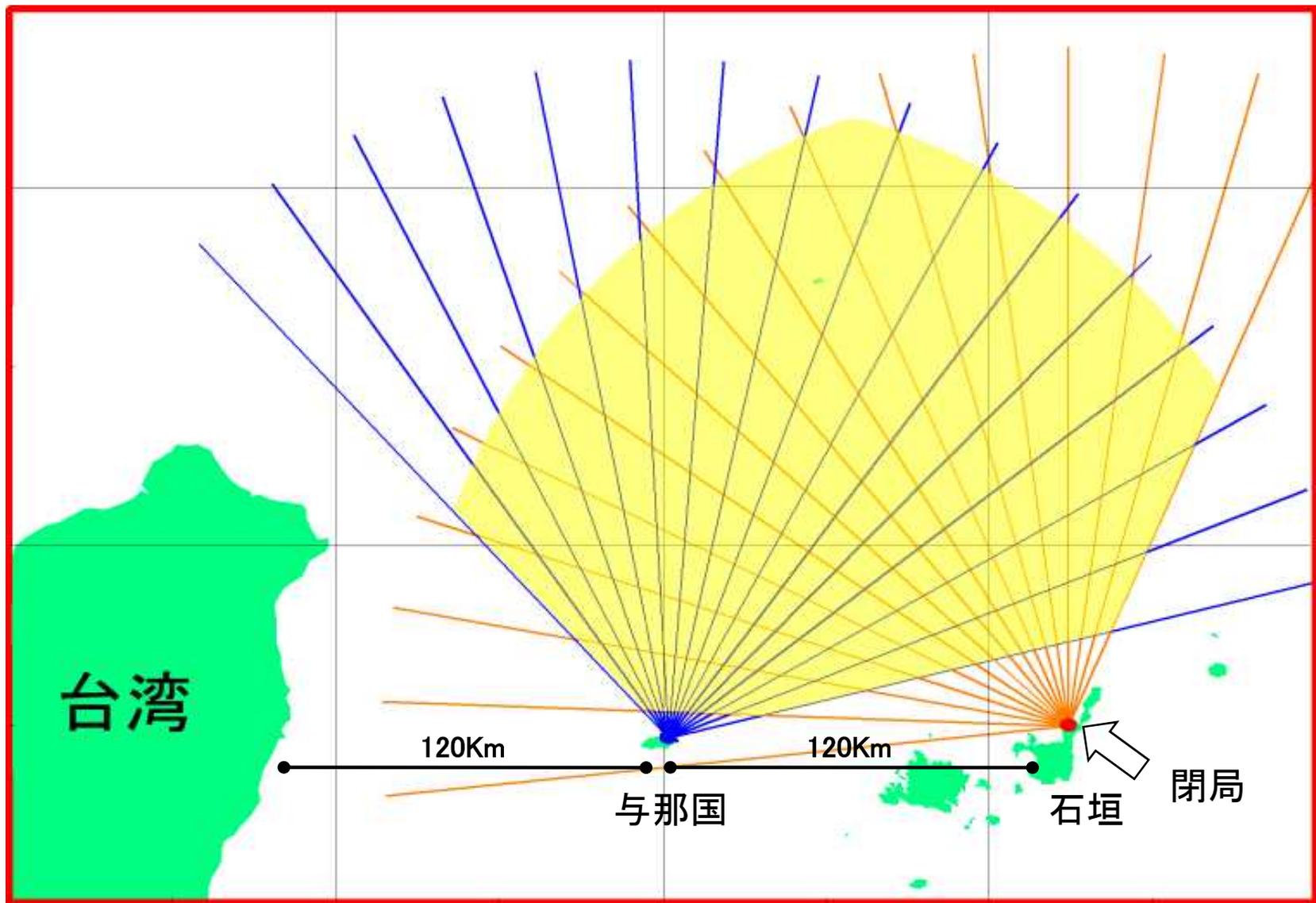


与那国における海洋レーダの バイスタティック受信実験

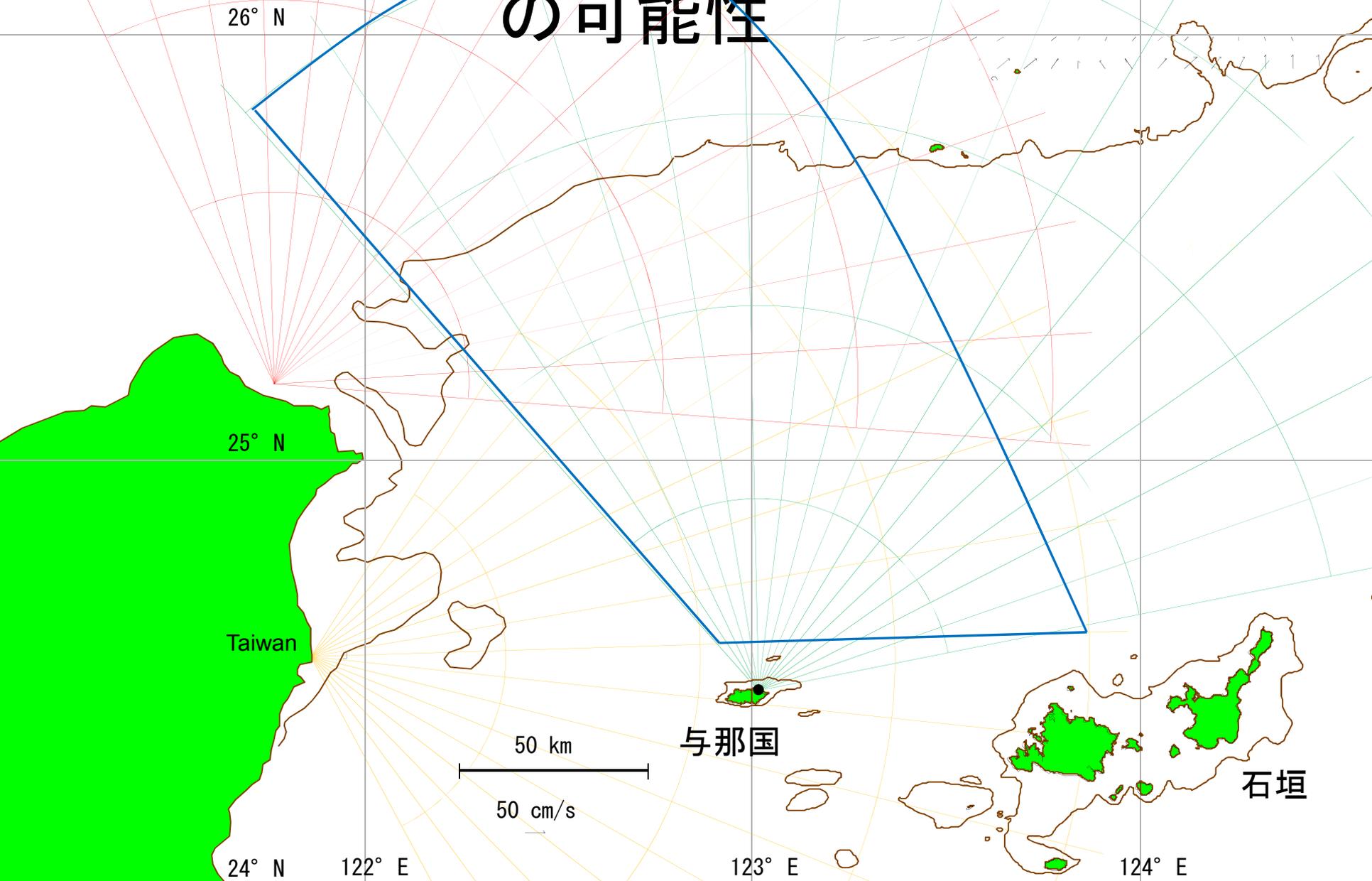
観測準備： 2011年9月13日～9月15日
観測期間： 2011年9月20日～9月22日

川村 誠治, 杉谷 茂夫, 岩井 宏徳, 花土 弘
情報通信研究機構

パッシブ型バイスタティック受信実験 in 与那国



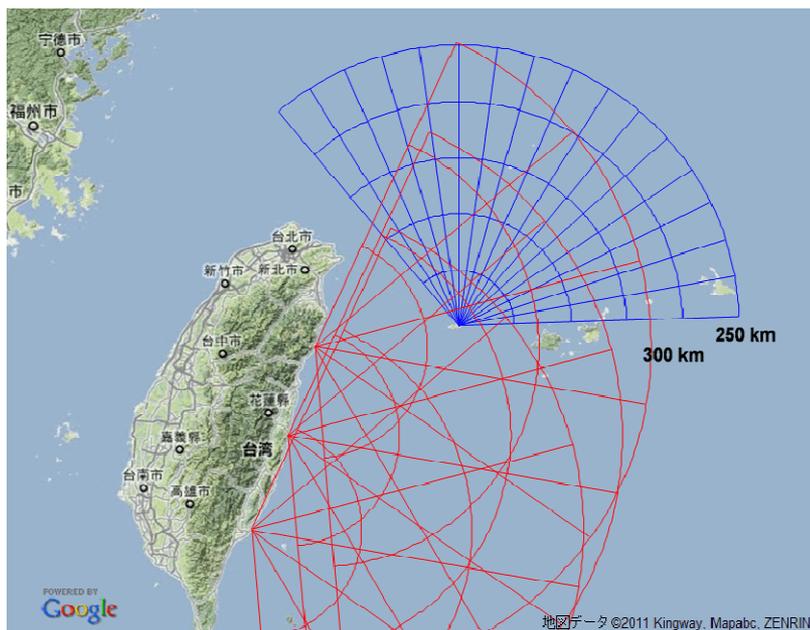
台湾の海洋レーダとのバイスタティック受信の可能性



台湾レーダからのバイスタティック散乱波受信実験@与那国

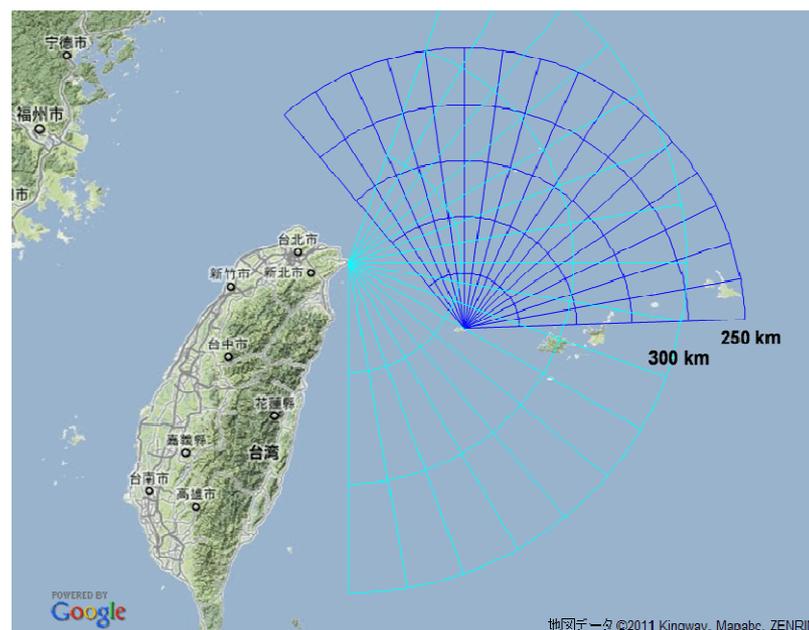
観測準備: 2011年9月13日~9月15日

観測期間: 2011年9月20日~9月22日



赤: TORI定常観測
中心周波数: 4.58 MHz

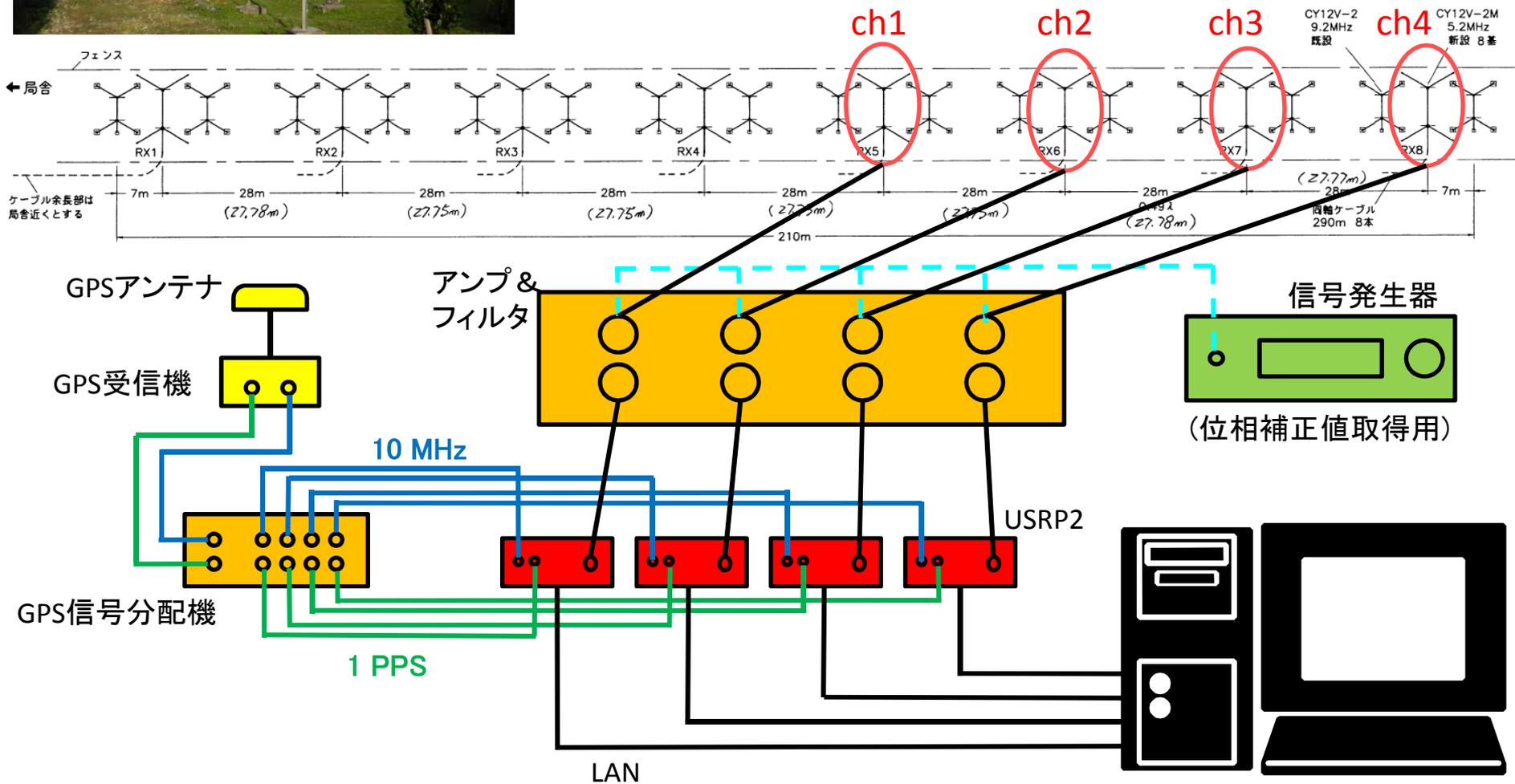
青: NICT海洋レーダ



水色: TORIテスト観測
(2011/09)
中心周波数: 4.58 MHz



バイスタティック受信システム概略図



USRP2の概要

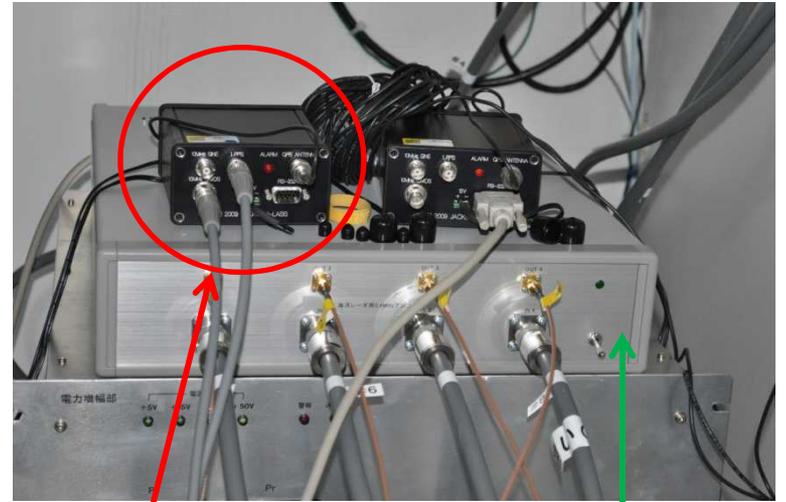
- USRP2は直接RFのフロントエンドとして動作し計算機への橋渡しをするA/DおよびD/Aコンバータとして動作
- USRP2 はオリジナルのUSRPにいくつかの機能を向上させた 2008年～
- 送受信信号処理はパソコン上のGNU Radio などでおこなう
- GNU Radio はフリーのソフト群 おもにLinux 上で動作するソフトが多い
- 信号処理パソコンとの接続にギガビットのイーサネット
- 外部基準信号に 10 MHz と 1 PPS を用いて時刻情報を付加できる
- 標準SDカードでコンフィグレーション情報を保持
- USRPのドータ・ボード (Basic RX/TX など) の付加が可能で動作周波数範囲が広い
- Basic RXの場合 ⇒ 1 ~ 200MHz 程度まで受信可能
- A/D 14-bit 100M サンプル/sec
- D/A 16-bit 400M サンプル/sec
- 25 MHz の最大帯域幅 (16-bit)
- Xilinx Spartan 3-2000 FPGA
- 約20万/1台(Basic TX/RX を含む)
- メモリ1 MByte SRAM



局舎内 写真



GPS信号分配機



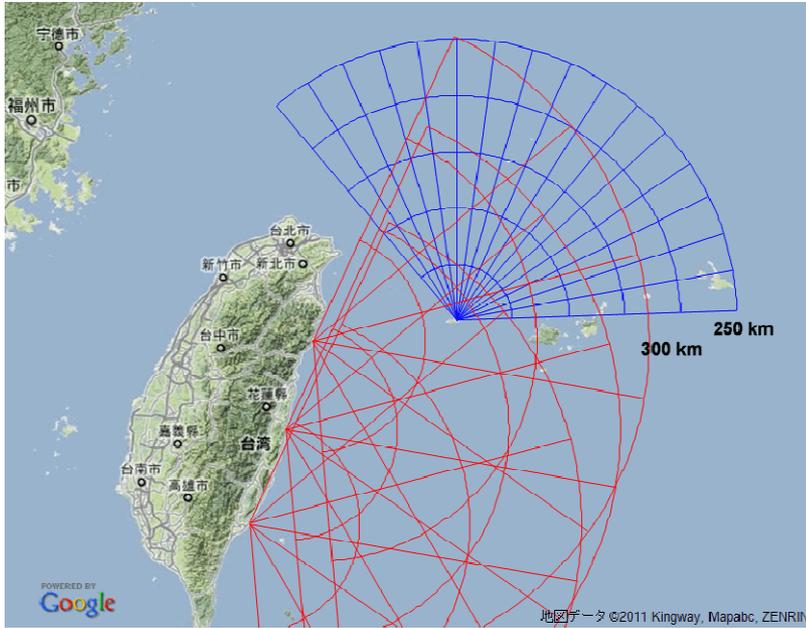
GPS受信機

アンプ&フィルタ

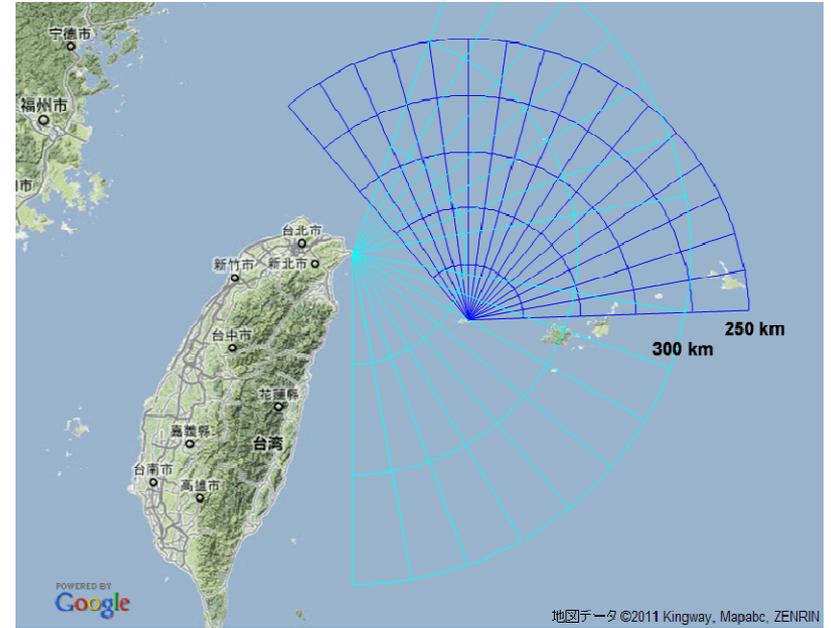


USRP2

台湾レーダからのバイスタティック散乱波受信実験@与那国



赤: TORI定常観測
中心周波数: 4.58 MHz



水色: TORIテスト観測
(2011/09)
中心周波数: 4.58 MHz

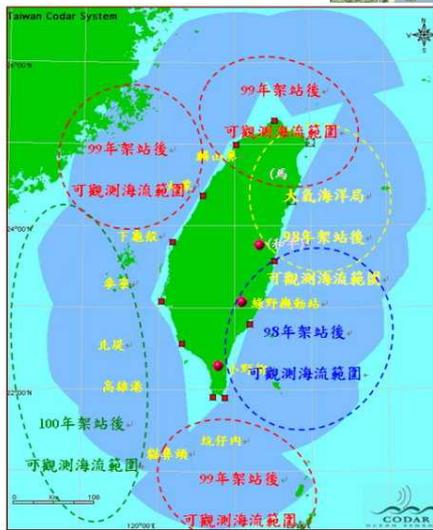
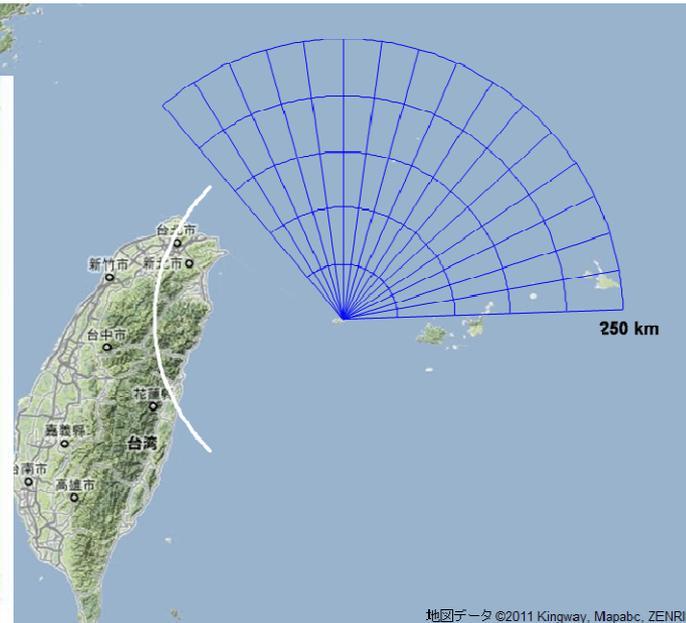


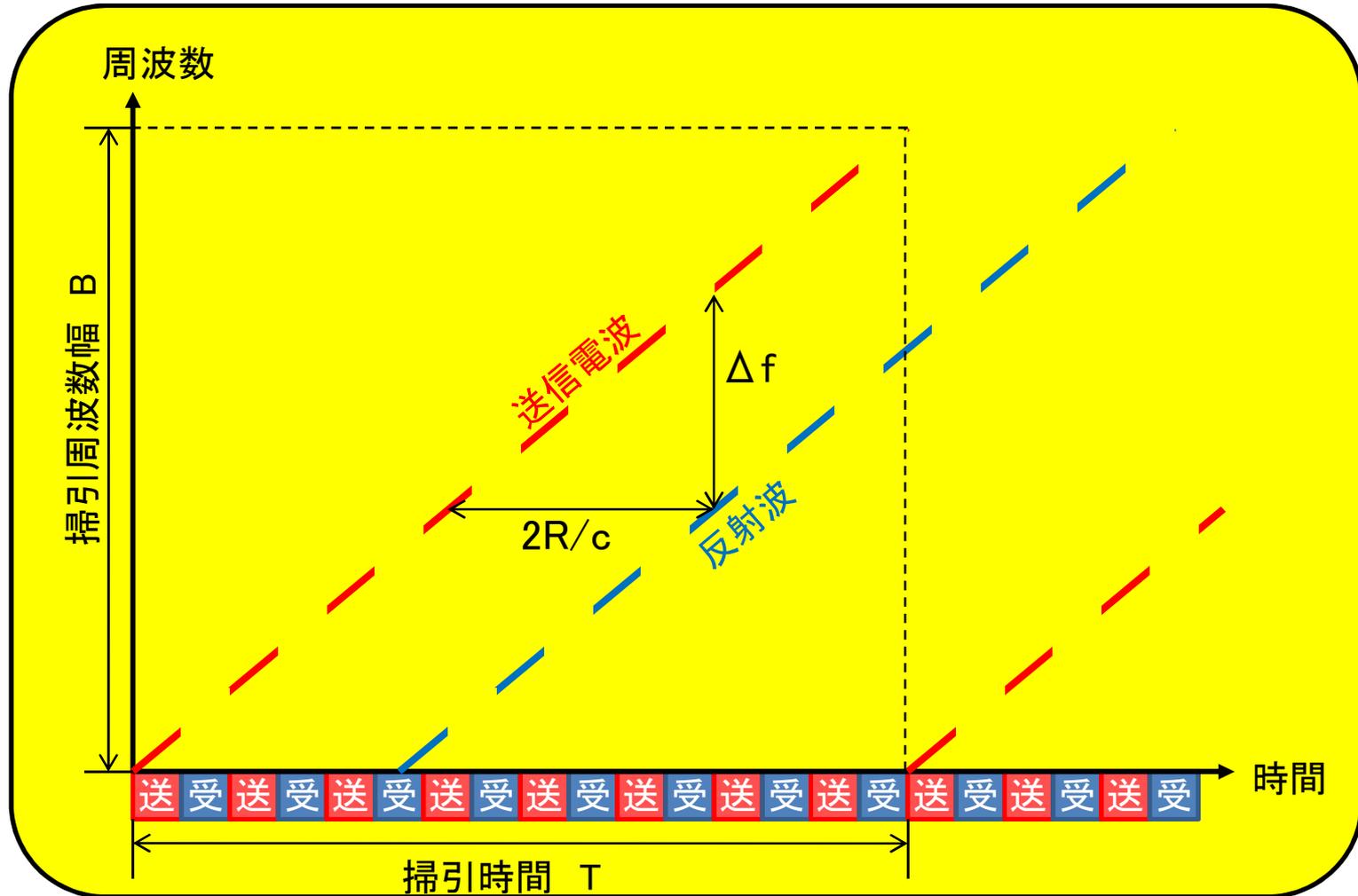
圖1: CODAR測流系統佈置規劃



青: NICT海洋レーダ

白: NICTサイトからレンジ
168km (0.56ms) の線
(台湾軍のレーダ?)
中心周波数: 4.388 MHz

海洋レーダ (FMICWレーダ) の観測原理

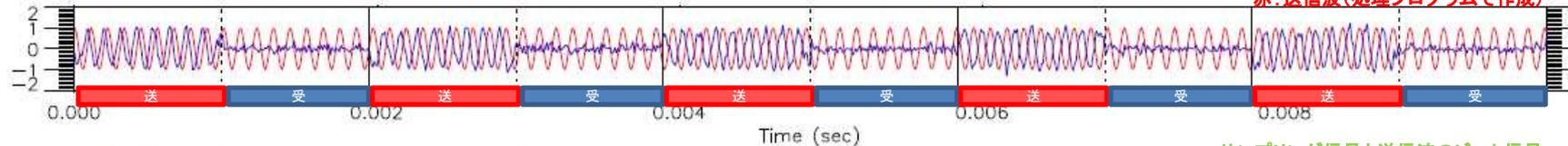


$$\text{レンジ: } R = \frac{c T}{2B} \Delta f$$

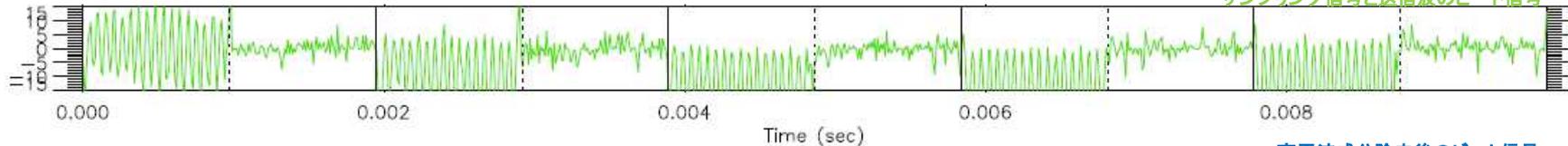
今回の台湾(軍?)レーダの場合
B: 4.388 MHz \pm 9.138 kHz (およその値)
T: 1秒
1掃引中の送受切替回数: 514回

海洋レーダ (FMICW) データ処理サンプル (4.388 MHz)

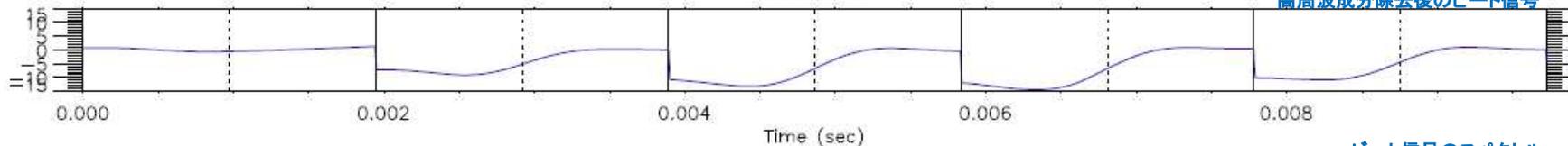
青: サンプル信号 (含む送信波)
赤: 送信波 (処理プログラムで作成)



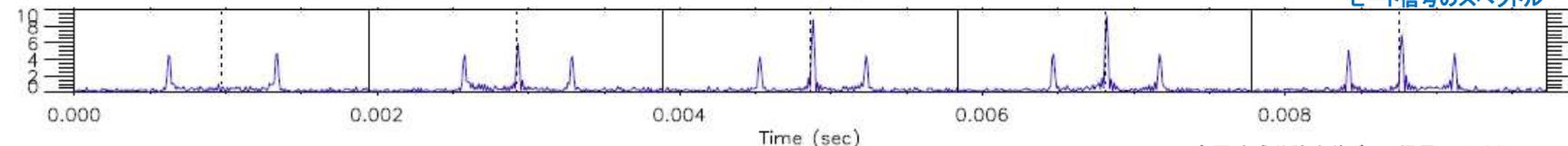
サンプリング信号と送信波のビート信号



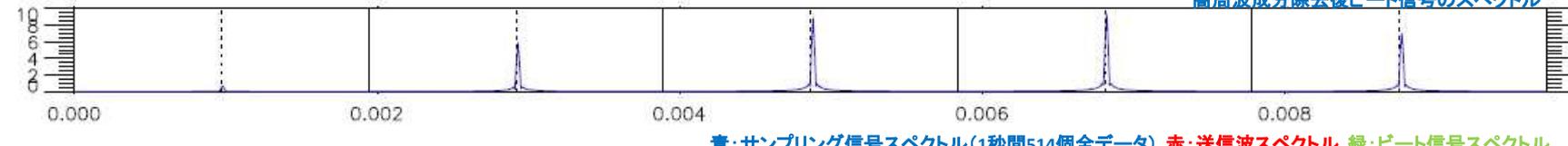
高周波成分除去後のビート信号



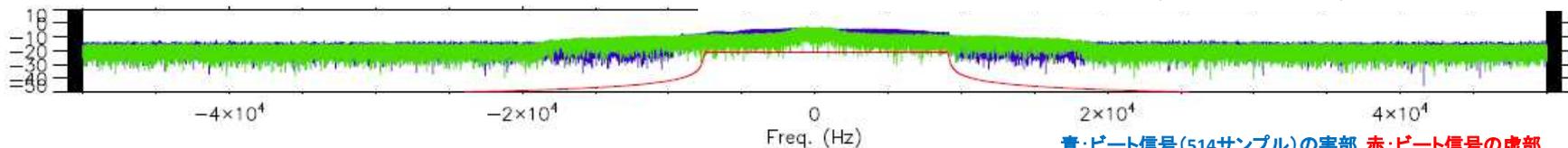
ビート信号のスペクトル



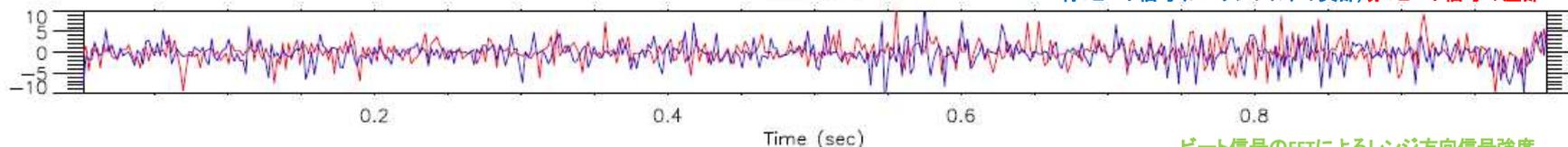
高周波成分除去後ビート信号のスペクトル



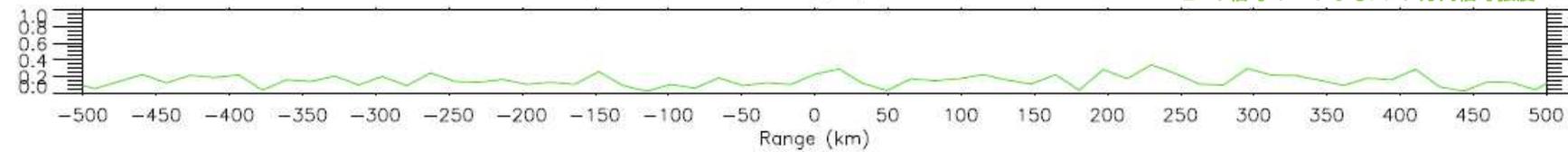
青: サンプル信号スペクトル (1秒間514個全データ), 赤: 送信波スペクトル, 緑: ビート信号スペクトル



青: ビート信号 (514サンプル) の実部, 赤: ビート信号の虚部

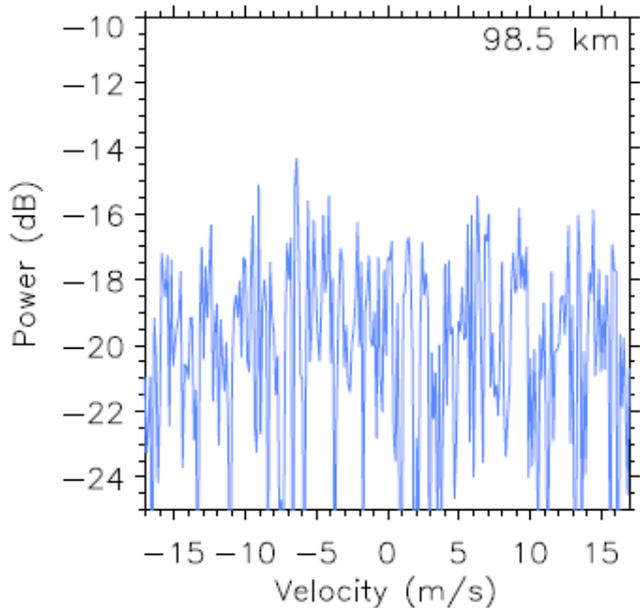


ビート信号のFFTによるレンジ方向信号強度

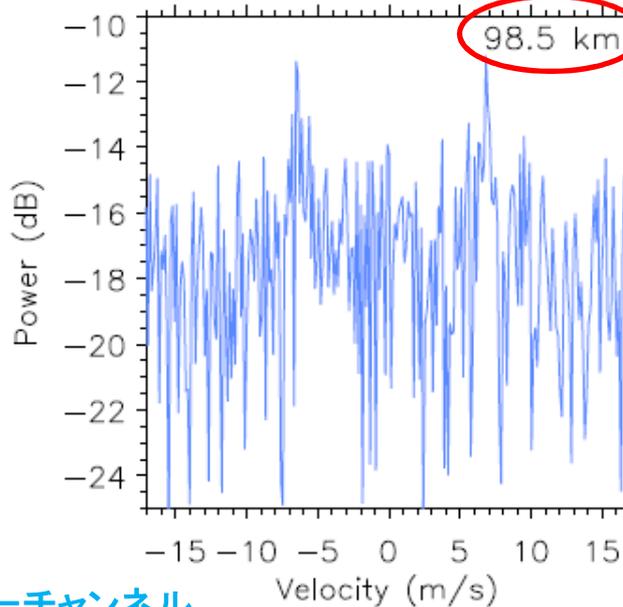


バイスタティック観測による波のドップラースペクトルの例 (4.388 MHz)

単一チャンネル

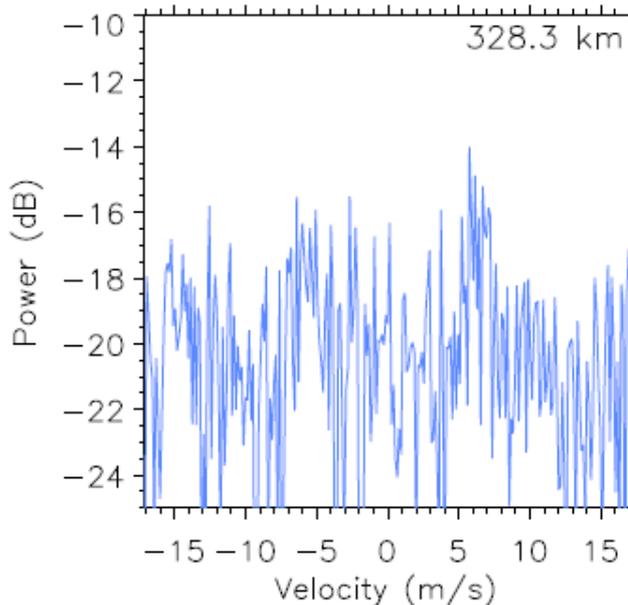


4チャンネル合成

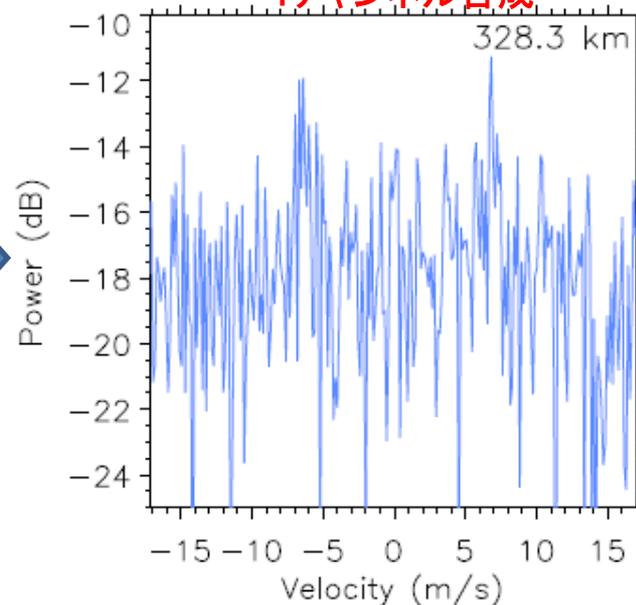


レンジ: レンジはバイスタタの経路長に相当するので要注意 (0は直達経路を差し引いてある)

単一チャンネル



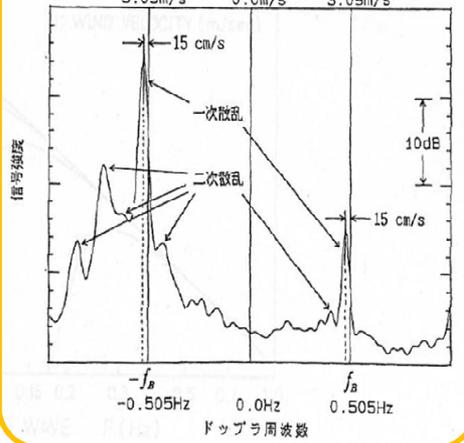
4チャンネル合成



海洋レーダで得られる一般的なスペクトル

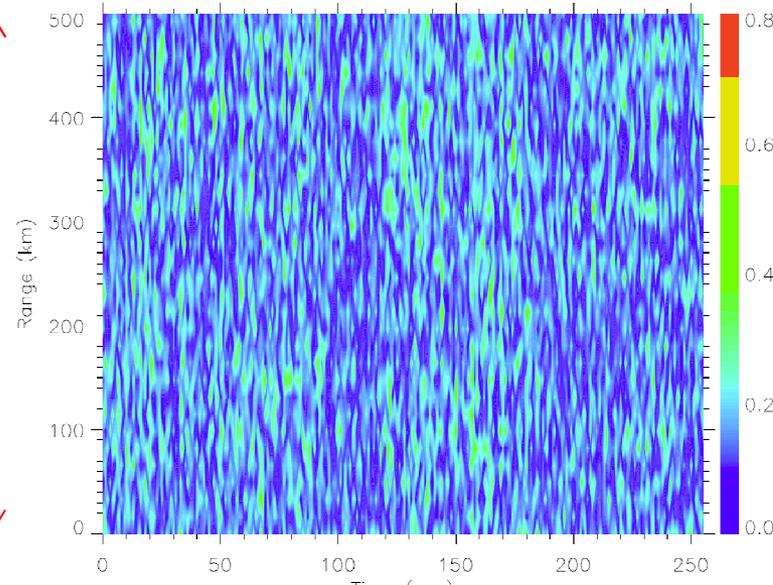
遠ざかる波 速度 向かってくる波

-3.09m/s 0.0m/s 3.09m/s

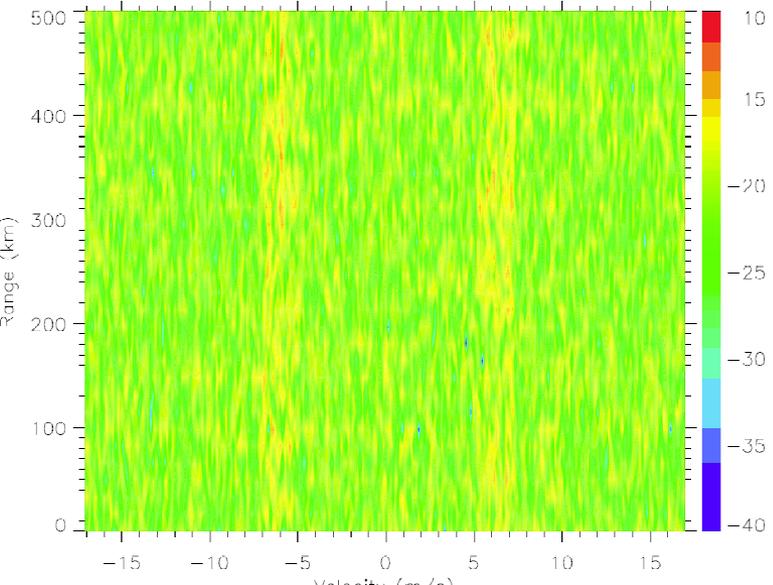


ドップラ周波数

レンジはバイスタの経路長に相当するので要注意
(0は直達経路を差し引いてある)



FFT



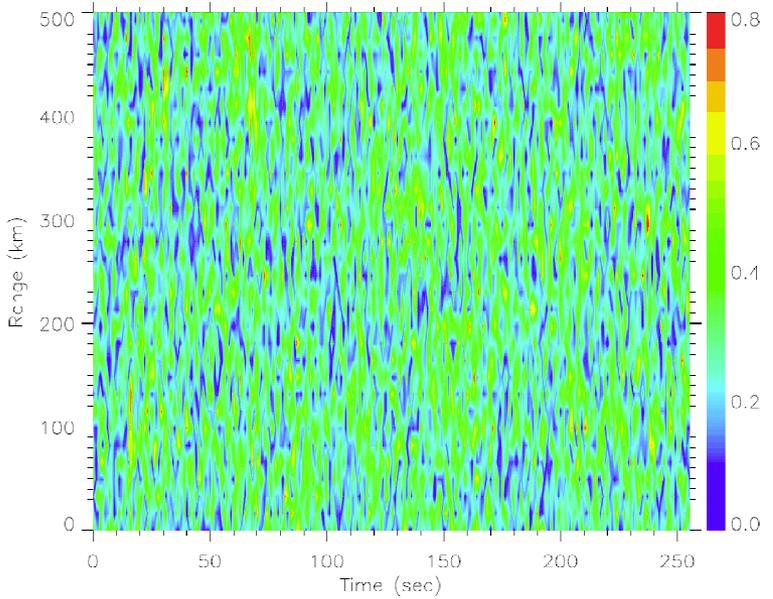
← 時系列 (256秒分) →

単一チャンネル

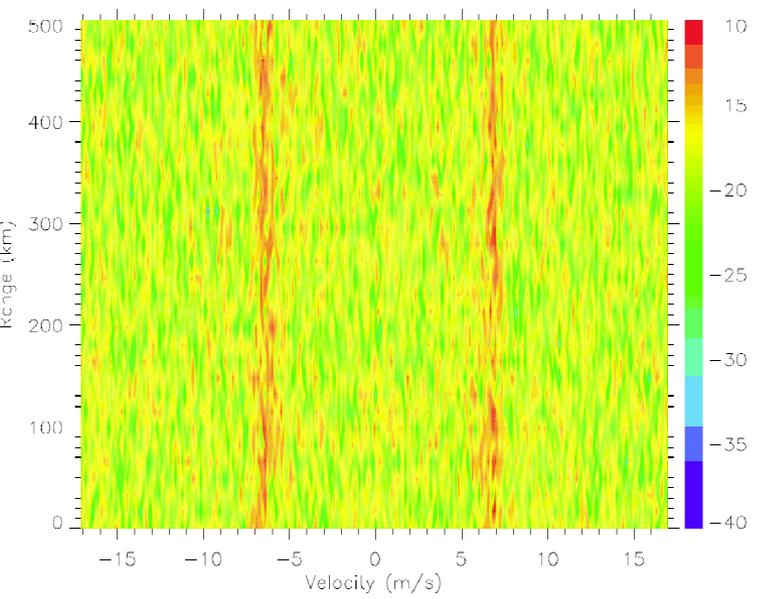
← ドップラー速度 →



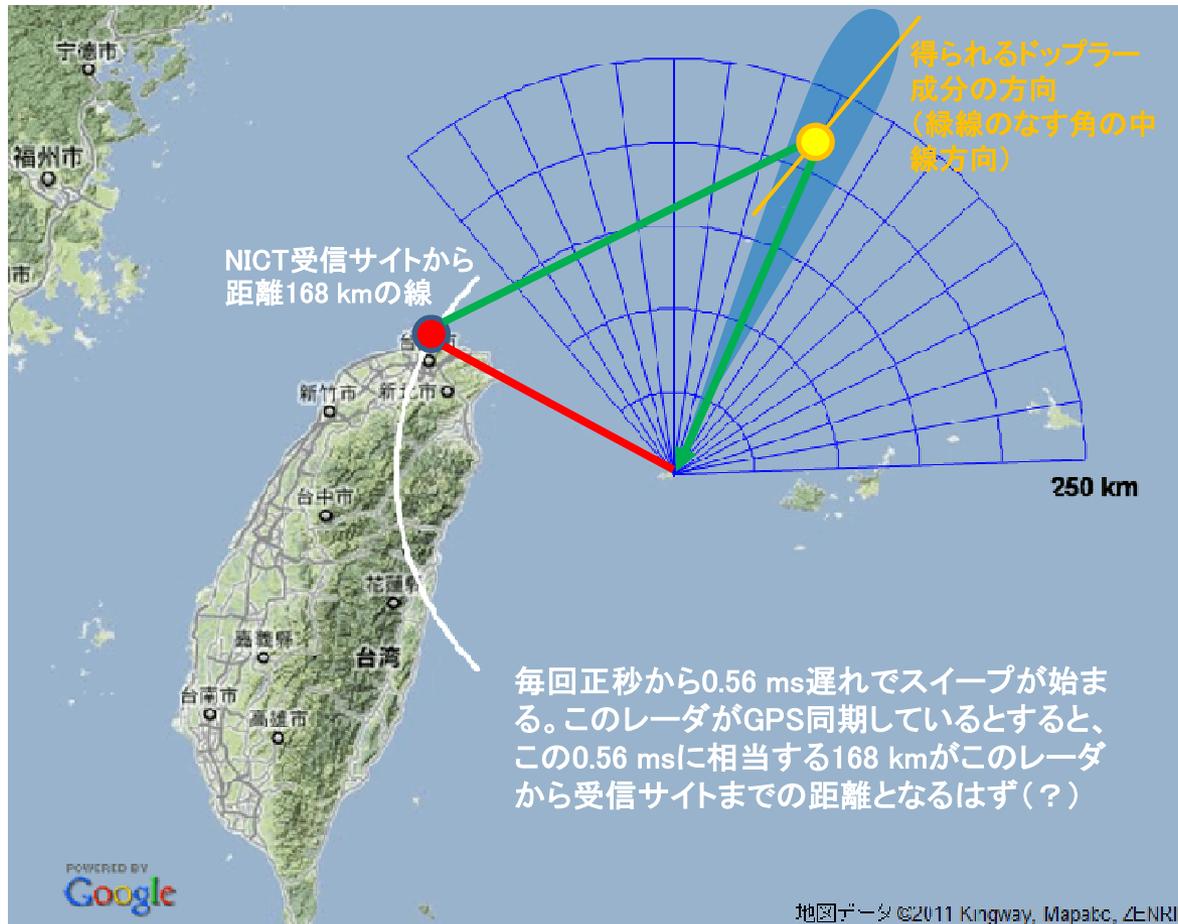
4チャンネル合成 2011/9/21 13時41分47秒



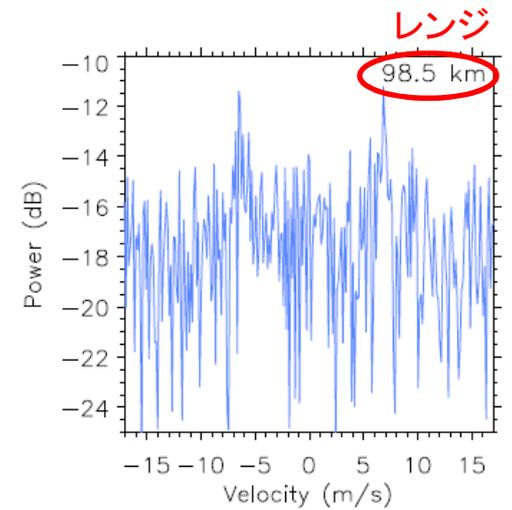
FFT



台湾レーダからのバイスタティック散乱波受信実験@与那国



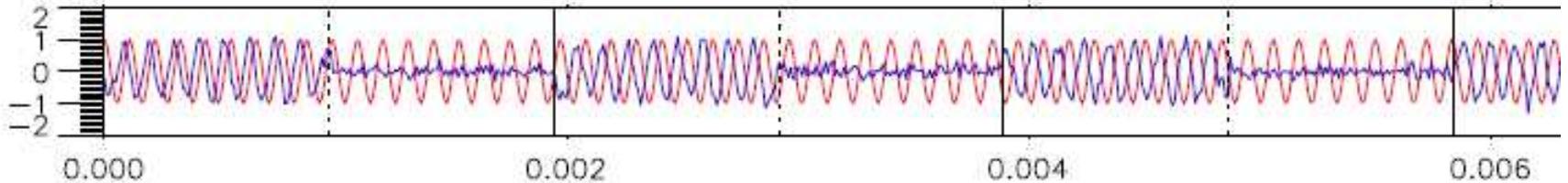
今回の台湾レーダの場合
B: 4.388 MHz ± 9.138 kHz (およその値)
T: 1秒
1掃引中の送受切替回数: 514回



もし相手方レーダがこの位置(●)だったとすると、観測位置は例えば(●)。
この位置のレンジは(赤線-緑線)の長さとなる。

送信波の再現問題

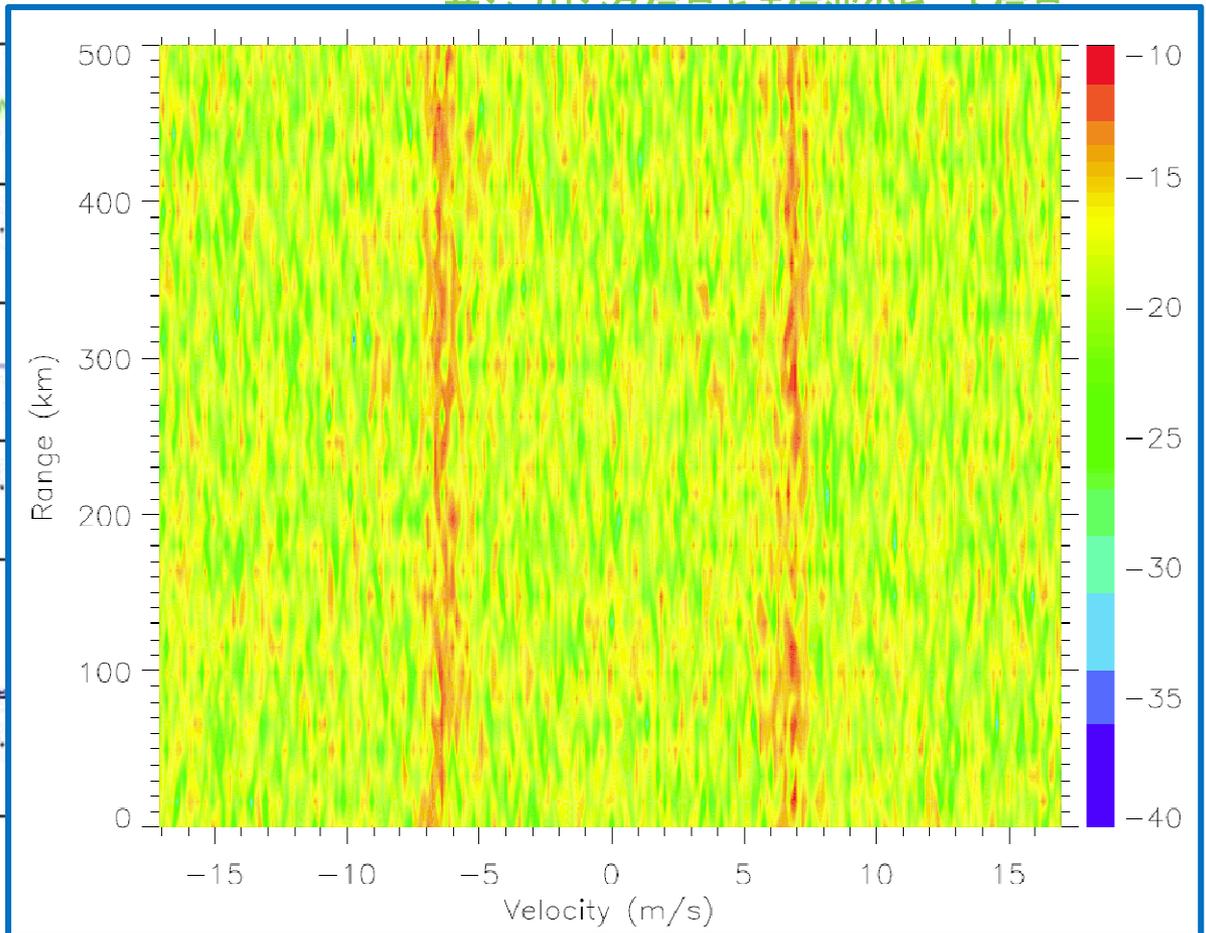
青: サンプル信号(含む送信波)
赤: 送信波(処理プログラムで作成)



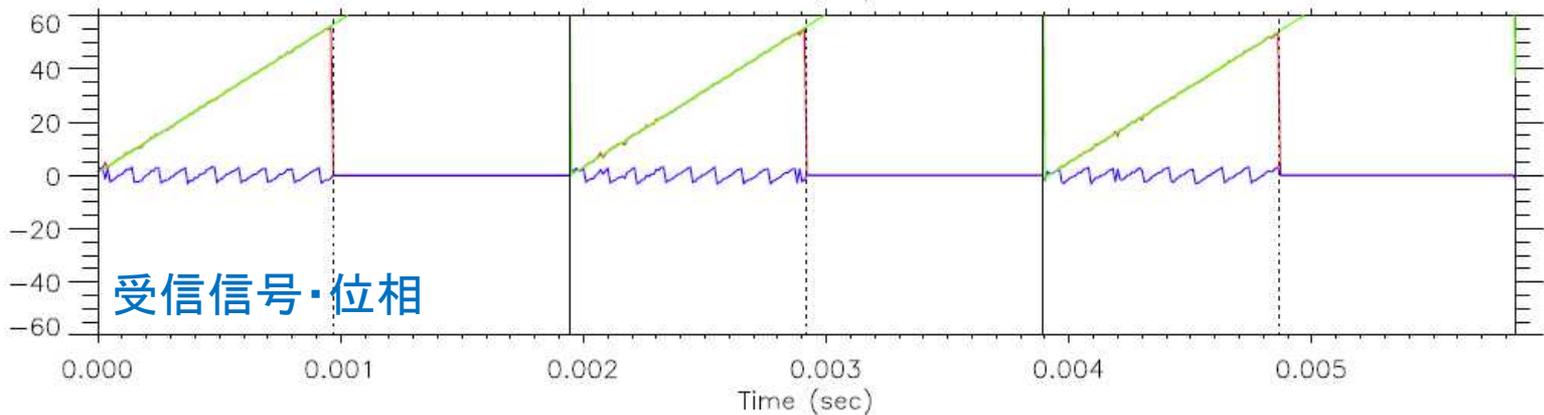
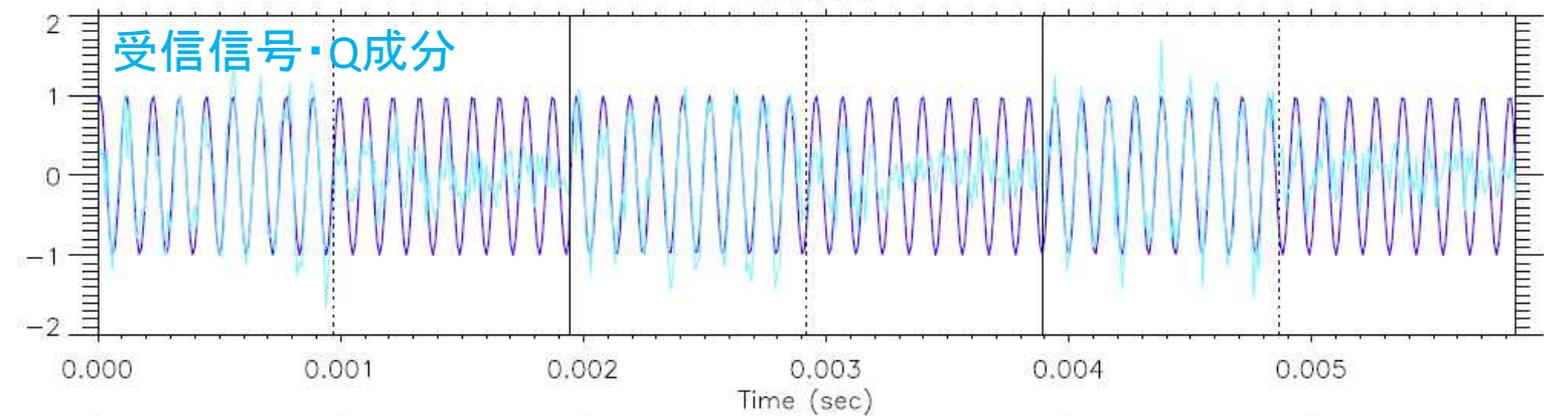
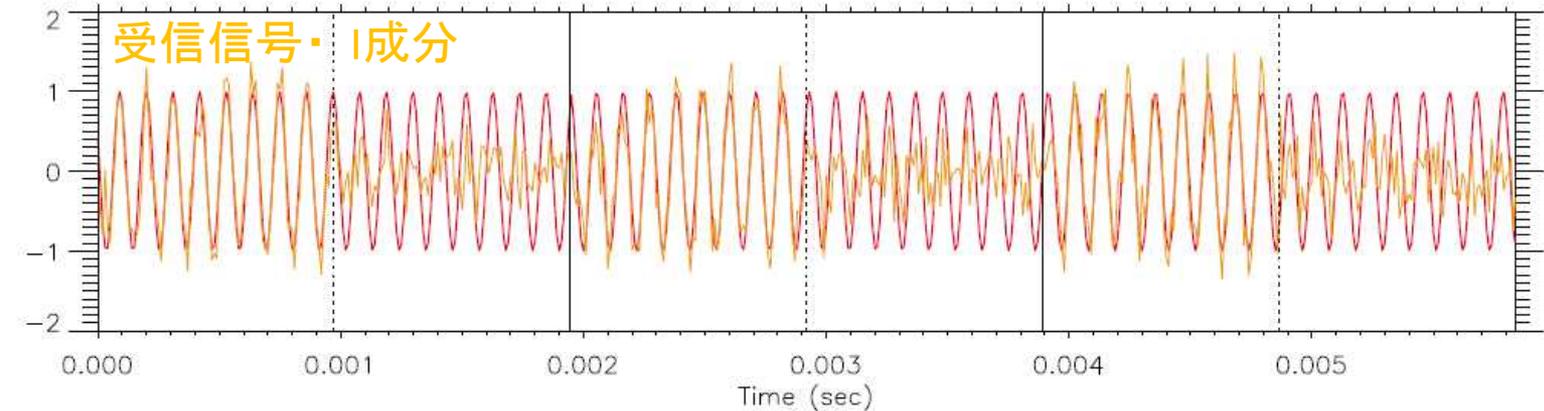
バイスタでは受信側は送信波形を持っていないので、直達波から送信波を再現しなければならない。

送信波の周波数がきれいに再現できなければ、ビートを取って得られる周波数差(=レンジ)がおかしくなる。

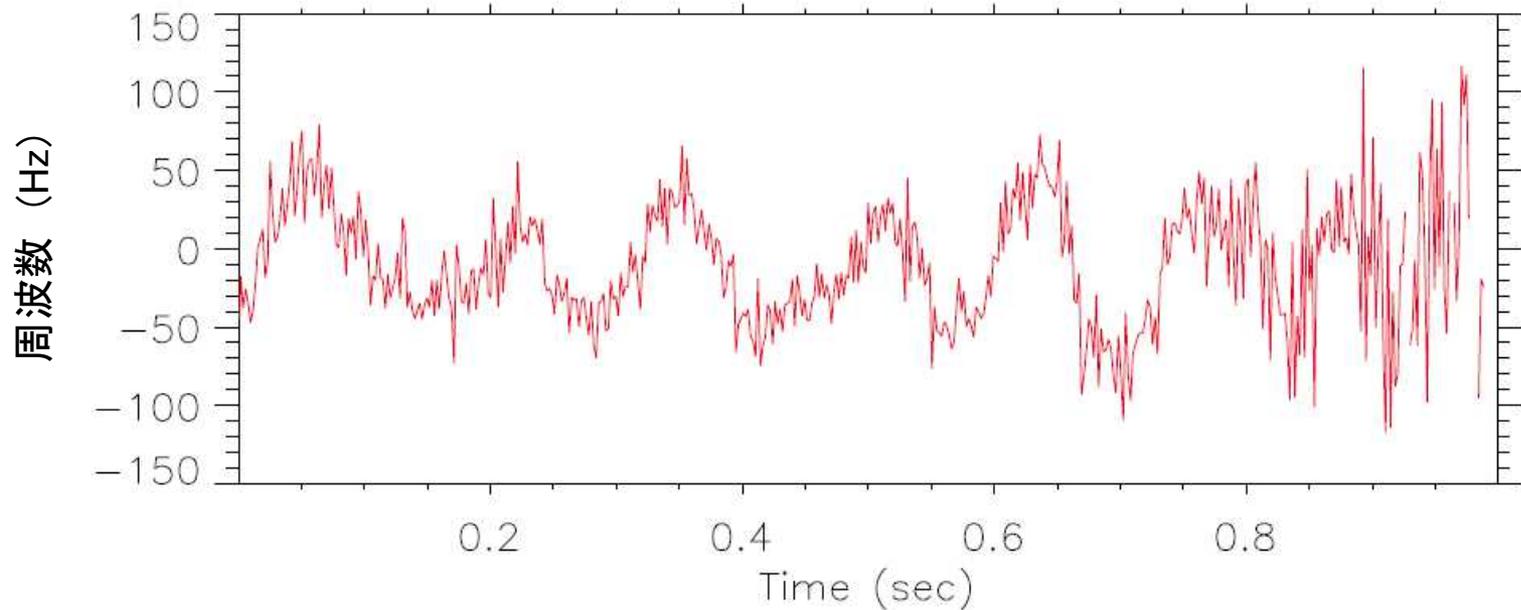
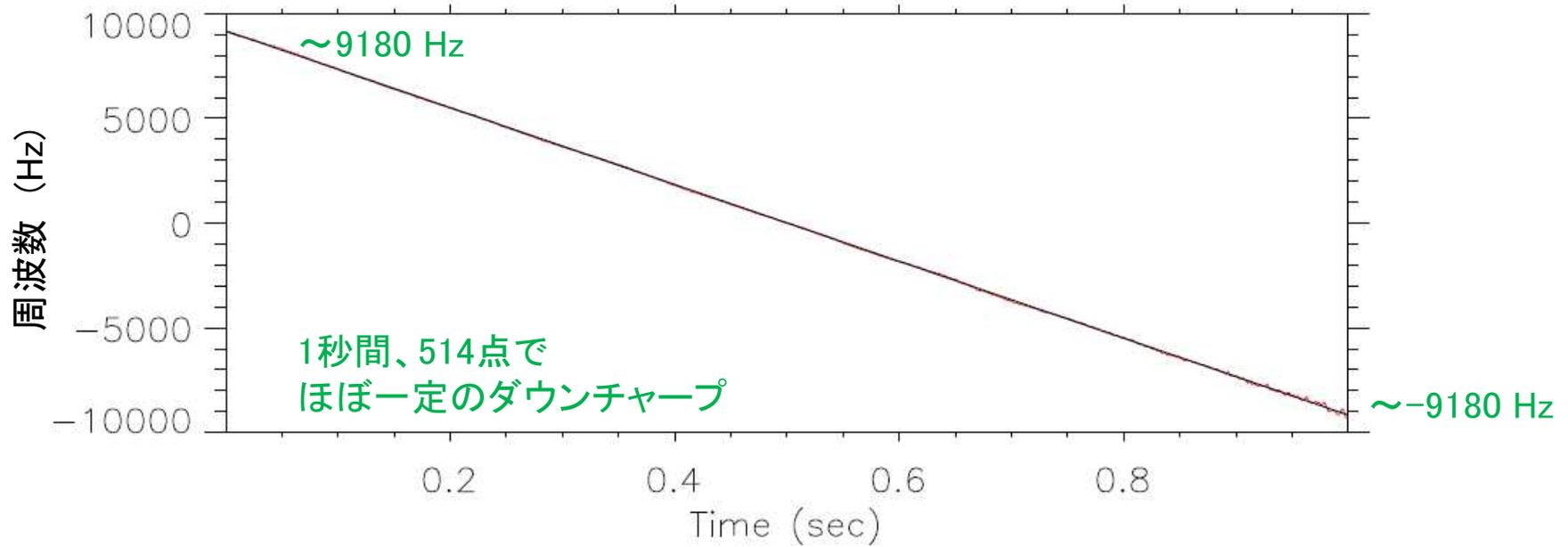
実際、右のスペクトルはレンジ分解できていなさそうに見える。



送信波の再現 —受信直達波から—

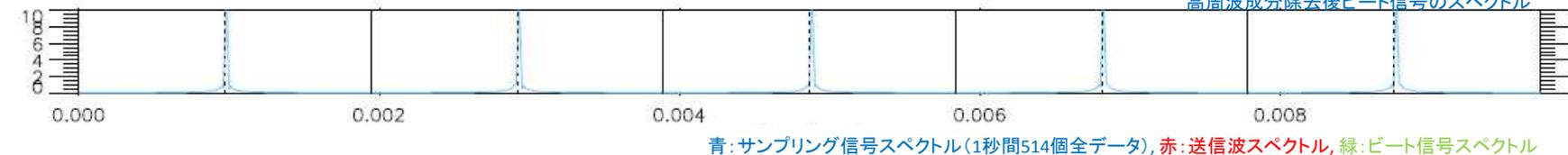
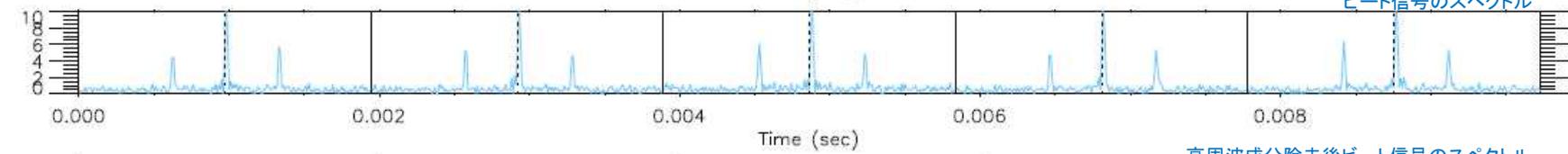
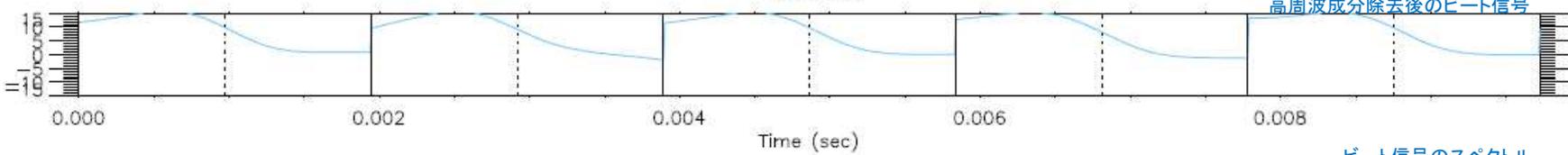
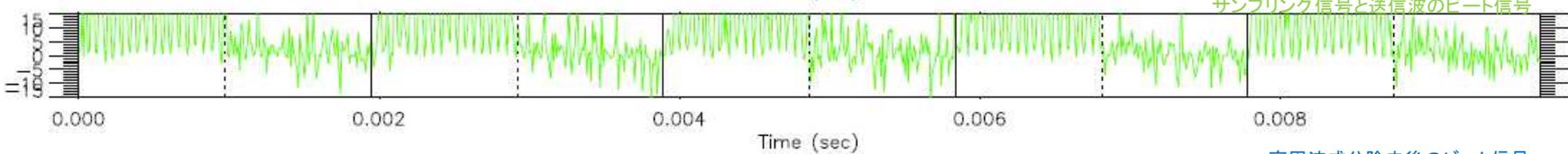
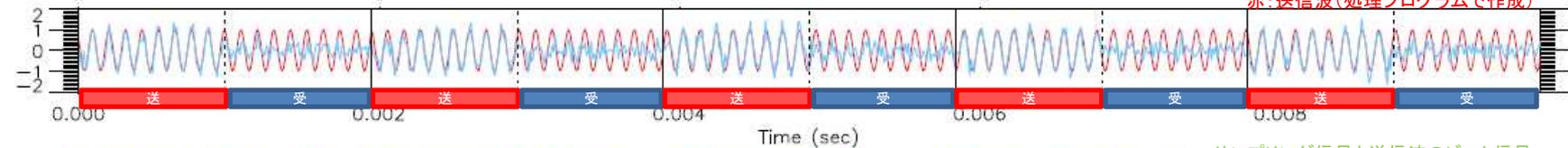


送信波の周波数変動

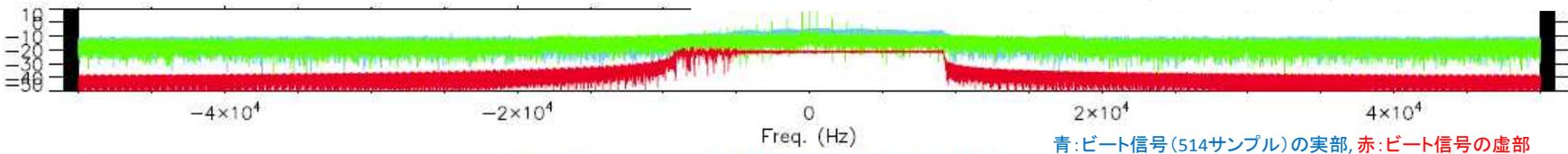


海洋レーダ (FMICW) データ処理サンプル (4.388 MHz)

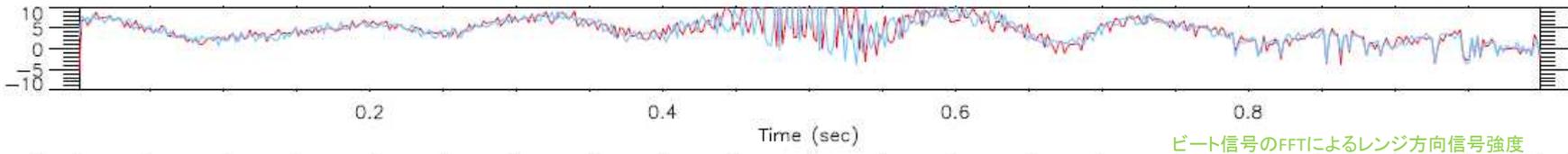
青: サンプリング信号 (含む送信波)
赤: 送信波 (処理プログラムで作成)



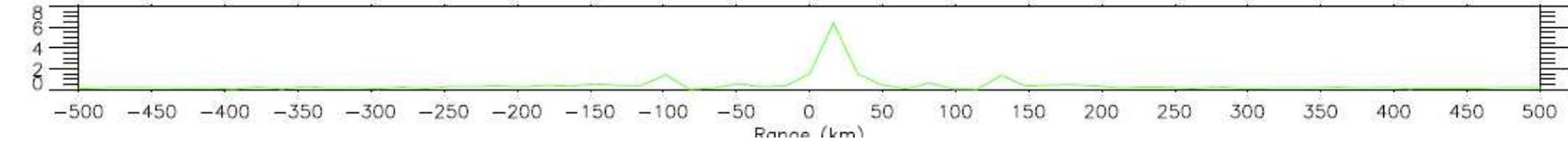
青: サンプリング信号スペクトル (1秒間514個全データ), 赤: 送信波スペクトル, 緑: ビート信号スペクトル



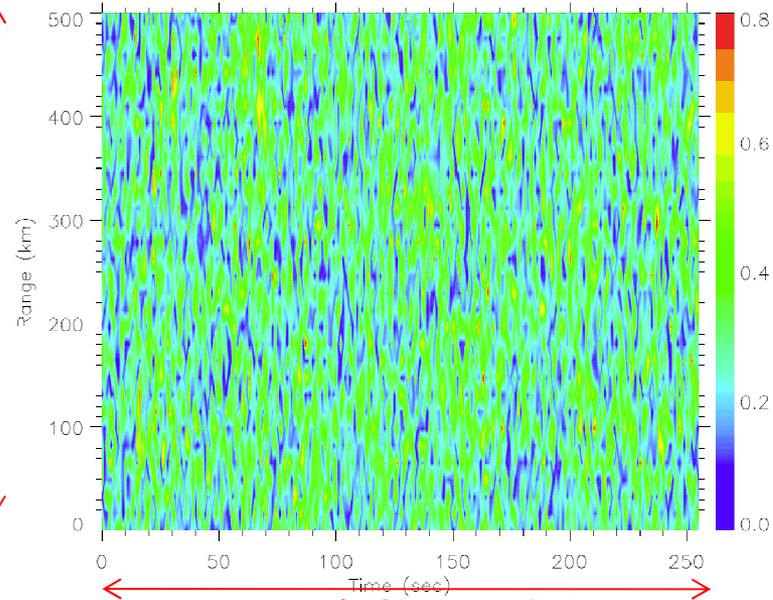
青: ビート信号 (514サンプル) の実部, 赤: ビート信号の虚部



ビート信号のFFTによるレンジ方向信号強度

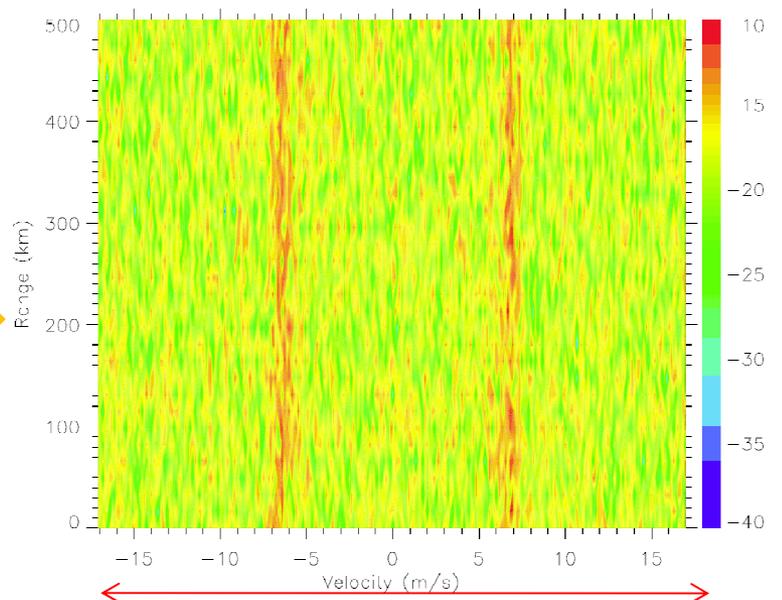


レンジはバイスタの経路長に相当するので要注意 (0は直達経路を差し引いてある)



時系列 (256秒分)

FFT

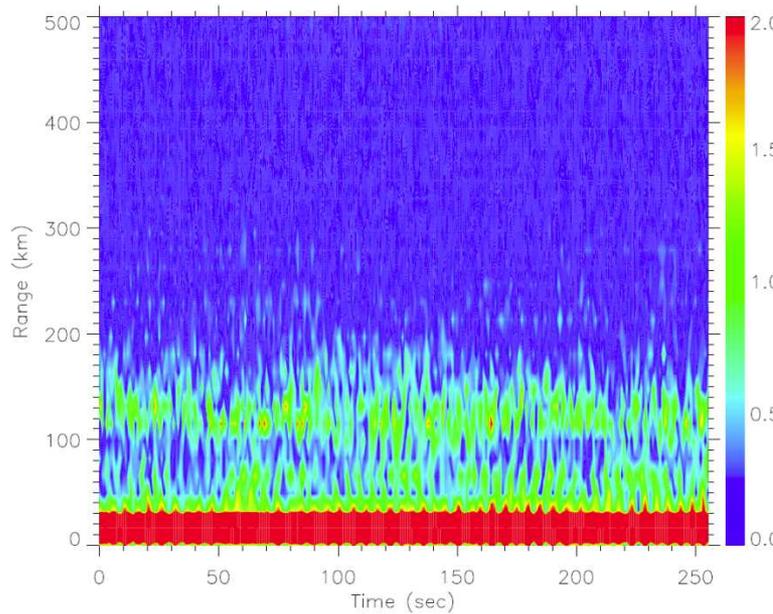


ドップラー速度

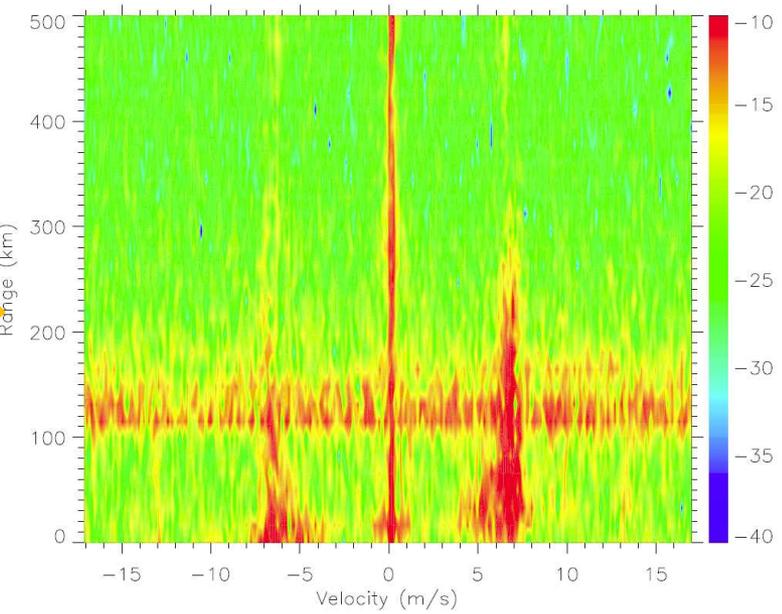


送信波形修正

2011/9/21 13時41分47秒



FFT



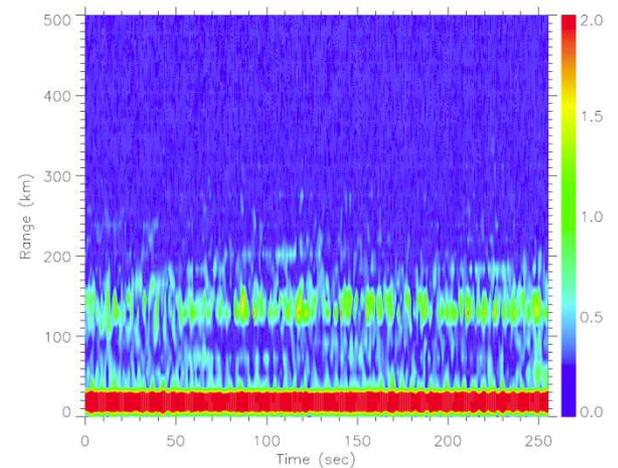
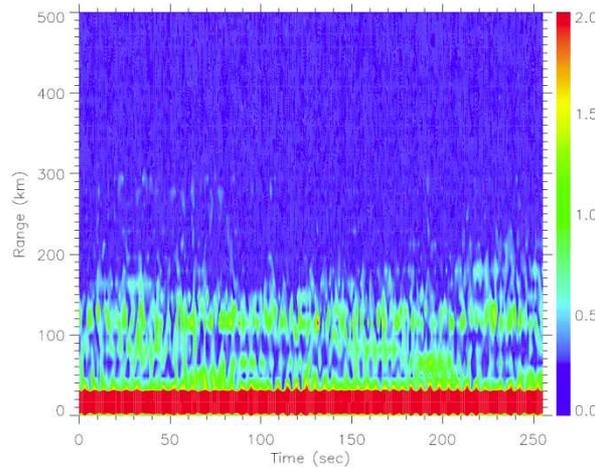
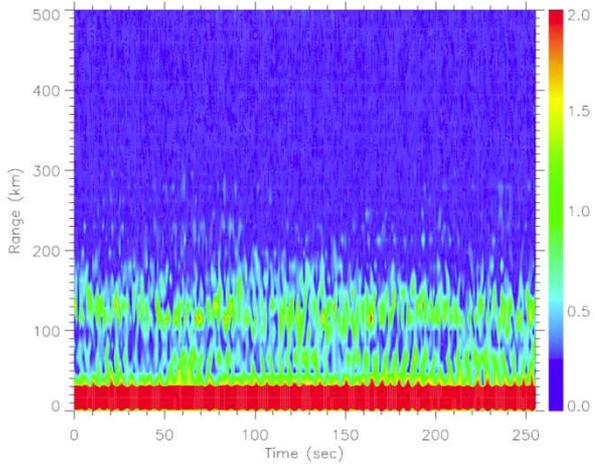
観測スペクトル例 (4.388 MHz)

2011/9/21 13時41分47秒

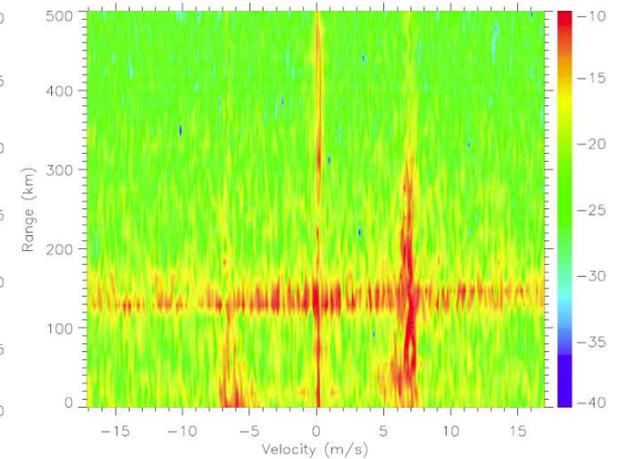
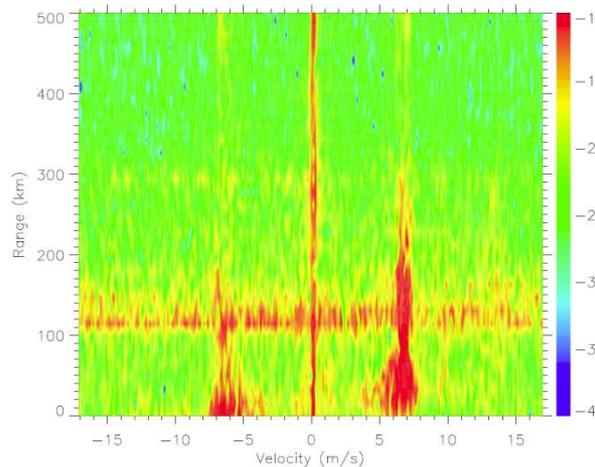
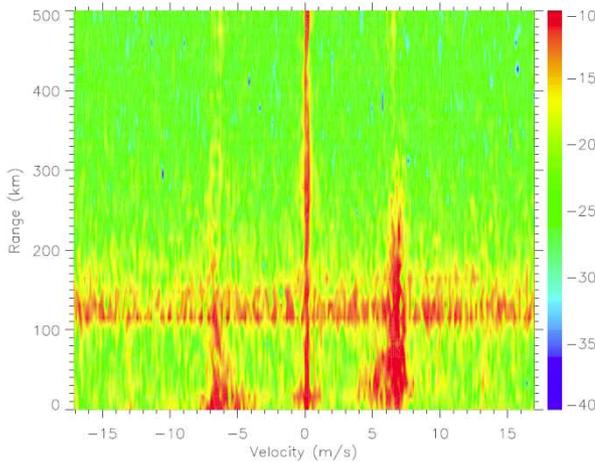
2011/9/21 13時59分01秒

2011/9/21 14時17分50秒

時系列(256秒)



スペクトル



まとめ

- 2011年9月21日から22日にかけて、与那国において台湾海洋レーダ送信波のバイスタティック受信実験を行った。
- 簡易・安価な受信システムを用いて、**バイスタティック受信によるスペクトルの導出に成功**。データの検証が必要ではあるが、
 - ⇒ 送信元の情報がない状態から有意な(と思われる)情報を取りだせた
 - ⇒ パッシブレーダの成功例とも言える！
- 観測を増やしたい ⇒ 今回の観測・解析結果を踏まえ、来年1月か2月にもう一度観測を実施予定。