

垂直・水平偏波を用いた偏波海洋レーダによる 実験結果報告

小泉 達寛¹ 山田 寛喜¹ 藤井 智史² 長名 保範² 宇野 亨³

新潟大学大学院 自然科学研究科¹

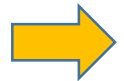
琉球大学工学部²

東京農工大学工学部³

研究目的

研究目的

海洋レーダの高機能化の実現



波浪情報だけでなく、船舶・飛行機など、他の情報の観測

問題点

通常運用では角度分解能や距離分解能が悪く、
物体の明瞭なイメージングが困難

分解能の改善にはアンテナ素子数増加・アレー開口長の拡大が必要



用地の確保が困難・高コスト

本発表

- 海洋レーダにおける垂直偏波と水平偏波の解析結果の違い
- 偏波解析を用いたデータ解析結果

観測環境

垂直・水平両偏波観測可能

2020年1月下旬観測開始



海洋レーダ at 新潟大学工学部棟屋上



外観

● 受信素子 ● 送信素子



航空機情報



船舶情報

- ✓ 海に近く, 波浪情報の観測が可能
- ✓ 大型船も付近を多く航行
- ✓ 航空機が頻繁に往来



素子配置

実験諸元

ULA : Uniform Linear Array

アレーキャリブレーション使用データ諸元

観測日時, 場所	8月28日14時14分 新潟大学工学部棟
アレー形状	ULA
素子数	8(垂直 : 4 水平 : 4)
中心周波数	24.515 MHz
素子間隔	6.3 m (約 0.52λ)
掃引周波数	100 kHz
掃引時間	0.5 sec.
総掃引回数	1152
距離分解能	1.3 km
観測時間	10 min.

海象情報



船舶



航空機



送信素子

送信エレメントを
45°傾ける



垂直・水平両偏波
同時観測可能

解析結果(1/10)

垂直偏波(w/o cal)

−30〜−80dbに電力の
オーダーを設定

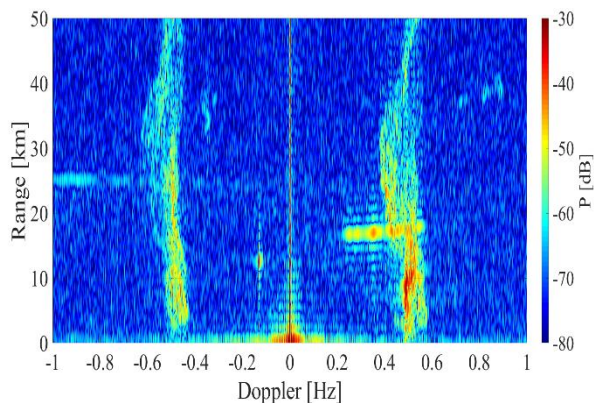
ターゲットピーク

距離：16.56km

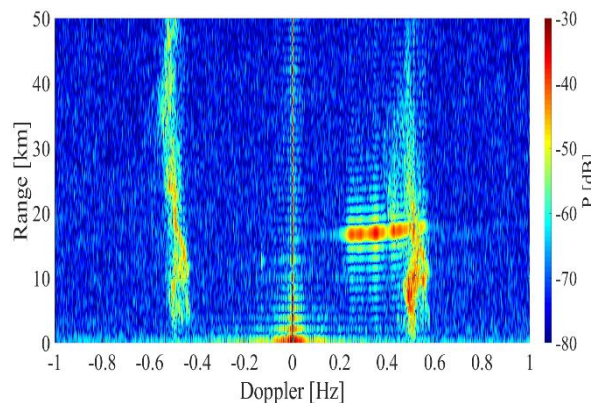
ドップラ周波数：0.3529Hz

角度：−3°

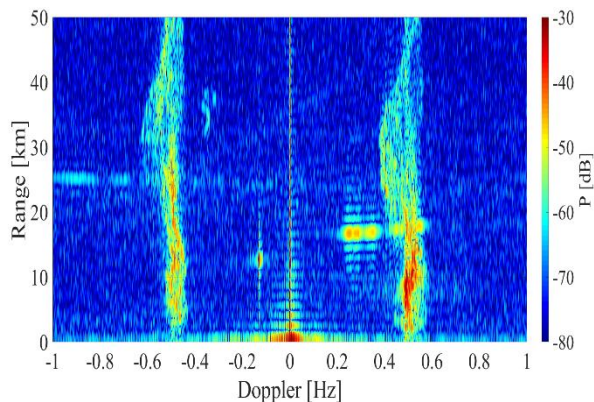
60°, 30°, 0°, −30°, −60°の
5方向にビームを向けた
キャリブレーション前の
解析結果を表示



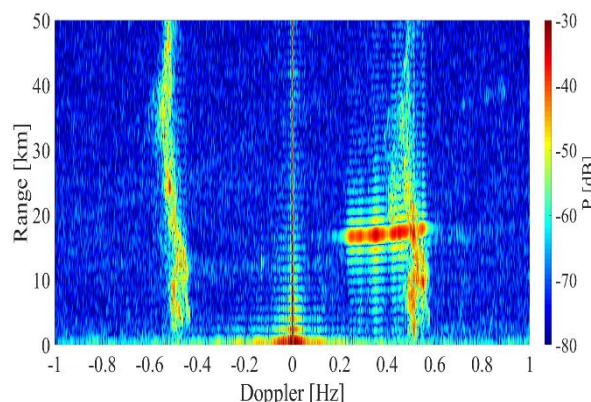
60°



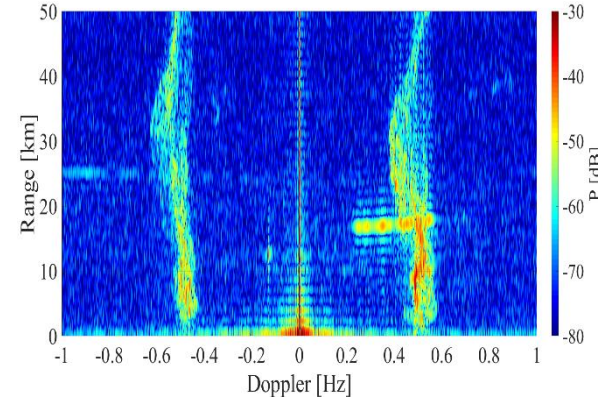
30°



0°



−30°

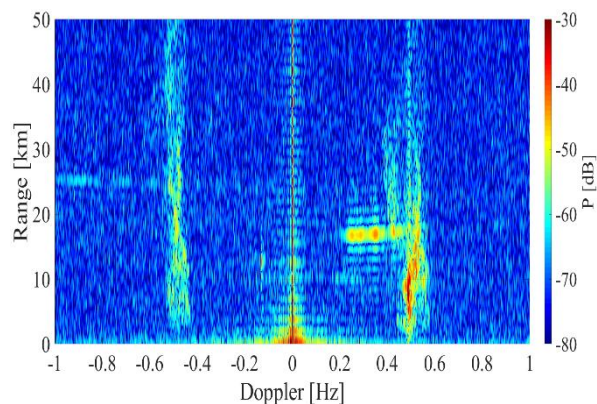


−60°

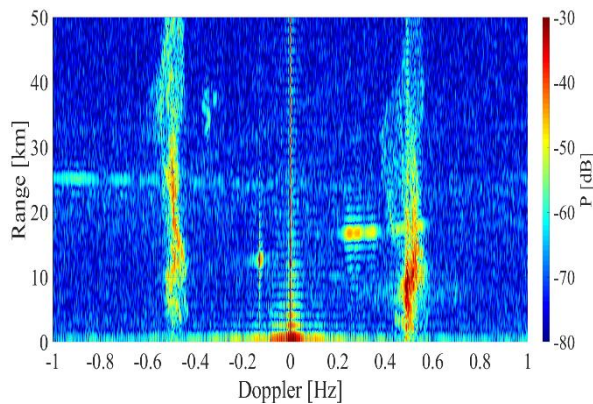
±30°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であり、
ターゲット反応の角度にずれがあることを確認

解析結果(2/10)

垂直偏波(with cal)

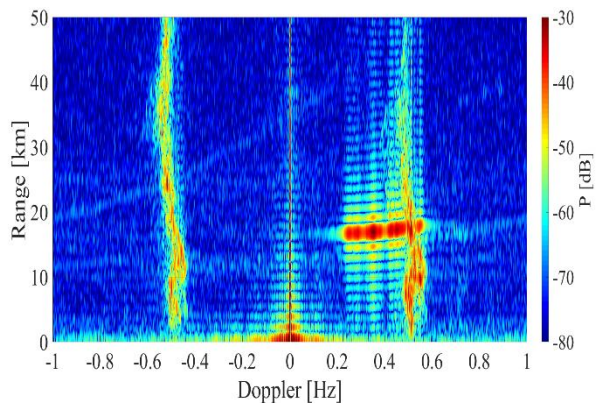


60°

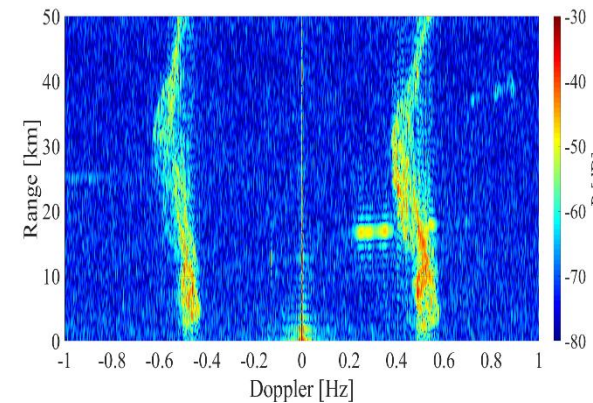


30°

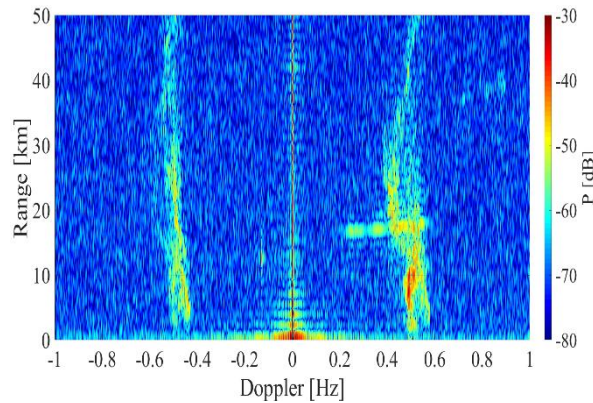
60°, 30°, 0°, -30°, -60°の
5方向にビームを向けた
キャリブレーション後の
解析結果を表示



0°



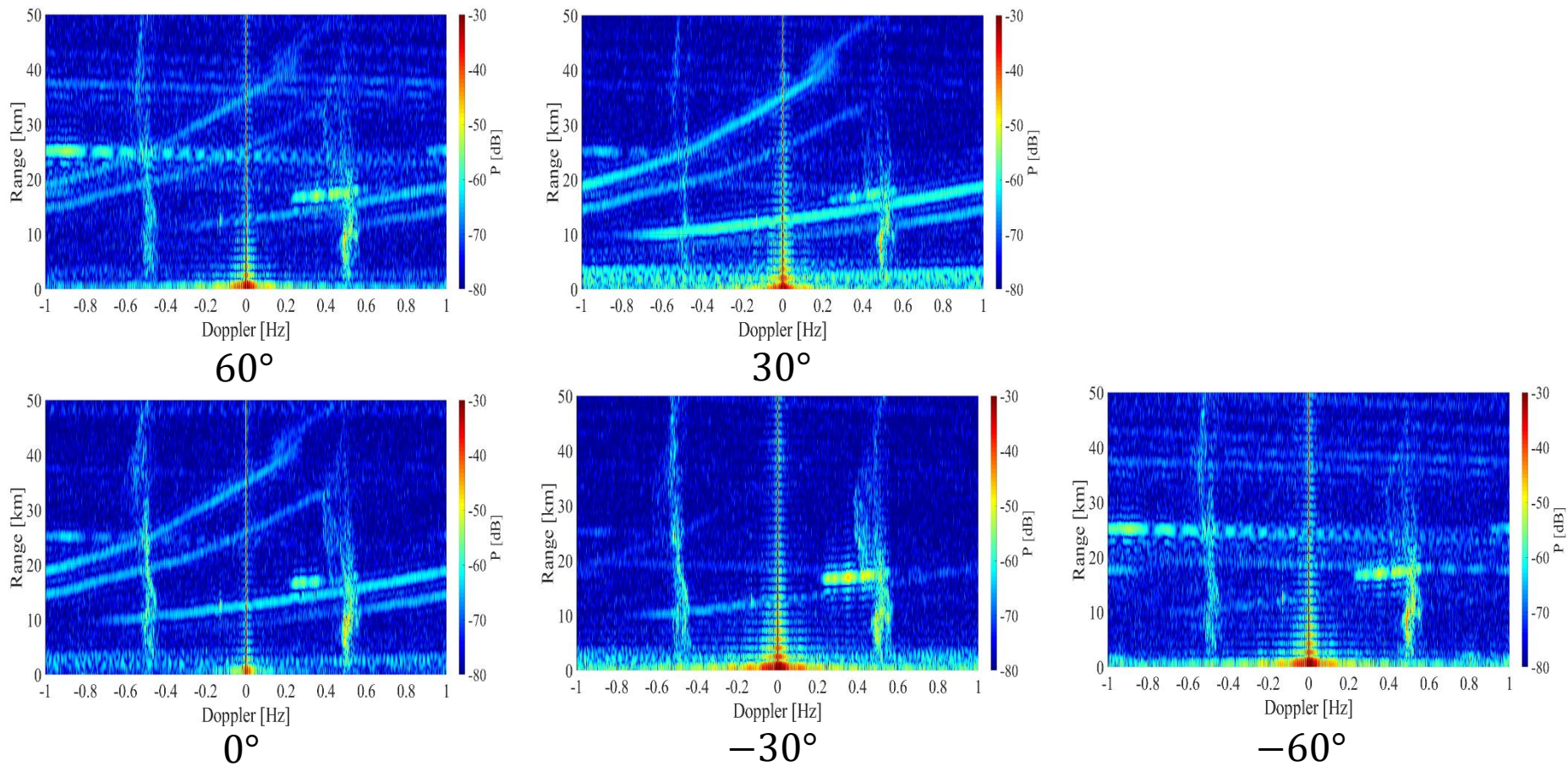
-30°



-60°

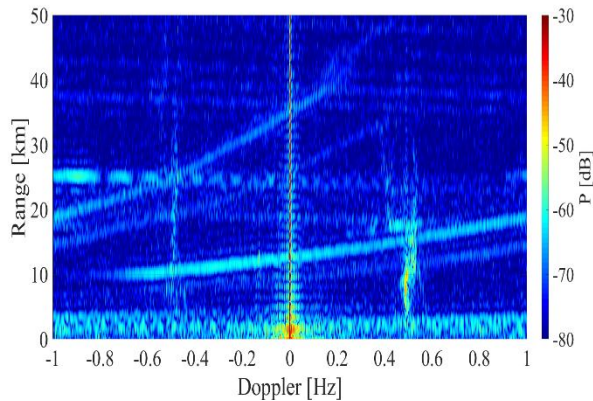
0°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であることを確認

解析結果(3/10) 水平偏波(w/o cal)

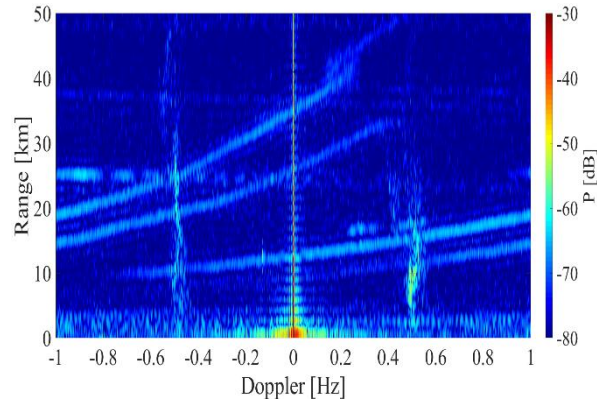


- ・ -30° 方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であり、ターゲット反応の角度にずれがあることを確認
- ・垂直偏波よりも強い航空機の反応を確認

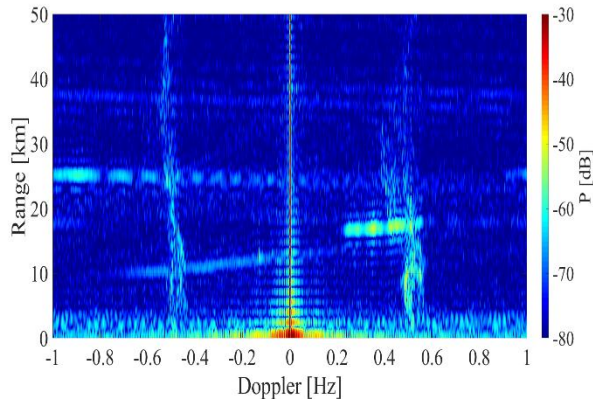
解析結果(4/10) 水平偏波(with cal)



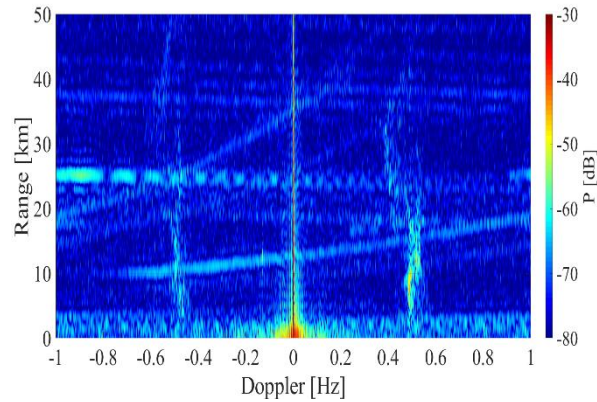
60°



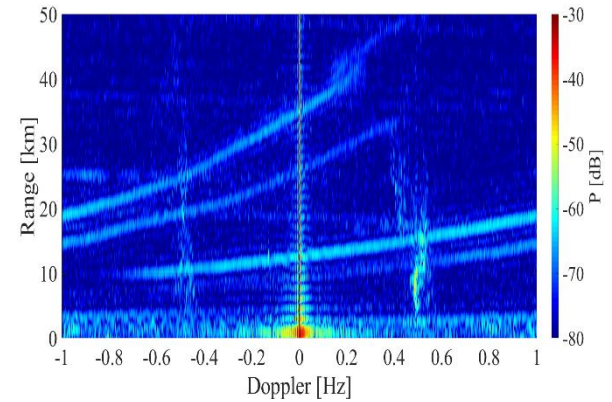
30°



0°



-30°



-60°

0°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であるとともに、航空機の反応も確認

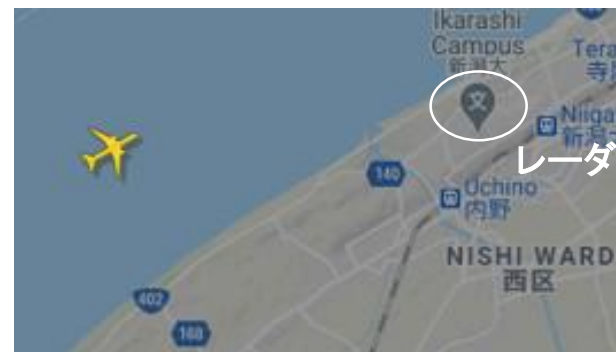
実験諸元

観測日時, 場所	8月28日16時3分 新潟大学工学部棟
アレー形状	ULA
素子数	8(垂直:4 水平:4)
中心周波数	24.515 MHz
素子間隔	6.3 m (約 0.52λ)
掃引周波数	100 kHz
掃引時間	0.5 sec.
総掃引回数	1152
距離分解能	1.3 km
観測時間	10 min.

海象情報



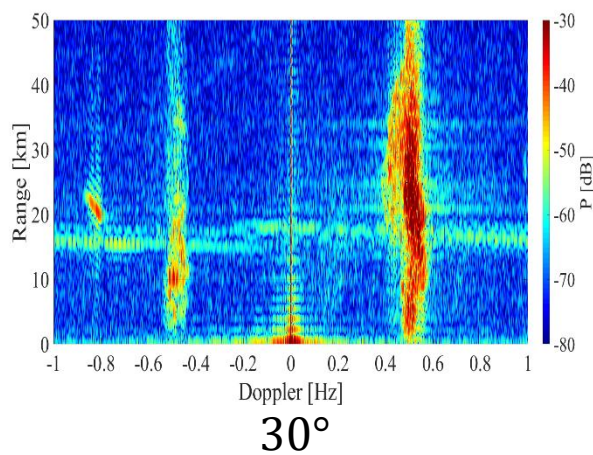
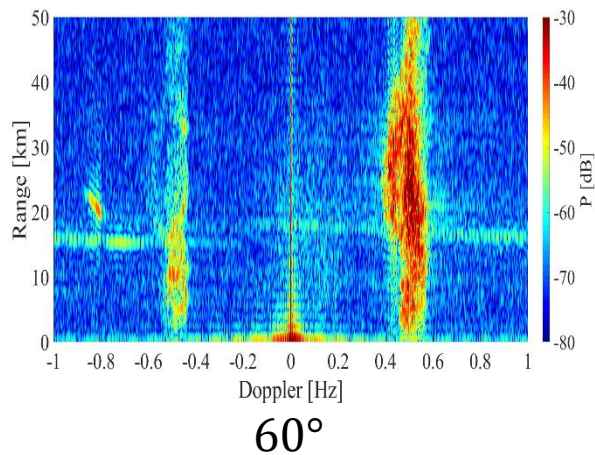
船舶



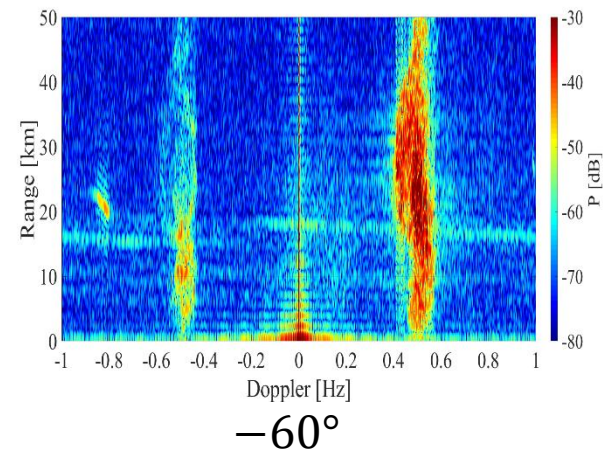
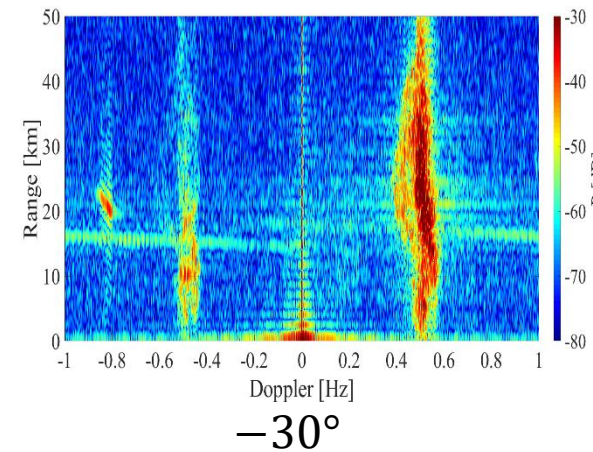
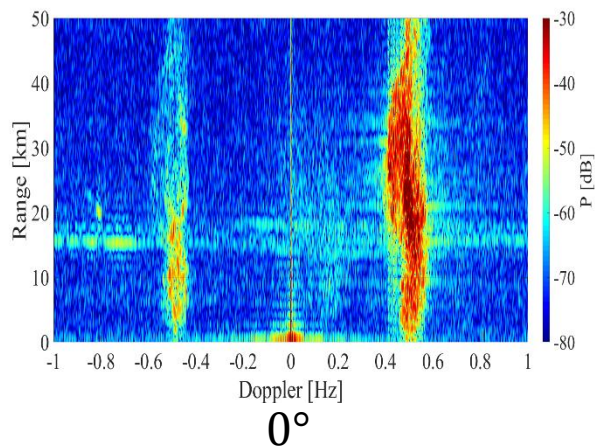
航空機

解析結果(5/10)

垂直偏波(w/o cal)



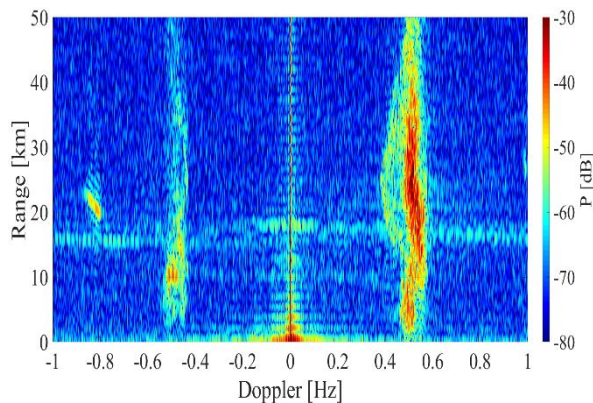
ターゲットピーク
距離 : 19.94km
ドップラ周波数 : -0.8218Hz
角度 : 1°



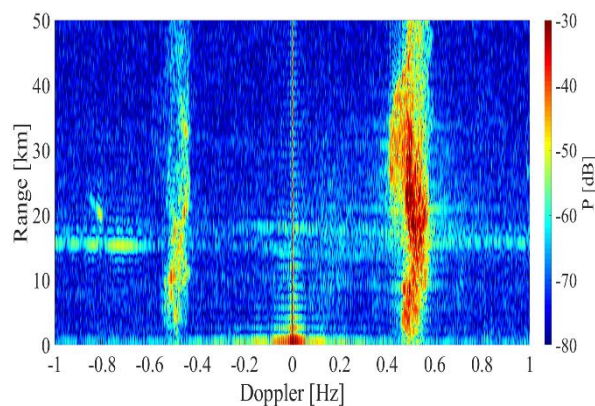
±30°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であり、ターゲット反応の角度にずれがあることを確認

解析結果(6/10)

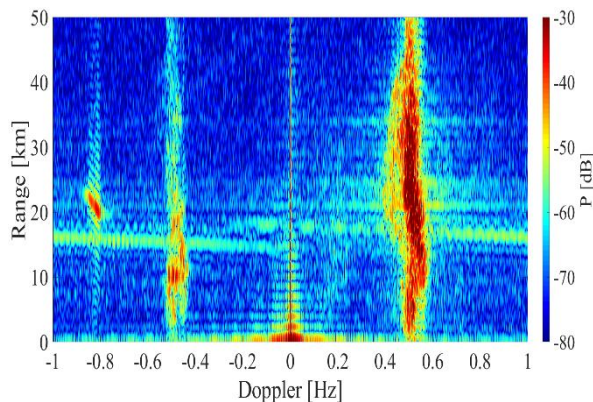
垂直偏波(with cal)



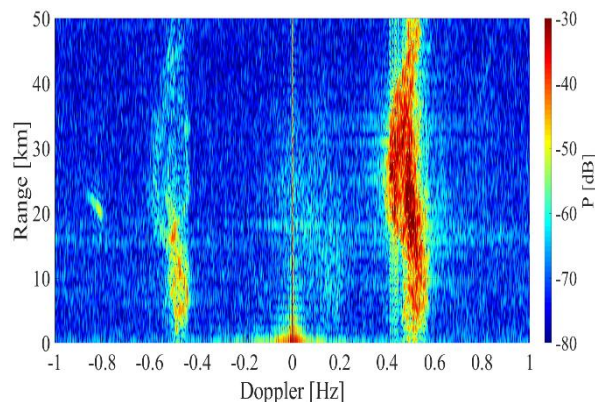
60°



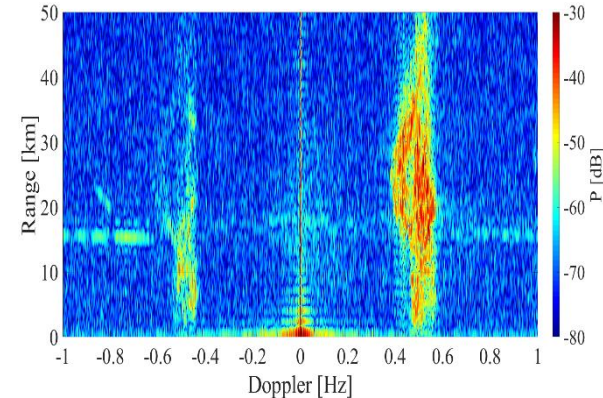
30°



0°



-30°

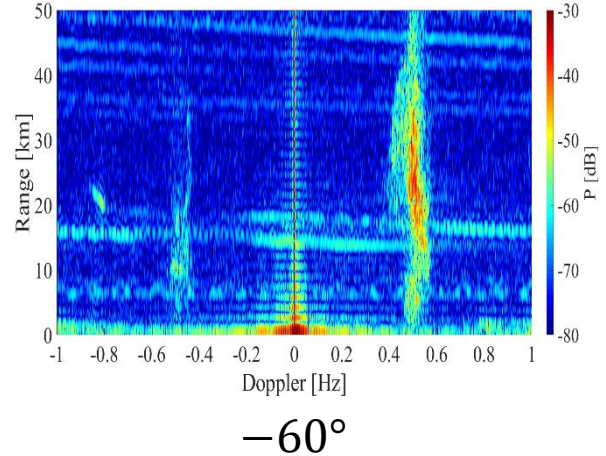
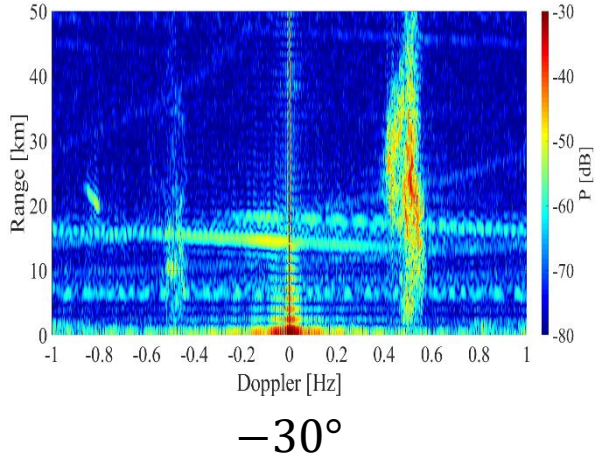
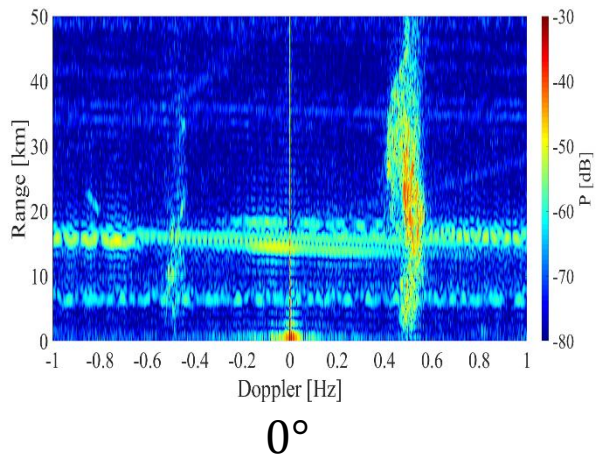
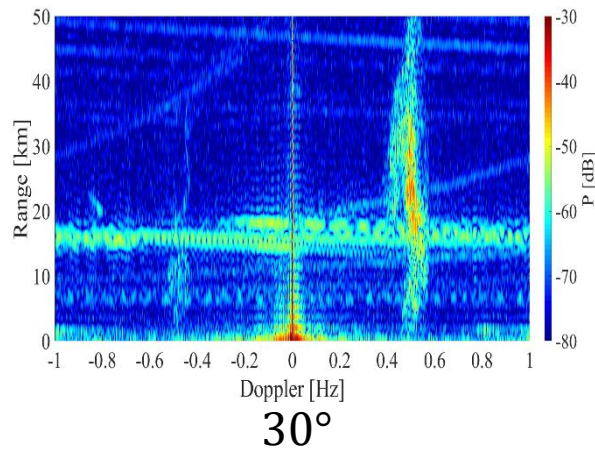
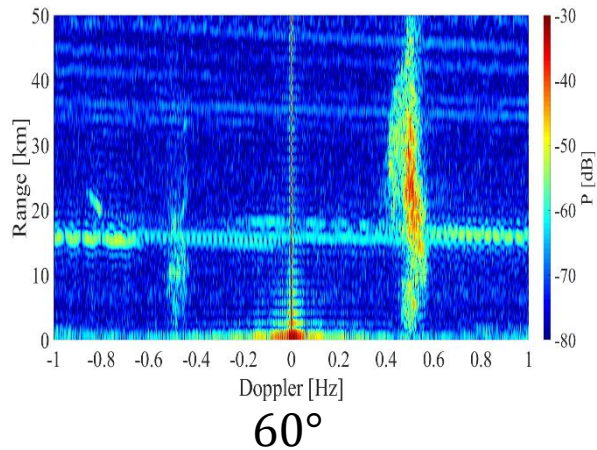


-60°

0°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であることを確認

解析結果(7/10)

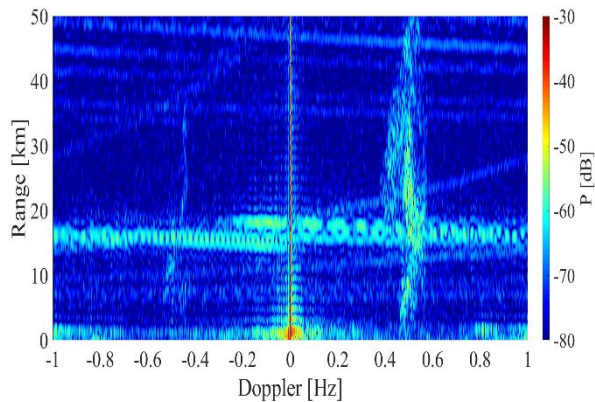
水平偏波(w/o cal)



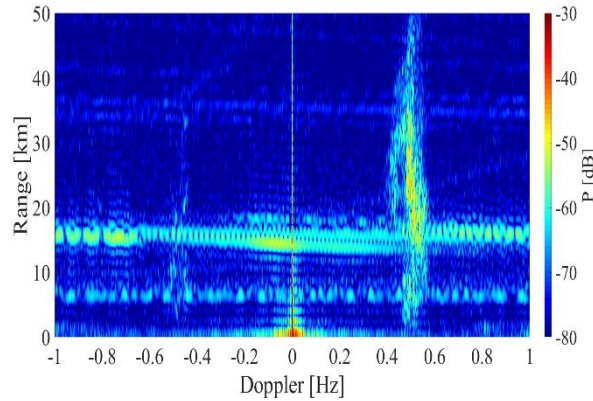
0°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が微小であり、ターゲット反応の角度にずれがあることを確認

解析結果(8/10)

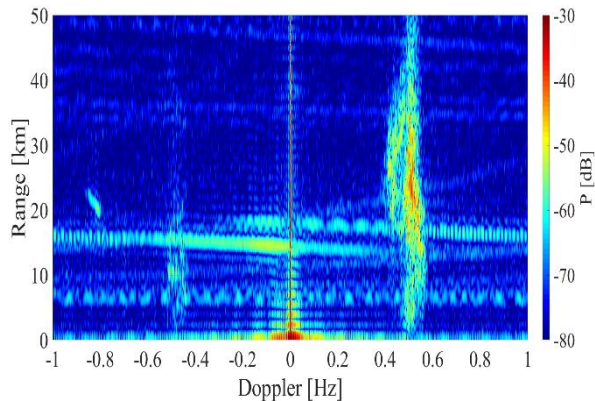
水平偏波(with cal)



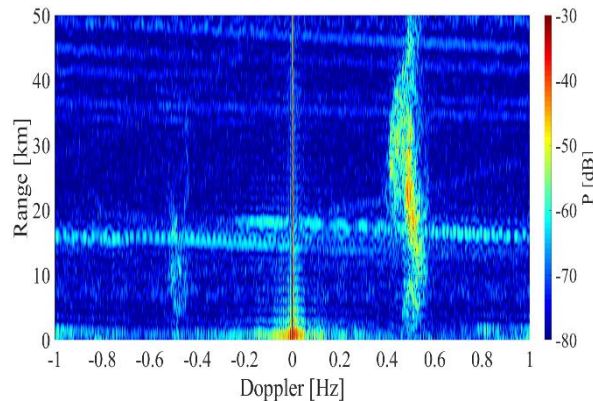
60°



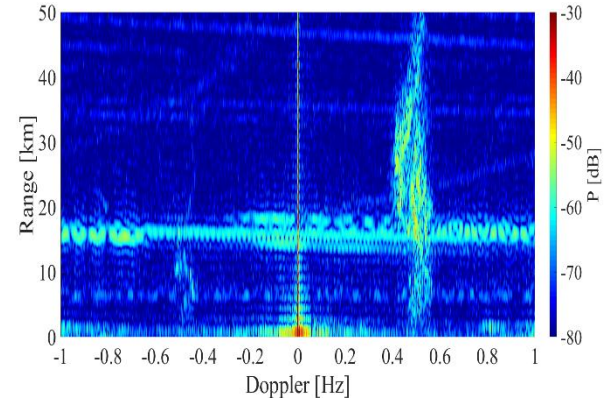
30°



0°



-30°



-60°

0°方向にビームを向けたときのターゲットの反応が明瞭であるとともに、航空機の反応も確認

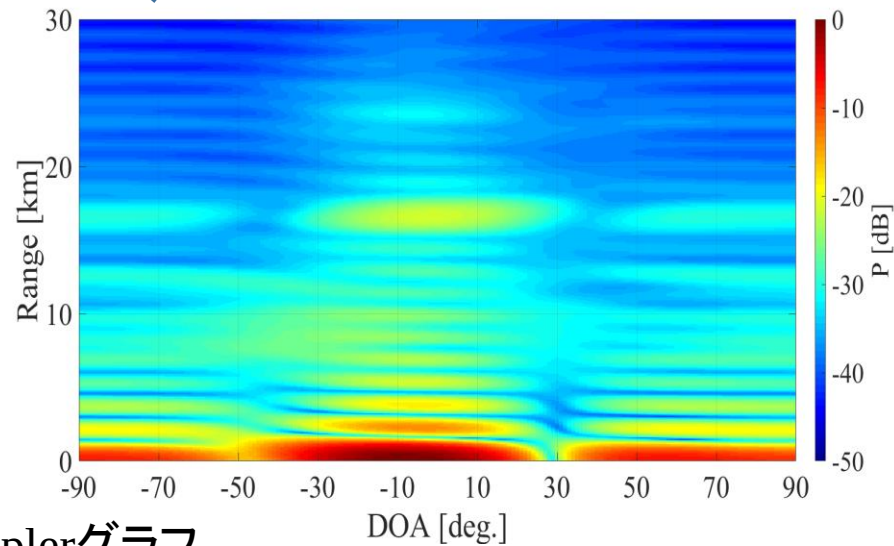
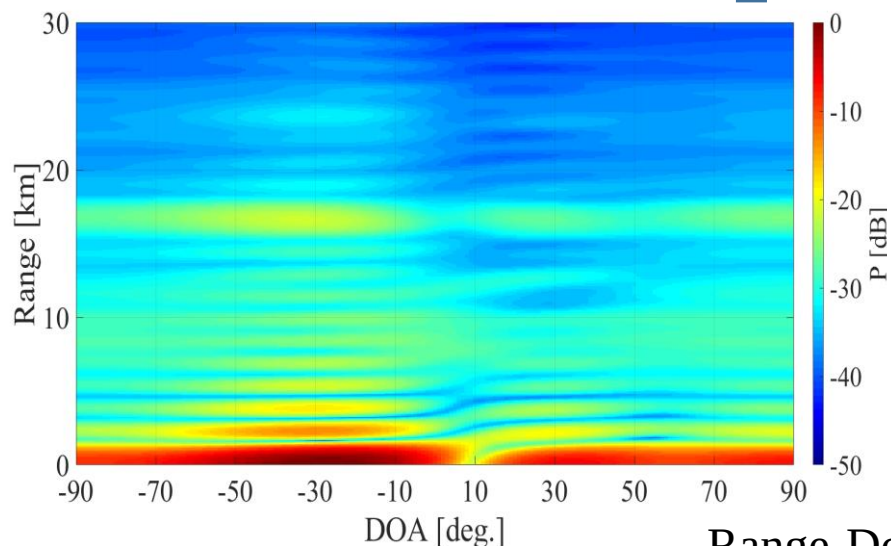
解析結果(9/10)

実験データ

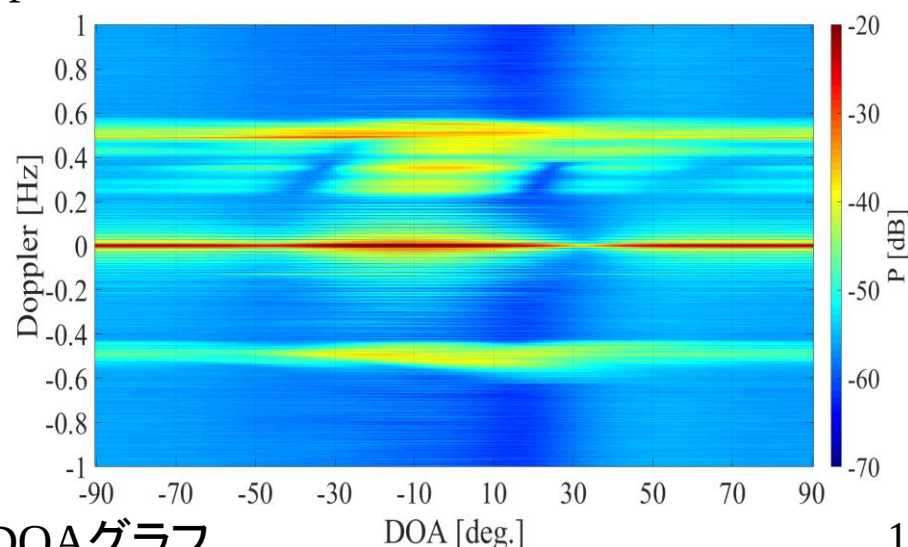
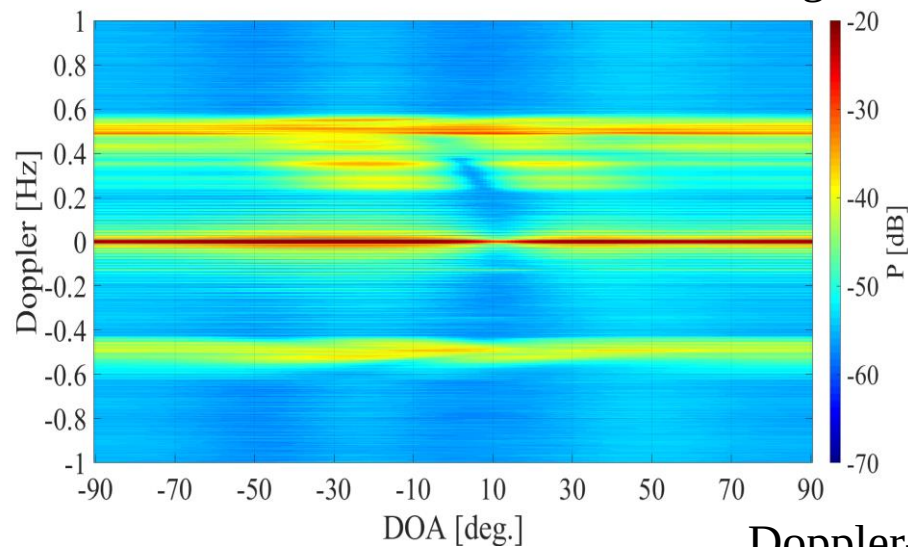
2020-0828-1414

キャリブレーション前

キャリブレーション後



Range-Dopplerグラフ

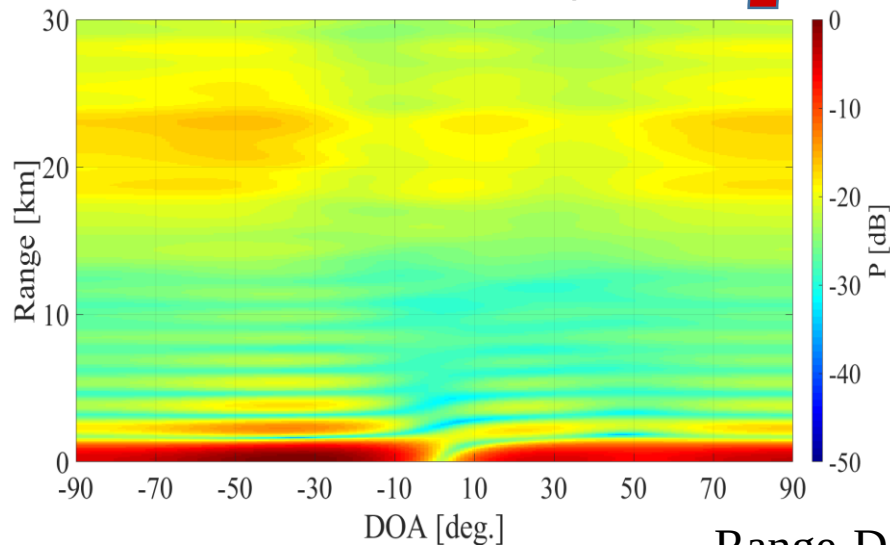


Doppler-DOAグラフ

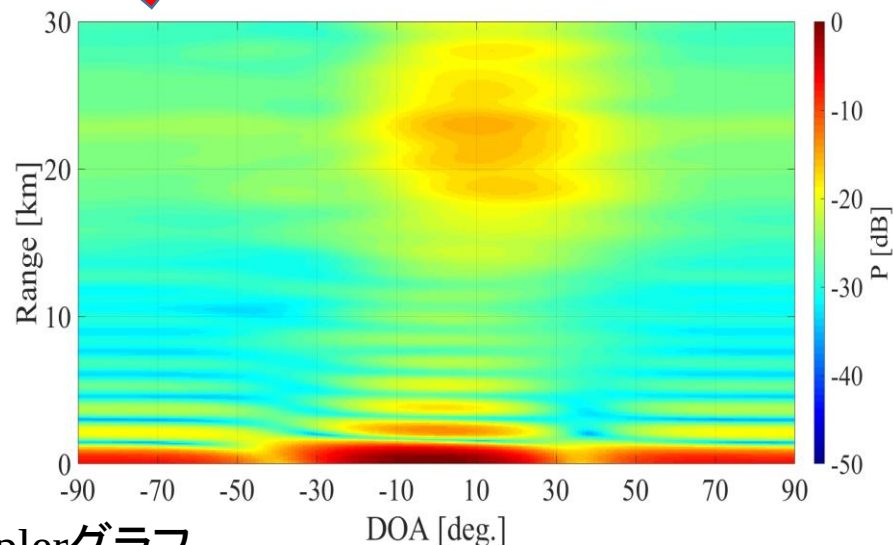
解析結果(10/10)

実験データ
2020-0828-1603

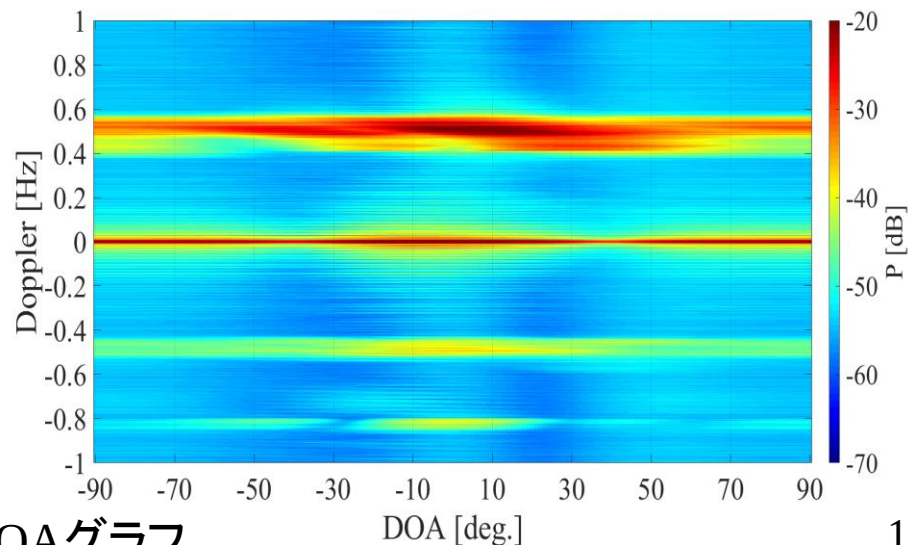
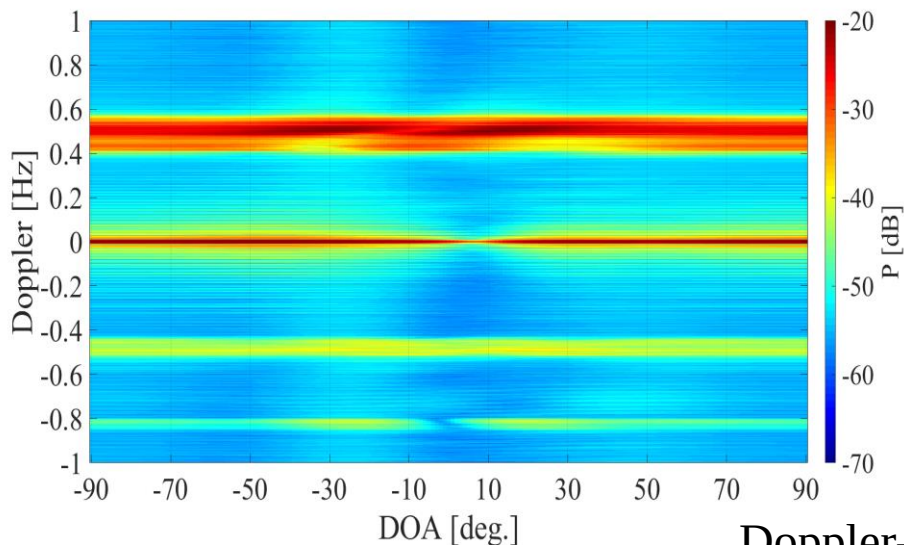
キャリブレーション前



キャリブレーション後



Range-Dopplerグラフ



Doppler-DOAグラフ

偏波解析

偏波度

パラメータを定義

偏波度の定義

$$\rho_{dop} = \frac{P_e}{P_t} \quad (P_t = P_e + P_u)$$

$$\begin{aligned}\langle g_0 \rangle &= \langle |E_H|^2 \rangle + \langle |E_V|^2 \rangle \\ \langle g_1 \rangle &= \langle |E_H|^2 \rangle - \langle |E_V|^2 \rangle \\ \langle g_2 \rangle &= 2\text{Re}\langle E_H E_V^* \rangle = 2\text{Re}\langle E_V E_H^* \rangle \\ \langle g_3 \rangle &= -2\text{Im}\langle E_H E_V^* \rangle = 2\text{Im}\langle E_V E_H^* \rangle\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{dop} &= \frac{\sqrt{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2}}{g_0} \\ &= \frac{\sqrt{(\langle |E_H|^2 \rangle - \langle |E_V|^2 \rangle)^2 + (2\text{Re}\langle E_V E_H^* \rangle)^2 + (2\text{Im}\langle E_V E_H^* \rangle)^2}}{\langle |E_H|^2 \rangle + \langle |E_V|^2 \rangle}\end{aligned}$$

考察

$\rho_{dop} = 0$	$0 \leq \rho_{dop} \leq 1$	$\rho_{dop} = 1$
完全無偏波	部分偏波	完全偏波



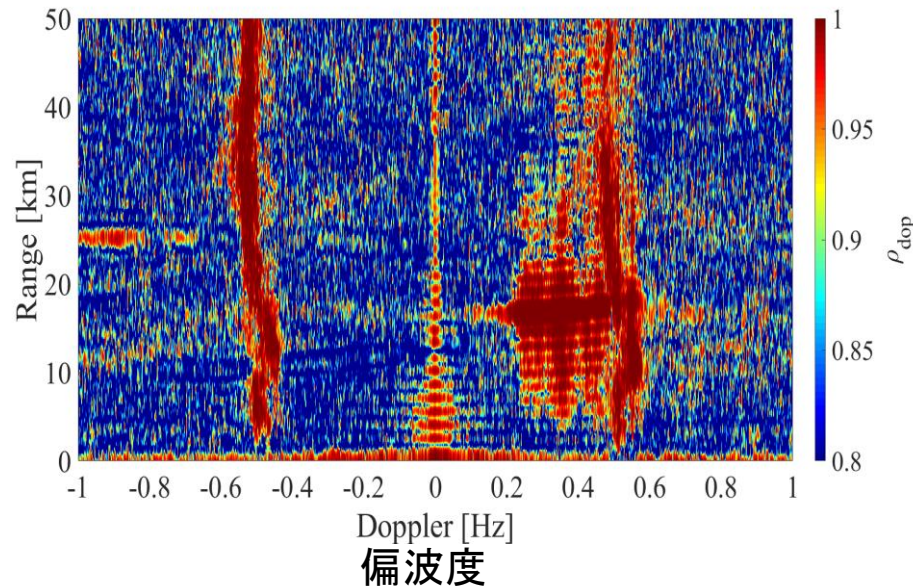
偏波度の違いにより, 船舶等の金属物体と
波浪の反応の分離ができるのでは

P_t : 全電力
 P_e : 偏波している成分の電力
 P_u : 偏波していない成分の電力
 $\langle \cdot \rangle$: マルチルック平均処理
 E_V : 垂直偏波の受信電界
 E_H : 水平偏波の受信電界
 $[\cdot]^*$: 複素共役
 $\text{Re}(\cdot)$: 引数の実部
 $\text{Im}(\cdot)$: 引数の虚部

解析結果(1/3)

ビーム : 0°

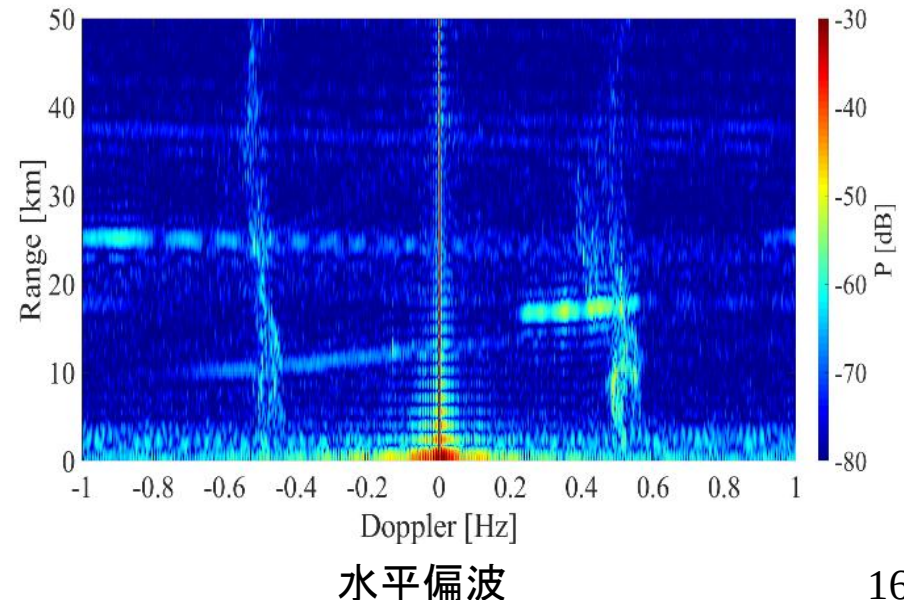
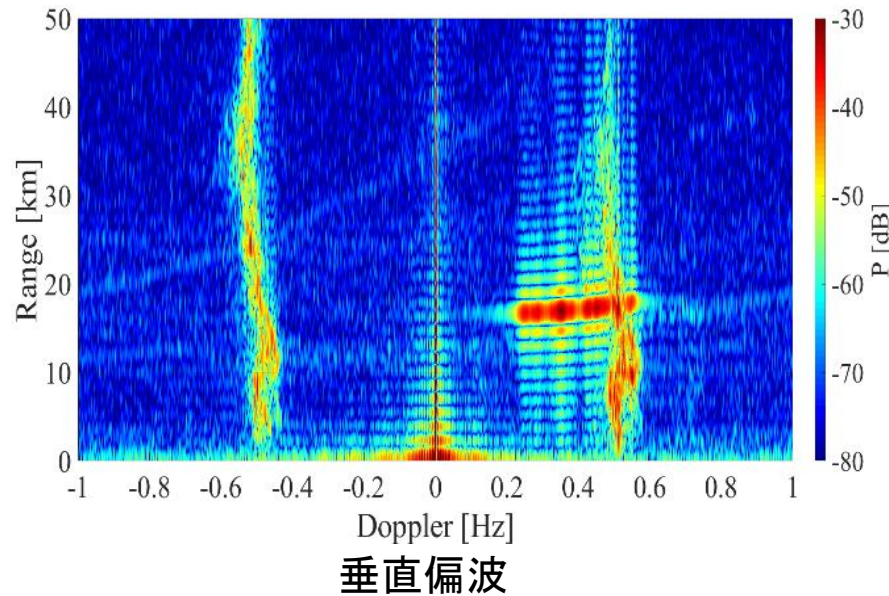
マルチルックサイズ : 10×10



実験データ

2020-0828-1414

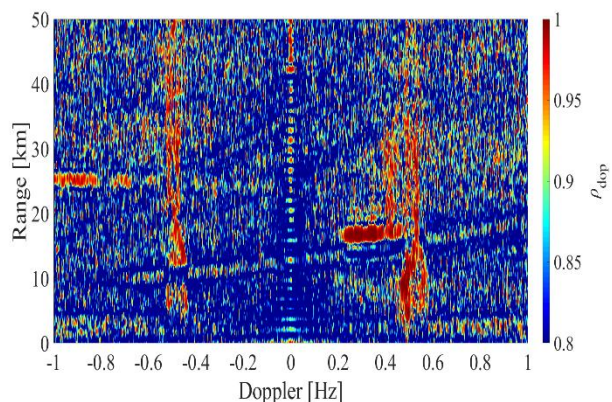
波の反応, 船舶の反応ともに
高い偏波度を示し,
偏波度による分離は困難



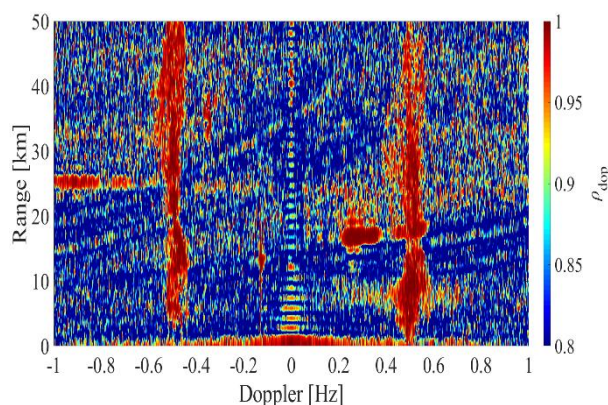
解析結果(2/3)

実験データ
2020-0828-1414

マルチルックサイズ : 10×10

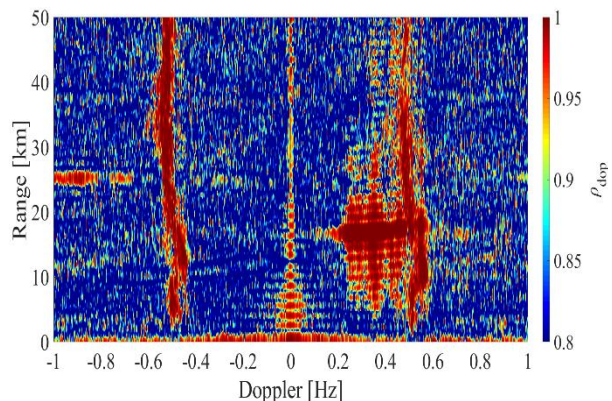


60°

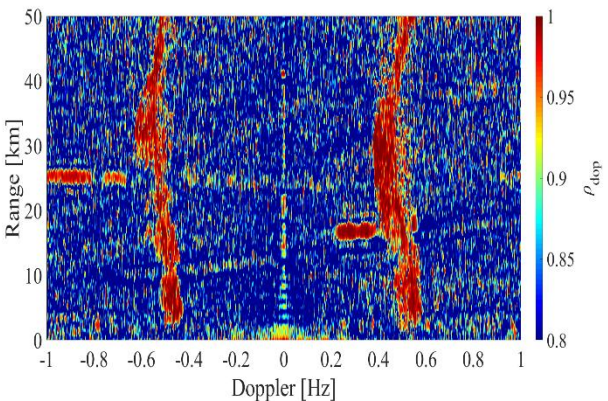


30°

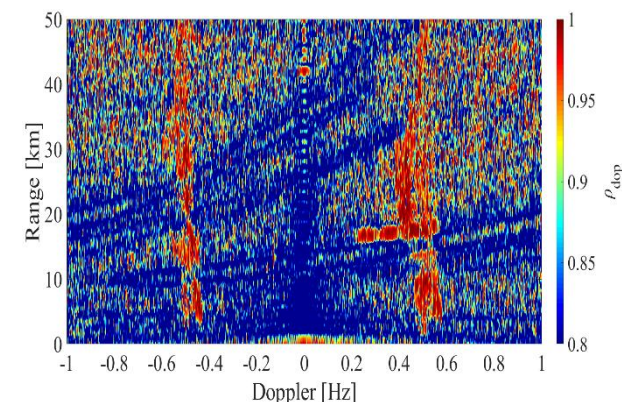
60°, 30°, 0°, -30°, -60°の
5方向にビームを向けた
データの偏波度解析結果



0°



-30°



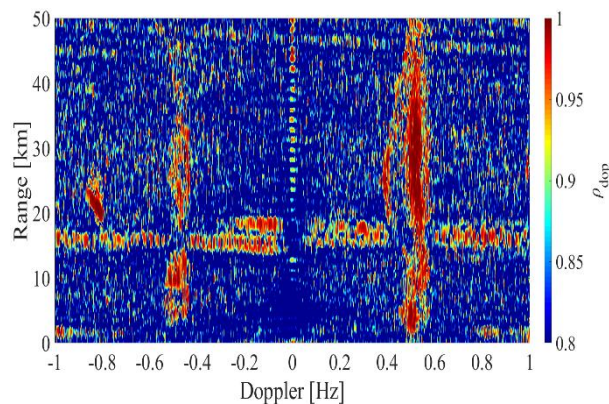
-60°

波, 船舶, 航空機ともに高い偏波度を示していることを確認

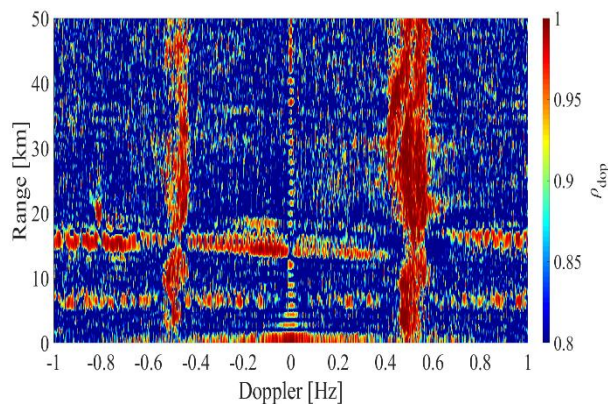
解析結果(3/3)

実験データ
2020-0828-1603

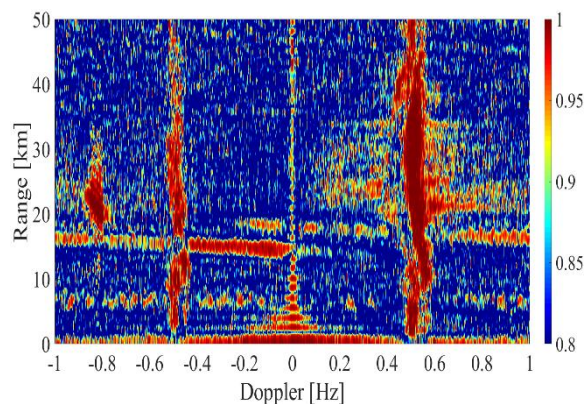
マルチルックサイズ : 10×10



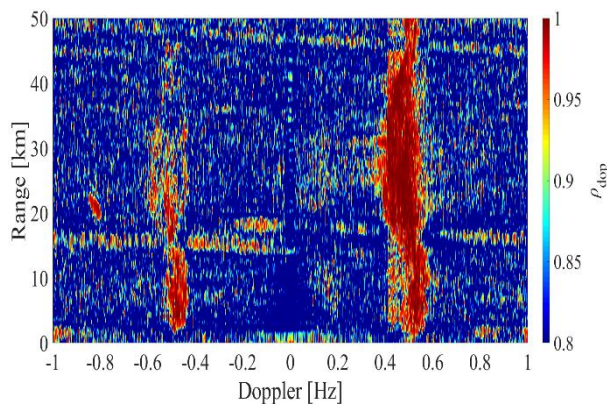
60°



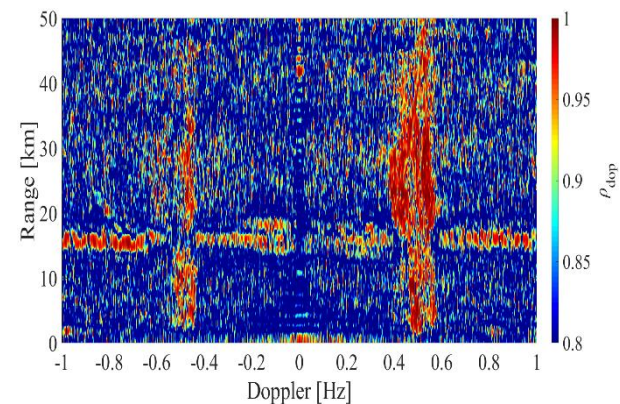
30°



0°



-30°



-60°

波, 船舶, 航空機ともに高い偏波度を示していることを確認

その他解析手法

両偏波の解析結果から得られた特徴に着目

垂直偏波：航空機の反応は弱く、波、船舶の反応が強い

水平偏波：波、船舶の反応は弱く、航空機の反応が強い

$$\frac{E_V}{E_V + E_H}$$

$$\frac{E_H}{E_V + E_H}$$

$$\frac{E_V}{E_H}$$

$$\frac{E_H}{E_V}$$



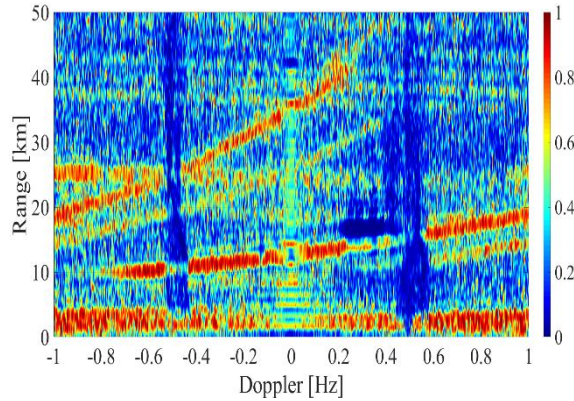
波、船舶、航空機の反応を色によって識別できるのではないか

解析結果(1/4)

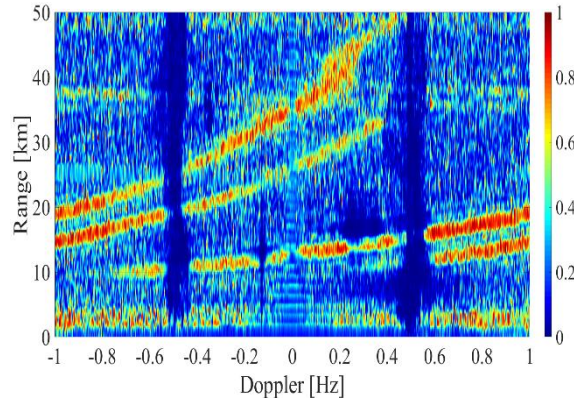
実験データ
2020-0828-1414

マルチルックサイズ : 10×10

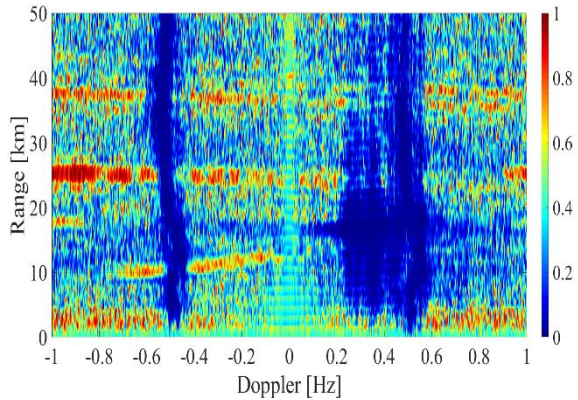
$$\frac{E_H}{E_V + E_H}$$



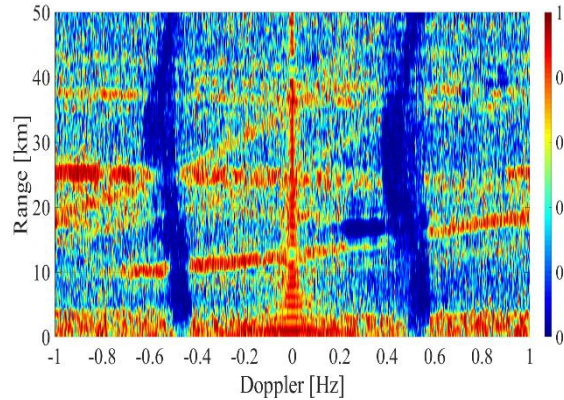
60°



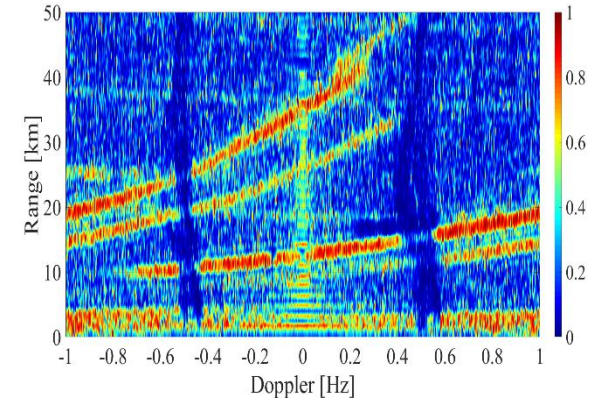
30°



0°



-30°



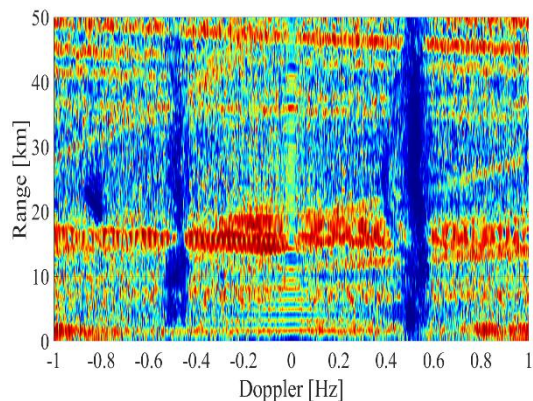
-60°

波, 船舶の反応と航空機の反応を色で識別できたことを確認

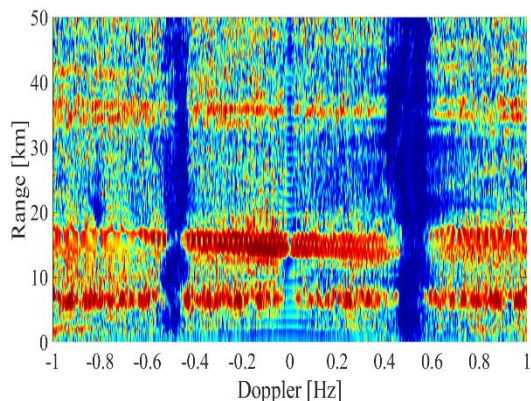
解析結果(2/4)

実験データ
2020-0828-1603

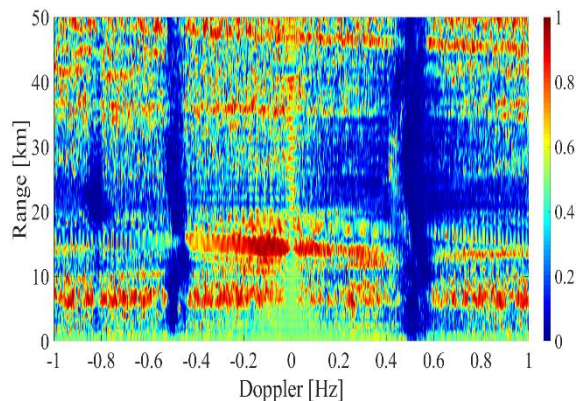
マルチルックサイズ : 10×10



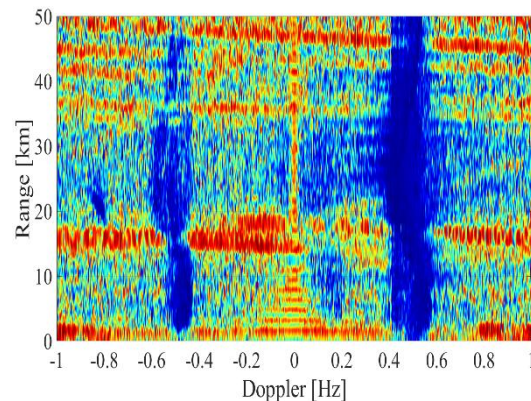
60°



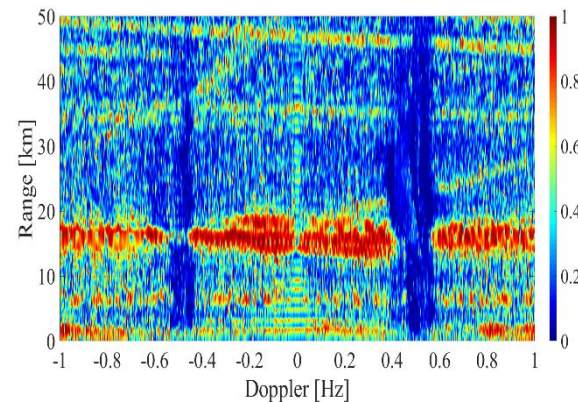
30°



0°



-30°



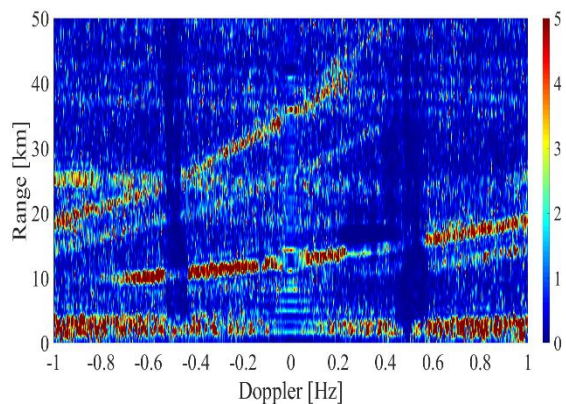
-60°

$$\frac{E_H}{E_V + E_H}$$

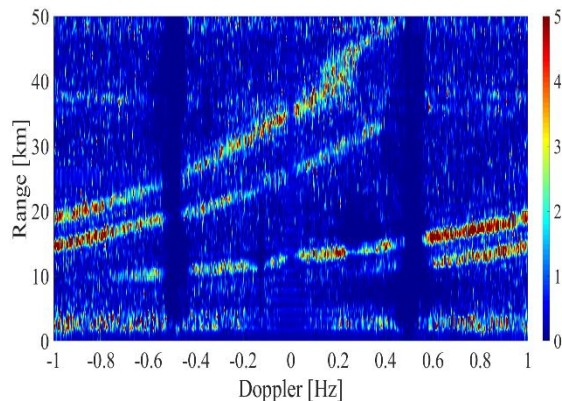
波, 船舶の反応と航空機の反応を色で識別できたことを確認

解析結果(3/4)

実験データ
2020-0828-1414



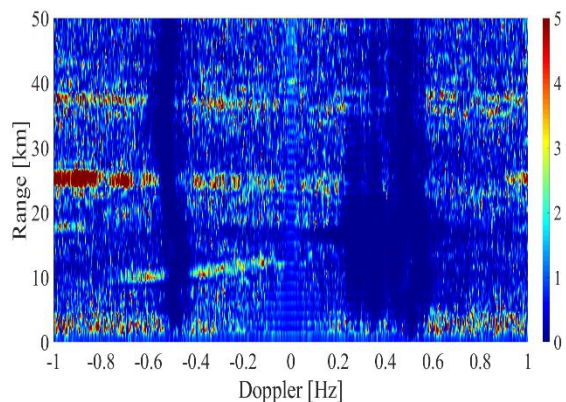
60°



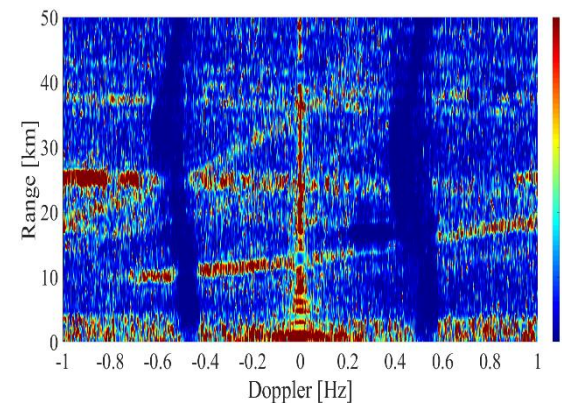
30°

マルチルックサイズ : 10 × 10

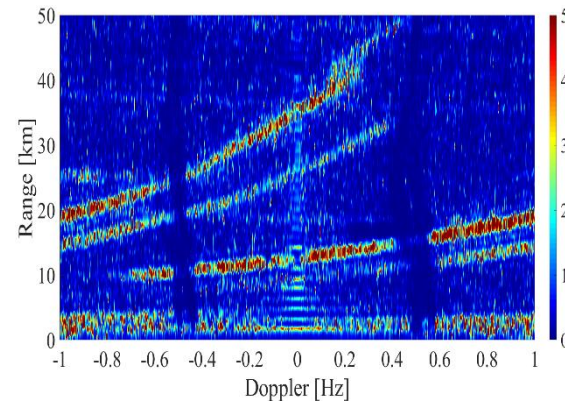
$$\frac{E_H}{E_V}$$



0°



-30°



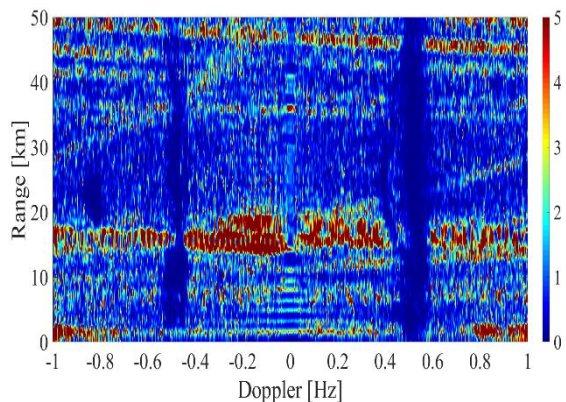
-60°

航空機の反応を色で協調できたことを確認

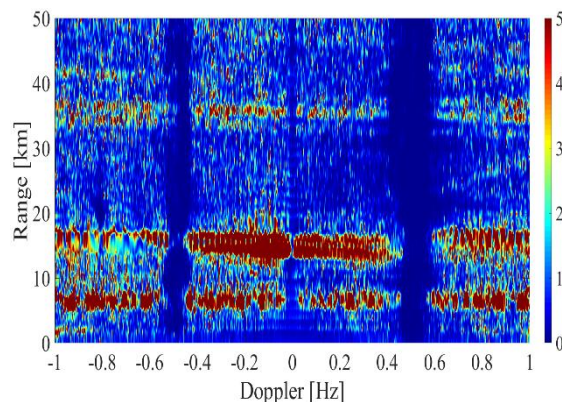
解析結果(4/4)

実験データ
2020-0828-1603

マルチルックサイズ : 10 × 10

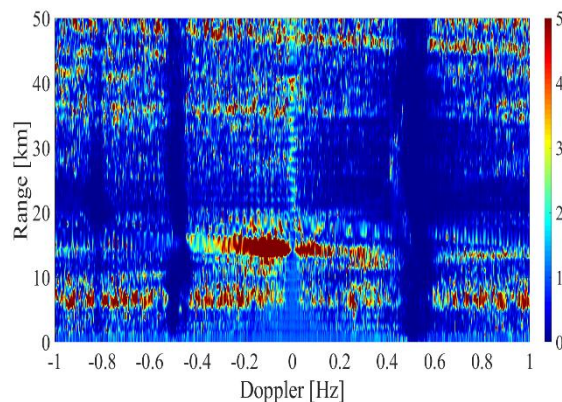


60°

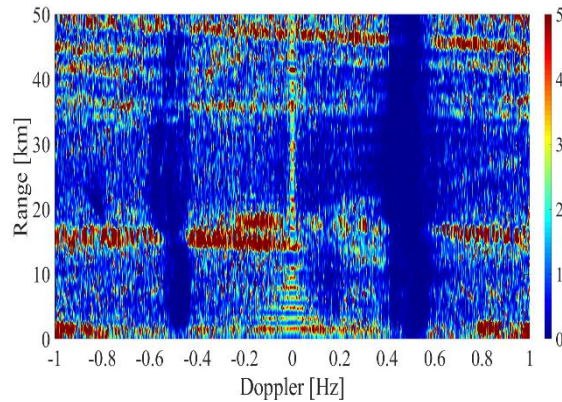


30°

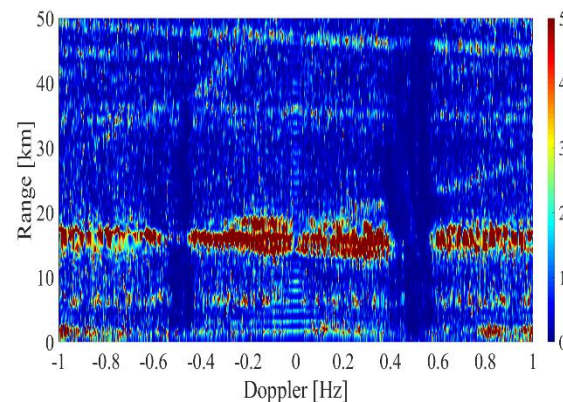
$$\frac{E_H}{E_V}$$



0°



-30°



-60°

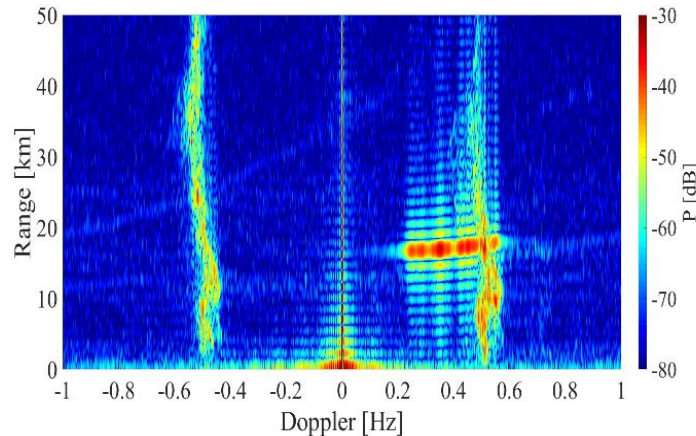
航空機の反応を色で協調できたことを確認

まとめ

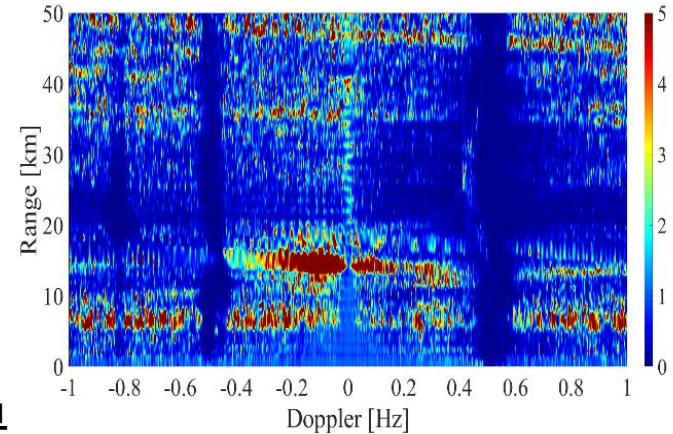
発表内容

- 両偏波の解析結果の違いについての考察
- 様々な偏波解析手法を用いた解析結果

➡ 各偏波の特徴に応じた解析が期待される



解析結果



今後の検討

- より多くの実験データ取得
- 引き続き偏波解析