

九州大学応用力学研究所 共同利用研究集会

「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」 (2024年12月02日)

# レンジドップラ応答に現れる電源由来アーティファクトの除去

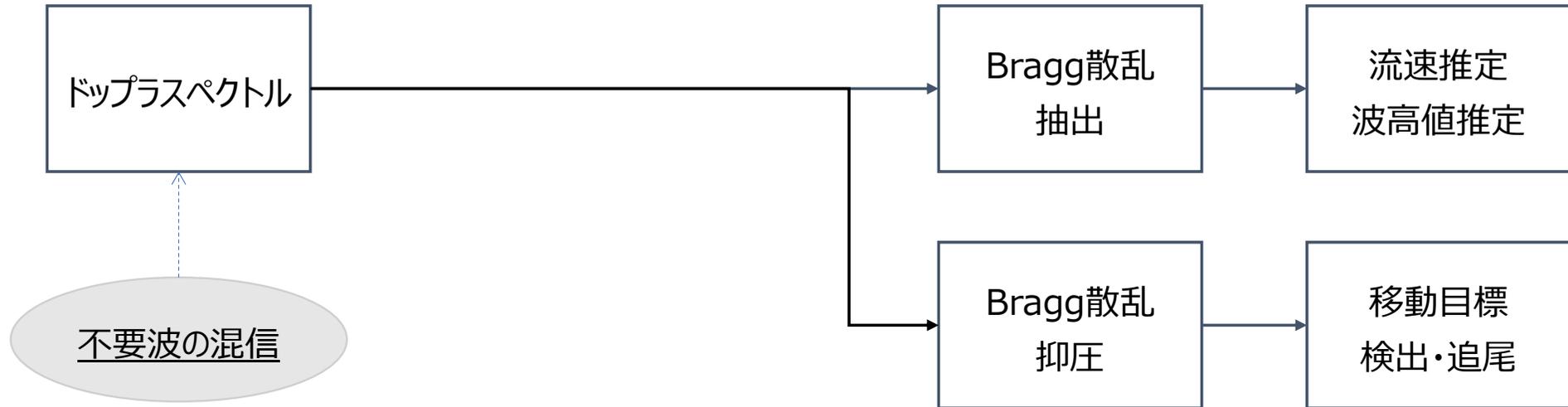
○高橋龍平(\*1), 亀田洋志(\*1), 片岡智哉(\*2), 藤井智史(\*3)

\*1 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

\*2 愛媛大学大学院 理工学研究科

\*3 琉球大学 工学部

# モチベーション

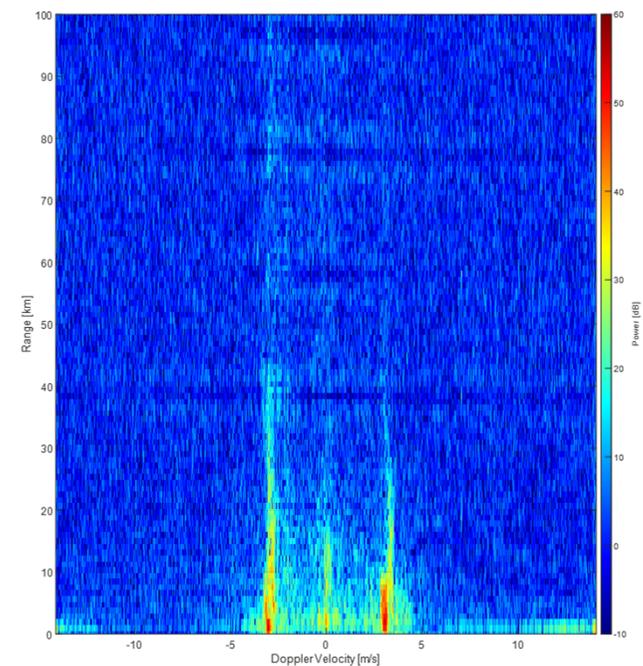
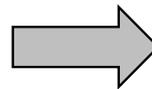
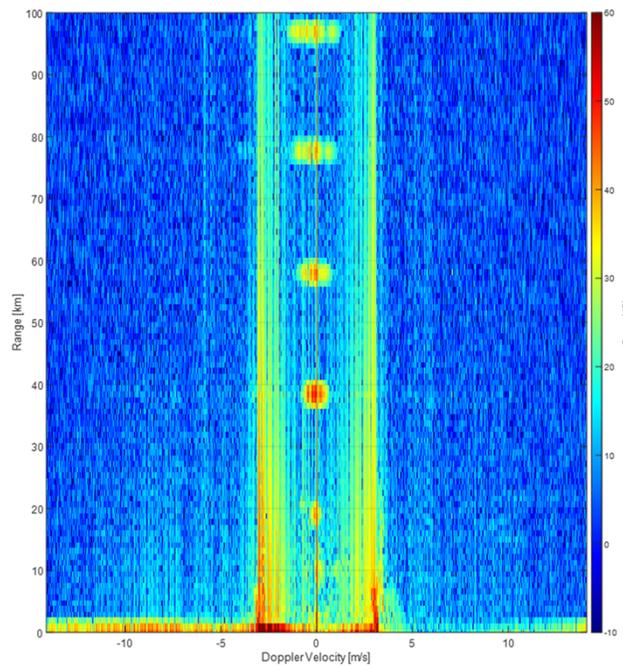


## 不要波除去問題への取組み

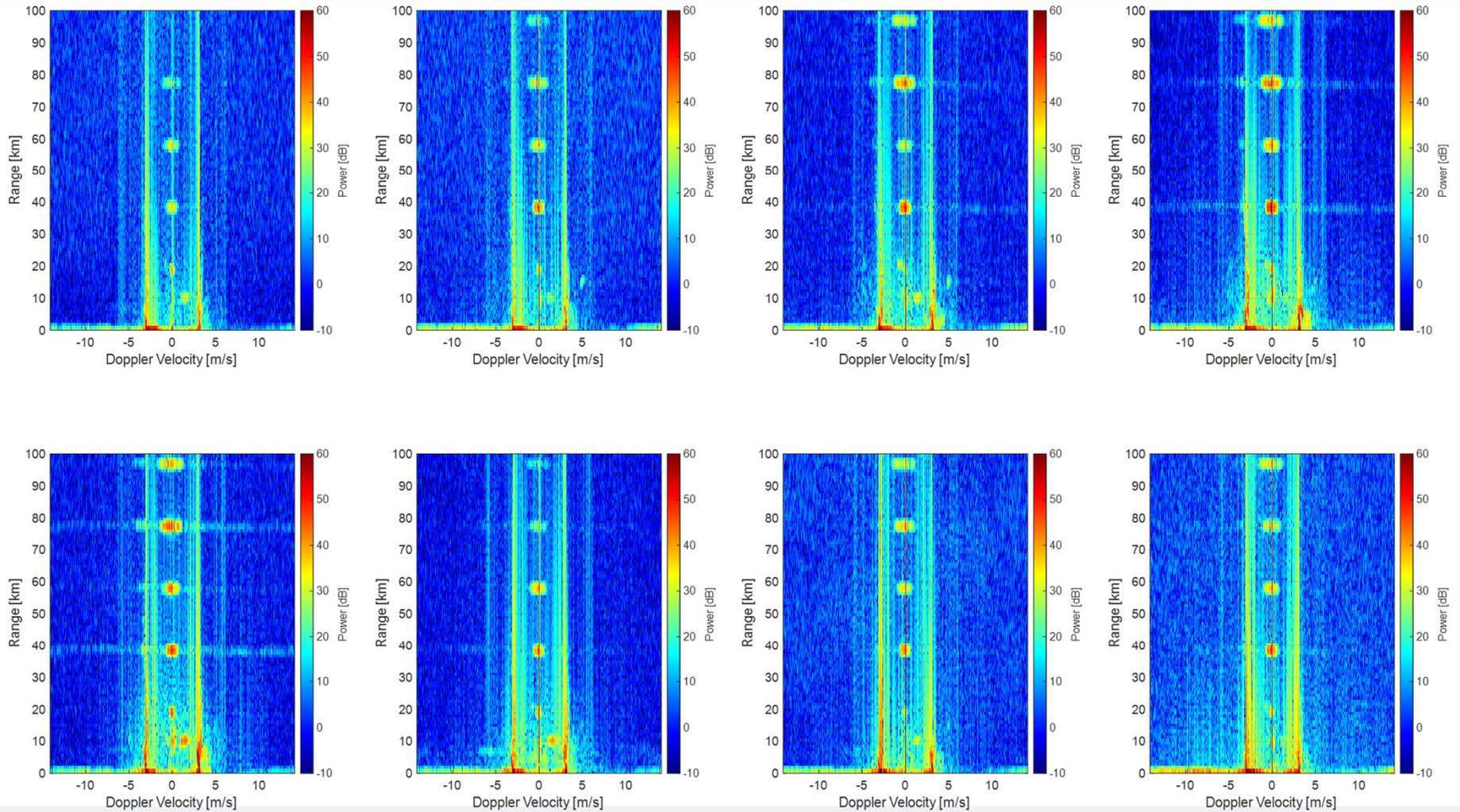
- 干渉波： アダプティブビームフォーミング（2018本研究会）等
- 移動目標： 移動目標追尾（2023本研究会）、CFAR検出処理等
- 外部雑音： RISR（2023本研究会）
- アーティファクト： アダプティブレンジフィルタ（本報告；DBF前）**

# 検討ゴール

背景	海洋短波レーダではドップラスペクトルに含まれるBragg散乱スペクトルや移動目標を捉えることが重要 ところが、 <b>特定レンジドップラ領域で、不要な電源由来アーティファクトがドップラスペクトルに混信している</b>
目的	アダプティブレンジフィルタを適用して、実レンジドップラ応答に現れるアーティファクトを除去する
ゴール	<b>アーティファクト除去が波高推定値に与える影響を定量把握する</b>



# 電源由来アーティファクト（高知県室戸市行当岬）



レンジドップラ応答に現れる電源由来アーティファクトの除去

# 電源由来アーティファクト (Fort Peyras, France)

Dumas, D., & Guérin, C. (2024). HF radar estimation of ocean wave parameters: Second-order Doppler spectrum versus Bragg wave modulation approach.

ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2407.07658>

*“A power grid artifact (50 Hz harmonics) that contaminates the low Doppler frequency content of the radar signal at some ranges; this electrical artifact is particularly pronounced at the Fort Peyras site **due to the imperfect power supply** at this location. It does not affect the estimation of the radial current from the first-order Bragg lines but **must be treated with caution when dealing with the full ocean Doppler spectrum.**”*

# 電源由来アーティファクト (Red Rock, NSW, Australia)

Cosoli, S., Grcic, B., De Vos, S., & Hetzel, Y. (2018). Improving Data Quality for the Australian High Frequency Ocean Radar Network through Real-Time and Delayed-Mode Quality-Control Procedures. *Remote Sensing*, 10(9), 1476.

<https://doi.org/10.3390/rs10091476>

*“... by modulations of the 50–60 Hz 220 V power line. As a consequence, strong signals appear in the range-Doppler spectra at multiples of the 50 Hz frequency, for instance at approximately 20, 40, 60, 80, 100, and 120 km offshore (Figure 4a); at higher harmonics, this signal also tends to spread over frequency and **potentially interfere with the detection of the Doppler peaks**, thus introducing spurious radial currents.”*

# アーティファクト特性と対策方針

## アーティファクト特性

1. いずれの例も、運用周波数は異なるが同一製品を使用
2. 50/60Hz電源信号の高調波に由来するアーティファクトがレンジドップラ応答に出現
  - 0km起点に約20km間隔に現れ、遠距離につれドップラスペクトル幅が拡大

## 対策方針

1. 先行研究の対策は、電カスレッシュヨルドによるブランピングが基本的な考え方だが、以下の問題がある。
  - 2次Bragg散乱を用いる波高推定の精度劣化
  - 不感レーダ覆域による移動目標監視能力の劣化
2. 問題解決は、海面や移動目標由来のレンジドップラ応答を保持しつつ、アーティファクトのみを除去すること
  - 初期検討として、レンジドップラ応答に直接適用可能なアダプティブレンジフィルタを試用
    - ・ レンジドップラ応答前（距離／ドップラFFT前）、ビーム形成による対策は今後検討予定

# アダプティブレンジフィルタによる除去の提案

## アダプティブ不要波除去の原理

問題設定：受信ベクトル $\mathbf{x}$ に含まれる不要波 $\mathbf{x}_i$ を除去する

$$\mathbf{x} = \sqrt{p_s} \mathbf{a}_s + \mathbf{x}_i + \mathbf{n}$$

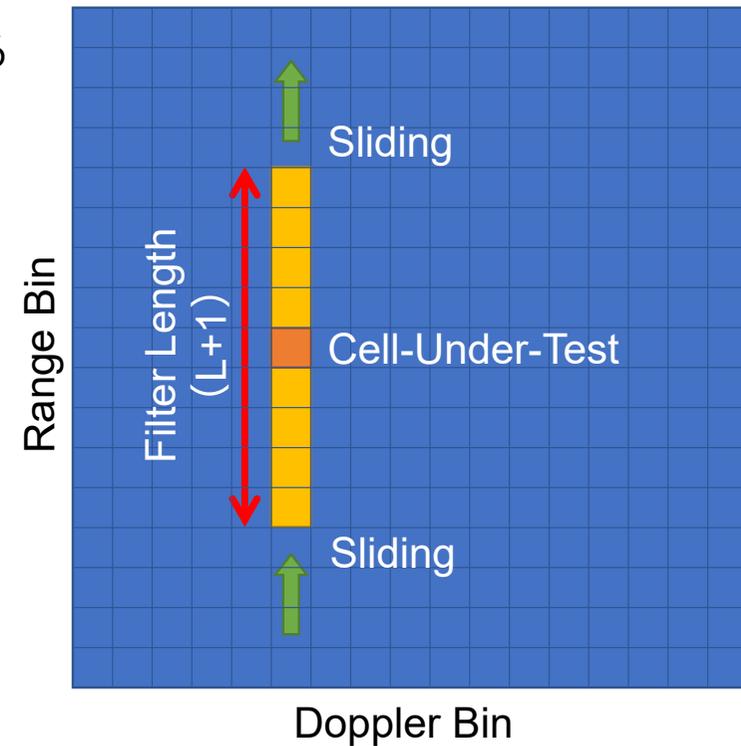
アダプティブウェイト $\mathbf{w}_a$ と受信信号ベクトル $\mathbf{x}$ の内積で不要波をフィルタリングする

$$\mathbf{w}_a = \alpha \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}_s \quad \text{where} \quad \mathbf{R} = E[\mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^H] + \sigma_n \mathbf{I}$$

$$y = \mathbf{w}_a^H \mathbf{x}$$

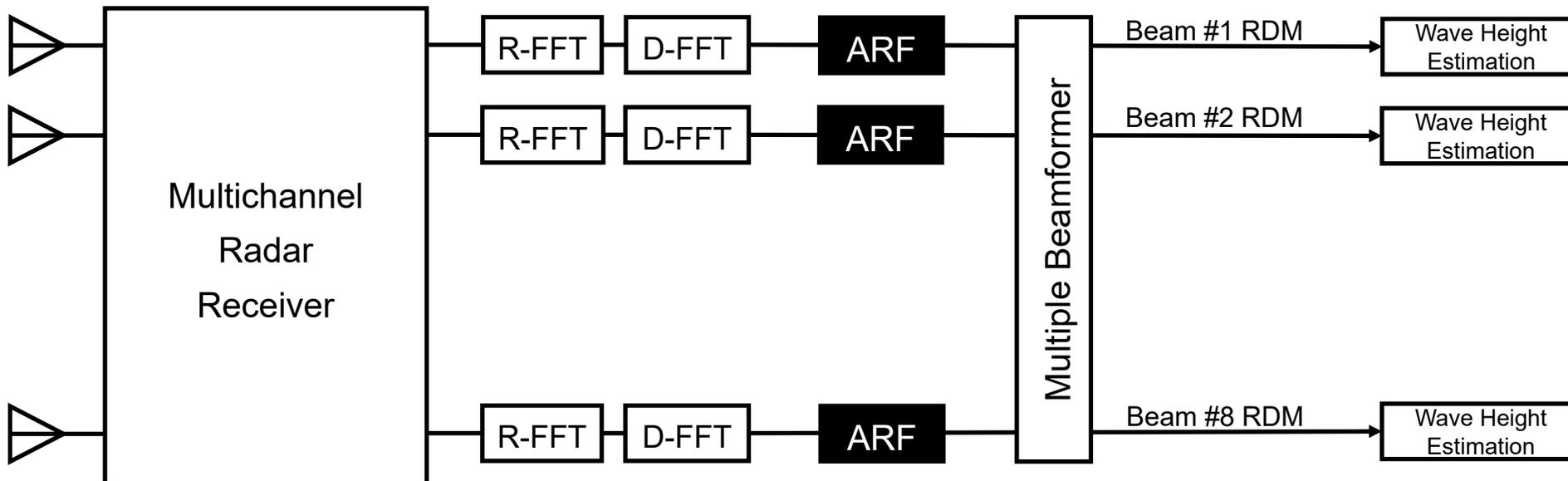
## 本検討のアダプティブレンジフィルタ

- 受信ベクトル $\mathbf{x}$ およびアダプティブウェイトベクトル $\mathbf{w}_a$ の次元をレンジ方向サンプル $(L+1)$ 点とし、スライディング処理を行う。
- 本検討では $L+1=9$ とする。
- 拘束ベクトルは  $\mathbf{a}_s = [0 \ \dots \ 0 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$
- 相関行列 $\mathbf{R}$ は近傍ドップラの計 $2(L+1)=18$ 点の受信ベクトルから推定



# 処理系統

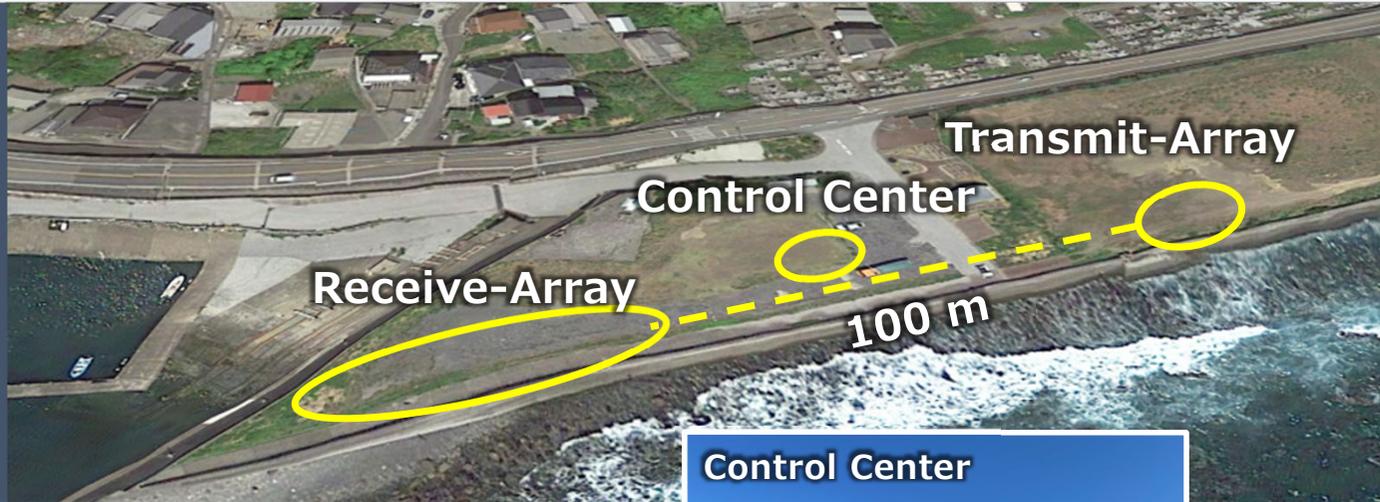
Receive Array



R-FFT: Range FFT, D-FFT: Doppler FFT, RDM: Range Doppler Map

ARF: Adaptive Range Filter

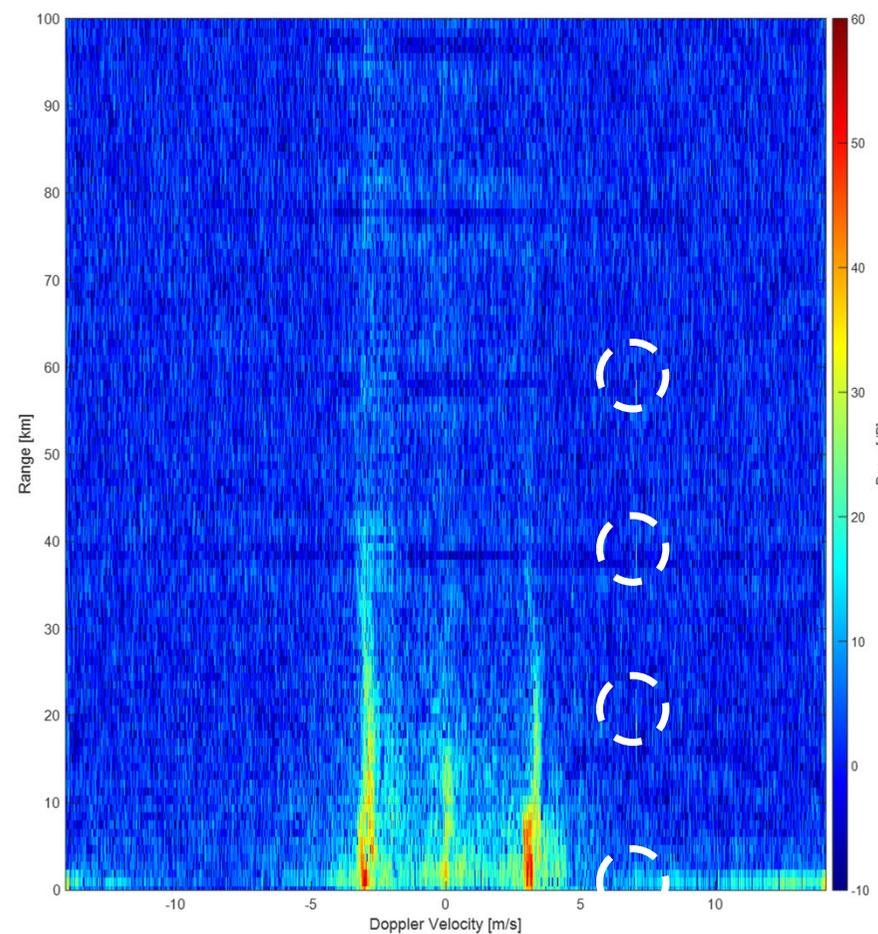
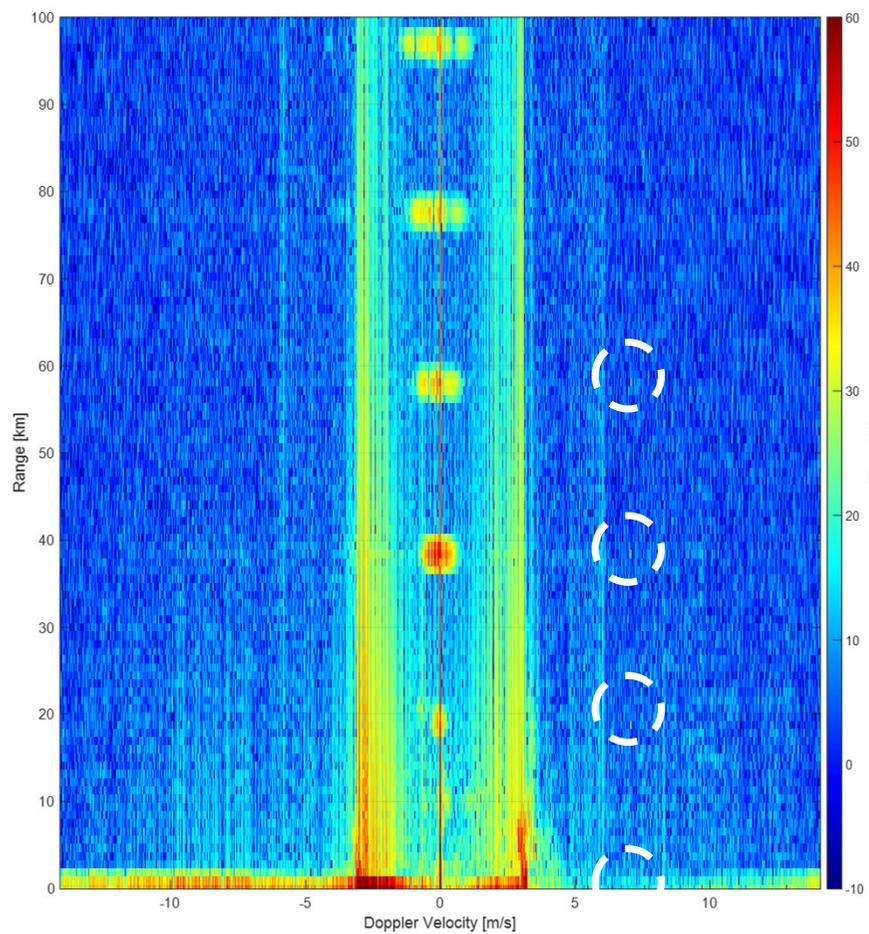
# 高知県室戸市行当岬設置の海洋レーダ外観



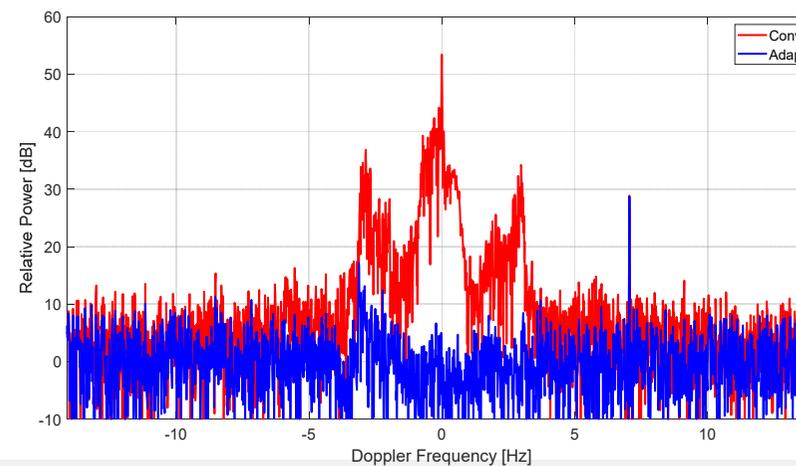
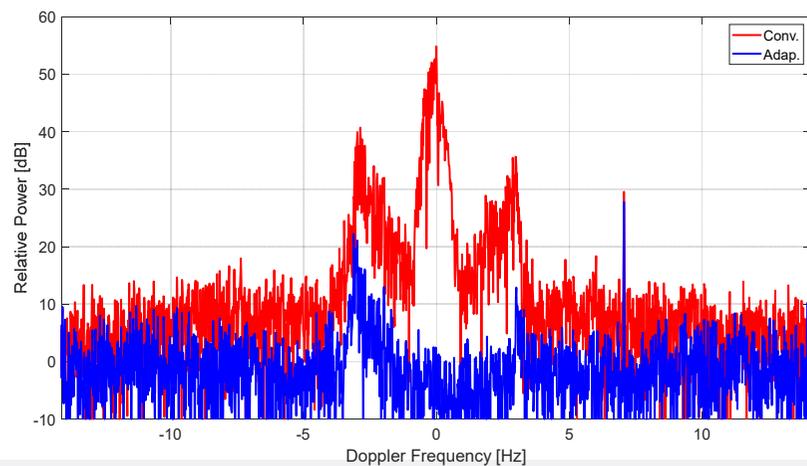
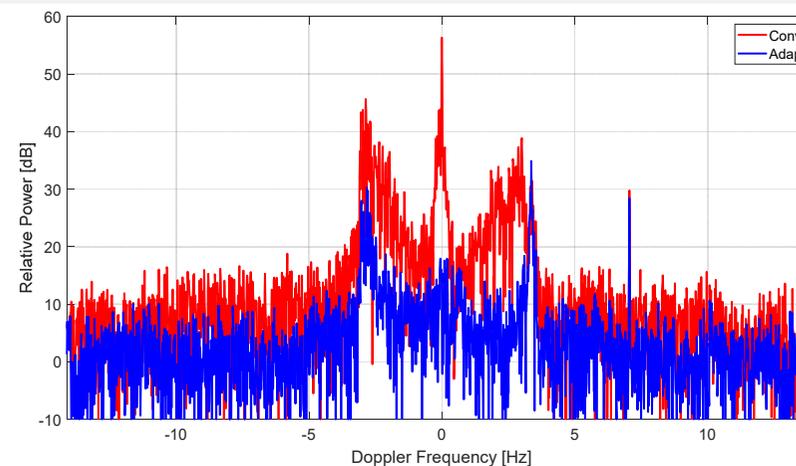
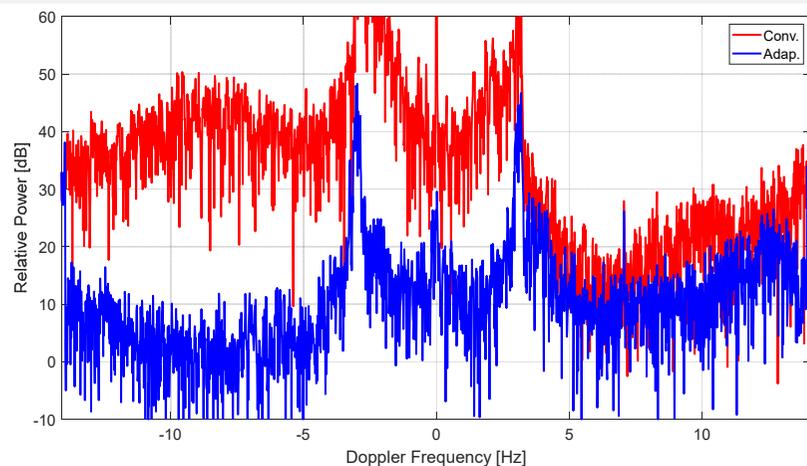
# 高知県室戸市行当岬設置の海洋レーダ概要

LN	設定項目	設定値	備考
1	送信出力	80 W	
2	変調方式	FMCW	送受アンテナを100m離し, アイソレーション確保
3	送信周波数	24.515 MHz	スイープ中心
4	送信帯域幅	100 kHz	距離分解能 1.5 km
5	スイープ時間	0.2166 s	
6	スイープ内レンジビン数	1840	
7	スイープ数	4096	観測時間 14分48秒
8	ビーム数	8	

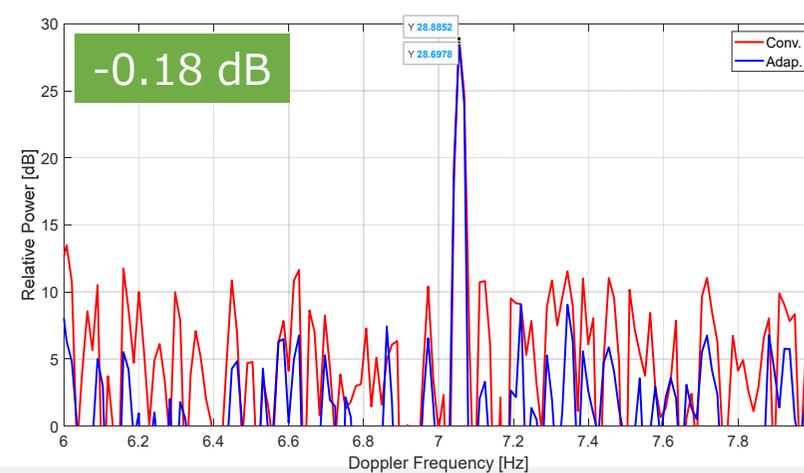
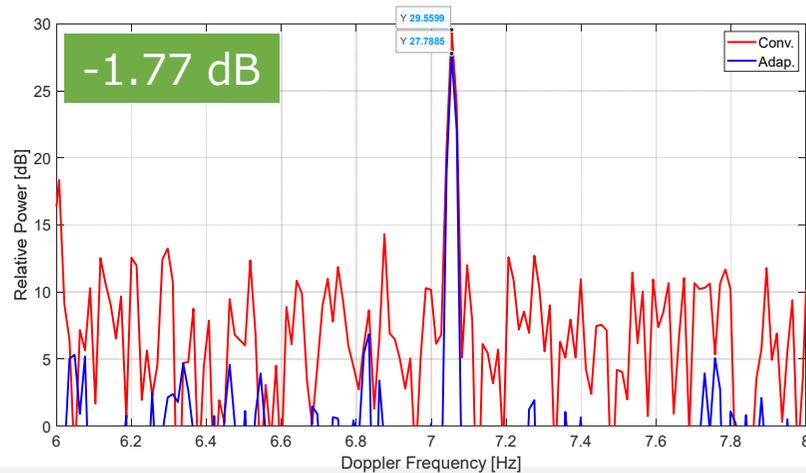
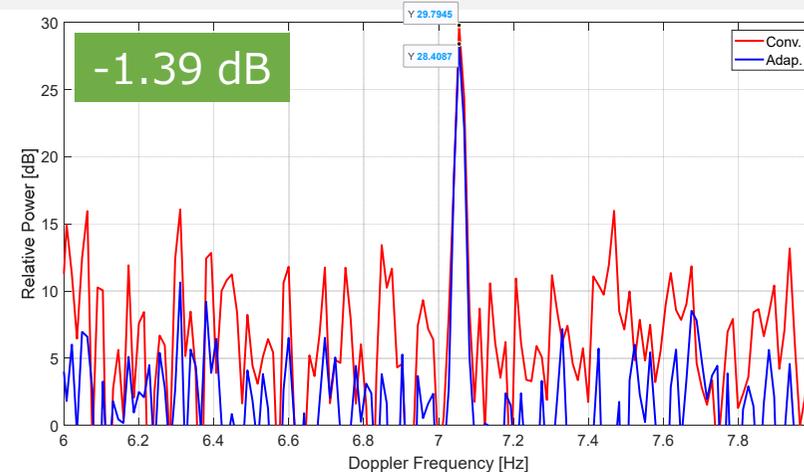
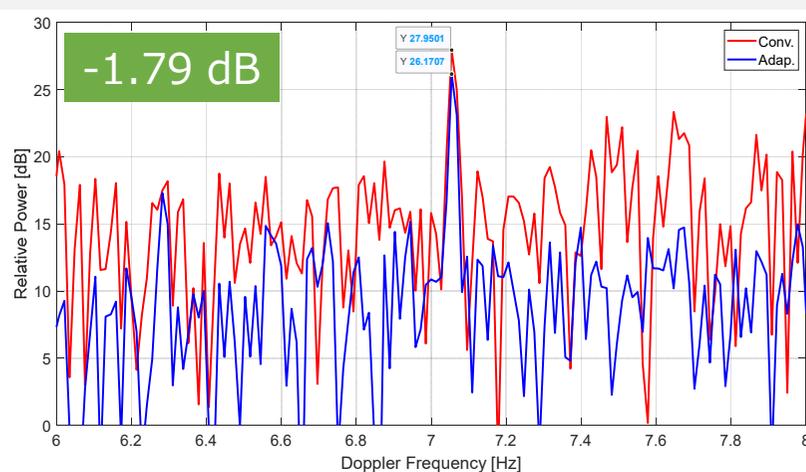
# 適用効果: ビーム#8, 模擬目標印加



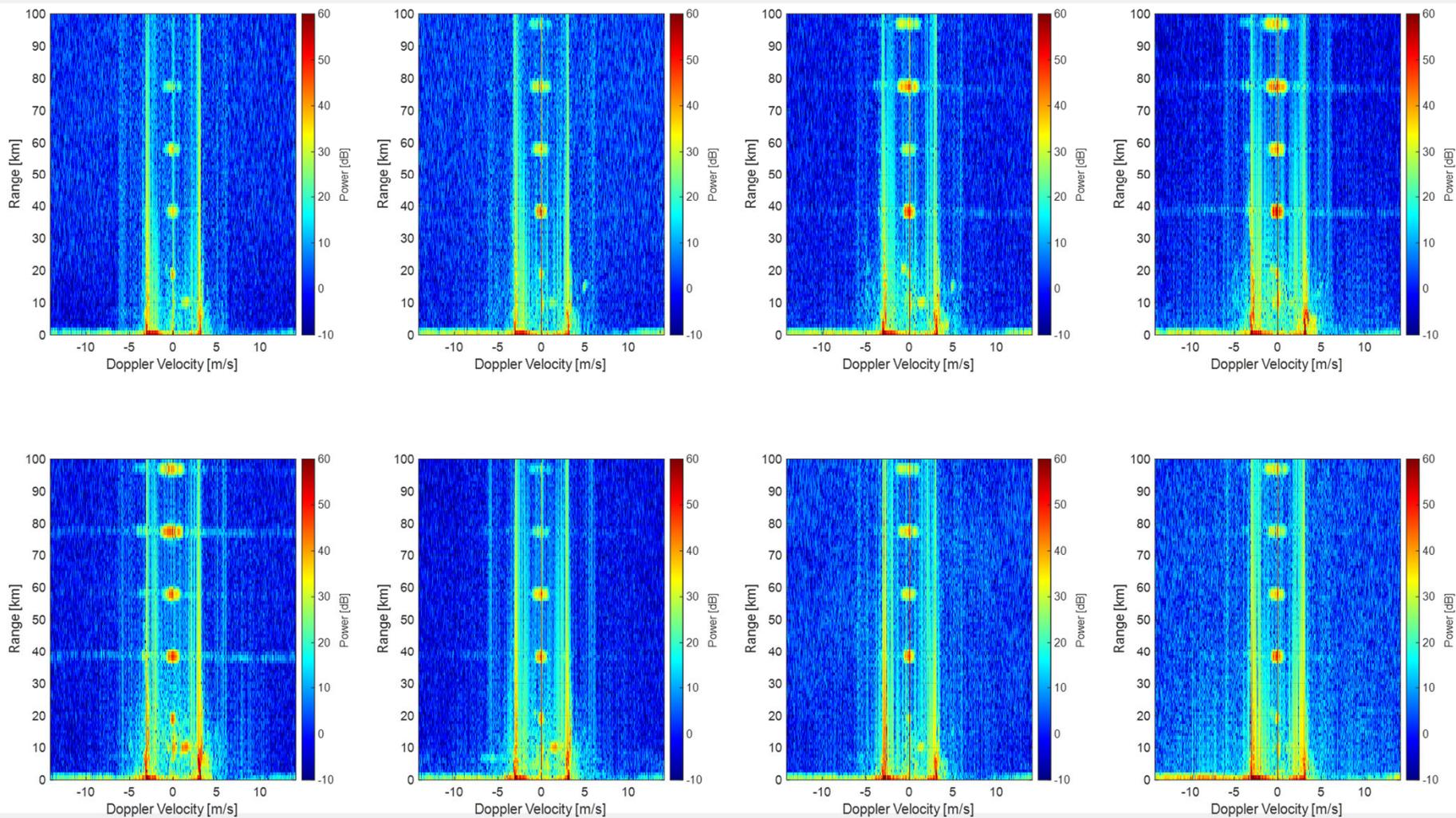
# 適用効果: ビーム#8, 模擬目標印加



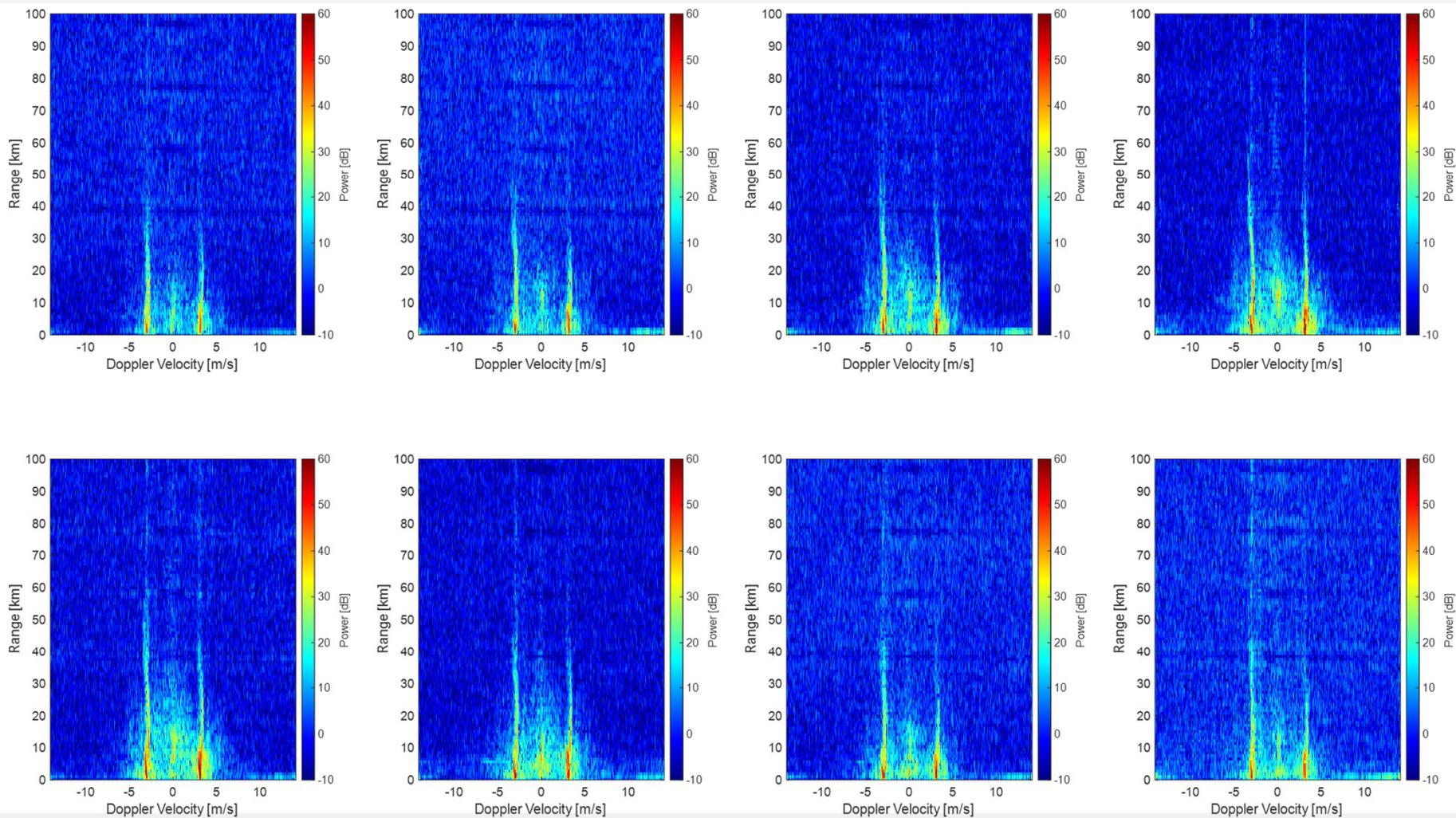
# 適用効果: ビーム#8, 模擬目標印加



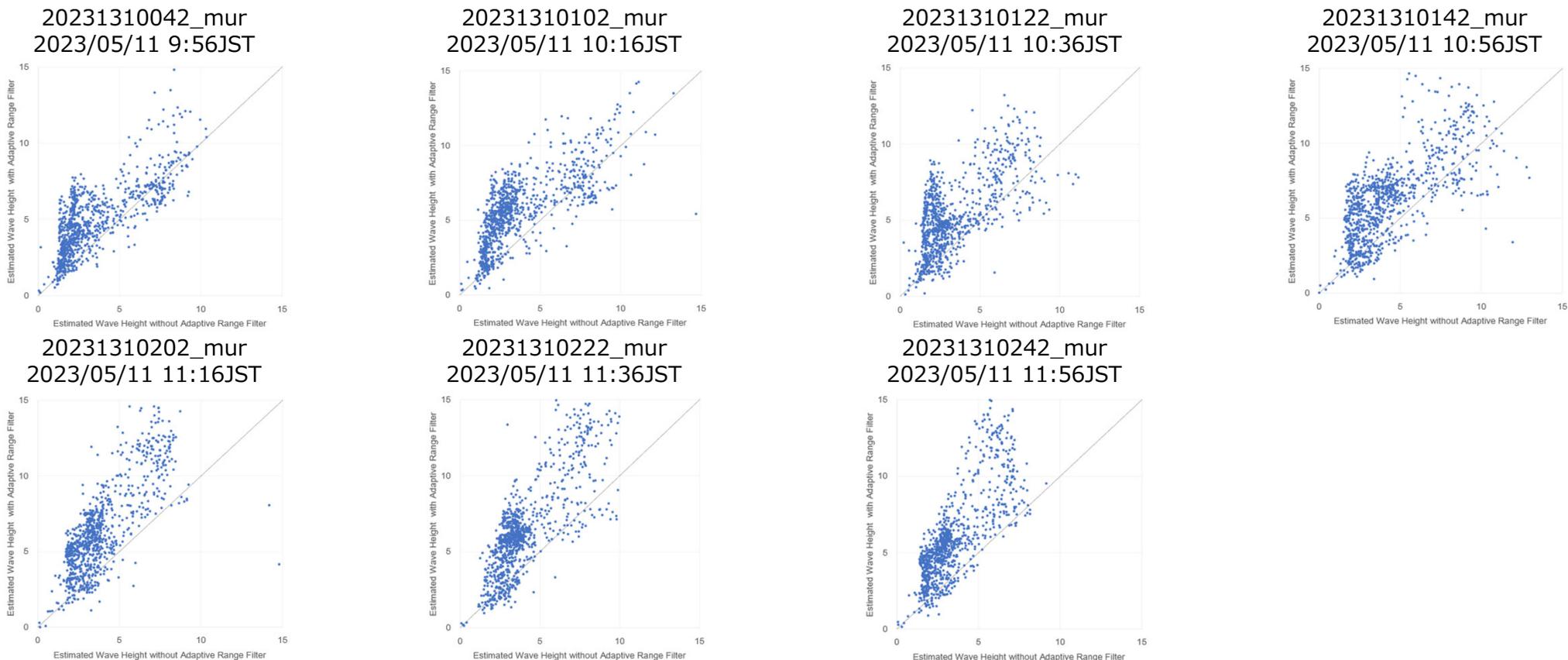
# 適用効果: 全ビーム (アダプティブレンジフィルタOFF)



# 適用効果: 全ビーム (アダプティブレンジフィルタON)



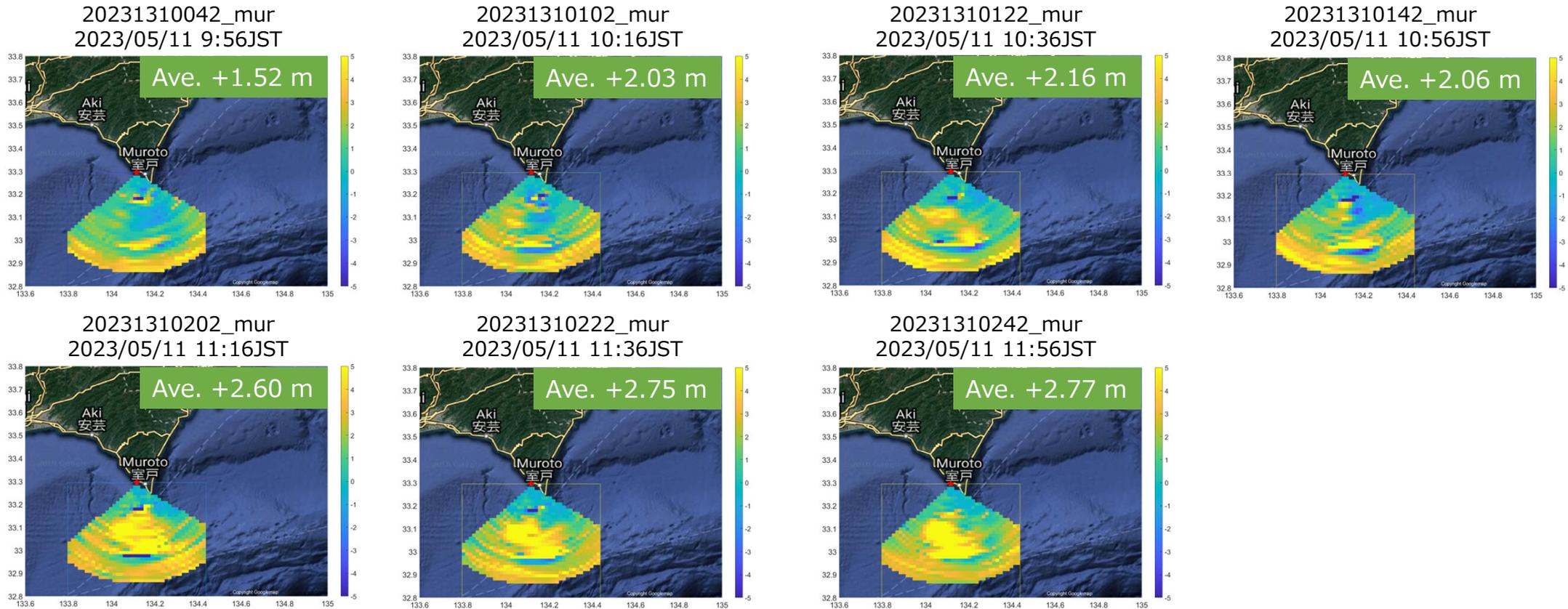
# 適用効果：波高推定への影響（フィルタ有無の相関プロット）



## アダプティブレンジフィルタによるアーティファクト除去により波高推定値に変化

フィルタ有無による波高推定値プロットから、アーティファクト除去により波高推定値が大きくなる傾向が読み取れる

# 適用効果: 波高推定への影響 (レーダ覆域内の差分分布)

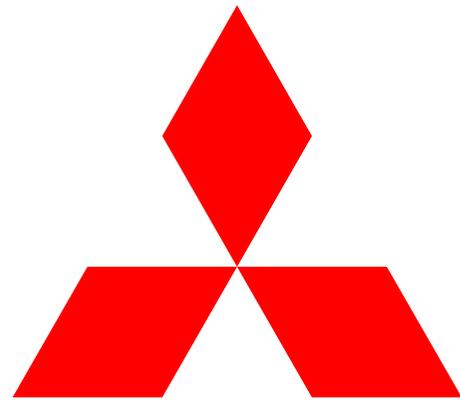


## アダプティブレンジフィルタによるアーティファクト除去により波高推定値に変化

- 単純に推定値の差分平均を求めると、波高推定値が大きくなった (1.52m~2.77m)
- 近距離は波高推定値の変化が小さいが、遠距離では大きい傾向がある。

# むすび

1. 弊社システムで観測されるアーティファクトと同様のアーティファクトが、他のシステム（同一製品）で発生していることが明らかになった。
  - アーティファクトは50/60Hz電源由来とされ、レンジドップラマップに一定パターンで現れる
  - 他システムでは、ブランキング処理で影響を回避
2. 海象観測および海上監視の高性能化の観点から、海面や移動目標由来のレンジドップラ応答を保持しつつ、アーティファクトのみを除去するアダプティブレンジフィルタを試用
  - フィルタによる模擬移動目標の電力損失は0.18~1.79dB（4サンプルのみ）であった。
  - フィルタ適用により、波高推定値は平均1.52~2.77mの範囲で大きな値を示した。
3. （今後）電源由来アーティファクトの発生メカニズムの把握
  - 発生メカニズムを数理モデル化し、より適切な対策を策定
  - そもそも発生させないような設置スキルを獲得



**MITSUBISHI  
ELECTRIC**

*Changes for the Better*