2025/7/11
野辺山開発者ミーティング

2024年度のLEKIDsを用いた100GHz帯試験観測およびKIDsカメラ開発状況

筑波大学　博士前期課程1年　郡山龍介

本多俊介[1], 李豪純[1], 石崎悠治[1], 佐藤優馬[1], 井上昴[1], 山崎慎一[1], 中村大祐[1],
Damian Cherouvrier[2], Juan Macias-Perez[2], Alessandro MONFARDINI[2] ,
村山洋佑[3], 松尾宏[3], 大島泰[3],久野成夫[1],

1. 筑波大学, 2. Univ.Grenoble Alpes, 3. 国立天文台,

■ 目次

- 2024年度のLEKIDsを用いた100GHz帯試験観測
- KIDs開発状況

■ 100GHz帯連続波観測

- **100GHz帯連続波**

- H_{II}領域からの自由ー自由放射
- ダストからの熱放射

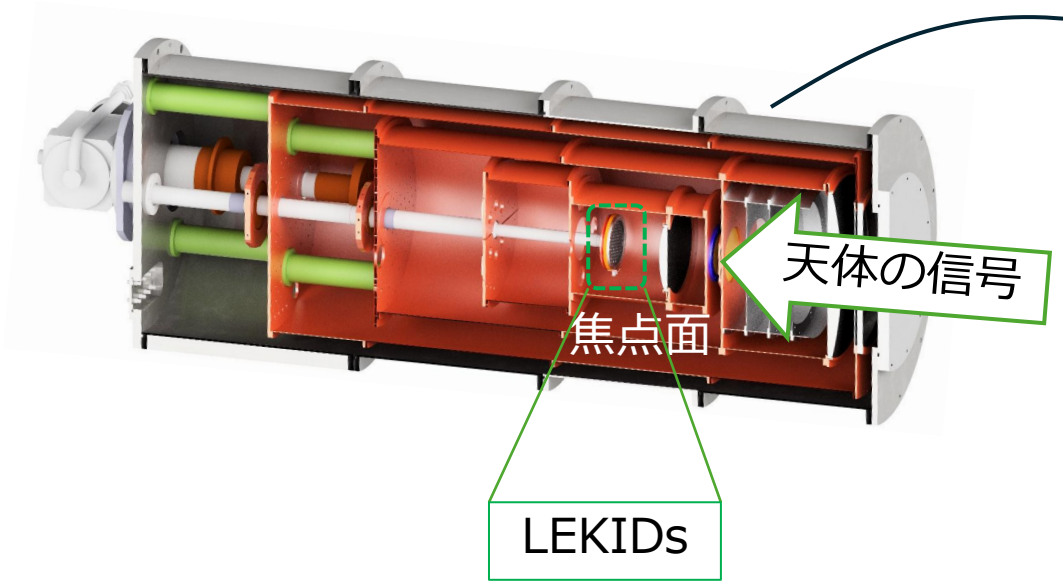
→大質量星形成領域の理解

- 赤外線や(サブ)ミリ波と組み合わせた多色観測
- 遠方銀河の赤方偏移やダスト温度の観測

→銀河の形成および星の進化の理解

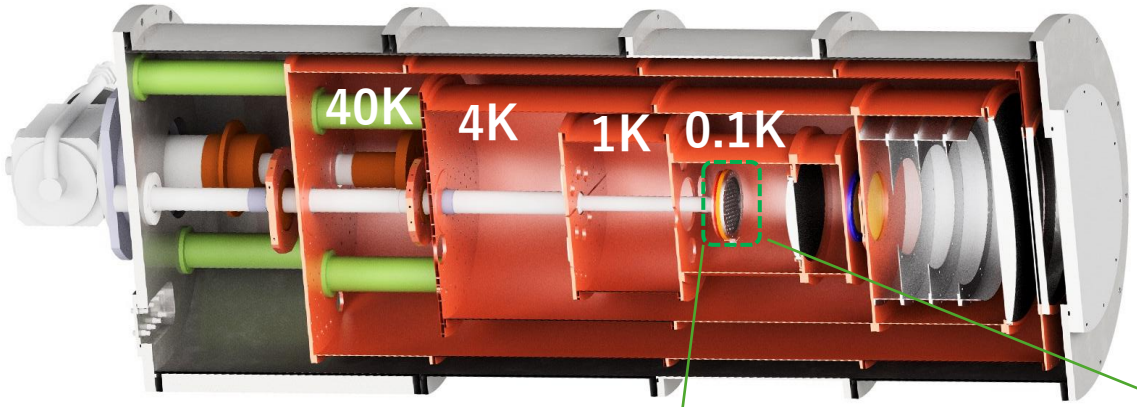
- **100GHz帯電波カメラ開発**

野辺山45m望遠鏡に搭載

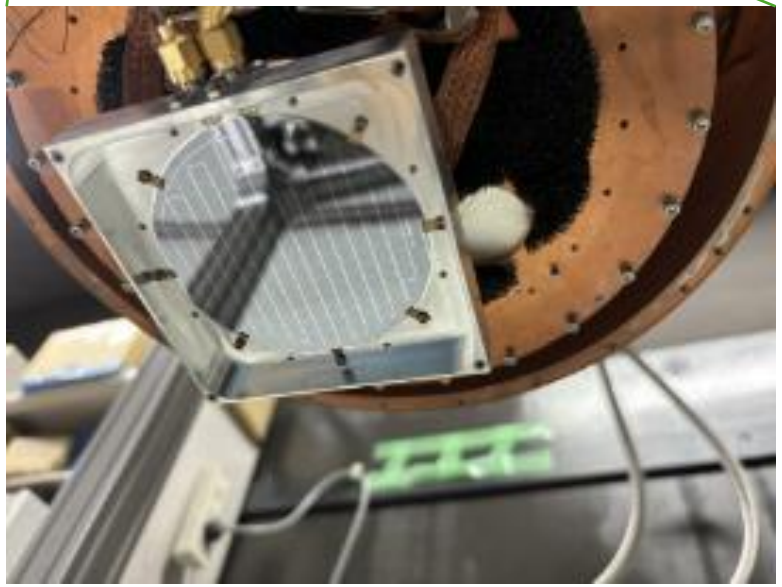


install!

■ 100-GHz電波カメラの概要



実際の焦点面

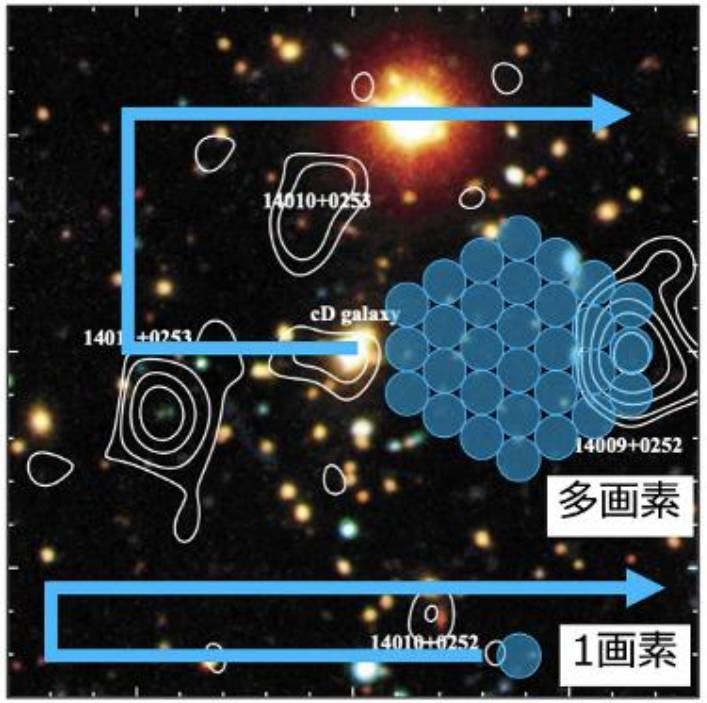


帯域	80-110 GHz
視野角 (FoV)	3 arcmin
焦点面	LEKIDs
素子数	144 pix

KIDを使った電波カメラの利点

- **多画素化**が容易である

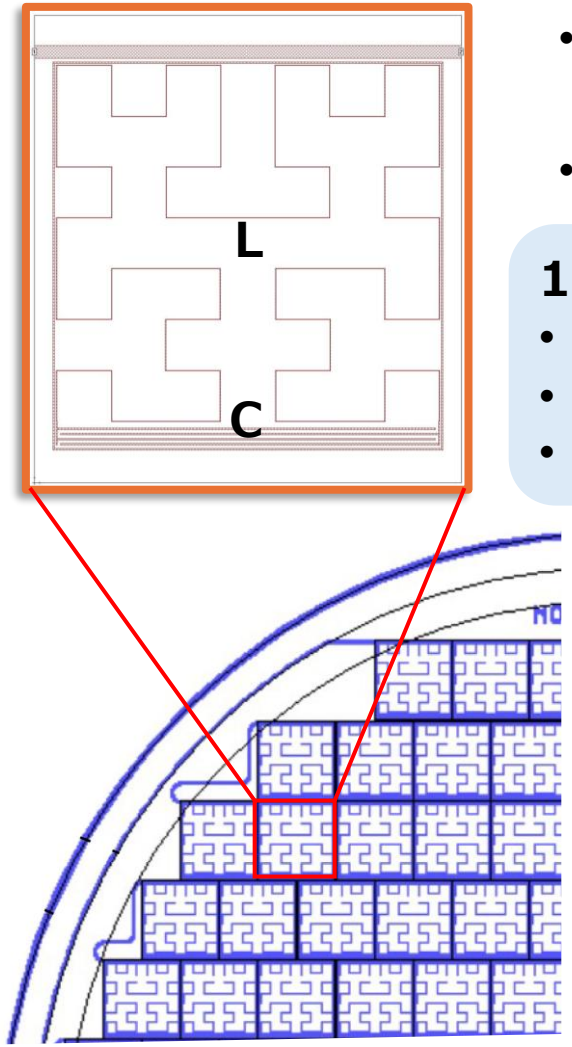
つまり一度に観測ができる領域が
広がり、観測にかかる時間が短縮できる



R.J.Ivison+2000

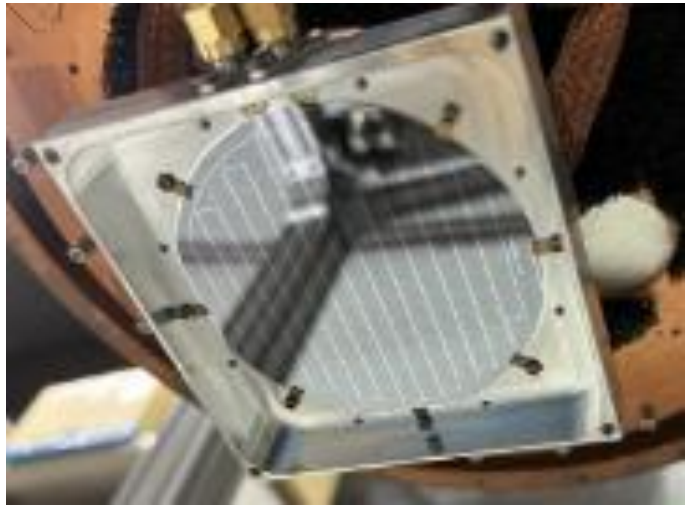
■ LEKID 概要

Lumped Element Kinetic Inductance Detector
集中定数型共振器



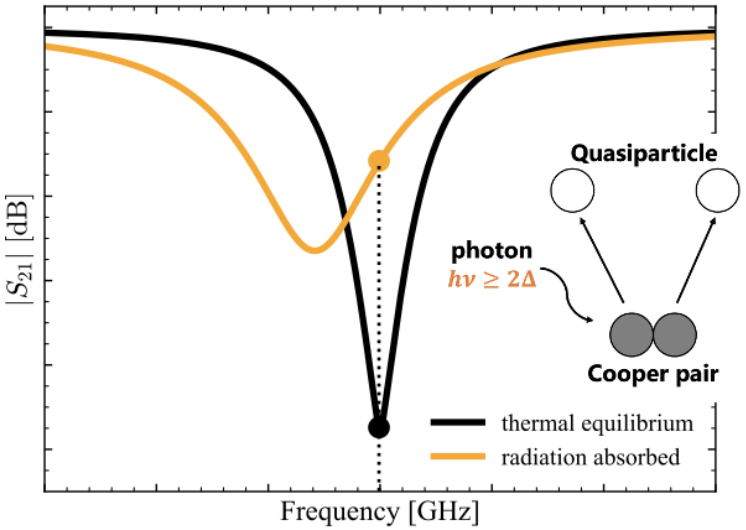
- 素子全体が吸収体(アンテナ、レンズ不要)
  →多素子でメリット
- 両偏波に感度を持つ(Hilbert meander)

100GHz帯LEKID (Grenoble Alpes 大学作製)
- 144素子
- 4.86×4.86 mm^2
- 超伝導膜：Al-Ti bi-layer



動作原理

入射した光子による超伝導体中の準粒子生成およびそれに伴う共振周波数の変化を読み取る



黒：基本的な状態(放射なし)
オレンジ：放射が入り準粒子数が増えた状態

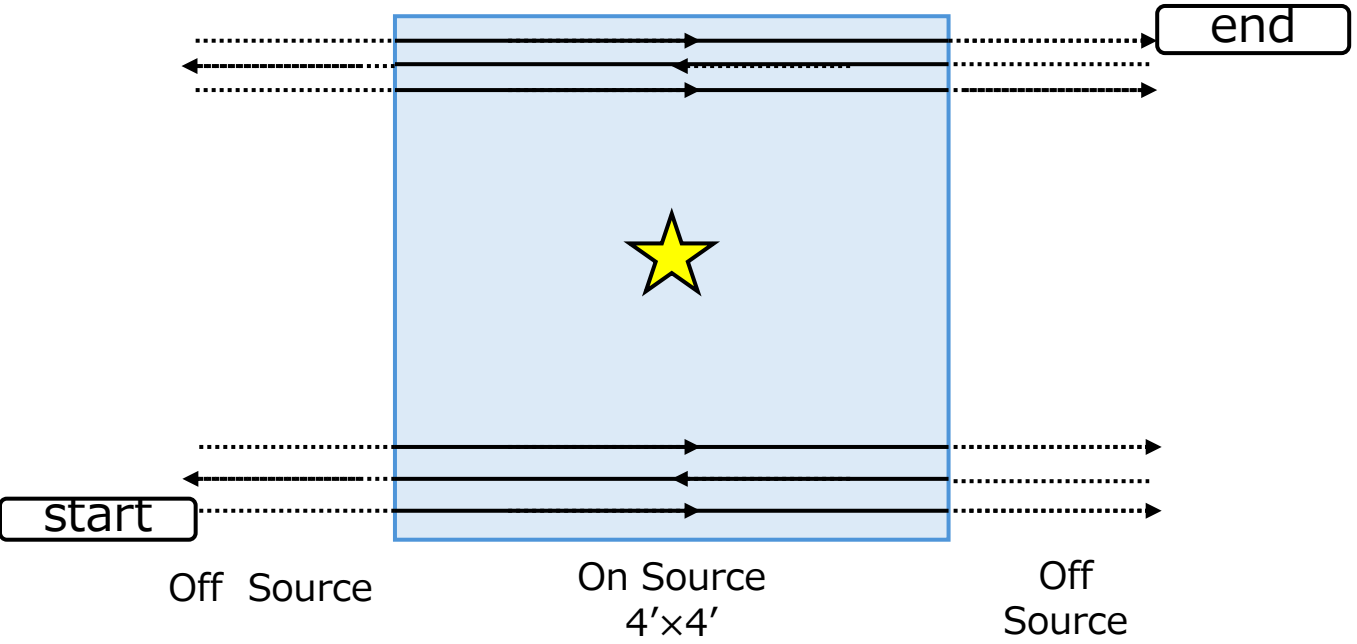
■ 野辺山45m望遠鏡での試験観測概要

□ 観測までのスケジュール

～9月：実験室での観測用多素子読み出しシステムの評価
10月上旬：野辺山45m望遠鏡への搭載作業
10月17日～24日：試験観測　←天候△

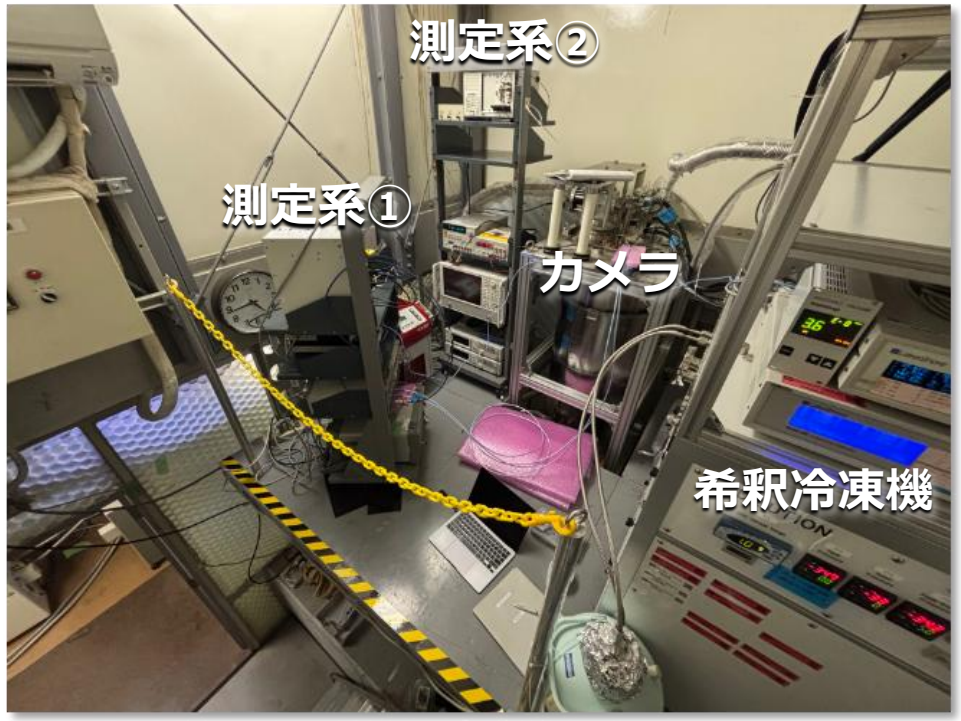
□ スキャンパターン

ラスタースキャン



□ 観測天体

惑星	クエーサー	銀河
火星	3C 454.3	3C 84
木星		M82
土星		Cyg A
天王星		

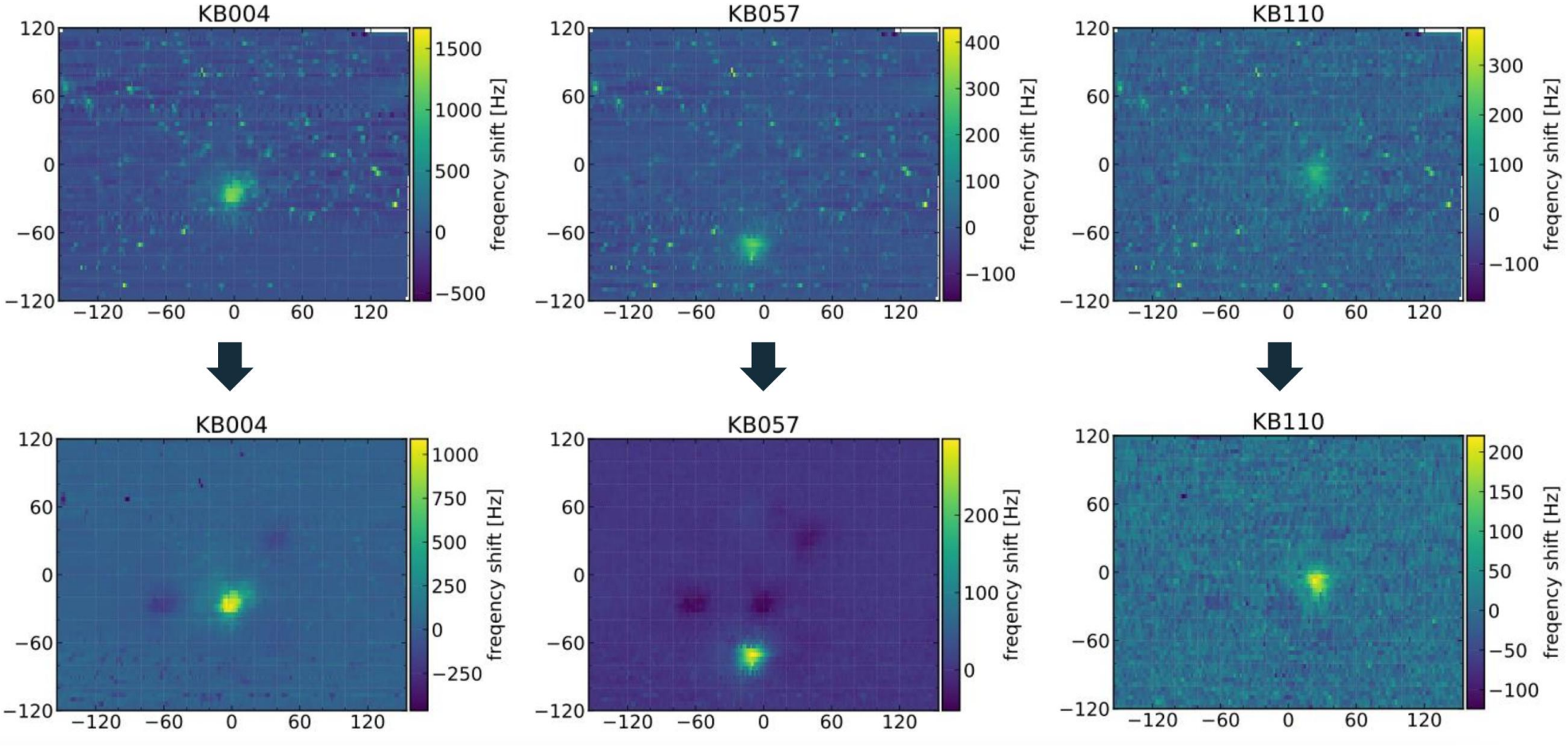


■ 観測結果：3C 84 ビームマップ

GM冷凍機の振動によるスパイクノイズも観測されてしまった
→ 主成分解析 PCA を全素子に適用して除去
→ 各素子の対応する位置に3C 84を捉えることに成功した

除去前

除去後



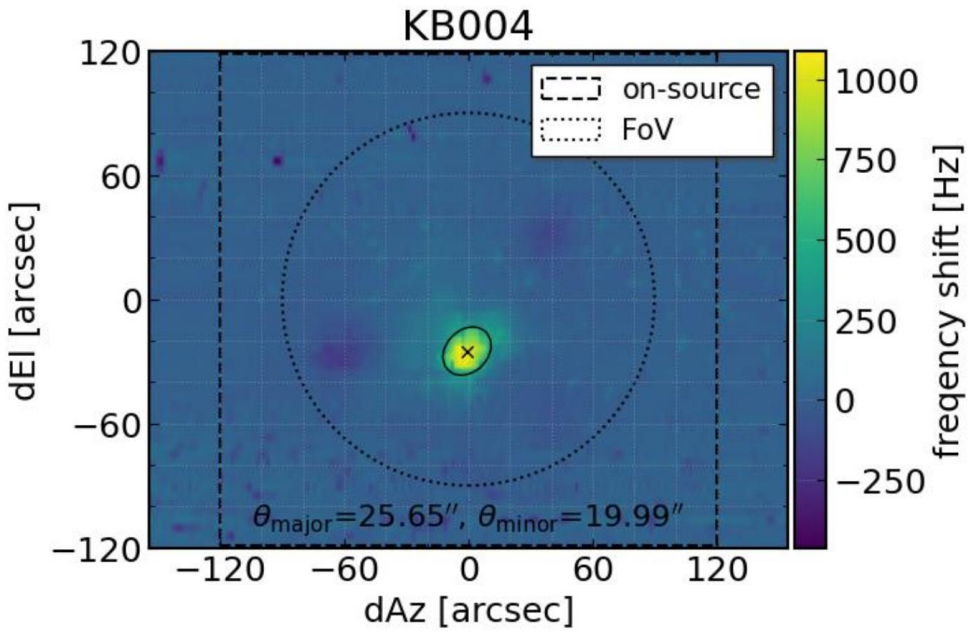
■ 観測結果：ビームサイズ

- ビームサイズに対して十分視直径が小さい銀河　3C 84の観測結果について解析
- 二次元強度マップに2次元ガウシアンフィッティングを行い解析

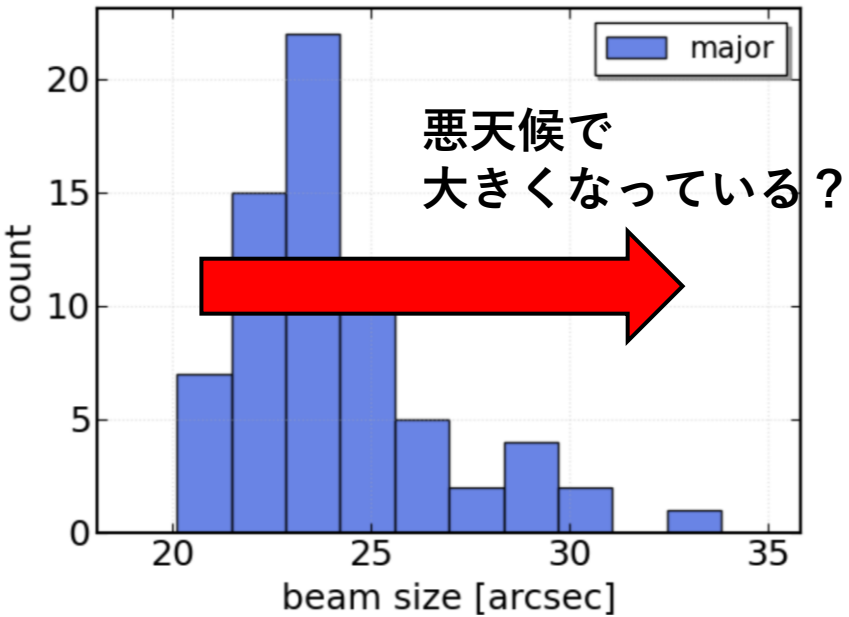
$$\theta_{\mathrm{HPBW}} = 24.2 \pm 2.6''$$

期待値：[45m鏡 = 16.7”] ＊ [LEKIDピクセル = 12.5”] ~ 20”
→ 悪天候で少し大きめになっていると考えられる

観測対象	3C 84
観測方法	ラスタースキャン
観測領域	4′ × 4′
スキャンスピード	240″ / 14 sec
スキャン本数	61本
解析素子数	71素子



観測ができた素子のビームサイズの分布



■ 目次

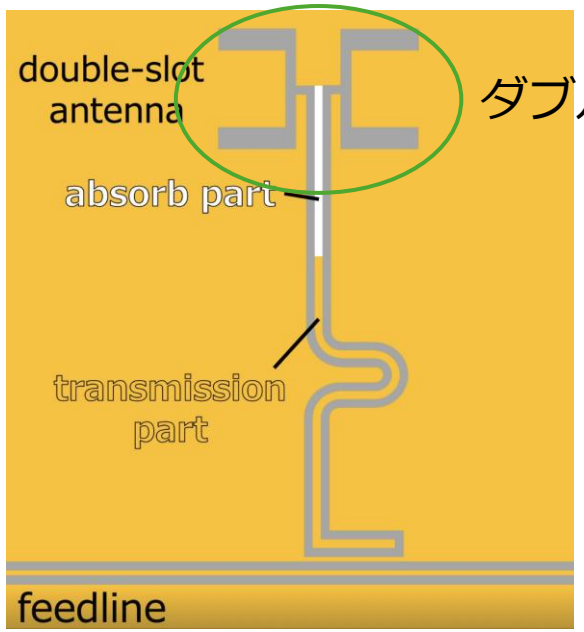
- 2024年度のLEKIDsを用いた100GHz帯試験観測
- KIDs開発状況

■ KIDsカメラの開発状況

□ 100 GHz帯や南極での850GHz帯観測を目指した MKIDカメラを開発中

取り組み①

850GHz帯域用ダブルスロットアンテナの設計(M2 井上)

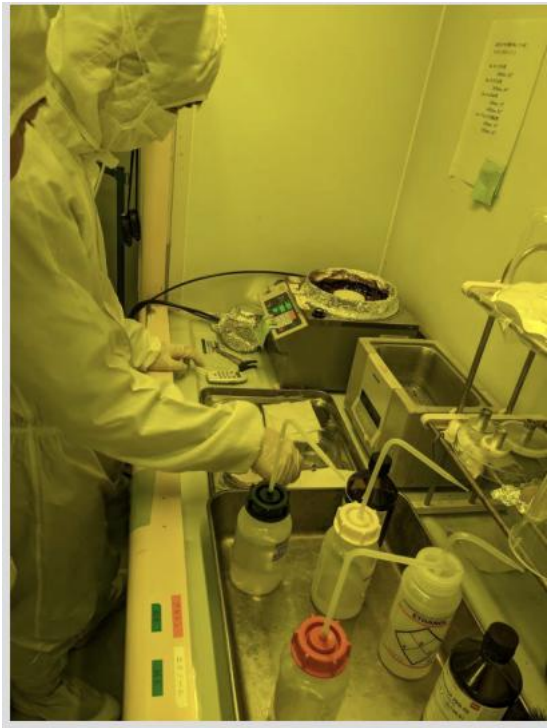


ダブルスロットアンテナ

100GHz帯域用アンテナをベースに電磁界シュミレーションを用いて開発

取り組み②

理研や筑波大学のオープンファシリティでのMKIDの作製(M2 佐藤、B4 山崎)



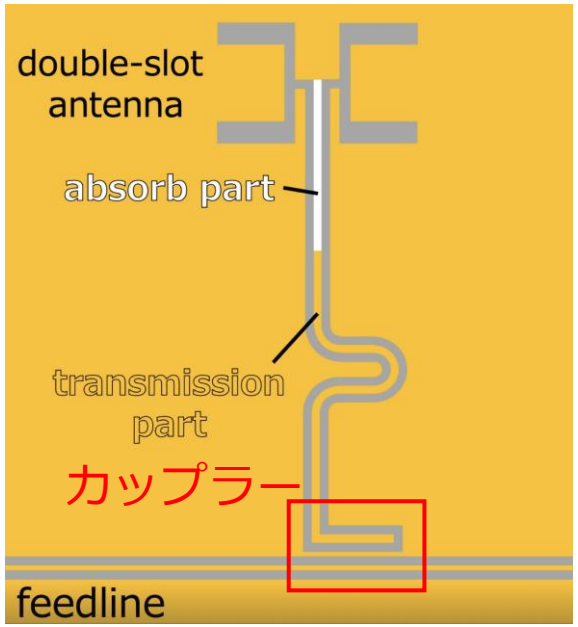
@理研

@筑波大

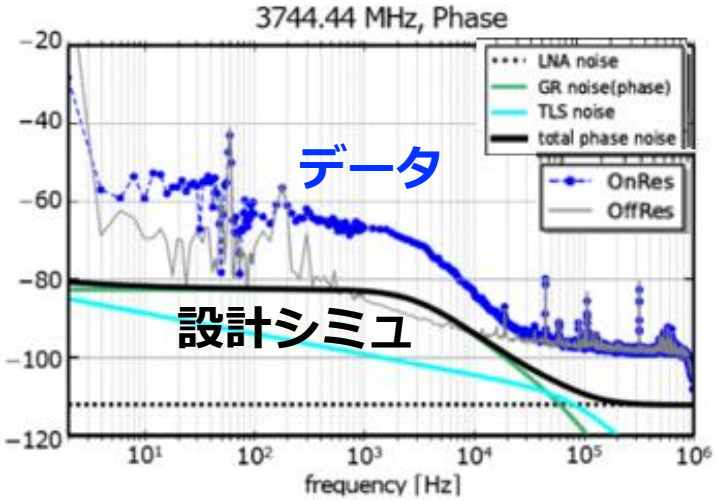
■ KIDsカメラの開発状況

取り組み③

新たなチップデザインの設計(D2 李、 M1 郡山)



MKID設計シミュレーションのvalidation
:作製したチップとの比較



実際のデータとの乖離の原因を究明中

- デバイスの温度依存を追加で測定中
  （国立天文台大島氏の冷凍機を利用）

- 線幅・カップラーの長さ依存性を詳細に
  評価できるテストチップを設計
  → 測定してデータと比較する

取り組み④

LEKIDピクセルサイズを小さく → ビームサイズを16.7″に。
→ 小さくした分だけ素子数も増やしたアレイを作製中

今年度の冬季に野辺山での観測を目指している

■ まとめ

● 2024年度のLEKIDsを用いた100GHz帯試験観測

筑波大学とフランスのGrenoble-Alpes大学共同で、100-GHz帯LEKIDカメラの開発を進めており、2024年10月に野辺山45m電波望遠鏡での試験観測を実施した

～2024年9月：光学応答、雑音性能の評価 [石崎悠治, 日本天文学会 2024年秋季年会, V152a]

2024年10月 ：野辺山45m電波望遠鏡への搭載および試験観測

- ビームマップ： 各素子の対応する位置に天体を捉えていることを確認できた
- ビームサイズ： 3C 84の観測結果から $\theta_{\mathrm{HPBW}} = 24.2 \pm 2.6$”を得た

今後の解析

- NEFD評価 (悪天候データであるが現在評価中)
- ビームパターン解析の妥当性評価
- ビームパターン解析で得られたビームポジションをもとに、M82やCygAの強度マップの重ね合わせを行い解析を進める。

● KIDs開発状況

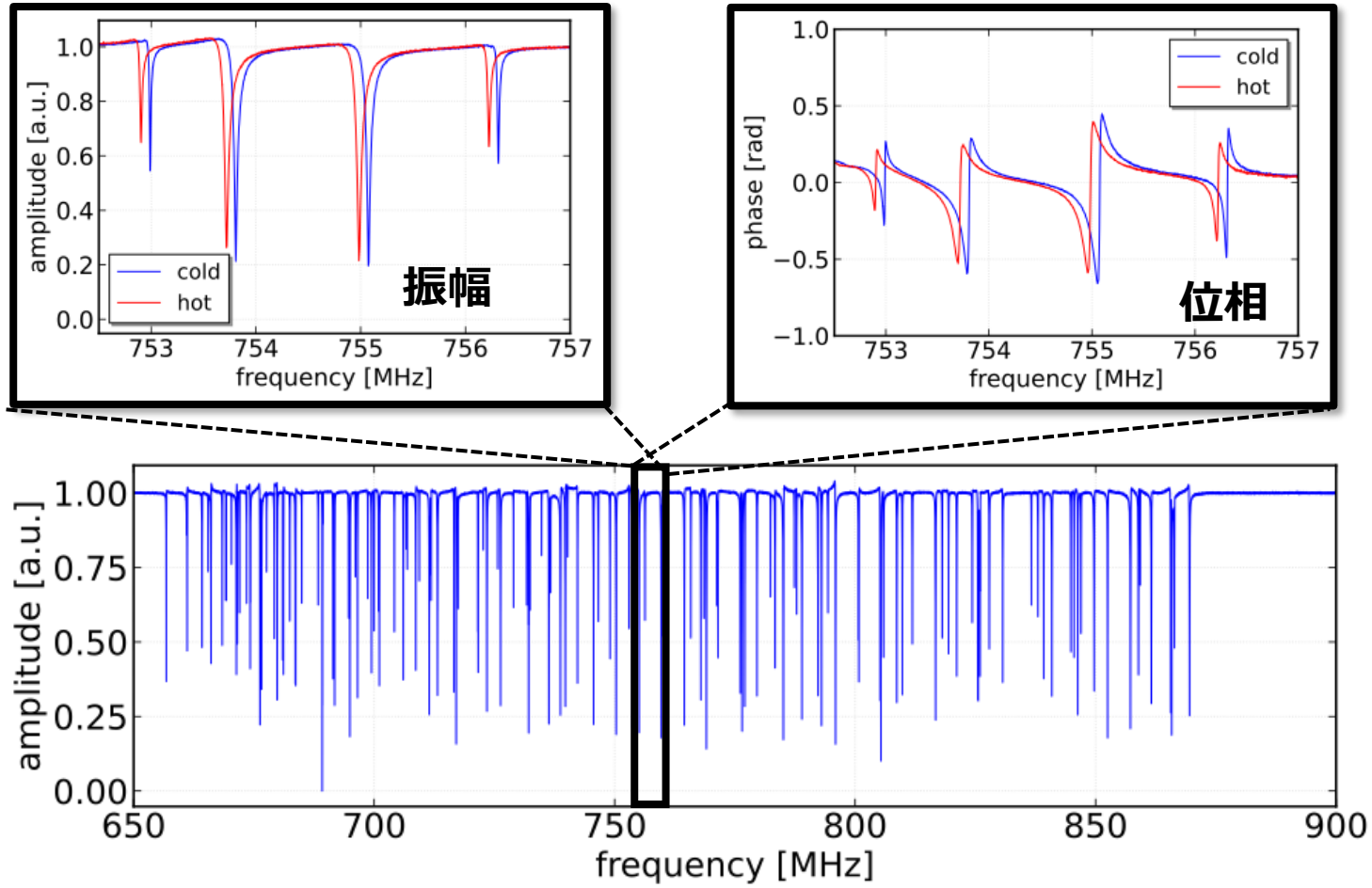
- テストチップの作製および実験室でのノイズ測定、新デザインの作成を行っている
- 850GHz帯域へのアップグレードを考え、アンテナなどの設計を行なっている
- **Grenoble-Alpes大学と共同して、アップグレードしたLEKIDで冬季観測を目指している**

Backup

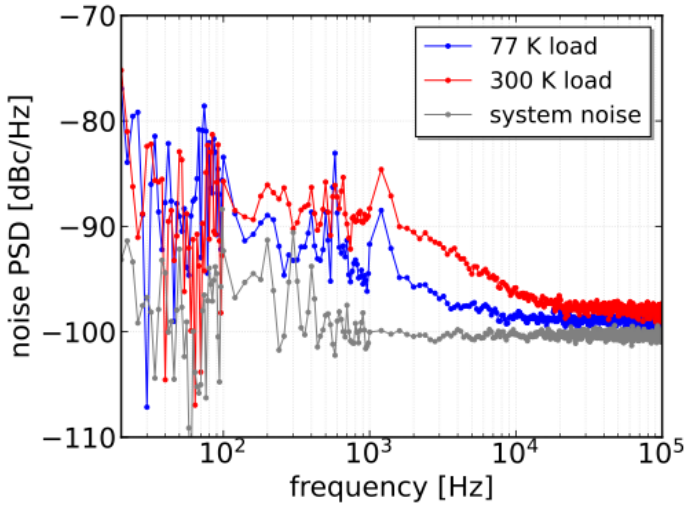
■ 100-GHz帯LEKIDsアレイ：実験室評価

2024年9月までに行った、実験室評価[石崎悠治, 2024年秋季年会, V152a]では、
光学応答や雑音測定から観測に十分な性能であることが確かめられた。

光学応答



ノイズPSD



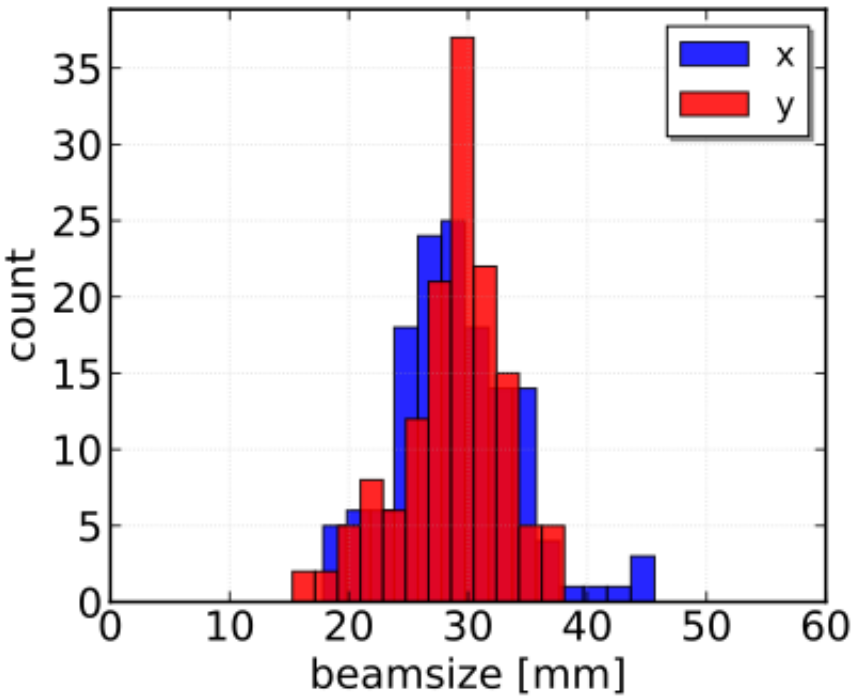
設計の144ピクセル中
138ピクセルの共振が見れた

■ 100-GHz帯LEKIDsアレイ：実験室評価

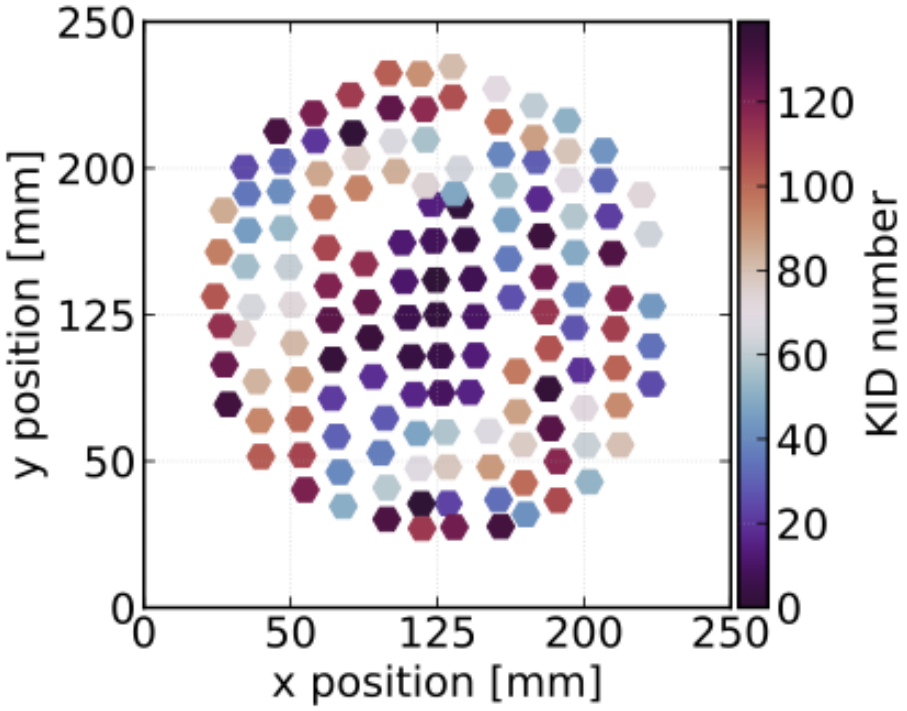
実験室で近傍界のビームパターンを測定

- ビームサイズ@ZEMAX simulation: **30 mm**
  => **この値とおおよそ一致(左図)**
- 各ビームの中心位置を同一マップ上にプロット(右図)

ビームサイズの分布



アレイマップ



光学系がLEKIDと期待通り結合されていることを確認できた