

SuperDARN北海道陸別第一レーダーにおけるノイズ除去とデータ処理過程について

名古屋大学ISEE

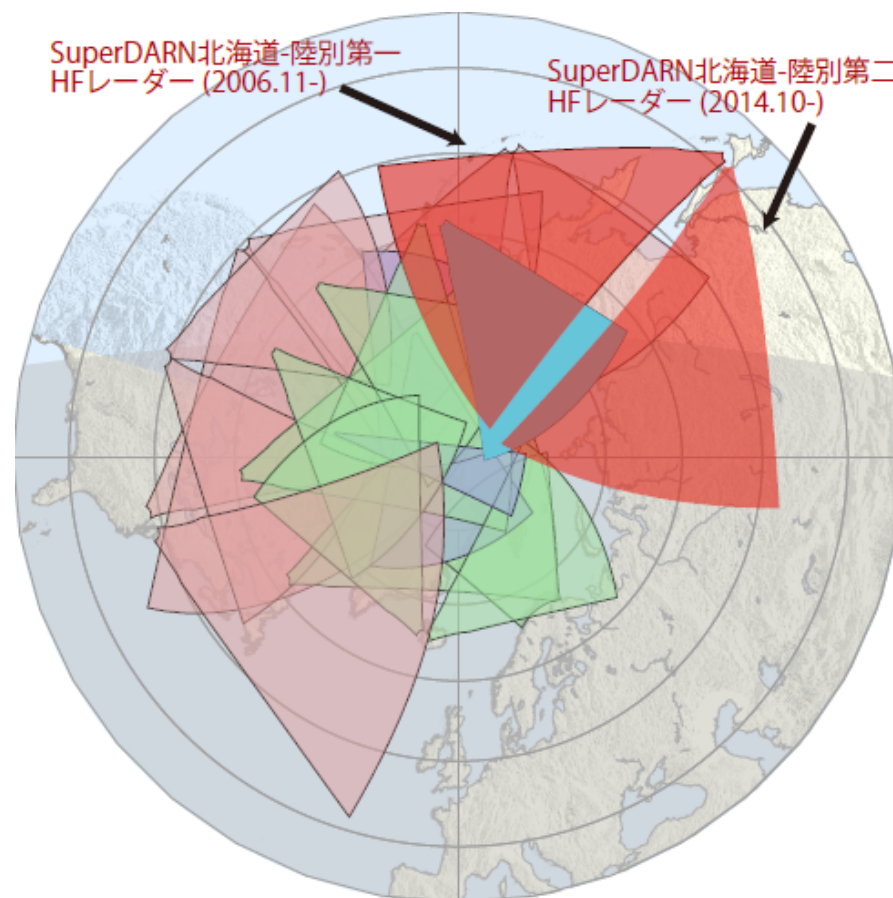
○早水翔大、西谷望、濱口佳之、堀智昭、新堀淳樹

目次

1. はじめに: SuperDARNの近年の話題
2. 北海道-陸別第一レーダーにおける課題
3. ローパスフィルタの実装
4. 結果
5. まとめ
6. 今後の方針

はじめに: SuperDARNとは

- 地上短波レーダーネットワーク
- 主にF領域の電離層プラズマのドップラー速度を測定
- 北海道陸別町に2基のレーダー
第一レーダー (EAST)
第二レーダー (WEST)



SuperDARN北海道-陸別HFレーダー、ISEE

URL:<https://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/site1/intro.html>

SuperDARNの展望

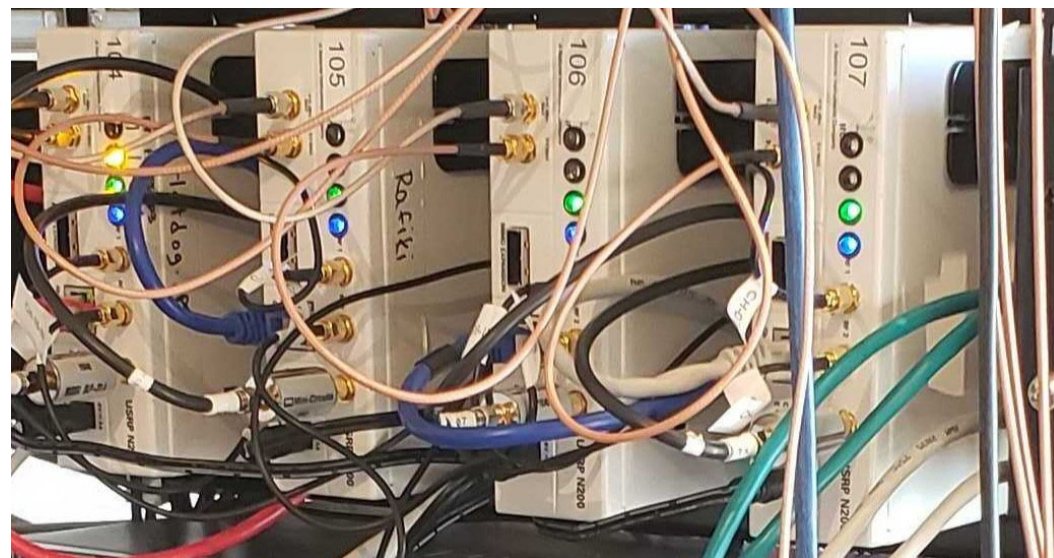
SuperDARNレーダーの課題

- 設計、機器、運用ソフトウェアが**発足当時**(1980-1990年代)**のまま**
- **測定パラメータ**(時空間分解能)が要求される**性能を満たさない**



近年の取り組み

- **SDR技術**を取り入れ、**時間分解能**や**空間分解能**を向上させる



N200 USRP; SDR: Software Designed Radio(ソフトウェア無線機器)

https://borealis.readthedocs.io/en/latest/source/setup_hardware.html#system-overview-and-rack-setup

性能改善に向けた取り組み

従来

- 送信波のアンテナ間の位相差により行う
- 位相変換マトリクスによるアナログ信号合成によりビームフォーミングされた信号を得る
- 方位角分解能は約 3.25°

ボレアリス(McWilliams)

- 各アンテナで受信した信号をそれぞれデジタルサンプリング
- 適切な位相シフトを用いて波を合成
- アナログ位相マトリクスによって生成されたものと同等のビームフォーミングが行える

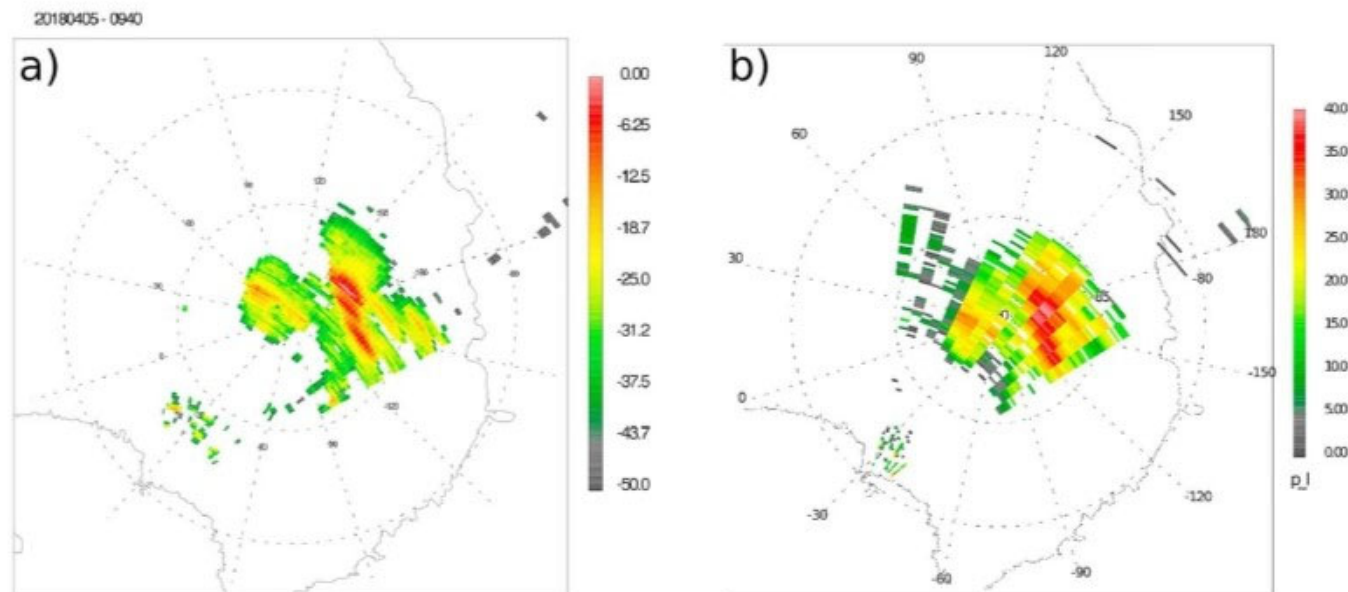
イメージング技術の応用(Bristow)

- ビームフォーミングされていない生データを解析
- 約 1° の方位角分解能

イメージング技術の活用 (Bristow)

従来のビームフォーミングとイメージングの比較

2018年4月5日09:40(UT) マクマード基地での観測で得られた信号強度(Bristow)



イメージング解析

従来のSuperDARN

W.A.Bristow, Application of RADAR Imaging Analysis to SuperDARN Observations, Radio Science 54, 30 June 2019
URL:<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019RS006851>

2025/03/21 九州大学 SUPERDARN研究集会

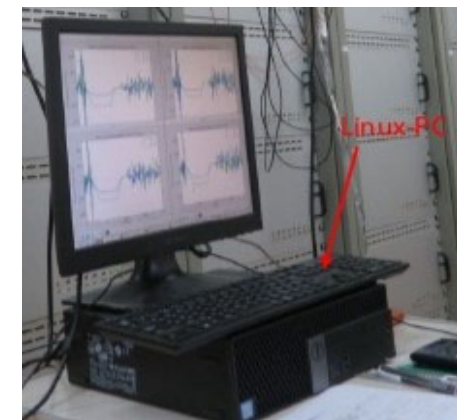
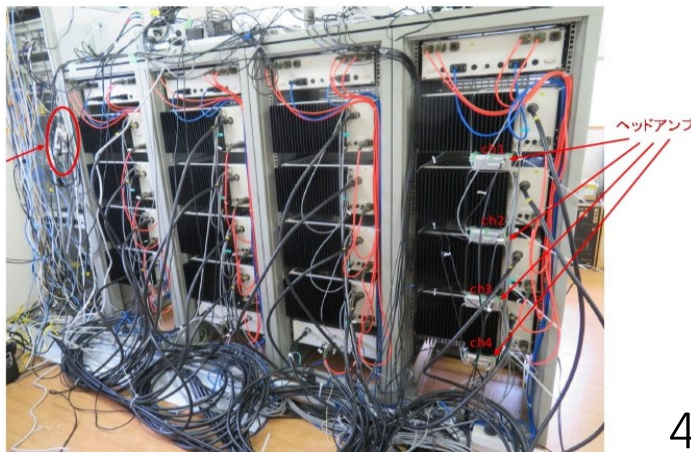
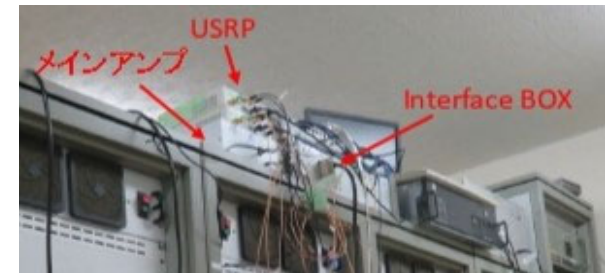


北海道-陸別第一レーダーにおける試験運用

最終目標: SDR技術を取り入れた**時間分解能、空間分解能**を
共に向上させる**独自システム**の構築

試験運用

- 2020年6月30日～7月3日
- 北海道-陸別第一レーダー
- ソフトウェア無線デバイス(SDR, USRP-N210)を用いた4ch受信



4chイメージング受信機設置状況

2025/03/21 九州大学 SUPERDARN研究集会



北海道-陸別第一レーダーでの課題と研究目的

試験観測(20チャンネル:chのうち4chを使用)の結果、特定の時間、方向でノイズが大きい

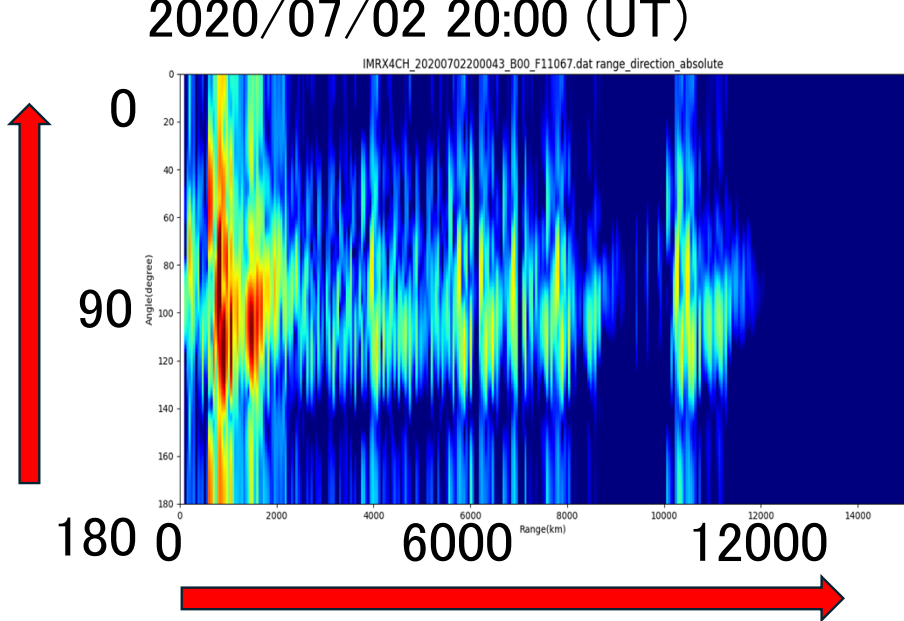
ノイズの少ない環境
2020/07/02 20:00 (UT)

相対信号強度(dB)

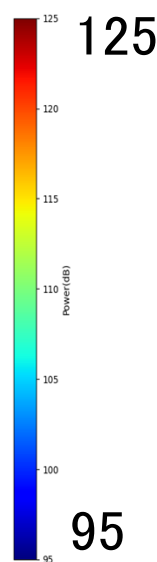
ノイズの多い環境
2020/07/02 09:59 (UT)

相対信号強度(dB)

方位角(度)

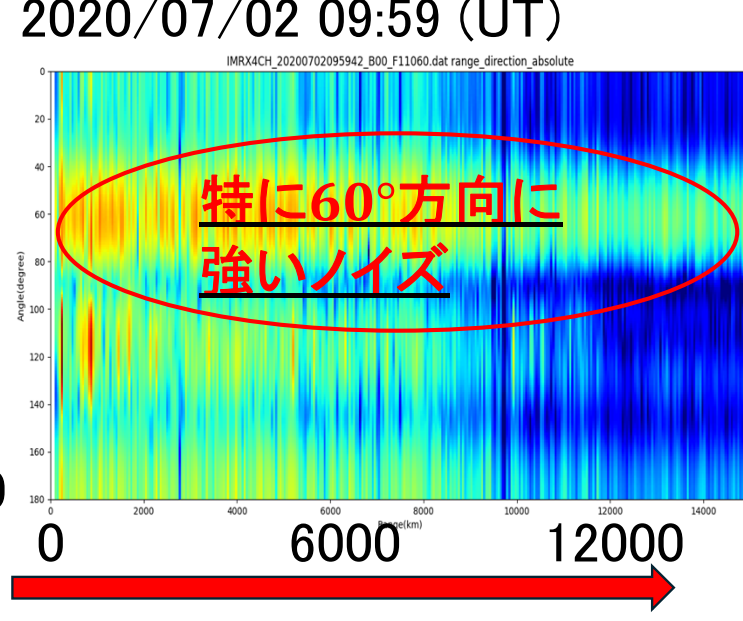


距離(km)

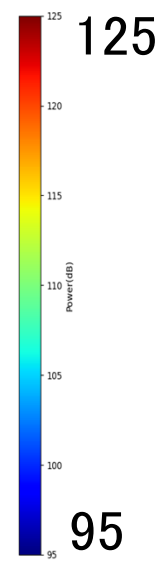


125

95



距離(km)



125

95

研究目的: フィルタによってノイズを取り除くことが可能なシステムを構築

ノイズI/Qデータ

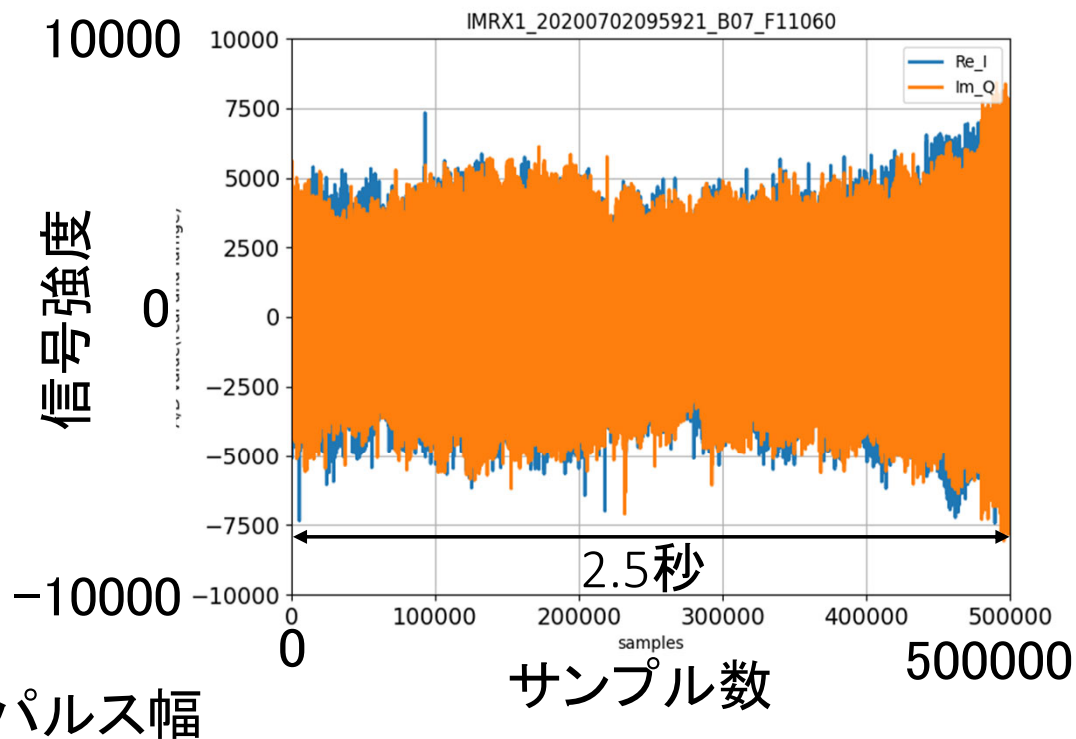
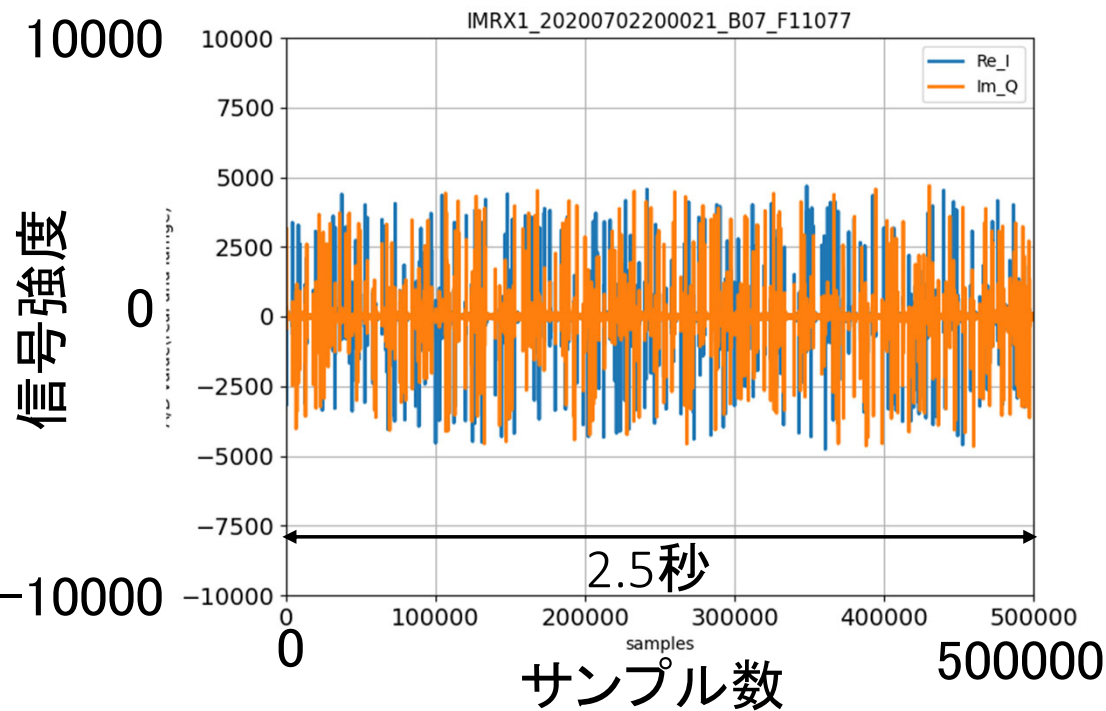
試験運用で得られたI/Qデータ

2020/07/02 20:00(UT)

ノイズの少ない環境

2020/07/02 09:59(UT)

ノイズの多い環境



300 μ s

サンプリングレート 200 kSample/s, 5 μ s/sample

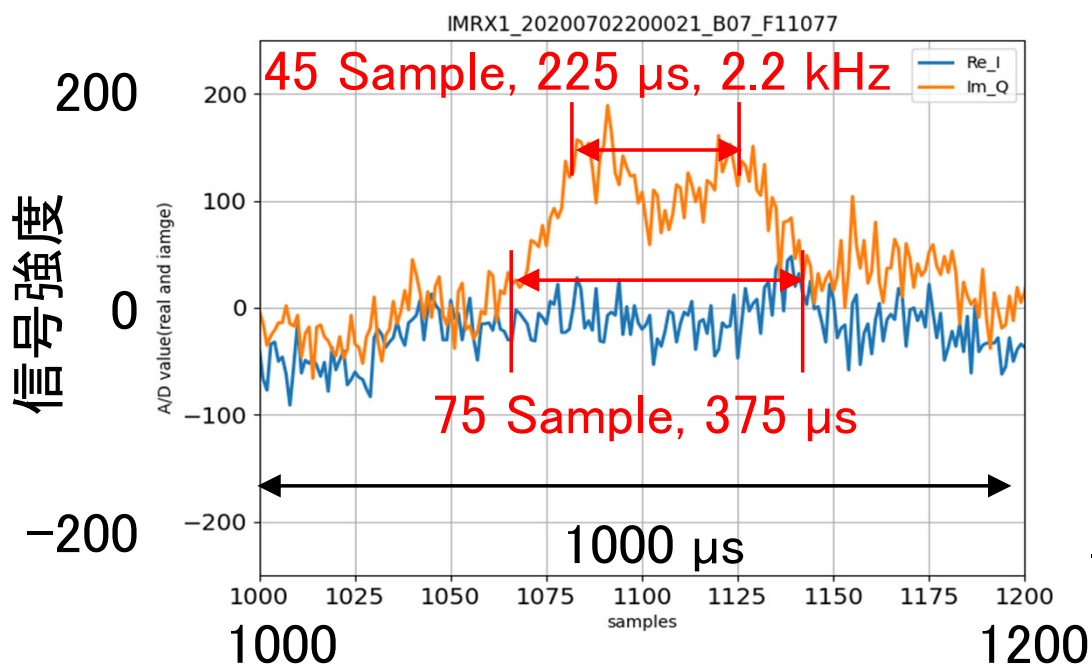
2025/03/21 九州大学 SUPERDARN研究集会



ノイズの詳細

ノイズの少ない環境のI/Qデータ

2020/07/02 20:00 (UT)



サンプル数

パルス幅

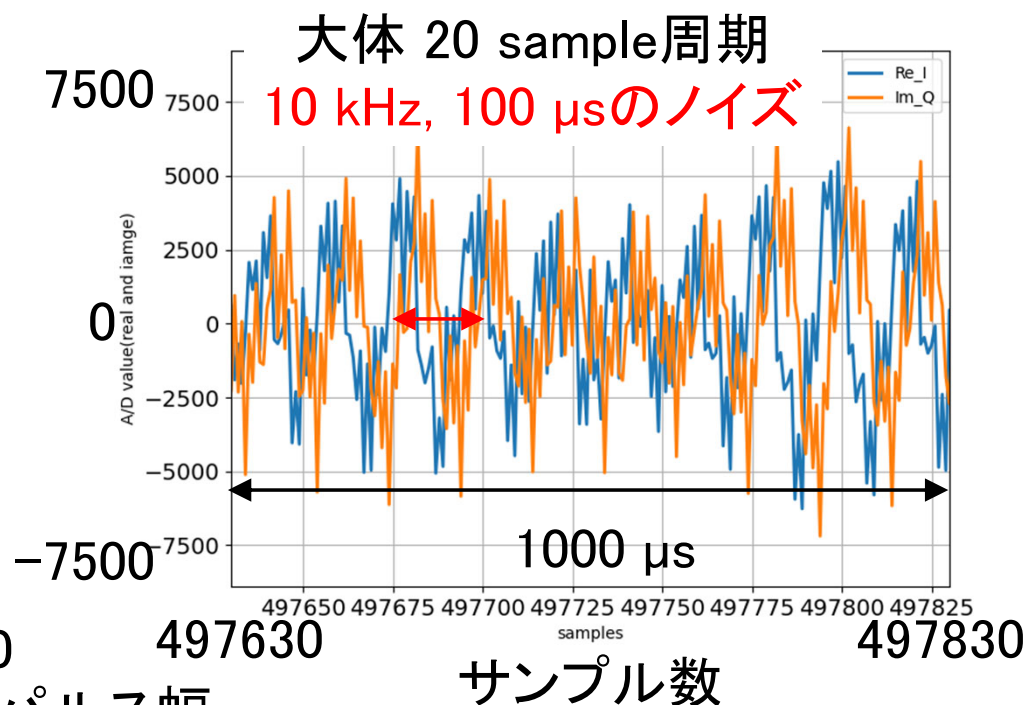
300 μs

サンプリングレート 200 kSample/s, 5 μs/sample

2025/03/21 九州大学 SUPERDARN研究集会

ノイズの多い環境のI/Qデータ

2020/07/02 09:59 (UT)



サンプル数



10

実装したローパスフィルタ

実装したフィルタの仕様

通過域端周波数

$$f_p = 5.0 \text{ kHz}$$

阻止域端周波数

$$f_s = 6.0 \text{ kHz}$$

カットオフ周波数

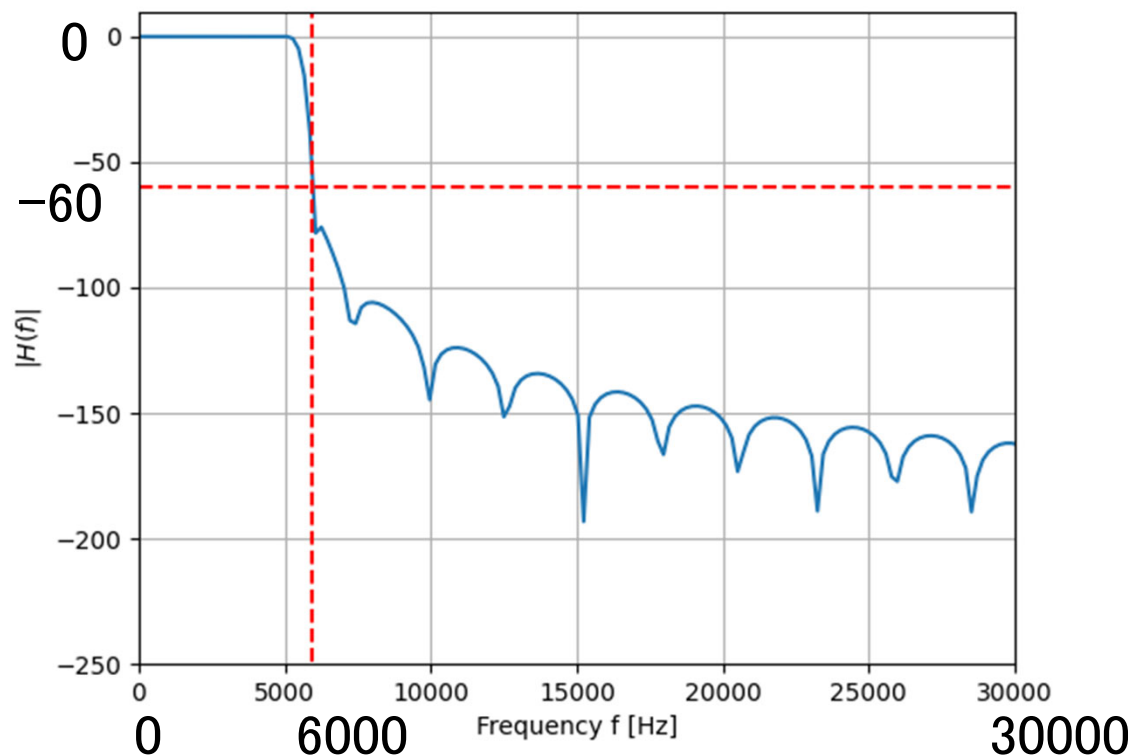
$$f_{\text{cutoff}} = 5.5 \text{ kHz}$$

減衰量 (ブラックマン窓で実装)

$$A_s = -20 \log_{10} \frac{10}{10000} [\text{dB}] = 60 [\text{dB}]$$

実装したフィルタの周波数特性

振幅特性 $-|H(f)|$ [dB]

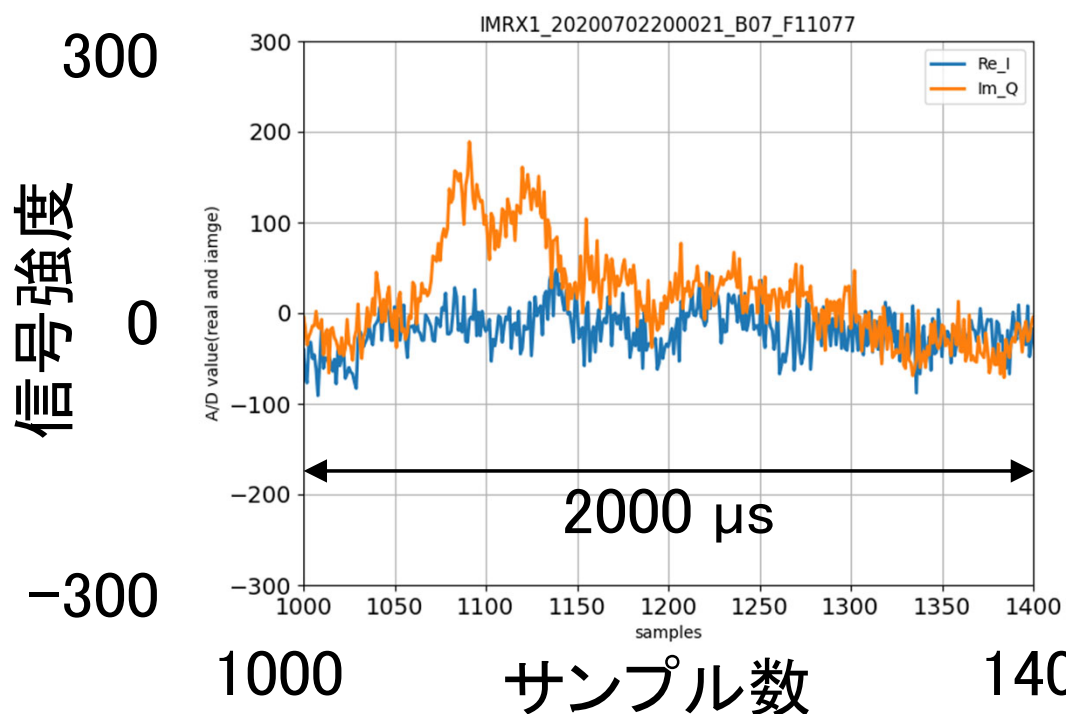


周波数 f [Hz]

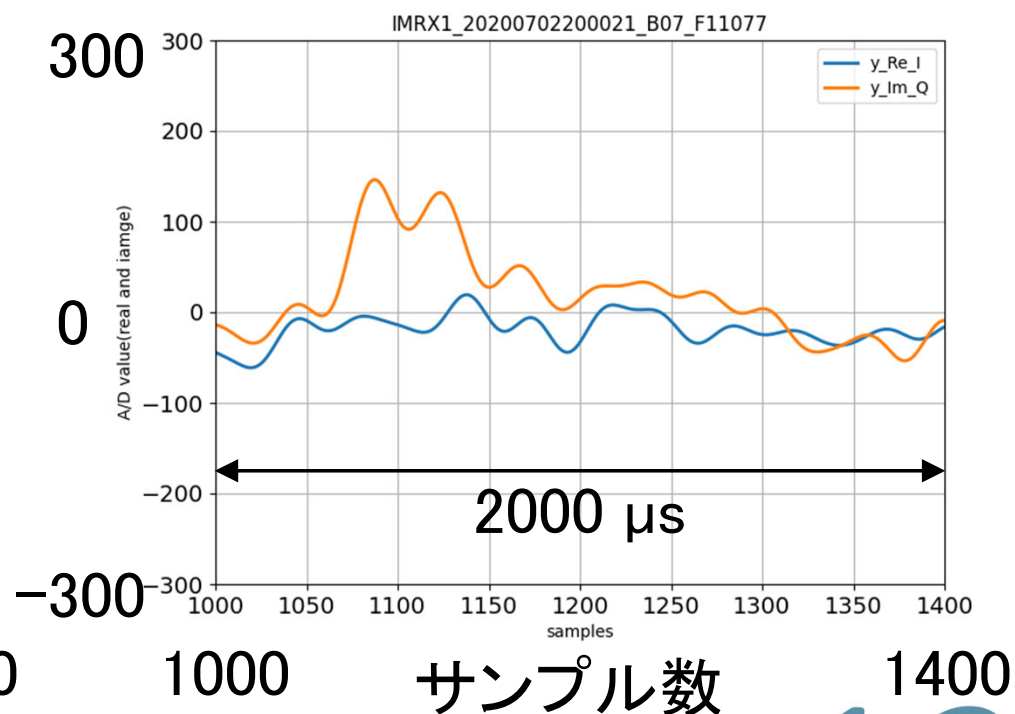
実装したローパスフィルタの結果

ノイズが小さい環境のIQデータの結果 2020/07/02 20:00 (UT)

フィルタ前



フィルタ後

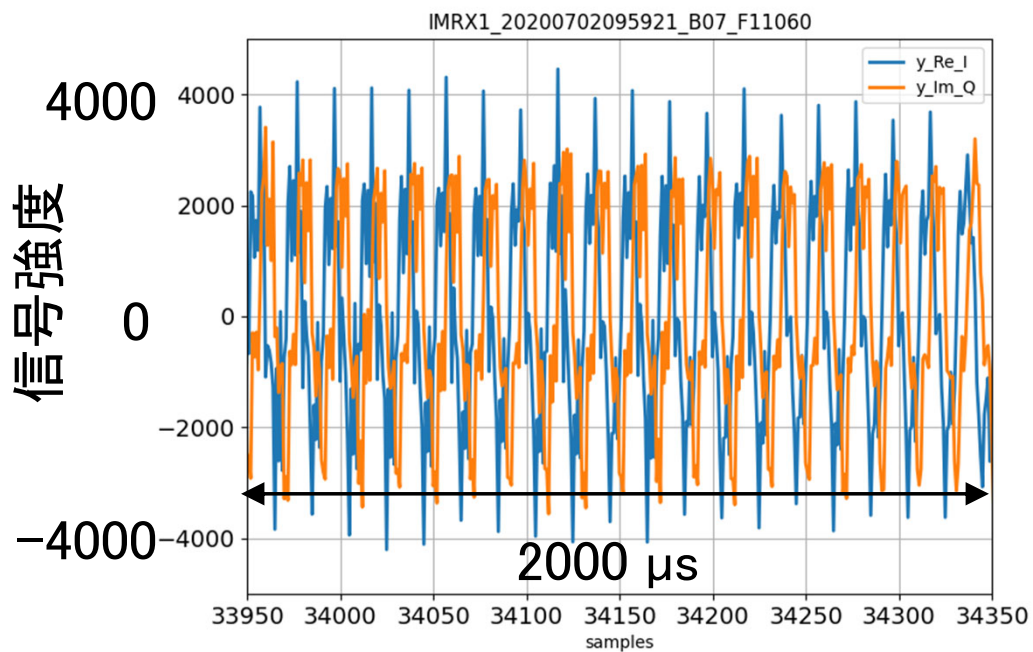


実装したローパスフィルタの結果

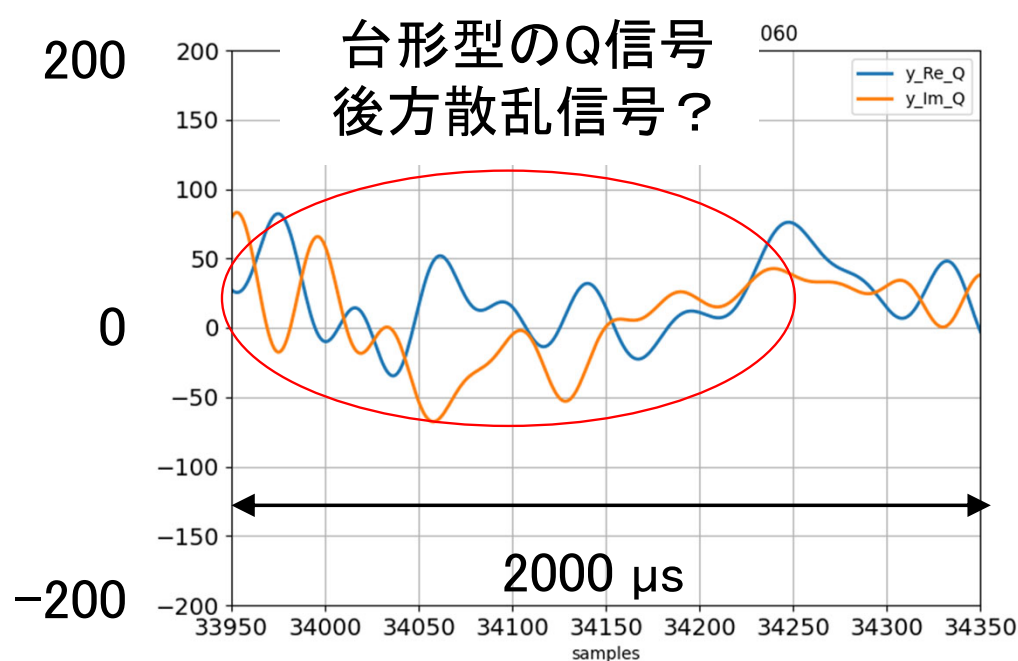
ノイズが大きい環境のI/Qデータの結果 2020/07/02 09:59 (UT)

フィルタ前

フィルタ後



サンプル数

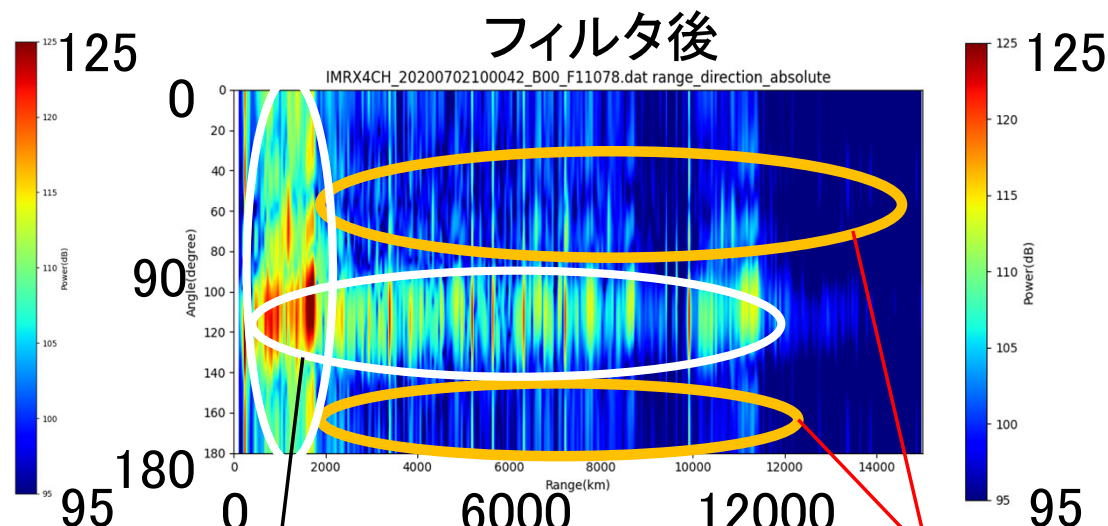
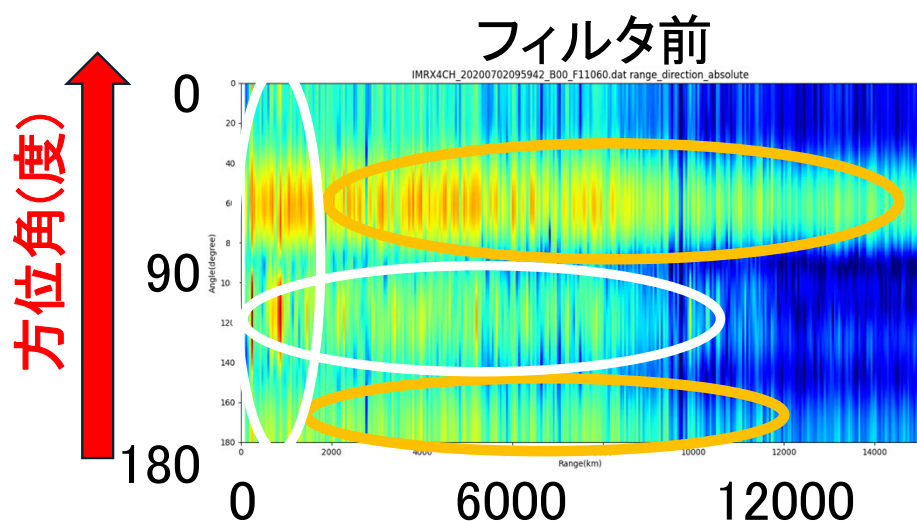


台形型のQ信号
後方散乱信号？

サンプル数

ローパスフィルタの電力分布への影響

ノイズが大きい環境2020/07/02 09:59 (UT)の受信電力分布の結果



受信すべき信号

ノイズが消えた

距離(km)

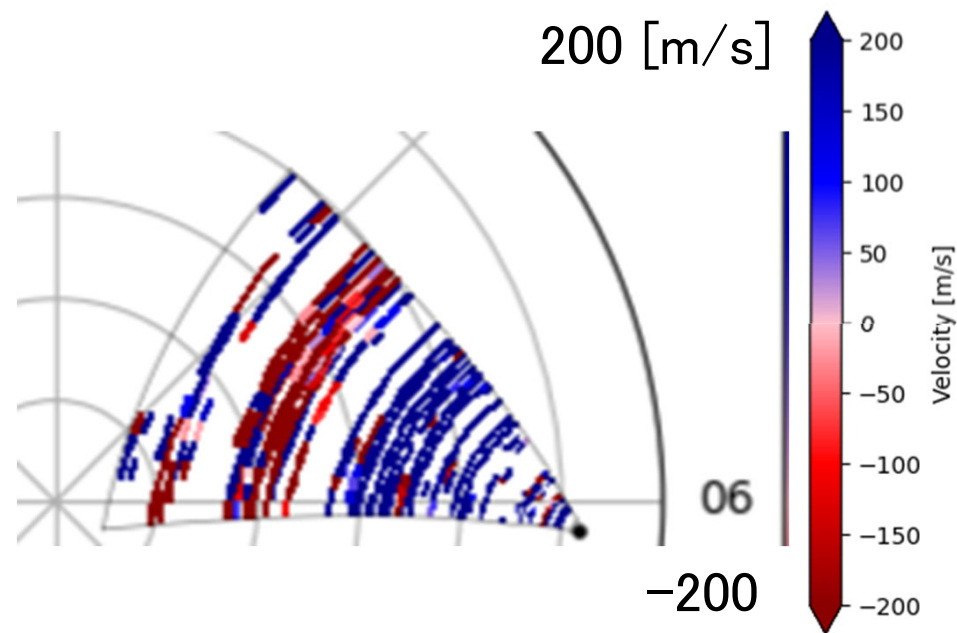
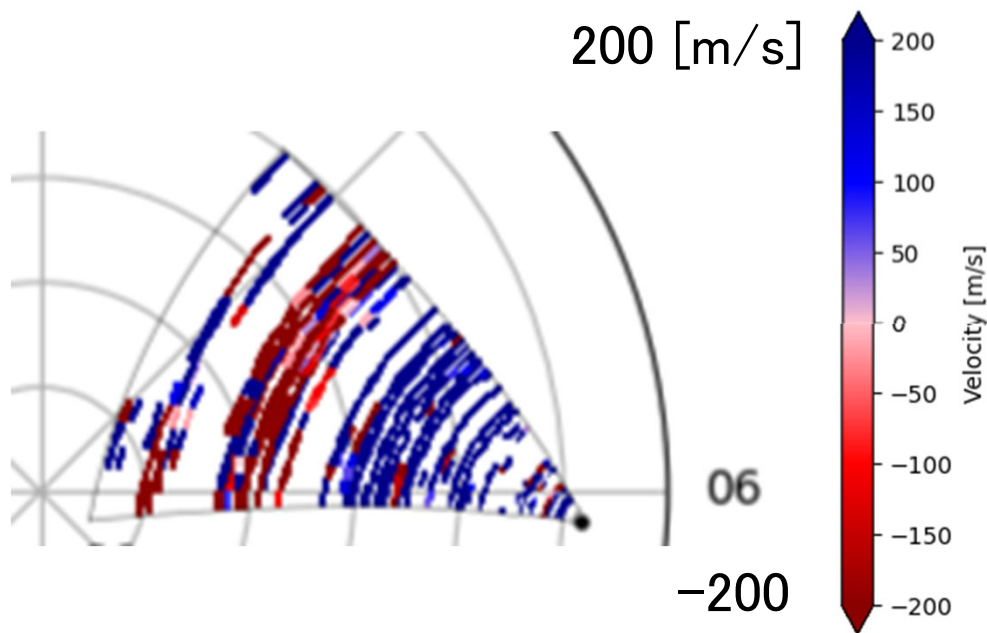
距離(km)

ローパスフィルタのドップラー速度への影響

ノイズが小さい環境のドップラー速度プロット 2020/07/02 20:00 (UT)

フィルターなし

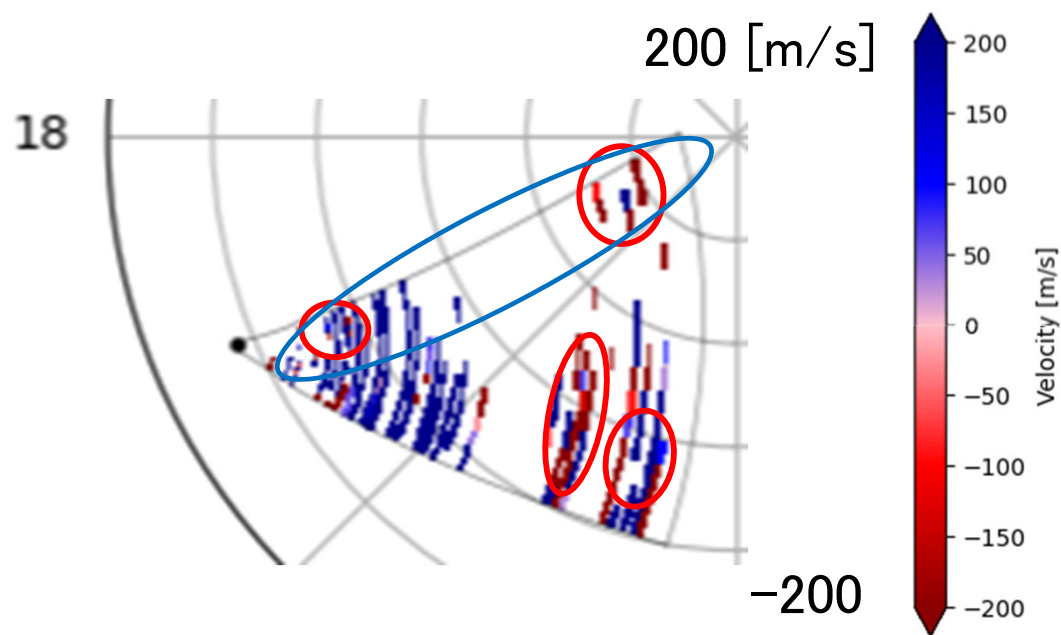
フィルターあり



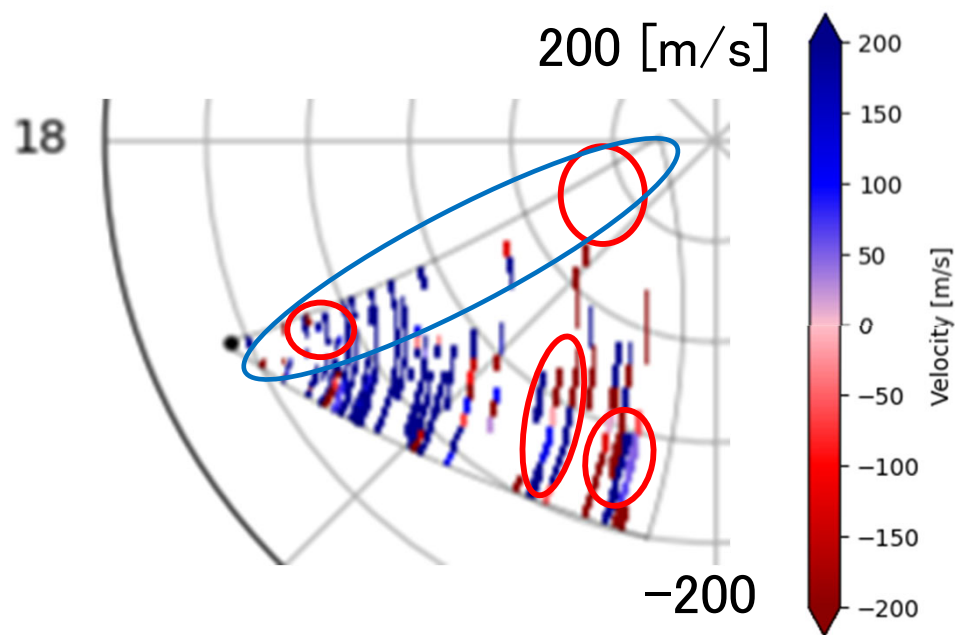
ローパスフィルタのドップラー速度への影響

ノイズが大きい環境のドップラー速度プロット 2020/07/02 09:59 (UT)

フィルターなし



フィルターあり



まとめ・今後の方針

まとめ・結論

- 通過域端周波数5000 Hz、阻止域端周波数6000 Hzのローパスフィルタによりノイズを除去できた
- フィルタによる後方散乱信号崩れの影響は受信電力分布の結果では見られなかった

今後の方針

- ドップラー速度の結果のフィルタによって切り落とされた信号がノイズであるかの検証
- 4chで正常に機能したデータ処理ソフトウェアを20chで実装し、高速かつノイズに強い独自システムを構築する