

TMT 広視野可視撮像分光装置 WFOS/MOBIE

尾崎 忍 夫

〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: shinobu.ozaki@nao.ac.jp



広視野可視撮像分光装置 WFOS/MOBIE (Wide Field Optical Spectrograph/Multi-Object Broad-band Imaging Echelle spectrograph) は、TMT 完成時期に搭載予定の三つの第一期観測装置の一つです。広い視野で多くの天体を一度に観測したい、高い波長分解能の観測を行いたいという科学者のわがままな要求を取り入れたところ、非常に大きな装置となっています。ここでは、この巨大な装置を用いて目指すサイエンスについてお話ししたあと、この装置の概要についてご説明したいと思います。

1. WFOS/MOBIE が目指す サイエンス

広視野可視撮像分光装置 WFOS/MOBIE (Wide Field Optical Spectrograph/Multi-Object Broad-band Imaging Echelle spectrograph)¹⁾⁻³⁾ は撮像・ロングスリット分光・多天体スリット分光の機能を有する汎用装置で、TMT 完成時期に搭載される第一期観測装置の一つです。これを用いたサイエンスは多岐にわたり、それらすべてをここに記載できませんので、ここでは二つのテーマだけに絞って紹介したいと思います。

1.1 巨大ライマンアルファ輝線ガス天体

すばる望遠鏡の広視野撮像装置 Suprime-Cam を用いた撮像観測から遠方宇宙において水素の輝線で輝く巨大ライマンアルファ輝線ガス天体（以下、巨大ガス天体）が複数検出されました^{4),5)} (図1)。これらは将来的に大質量銀河へ進化すると考えられています。

大質量銀河の形成時期には銀河間空間から大量のガスが銀河へ降り積もり爆発的な星形成が行われているという説⁶⁾ や、一方で爆発的な星形成に付随した多数の超新星爆発によりガスが吹き飛ばされているだろうという示唆があります⁷⁾。ま

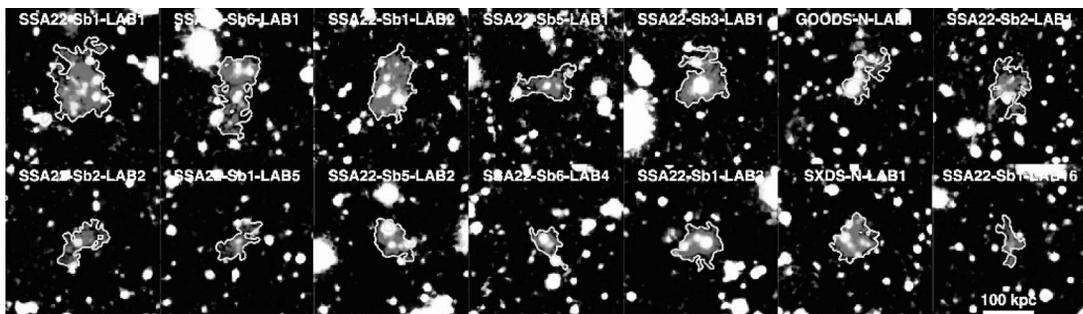


図1 すばる望遠鏡の Suprime-Cam により得られた水素輝線天体のイメージ⁴⁾。

た、大質量銀河中心に超巨大ブラックホールが形成され、そこにガスが落ち込む際に放出される莫大なエネルギーによって周囲のガスを吹き飛ばしたり加熱したりすることで、銀河での星形成が抑制されるという理論的研究もあります⁸⁾。将来的に大質量銀河に進化すると思われる巨大ガス天体の詳細研究は、これらの説を検証するうえで非常に重要であると考えられています。

しかしこれらの巨大ガス天体は非常に暗いので、すばる望遠鏡などの8 mクラス望遠鏡をもってしても、一部の明るい巨大ガス天体しか分光観測できません。TMTならば暗い巨大ガス天体でも観測できるので、銀河進化に関する統計的議論ができると期待されています。

すばる望遠鏡ではSuprime-Camを大きく上回る視野をもつHyper Suprime-Cam (HSC) が運用を開始しました。それをを用いた観測から数千個の巨大ガス天体が検出される考えられています。HSCで発見される巨大ガス天体をTMTで分光観測することで、銀河進化に関する研究がさらに進展することでしょう。

1.2 遠方宇宙の銀河間ガス分布

銀河の中には非常に明るいクエーサーと呼ばれるものがあり、それらは遠方でも観測することができます。これらのクエーサー自体の研究も面白いのですが、これらを用いた遠方の銀河間ガスの研究も注目されています。遠方のクエーサーと地球との間に銀河間ガスが存在すると、クエーサーのスペクトルに銀河間ガスの吸収線が刻み込まれます。この吸収線を調べることにより銀河間ガスの物理状態を知ることができます^{9),10)}。銀河間ガスは非常に暗いので、それが放射する光を検出することは非常に困難ですが、この観測手法を用いれば対象天体自体の明るさは問題にならないので、暗い銀河間ガスも観測可能となります。

しかし、この観測手法では明るいクエーサーのある視線上の情報しか得られず、明るいクエーサーの数が少ないために空間的に密な情報を得る

ことができません。しかしTMTならば暗いクエーサーや銀河も使用することができるので、空間密度を密にすることができ、遠方銀河間ガスの空間分布を詳細に知ることができるようになります。

先に述べたように銀河形成時期には大量の銀河間ガスが銀河に流入しているという報告⁶⁾や、銀河での星形成活動によって合成された重元素が超新星爆発などによって吹き飛ばされ、銀河間ガスへ戻るといった研究結果もあります⁷⁾。銀河間ガスの研究から銀河進化や宇宙の化学進化について新たな知見が得られるかもしれません。

2. WFOS/MOBIEの概要

WFOS/MOBIEはWFOSとMOBIEという二つの名前がつながった名前で、時には一方の名前だけで呼ばれることもあります。時々WFOSとMOBIEは何が違うのかと質問されることがありますので、ここで説明しておこうと思います。TMTプロジェクトが始まった当初、TMTに必要な装置について検討され、その中の一つとして広い視野をもつ可視光分光撮像装置が挙げられました。その装置コンセプトに付けられた名前がWide-Field Optical Spectrograph (WFOS)です。この装置コンセプトに対して、カリフォルニア大学サンタクルーズ校 (UCSC) が独自のアレンジも加えて提案した装置の名前がMOBIEです。過去にはUCSC以外にもカナダのグループやカリフォルニア工科大学も装置提案をしていて、それらには別の名前が付けられています。現在活動しているプロジェクトはMOBIEだけですので、WFOS=MOBIEだと思っていただいて構いません。

WFOS/MOBIEは可視光観測用の装置なので、補償光学装置を使えません。その場合、一般的に望遠鏡の大きさに比例して装置も大きくなってしまいます。それに加えて、広い視野が欲しい、高い波長分解能の観測もしたいといった科学者のわがままな要求を取り入れたところ、図2にあるようにMOBIEは非常に大きな装置となりました。

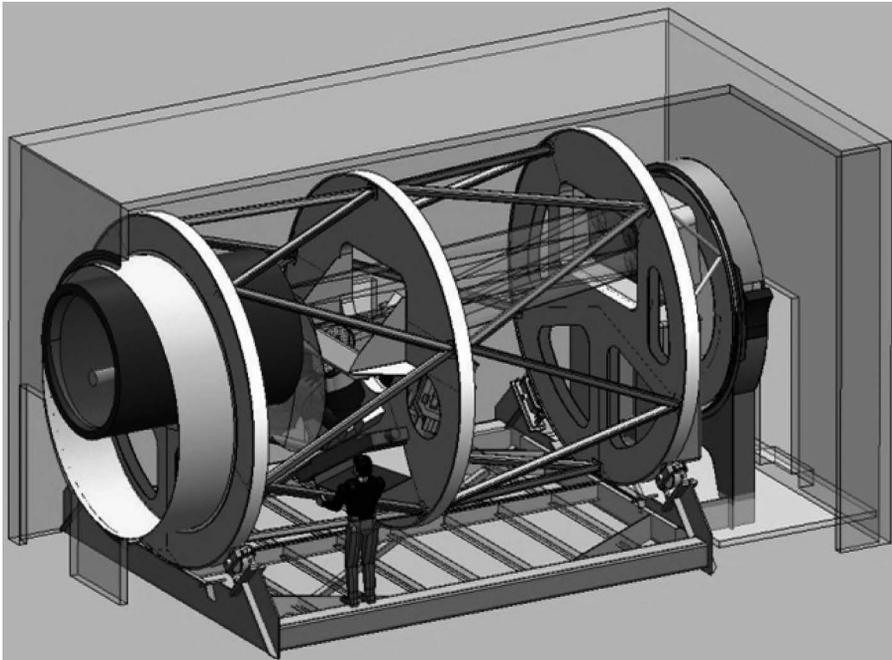


図2 WFOS/MOBIE概観.

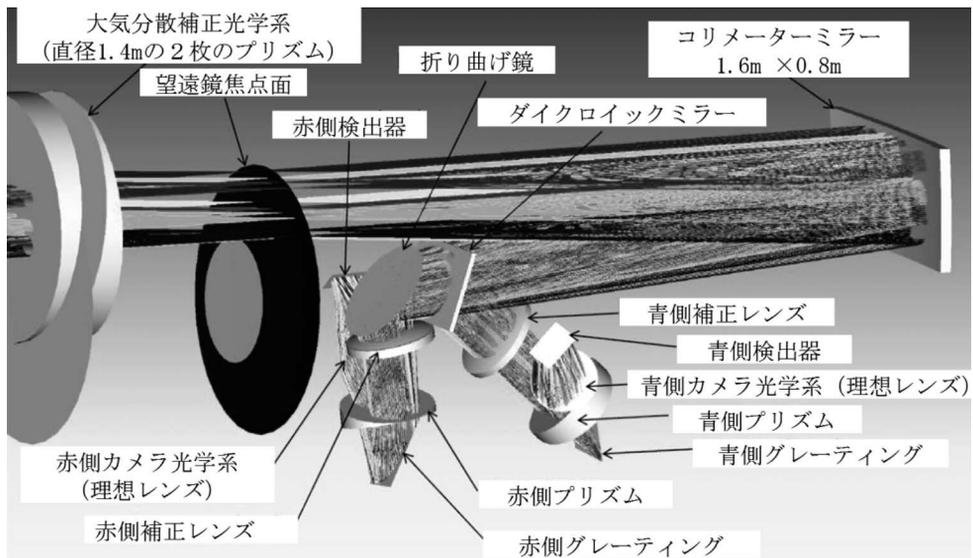


図3 WFOS/MOBIE光学系概要³⁾. 分光モードが記載されています. 撮像モードのときはグレーティングとプリズムの代わりに平面ミラーが挿入されます.

実は当初もっと巨大な装置だったのですが、実現可能性を考慮して、これでもコンパクト化が図られているのです。

図3はWFOS/MOBIEの光学レイアウトの概要です。表1には基本的な装置パラメーターをまとめました。WFOS/MOBIEはまだ開発の初期段階

表1 WFOS/MOBIE装置パラメーター.

視野	8.3分角×3分角
波長範囲	310~600 nm (青側) 550~1,000 nm (赤側)
コリメーター焦点距離	4500 mm
カメラ焦点距離	600 mm
装置内瞳径	300 mm
検出器受光面積	180 mm×240 mm
波長分解能	R~1,000/5,000/8,000
最大同時分光天体数	100天体程度

ですので、今後これらのレイアウトやパラメーターが変更される可能性があることにご注意ください。望遠鏡からの光は2枚のプリズムからなる大気分散補正光学系で大気分散が補正されます。その後、軸外しコリメーターミラーで平行光束にされ、グレーティングとプリズムで光を分散させて、カメラ光学系でCCD上に結像させます。途中、550 nm以上の光は透過し、550 nm以下の光は反射するダイクロイックミラーによって光を分けています。このようなレイアウトはオーソドックスなものなのですが、それぞれの光学素子が大きいので、それらの製造や保持機構が技術課題となっています。MOBIEが有する観測モードは撮像、ロングスリット分光、多天体スリット分光があります。多天体スリット分光では100天体程度を同時に分光できる多天体分光モードのほかに、同時分光天体数が10天体程度と数は限られますが、 $R=5,000$ や $8,000$ といった高い波長分解能でも310 nm-1 μm の広い波長範囲を一度の露出で取得するモードも用意されています。

3. 国際共同開発・日本の役割

MOBIEは望遠鏡や他の装置と同様に国際協力で行っています。これまではUCSCを中心に国立天文台、ハワイ大学、南京天文光学技術研究所、中国科学技術大学が協力して進めてきましたが、インドなどの他の研究機関も開発に加わることを検討しています。今後はますます国際色豊かなプロジェクトになりそうです。

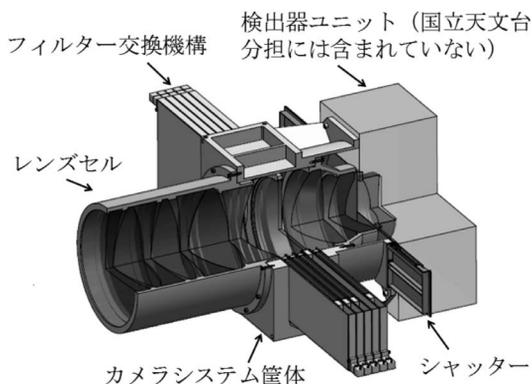


図4 カメラシステム概観図.

現在、WFOS/MOBIEは概念検討段階であり、各参加機関がそれぞれの担当部分に関して概念検討を行い、技術課題の洗い出しなどを行っています。日本の担当はカメラ光学系で、すばる望遠鏡の装置開発経験をもとに検討を行ってきました。図4はカメラ光学系の概観図です。フィルター交換機構やシャッターもカメラ光学系に含まれており、それらの検討も行っています。カメラ光学系には直径400 mm以上のレンズが必要となり、収差補正のためには蛍石を用いる必要があります。蛍石は壊れやすいうえに熱膨張係数が大きいので、取扱いや加工が難しい素材として知られています。そのため大口径の蛍石レンズの製造と、その支持機構が大きな技術課題となっています。

最近では望遠鏡焦点面に設置されるスリットマスクの交換機構の検討にも加わっています。マスクの交換にはロボットアームが用いられる予定なのですが、天体観測装置での実用事例がないというのが懸念事項でした。しかし、何と東京大学木曾観測所においてすでに実用化されており、大きな問題もなく運用されていることがわかりました¹¹⁾。これでWFOS/MOBIEでの利用可能性が高まりました。

謝 辞

日本におけるWFOS/MOBIEプロジェクトの活動は宮崎 聡氏とともに行っています。またTMT推進室の方々にはさまざまな形で協力していただいています。ここでは詳細を記載できませんでしたが、光学系検討においては成相恭二氏、田中陽子氏、都築俊宏氏に協力していただきました。ロボットアームに関する情報は酒向重行氏よりいただきました。

参考文献

- 1) Bernstein R. A., Bigelow B. C., 2008, Proc. SPIE 7014, 70141G
- 2) Bigelow B. C., Bernstein R. A., 2010, Proc. SPIE 7735, 773527
- 3) Bigelow B. C., et al., 2014, Proc. SPIE 9147, 914728
- 4) Matsuda Y., et al., 2011, MNRAS 410, L13
- 5) 松田有一ほか, 2004, 天文月報97, 628
- 6) Dekel A., et al., 2009, Nature 457, 451
- 7) Mori M., Umemura M., 2006, Nature 440, 644
- 8) Di Matteo T., et al., 2005, Nature 433, 604
- 9) Becker G. D., et al., 2006, ApJ 640, 69
- 10) Adelberger K. L., et al., 2005, ApJ 629, 636
- 11) Sako S., et al., 2012, Proc. SPIE 8446, 84466 L

TMT Wide Field Optical Spectrograph/ Multi-Object Broadband Imaging Echelle spectrograph (WFOS/MOBIE)

Shinobu OZAKI

*National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: Wide Field Optical Spectrograph/Multi-Object Broadband Imaging Echelle spectrograph (WFOS/MOBIE) is one of the first light instruments of TMT as well as IRIS and IRMS. Scientists require larger field of view and higher wavelength resolution. Adopting such egoistic demands, MOBIE becomes a large instrument. In this paper, we introduce science cases using MOBIE, and then explain the instrument.