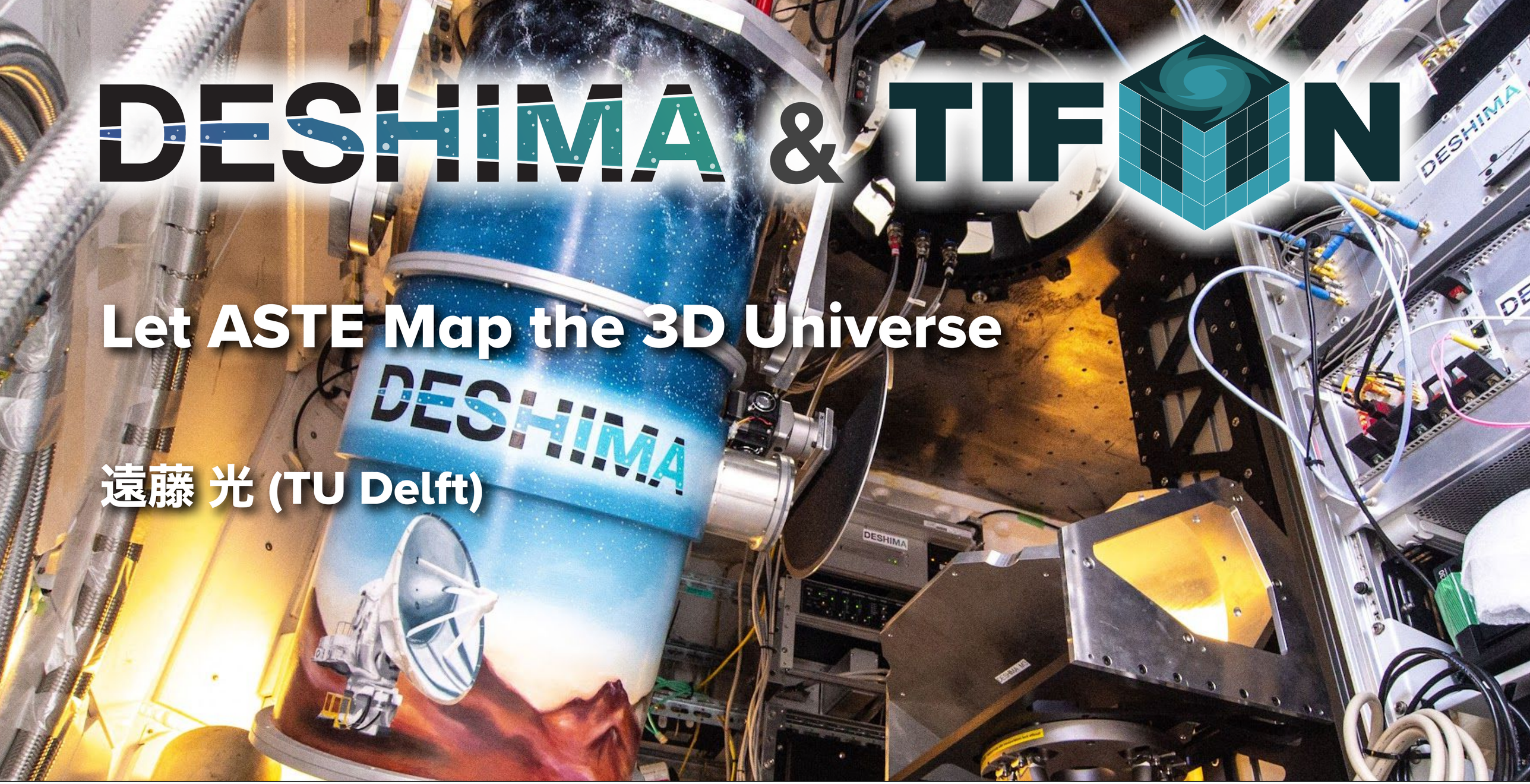



# DESHIMA & TIFON

## Let ASTE Map the 3D Universe

遠藤 光 (TU Delft)

「アルマ２の時代にASTEが果たすべき役割について、広く議論するワークショップ」

## 新天文学

単一鏡のメリットを追求した
広視野、広帯域の面分光



## 新世代

次の才能を惹きつけ、
魅了する原体験

## 新技術

独創的技術の
いち早い応用と
早期科学成果

💡

TIFUUN + ASTEのねらい
三位一体の相乗効果

# 「アルマ２の時代にASTEが果たすべき役割について、広く議論するワークショップ」

## 新天文学

単一鏡のメリットを追求した
広視野、広帯域の面分光



## 新世代

次の才能を惹きつけ、
魅了する原体験

## 新技術

独創的技術の
いち早い応用と
早期科学成果

💡

**TIFUUN + ASTEのねらい**

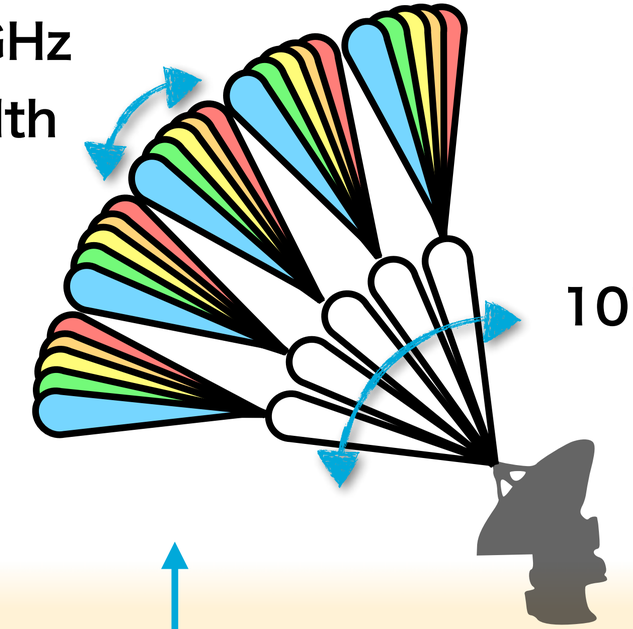
三位一体の相乗効果

# 単一鏡 (ASTE) vs 干渉計 (ALMA)

アンテナに常時降る信号

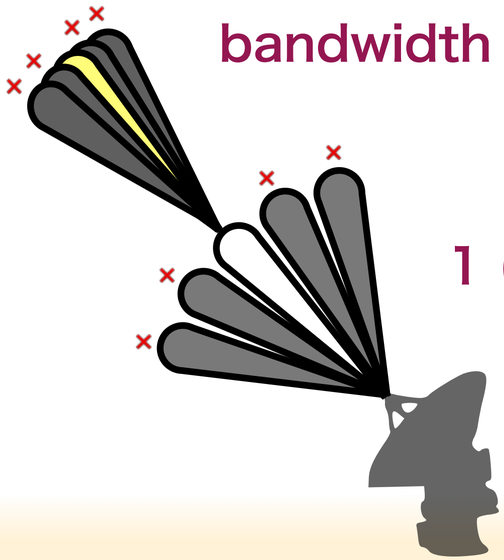
干渉計（ALMA）が利用している信号

~1000 GHz
bandwidth



$10^1$–$10^4$ beams

8 (→32) GHz
bandwidth

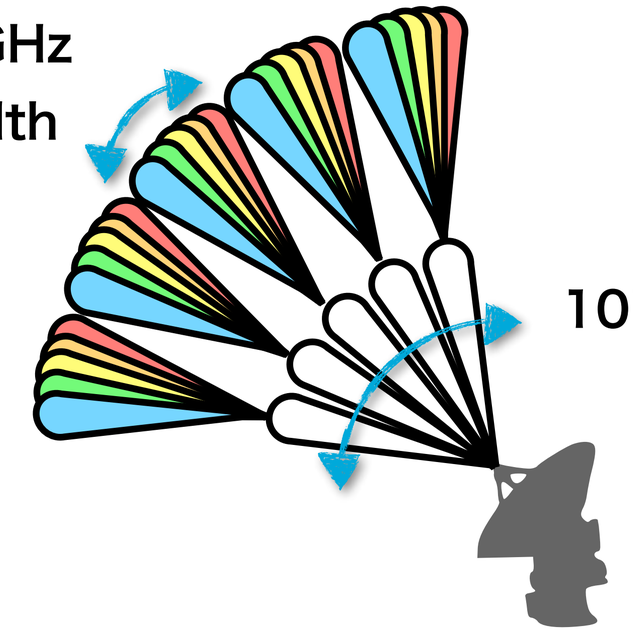


1 (primary) beam

干渉計 (ALMA) が捨てているこの大量の光子を全て分光することで、
単一鏡 (ASTE) は本領を発揮

# 広視野、広帯域のために

~1000 GHz
bandwidth

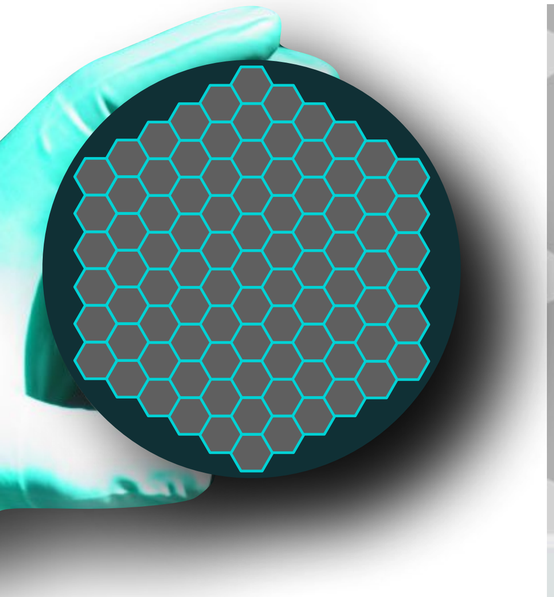


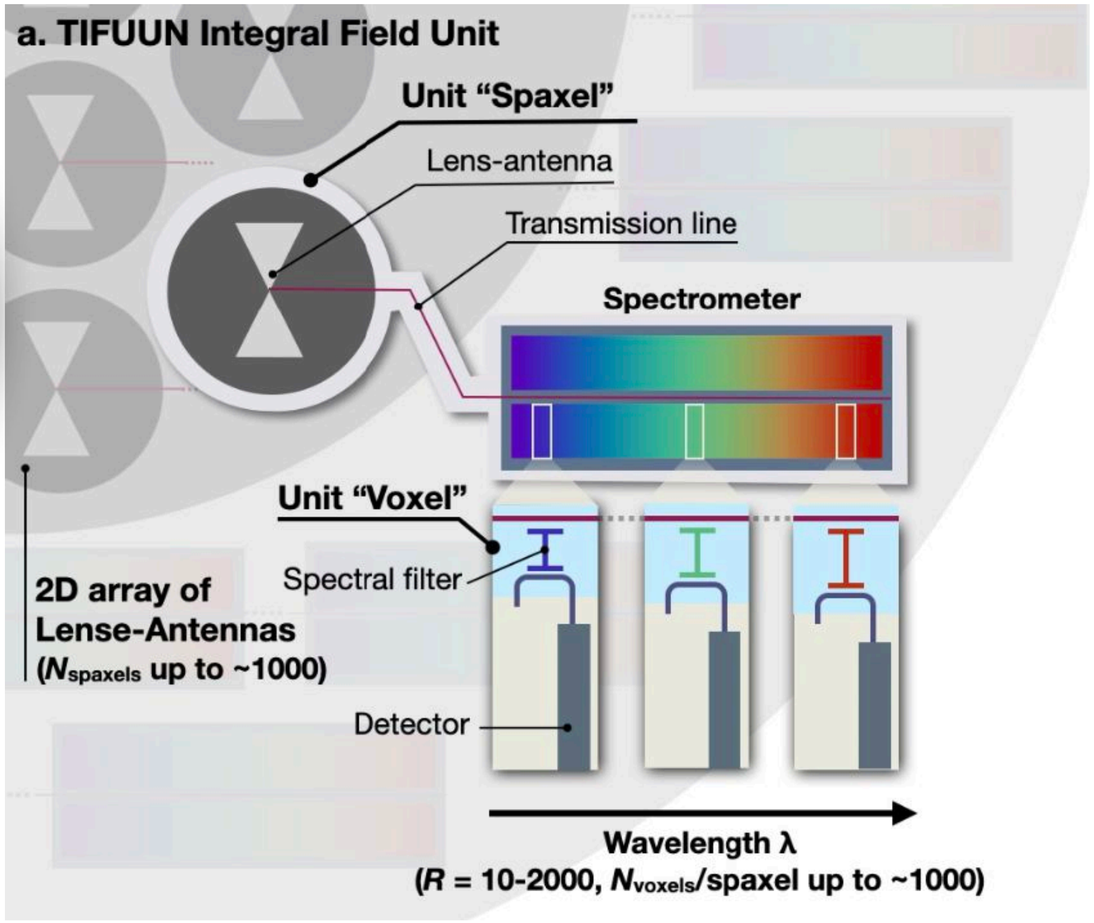
$10^1$–$10^4$ beams

- 検出器
  - ~~ヘテロダイン~~
  - 直接検出器
    - なるべく多くの検出器数
      - KIDs
        (Kinetic Inductance Detectors)
- 分光技術
  - 拡張性
    - ~~準光学~~
    - 集積回路

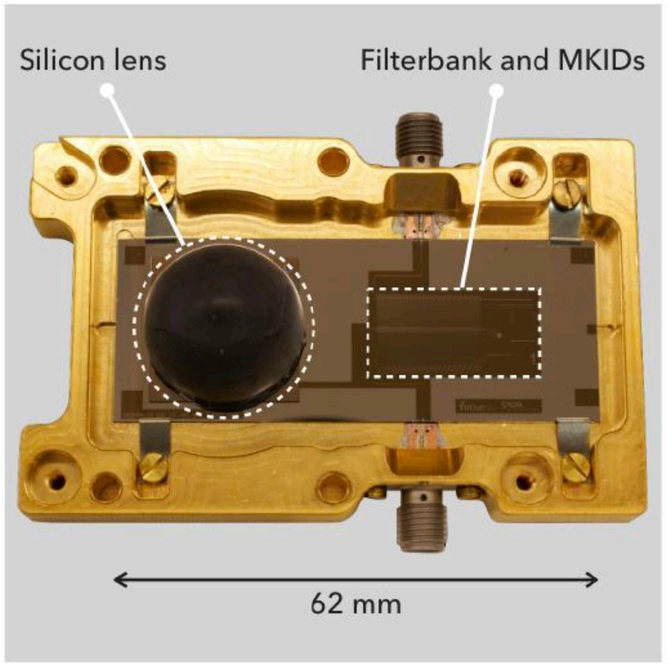
# TIFUUN

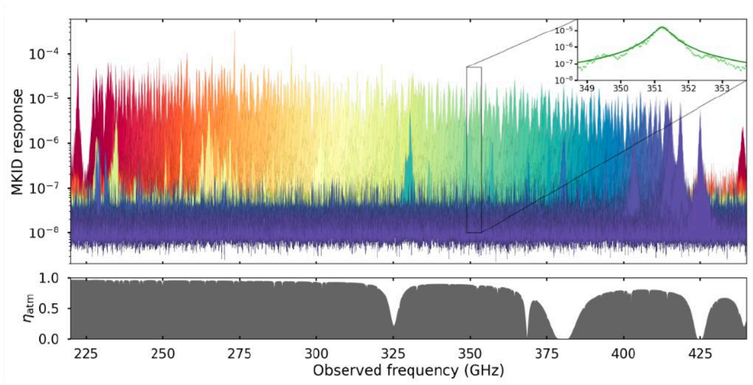
## THz Integral Field Unit with Universal Nanotechnology





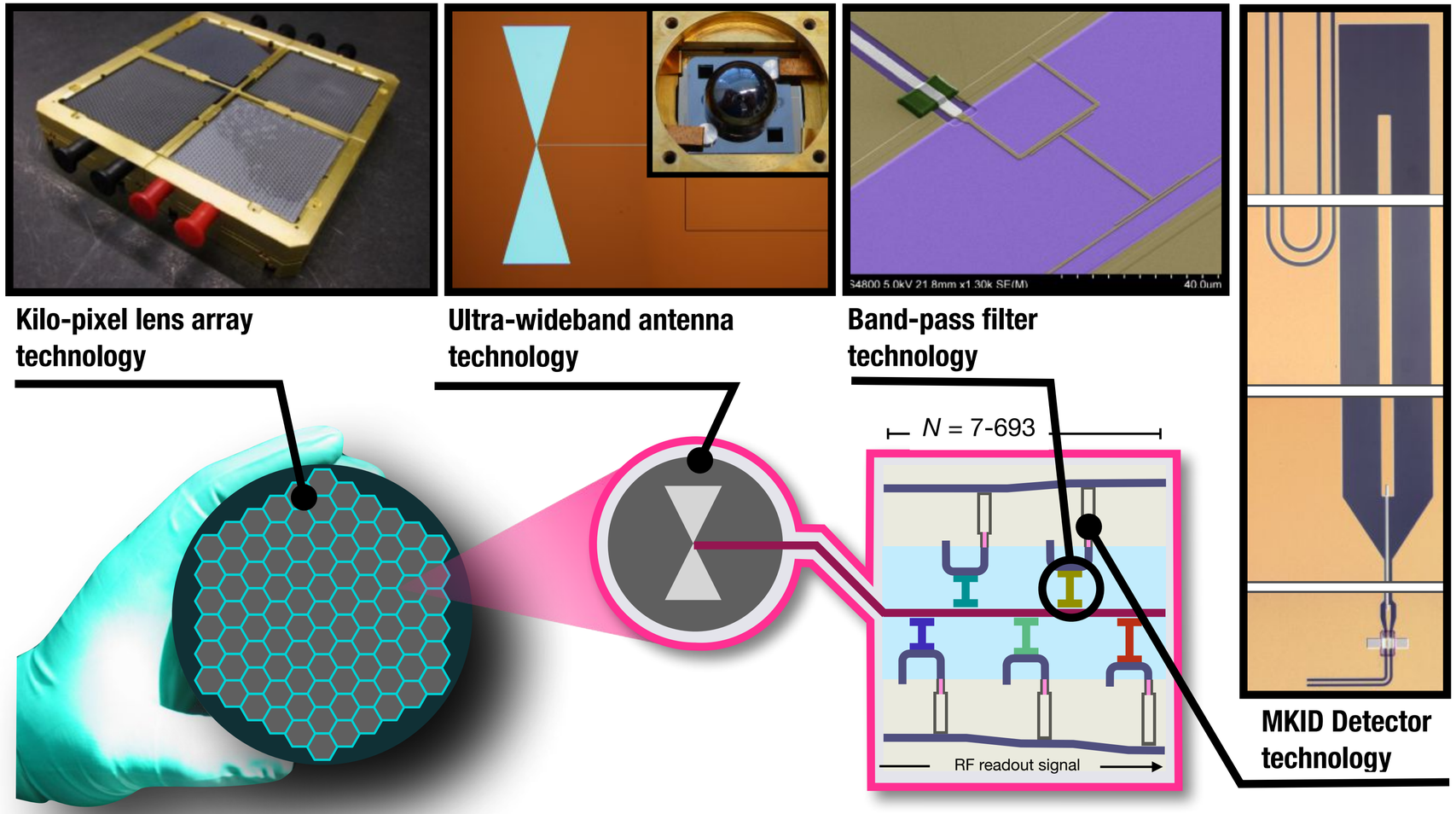

1-spaxel demonstrator (DESHIMA 2.0)

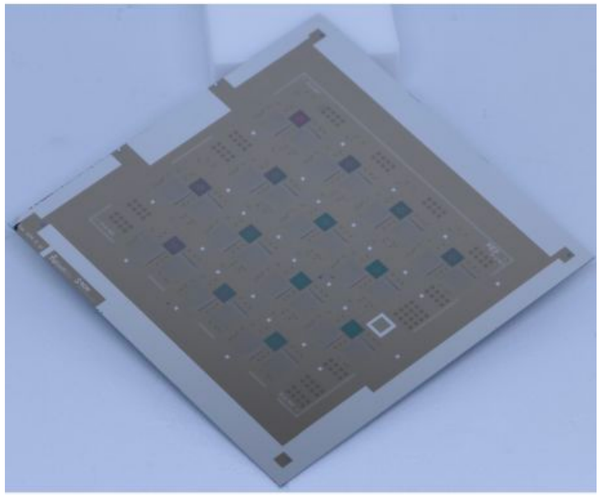


# TIFUUN

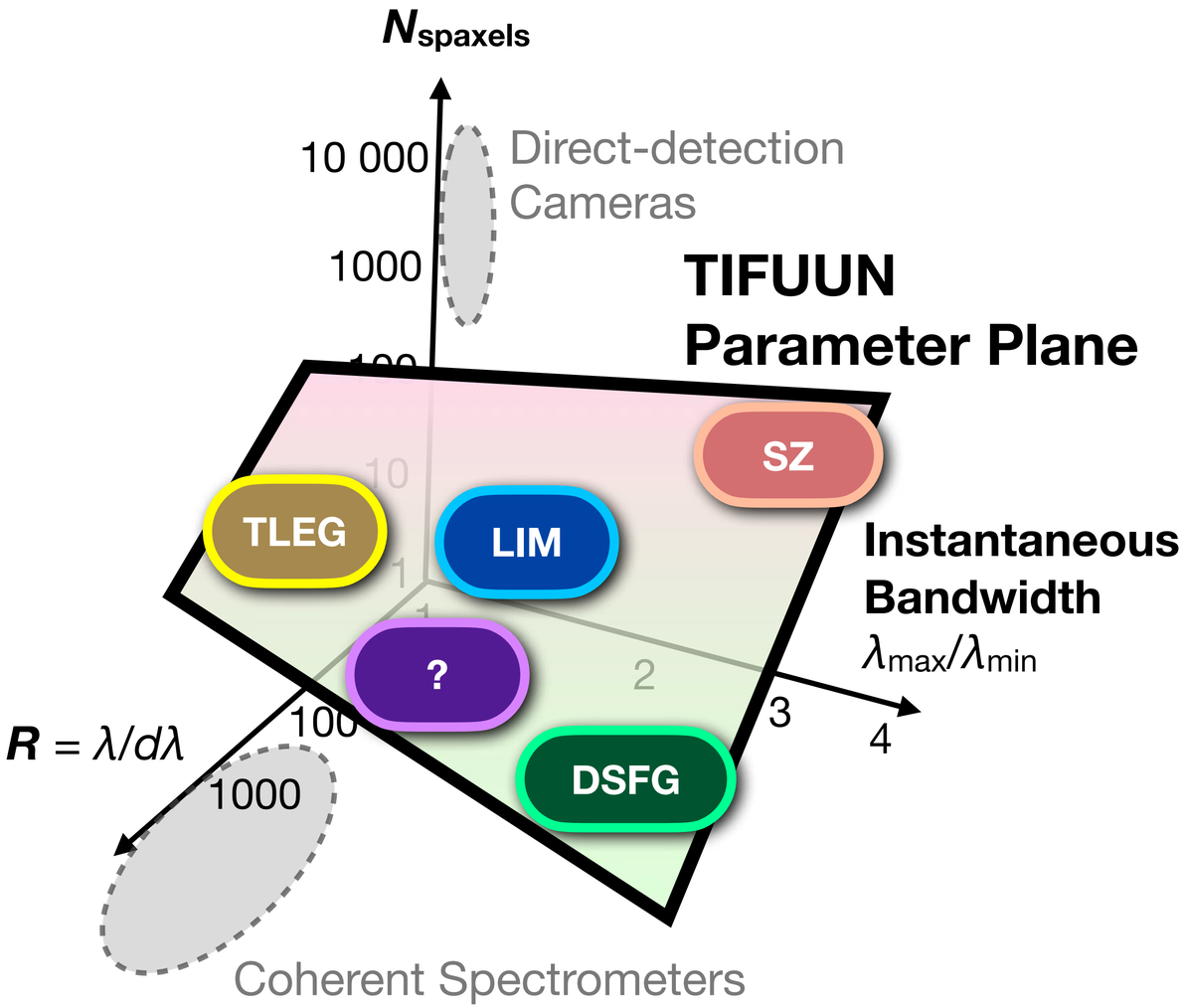
## THz Integral Field Unit with Universal Nanotechnology

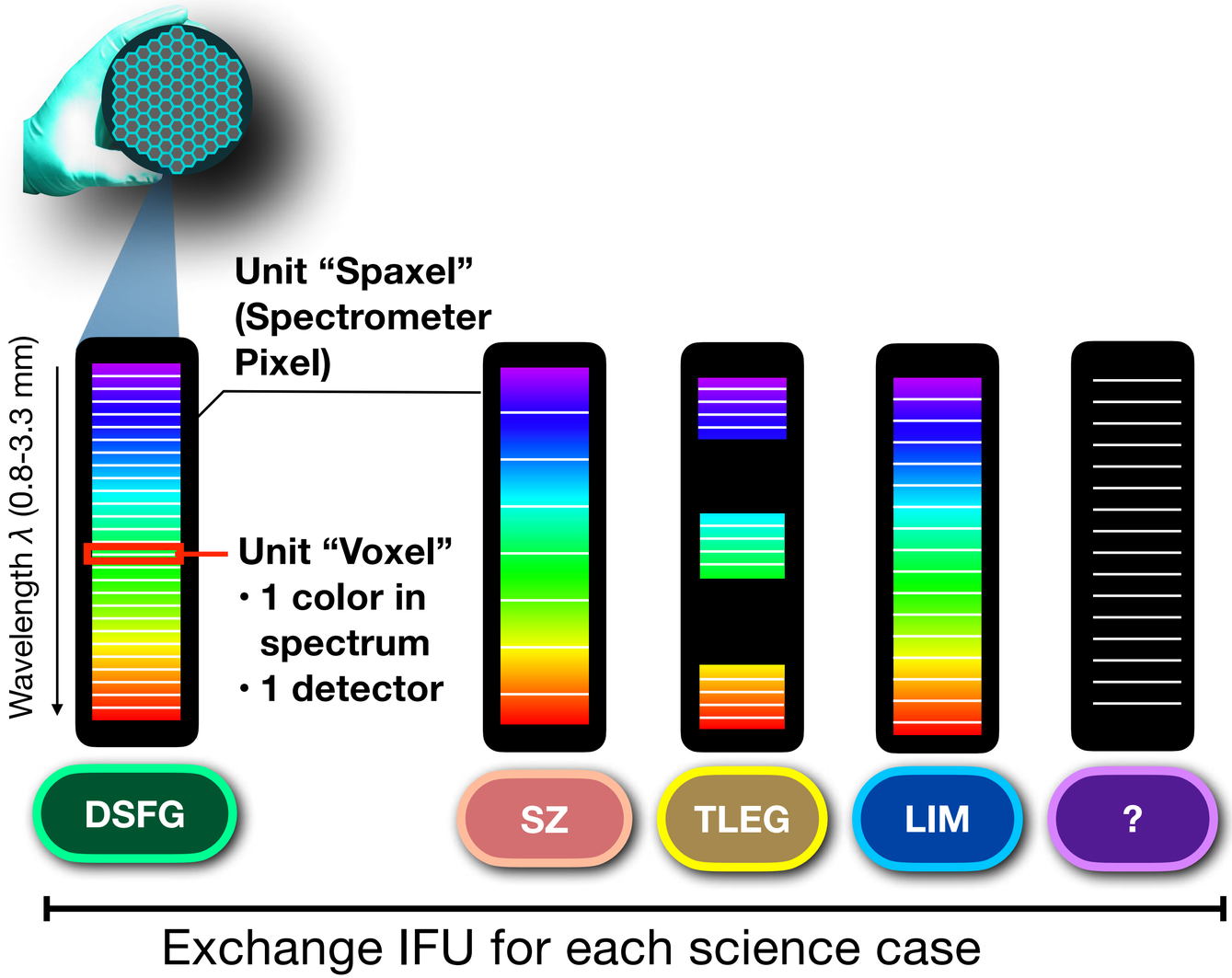


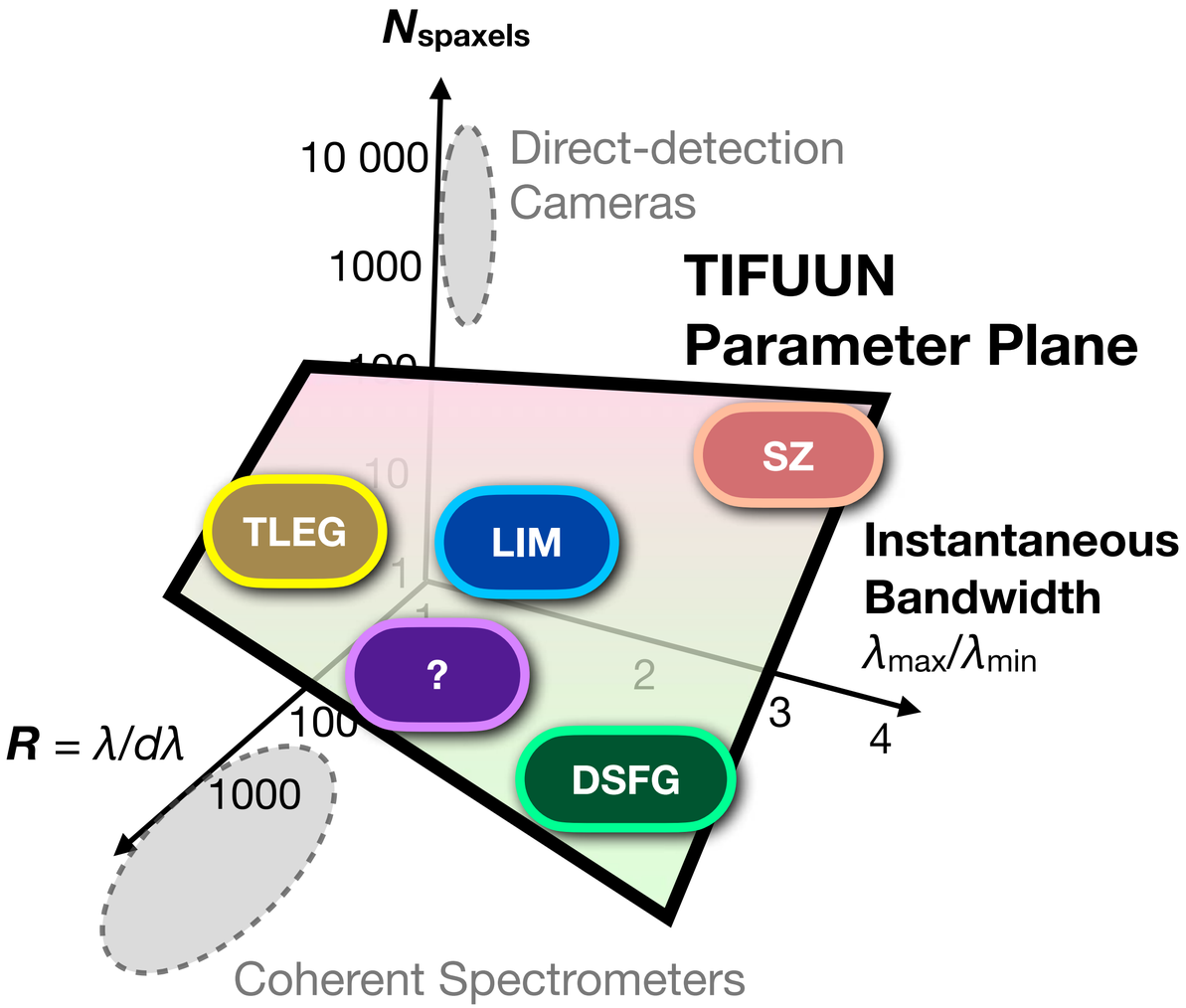
14-spaxel x 2-pol IFU demonstrator (K. Karatsu et al.)

# **One** Technology. **Many** Instruments.



# **One** Technology. **Many** Instruments.

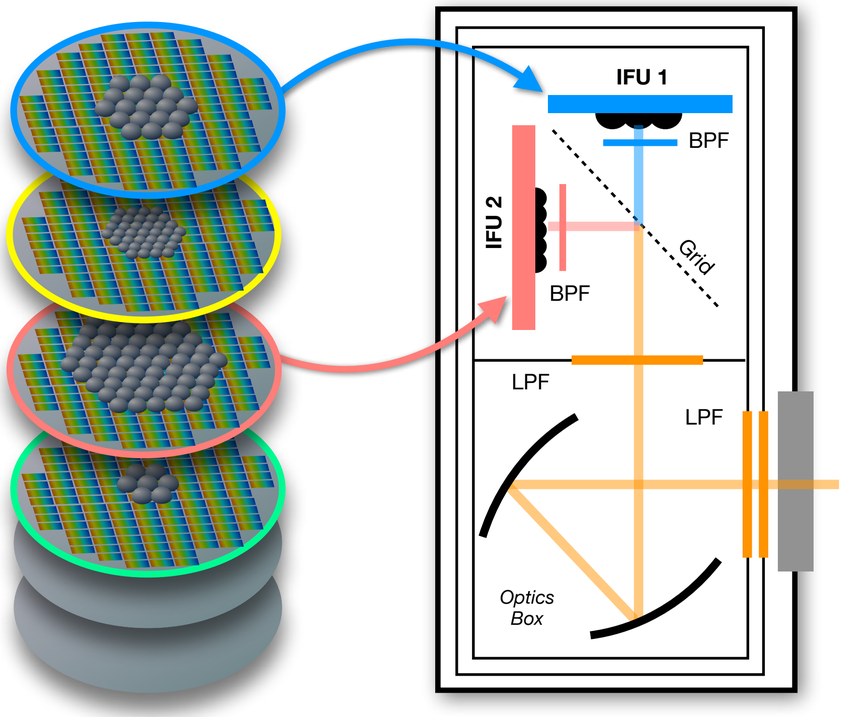



| | Boundary Limit |
|---|---|
| $N_{voxels} = N_{spaxels} * N_{colors}$ | <10,000<br>(20,000 with 2 IFUs) |
| $F_{max}$ | <360 GHz |
| $F_{min}$ | >90 GHz |
| $F_{max} / F_{min}$ | <1:2<br>(1:4 with 2 IFUs) |
| $R = F/\Delta F$ | <1000 (<2000?) |
| $N_{spaxels}$ | <91 (H-band)<br><37 (L-band) |

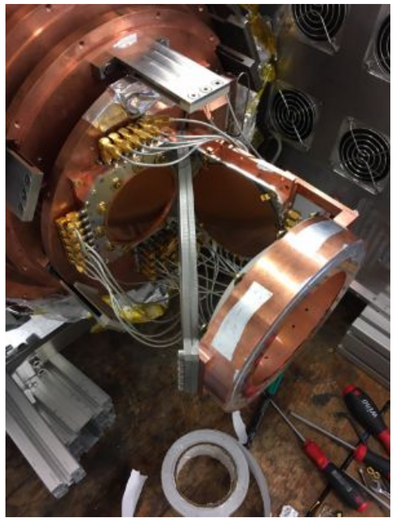
(Boundaries can be pushed with technology development)

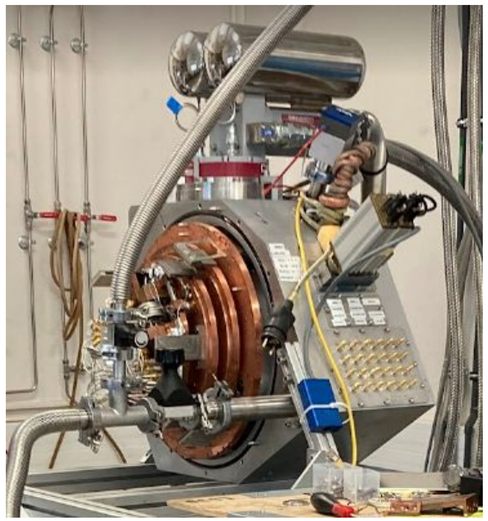
# “Plug-and-Play” IFU System

## Integral Field Units




## Optics and Cryogenics

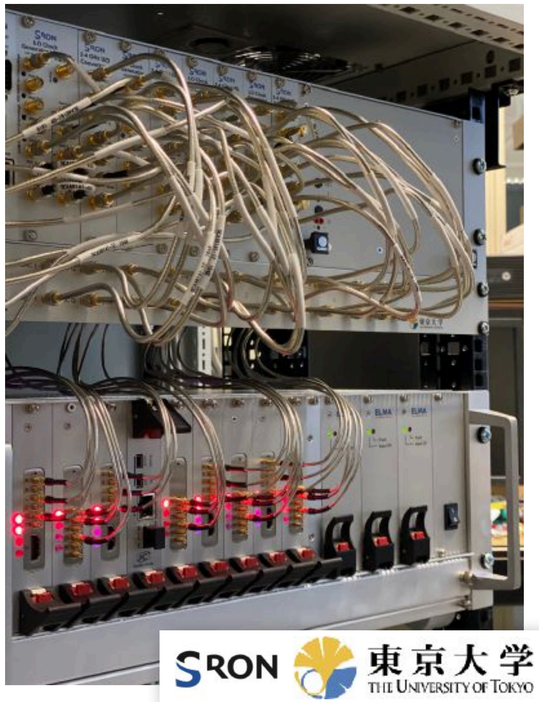




**CONCERTO cryostat (Monfardini et al.)**
**+ New optics for TIFUUN/ASTE**

https://neel.cnrs.fr/en/news/concerto-takes-height

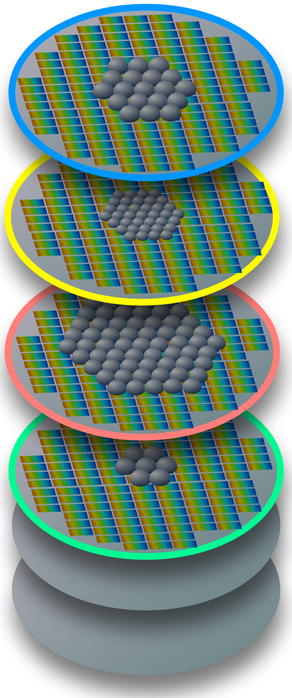
## Readout Electronics



SRON 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

# TIFUUN: ASTE特有の利点

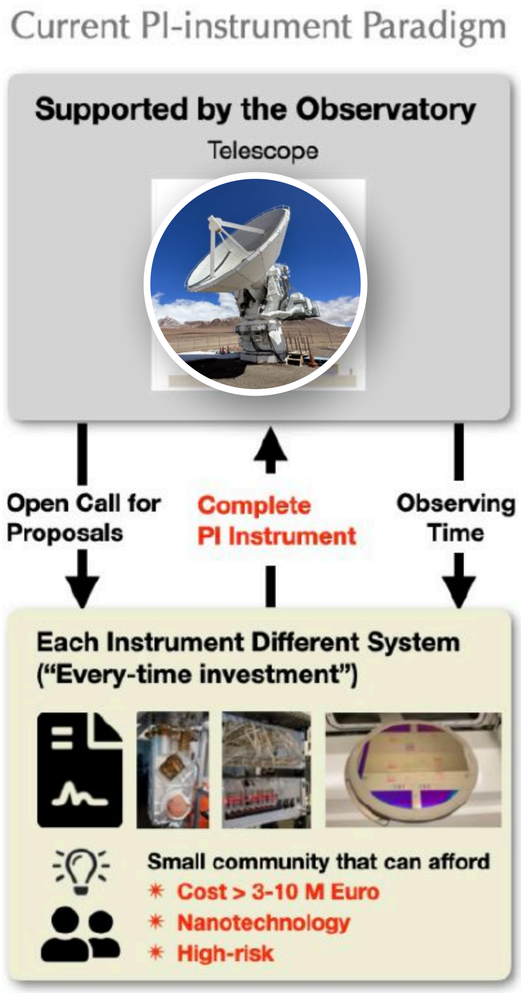
- **ASTE特有の事情**
  - 一つしかない受信機キャビン
  - 装置を変えるたびに受信機の上げ下ろし
    - 高地での重労働
    - 装置の故障、破損リスク
    - 渡航費用
    - 観測不可能時間の発生
- **TIFUUN**なら
  - **装置システムの上げ下ろしをせずに、IFUの置換で、さまざまな観測機能／性能の装置に変化**
  - **天文学上の新しい問題に応えていける**
  - **手を替え品を替え、一生遊べる**

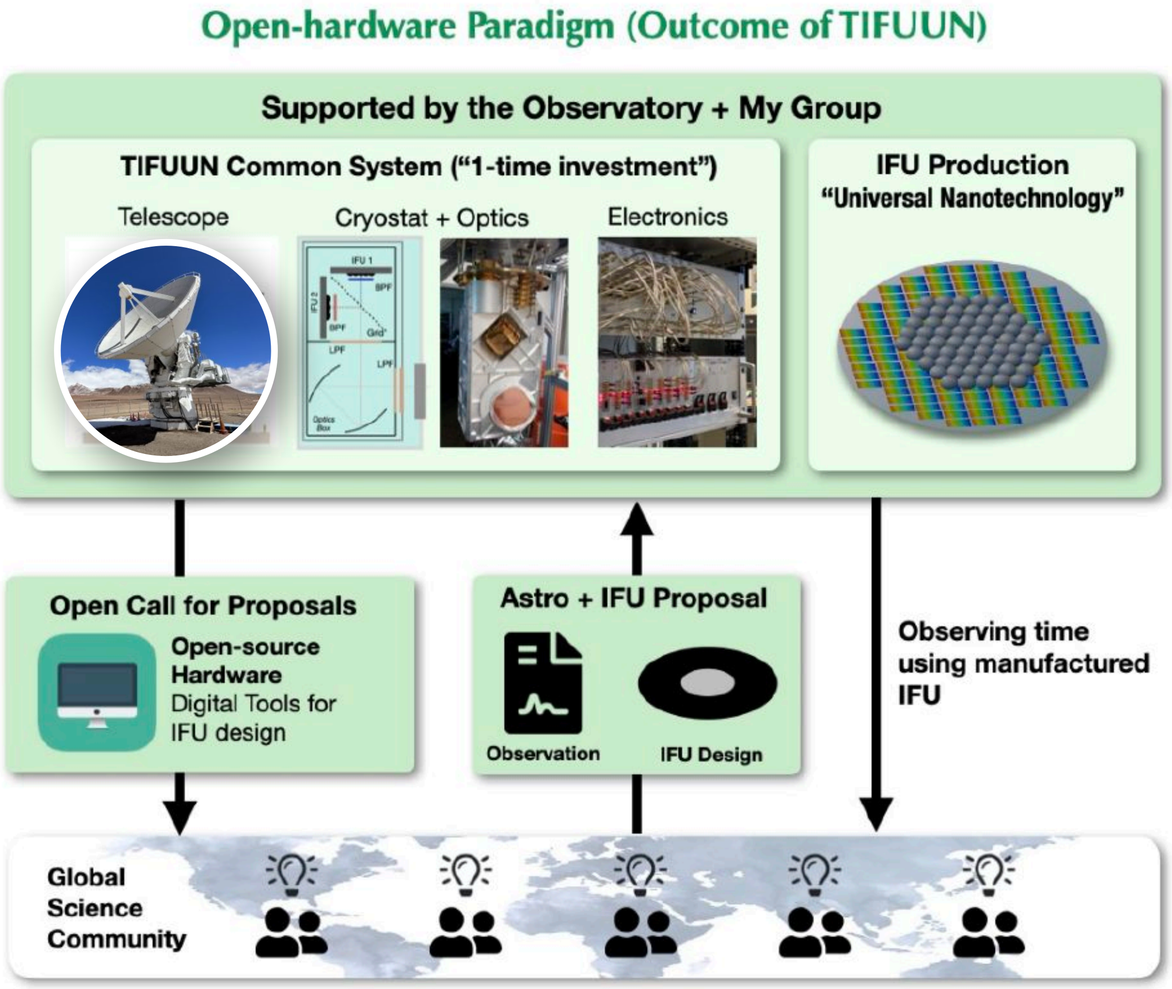






# Open-hardware: 「PI装置」から「PI-IFU」へ

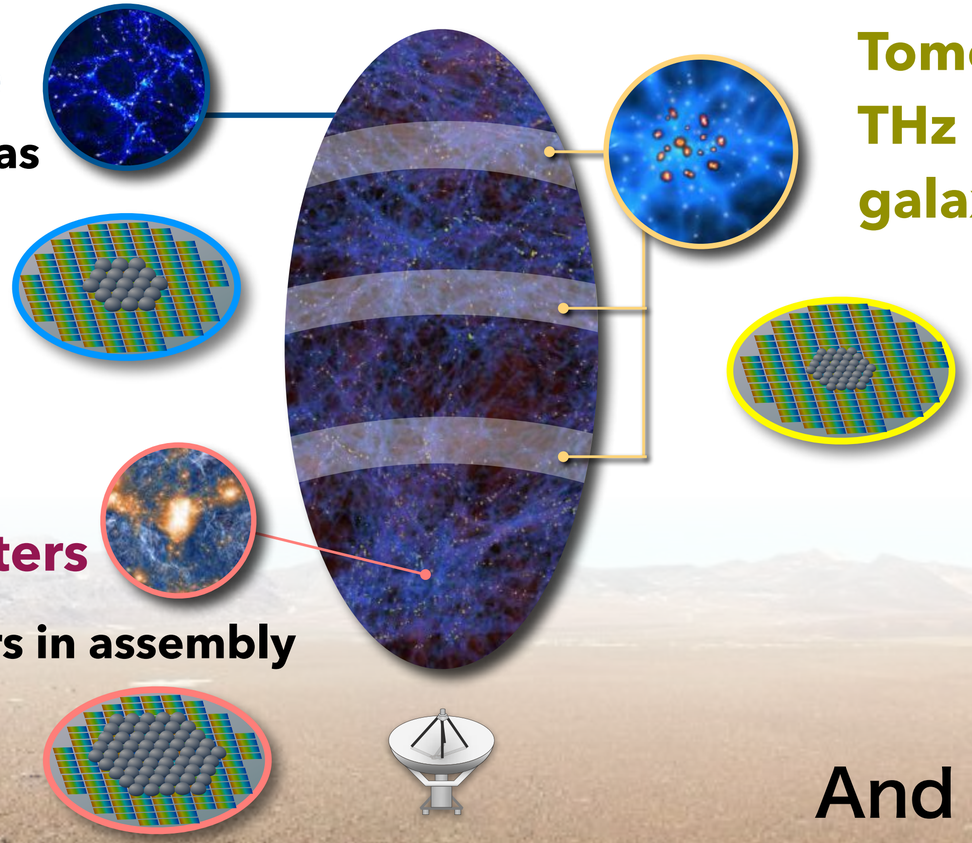


# TIFUUN Astronomy: Volumic 3D Surveys with Plug-and-Play IFUs

**[CII] Large Scale Structure**

- **Cosmic web of warm gas and star-formation** (Line Intensity Mapping)



**Tomography of THz line-emitting galaxies (TLEGs)**

- **New population of star-forming galaxies hidden by dust**

**SZ-Clusters**

- **Galaxy Clusters in assembly**

And more to come…

# Kick-Off Symposium (@TU Delft)



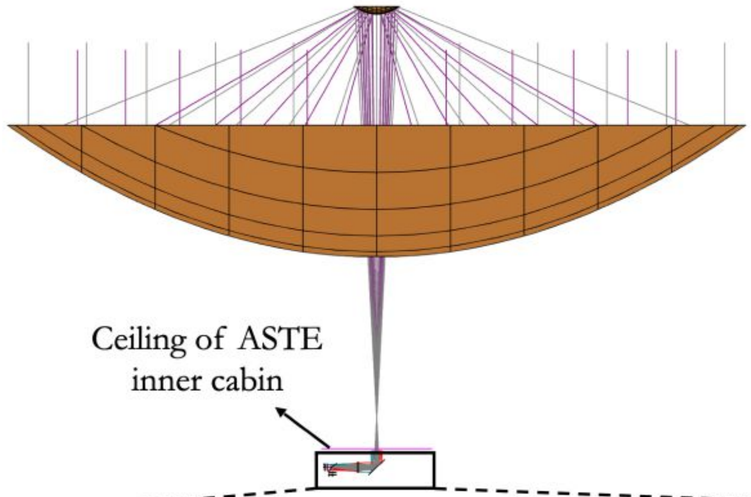
# TIFUUN Cryostat Test (Grenoble, France)



# 広帯域・広視野・コンパクトな光学系

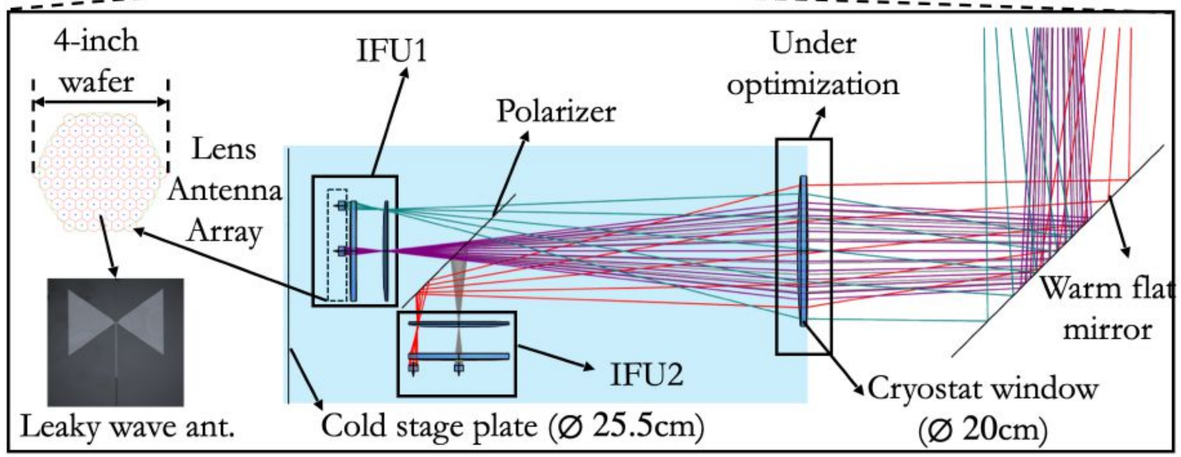


Shahab Dabironezare




**Advantages of Seq. GO in Rx**

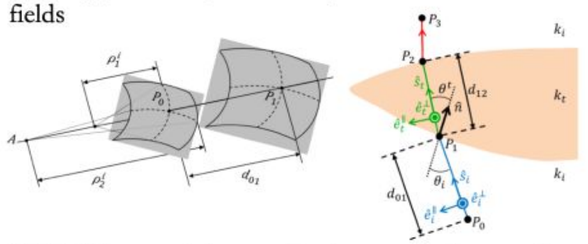
- Fast optimization kernel for multi-lens shaping wrt PO
- Addition of amplitude spreading control wrt ray tracing, enabling
  - Compact solutions
  - Advanced lens designs



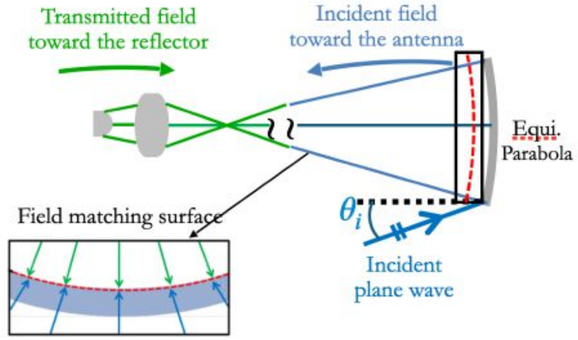

**Design Methodology**

1) Sequential Geometrical Optics propagation for multi-lens systems

Shaping phase, amplitude and polarization of the EM fields

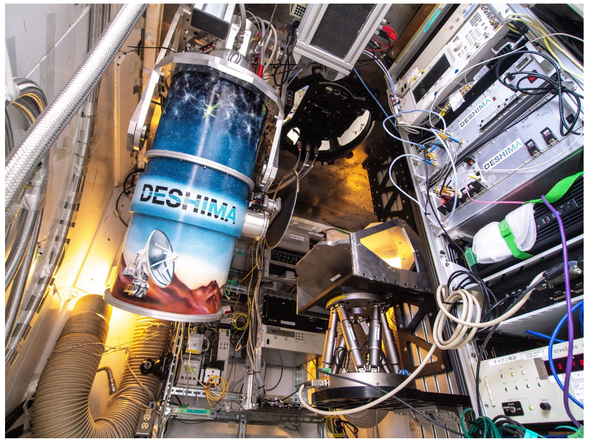


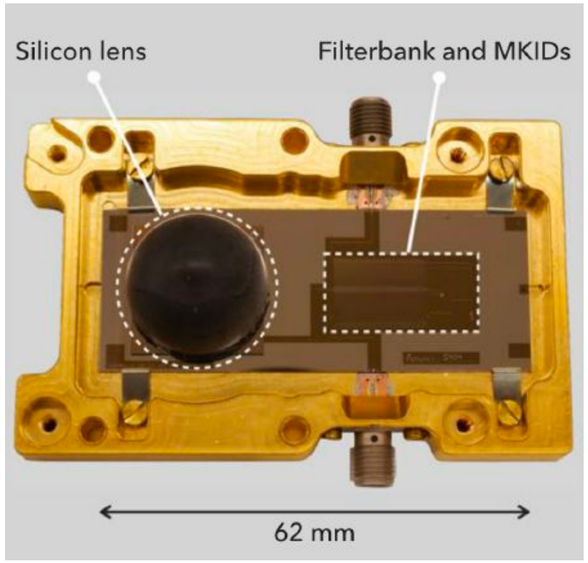
2) Field matching technique: end to end optimization in Rx mode

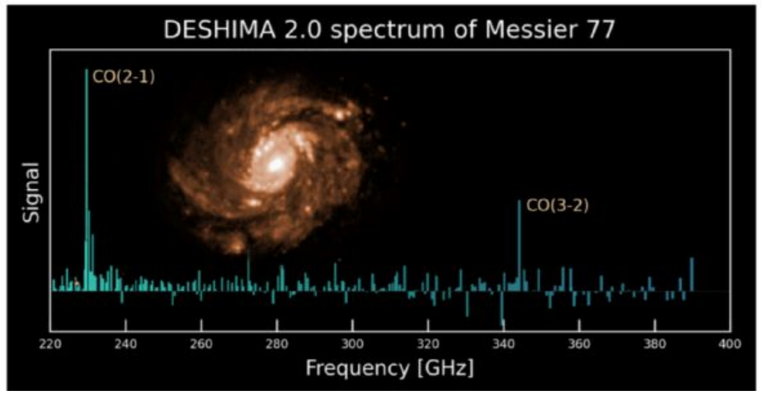


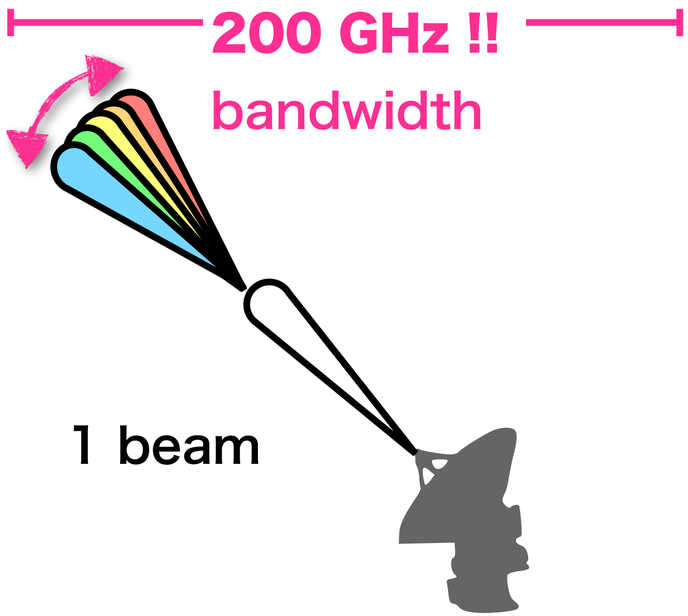

3) Multi-objective optimization to design for centre and edge of FoV simultaneously

# DESHIMA 2.0 (“TIFUUN 第一世代”)




- オンチップ・フィルターバンク分光器による世界初の科学観測
- 2023-2024年にかけてASTE搭載
（2024 7-11月の**5ヶ月間の科学観測**）
- **超広帯域**を生かして様々な天体を観測
（High-z 銀河, SZ銀河団, 近傍銀河、系内星形成領域、原始星、…）
- 現在鋭意データ解析中

## 「アルマ２の時代にASTEが果たすべき役割について、広く議論するワークショップ」

### 新天文学

単一鏡のメリットを追求した
広視野、広帯域の面分光



### 新世代

次の才能を惹きつけ、
魅了する原体験

### 新技術

独創的技術の
いち早い応用と
早期科学成果

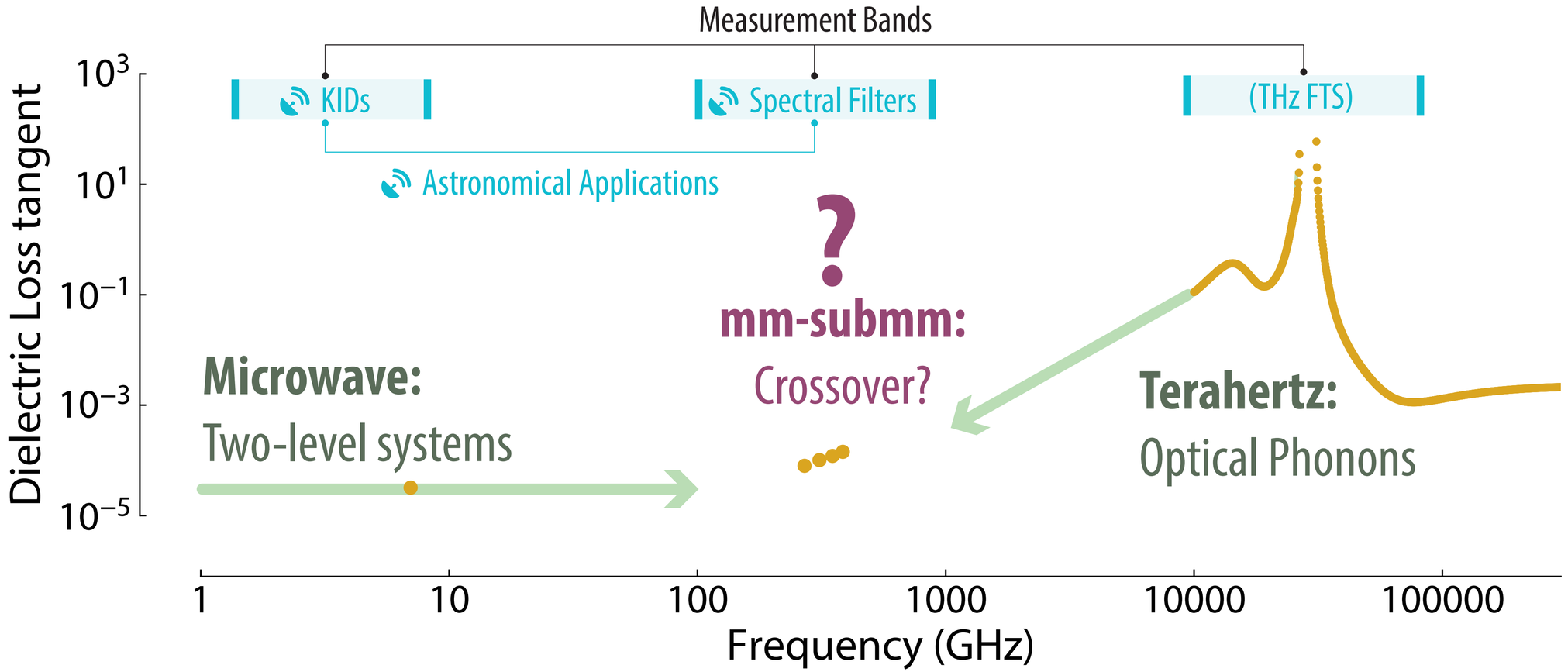
💡

**TIFUUN + ASTEのねらい**

三位一体の相乗効果

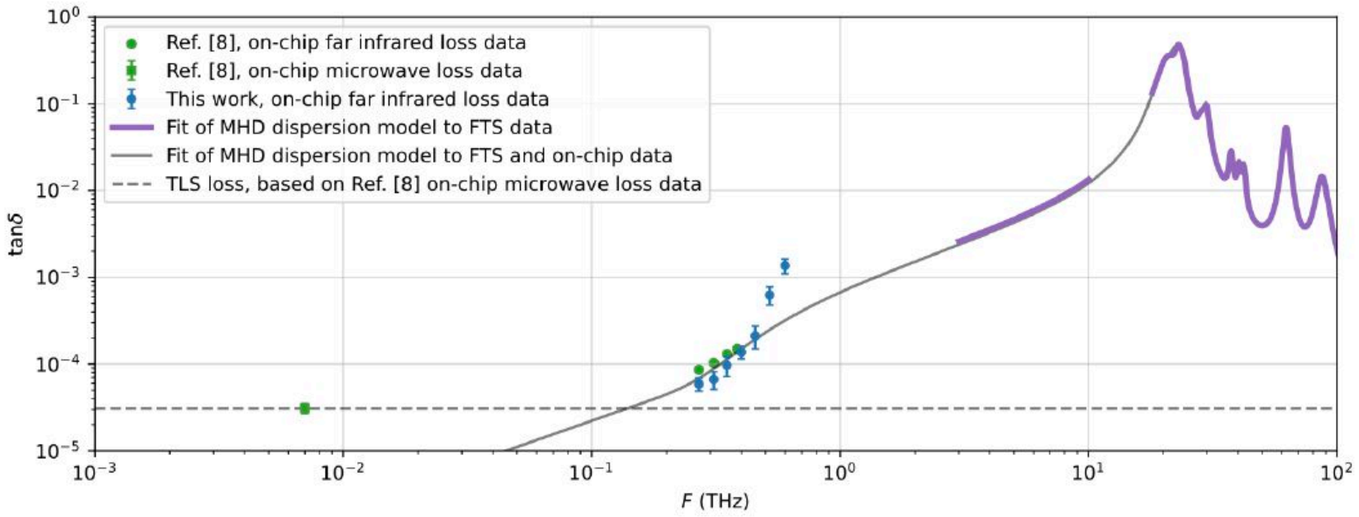
# DESHIMA/TIFUUNの「装置科学」って？

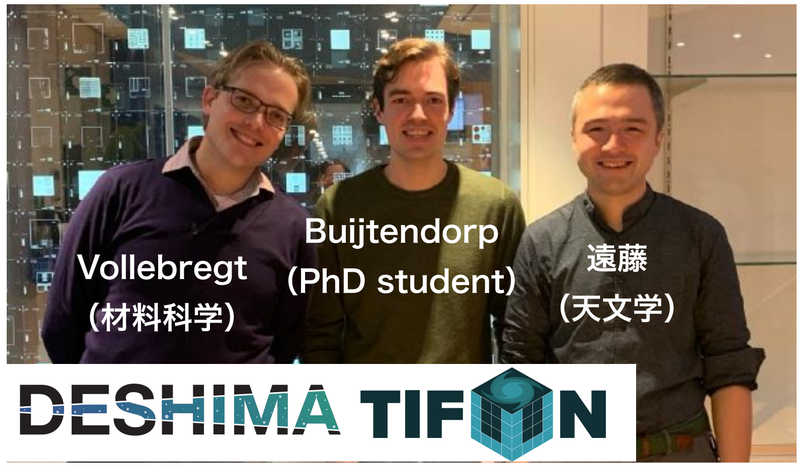
## たとえば：アモルファス誘電体膜のミリ波損失の物理の解明（2024）



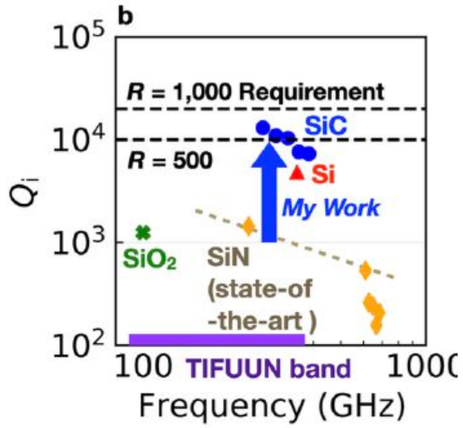
# DESHIMA/TIFUUNの「装置科学」って？

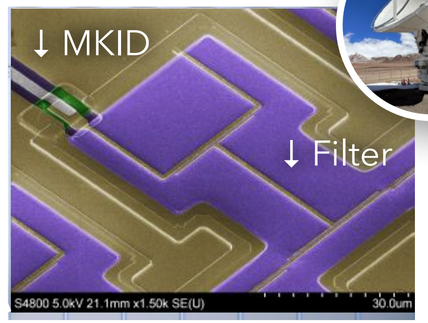
## たとえば：アモルファス誘電体膜のミリ波損失の起源の物理




- 「アモルファス誘電体膜のサブミリ波損失の起源は、**格子振動**」← この知見は、DESHIMAから
  - Buijtendorp et al. **Physical Review Applied**, accepted (arXiv:2405.13688 [astro-ph.IM]): **Editors' Pick + Cover** 🎉
- アモルファスSiCを極低温回路に導入（世界初）し、サブミリ波最低損失の記録を更新
  - Buijtendorp et al., **Physical Review Applied** 18 (2022) 064003
- DESHIMA 2.0 on ASTE で、科学観測に応用
  - 2022年の新材料出版 → 2024年に天文観測のスピード感（**ASTEがあるから**）






# DESHIMA/TIFUUNの「装置科学」って？

- 70件超の査読論文 (http://deshima.ewi.tudelft.nl/papers/papers.html)
  - SPIE Proceedingsなどの非査読論文は除外した数
- 例：
  - 「アモルファス誘電体膜のミリ波損失の起源は、格子振動」 Buijtendorp et al. **Physical Review Applied**, accepted
  - 「アモルファスSiCはサブミリ波損失が既知の材料で最も小さい」Buijtendorp et al., **Physical Review Applied** 18 (2022) 064003
  - 「オンチップフィルターバンク分光器の、複素ビームパターン測定とアライメント手法」Moerman et al., **A&A** 684, A161 (2024)
  - 「オンチップ・フィルターバンク分光器で、初めて天体信号を受信、光子雑音限界感度を実証」Endo et al., **Nature Astronomy** 3, 989–996 (2019)
  - 「オンチップ・フィルターバンク分光器の実験室での初実証」Endo et al., **Applied Physics Letters** 103, 032601 (2013)
  - 「KIDで、光子雑音を初観測」Yates et al., **Applied Physics Letters** 99, 073505 (2011)
  - 「KIDで、準粒子生成消滅雑音を初観測」de Visser et al., **Physical Review Letters** 106, 167004 (2011)

**DESHIMA/TIFUUN Style: 独創的な装置開発をして、そのサイエンスで論文も書く**

# オランダのKID検出器プロジェクト



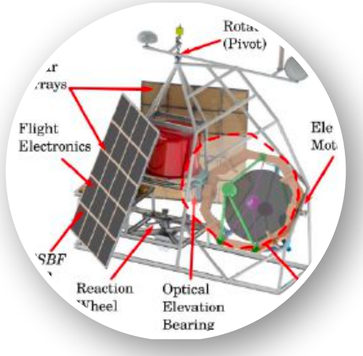
ASTE
(DESHIMA)
(TIFUUN)



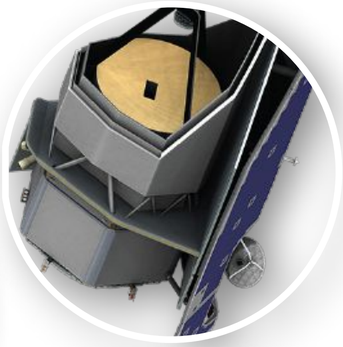
GroundBIRD



APEX
(A-MKID)




POEMM



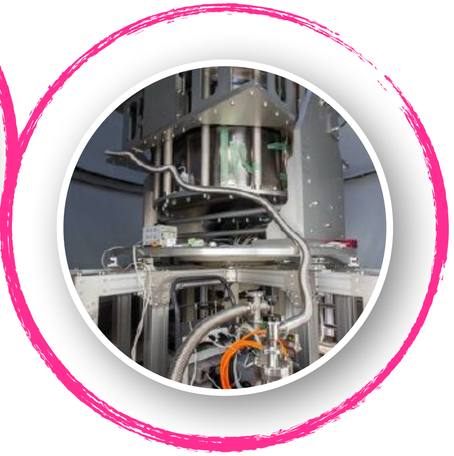
PRIMA

✅ 現時点で科学観測まで到達しているのは、日本と共同の2計画

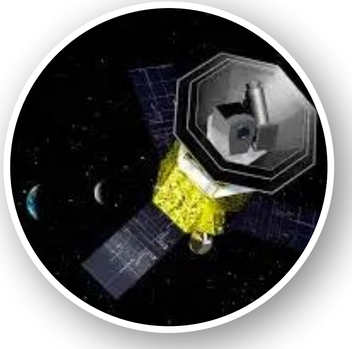
# 日本のKID検出器プロジェクト



ASTE
(DESHIMA)
(TIFUUN)



GroundBIRD



LiteBIRD
(KIDs unselected)



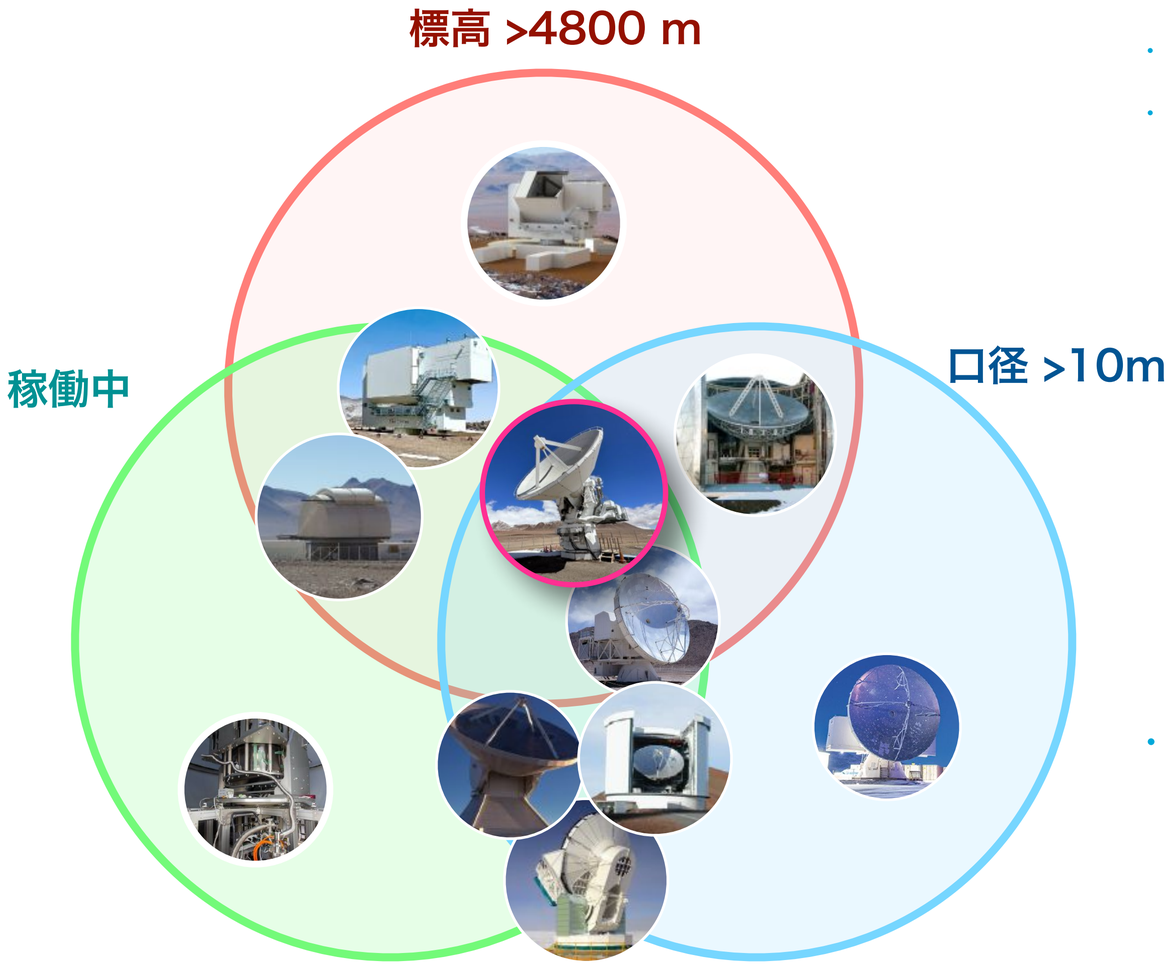
Greenland Telescope



野辺山45m

✅ 現時点で科学観測まで到達しているのは、オランダと共同の2計画

# ASTEのユニークな価値、重要性




- 3条件を満たすのは、今でもASTEとAPEXのみ
- **装置科学コミュニティから見て：**
  Relevantな条件で、十分な時間（~年）をかけて
  独創的技術を実証、科学応用まで持っていける望遠鏡として、
  ASTEとの共同研究は死活的に重要
  - **DESHIMA 1.0 (装置科学)**
    - On-chip filterbank分光器の初実証
      (Endo+, Nature Astronomy 2019)
  - **DESHIMA 2.0 (科学実証)**
    - ～1.5年間の搭載、科学観測実証
  - DESHIMA / TIFUUNを育てられる望遠鏡は、
    いまASTE以外にない
- **予算獲得**
  - 「搭載受け入れ望遠鏡がある」は最強
  - ASTEの、揺るぎない搭載受け入れ姿勢のおかげで、
    15年間継続して日蘭EUの科研費がとれた
- **装置科学の人材獲得、育成**：次のセクションで


nature astronomy

First light demonstration of the integrated superconducting spectrometer

「アルマ２の時代にASTEが果たすべき役割について、広く議論するワークショップ」

## 新天文学

単一鏡のメリットを追求した
広視野、広帯域の面分光



## 新世代

次の才能を惹きつけ、
魅了する原体験

## 新技術

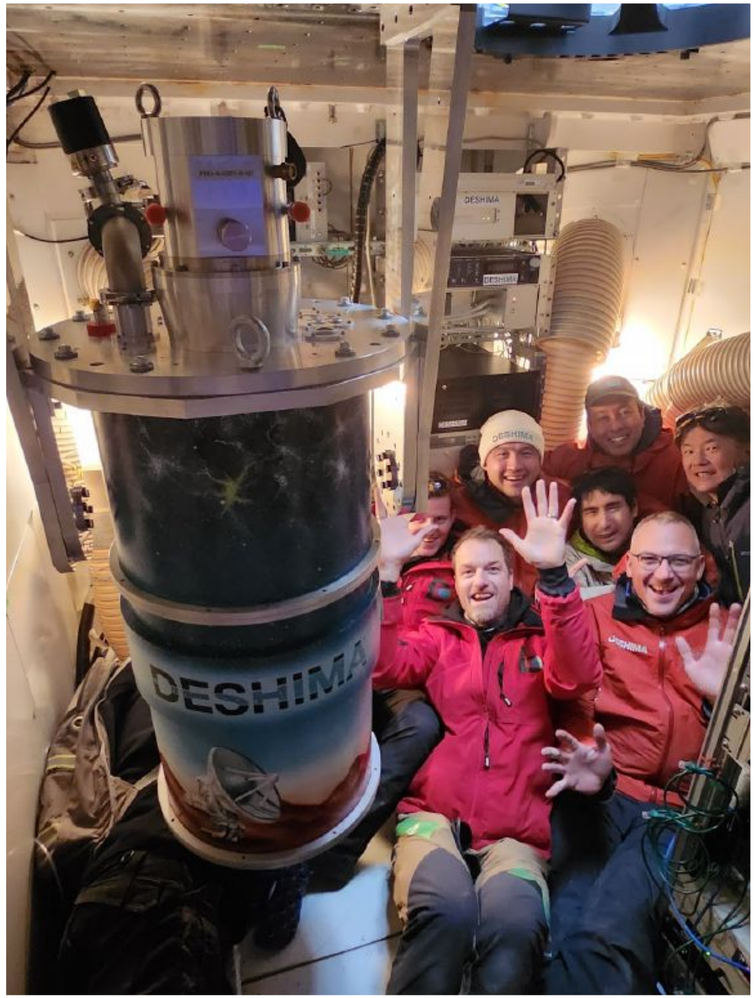
独創的技術の
いち早い応用と
早期科学成果

💡

TIFUUN + ASTEのねらい

三位一体の相乗効果

# DESHIMA 2.0 on ASTE




- October 2023: Installation
- December 2023: Shutdown
- June 2024: Start of 2024 campaign

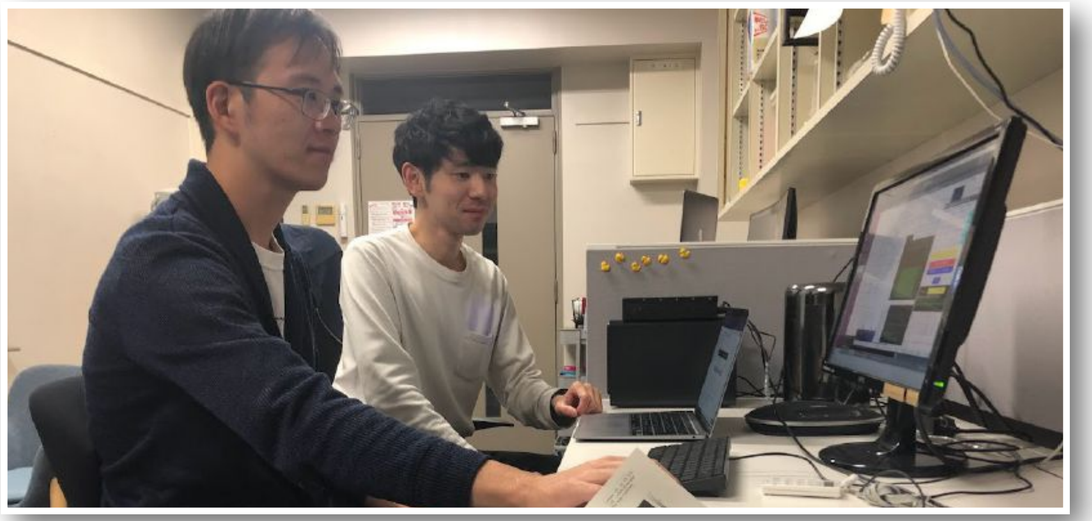
**5+months dedicated to CSV**

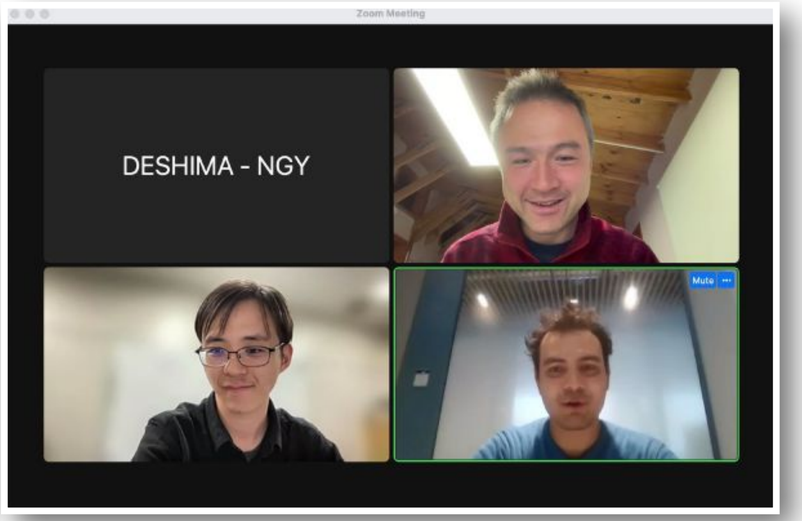
- July 2024: Commissioning
- July–November 2024: Science verification

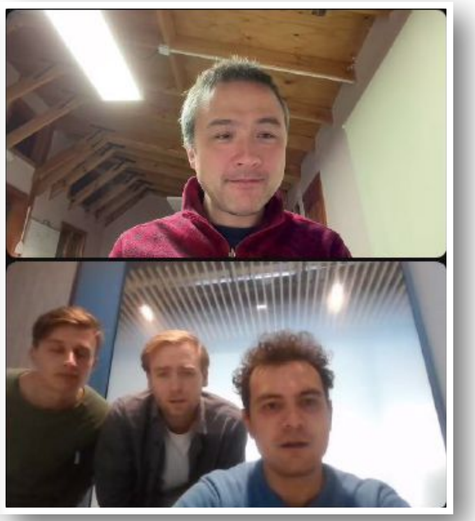
- December 2024: Uninstallation

# 世界中からのリモート観測

- 日本／EU／チリの３局交代で、20時間／日の観測を5ヶ月
- 日本、EU合わせて約50人が観測に参加
- DESHIMA 2.0 on ASTEで初めてサブミリ波（単一鏡）観測 / KIDsに触れた人も多数
- 観測講習会・資料の整備（谷口さん、田村さん）



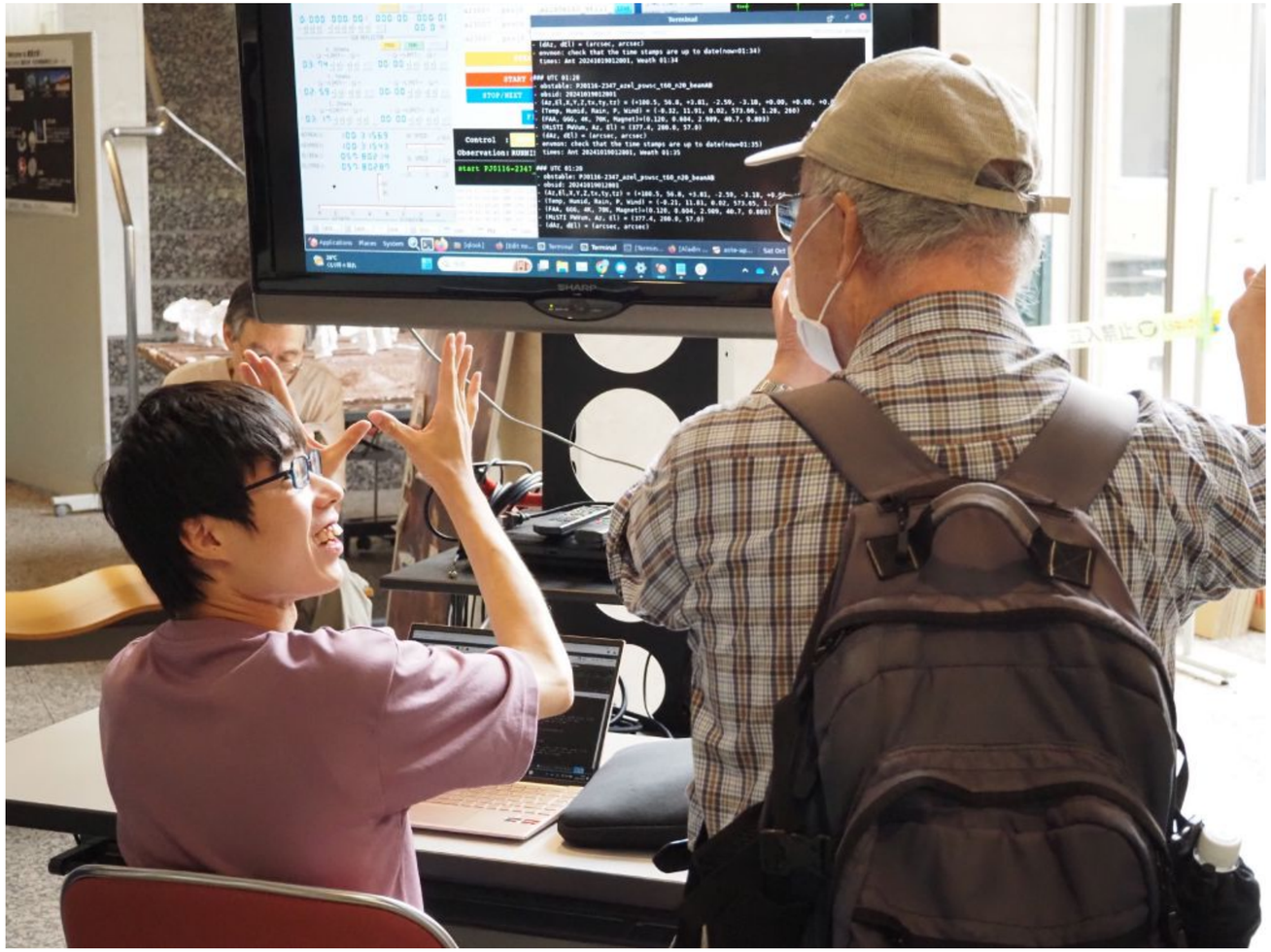


# 公開観測（リモート観測を活かして）

## 東大IoA一般公開日

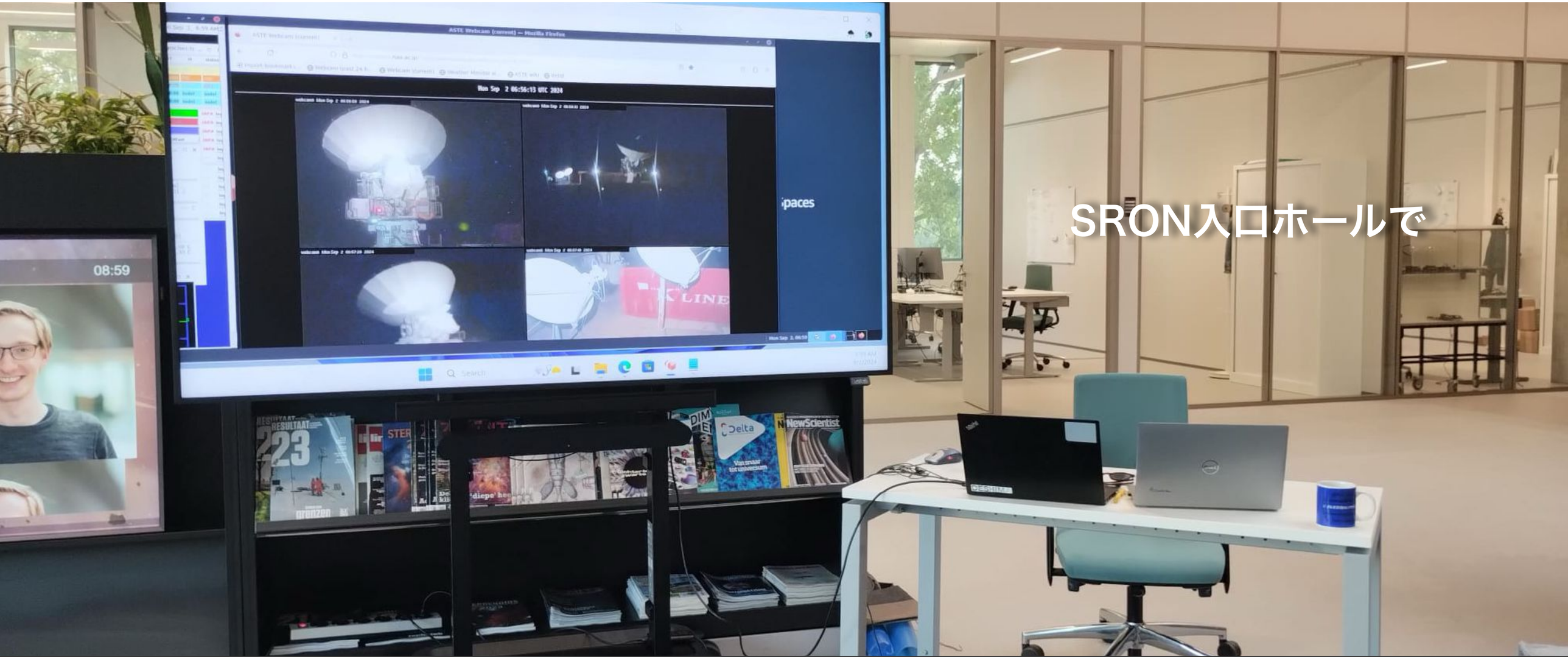


# 公開観測（リモート観測を活かして）



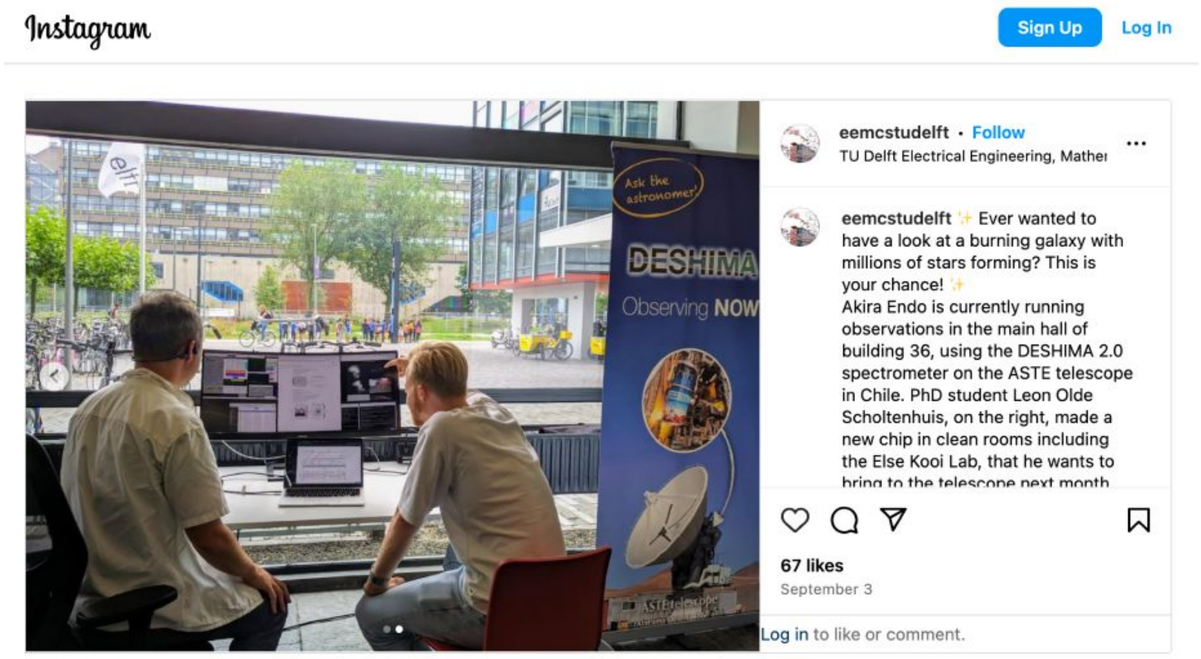
# 公開観測（リモート観測を活かして）




SRON入口ホールで

# 公開観測（リモート観測を活かして）

TU Delft 入口ホールで
（遠藤とPetersの平日観測すべて、
計20回程度実施）






# 他学部からも学生を惹きつけるASTE観測

- Rallou Nikolopoulouさんの例
  - 学部1年生
  - 他学部（応用物理）から、
    天文観測をしていると聞きつけて
    押しかけで（単位なしで）
    リモート観測に参加してくれた



# チリ現地での課題研究

- Madelief Petersさんの言葉
  - “I am especially grateful for the unforgettable experience of traveling to Chile, where I could see the telescope in action and witness how theory connects to practice. This trip not only deepened my understanding but also showed me that research is far more than sitting at a desk—it is a dynamic and collaborative journey.” (BSc thesis, 2024)
- 帰国後、進学希望の高校生や学部一年生向けのイントロダクションで体験談、学生を魅了

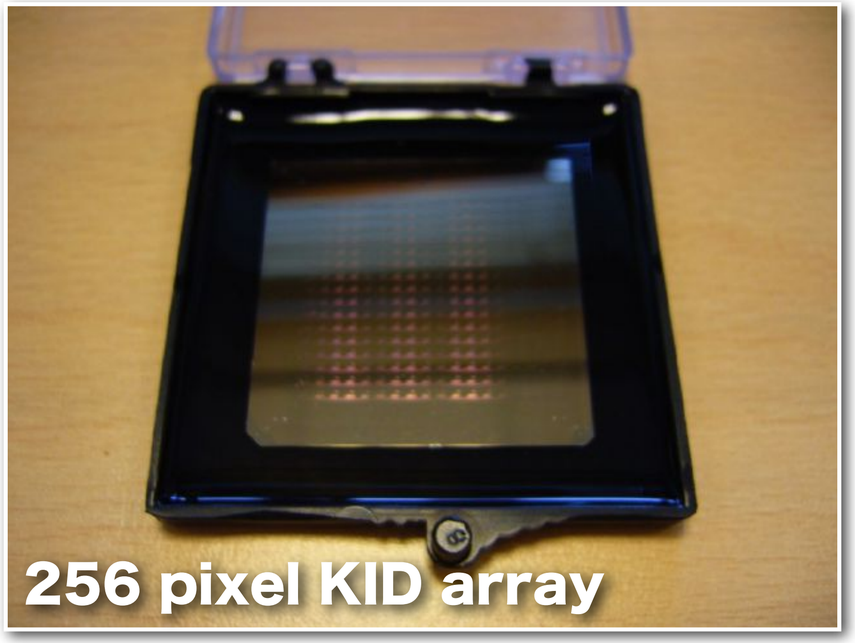


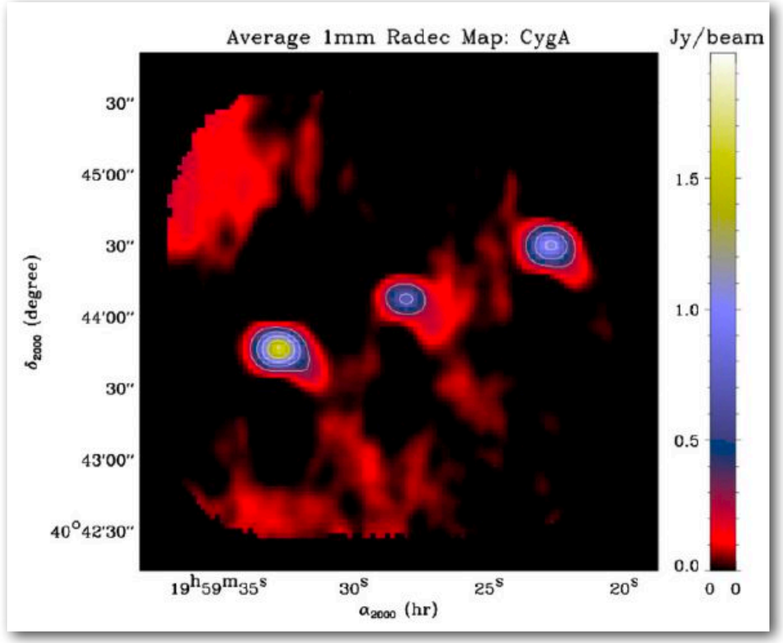







# 一生モノの原体験：
# 自分で作った／考えた超伝導デバイスで天体信号を受ける







THE ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES, 194:24 (11pp), 2011 June doi:10.1088/0067-0049/194/2/24
© 2011. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

A DUAL-BAND MILLIMETER-WAVE KINETIC INDUCTANCE CAMERA FOR THE IRAM 30 m TELESCOPE

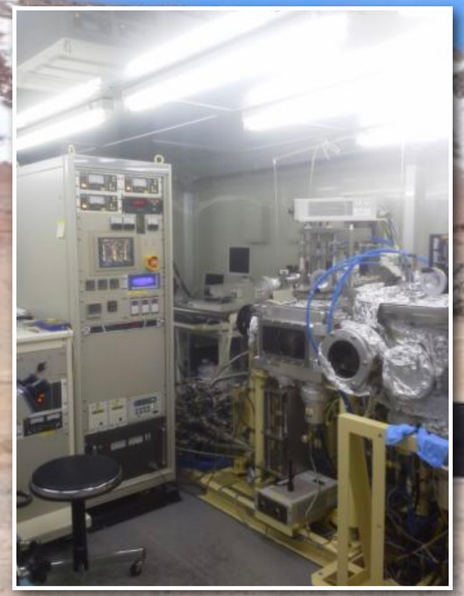
A. MONFARDINI[1], A. BENOIT[1], A. BIDEAUD[1], L. SWENSON[1,10], A. CRUCIANI[1,11], P. CAMUS[1], C. HOFFMANN[1], F. X. DÉSERT[2], S. DOYLE[3], P. ADE[3], P. MAUSKOPF[3], C. TUCKER[3], M. ROESCH[4], S. LECLERCQ[4], K. F. SCHUSTER[4], A. ENDO[5], A. BARYSHEV[6], J. J. A. BASELMANS[6], L. FERRARI[6], S. J. C YATES[6], O. BOURRION[7], J. MACIAS-PEREZ[7], C. VESCOVI[7], M. CALVO[8], AND C. GIORDANO[9]

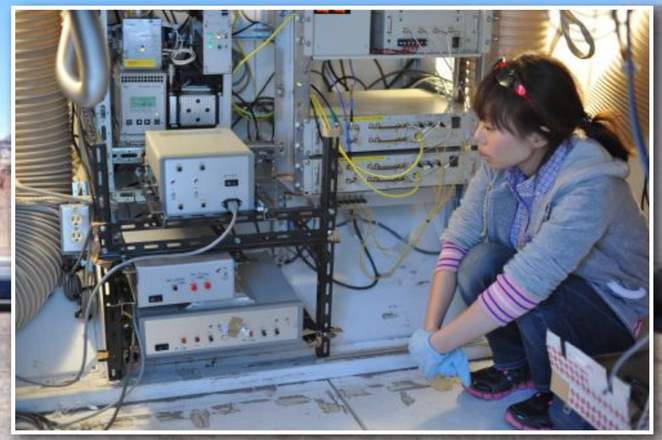
# 一生モノの原体験：
# 自分で作った／考えた超伝導デバイスで天体信号を受ける



# 一生モノの原体験：
# 自分で作った／考えた超伝導デバイスで天体信号を受ける

## Respect: 旧・東大山本研　（富士山 & ASTE テラヘルツHEB）





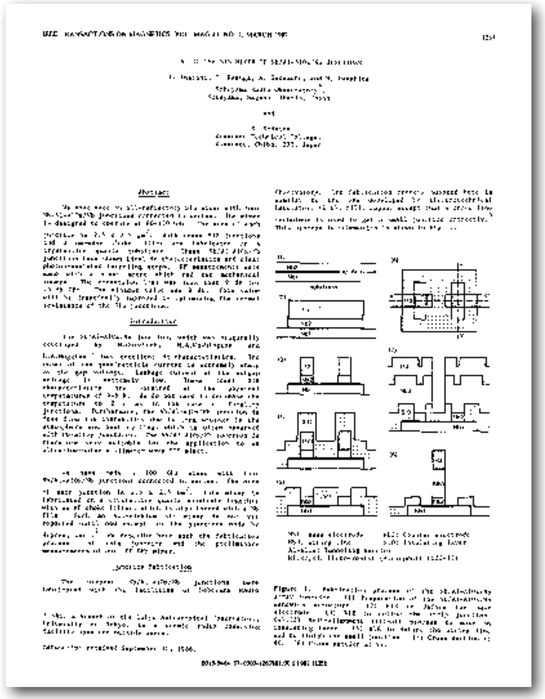
https://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/~submm/photo/thz11/thz11.html

# 一生モノの原体験：
# 自分で作った／考えた超伝導デバイスで天体信号を受ける

## Respect: 稲谷順司さん

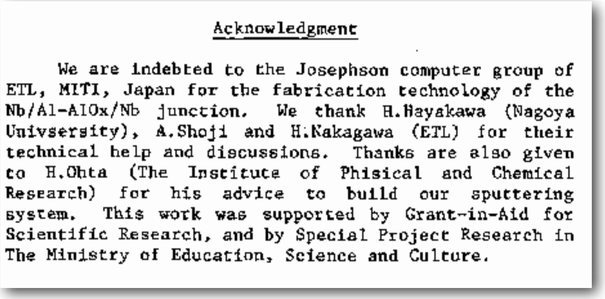
### Nb/Al-AlOx/Nb SIS ミクサによる初の天体観測 (1987)

- ALMA, Herschelなどに連なるSIS受信機の時代を築いた、装置科学の歴史に輝く業績
- 当時Delftも、野辺山で稲谷先生から作り方を学んだ
- **電総研、名古屋大学など、天文学コミュニティの外から貪欲にノウハウを吸収**、野辺山にクリーンルームを設立





Feb 09-11, 1984 Josephson Mixer Workshop, Nobeyama



Acknowledgment

We are indebted to the Josephson computer group of ETL, MITI, Japan for the fabrication technology of the Nb/Al-AlOx/Nb junction. We thank H.Hayakawa (Nagoya Univsersity), A.Shoji and H.Nakagawa (ETL) for their technical help and discussions. Thanks are also given to H.Ohta (The Institute of Phisical and Chemical Research) for his advice to build our sputtering system. This work was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research, and by Special Project Research in The Ministry of Education, Science and Culture.

## 「アルマ２の時代にASTEが果たすべき役割について、広く議論するワークショップ」

### 新天文学

単一鏡のメリットを追求した
広視野、広帯域の面分光

### 新世代

次の才能を惹きつけ、
魅了する原体験



### 新技術

独創的技術の
いち早い応用と
早期科学成果

**TIFUUN + ASTEの狙い：三位一体の相乗効果**

- 世界第一線の望遠鏡で
- 野心的な天文学を目指すから
- 独創的な技術をつくるから
- トップの才能が集まる
- 若者が集まる研究グループが生き残る

# Backup Slides

# デルフトTIFUUN PhD チーム

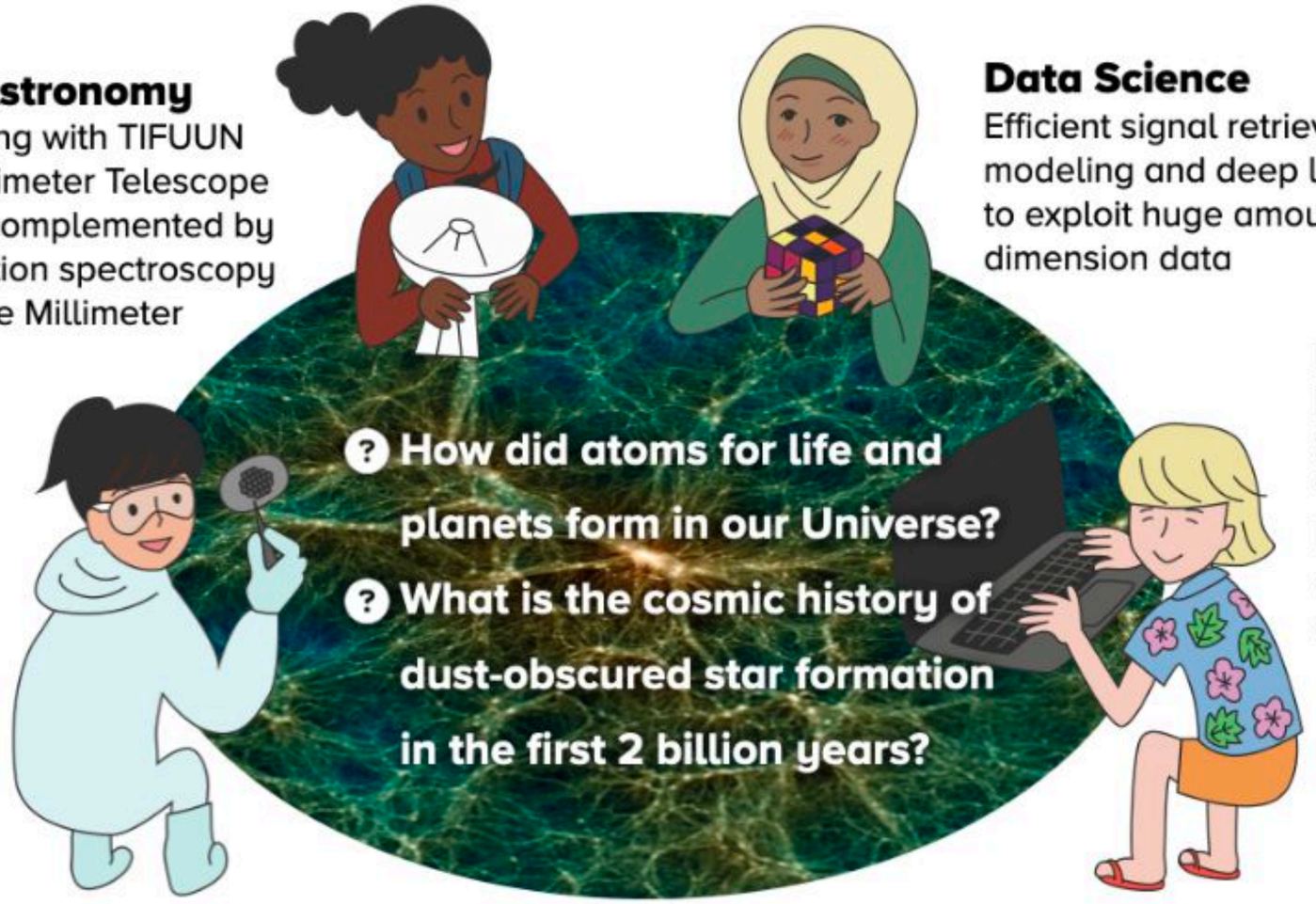
## 全員がASTEサイト経験者



# 学際教育：国際先導TIFUUN

**Observational Astronomy**
Line intensity mapping with TIFUUN on Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE), complemented by high-spectral resolution spectroscopy using FINER on Large Millimeter Telescope (LMT)

**Data Science**
Efficient signal retrieval with sparse modeling and deep learning to exploit huge amount of multi-dimension data




**Large Scale Numerical Simulations**
Theoretical prediction of line intensity signals and comparing to cosmological models

**Superconducting Nanoelectronics**
Development of novel Integrated Imaging Spectrograph TIFUUN