

## 宇宙遠赤外線干渉計(FITE)プロジェクト：次期フライト計画

佐々木彩奈 (ISAS/JAXA)、松尾太郎 (名古屋大学)、芝井 広、伊藤哲司  
(大阪大学)、金田英宏(名古屋大学)

我々は、波長 150 ミクロンを中心とする遠赤外線において、世界で初めての干渉計望遠鏡 FITE (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment) を開発した[1]。FITE は遠赤外線領域で、従来の観測装置にはない高空間分解能の観測の実現を目指している。遠赤外線波長帯は星間塵の熱放射領域ピークに相当するので、星間塵が極めて重要な役割を果たしている星生成領域、原始惑星系円盤などの天体について、秒角スケールで撮像を行うことで、各天体の星間塵の温度分布を明らかにすることができる。最初のフライトでは波長 155 ミクロンで基線長 6 m、空間分解能 5 秒角での観測を目指す。この分解能は Herschel 宇宙望遠鏡の解像度より 2 倍高い。2018 年のオーストラリアキャンペーンでは、フライトレディーまで整ったものの、準備の遅れと天候不良からフライトすることができなかった[2]。図 1 は 2018 年のオーストラリアキャンペーン時の FITE 吊り下げ試験時の様子である。現在は 2022 年春に次期フライトを目指しており、準備を進めている。

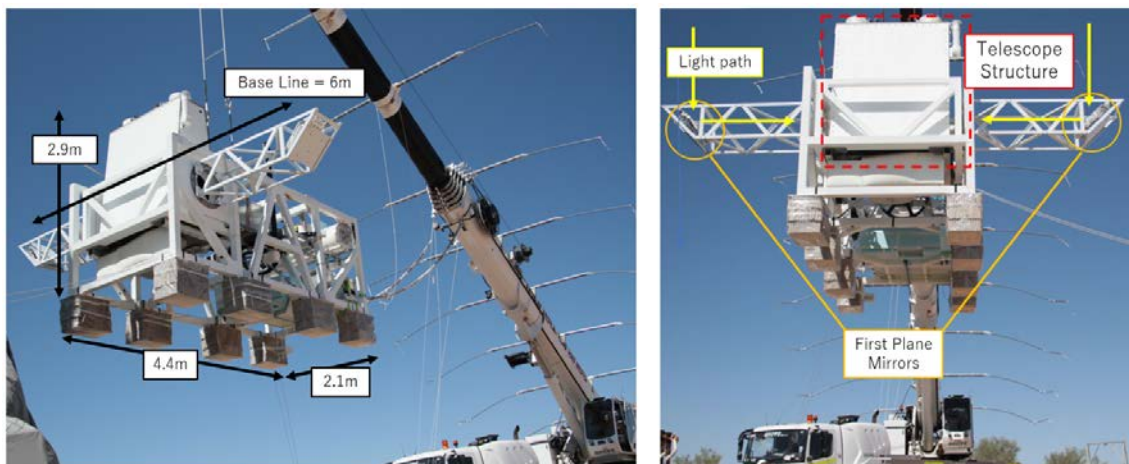


図 1 2018 年オーストラリアキャンペーンの F I T E ゴンドラ吊り下げ試験の様子。(左)FITE ゴンドラの大きさ(右)天体観測時の光路図。天体からの光はアームの先に取り付けられている 2 枚の一次平面鏡によって反射され、望遠鏡構造体に入射し、その後軸外し放物面鏡で集光されてセンサー上で干渉縞を形成する。

### 1. 研究の意義

科学的な意義としては、星生成領域、原始惑星系円盤、銀河核スターバーストなどの星間塵の温度分布を明らかにすることで、各天体の星間塵雲の輻射輸送+密度構造を導出することができる。これらの値はこれまでシミュレーションの結果を間接的な方法で検証する

しか方法がなかった。つまり、熱放射のピークが来る遠赤外線波長帯において秒角スケールで撮像することは、各天体の進化過程を観測的に明らかにすることに繋がるため、きわめて重要である。

技術開発の面においても、FITE プロジェクトは干渉計計測の技術を確立する最初の重要なマイルストーンを担うことが期待される。現在、スペースにおいて宇宙観測用干渉望遠鏡を実現することは世界的な大目標となっている[3]。我々の後を追って、NASA/GSFC の BETTII プロジェクトがスタートし、2017 年 6 月に初めてのフライトを行っている。現時点では干渉計計測の成功に関する報告はなされていないが、BETTII と同じ設計の BETTII 2 プロジェクトの立ち上げが検討されている[4]。したがって、FITE の打ち上げは、BETTII2 の打ち上げが期待される 2023 年までの実現が重要であると考ええる。ただし、FITE プロジェクトは、BETTII2 とすべての面において競合関係にあるわけではなく、技術開発において協力関係にある。

## 2. 観測計画

観測は、技術的な実証のための天体と科学的な成果導出のための天体に分けて実施する。前者は、点源として観測可能な海王星を観測する。海王星の視直径は約 2.4 秒角程度であり、FITE の空間分解能は 5 秒角であるため、十分に点源とみなして観測することができる。また、海王星は太陽系外の最も明るい遠赤外線光源に比べて flux density が高いため、干渉計の技術的な検証に適している。後者は、代表的な晩期型星である IRC+10216 を検討している。IRC+10216 は、中間赤外線において全天で 2 番目に明るい天体であり、代表的な AGB 星である。この天体は主系列星段階の安定期を終えて巨星化し、いずれは惑星状星雲を形成すると考えられる。遠赤外線波長帯での高空間分解能の観測によって、暖かい星間塵 (30K – 100K) の空間分布が得られれば、質量放出活動に関する制限が得られると期待される。

## 3. FITE システム

2018 年フライトレディー時の FITE の主要諸元を表 1 に示す。

表 1 : FITE の主要諸元

Structure	Dimension	6.5m x 4.4m x 3m (H)
	Dry Weight	1700 kg (without Ballast)
	Structure	CFRP Pipes
Telescope/ Interferometer	Type	Two-Beam Fizeau-Type Interferometer
	Mirrors	Four Plane Mirrors (SiC) Two Off-Axis Parabolas (Zerodur)
	Aperture	40 cm (dia)
Sensors	Far-Infrared	15x3 pixel array (newly developed)
	Beam Monitors	MIR 320x240 array + 3 CCDs
	Cryostat	Super-fluid He (30 ltrs)
Control System	Onboard System	6 CPUs + Functions
	Moving Part	25 actuators
	Battery	270 AH @ 24 volts (Li-Ion, rechargeable)
	Data Rate	6 kbps + 800 kbps
	Ground System	8 QL Monitors + Video Camera Monitor

### 3-1. 構造系

ゴンドラの軽量化を図るため、ゴンドラフレームは CFRP 角パイプフレーム構造を採用している。このゴンドラの強度試験は実施済みであり、バラスト重量を含んで静荷重 10g で破壊しない条件を満たしていることを確認した[5]。また、オーストラリア放球時の気象条件から、日出前に打ち上げを実施するため、日没後の観測開始時間まで気球高度で待機することになる。この間の日照中の温度環境に耐えるために、フレーム全体に白色塗装を施すなどの対策を行っている。

### 3-2. 干渉光学系

望遠鏡は Fizeau 型の 2 ビーム干渉計である。各ビーム径は約 40cm、基線長は 6m である。これを平面鏡で干渉計部に導入し、焦点を共有する二つの軸外し放物面鏡によって焦点面で干渉させる。この間隔は 1.5m である。干渉計の新しい原理[6]、光学調整精度要求[7]については別の文献を参照されたい。

### 3-3 センサー系

セクション 4 に記載する通り、改修予定である。

### 3-4 コントロールシステム

オーストラリアでは 800kbps のデータ送信容量を使用する。これは、遠赤外線センサー及び姿勢データなどの量は 100kbps 以下であるが、星追尾の際に使用する 3 台の可視カメラが発生する画像データは、大きい送信量を必要とするためである。

## 4. 改修項目

FITE の大部分のシステムは、2018 年度のフライトレディーまで至った機器をそのまま使用する。つまり、大幅なシステムの変更および改修は行わない。2022 年のフライトまでに改修すべき項目として、

- A) クライオスタット
- B) 二次平面鏡のマウント
- C) 遠赤外線センサー

がある。A については、製作した住友重工業に損傷の修復の依頼を行う。FITE チームの作業項目は、その修復後のクライオスタットに搭載する光学機器の調整である。B については、放物面鏡のマウントとして使用している機構 [8]と同じ物を 2 台製作する。C については、大阪大学が保有する遠赤外線センサーの使用を検討している。改修の実施メンバーは、2018 年度の FITE の打ち上げ準備を行ったメンバーであるため、予算が確保されれば、打ち上げには十分間に合うと考える。

## 5. スケジュール（工程表）

2022 年春の打ち上げまでの工程表は次の通りである。今年中に宇宙科学研究所と大樹町に置かれている FITE ゴンドラおよびシステムを、すべて名古屋大学に輸送する予定である。2022 年の打ち上げに向けて、名古屋大学大学院理学研究科赤外線天文学グループが中心となり FITE の実施を行う。

- ・ 2019 年 11 月: 名古屋大学において実験環境の整備
- ・ 2019 年 12 月: 名古屋大学へ FITE を輸送
- ・ 2020 年 1 月 - 2021 年 7 月: 改修
- ・ 2021 年 7 月 - 10 月: 姿勢制御試験
- ・ 2021 年 11 月: 輸送準備
- ・ 2021 年 12 月: 輸送準備の完了、輸送開始
- ・ 2022 年 2 月: 現地入り、準備開始
- ・ 2022 年 3 月: 打ち上げレディ

## 参考文献

- [1] 気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE の準備状況報告、芝井 広 他、大気球シンポジウム、isas17-sbs-022、2017
- [2] 気球搭載遠赤外線干渉計 FITE 実験結果、芝井 広 他、大気球シンポジウム、isas18-sbs-017、2018
- [3] "Review: Far-Infrared Instrumentation and Technology Development for the Next Decade", Farrah, D., et al., Telesc. Instrum. Syst. 5, No. 2
- [4] "The Balloon Experimental Twin Telescope for Infrared Interferometry (BETTII): first flight", Rinehart, S. A., et al., Proc. SPIE, 10700, 107000F, 2018
- [5] 気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE ・次期フライト計画と高強度フレームの開発、芝井 広 他、大気球シンポジウム、isas13-sbs-024、2013
- [6] "Novel Spectral Imaging Method for Fizeau Interferometers," Matsuo, et al., Publ. Astron. Soc. Jp., 60 (2), 303, 2008.
- [7] 遠赤外線干渉計 FITE の干渉光学系状況報告、佐々木彩奈 他、大気球シンポジウム、isas17-sbs-023、2017
- [8] 気球搭載遠赤外線干渉計 FITE：放物面鏡調整機構の開発、寺農 篤 他、大気球シンポジウム、isas14-sbs-026、2014