

NICT遠距離海洋レーダのアンテナ開口長が 流速計測精度に与える影響

松岡 建志¹、佐藤 健治²、児島 正一郎²、藤井 智史²

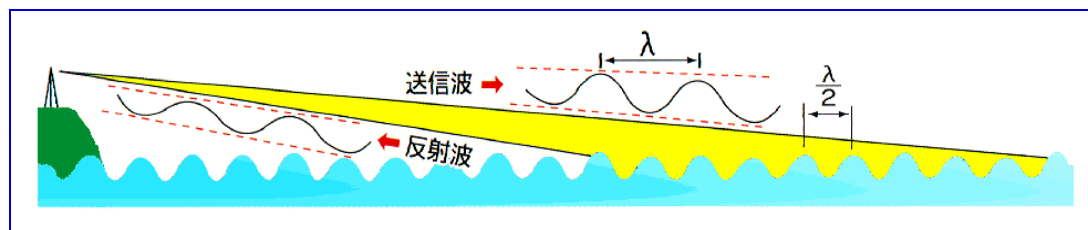
(1 情報通信研究機構)

(2 情報通信研究機構 沖縄亜熱帯計測技術センター)

情報通信研究機構 (NICT; 2004年4月から通信総合研究所(CRL)より名称変更)

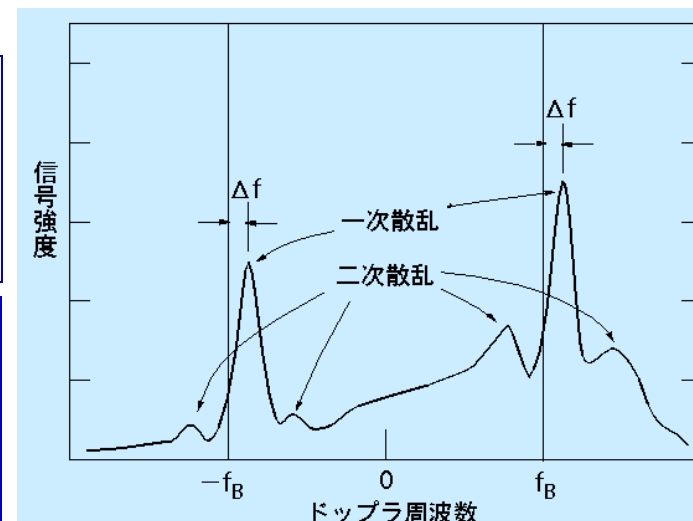
1. はじめに

1. 1 短波(HF)海洋レーダ



陸上から照射した短波帯の電波の海面からの後方散乱波を周波数解析することによって**流速**、**波浪**、**海上風向**等を観測するレーダ

流速ベクトル算出→2台1組で運用



一次散乱→海流速、海上風向
二次散乱→波浪

Bragg散乱に寄与する波浪の 波長: $\lambda_w = \frac{\lambda}{2}$

$$\text{位相速度: } V_w = \sqrt{\frac{g\lambda_w}{2\pi}} = \sqrt{\frac{g\lambda}{4\pi}}$$

$$\text{ドップラ周波数: } f_B = \pm \frac{2V_w}{\lambda} = \pm \sqrt{\frac{g}{\pi\lambda}}$$

レーダ視線方向に表層流が存在する場合、さらに Δf のドップラシフト

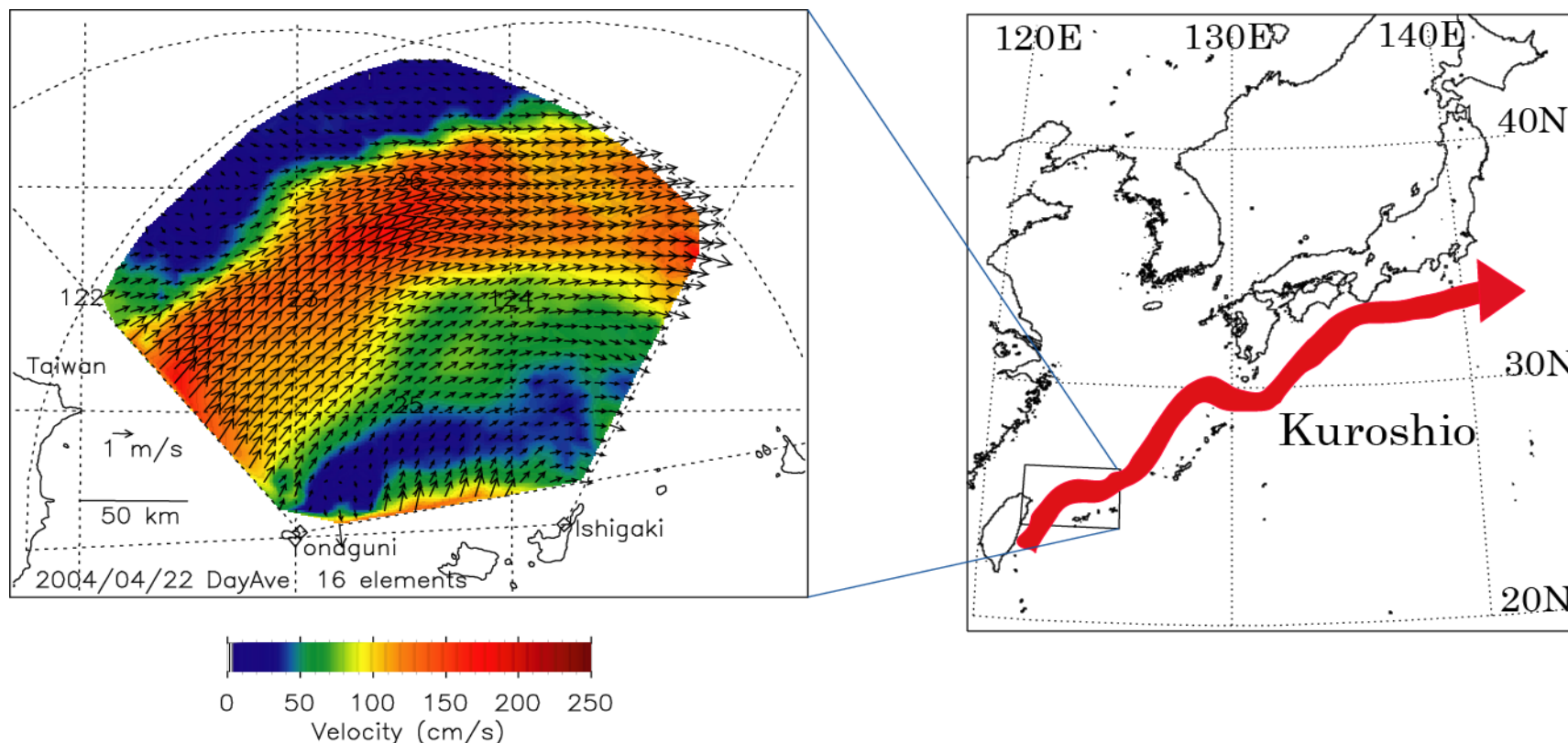
$$\text{流速: } V_c = \frac{2\Delta f}{\lambda}$$

1. はじめに

1. 2 遠距離海洋レーダ(LROR)

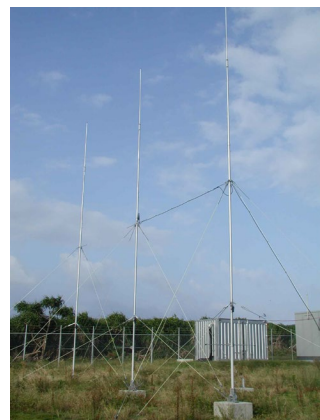
情報通信研究機構所有の遠距離海洋レーダは、沿岸から200km沖までの海洋観測（表層流速・波浪）を目的として開発された短波海洋レーダである。

レーダシステムは石垣島と与那国島の海岸線に設置した2基のレーダで構成され、それぞれのレーダで計測するドップラスペクトルから得られる視線方向流速をベクトル合成することにより、東シナ海南部黒潮上流域の表層流速場を観測する。



1. はじめに

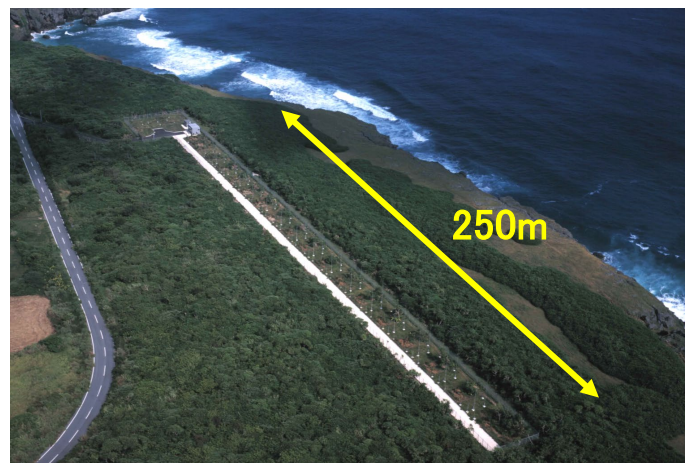
1.3 背景と目的



送信アンテナ



受信アンテナ



与那国海洋観測施設

レーダ形式: FMICW
 周波数: 9.2MHz
 距離分解能: 7km
 ビーム幅: 9° (正面)
 観測範囲: ±60°
 流速分解能: 2.5cm/s
 アンテナ:
 ・16素子アレイ(受信)
 ・DBF

- ・遠距離探査性能向上 → アンテナ大: 従来(24.5MHz)より低周波数帯(9.2MHz)
- ・高方位分解能 → 海岸線に開口長200m以上: 16素子リニアアレイ受信アンテナ

● 距離方向(range)分解能: $\Delta Rg = \frac{c}{2Bw}$

Bw : 周波数帯域幅 = 22kHz
 → $\Delta Rg = 6.813 \text{ km}$

● 方位方向(Azimuth)分解能: $\Delta Az = \beta \frac{\lambda}{L}$

高分解能化 → 開口長Lを大きく
 $\Delta Az = 32.5\text{m}/(14\text{m} \times 15) = 8.8 \text{ 度}$

$\beta: \sim 1$

1. はじめに

1. 3 背景と目的

海岸線に約200m以上



海岸線の確保は容易ではなく、汎用性に欠ける
(設置後も付近住民からの苦情、、)

- ・一方、外洋域であれば流速の空間分布は沿岸より広い領域で比較的一様、潮流成分も小さいと考えられる

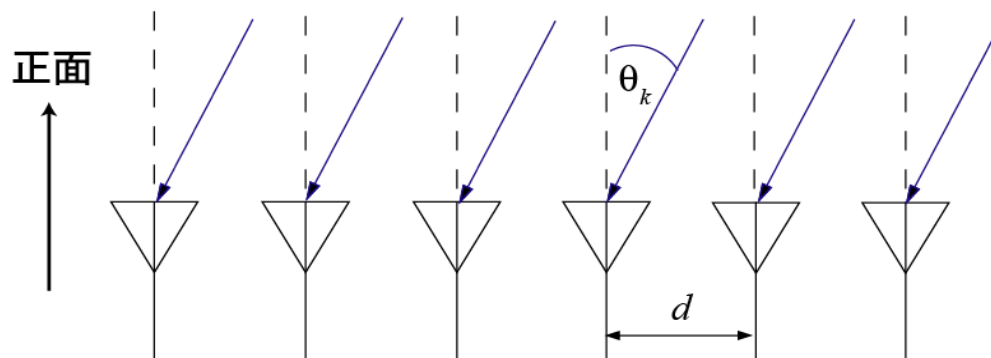


本研究では、アンテナ開口長が黒潮表層流速計測精度に与える影響について、遠距離海洋レーダで取得した流速データを用いて解析し、通常時とアンテナ開口長減少時の流速観測値の相違について調べる

2. 観測概要

2.1 デジタルビームフォーミング (DBF)

遠距離海洋レーダはデジタルビームフォーミング(DBF)方式のレーダで、16素子の受信アンテナそれぞれに受信機とA/Dコンバータがあり、信号取得後に任意の方向・開口長(ビーム幅)でビーム形成が可能である。



$$S_k = \sum_{n=1}^N S_n \exp\left(-\frac{j2\pi n}{\lambda} d \sin \theta_k\right)$$

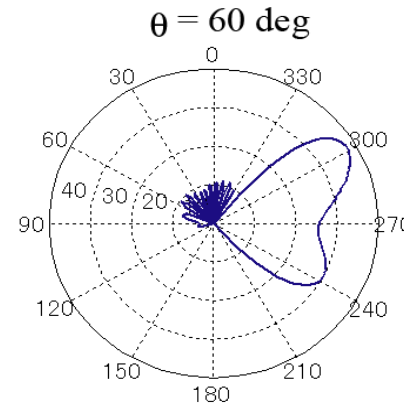
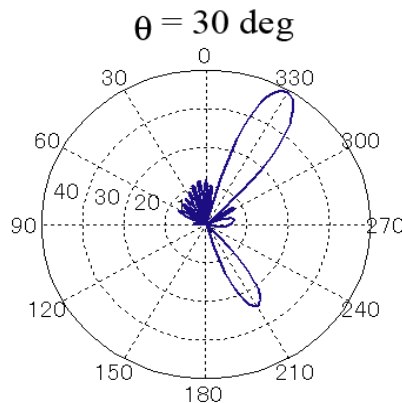
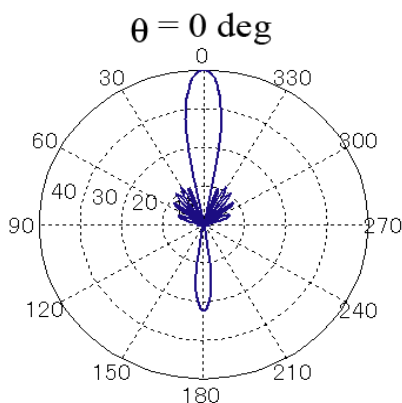
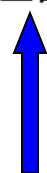
λ : 電波の波長
 d : アンテナ間隔
 アンテナ: $n=1, \dots, N$

2. 観測概要

2.2 受信アンテナパターン(計算値)

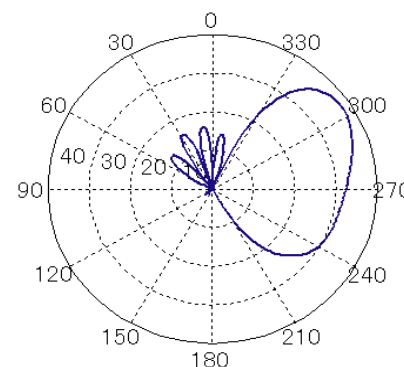
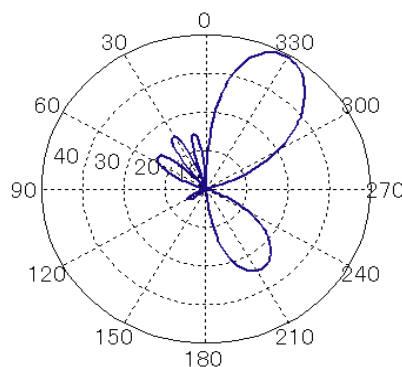
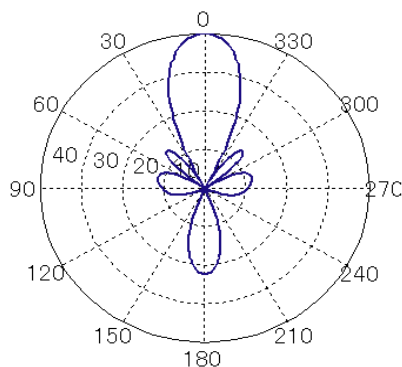
N = 16

正面



ビーム幅 (3dB down) :
 00deg 方向 : 9 deg
 30deg 方向 : 12 deg
 60deg 方向 : 18 deg

N = 8



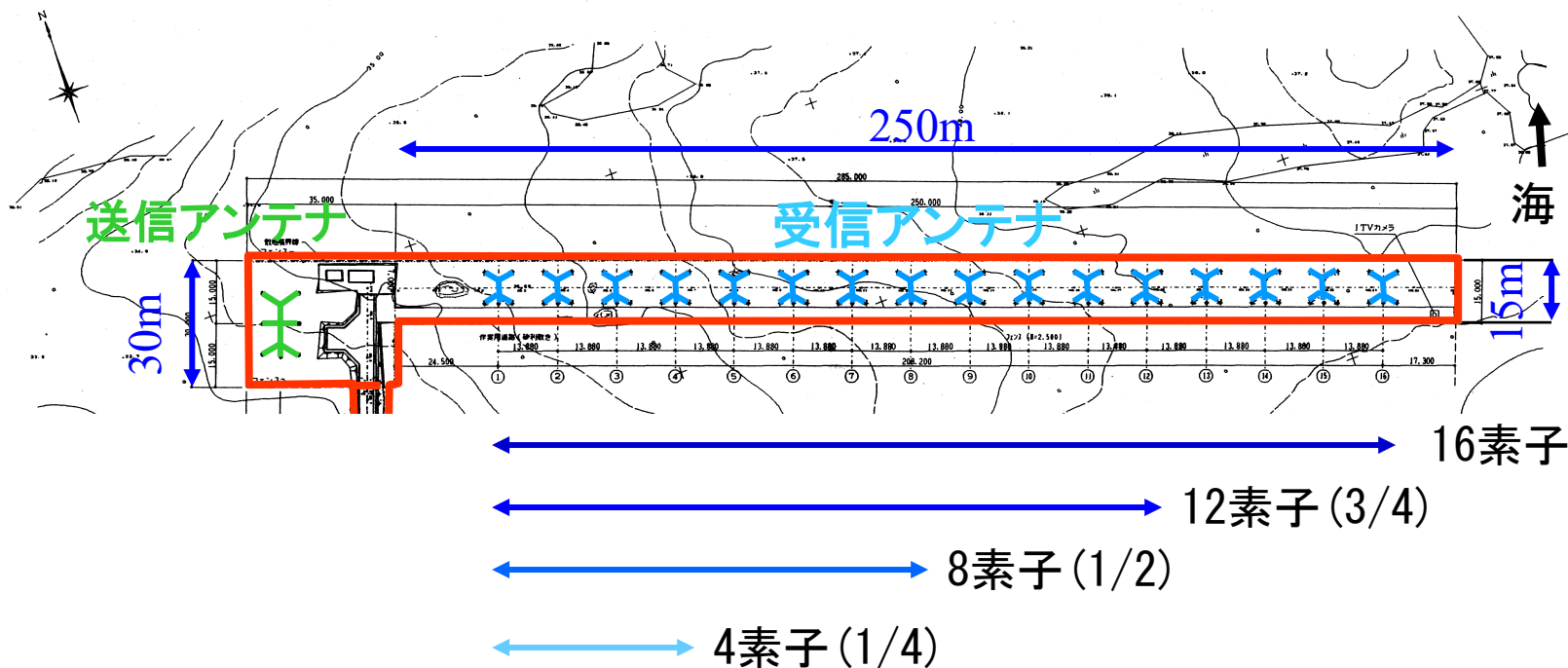
ビーム幅 (3dB down) :
 00deg 方向 : 18 deg
 30deg 方向 : 23 deg
 60deg 方向 : 34 deg

- ・距離方向(Range)分解能: 7 km (レーダの周波数帯域幅22 kHzで決まる)
- ・方位方向(Azimuth)分解能: 距離x ビーム幅 (ex. 距離200km,ビーム幅18degで63km)

2. 観測概要

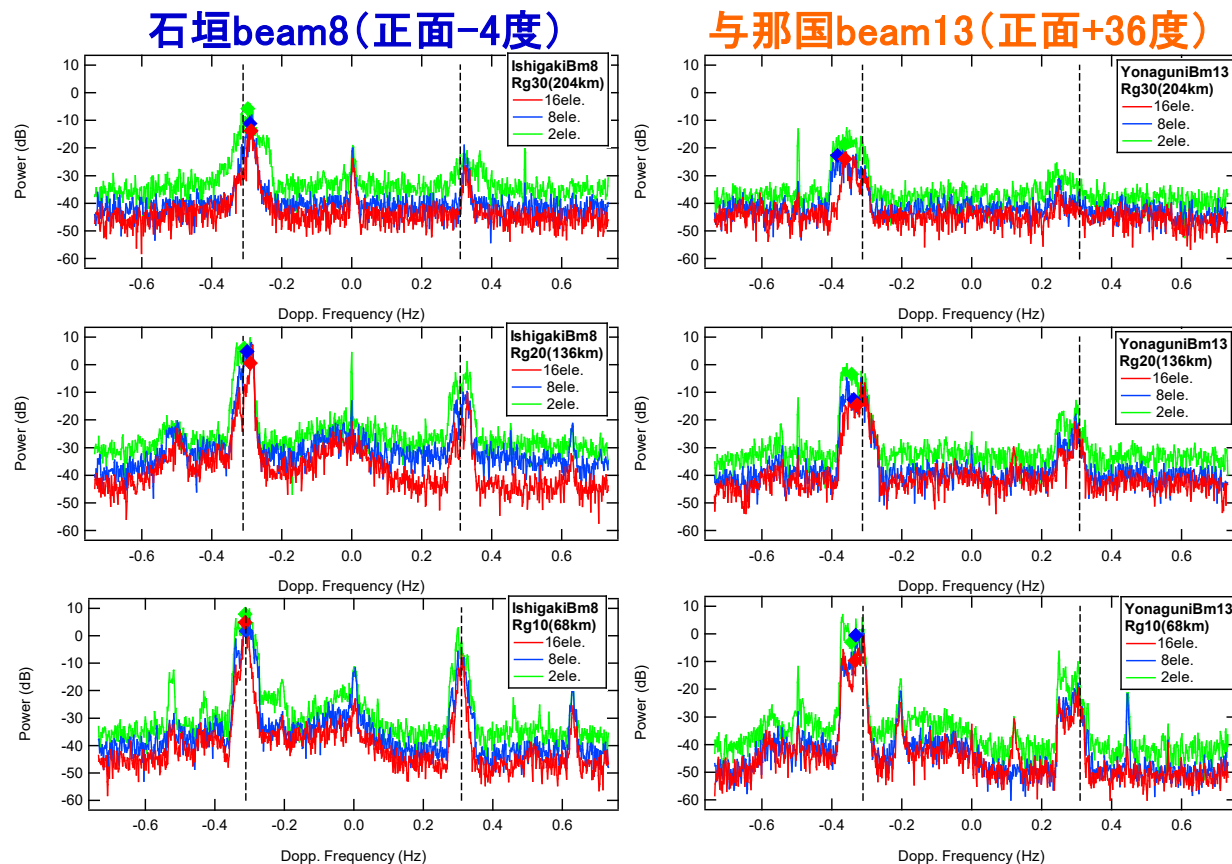
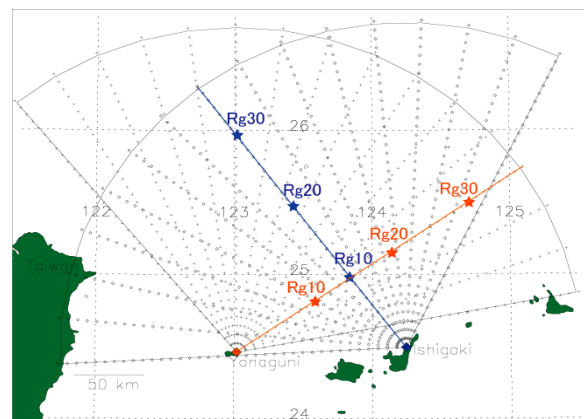
2.3 解析データ

- ・A/Dデータ: 2004年4月20 ~ 30日(11日間)、1時間間隔、最大観測距離250km
(1日のデータ量: $65.5\text{MB} \times 24(\text{時間}) \times 2(\text{局}) = 3.14\text{GB}$)
- ・素子数を減じてDBFを行い、それぞれのスペクトルデータから視線方向流速を求め、通常観測時(16素子)の流速と比較する



3. 観測結果

3.1 ドップラースペクトルの一次散乱ピーク(Bragg peak)の変化

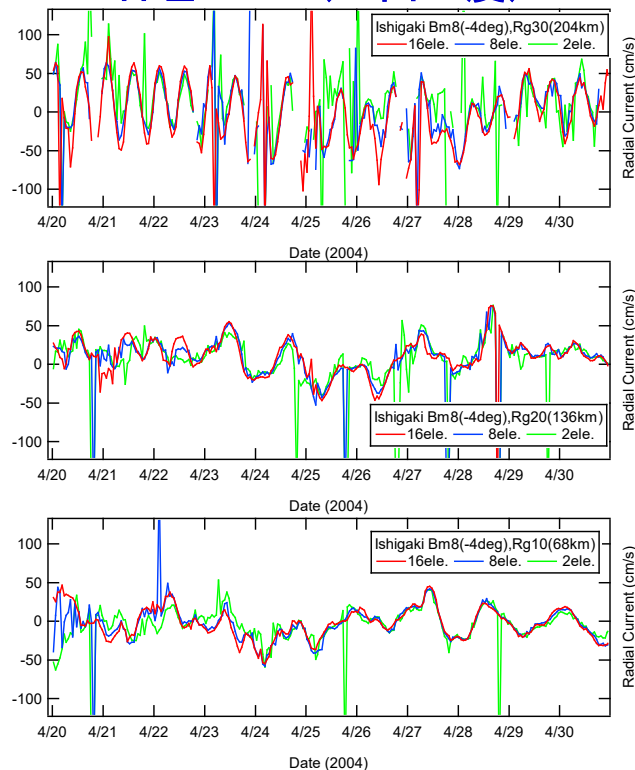


- アンテナ開口長減(素子数減) →
 - ・ 一次散乱ピークの幅増大
 - ・ S/N低下

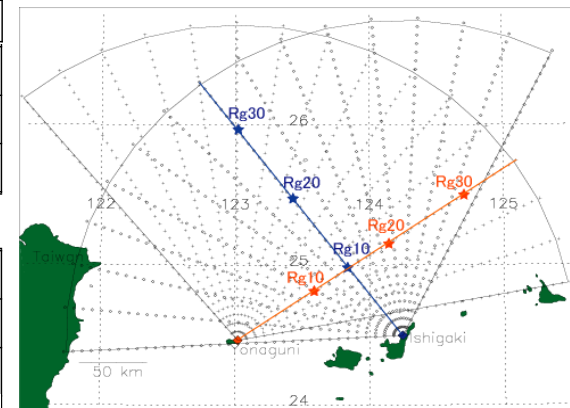
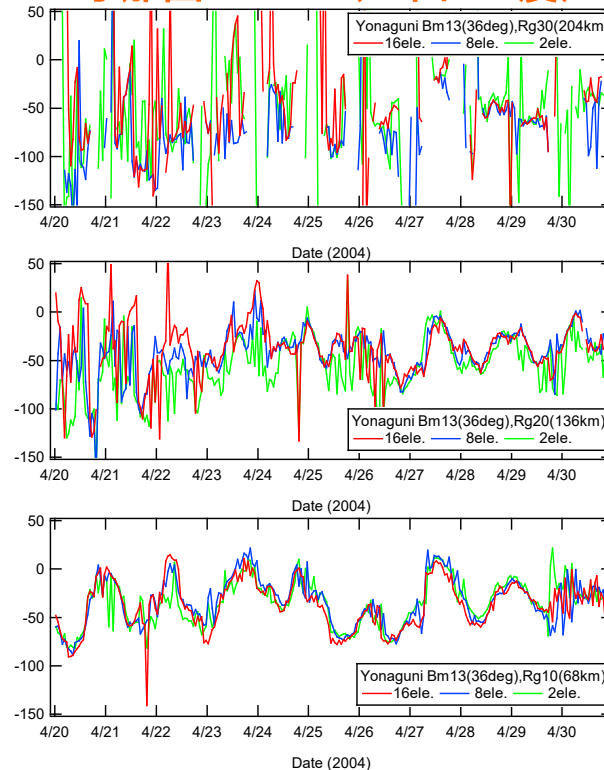
3. 観測結果

3. 2 視線方向流速の時系列

石垣beam8(正面-4度)



与那国beam13(正面+36度)



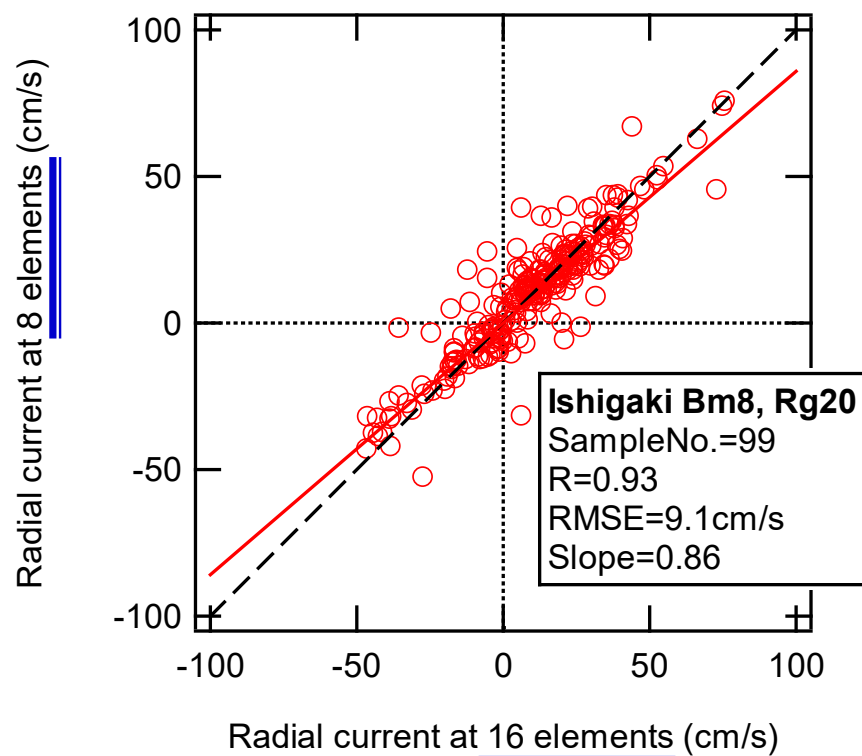
- アンテナ開口長減(素子数減) → 通常観測時(16素子)の流速値との差 大

3. 観測結果

3.3 観測点毎の視線方向流速の通常観測(16素子)との比較

使用データ: 日中8:00-16:00の1時間毎

(電離層反射起源のノイズの少ないデータ)



サンプル数: 各観測点最大99(欠測値を除く)

- 相関係数
- 平均二乗誤差(RMSE)
- 回帰直線の傾き

3. 観測結果

3.3 観測点毎の視線方向流速の通常観測(16素子)との比較: 空間分布

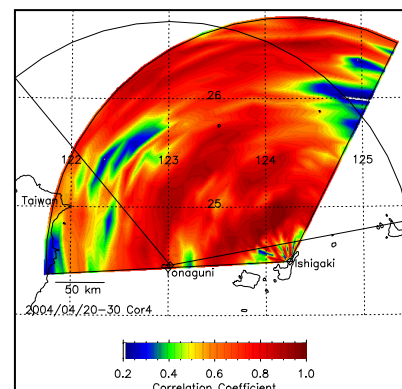
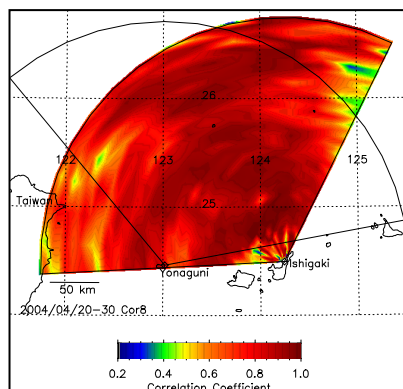
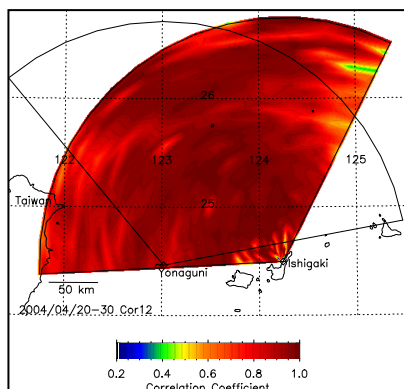
●相関係数

12素子

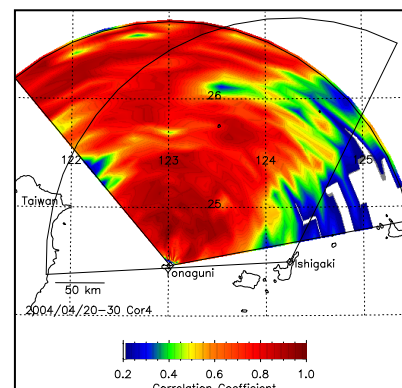
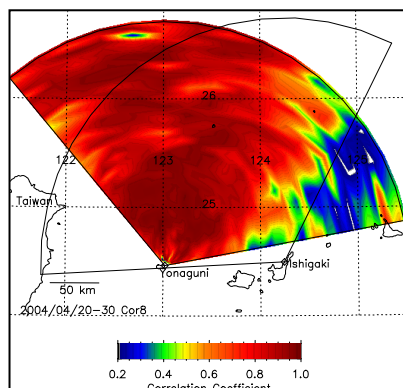
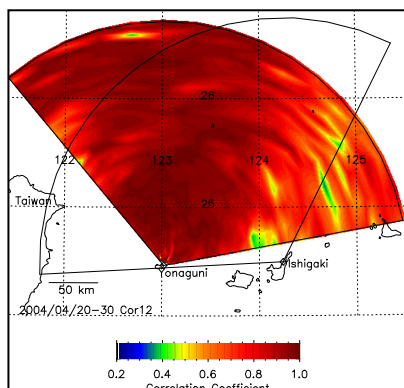
8素子

4素子

石垣



与那国



- 相関低下:
- 素子数減、正面からの角度大
 - 方位分解能内に黒潮流軸とその周辺をともに含む範囲
 - 与那国、魚釣島の黒潮下流側

3. 観測結果

3.3 観測点毎の視線方向流速の通常観測(16素子)との比較: 空間分布

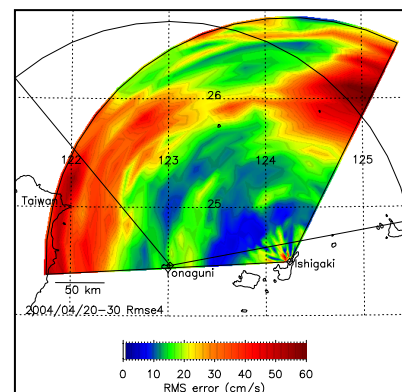
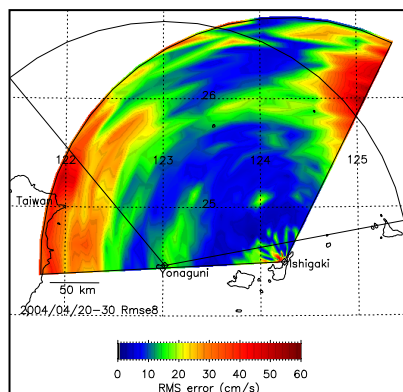
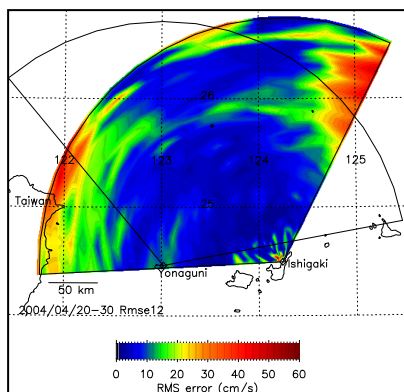
●RMSE

12素子

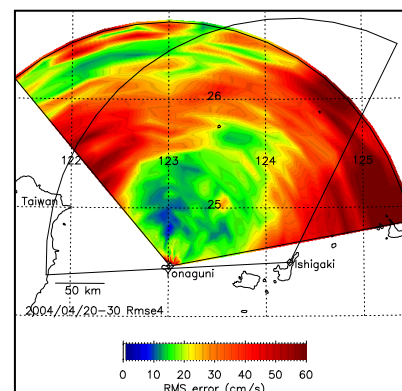
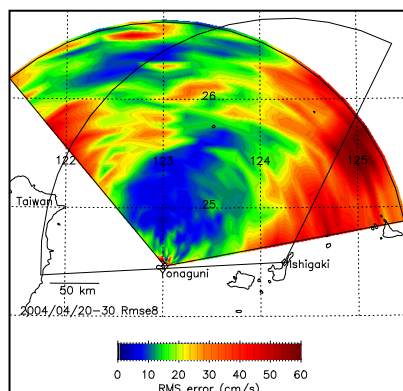
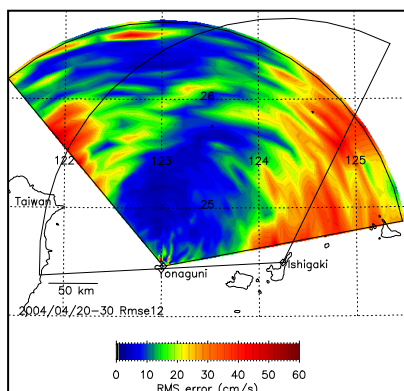
8素子

4素子

石垣



与那国



- RMSE大:
- 素子数減、正面からの角度大
 - 方位分解能内に黒潮流軸とその周辺をともに含む範囲
 - 与那国、魚釣島の黒潮下流側

3. 観測結果

3.3 観測点毎の視線方向流速の通常観測(16素子)との比較: 空間分布

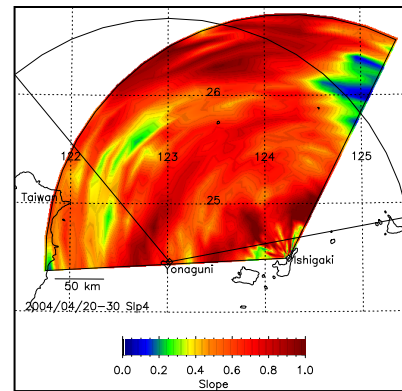
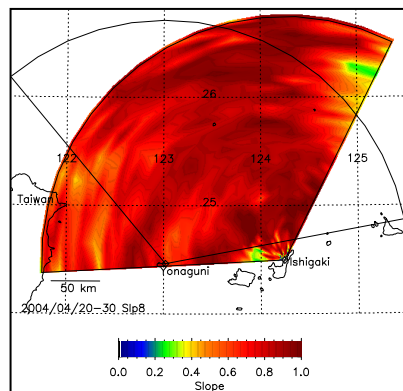
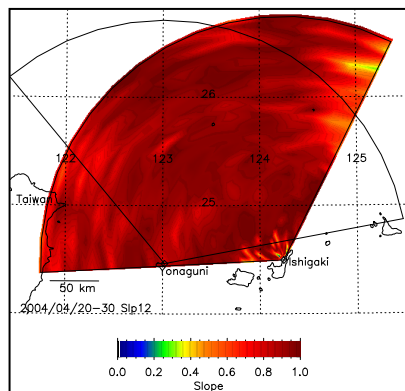
● Slope

12素子

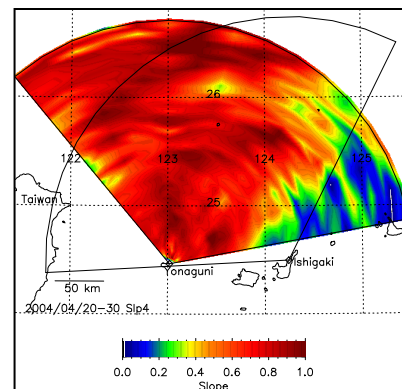
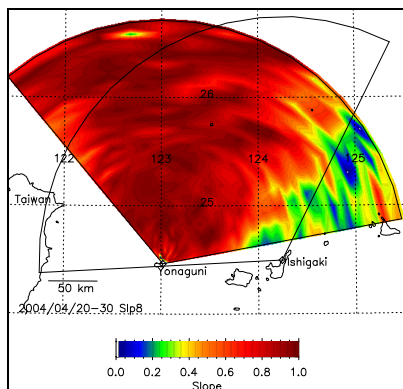
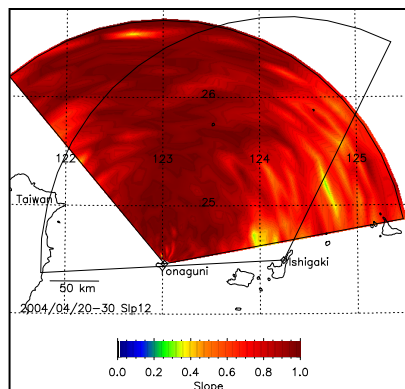
8素子

4素子

石垣



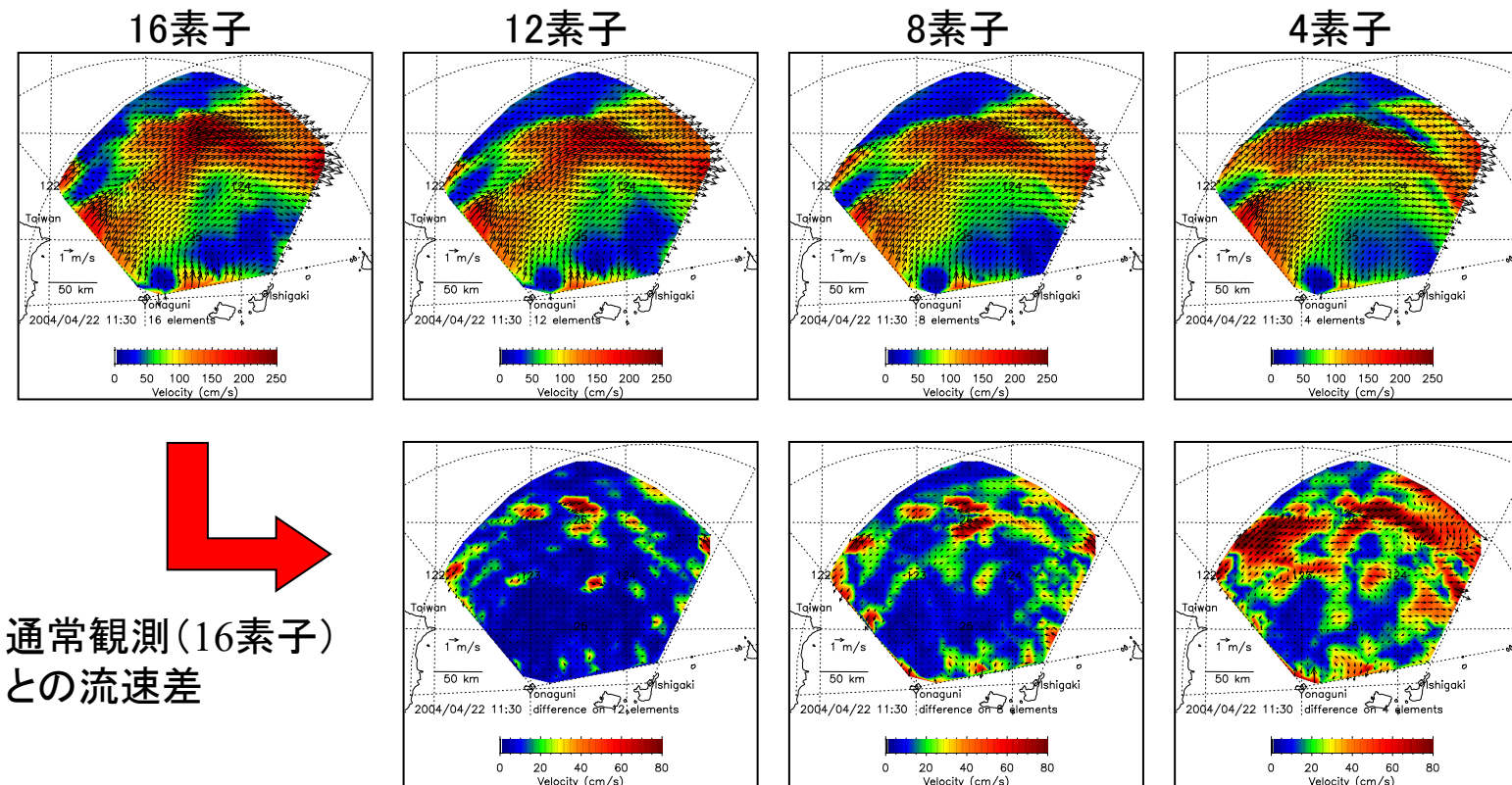
与那国



3. 観測結果

3. 4 合成流速ベクトル場とその時間平均の通常観測(16素子)との比較

● 2004/04/22 11:30(1時間平均流速場)



通常観測(16素子)
との流速差

・流速差の平均値:

10.0 cm/s

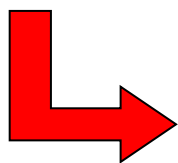
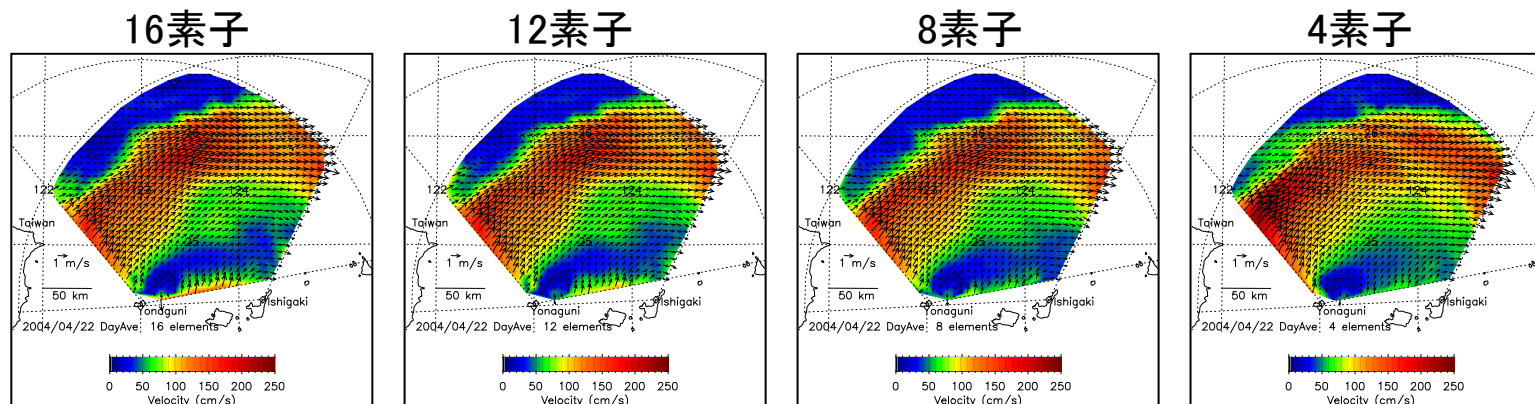
16.8 cm/s

28.7 cm/s

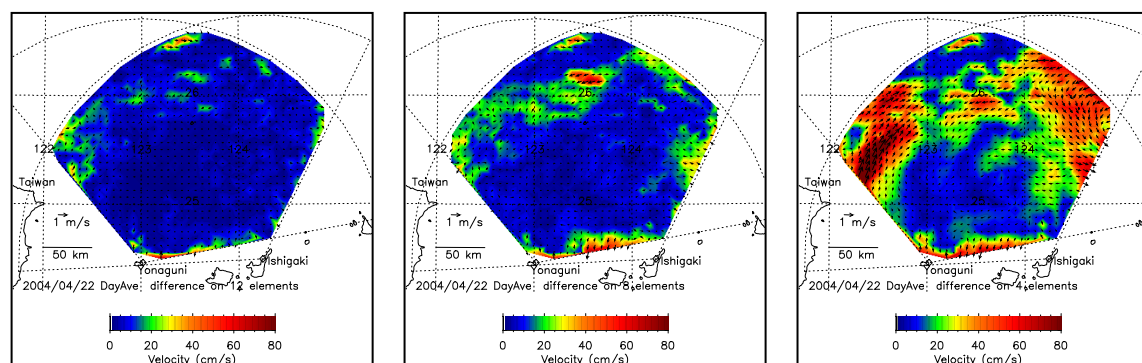
3. 観測結果

3. 4 合成流速ベクトル場とその時間平均の通常観測(16素子)との比較

● 2004/04/22 1日平均流速場



通常観測(16素子)
との流速差



・流速差の平均値:

6.1 cm/s

10.7 cm/s

24.3 cm/s

4. まとめ

アンテナ開口長が黒潮表層流速計測精度に与える影響について、遠距離海洋レーダで取得したA/Dデータを用いてDBF処理し、通常時とアンテナ開口長減少時の流速観測値の相違について調べた

- 開口長減(アンテナ素子数減)により、正面からの角度が大きいほど、アンテナ素子数が少ないほど、また、方位分解能内に黒潮流軸とその周辺をともに含む範囲および与那国島、魚釣島の黒潮下流側で
→ 相関低下、RMSE大
- 1時間観測流速場よりも1日平均場で12, 8素子では通常観測との流速の差は小さくなった
→ 最小時間間隔が1日程度の観測であれば、素子数12(通常の3/4)程度の開口長減少が可能