

TAO 望遠鏡搭載観測装置の開発 —TAO を使いタオす!!—

小西 真広¹・上塚 貴史²

〈東京大学大学院理学系研究科 天文学教育研究センター
〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: ¹konishi@ioa.s.u-tokyo.ac.jp, ²kamizuka@ioa.s.u-tokyo.ac.jp



小西



上塚

TAO 6.5 m 望遠鏡に搭載する観測装置として、SWIMS・MIMIZUKU という名前の二つの装置を開発している。SWIMSは近赤外線波長において2色同時の広視野撮像、また0.9-2.5ミクロン間のスペクトルを複数天体について1度に取得する広波長範囲多天体分光の観測モードをもつ装置である。MIMIZUKUは近・中間赤外線の撮像・分光機能を持ち、2視野同時観測機能を備えることで従来よりも高い精度の観測を目指す装置である。これらの装置開発の現状について報告する。

1. はじめに

東京大学アタカマ天文台 (TAO; The University of Tokyo Atacama Observatory) は、標高 5,640 m で実現される赤外線でも透明な空が特徴である。この特徴を最大限に利用し、他の地上天文台ではできないような赤外線天文観測を行うことがこの天文台の役割である。たとえば、地上天文台で一般的に観測可能な近赤外線 0.9-2.5 ミクロンの波長帯には、J, H, K バンドという名前がついているが、各バンド間の波長帯は観測がたいへん困難である。中間赤外線でも、すばる望遠鏡や Gemini 望遠鏡などで観測が可能な波長帯には N, Q バンドという名前がついているが、より長い波長域では普通観測ができない。観測ができない原因は、地球の大気に存在する水蒸気が天体からの赤外線を吸収してしまう大気吸収にある。逆に言えば、頭上の水蒸気の総量 (可降水量あるいは Precipitable Water Vapor; PWV などと呼ぶ) が低い環境であれば、観測不可能だった波長帯でも天体からの赤外線が地表に到達できるようになり、天文観測が可能となる。TAO はまさにその

ような環境が実現される場所であり、J, H, K バンドの間や、Q バンドよりも波長の長い 30 ミクロン帯 (波長 30-40 ミクロン) での観測が可能となる。これらの波長帯の観測を最大限に利用する、まさに TAO を使いタオすための装置として、われわれは近赤外線観測装置 SWIMS と中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の二つの観測装置を開発している。本稿ではこの二つの装置の特徴や、開発の現状についてご紹介する。

2. 近赤外線観測装置 SWIMS

まずはじめに、TAO 望遠鏡主力装置として広範囲のサイエンスをカバーすることができる近赤外線観測装置、SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph, 和名: 近赤外線 2 色同時多天体分光器^{1), 2)} について紹介する。

SWIMS は 0.9-2.5 ミクロンの近赤外線波長範囲において、「直径 9.6 分角の広視野 2 バンド同時撮像」および「全波長域多天体同時分光」というモードをもつ装置で、大きさが 2 m 立方、重量は 2.3 t にもなる大型装置である。SWIMS の開発に

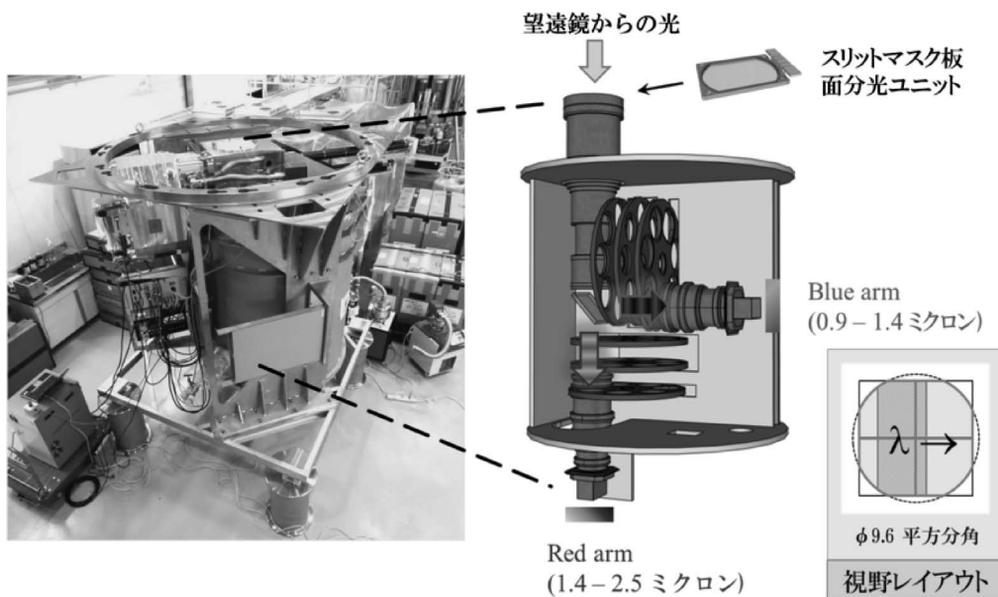


図1 SWIMSの外観(左)と内部構造の3Dイラスト(右)。

かかわっている学内メンバーはPIの本原氏をはじめ小西を含むスタッフ・学生合わせて6名であるが、同時にminiTAO望遠鏡/ANIR (Atacama Near-InfraRed camera) の観測運用^{*1}も行っており、とても手が足りているとは言えない。そこで、設計段階から国内の企業^{*2}も巻き込んで開発を進めている。これにより、人手を稼ぐことができるだけでなく、企業側にも天文観測装置の知識や開発ノウハウが蓄積されることになり、今後の新規装置開発の際にもリソースとして期待できると目論んでいるのである。

さて、本稿ではTAOサイトの利点が最大限に活かされるであろう分光機能に焦点を置いて紹介することにする。搭載しているフィルターや限界等級などの細かな情報については参考文献1, 2やTAOプロジェクトブック^{*3}を参照していただきたい。

2.1 SWIMSの概要

はじめに述べたように、TAOサイトでは従来使われてきた大気窓と窓の間においても大気透過率が向上し、0.9-2.5ミクロンにわたって大気に遮られることなく観測することができる。この利点を活かして、“0.9-2.5ミクロンのスペクトルを切れ目なく、かつ1度に取り”というのがSWIMSの最もユニークな特長である。複数の分光情報を1度に取得するという事は、大気条件や望遠鏡・装置の状態が全く同じということであり、観測効率が上がるだけでなく、例えば輝線強度比の議論などにおいて不定性を低く抑えることができるという利点がある。

得たいスペクトルの波長範囲が広くなれば検出器上での長さもそれに比例して長くなってしまいが、SWIMSでは、図1に示すように、平行光中に置かれるダイクロイックミラーによって2光路

*1 本誌また天文月報2013年1月号のTAO特集各記事を参照されたい。

*2 デュワー・光学ベンチ：住友重機械工業(株)，光学系：オプトクラフト(株)，スリットマスク交換機構：センチンシア(株)。

*3 プロジェクトブックは <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/pjbook/201203/index.html> から閲覧可能。

に分けることで、得られるスペクトルを2つ (blue arm: 0.9–1.4 ミクロン/red arm: 1.4–2.5 ミクロン) に分割している。そしてこの構造のおかげで撮像モードにおいても2バンド同時観測ができるのである。0.9–1.4/1.4–2.5 ミクロンのスペクトルがそれぞれの arm に用意された検出器 (2,048 × 2,048 pixels × 4 台ずつ) 面内に収まる分解能のグリズム ($\lambda/\Delta\lambda \sim 500\text{--}1,000$) を搭載しているが、もちろん、より高波長分解能の分散素子を用いてより詳細なスペクトルを取得することも可能である (その場合はスペクトルの波長範囲は限られるが)。

以上のようにして、2バンド同時の撮像・分光が実装されているわけだが、SWIMS というものを知っていただくには、装置名にもある “Multi-object” な spectrograph についても説明しておかなければならない。

2.2 多天体分光機能

通常分光観測は、余計な光が分散方向に重ならないように目的天体からの光 (+ 周辺の背景光) 以外を遮蔽して行われる。しかしながら特に観測時間が貴重となる大型望遠鏡において、ある一つの天体に絞り、何時間もかけて分光観測するというのは非常にもったいなく効率的でもない。そしてこのことは TAO 望遠鏡も例外ではない。そこ

で複数天体を1度に分光する効率的な方法 (多天体分光 = Multi-Object Spectroscopy; MOS と略される) を考える必要がある。また、2.5 ミクロンまでの近赤外線を観測対象とするには光路にあるものを冷却して熱輻射を抑えなければならないが、そういった多天体分光装置はまだ世界にも数えるほどしかない。

すばる望遠鏡用に開発された MOIRCS^{3), 4)} は世界に先駆けて完成した大型望遠鏡用近赤外線多天体分光器である⁵⁾。そこで、われわれは MOIRCS で培われた技術をベースにして SWIMS に近赤外線多天体分光機能を実装することとした。「複数のスリットを開けたスリットマスク板をデューワー内に複数枚保管し、ロボットアームでマスク板を操作する」、という MOIRCS の基本設計はそのままに、動作監視用のレーザーセンサーや CCD カメラを設置したり、スリットマスクを焦点面に保持する機構を新たに設計するなど、TAO 望遠鏡 (ナスマス焦点) 搭載用に手を加えたデザインとなっている (図2)。この機械系が装置最上部、望遠鏡焦点面位置に取り付けられる。マスクデューワーには観測する天域の天体の位置に合わせてスリットを切った20種類程度のスリットマスクが冷却下で保管され、必要に応じてロボットアームで取り出され焦点面に置かれる。

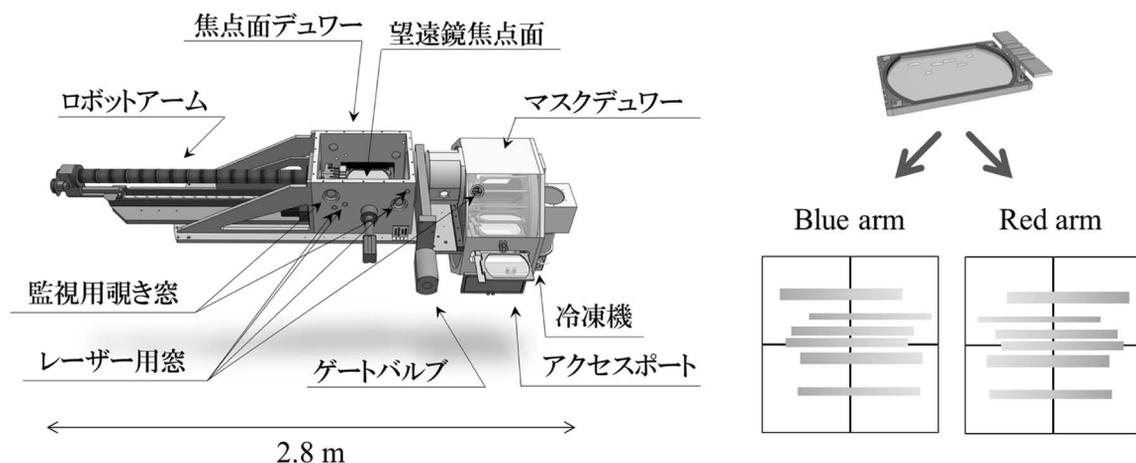


図2 多天体分光のためのスリットマスク交換機構の3Dイラスト (左) と得られるスペクトルの模式図 (右)。

そうして、スリットの数と同じだけのスペクトルが（それぞれのarmで）取得されるのである。これが、SWIMSの“2バンド同時”，“多天体同時”の分光機能である。

われわれSWIMS開発チームが興味をもっているのは、赤方偏移 $z\sim 1-3$ （80-120億年前）の銀河の広視野多色撮像・多天体分光サーベイ，(ii) 近傍星形成銀河の水素Pa α /Pa β 輝線撮像サーベイ，(iii) 近傍超新星の近赤外線スペクトル観測による爆発現象の物理解明，(iv) 大質量星末期の分光観測による進化段階の診断，というように非常に多岐にわたっているが、どのケースにおいてもSWIMSの2バンド同時多天体分光機能が十分に威力を発揮すると期待している。

2.3 開発中の機能

現在、装置本体の開発と並行して、二つの要素技術開発も進めている。実現すれば、どちらの機能もSWIMSの分光能力をより強力・多彩にしてくれるものである。

2.3.1 広視野面分光 通常のスリット分光では光が分散する方向は（他の光が重ならないようにするため）一つのスリットしか開けることができない。そのため、広がった天体の場合、スリットの外側に広がる空間的な情報を得ることができない。面分光とはその欠点を補いつつ分光観測を行う手法で、国立天文台先端技術センターと開発を進めている。

われわれが検討しているのはイメージスライサー型の広視野面分光ユニットである。これは超精密機械加工で製作された特殊な光学系によって天体周辺の視野を短冊状に分割・整列し、検出器上で重ならず結像させる、という小型・軽量のユニットである。この面分光ユニットでは多天体観測に対応していないため、ロボットアームが操作する板を共通化し、通常のスリット分光と面分光をアームで選択できるようにする。現在は、超精密機械加工により単一鏡を試作し、加工方法の最適化と加工精度の見極めを進めている⁶⁾。

2.3.2 マイクロシャッターアレイ 現在のスリットマスク板を用いた多天体分光観測では、観測する天域（天体の空間分布）に合わせて一つ一つ作り、デューワー内にあらかじめ入れておく必要がある。SWIMSでは最大20枚程度スリットマスク板を保管できるが、それでも数日ごとに別の20枚と入れ替える作業が発生する。この点を解消し、いつでも（事前準備なく）好きな領域を多天体分光できるようにするのがマイクロシャッターアレイである。これは、半導体微細加工(MEMS)技術により幅100ミクロン程度の小さなシャッターを作製し焦点面上に敷き詰めて、個々を開閉制御することで、任意の位置に任意の大きさのスリットを用意する、というものである。

東京大学生産技術研究所と基礎開発を進めており、これまでに試作と製造プロセスの最適化を繰り返し、常温での開閉動作が可能なデバイスを製作することに成功している。

2.4 TAO望遠鏡での本格運用に向けて

SWIMSの各部は2011年5月に納入され、それ以降スリットマスク交換機構の単独動作試験、検出器の常温制御試験、メインデューワーの変形試験と、着々と開発が進んでいる。TAO望遠鏡の建設に先立ち、持ち込み装置としてすばる望遠鏡に取り付けて性能試験観測を行うことを計画しており、そのための準備も進めている。

十分な調整と性能評価を終えたSWIMSはその後チリ・チャナントール山へと輸送され、世界最高標高の天文台から、これまで目にしたことのないようなさまざまな近赤外線スペクトルをわれわれに届けてくれることだろう。そのようなデータを手にしたとき、どんな新しいことが明らかにできるのか、今から楽しみである。これこそが装置開発に携わる天文学者の最大のモチベーションであろう。そこへと続く道がいかに長く険しくとも。

3. 中間赤外線観測装置 MIMIZUKU

つづいて中間赤外線観測装置 MIMIZUKUにつ

いて紹介する。MIMIZUKUとは“Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe”の略称で、文字どおり「謎だらけの宇宙を中間赤外線でする観測装置」である。鳥の名前「ミミズク」と掛けてあるのは、MIMIZUKUの特徴である“Multi-field”つまり複数視野の同時観測を実現するために搭載する「フィールドスタッカー」の見た目と動きにちなんでいる（後述）。MIMIZUKUのもつ特徴と可能性、開発の状況について紹介する。

3.1 MIMIZUKUの構造

まずMIMIZUKUの外見と構造を図3に示す。MIMIZUKUもSWIMSと同様、サイズが2 m立方、総重量が2.3 tの大型装置である。中央にある円筒構造が観測用の光学系（カメラ）を収める容器である。中間赤外線観測では光学系の温度が高いと光学系が放つ赤外線に微弱な天体の赤外線が埋もれてしまい、観測ができなくなる。これを避けるためMIMIZUKUの光学系は20 K以下の低温に冷却する。また、検出器として用いる半導体検出器も、温度が高いと暗電流という邪魔な信号が流れるため、MIMIZUKUでは5-30 K（検出器により異なる）というさらに低い温度に冷却する。先述の円筒構造は、外界からの熱の侵

入を防ぎ低温環境を実現するための真空断熱容器となっており、冷却はそこに接続される2台のギフォード-マクマホン（GM）冷凍機（ヘリウムガスを用いた機械式冷凍機）で行う。

3.2 フィールドスタッカー

円筒容器の上面にはCVD（Chemical Vapor Deposition）ダイヤモンドという赤外線でも透明な素材でできた窓、入射窓がついており、望遠鏡で集められた赤外線をこの窓に導入すれば観測ができる。この光の経路に細工をするのがフィールドスタッカーである。フィールドスタッカーは入射窓と望遠鏡の間に組み込まれる装置（図3）で、図4に示すように、二つのピックアップ鏡と視野合成鏡の三つの鏡で構成される。ピックアップ鏡は望遠鏡によって星空の像が結ばれる面（焦点面）に置かれ（厳密には少しずれる）特定の領域の星空の光を選択し反射する。反射された光は視野合成鏡によって入射窓に導かれ、カメラで観測される。つまり、ピックアップ鏡の位置に対応する二つの領域の星空の光が、同時に一つのカメラで観測される。こうして複数視野の同時観測が実現される。ピックアップ鏡は直線運動と回転運動ができるようになっており、TAO望遠鏡搭載時には最大25分角離れた二つの領域を自由に選択

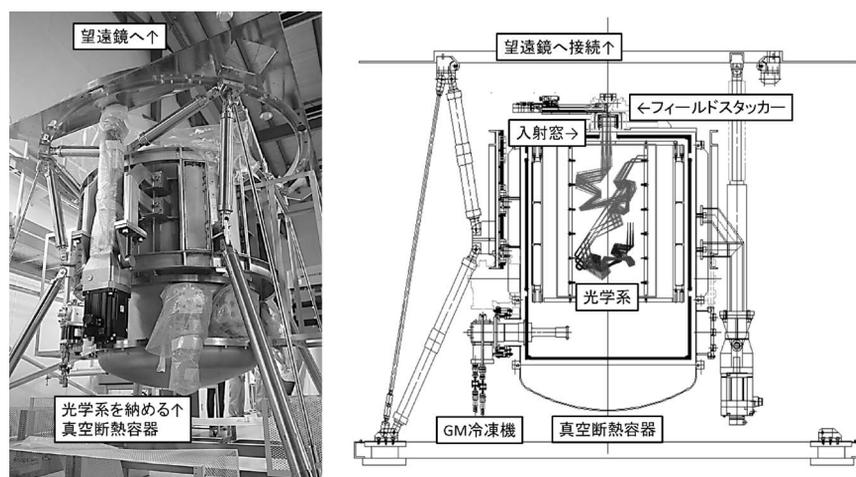


図3 MIMIZUKUの外見（左）と構造（右）。

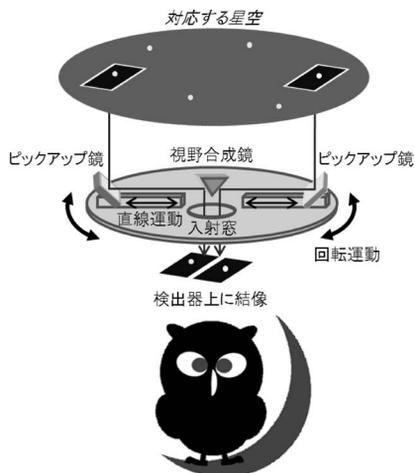


図4 フィールドスタッカーの構造(上)とMIMIZUKUのロゴ(下)。

し観測できる⁷⁾。この二つのピックアップ鏡がミミズクの頭の飾り羽のようであり、回転運動が、ミミズクが首を360度回転させるように似ていることから(似てませんか?)装置名がMIMIZUKUに決定した。ロゴは装置P.I.宮田氏直筆の可愛いミミズクのイラストとなっている(図4)。

フィールドスタッカーのご利益は、中間赤外線地上観測での天体の明るさやスペクトルの観測精度の向上である。天文観測で天体の明るさやスペクトルを決めるには、既知の天体(標準天体)と観測天体のシグナルを比較して決定する。中間赤外線地上観測でもこの方法を利用するが、中間赤外線は地球の大気吸収の影響を強く受けるため、標準天体と観測天体を観測する間に起きる大気状態の変化によって精度よく観測することが難しい。現状では明るさの決定精度が10%程度に止まっており、分光観測においても品質の良いスペクトルを取得することが難しい。しかしフィールドスタッカーを用いて標準天体と観測天体を同時に観測すれば、シグナルの比較の際に大気変化の

表1 MIMIZUKU 観測ユニットの検出器の仕様^{*4}

ユニット	種類	ピクセル数 (pixel)	視野 (arcmin)	波長 (μm)
NIR	InSb	1,024×1,024	2×2	2-6
MIR-S	Si:As	1,024×1,024	2×2	6-26
MIR-L	Si:Sb	128×128 ^{*5}	1×1	24-38

影響を相殺することができ、1%レベルの明るさの決定精度や、オゾン吸収帯(9.3-10.2ミクロン)や水蒸気吸収の強い長波長中間赤外線(20-40ミクロン)の信頼できるスペクトルの取得が可能になる⁷⁾。MIMIZUKUではこの機能を利用し、これまで難しかった中間赤外線の光度・スペクトルの時間変動を精度よく観測する。

3.3 近・中間赤外線にわたる幅広い観測波長

MIMIZUKUは中間赤外線を中心とする観測装置であるが、近赤外線まで及ぶ幅広い観測波長も特徴である。MIMIZUKUの光学系はNIR, MIR-S, MIR-Lという三つのユニットで構成され、それぞれ異なる半導体検出器を搭載する。各ユニットの検出器の仕様を表1に示す⁸⁾。この三つのユニットにより波長2-38ミクロンという非常に広い波長帯がカバーされ、TAOサイトで開かれる新たな大気の窓を余すことなく利用できる。また、これだけ広い波長帯をカバーできると、星・温かい固体微粒子(ダスト)・冷たいダストの放射を一つの装置で把握することができ、このような成分から構成される誕生期や終末期にある恒星などの構造を明らかにするうえで非常に有効である。

3.4 最高峰の30ミクロン帯空間分解能

最後に紹介するMIMIZUKUの特徴は30ミクロン帯の高い空間分解能である。30ミクロン帯は他の地上望遠鏡では観測が難しいが、TAOサイトでは定常的に観測できる。このことはmini-

^{*4} 各ユニットのより詳しい仕様はMIMIZUKU公式ホームページ (<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/mimizuku/pub/>)を参照されたい。

^{*5} オプションとして1,024×1,024 pixelとなる可能性もある。

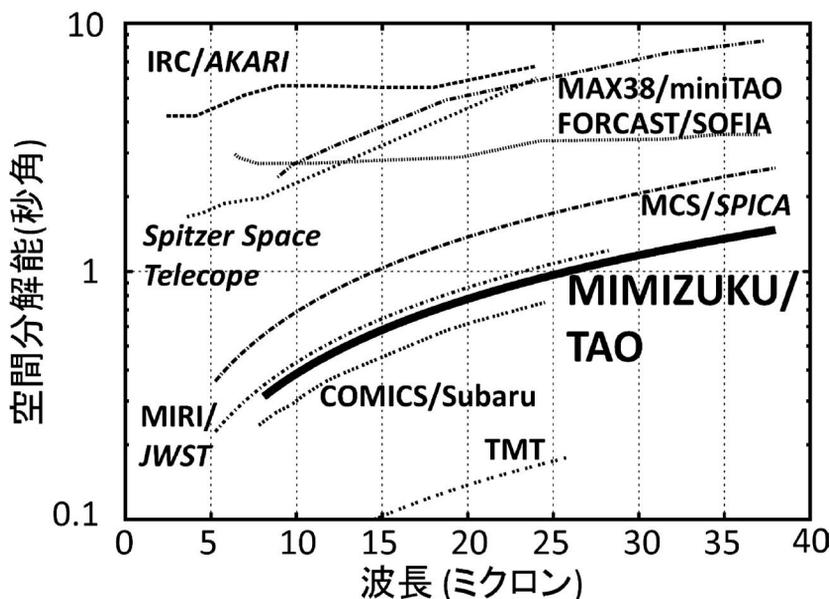


図5 近年の中間赤外線観測装置とMIMIZUKUの空間分解能の比較^{9), 12)-20)}.

TAO望遠鏡搭載の中間赤外線観測装置MAX38の観測実績で明らかになっており^{9), 10)}, 冷たいダスト ($T < 100$ K) の空間分布の詳細観測に威力を発揮する¹¹⁾. MIMIZUKUは, TAO望遠鏡の口径の大きさにより, 非常に高い空間分解能を達成できる. 将来計画を含めた近年の中間赤外線観測装置との, 空間分解能の比較を図5に示す. 30ミクロン帯が観測可能な装置は, 現在はMAX38, 飛行機望遠鏡SOFIA搭載のカメラFORCAST, 将来的にはMIMIZUKUと赤外線天文衛星SPICA搭載の装置MCSがある. これらの中でMIMIZUKUの空間分解能は最高クラスである. TAO望遠鏡よりも大口径の望遠鏡として, すばる望遠鏡等の8 m級望遠鏡, TMT (Thirty Meter Telescope) 等の30 m級望遠鏡があるが, 環境的に30ミクロン帯の定常観測は難しい. つまり, 当面MIMIZUKUは30ミクロン帯で最高の空間分解能を誇り, 低温ダストの空間分布を最も詳細に観測できる装置となる.

4. MIMIZUKUで切り拓く中間赤外線地上天文観測の可能性

紹介してきたMIMIZUKUの特徴を利用すると, 「近・中間赤線の長期時間変動観測」「30ミクロン帯による低温ダスト分布の詳細観測」といった新たな観測手法を切り拓くことができる.

時間変動観測は近年注目されてきている観測手法である. 天体の見え方はそうそう時間変動するものではないと思われがちだが, 意外に時間変動する天体が見つかってきている. 特に中間赤外線では観測可能な装置や機会が限られ, 時間変動について深く探求されることが少なかったが, IRASに続くAKARI, WISEの全天サーベイを受け, これらのデータの比較から変わった変光天体の存在が明らかになってきた. 例えばWISE J1810-3305という天体はIRAS時代の中間赤外線放射は検出限界以下だったが, AKARI, WISEでは非常に明るい中間赤外線放射が検出され, 終末期の恒星が見せる大規模な質量放出現象に伴ったダスト形成が見えたものと解釈されている²¹⁾.

別の例として、原始惑星系円盤をまどう若い天体 TYC 8251 2652 1では IRAS, AKARIの観測に比べ WISEの観測で中間赤外線の大きな減光が確認され、原始惑星系円盤内部で何かしらの惑星形成に関するイベントが起きたという報告がなされている²²⁾。時間変動現象は調べればほかにも起きていると期待され、MIMIZUKUのようにいつでも利用できる地上に、精度よく観測のできる赤外線観測装置があることは時間変動現象の研究にたいへん有効である。こういった現象の中でダストの形成・破壊・変性現象は起きると考えられ、MIMIZUKUでその変化をつぶさにモニターすることで、宇宙における物質の発生・進化に新たな知見が得られると期待される。

30ミクロン帯を利用した低温ダストの詳細観測も TAO 搭載 MIMIZUKU ならではの観測である。30ミクロン程度で観測可能なダストは温度にして 100 K 程度のものであり、その存在は星形成を進めている若い天体や、漸近赤色巨星・惑星状星雲・高輝度青色変光星などの死にゆく星々の周辺でよく見られる。MAX38でもこのような天体の 30ミクロン帯観測を進めている。死にゆく星の観測例として中村の博士論文¹¹⁾では、高輝度青色変光星のイータ・カリーナを 30ミクロン帯で観測し、天体周囲の低温ダストの温度や量の分布を調べることで、イータ・カリーナの質量放出史やダスト形成率を明らかにし、ダスト形成の過程について議論している。

空間分解能が十分ではない MAX38 ではこのような議論ができる天体はたいへん限られるが、飛躍的に空間分解能が向上する MIMIZUKU を用いれば、より系統的なサーベイが可能となり、上記のようなサイエンスをより深めていくことができる。

5. MIMIZUKUの開発と今後

この原稿を書いている 2012 年 10 月現在も MIMIZUKU を構成する各要素の開発・試験を進

めている。開発は企業の協力を得ながら、研究室総出（スタッフ 2 名、PD 1 名、大学院生 3 名）で進めている。開発項目は、真空断熱容器・フィールドスタッカー・フィルターホイールなどの冷却駆動機構・検出器の読み出しシステムなど多岐にわたる。真空断熱容器開発では不足している冷却能力の向上を目指した改良を、フィールドスタッカー開発では八つある駆動機構の基本動作試験を進行中で、これらは 2012 年中に終了予定である。八つの冷却駆動機構の開発は、最近一連の基本動作試験が終了した。検出器の読み出しシステムの開発では、極低温環境下で動作する電界効果トランジスタ (FET) の選定を進めていたが、これもつい最近、適当な民生品の GaAs FET が選定でき、システムの実現への見込みが立った。ほかにも MAX38 や MIMIZUKU で開拓を進める長波長中間赤外線を利用できる光学素子として金属メッシュフィルターやモスアイを利用した高効率レンズ・グリズムの開発なども進めている。MIMIZUKU の詳しい開発状況については上塚らの報告⁸⁾に、メッシュフィルターやモスアイ光学素子の開発については酒向ら²³⁾、上塚ら²⁴⁾の報告に詳細を述べているので、興味のある方は参照していただくと幸いです。

2013 年度は、各要素を一つのシステムに組み上げ、制御プログラムの開発や各種動作試験を進めていく。その後はフィールドスタッカー機能の有効性を実証すべく、すばる望遠鏡への搭載・ファーストライトを目指す。ハワイへの持ち込み・ファーストライトは 2014 年度を計画しており、その後は共同利用に供したいと考えている。TAO 望遠鏡の完成後はチリの TAO サイトへ運び、TAO 望遠鏡に搭載、30ミクロン帯の観測も解禁となったフルスペックの MIMIZUKU が活躍する。そこまでの道のりはとても長いですが、その日を夢見ながら日々の開発に全力で励んでいきたいと思う。

6. おわりに

SWIMS・MIMIZUKUの開発は大詰めに差し掛かっており、2013年度末の完成をめざし、これからよりいっそう力を入れていく予定である。来年度の開発はSWIMSもMIMIZUKUもともに、個別に開発していた要素を一つのシステムにまとめ上げていく作業が主になる。この作業を終え、2014年度にはすばる望遠鏡への搭載に向けた輸送と現地での調整作業を進め、ファーストライトを目指す。ファーストライトではSWIMSのもつ2色同時観測の機能や、MIMIZUKUの目指す2視野同時観測による観測精度の向上を実証する。その後すばる望遠鏡のオープンユースの観測機器として運用を行った後、2018年頃となるTAO望遠鏡の完成を受けて、最終目的地となるTAOへの搭載となる。そこまでの道のりは非常に長いですが、そこからがSWIMS・MIMIZUKUの本領発揮であり、TAOにしかできない観測テーマで華々しい成果が出てくるものと期待される。息の長い話ではあるが、今後もTAO計画への応援をお願いしたい。

参考文献

- 1) Konishi M., et al., 2010, Proc. SPIE 7735, 77356T
- 2) Konishi M., et al., 2012, Proc. SPIE 8446, 84467P
- 3) Suzuki R., et al., 2008, PASJ 60, 1347
- 4) Tokoku C., et al., 2006, Proc. SPIE 6269, 148
- 5) すばる望遠鏡ウェブリリース http://subarutelescope.org/Topics/2006/02/22/j_index.html
- 6) Ozaki S., et al., 2012, Proc. SPIE 8450, 84503Y
- 7) Miyata T., et al., 2010, Proc. SPIE 7735, 7735P
- 8) Kamizuka T., et al., 2012, Proc. SPIE 8446, 84466P
- 9) Asano K., et al., 2012, Proc. SPIE 8446, 844634
- 10) Miyata T., et al., 2012, Proc. SPIE 8444, 84446B
- 11) Nakamura T., 2012, Ph.D. thesis, The Univ. of Tokyo
- 12) Lorente R., et al., 2008, AKARI IRC Data Users Manual, version 1.4
- 13) IRAC Instrument and Instrument Support Teams, 2012, IRAC Instrument Handbook, version 2.0.2
- 14) MIPS Instrument and MIPS Instrument Support Teams, 2011, MIPS Instrument Handbook, version 3.0
- 15) Herter T. L., et al., 2012, ApJ 749, L18
- 16) Wada T., et al., 2010, Proc. SPIE 7731, 77710U
- 17) Guillard P., et al., 2010, Proc. SPIE 7731, 77310J
- 18) Ronayette S., et al., 2010, Proc. SPIE 7731, 77313N
- 19) Glasse A. C. H., et al., 2010, Proc. SPIE 7731, 77310K
- 20) COMICS web site, <http://subarutelescope.org/Observing/Instruments/COMICS/index.html>
- 21) Gandhi P., et al., 2012, ApJ 751, L1
- 22) Melis C., et al., 2012, Nature 487, 74
- 23) Sako S., 2012, Proc. SPIE 8450, 84503V
- 24) Kamizuka T., 2012, Proc. SPIE 8450, 845051

SWIMS and MIMIZUKU: Instruments for the TAO 6.5-m Telescope

Masahiro KONISHI and Takafumi KAMIZUKA
Institute of Astronomy, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2-21-1 Osawa, Mitaka 181-0015, Japan

Abstract: SWIMS and MIMIZUKU are the instruments being developed for the TAO 6.5-m telescope. SWIMS has capabilities of near-infrared wide-field two-color imaging and multiple-object spectroscopy to obtain full spectra between 0.9 and 2.5 microns. MIMIZUKU has capabilities of near- and mid-infrared imaging and spectroscopy. In addition, it can observe two distant fields simultaneously to realize high-precision observations. Current status of their development is reported.