



すばる望遠鏡持ち込み装置 MIMIZUKU の苦勞と教訓

上塚 貴史 (東大天セ)

MIMIZUKU team



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO



TAO PROJECT
The University of Tokyo Atacama Observatory

概要

- MIMIZUKU の概要
- 試験観測までの道のり
- 苦労と教訓

MIMIZUKU の概要

TAO 搭載中間赤外線観測装置 MIMIZUKU

広い観測波長帯

NIR ch : 2.0 – 5.3 μm
MIR-S ch : 6.8 – 26 μm
MIR-L ch : 24 – 38 μm

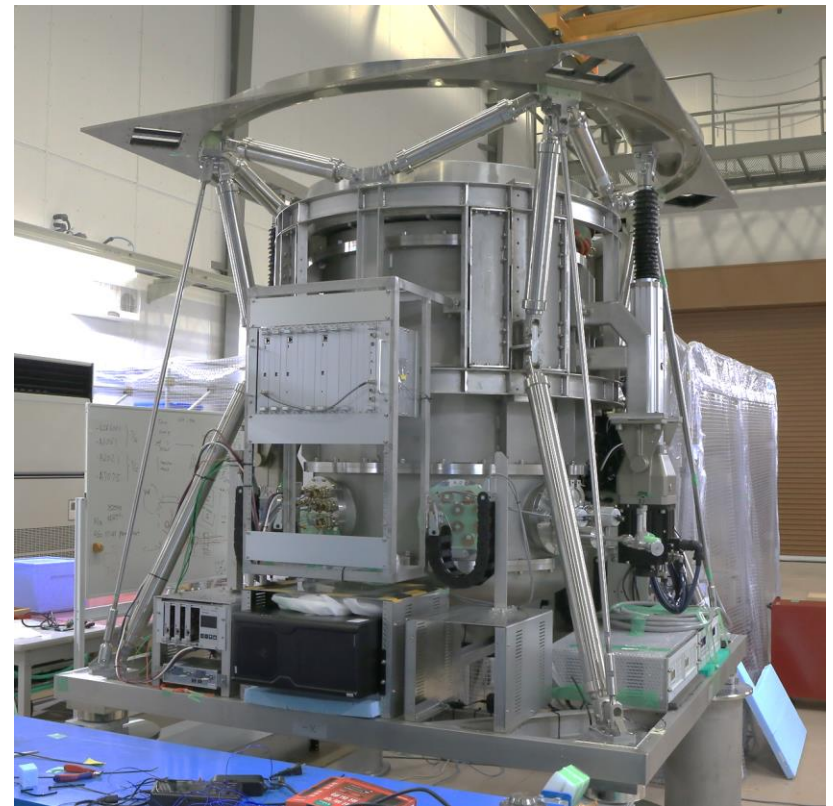
2 – 38 μm にて
撮像・低分散分光
($R \sim 100-600$)

高い空間分解能

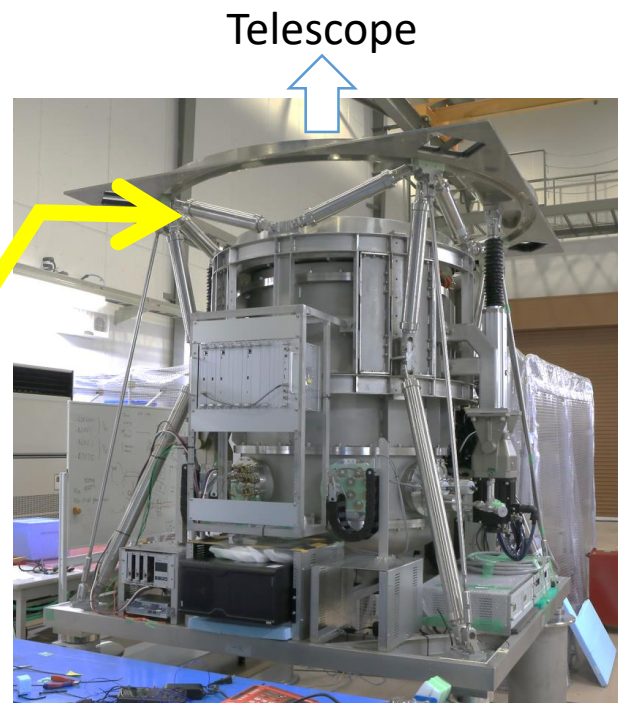
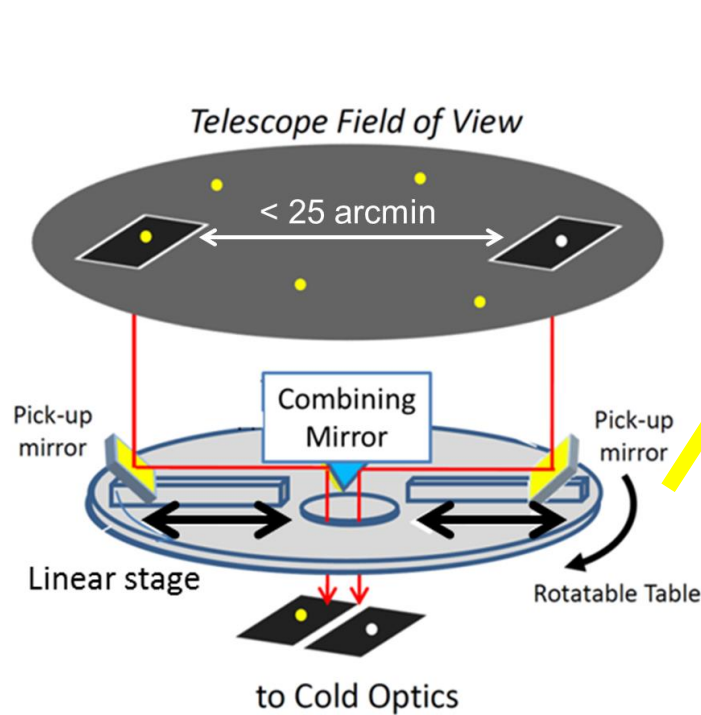
NIR : ~ 0.5 秒角 (シーイング限界)
10- μm 帯: ~ 0.6 秒角 (ほぼ回折限界)
20- μm 帯: ~ 0.8 秒角 (回折限界)
30- μm 帯: ~ 1.2 秒角 (回折限界)

大気吸収較正の高精度化

特殊装置フィールドスタッカー (後述)



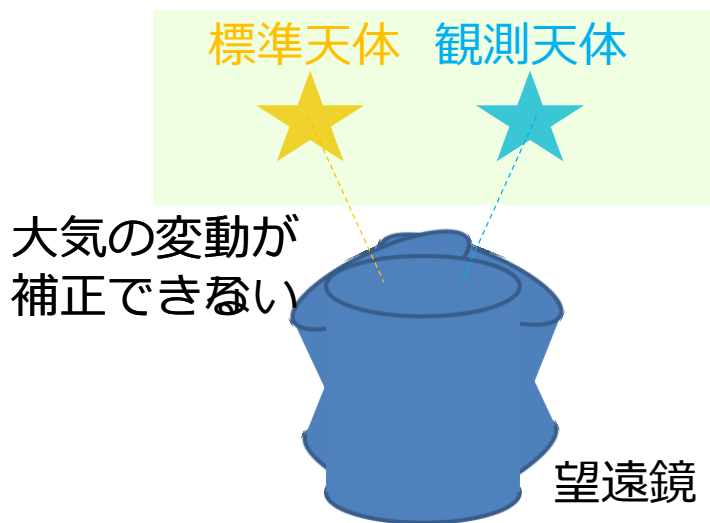
フィールドスタッカー



望遠鏡焦点に置いた三枚の可動鏡で
二つの観測視野を選択・結合
→二つの視野を同時観測

フィールドスタッカーによる 大気吸収較正

大気透明度が変化



従来の較正

- 中間赤外線 → 明るい天体が少ない
→ 一視野では較正不可
→ 大気的时间変化で較正に難

フィールドスタッカーによる較正

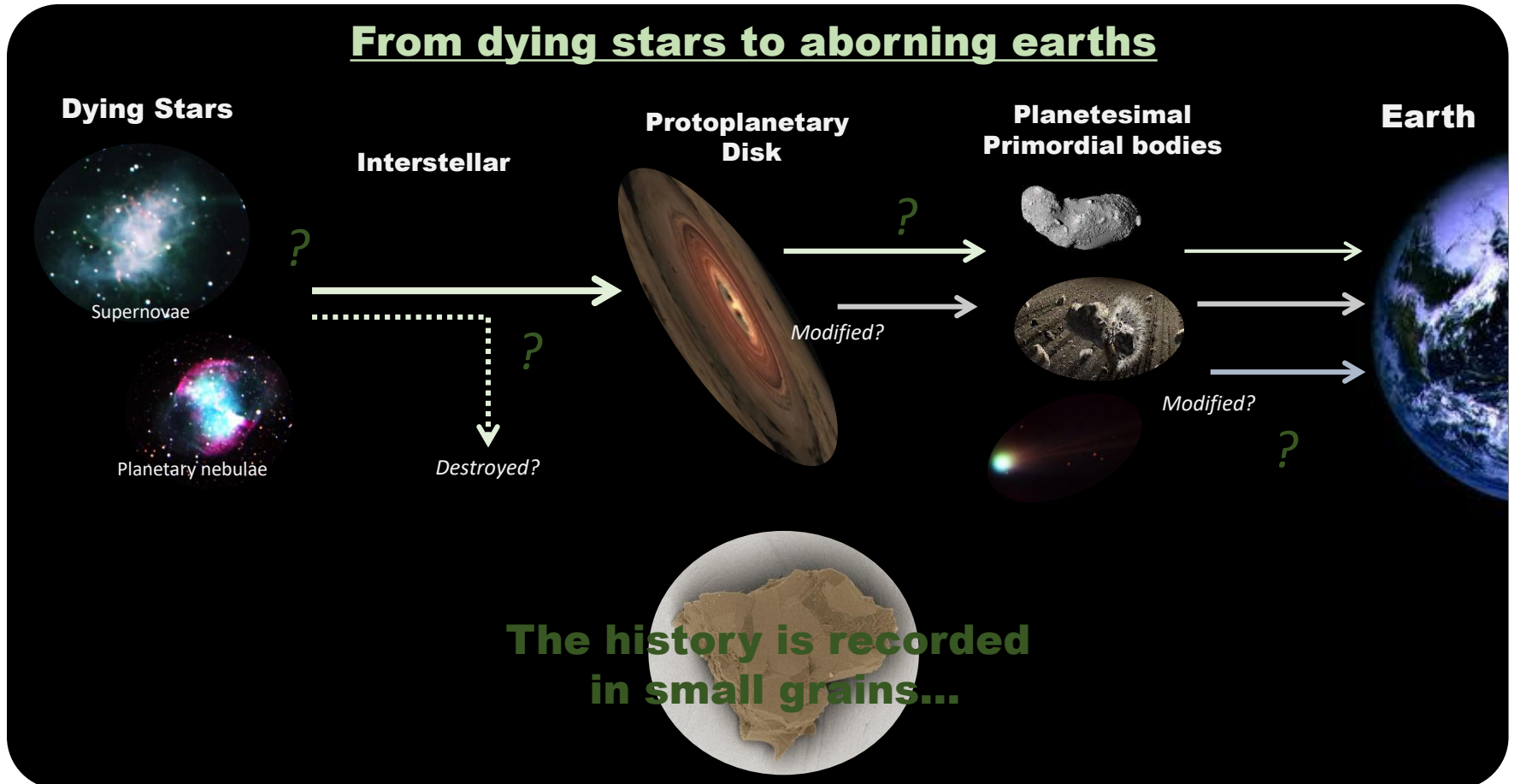
- 視野合成を実現 → 明るい天体と同時観測
→ 正確な較正を実現

大気変動の影響が強い波長帯の観測を高精度化・安定化
→ 時間変動現象の赤外線モニタリングの実現

Origin of Terrestrial Material

from dying stars to aborning earths

From dying stars to aborning earths



ダストの形成・破壊・成長・惑星形成までを
時間変動現象を新たな切り口として探る

すばる望遠鏡への持ち込み

① TAO での円滑な科学運用の開始のための準備

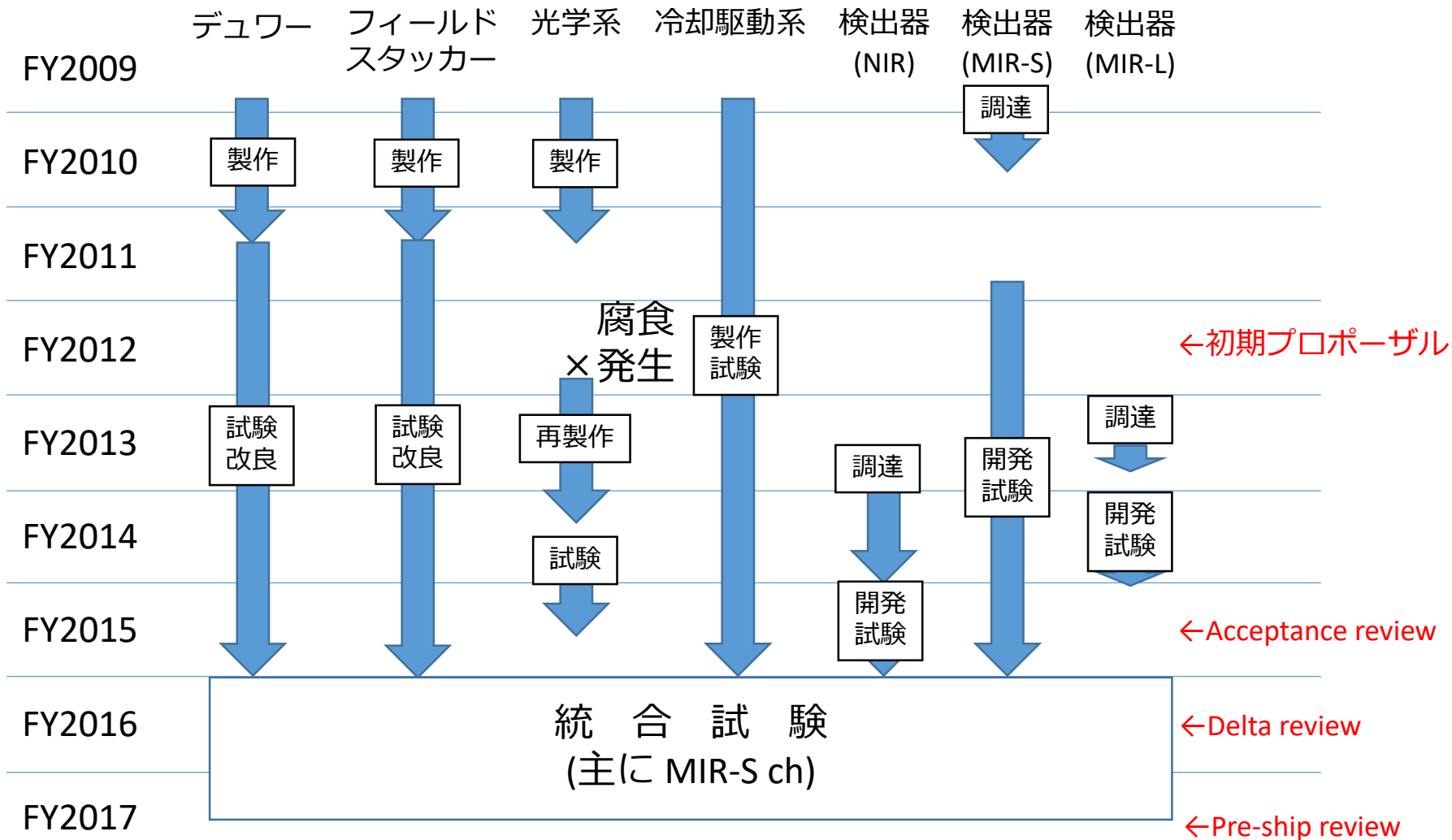
- 実観測を通じた装置性能評価
- 装置の不具合箇所のおぶり出し
- 観測制御コマンドの整備
- 解析パイプラインの整備

② フィールドスタッカーの有効性の実証

- 実際に大気吸収校正精度は改善するのか
- そもそも天体の導入はできるのか

試験観測までの道のり

試験観測までの道のり



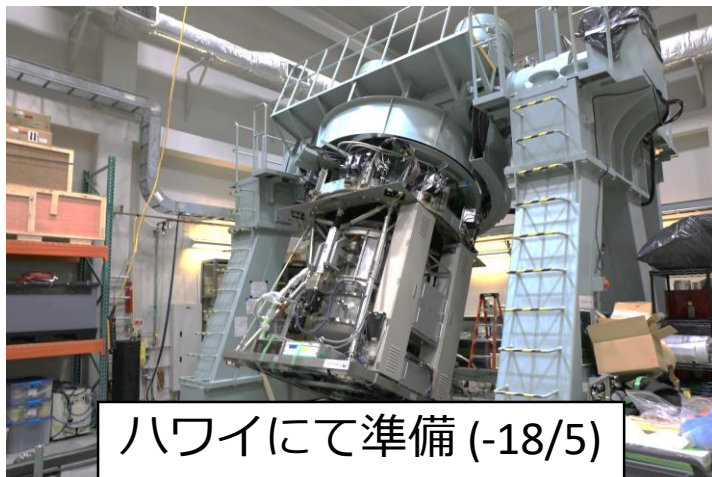
試験観測までの道のり



日本での開発を”一旦”完了 (17/8-9)



ハワイ到着 (17/10)

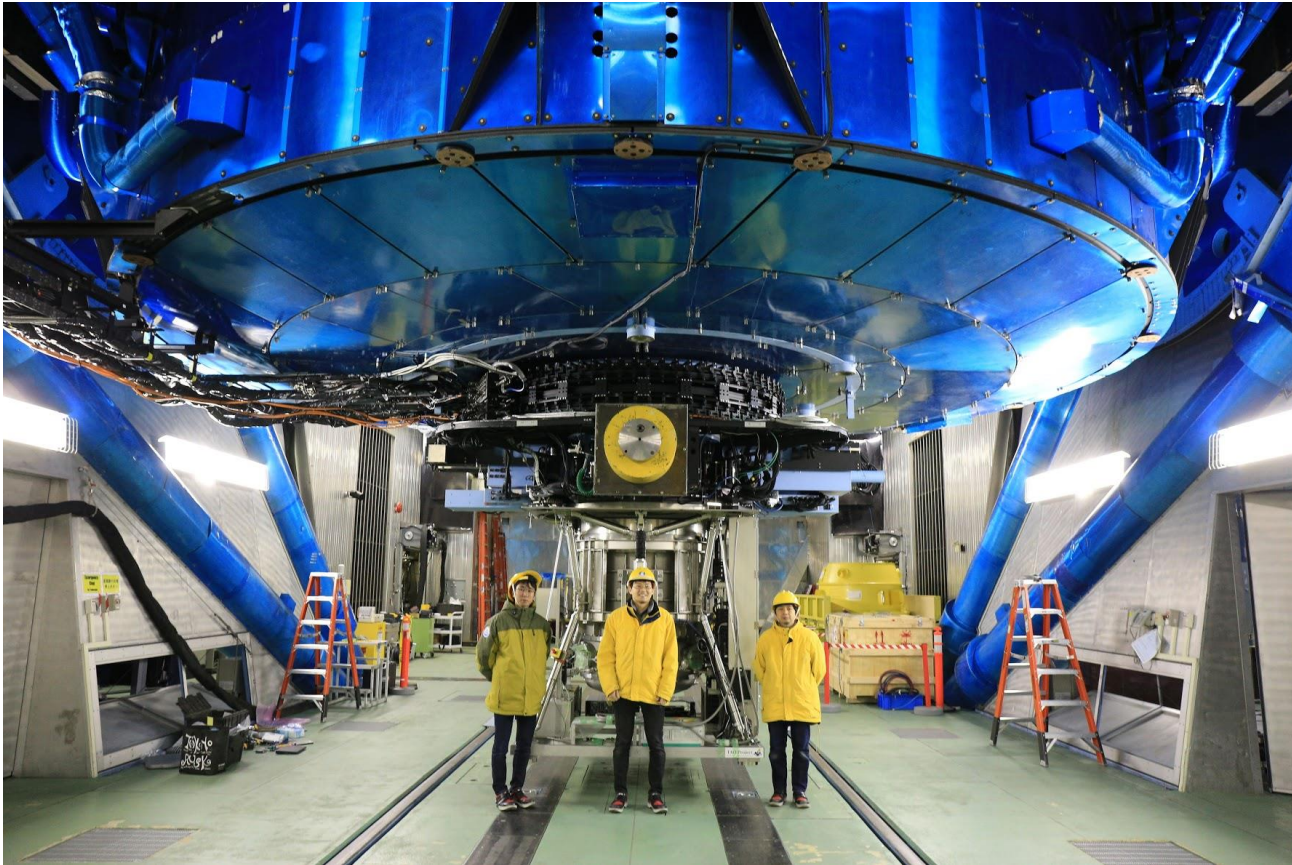


ハワイにて準備 (-18/5)



山頂へ輸送 (18/5)

試験観測までの道のり



無事に取付を完了して試験観測を実施

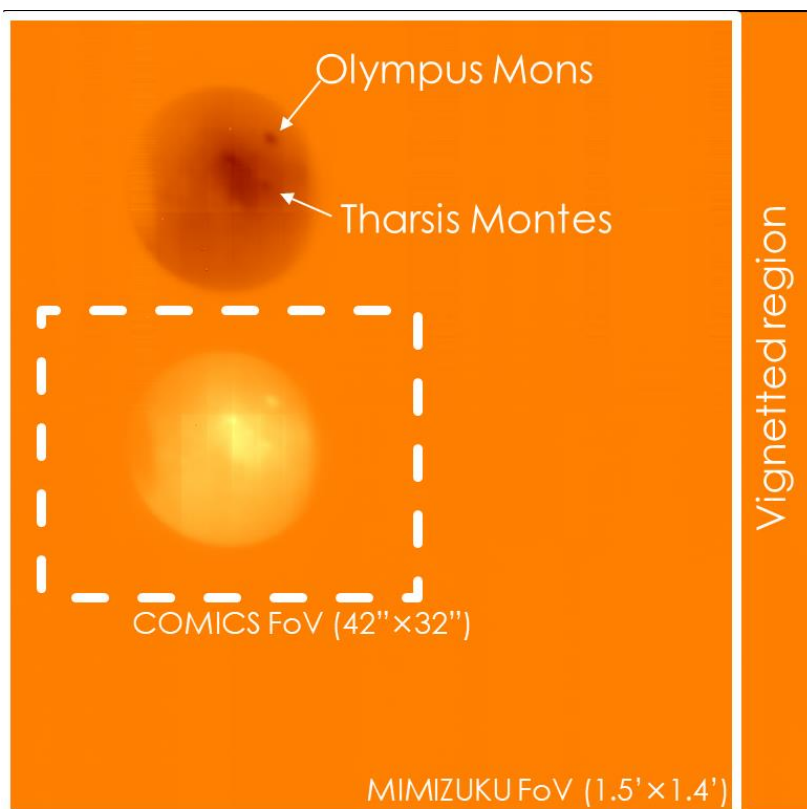
MIMIZUKU 試験観測

MIR-S ch + フィールドスタッカーの機能試験

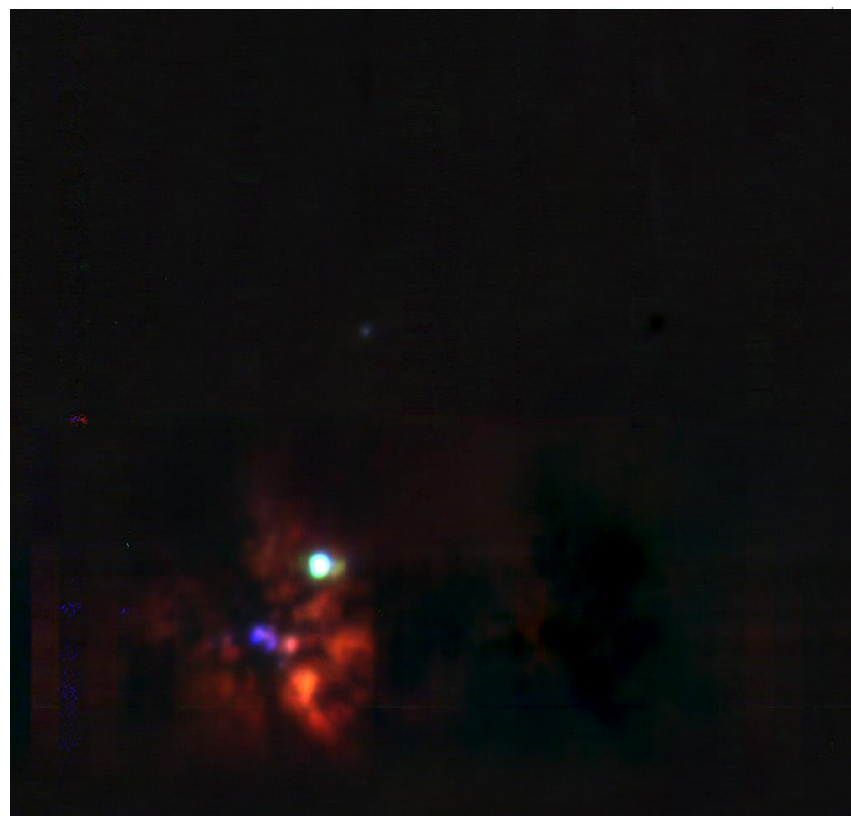
- 通常撮像
- 通常分光
- フィールドスタッカー撮像
- フィールドスタッカー分光

MIMIZUKU 撮像観測

※チョッピング観測により正・負の画像が現れる



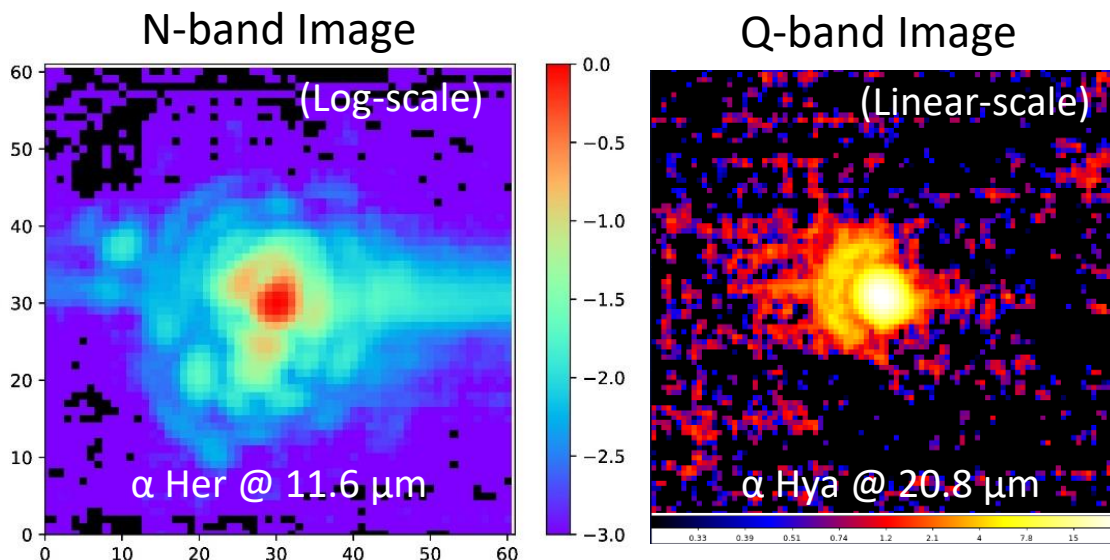
火星の 11.8 μm 画像 (18/07/03)



オリオン BN/KL 領域赤外線画像 (18/12/18)

次世代大型アレイの採用で大きな天体も効率よく観測可能に

MIMIZUKU 撮像観測



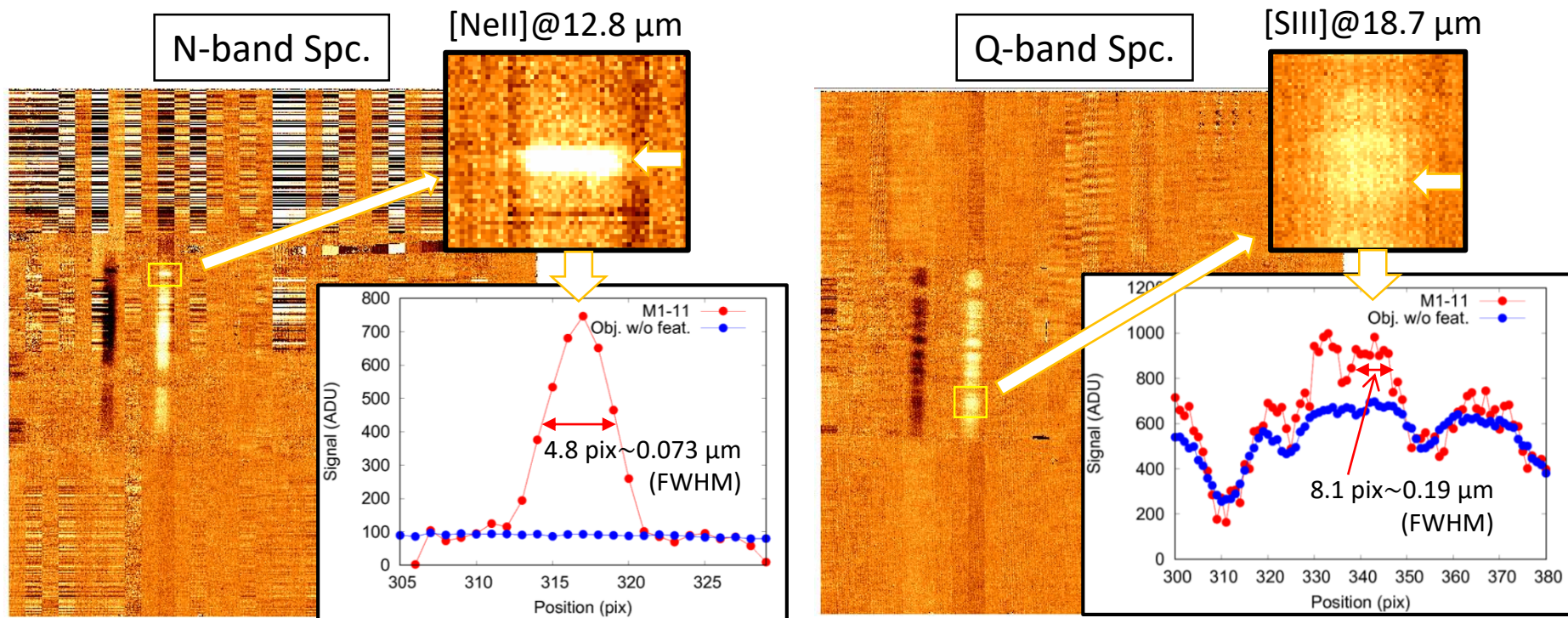
	FWHM	Sys. Eff.*
N-band @ 11.6 μm	0.32"	18%
Q-band @ 20.8 μm	0.59"	2.1%

* Sys. eff. incl. tel. and sky

標準星を用いて空間分解能・システム効率を評価

- 回折限界像を達成
- N-band 効率は想定通り
- Q-band 効率は想定より少々低い (原因は調査中)

MIMIZUKU 分光観測



M1-11 の分光観測画像 (左: N-band, 右: Q-band)

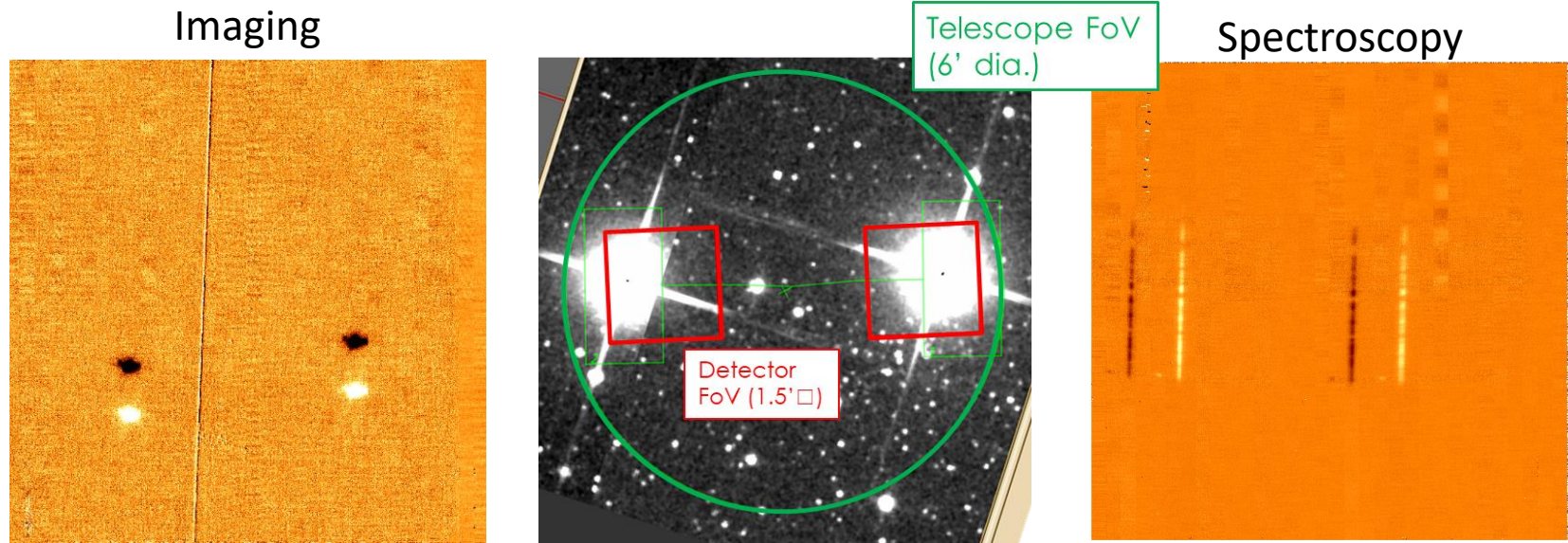
波長分解能評価

N-band: [NII] 輝線 @ 12.8 μm を 0.073 μm の FWHM → R = 180 (設計値 170)

Q-band: [SIII] 輝線 @ 18.7 μm を 0.19 μm の FWHM → R = 100 (設計値 100)

→ 波長分解能は設計値通り

フィールドスタッカー観測



フィールドスタッカーを用いた V582 Cas & V530 Cas 観測画像
(二天体の角距離は 4.3 分角)

二天体の導入もコマンド一つで実現 (誤差 ≤ 15 秒角)

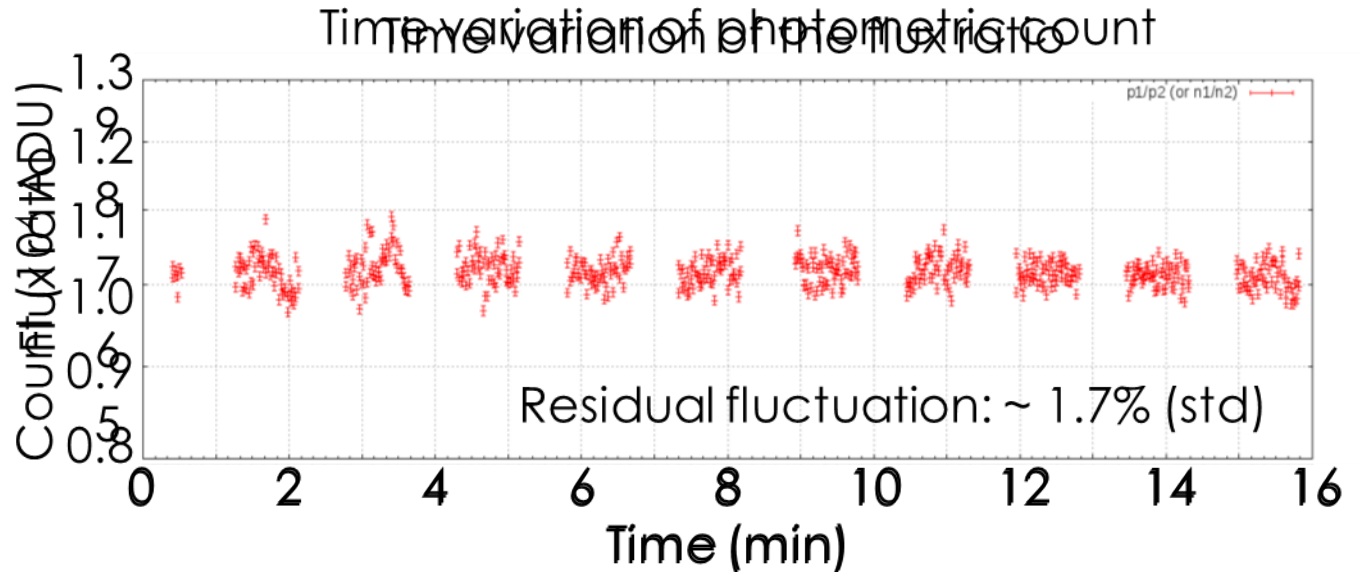
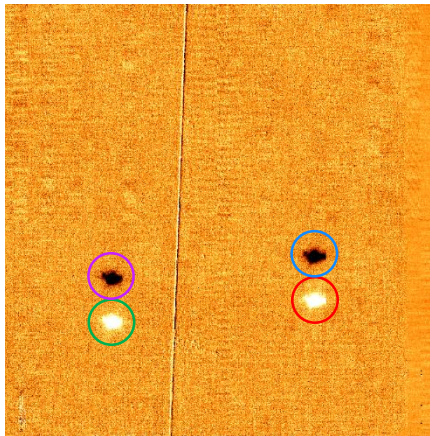
- 二天体の座標入力 \rightarrow 望遠鏡・フィールドスタッカー駆動量計算 \rightarrow 駆動

GUI による微調整コマンドも整備 (誤差 ≤ 1.5 秒角)

- 検出器上の移動量指定 \rightarrow 望遠鏡・フィールドスタッカー駆動量計算 \rightarrow 駆動

フィールドスタッカー撮像

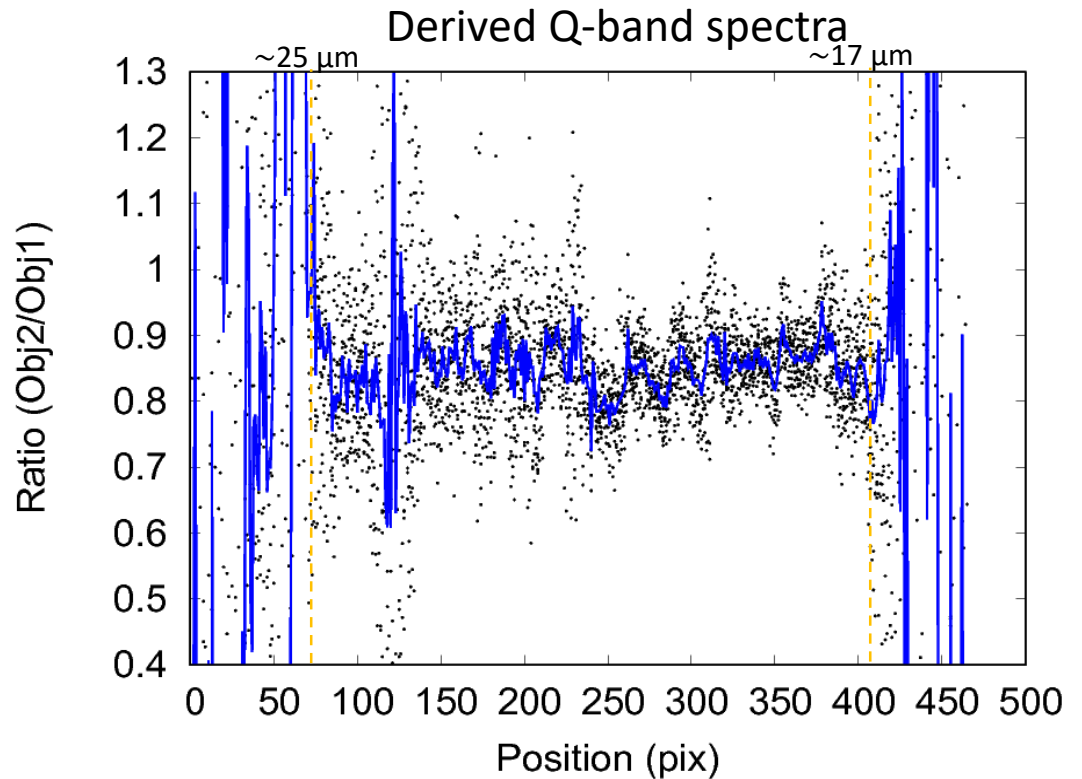
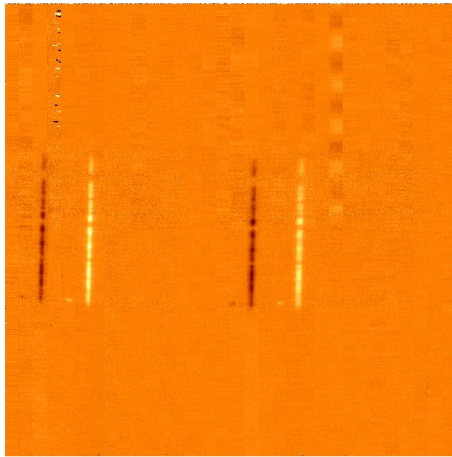
11.6 μm 撮像 (薄曇)



10% (P-V 値) の大気透過率変動があるなか、
フラックス比を 1.7% (std) の精度で測定。
➔ パーセントオーダーの測光が可能

フィールドスタッカー分光

Q-band 分光



- $\geq 10\%$ (P-V 値) の変動が見られた
 - スケールすると 2-10% (std) におさまる (スリットロス変動が主)
 - 比のスペクトルは $\pm 5\%$ 程度の揺らぎはあるが大気較正は効いている
- ➔ 地上 Q-band 分光観測 (17-24.5 μm) も実現

試験観測の成果

試験観測を一通り完了

撮像・分光の基本動作確認

フィールドスタッカー観測手法の確立・実証

➔ D論 (内山允史氏) ・ M論 (吉田泰氏)につながる

苦勞と教訓

苦勞と教訓: 輸送について

輸送内容:

空輸: 光学系 (約 4 日; NRT→LAX→HNL→HILO)

海運: デュワー本体 (約 2 週間)

梱包: 真空バリア梱包 (窒素封入は断念)

総費用: **** 万円超 (空輸・海運・防振パレット製作)

所要期間: 半年ほど

**** の部分は直接
お問い合わせください。

仕様書作成・公開見積合わせ・パレット製作・梱包・輸送・現地開梱

他: インボイス作成・該非判定書類収集・免税対応調整 (大学・観測所)

教訓: 結構前から動き出す必要。費用もかなりかかる。

振動が少ないと期待して空輸を利用したが、6G 近くかかった。

輸送の専門用語が多い。さすがに天文学者もやりたくない。。



苦勞と教訓: 現地調整作業

現地調整作業:

- 第一回: 2017/10/10 – 11/16 (開梱・冷却試験)
- 第二回: 2018/03/18 – 03/29 (装置調整)
- 第三回: 2018/05/04 – 07/10 (冷却試験・第一回観測)
- 第四回: 2018/07/23 – 07/27 (第1.5回観測)
- 第五回: 2018/11/20 – 12/27 (ソフト調整・第二回観測)

作業体制:

数名のホテル or Airbnb 暮らし

費用:

- 渡航費 (****万円/人回)
- レンタカー代 (****千円/日)
- 滞在費 (****万円/人日)

**** の部分は直接
お問い合わせください。

教訓 (反省):

長期滞在になるとメンバーのストレスケアが重要

普段と違う生活: 働き方の違い・娯楽が少ない・ムシが多い・食事問題 etc.

十分に余裕を持ったスケジュールが必要

苦勞と教訓: Interface Control

MIMIZUKU も大きすぎました: 2.00 × 2.00 × 2.07 m

すばる望遠鏡データブック第一版より

観測装置最大寸法	2,000 mm × 2,000 mm × (高) 2,160 mm
ただし、中央部 400 mm φ はフランジより 90 mm 付き出てもよい	
交換台車搭載には高さ 2,160 mm は不可	
自動交換台車との関係 (図 TBD)	
観測装置質量	2,000 kg ± TBD kg
観測装置重心位置	焦点後方 700 mm (本来の仕様)
	フランジ面より 860 mm ± TBD mm
参考: 標準観測装置外形寸法	1,960 mm × 1,960 mm × 1,900 mm

教訓: Interface Control Document は重要

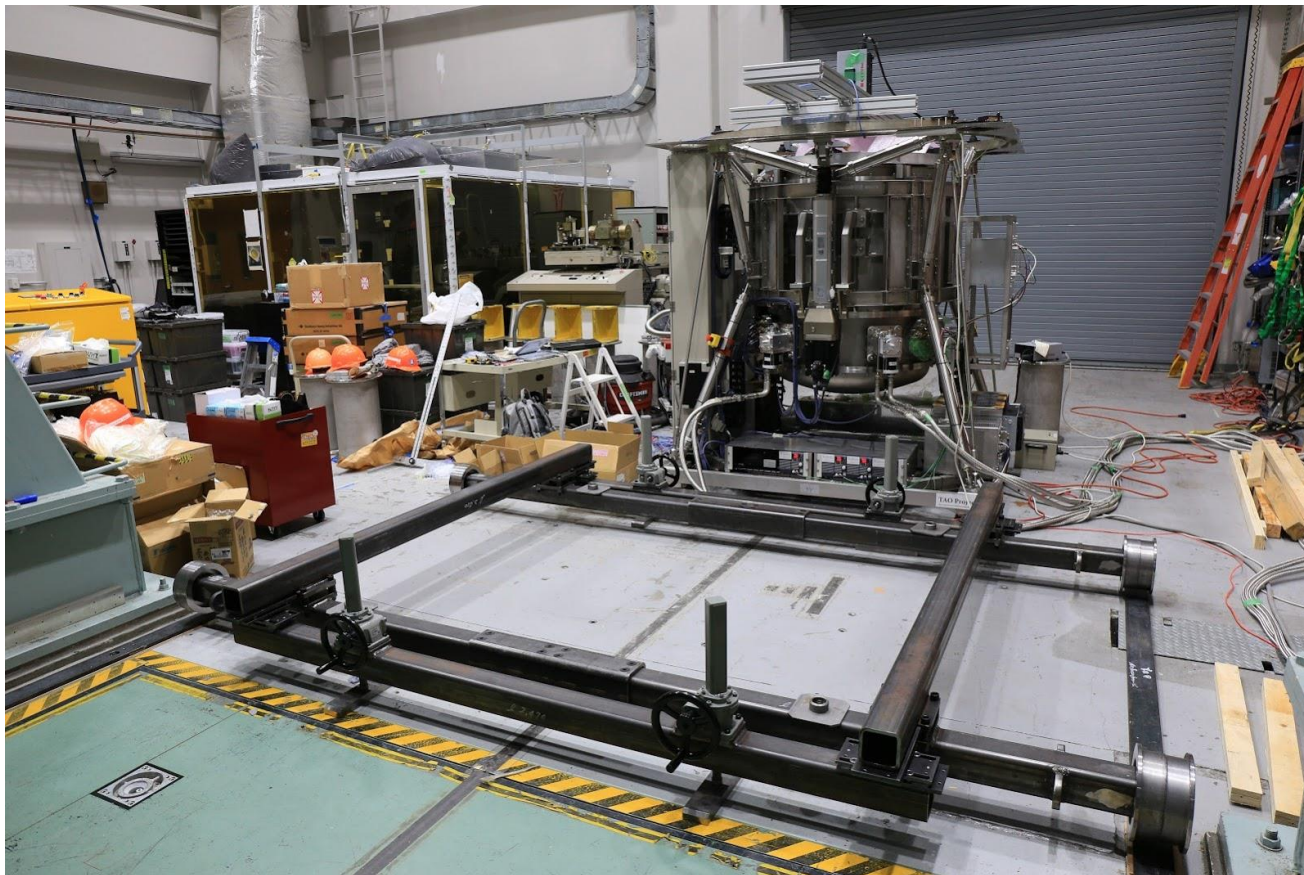
仕様は書類に正しく記録する

変更は適切に反映する

怪しいところは確認する

苦勞と教訓: Interface Control

結局どうしたのか: 専用取付台車を作成



苦勞と教訓: Interface Control

結局どうしたのか: 専用取付台車を作成



全てが手動 = 作業人数がかかる (6-8人)
時間的・体力的負荷も大きい
仕様策定・レビュー・製作の日数・コストも大

多大なご協力と寛大な対応を
ありがとうございました。

苦勞と教訓: Interface Control



山頂輸送

装置輸送車 BSIT にも入らない

→ 蓋をかさ上げして対応

沖田さんの多大なご協力、
誠にありがとうございました。

苦勞と教訓: 各種レビュー

観測までに受けたレビュー

Acceptance review @ 2015/08/25:

プロポーザル内容, 装置仕様, 科学観測内容, 提案理由, 試験項目, 作業予定,
必要リソース (空間・電力・設備 etc), 体制, 資金, 開発状況

Delta review @ 2016/09/30:

改訂プロポーザル内容, 提案理由, 試験項目, 作業予定,
必要リソース, 体制, 資金, 開発状況

Pre-ship review @ 2017/07/13:

装置重量, 試験項目, 作業予定,
必要リソース, 体制, 資金, 開発進捗, 安全

お互いに手間ではありますが...
PJ を振り返る良い機会
課題と解決についての相互共有

Summit transport review @ 2018/06/06:

装置ステータス (重心・重量・サイズ), Hilo 試験結果, 装置取り付け手順,
望遠鏡-装置 I/F (ハード・ソフト・電力・冷媒・ネット), 停電時対応,
山頂輸送手順, 山頂作業予定, 体制, 安全

安全は難しいので...前もって相談し、
現実的な解に落ち着けて対応を。

Engineering obs. review @ 2018/06/28:

装置ステータス, gen2 つなぎこみ状況,
装置取り付け手順, バランス試験確認, 試験項目, 体制, 安全

まとめ

ハワイ観測所の寛大な受け入れ措置と
多大なご協力の結果、MIMIZUKU の試験観測を成就。

MIR-S ch の立ち上げと

フィールドスタッカー観測の確立・実証を達成。

様々な苦勞と教訓は皆様のご参考になれば。