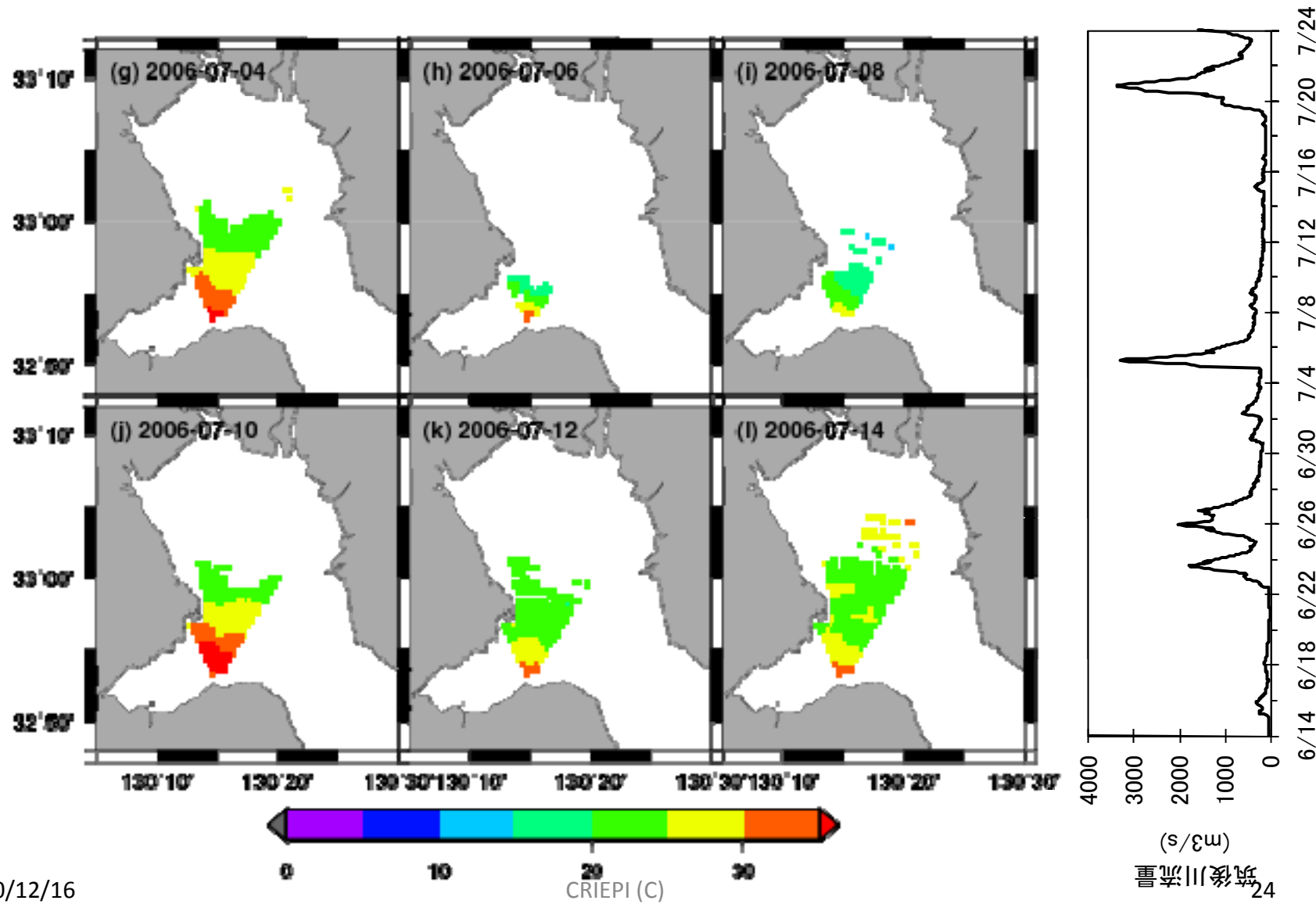
○海洋レーダ
塩分が10以下の低塩分の領域を示唆

○GPSブイ(観測水深35cm)
表層の塩分は2程度

塩分の日変動1



塩分の日変動2



結果

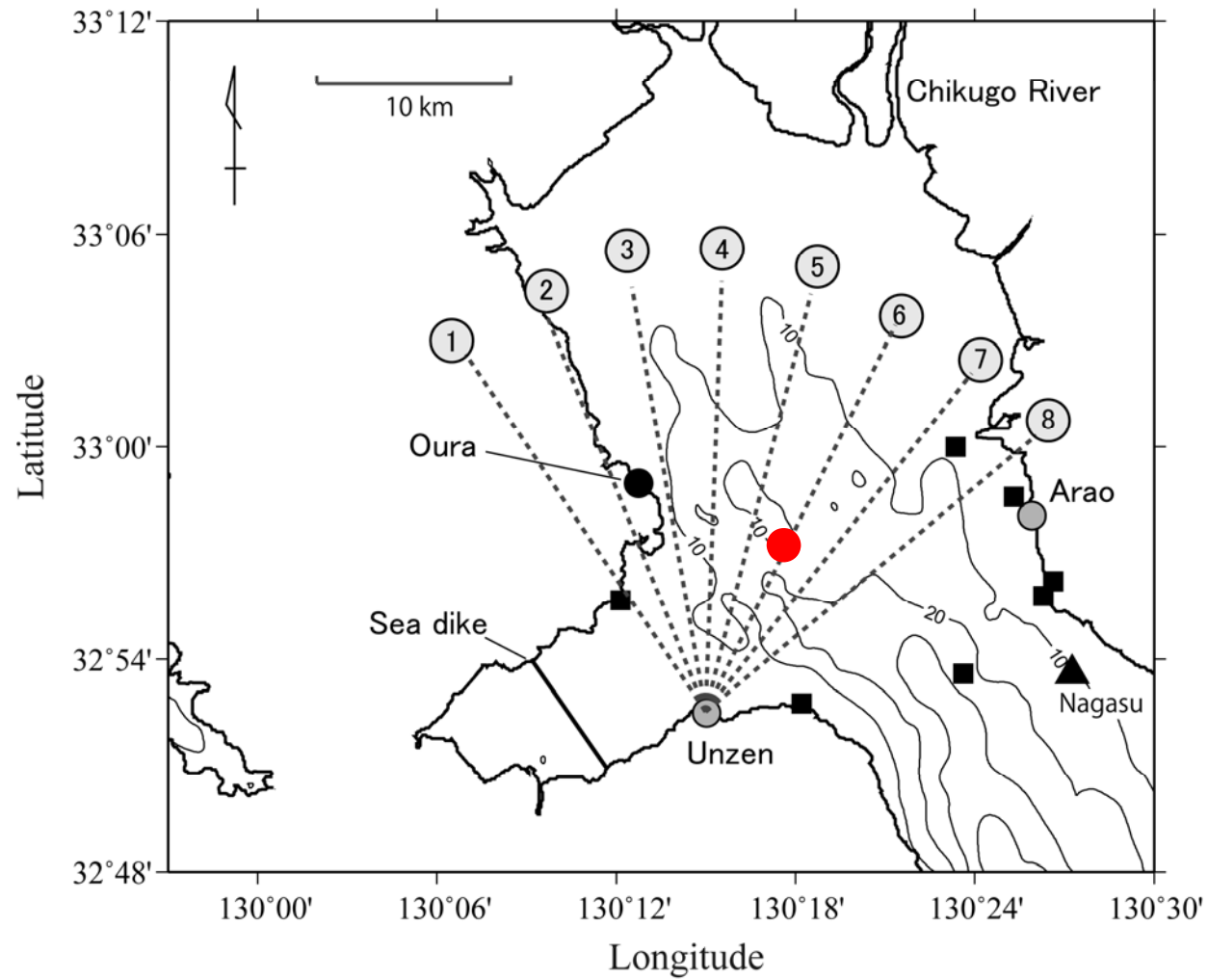
- 2006年の有明海では、6月22日に海域に塩分成層が形成された
- 塩分成層は、筑後川の出水と共に強くなる（表層の塩分が低下する）
- これらの結果は濱田ら（2007）の観測結果と矛盾しない

水温の計測

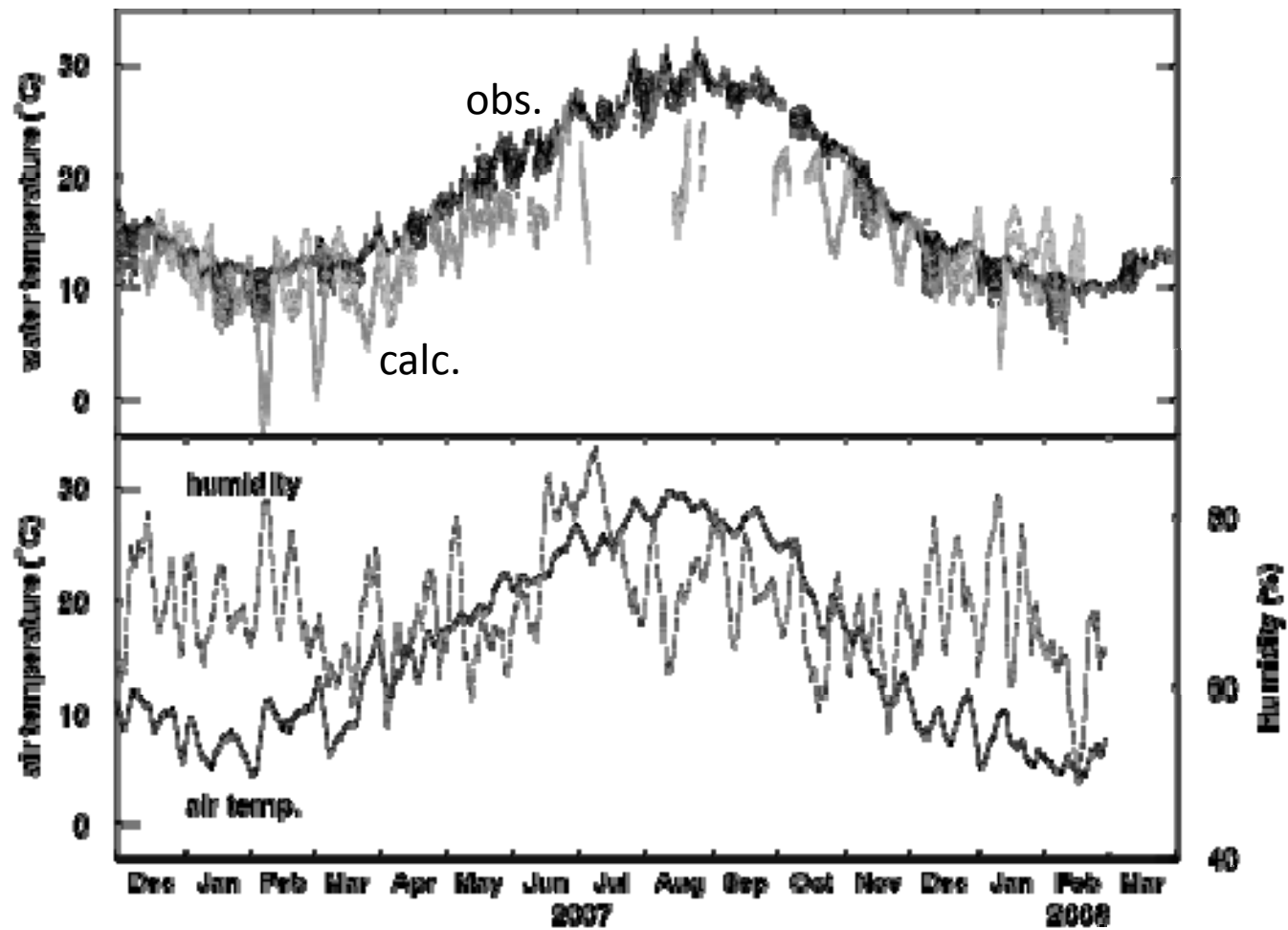
- 初期条件

期間	2007/6/23 – 7/2
基準水温	24 degC
基準塩分	4.7 S m ⁻¹
計測時塩分	4.7 degC
水温補正係数	0.02
Ec _{cl} (15)	4.0 S m ⁻¹

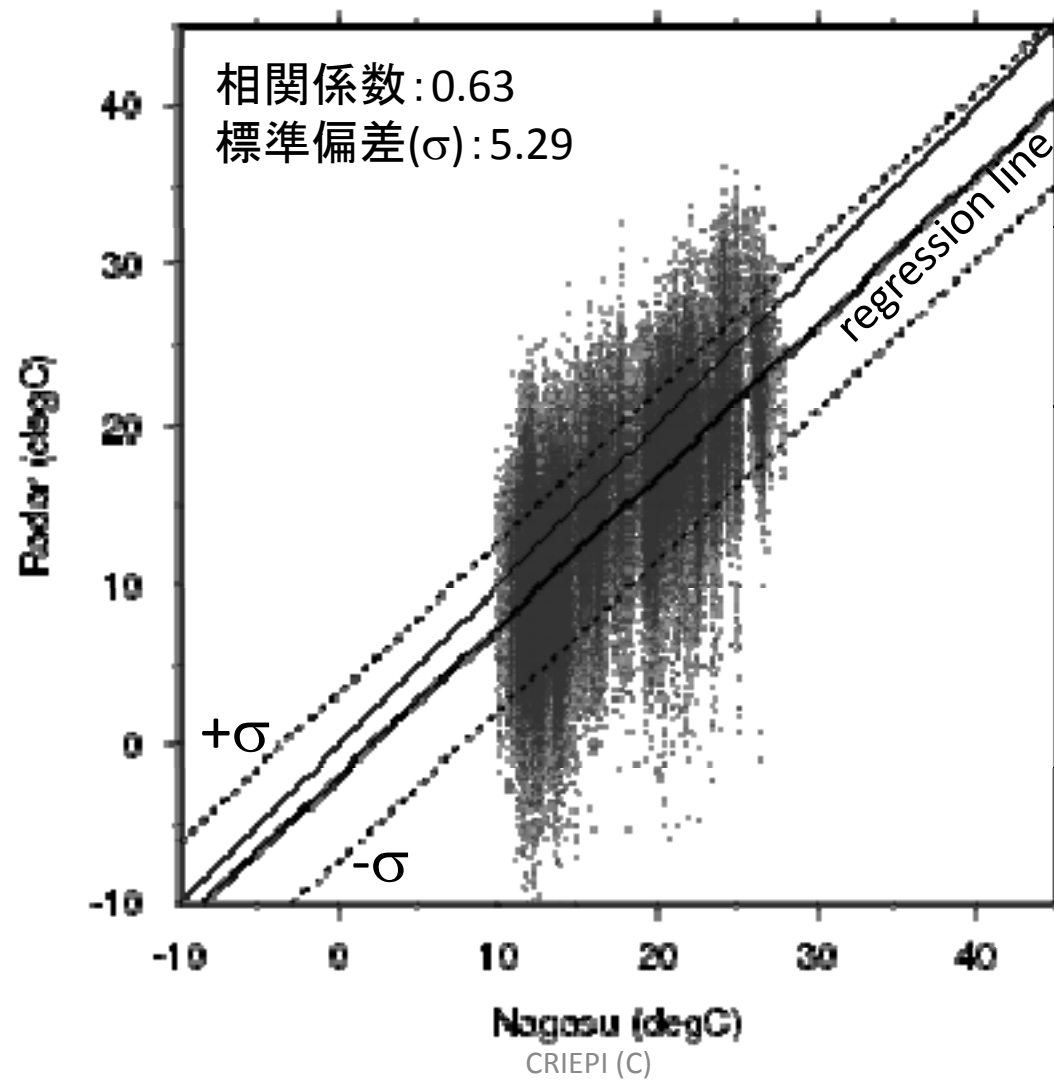
計測場所



水温の計測



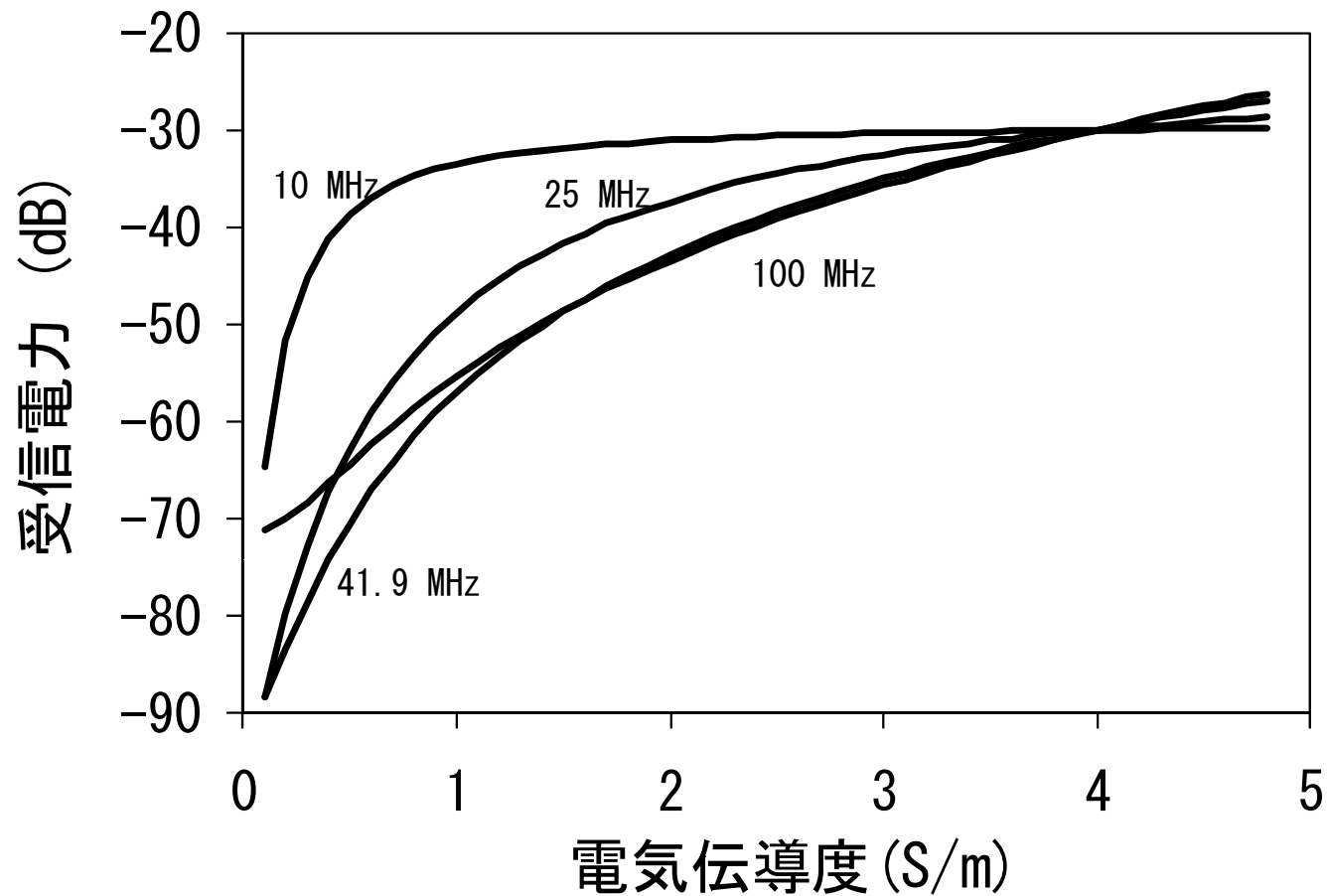
水温の計測



結論

- 海洋レーダで受信される電波を用いて、海域の表層塩分、水温を計測する方法を示した
- 提案した方法を用いて、表層塩分を計測した結果、出水に伴い湾内に成層が形成される仮定を定性的に捉えた
- 水温の計測結果は、水温の季節変動程度の変化を定性的に捉えていた

塩分観測からみた電波周波数



謝辞

- GPSブイによる塩分の観測結果は、九州大学環境流体力学研究室から提供頂きました。
- 長洲沖の水温のデータは熊本県水産研究センターから提供頂きました。
- 有明海内の水温・塩分のデータは、有明海等環境情報・研究ネットワークによる数値データベースを利用しました。
- レーダの観測には、西日本技術開発(株)の皆様、長崎大学の学生の皆様のご協力を頂きました。