

気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE の光学調整方法の改良

大阪大学大学院 理学研究科 宇宙地球科学専攻 M1 佐々木彩奈

1. 概要

我々は気球搭載型遠赤外線干渉計 (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment: FITE) を開発している。FITE は Michelson 天体干渉計であり、4 枚の平面鏡と 2 枚の軸外し放物面鏡で構成されている。この干渉光学系は天体からの光を一次平面鏡、二次平面鏡で反射したあと放物面鏡で集光し、二光束を焦点で干渉させる。光学調整では放物面鏡の焦点位置を調整する。これまで調整時の光学系の評価をハルトマンテストで行ってきた。しかしリアルタイムでデータを取得するシステムを構築できず、画像の撮影と解析に時間が掛かり調整作業の効率が悪いことが問題であった。このことを改良する為に、ハルトマンテストに代わる光学系評価手段として、レーザー干渉計または Shack-Hartmann 波面センサーを用いることを検討中である。これらの機器では光学系の状態をリアルタイムで測定可能であり、光学調整の効率化が期待できる。従って、今後これらの機器を用いて試験をし、FITE の光学調整に実際に使用可能かどうか確認する予定である。本集録では FITE での光学調整方法の紹介と、今後の展望について記載する。

2. イントロダクション

FITE は、遠赤外線干渉計 (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment) の略で、光の干渉を用いて天体を観測する望遠鏡である。FITE を開発する目的は、星形成領域や原始惑星系円盤星などを解明するためである。星形成領域や原子惑星系円盤には、大量のダストが存在している。そのダストからの放射を観測すると、その部分が温度の温度構造が分かり、さらに密度構造やエネルギー量が分かるようになる。ダストからの放射のピークは、遠赤外の領域 ($4\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$) になっているため、遠赤外線で観測可能である。さらに、観測領域の構造などを詳細に観測するために、高い空間分解能が必要である。しかしながら、遠赤外線は地球の大気によく吸収されるため、観測をするには大気の薄い所、もしくは大気圏外で観測を行う必要がある。そこで我々は、FITE を気球に搭載し、高度 40km で観測を行う。また、高分解能を達成するために、FITE は干渉計を用いて観測を行う。

3. FITE の構造

図1はFITEの全体構造(図中左上)と望遠鏡構体の中(図中右下)を表す。FITEは主に3つの部から構成されており、それぞれ姿勢制御部、FITE-arm、そして望遠鏡構体と呼ばれる。

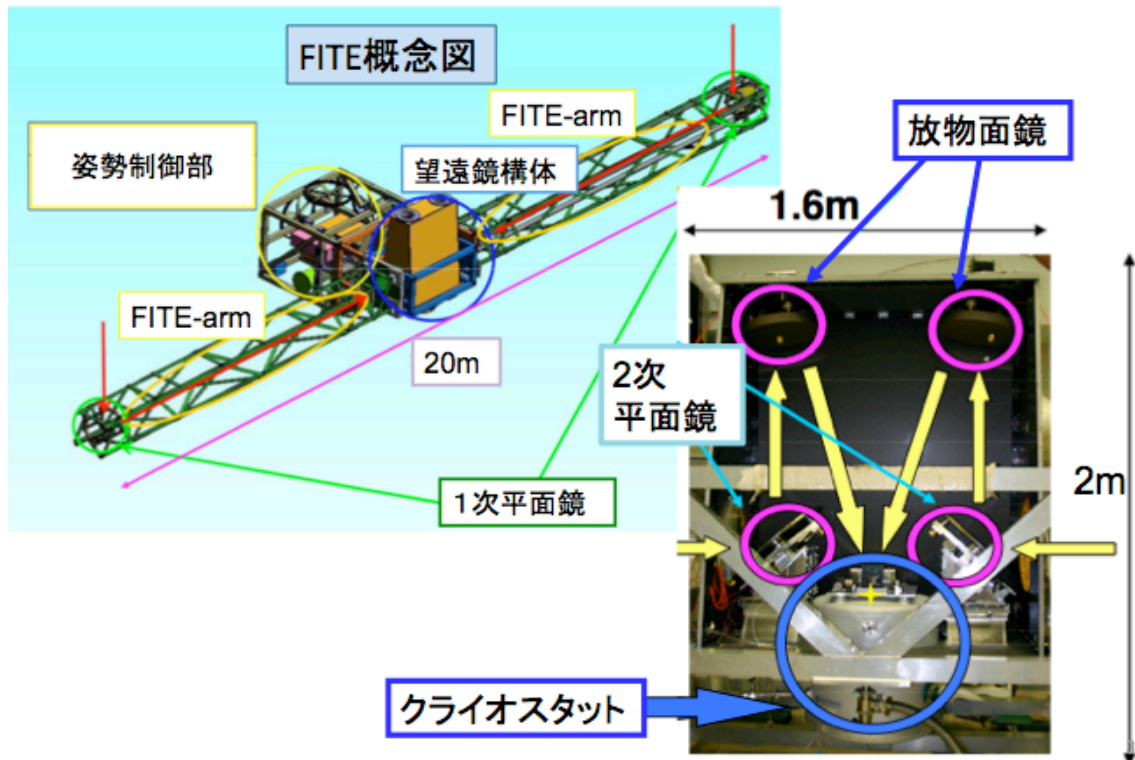


図1：FITEの全体構造(図中左上)と望遠鏡構体の中(図中右下)

4. FITEの光学系

FITEはMichelson天体干渉計であり、4枚の平面鏡と2枚の軸外し放物面鏡で構成されている(図2)。Michelson天体干渉計を採用することにより、基線長 D を長くとることができ、高分解能を達成することが可能となる。FITEの干渉光学系は天体からの光を一次平面鏡、二次平面鏡で反射したあと放物面鏡で集光し、二光束を焦点で干渉させる。光学調整では軸外し放物面鏡による結像位置の調整を行う。

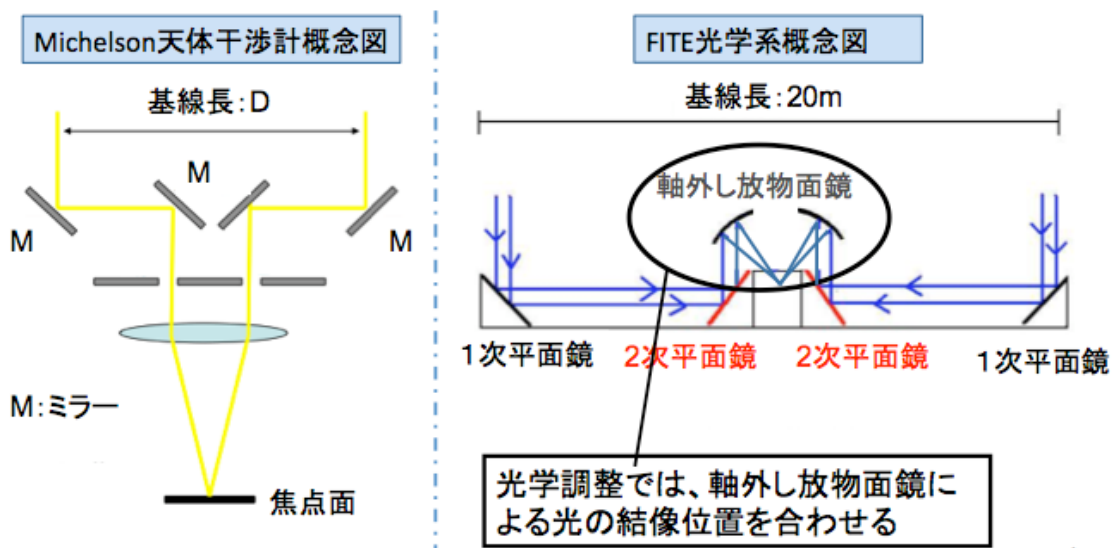


図 2 : Michelson 天体干渉計概念図(左)と FITE 光学系概念図(右)

5. 従来の光学調整機構(ハルトマンテスト)

これまでのFITE光学系の調整評価方法であるハルトマンテストについて触れる(図3)。

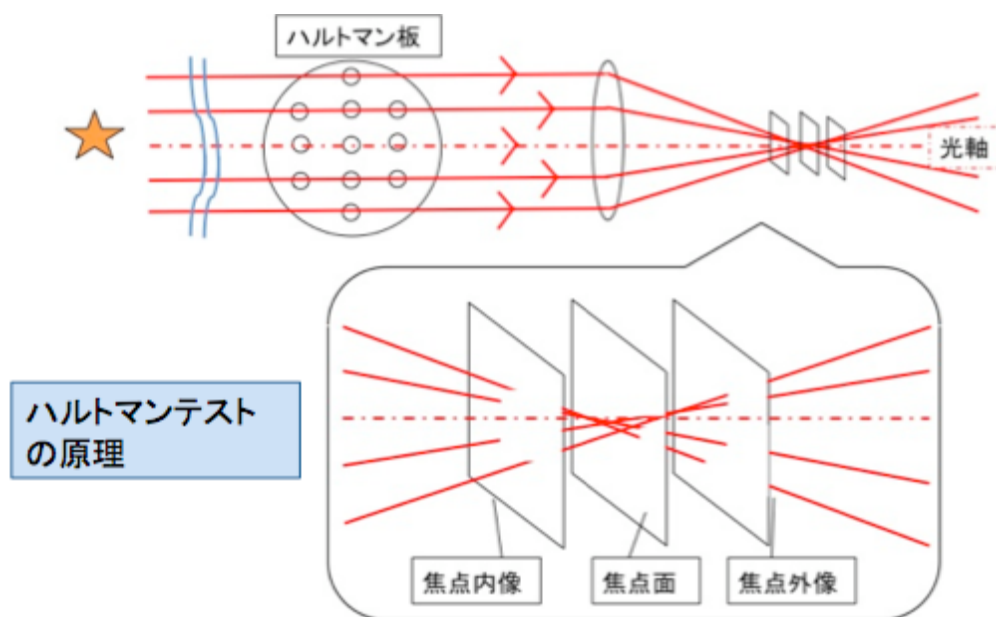


図 3 : ハルトマンテストの原理

ハルトマンテストは、光学系の入り口にハルトマン板と呼ばれる等間隔にスポットの開けられた板を装着して行う試験である。焦点面を基準として内側(内像)と外側(外像)で撮像を行い、スポット毎の光束の軌跡を調べる。しかしこ

の方法では、リアルタイムでデータを取得するシステムを構築できず、画像の撮影と解析に時間が掛かり調整作業の効率が悪いことが問題であった。このことを改良する為に、ハルトマンテストに代わる光学系評価手段として、後述するレーザー干渉計またはシャックハルトマン波面センサーを用いることを検討することに至った。

6. レーザー干渉計

ここではレーザー干渉計の原理(図4)と、レーザー干渉計のコヒーレンス長測定実験の結果について触れる。図4を見れば分かるように、参照面以前の光路は、参照面と被検面からみると両者とも共通であるため、干渉縞として現れるのは参照面と被検面の差となる。参照面は高精度な平面であり、この差は事実上被検面の形状となるため、被検面の状態の情報を得ることが可能である。

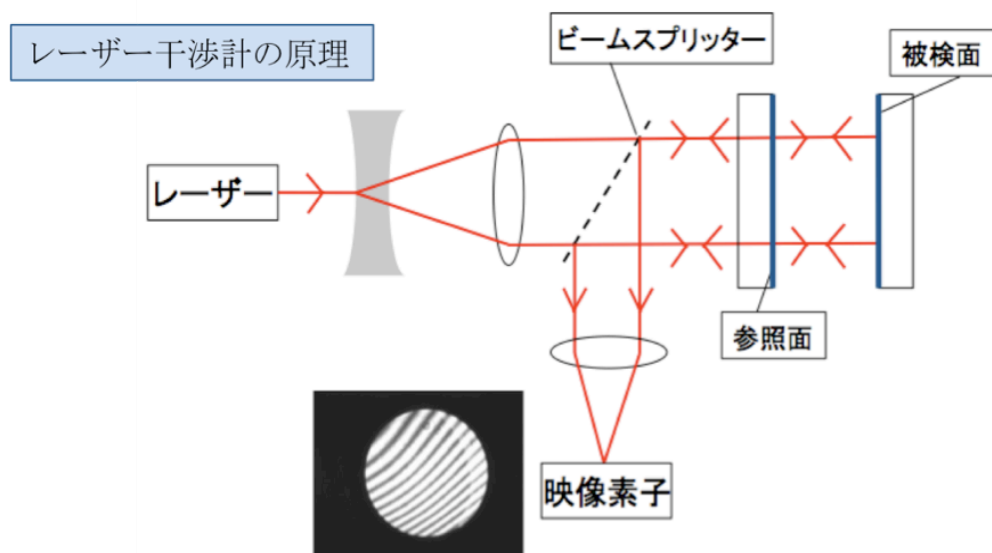


図4：レーザー干渉計概念図

図5はOLYMPUS社製レーザー干渉計およびZygo社製レーザー干渉計を用いて行った、コヒーレンス長測定実験の様子である。実験結果は、OLYMPUS社製レーザー干渉計のコヒーレンス長が約500cm、Zygo社製レーザー干渉計のコヒーレンス長が約350cmであった。FITEの光学調整ではコヒーレンス長は最低400cm必要となるため、レーザー干渉計を用いて光学調整を行う場合、コヒーレンス長が問題となることが判明した。



図5：OLYMPUS社製レーザー干渉計(写真左)とZygo社製レーザー干渉計(写真右)のコヒーレンス長測定実験の様子

7. シャックハルトマン波面センサー

ここではFITEの光学調整方法の2つ目の候補であるシャックハルトマン波面センサーの原理について触れる。シャックハルトマン波面センサーの概念図は図6に載せる。これは光を小開口に分割して、それぞれのレンズで結像した像の位置を測定する方法である。これらの位置ズレを測定すると、波面の傾きの分布を求めることができ、そこから波面形状(被検レンズの形状)を求めることが可能である。

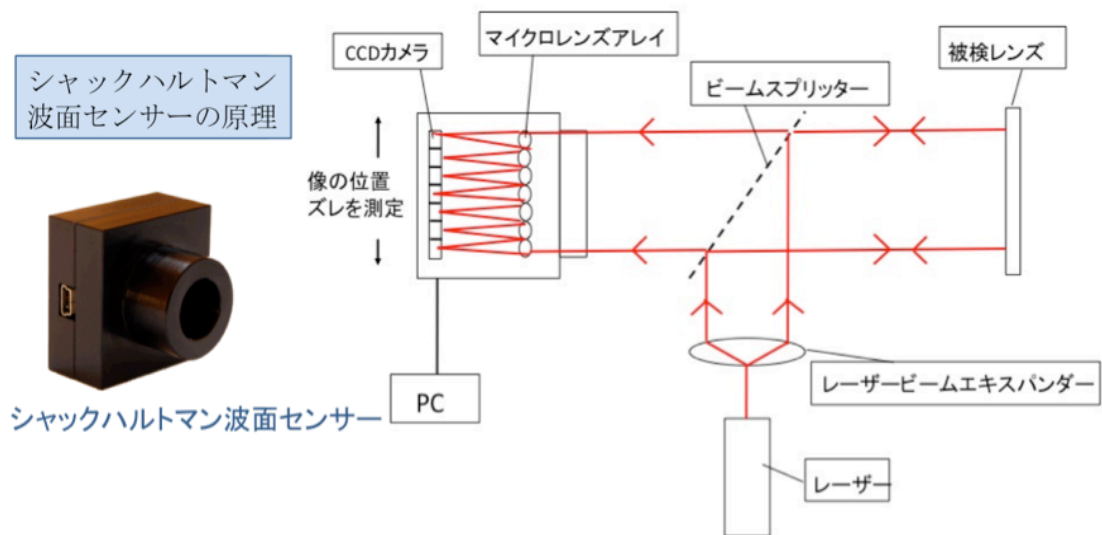


図6：シャックハルトマン波面センサー概念図

8. まとめと今後の展望

レーザー干渉計と Shack-Hartmann 波面センサーを用いた光学調整は、どちらも従来の光学調整方法である Hartmann テストと異なり、リアルタイムで調整を行うことが可能である。レーザー干渉計を FITE の光学調整で用いる場合、コヒーレンス長が問題となることが挙げられた。Shack-Hartmann 波面センサーは干渉を用いないためコヒーレンス長を考慮する必要がなく、価格はレーザー干渉計と比較すると安価であることが分かった。

今後の展望としては、FITE の光学調整に実際に使用するため、Shack-Hartmann 波面センサーを用いて被検面測定試験をしていき、光学機器の配置場所や測定に伴い必要となる光学系などを検討していく予定である。