

汎用型氷レーダーによるデータ取得, 解析, 可視化手法の確立

箕輪 昌紘¹, 橋本 大志², 虫明 一彦³

¹ 北海道大学, ² 国立極地研究所, ³ (株)いろはプロジェクト

背景と目的

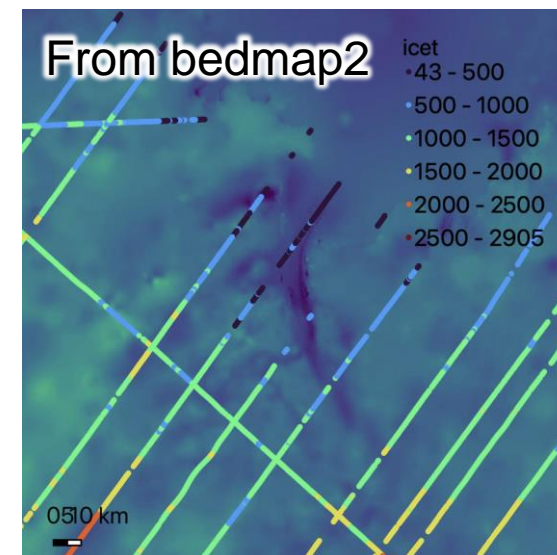
南極氷床の質量減少

- 地球温暖化との関係
- 質量減少の評価とそのメカニズムの解明には、氷厚探査と氷床流動の計測が不可欠

航空機搭載型の氷厚探査レーダーの有用性

- 広範囲を短時間で精度良く計測できる
- 特に東南極ではデータセットが疎で、観測の充実が望まれる

⇒ 南極昭和基地周辺で、航空機による
レーダー氷厚探査を行いたい



航空機による南極氷床レーダー観測研究

電波を用いた氷床内部の構造調査

- 航空機を使った南極の氷床や基盤地形探査は1970年代に大規模な調査がある^[1]
- 欧米諸国に大きなアドバンテージがある^[*]
- 以来、多数の観測がほぼ南極全体をカバー
- ただし、昭和基地がある東南極は空白が多い^[2]

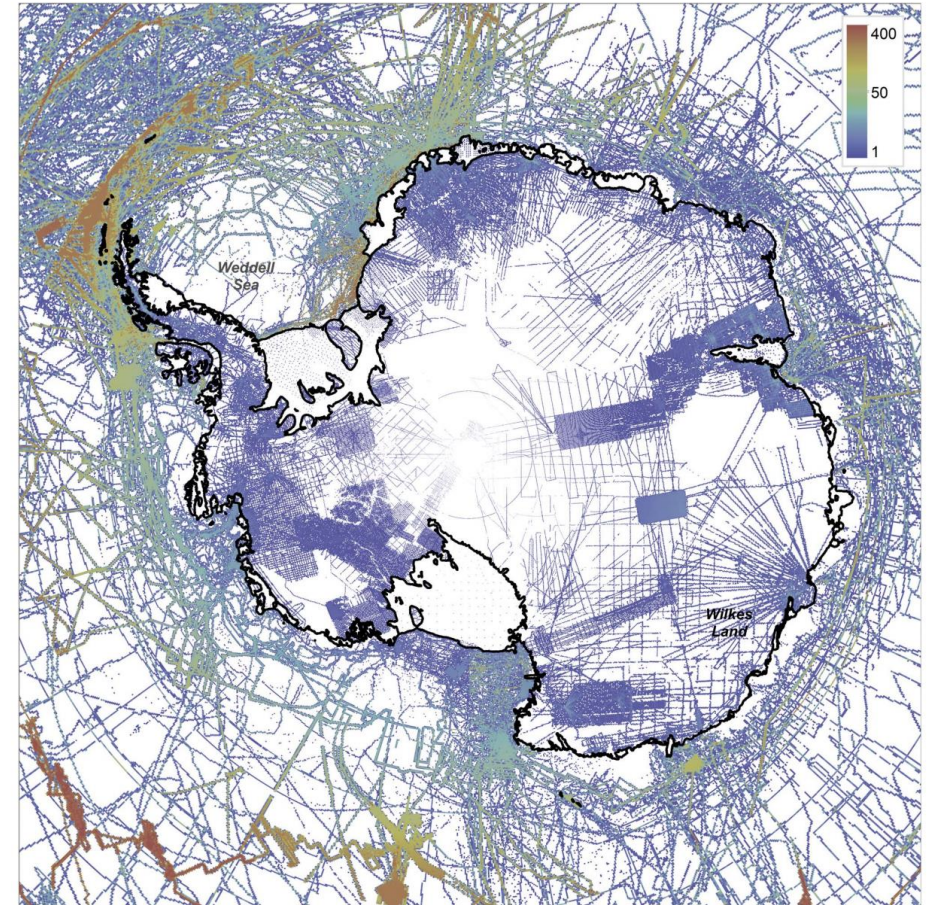
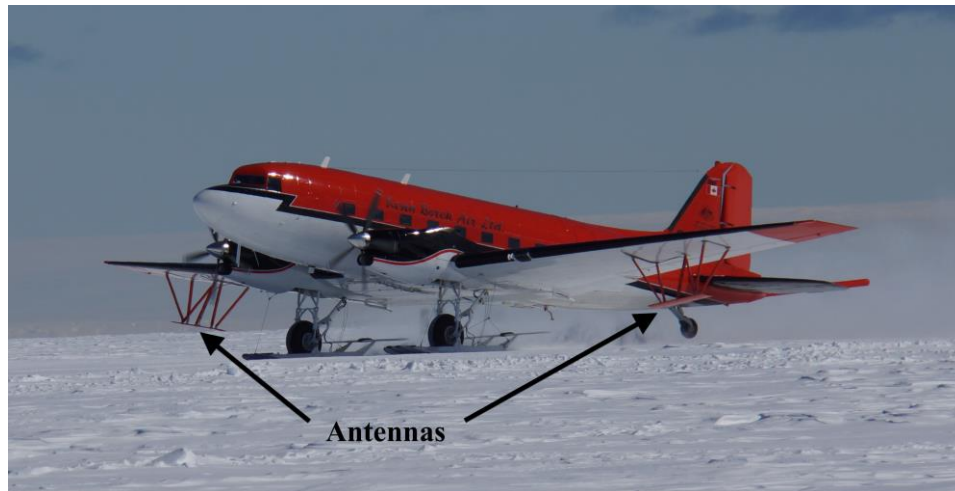


Fig. 3. Published bed elevation data around Antarctica (Bedmap2, IBCSO and GEBCO datasets). Colours show the number of 1 km grid cells within a 20 km square that contain a measurement of sea- or ice-bed elevation. While some parts of the Southern Ocean are well sampled, sampling of the sea floor elevation below the ice shelves is universally poor. Most have no direct measurements of the sub-ice-shelf cavity.

[1] Schroeder+, 2020: Five decades of radioglaciology

[2] Pritchard, 2014: Bedgap: where next for Antarctic subglacial mapping?

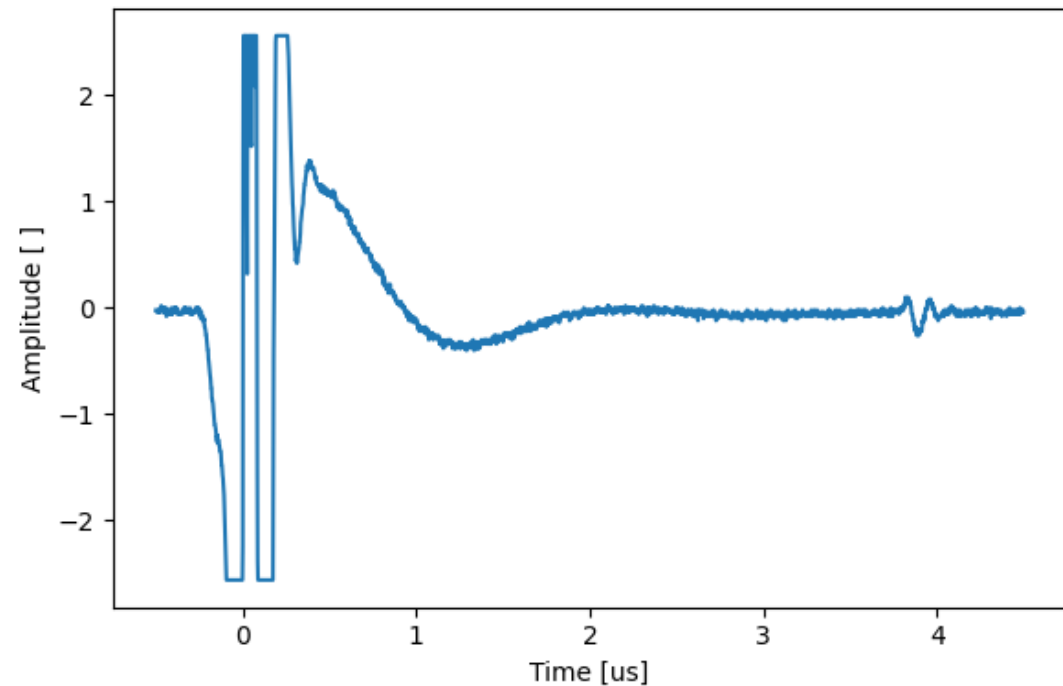
[*] <https://lindzey.github.io/blog/2015/07/27/a-brief-introduction-to-ice-penetrating-radar/>

背景：現行システム“Ohio radar”

旧式の単純なパルスレーダー

- 中心周波数：7 MHz
- 受信およびAD変換は人手で操作するオシロスコープにより行う

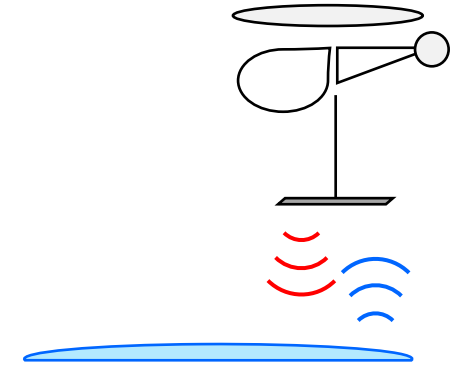
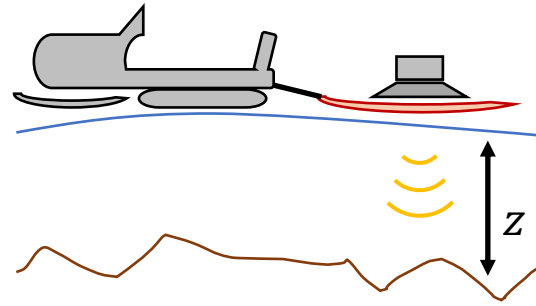
⇒ 自動的なサンプリング・信号処理・地理情報とのリンクなどに難あり



航空機搭載型氷厚探査レーダーの要件

ハードウェア要件

- 柔軟な構成
- 小型・軽量・安価
- 高速なサンプリング



ソフトウェア定義無線 (Software Defined Radio; SDR)

- ✓ CPU/FPGA等でレーダーの機能を柔軟に変更可能
- ✓ ソフトウェアによってアナログ・デジタルの信号処理を定義
- ✓ 様々なタイプのレーダーを実現可能 (パルス、FMCW、・・・)

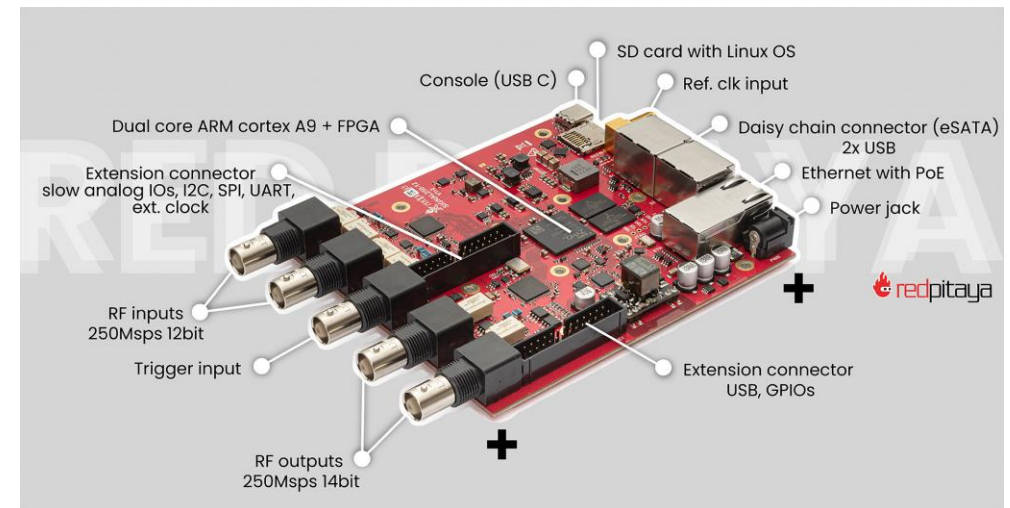
Red Pitaya SIGNALlab 250-12

小型のRFサンプリング・波形生成プラットフォーム

- Ubuntu OS
- C/C++ による開発
- 高速なサンプリング・波形生成(250MSPS)



Processor	ARM Cortex-A9 (CPU) Xilinx Zynq 7020 SOC (FPGA)
RAM	1 GB
RF IN	2 x 12 bit, 250 MSPS
RF OUT	2 x 14 bit, 250 MSPS
Bandwidth	DC to 60MHz
Connection	1 x RJ45 (Ethernet) 2 x USB 2.0 2 x Daisy chain connector (500 Mbps)
Price	~ ¥400k



<https://redpitaya.com/signallab-250-12/>

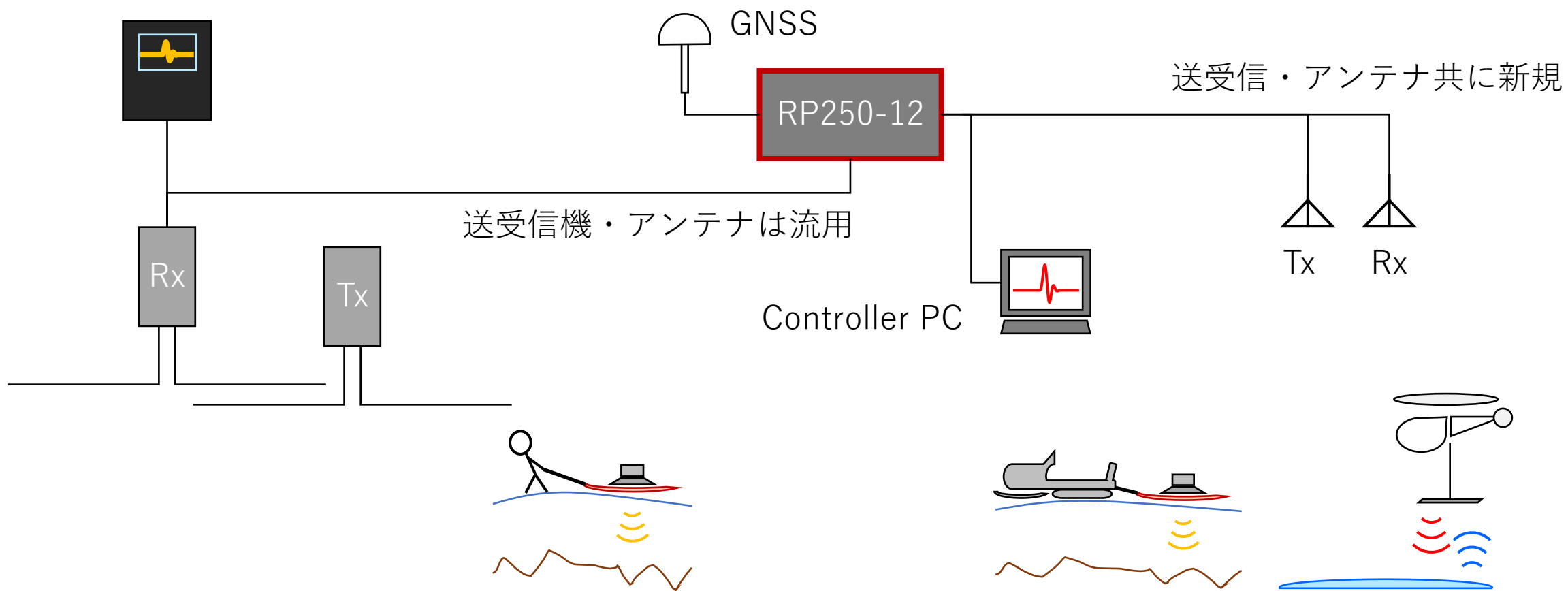
システム構成

旧システムの置き換えと新規開発を並行して実施

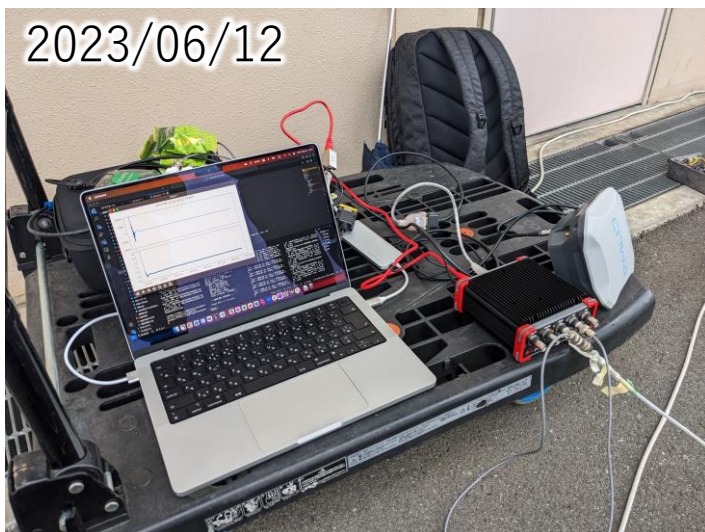
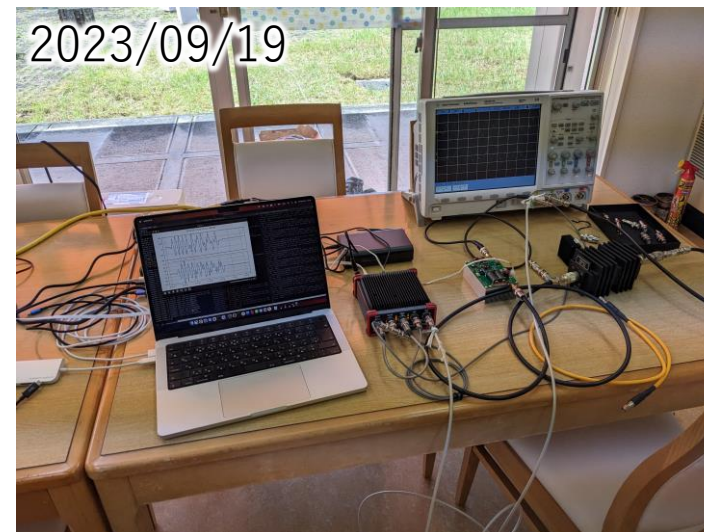
A. “Ohio radar” (旧システム)

B. (2023-2024試験中)

C. (2023-2024試験中)



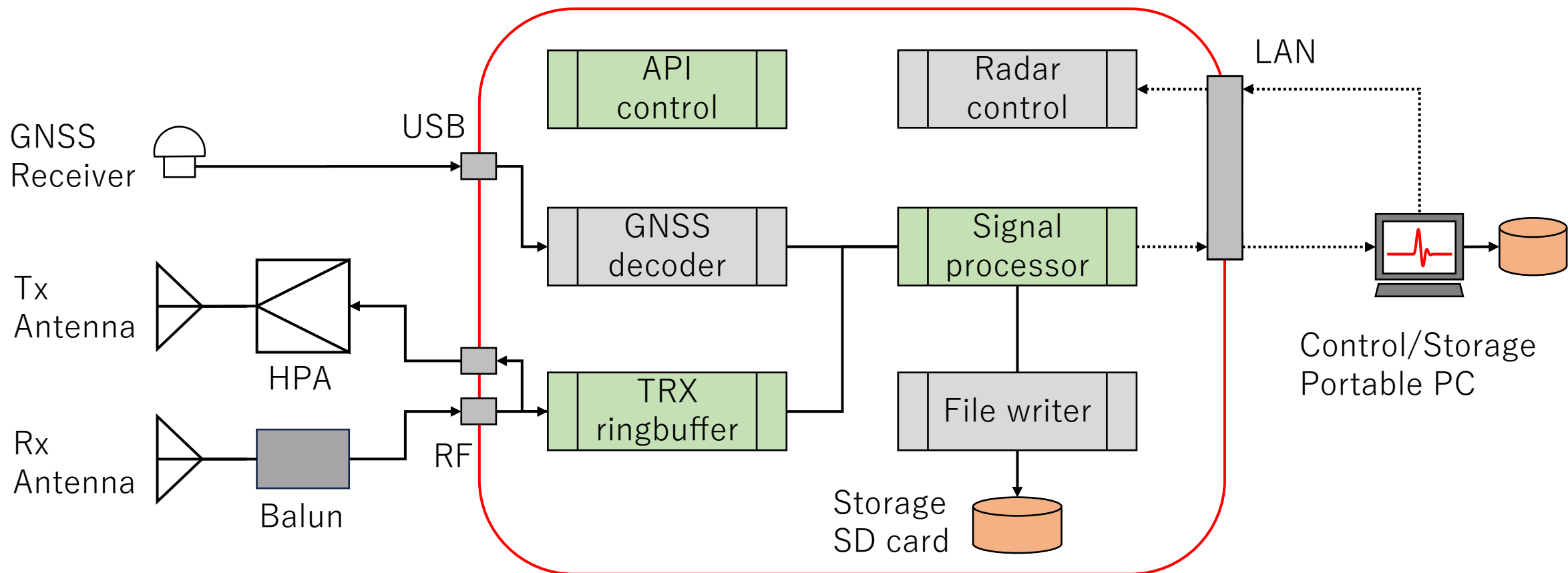
開発・試験の経過



2024/02/27

極域データサイエンスに関する研究集会 II

開発中 (2023) システムの構成



Red Pitaya SIGNALlab 250-12

レーダーの開発状況

開発の状況

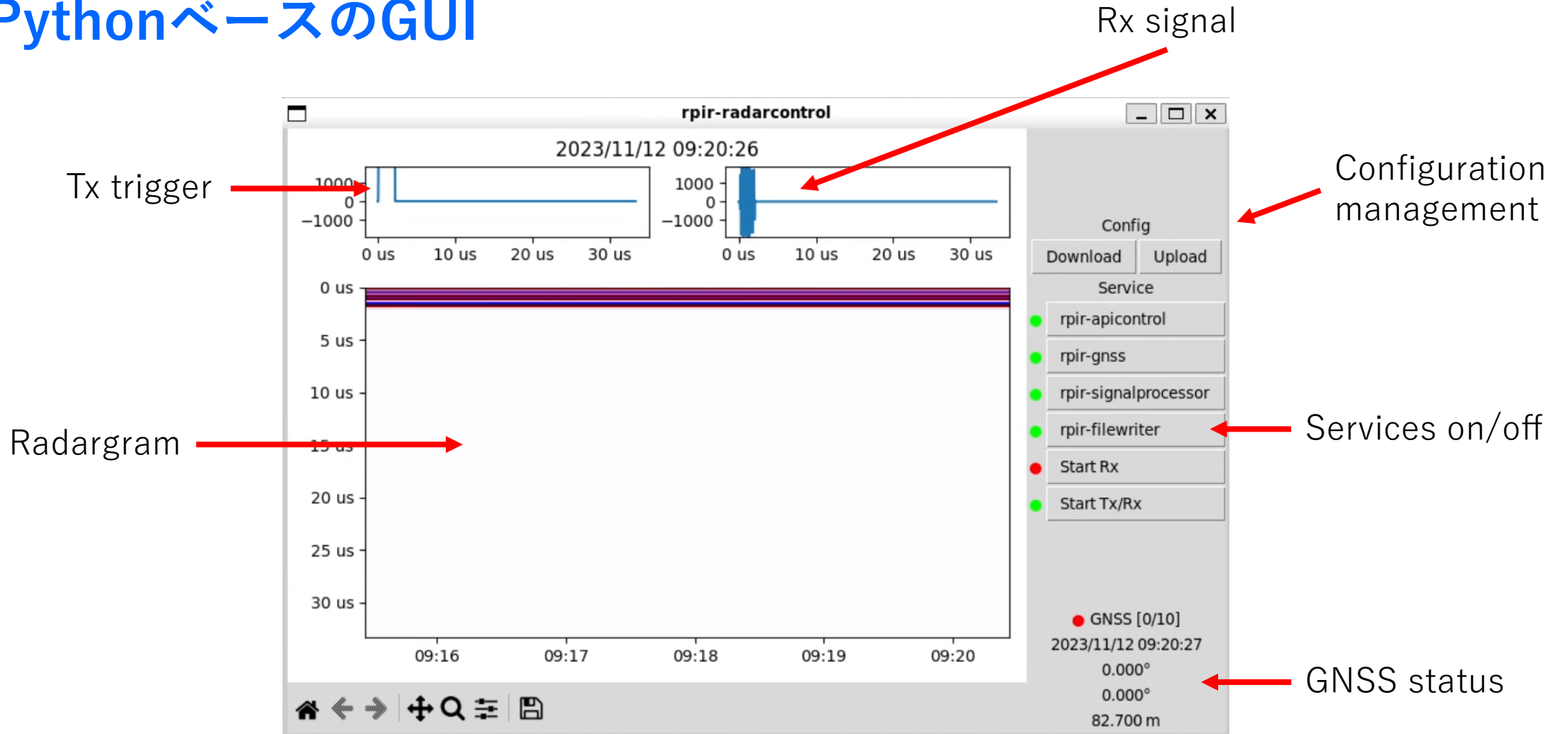
- 2022/07 旧システム (“Ohio radar”) の検証
- 2022/11 Red Pitaya を用いた開発開始
- 2023/10 制御用ソフトウェアの開発完了
- 2023/11 – 2024/02 南極観測 (JARE65) にて最初の実地試験中

2023年時点の仕様と今後の計画

送信周波数	7MHz	50MHz程度の周波数へ変更予定
送信電力	数～数十W	アンプの選定・評価中
パルス繰り返し周期	10ms	CPU→FPGA処理への変更による高速化予定
積分回数	100	(= 1 スキャン：一秒程度)
送信符号	無変調パルス バーカー符号	任意のコンプリメンタリ符号を実装予定

観測制御ソフトウェア

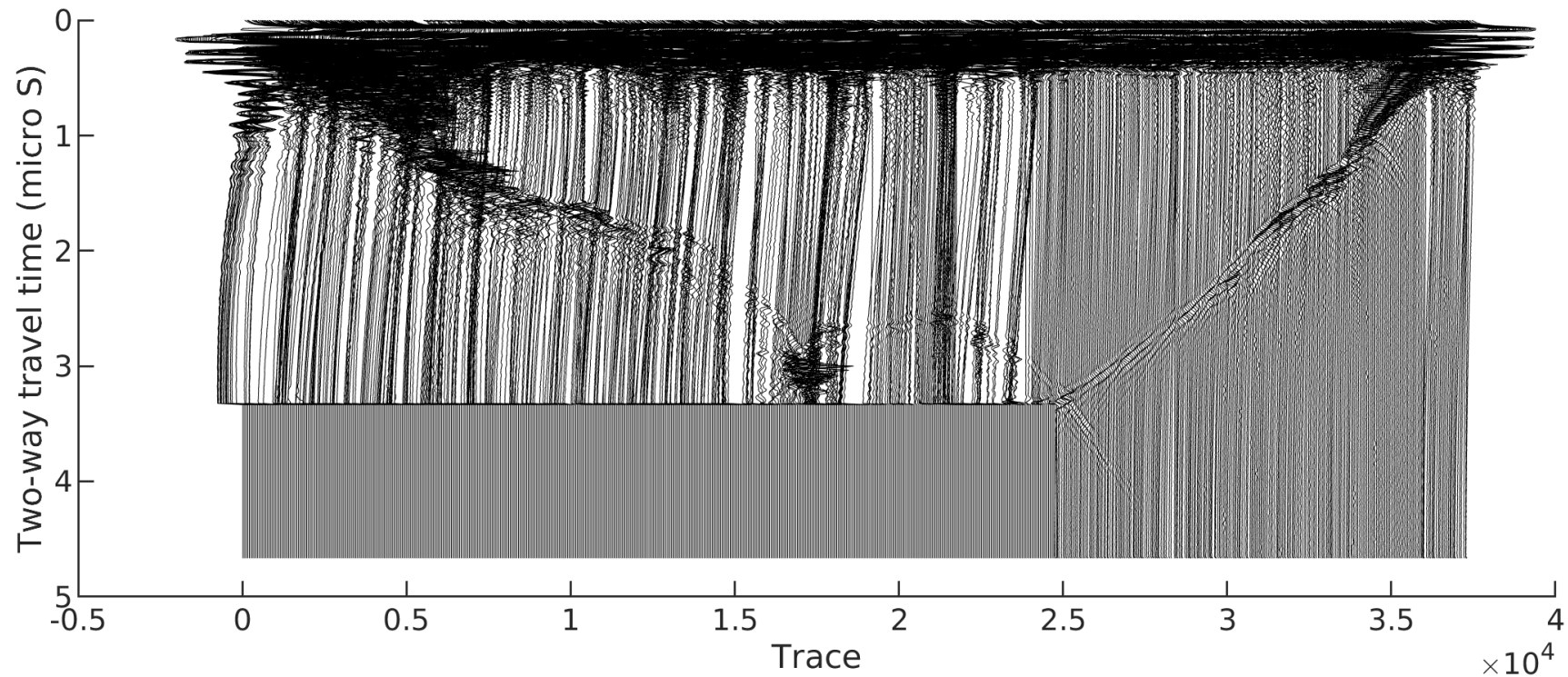
PythonベースのGUI



初期観測データ

2024/01/26

- ✓ 送信はオハイオレーダー、受信にRedPitayaを使用
- ✓ Trace 1.7×10^4 付近で強い反射がみられる
水路があると予想していた地点（おおよそ深さ500m）



開発の状況と今後の計画

今後の計画

- スノーモービル・ヘリコプターなどへの搭載による機動的な観測
 - パルスの送受信・信号処理などをFPGAに移行し、高速化する必要あり
 - 周波数の変更による小型化（SDRをより高周波に対応したものへ変更、あるいは前段に高周波部分を追加？）

	Place	Ice thickness	Operated by
2023-24 (JARE65)	Antarctica	~700 m	Sled (man-powered)
2024/9	Patagonia	~1,000 m	Sled (man-powered)
2024/10	Himalayas	~400 m	Sled (man-powered)
2025~	Greenland	~2,000 m	Snowmobile
2027-28? (JARE68)	Antarctica	~2,000 m	Helicopter