

## 論文の内容の要旨

論文題目 Development of the new mid-infrared camera MIRTOS for the Subaru Telescope and its first results  
(すばる望遠鏡用中間赤外線撮像装置 MIRTOS の製作とその初期成果)

氏名 友野大悟

近年、世界各国で運用が始まっている口径 8 メートル以上の望遠鏡によって、中間赤外線のような長い波長での撮像観測でも、高い空間分解能を得られるようになった。たとえば、波長 $\lambda=10$  ミクロンでの回折限界は、望遠鏡の口径を  $D=8$  メートルとすれば、 $\lambda/D=0.25$  秒角となる。この角度は、NGC 1068 など  $z=0.004$  にある銀河では、ハッブル定数を  $H_0=75\text{km/sec/Mpc}$  とすれば、20 パーセクに相当し、距離 10 パーセクにある近傍の恒星では 2.5 天文単位に相当する。Marco and Alloin (2000)は、NGC 1068 の中心核を、補償光学系を用いて観測した。波長 3.5 ミクロンと 4.5 ミクロンの近赤外線でのデコンボリューション像には、80 パーセク程度の大きさを持った円盤状の構造が見られる。これは、活動銀河核の統一モデルにおいて、中心のブラックホール周辺にあると予想されている円盤に相当するものと解釈されている。中間赤外線において多波長でこの天体を観測することにより、銀河中心核周辺の温度構造が解明できることが期待される。一方、われわれからの距離 10 パーセク以内には、182 個の星が存在する。これらの星のなかには、ベガなどのようにこれまでに星周構造の観測されている(Pantin et al., 1997 など)天体もあり、高い空間分解能での系統的な観測によって、星周構造や惑星系の進化についてさらに深い知見が得られる。

このような状況の中、われわれは、すばる望遠鏡用中間赤外線撮像装置 MIRTOS を製作した。この装置は、回折限界の分解能で、中間赤外線放射の空間構造を撮像するためのものである。この装置は 2 組の撮像装置によって構成されている。ひとつは波長 8–13 ミクロンや 20 ミクロン前後の中間赤外線の撮像をする。もうひとつは、近赤外線のうち、波長 1–2.5 ミクロンでの撮像するものである。この 2 つの撮像装置は、1 秒間に 10 フレームの速度で同じ視野の画像を同時に積分することにより、シーイングによる空間分解能の劣化を防ぐ。近赤外線撮像装置からのデータは、観測の波長範囲を広げるだけでなく、2 波長シフト・アンド・アドの参照源としても使われる。

2 波長シフト・アンド・アドとは、われわれが考案した、中間赤外線の空間分解能を、長時間積分の後でも保つ手法である。ここで、シフト・アンド・アドは、大気ゆらぎによる空間分解能の低下を補償する技法のひとつである。この技法では、大気ゆらぎの変化時間よりも短い時間だけ積分した多数の像を、もっとも明るいスペckルや、光の重心の位置に着目して、その点を重ね合わせるようにずらしながら足し合わせることによって観測対象の大気による移動を補う。大口径望遠鏡での観測ではスペckル数の多い近赤外線では、

シフト・アンド・アドによって像再生を試みるのは困難であるが、もっとも明るいスペクトルにほとんどのエネルギーの集中する中間赤外線では、シフト・アンド・アドは有効な像再生手段となる。しかしながら、中間赤外線では大気や望遠鏡からの背景放射が強いため、短時間積分では感度が充分ではない。われわれは、波長が違っていても大気のゆらぎに相関があることに注目し、近赤外線の像を参照して中間赤外線の像の移動を補う、2波長シフト・アンド・アドという技法を開発した(Tomono and Nishimura, 1997)。これは、中間赤外線と同時に、より感度の高い近赤外線でも短時間だけ積分した画像を得ることによって、大気ゆらぎによる移動量の参照とするものである。

2波長シフト・アンド・アドを実現するため、MIRTOS は、2つの撮像光学系からなっている。中間赤外線撮像部には、 $320 \times 240$  ピクセルの Si:As 素子を用いた不純物帯伝導検出器を使用している。視野は  $21 \times 16$  秒角あり、1 ピクセルは 0.067 秒角に相当する。このピクセルスケールは、波長 8 ミクロンで回折限界の撮像をするために充分小さいものであり、口径 8 メートル以上の望遠鏡のために用意されているさまざまな中間赤外線撮像装置のなかでもっとも小さい。このようなオーバー・サンプリングの観測では、シフト・アンド・アドや2波長シフト・アンド・アドを併用したデコンボリューション像によって、回折限界よりも小さい空間構造が明らかになる。近赤外線撮像部には、 $256 \times 256$  ピクセルの InSb 検出器を使用している。近赤外線撮像部の 7.1 秒角四方の視野は中間赤外線撮像部の視野の隅に配置され、ピクセルスケールは 0.028 秒角である。これは、波長 2.2 ミクロンで、中間赤外線の撮像結果を平行移動させるため、参照光源のスペックル像のもっとも明るいピークの位置を検出するのに充分なものである。

これらの赤外線検出器は雑音の低減のため、光学系とともに冷却して使用する必要がある。MIRTOS は真空を共通にもつ2つの冷却容器を使用している。冷却容器の接続部に入射窓あるいは蓋を追加することにより、2つの冷却容器は、独立に真空を引き光学系の試験などを行えるようになっている。冷却容器の冷却時間はどちらも 30 時間程度である。

われわれは、中間赤外線撮像光学系、また、近赤外線撮像光学系それぞれ対応する波長域を広く取れるよう、反射光学系として設計し、組み立て・調整をおこなった。中間赤外線撮像光学系には、4枚の曲面からなる再結像光学系を用いた。この光学系には、将来に計画されているファブリ・ペロー分光器の設置をかんがみ、光束が平行となる部分が用意されている。近赤外線撮像光学系には、結像性能を十分に保ちつつ、できるだけ小さな光学系となるよう、3枚の曲面からなる再結像光学系を設計した。近年の旋盤加工技術の進歩により、数値制御により金属を切削した鏡の製造が可能となった。精度の良い非球面の鏡の入手がしやすくなったことにより、反射光学系の設計・製作は以前より容易になりつつある。どちらの光学系も、幾何学的な結像、像面歪曲ともに検出器のピクセルよりも充分小さい設計結像性能が、0.1 ミリ以上の許容設置誤差とともに得られた。なお、瞳撮像の際には、フィルターホイールに設置されたレンズを光路に挿入することにより、リオ・ストップを検出器上に再結像させる。

中間赤外線撮像光学系では、11.7 ミクロンにおける恒星の観測において、半値全幅 0.20 秒の像が得られ、回折による暗環・明環が観察された。回折像の FWHM は 0.18 秒角程度である。この値はシフト・アンド・アド像によるものだが、通常積分の場合には、半値全幅 0.34 秒であった。いっぽう、K'バンドでは、大気揺らぎの影響により、観測された天体の像は回折限界よりも大きく広がっていた。

装置の性能評価のため、上に述べた恒星のほか、小惑星(1)セレスや、NGC 1068 の中心核などを、すばる望遠鏡を用いて観測した。また、瞳撮像モードを用いて、望遠鏡の入射瞳の中間赤外線像も得た。入射瞳像には、副鏡周辺に中間赤外線で見やすい領域が見られた。スパイダーの、副鏡構造との結合部分からの放射だと思われる。これらの望遠鏡構造は、望遠鏡の改修の際に、平面鏡によって覆われる予定となった。また、セレスの中間赤外線・近赤外線 2 波長同時観測により、K'バンドと波長 10 ミクロン前後や 18.5 ミクロンの中間赤外線との間で、像の動きに相関があることが確かめられた。波長の違いが小さいほど、動きの相関は大きい値となった。これにより、2 波長シフト・アンド・アドが暗い天体の中間赤外線での空間分解能の向上に有用であることが確かめられた。

いっぽう、NGC 1068 は、10 ミクロン付近の 6 枚の広帯域フィルターや 18.5 ミクロンのフィルターと同時に、K'バンドでも観測された。中心部分のシフト・アンド・アド像には、いくつかの構造が見られた。これらの像をデコンボリューションすることによって、Seyfert 2 銀河の中心核のものと思われる、南北に伸びた中心光源と、東西方向に伸びた高温の円盤状構造の片鱗を見ることができた。この円盤は、Marco and Alloin (2000)の観測と同様、Seyfert 2 銀河の活動銀河中心核の周囲にあると思われる円盤であることが予想される。また、中間赤外線でのシリケイトからの放射を見積もることによって、Gallimore et al. (1996)が周波数 5GHz の電波によって観測されたジェットの末端に、シリケイトの放射領域がある可能性があることがわかった。

今後は、ソフトウェアの改良やハードウェアの追加など、MIRTOS の観測効率を向上させるための改良を続けたい。この他、黒体フィットによって温度分布を得るなど NGC 1068 のデータ解析をさらに進める必要がある。さらに、近赤外線撮像分光装置 IRCS による、ディスク構造の空間分解したスペクトルの観測によってディスクの物質の空間的な性質の違いを調べ、冷却中間赤外線撮像分光装置 COMICS によるシリケイト放射構造の観測によって、電波ジェットに沿った詳しいエネルギー収支の構造が得られるものと思われる。これと同時に、ヒッパルコス・カタログ(ESA, 1997)にある 10pc 以内の天体の MIRTOS による観測も進めていく。