

近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発

寺尾 恭範 (東京大学大学院 理学系研究科 天文学教育研究センター)

Abstract

現在、東京大学天文学教育研究センターでは、南米チリ共和国アタカマ高地のチャナントール山頂に 6.5 m 赤外線望遠鏡を建設する TAO(The University of Tokyo Atacama Observatory) 計画を進めている。TAO サイトは天文台として世界最高標高 5640 m にあり、良好なシーイング、高い晴天率、高い赤外線透過率などの特長がある。中でも近赤外領域における連続的な大気の窓は他に類を見ず、他サイトでは困難な Pa α 輝線 (静止波長 1.8751 μm) の観測が可能な地上望遠鏡である。SWIMS(Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) は、TAO 望遠鏡の第一期観測装置として我々が開発している近赤外線装置である。SWIMS の有する特徴のひとつとして挙げられるのが、短波長 (0.9–1.4 μm) と長波長 (1.4–2.5 μm) の 2 色同時撮像/分光観測である。入射光はダイクロイックミラーによって分割され、それぞれの波長帯で天体の像、あるいはスペクトルが得られる。観測モードは撮像、多天体分光、面分光の 3 つであり、これらのモードは、多天体分光マスクと面分光ユニット (Integral Field Unit) を収納した多天体分光マスク交換ユニット (Multi-Object Spectroscopy Unit) によって一晩の観測中に迅速に切り替えられる。本収録では、まず SWIMS という装置の概要について説明する。後半では、筆者が行いたいと考えている SWIMS を用いた銀河の研究について述べる。TAO 望遠鏡の完成に先駆け、SWIMS をすばる望遠鏡に搭載してのパイロットサーベイとして計画されている SWIMS-18 サーベイについても紹介する。

1 Introduction

宇宙における多種多様な現象を取り扱うためには様々な波長での観測が不可欠である。中でも近赤外線は、ダストに覆われた星形成領域や赤方偏移の大きな遠方銀河などの観測研究において重要な波長域である。しかしながら、地上においては地球大気による吸収のために観測は容易ではない。そこで、東京大学天文学教育研究センターでは、南米チリ共和国アタカマ高地のチャナントール山頂に 6.5 m 赤外線望遠鏡を建設する TAO(The University of Tokyo Atacama Observatory) 計画を推進している。TAO サイトは天文台として世界最高標高 (5640 m) にあり、水蒸気量が少ないので近赤外線の波長域における透過率が高いという特長がある (図 1)。これにより連続的な大気の窓が得られ、他サイトでは困難な Pa α 輝線の地上観測も可能となる。優れた大気透過率という TAO サイトの強みを活かした科学的観測を行うための第 1 期装置として、我々は近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS(Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) を開発中

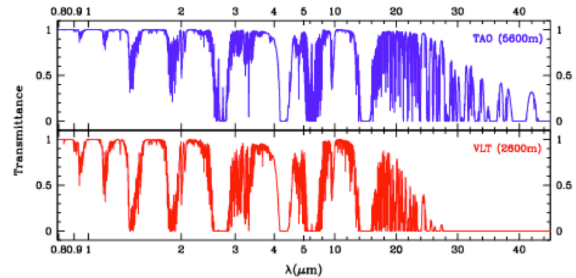


図 1: TAO サイト (標高 5640 m) と VLT サイト (標高 2600 m) の大気透過率の比較 (モデル)。TAO サイトでは波長 2.5 μm 以下で連続的な大気の窓が得られること、波長 30 μm 以上で新たな大気の窓が得られることが特徴。

である。

2 Instrument

SWIMS は $\phi 9.6'$ (TAO6.5 m 望遠鏡に取り付けた場合) の広い視野を持つ 0.9–2.5 μm の波長域の近赤

外線観測装置であり、3つの観測モード（撮像、多天体分光、面分光）を搭載する（装置仕様は表1）。本体は主にデュワー、MOSU(後述)、支持構造から成り、デュワーには光学系が、MOSUには多天体分光のためのスリットマスクと面分光のためのIFUが、支持構造には周辺機器がそれぞれ搭載されている（図2）。



図 2: SWIMS の全体像。デュワーの上部に搭載されているのが MOSU。

サイズ・重量	2m × 2m × 2m, 約 2.5t
観測モード	撮像, 冷却マルチスリットマスクによる多天体分光
視野 ^a	撮像: φ9.6', 分光: 9.6' × 6.0'
観測波長	0.9-2.5 μm (blue: 0.9-1.4 μm, red: 1.4-2.5 μm)
ピクセルスケール ^b	0.126 /pixel
検出器	Teledyne Technologies, Inc 社製 HAWAII-2RG (2048 × 2048 pixels, 18 μm/pixel, 2.5 μm cut-off) (blue/red 光路にそれぞれ 4 台ずつ)
フィルター	
広帯域	Y (λ _c = 1.02 μm), J (1.25 μm), H (1.64 μm), K _s (2.15 μm)
狭帯域	N129 (Δλ=40nm), N133 (34nm), N1875 (20nm), N195 (40nm)
波長分解能 (スリット幅 0.15)	blue: λ/Δλ ~ 700-1000 red: λ/Δλ ~ 500-900
スリットマスク数	24 枚 (ロングスリットなど常設のものも含む)
同時分光天体数	~ 30 天体/マスク
期待される点源限界等級 ^c	
(AB 等級, 1 時間積分, S/N=5)	
撮像	Y = 25.3, J = 24.6, H = 24.2, K _s = 24.3
分光 (λ/Δλ = 1000)	Y = 22.6, J = 21.7, H = 21.1, K _s = 21.3

^aすばる望遠鏡用光学系では、撮像時 φ7.4', 分光時 7.4' × 4.6' となる。

^bすばる望遠鏡用光学系では、0.1096 となる。

^cすばる望遠鏡搭載時は、TAO 望遠鏡と比べて口径分 (2.5 × log₁₀(8.2/6.5) ~ 0.3 等) 深くなると予想される。

表 1: SWIMS の装置仕様 (TAO プロジェクトブック 第 2 版)

SWIMS は TAO6.5 m 望遠鏡のナスミス焦点装置として開発されているが、すばる望遠鏡のカセグレ

ン焦点装置として利用することも可能な設計となっており、TAO 望遠鏡の完成に先駆けて 2016 年中のすばる望遠鏡でのファーストライトが予定されている。以下では、各コンポーネントの概要を述べる。

2.1 光学系

SWIMS の大きな特徴は、ダイクロイックミラーによって光を短波長 (0.9-1.4 μm) と長波長 (1.4-2.5 μm) に分割することによる 2 色同時観測である (図 3)。これにより広い波長域に渡って効率良く切れ目のないスペクトルを取得することが可能となり、観測効率も上がる。フィルターはフィルターホイールに搭載されており、モーターによってホイールを回転させることによりフィルターの切り替えを行うことができる。熱放射を抑えるために、光学系は液体窒素と機械式冷凍機により 70 K 以下まで冷却される。

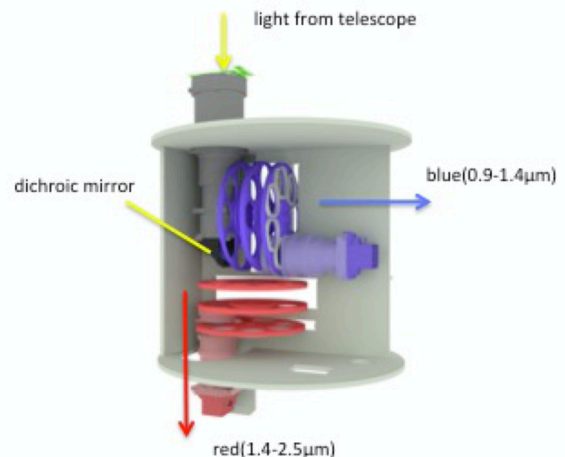


図 3: 光学系の仕組み。入射した光はダイクロイックミラーによって短波長と長波長に分けられる。

2.2 検出器

検出器は Teledyne Technologies, Inc 社の HgCdTe アレイ検出器 HAWAII-2RG を 4 台搭載している (最終的には 8 台)。これは 2K × 2K でピクセルサイズが 18 μm の裏面照射型 CMOS センサであり、カットオ

フ波長は $2.5 \mu\text{m}$ である。検出器の制御には、専用の読み出し回路 SIDECAR ASIC および JADE2 Card を用いる。

2.3 MOSU

MOSU とは多天体分光マスク交換ユニット (Multi-Object Spectroscopy Unit) のことであり (図 4)、すばる望遠鏡の MOIRCS という装置で用いられた技術をベースとして開発された。多天体分光は複数のスリットを開けたスリットマスクを用いて行われるが、いくつもあるスリットマスクのうち 1 枚を取り出して焦点面に設置するのが MOSU の機能である。マスクデューワーには 24 枚のスリットマスクを冷却下で収納することができ、1 枚あたり最大 30 天体の同時分光が可能である。スリットマスクのセットを交換する際には、ゲートバルブを閉じることにより光学系に影響を与えることなくマスクデューワーだけを昇温させて交換作業を行うことができる。また、MOSU には面分光を行うための IFU(Integral Field Unit) も収納されており、3 つの観測モードを迅速に切り替えて観測効率を高めることができる。

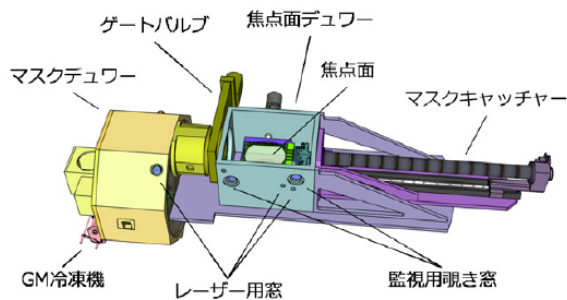


図 4: MOSU の模式図。マスクデューワー内のスリットマスクがマスクキャッチャーによって焦点面まで運ばれる。

3 今後の研究

ここまで装置の概要について説明してきた。SWIMS の開発は最終段階に入っており、現在は 3

鷹にて冷却試験や調整が行われている。以下では、筆者が SWIMS を用いた観測研究として計画していることについて述べる。

3.1 Pa α 輝線を用いた dusty な星形成銀河の研究

銀河の星形成領域を観測する際に多く用いられるのは H α 輝線 (静止波長 656.28 nm) である。H α 輝線は星形成に対する良い tracer であるが、可視光であるために LIRG(Luminous InfraRed Galaxy) などダスト量の多い銀河では減光が強く、観測が困難となる。一方、Pa α 輝線は静止波長 $1.875 \mu\text{m}$ の赤外線であり、ダスト吸収は H α 輝線の $1/6$ である。また、強度は H α 輝線の $1/8$ であり、赤外域の水素再結合線で最も強い。先に述べたように、TAO サイトでは他サイトでは困難な Pa α 輝線の地上観測が可能である。したがって TAO 望遠鏡と SWIMS を組み合わせることにより、ダスト量の多い星形成銀河やスターバースト銀河の星形成領域の研究や、H α 輝線と Pa α 輝線の強度比較によるダスト減光分布の研究などの進展が期待される。

3.2 SWIMS-18 サーベイ

我々は現在、国立天文台のグループと SWIMS-18 というサーベイを計画している。これは、SWIMS に狭帯域 (NB) フィルター 6 枚、中間帯域 (MB) フィルター 9 枚、広帯域 (BB) フィルター 3 枚の計 18 枚のフィルター (図 5) を搭載して行うサーベイであり、TAO 望遠鏡の完成に先駆けて行うすばる望遠鏡でのパイロットサーベイとして計画されている。多数のフィルターを活かした様々な成果が期待されているが、ここでは具体的に、MB フィルターを使った high-z における銀河種族の研究について述べる。

Spitler et al. (2014) では、ZFOURGE というサーベイによるデータを用いて $z=3-4$ の銀河種族の多様性について議論している。ZFOURGE は、Four Star というカメラをマゼラン望遠鏡に搭載して行われた近赤外サーベイで、5 枚の MB フィルター (J_1, J_2, J_3, H_s, H_1) と 1 枚の BB フィルター (K_s) が

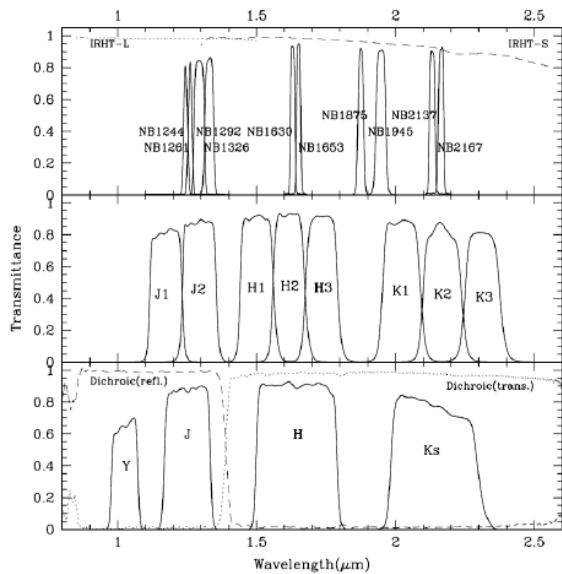


図 5: SWIMS-18 で用いるフィルターの波長と透過率 (Motohara et al. 2014)。図上段から NB、MB、BB フィルター。

用いられた。Spitler et al. (2014) によると、従来 $z > 3$ の銀河種族の研究には SED の dropout を検出する方法が用いられてきたが、この方法では顕著な Lyman break を持つ UV で明るい銀河ばかりが発見されるという問題点があった。サンプルに偏りがあるために、dropout で発見された銀河で共通している性質が $z > 3$ の全ての銀河種族で共通であるとは限らない。近年、 $z > 3$ のあらゆる銀河種族のサンプルを得るために近赤外撮像を用いた研究が行われ、静止系でのカラーを用いて分類した結果、ダスト量の多い星形成銀河や星形成をしていない銀河が多数存在することが判明した (e.g., Marchesini et al. 2013)。Spitler et al. (2014) ではより深い近赤外撮像によってこの結果を強固なものとした (図 6)。これは、 $z = 3-4$ よりも早い時代においてすでに星形成を終了して passive に進化した銀河が多数存在することを示唆している。

SWIMS-18 で用いられる K3 フィルターは、ZFOURGE では不可能な $z = 4-5$ の銀河の Balmer break の検出を可能にする。また、H バンドと K バンドを 3 つに分割することにより photometric redshift の精度が向上し、より正確な SED フィッティングができる。こうした特長を持つ SWIMS-18 サーベイに

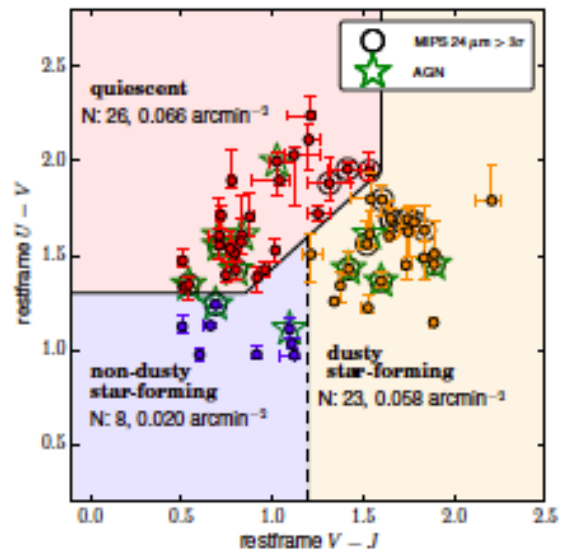


図 6: 静止系カラーで分類されたサンプル (Spitler et al. 2014)。dropout でよく見つかる non-dusty な銀河は少数である。

より、 $z > 4$ の時代における銀河の性質を明らかにし、銀河の形成と進化に関する理解が深まるような新しい発見をしたいと考えている。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

- Y. Yoshii et al. 2014, Proc. SPIE 9145, 914507
- K. Motohara et al. 2014, Proc. SPIE 9147, 91476K
- H. Takahashi et al. 2014, Proc. SPIE 9147, 91476K
- Y. Kitagawa et al. 2014, Proc. SPIE 9151, 91514P
- L. R. Spitler et al. 2014, ApJ 787, L36
- D. Marchesini et al. 2010, ApJ 725, 1277
- TAO プロジェクトブック第 2 版, <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/pjbook/201203/index.html>