

せいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU の 初期ステータス



松 林 和 也

〈京都大学大学院理学研究科附属天文台岡山天文台特別講座 〒719-0232 岡山県浅口市鴨方町本庄 3037-5〉
e-mail: kazuya@kusastro.kyoto-u.ac.jp

我々は、ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU を国立天文台岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡からせいめい望遠鏡に移設した。1 ファイバー当たりの視野は $\sim 1''$ 、全ファイバーでの視野が $\sim 15''$ 、波長範囲が 4,100–10,200 Å、波長分解能が 500–2,000 である。光学系はファイバーバンドルを含めてほとんど変更がない一方で、制御システムは一新されている。せいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU は 2019 年 2 月から共同利用時間と京都大学時間の観測に利用されている。

1. Introduction

KOOLS-IFU^{*1} は国立天文台岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡に接続して観測を行った、ファイバー型面分光装置である [1]。重力波源の可視光対応天体を、発見されたその晩のうちにフォローアップ分光観測するために開発された。こちらの内容については過去の天文月報の記事になっており、詳しくはそちらを参照されたい [2]。

KOOLS-IFU はせいめい望遠鏡にも接続することを想定して開発され、188 cm 望遠鏡での観測が終わった後にせいめい望遠鏡があるドームへ移設された。その後、せいめい望遠鏡の第 1 期観測装置として認められ、2019 年 2 月から共同利用時間と京都大学時間の観測に利用されている。せいめい望遠鏡に接続して観測を始めてからまだ 1 年半あまりだが、いくつかの科学成果を生み出し始めている。科学成果については本特集の別の記事に譲り、本記事ではせいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU の現状と進行中のアップグレード計画について紹介する。

2. せいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU

2.1 光学系

前出の通り、KOOLS-IFU は開発当初から 188 cm 望遠鏡にもせいめい望遠鏡にも接続できるように開発が進められた。光学系の基本的な構成はどちらの望遠鏡に接続するときもほとんど変わらず、ファイバーバンドルを含めて 188 cm 望遠鏡接続時に使用した光学系をそのまま使用している。望遠鏡焦点面にファイバーバンドルのファイバー端面が 2 次元に並んだ側（2 次元アレイ側）が設置され、反対の 1 次元アレイ側が分光器に接続されている。分光器の光学系はコリメータレンズ、グリズム、カメラレンズ、CCD で構成されている。望遠鏡の F 比が 188 cm 望遠鏡の 18 からせいめい望遠鏡の 6 に変わることに伴い、188 cm 望遠鏡接続時に望遠鏡焦点面とファイバーバンドルの間に置いていた 1/3 縮小光学系は不要となった。

せいめい望遠鏡への移設に先駆けて CCD と読み出しシステムの更新を行った。更新前は SITE

*1 Kyoto Okayama Optical Low-dispersion Spectrograph with Integral Field Unit

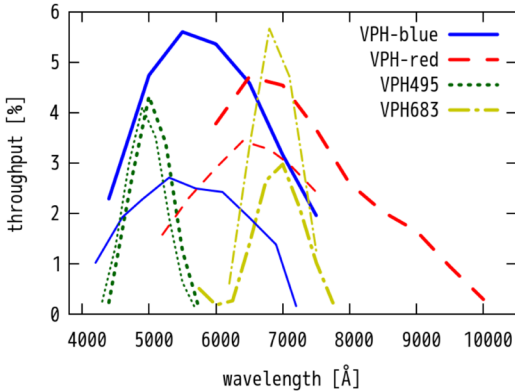


図1 大気、望遠鏡、観測装置を含んだ波長ごとの光学的スループット。線種の違いはグリズムの違いを表している。太線と細線はそれぞれせいめい望遠鏡と岡山188 cm望遠鏡に接続したときのスループットである。

ST-002A と MESSIA 5+MFront の構成であったが、読み出しノイズが約25 electron/pixelと高く、また CCD 読み出しに on chip binning 無しで 70 秒ほど必要であった。そこで国立天文台先端技術センターの中屋秀彦氏らに協力していただき、浜松ホトニクス製の完全空乏型 CCD と MESSIA 6+MFront2 の構成に更新した。加えて、装置筐体の電気グラウンドの取り回しを改善した。これらにより読み出しノイズが 5 electron/pixel 以下に、読み出し時間が約 7 秒に短縮された。さらに波長 8000 Å より長波長で CCD 量子効率が上がり、感度が改善した。既存の KOOLS-IFU のグリズムでは波長 9000 Å より長波長のスペクトルを取得できず、また光学的スループットがあまり高くなかった。そこで既存の低分散グリズムを更新し、スループットを上げつつ波長 10000 Å まで取得できるようにした (図1)。

表1にせいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU の主な観測パラメータをまとめた。どの項目も概ね設計通りの値となっている。

2.2 望遠鏡とのインターフェイス

せいめい望遠鏡では複数の観測装置が搭載予定であり、それらは装置全体を回転させる機構であ

表1 せいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU の観測パラメータ。

ファイバーコア視野	0.93"
ファイバー間距離	1.16"
ファイバー本数	127本
全ファイバー視野	15.1"
波長範囲 ^a	4100–10200 Å
波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) ^a	500–2000
限界等級 (10 σ , 10分積分) ^a	~18 AB mag

^a KOOLS-IFU には4個のグリズムがあり、グリズムによってこれらの値は異なる。波長範囲と波長分解能の値は全グリズムを合わせた範囲である。

る装置ローテータに接続される計画である。しかし、2020年9月の段階ではこの装置ローテータは開発段階であり、観測に使える状態ではなかった。せいめい望遠鏡が完成した時点で観測装置は当面の間 KOOLS-IFU しかない見込みだったため、視野や機能が限定された装置切り替え機構(仮ローテータ)を作り、KOOLS-IFU のファイバーバンドルなどを設置して2019年2月より観測を開始した。

図2が仮ローテータの写真とその概念図である。仮ローテータは3つの直動ステージで構成されている。望遠鏡焦点面のステージには KOOLS-IFU ファイバーバンドルの2次元アレイ側、視野確認用 CMOS カメラ、望遠鏡の分割主鏡の状態を測定するためのシャックハルトマンカメラと位相カメラが搭載されている。焦点面装置ステージと望遠鏡の間にイメージローテータステージがあり、イメージローテータの使用・不使用を切り替えることができる。イメージローテータステージには KOOLS-IFU の CCD 上でスペクトルがどこに来るか確認するための連続光光源と、波長較正のための輝線ランプも搭載されている。イメージローテータを使わない場合、焦点面の位置が望遠鏡から離れる方向に 120 mm ずれるため、ファイバーバンドルと視野確認用カメラは望遠鏡光軸方向に動く焦点位置調整ステージの上に設置されている。視野確認用カメラはオフセットガイドカメ

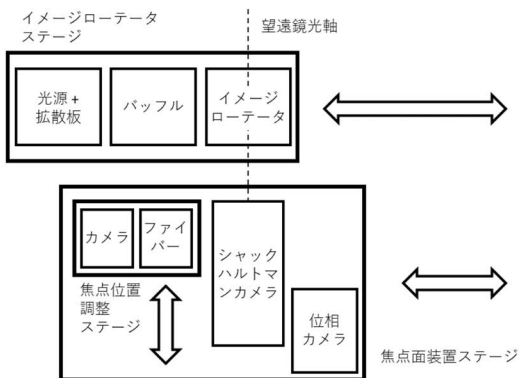
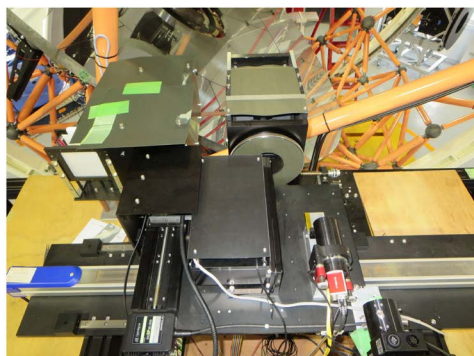


図2 (上図) 上から見た仮ローテータ。(下図) 仮ローテータの概念図。3つの直動ステージを動かし、イメージローテータの有無や装置の切り替えを行う。

ラとしては使えず、望遠鏡はオープントラックで動くことになる。

せいめい望遠鏡に接続したKOOLS-IFUの、一般的な観測の流れは次のようになる。まず望遠鏡の電源投入と初期セットアップを行う。次に、KOOLS-IFUのバイアスフレームや比較光源フレームなどの較正用フレームを取得する。星が見えるほど空が暗くなってきたら、4等星より明るい星を導入し、シャックハルトマンカメラを使って分割鏡の調整を行う。そして、天体を視野確認用カメラの中心付近に導入し、観測装置をKOOLS-IFUに切り替えて積分を行う。天体が視野確認用カメラに映らないほど暗い場合は、天体の近くにある明るい星をカメラの視野中心に導入してから、望遠鏡を天体に向け、装置をKOOLS-IFUに切り替える。

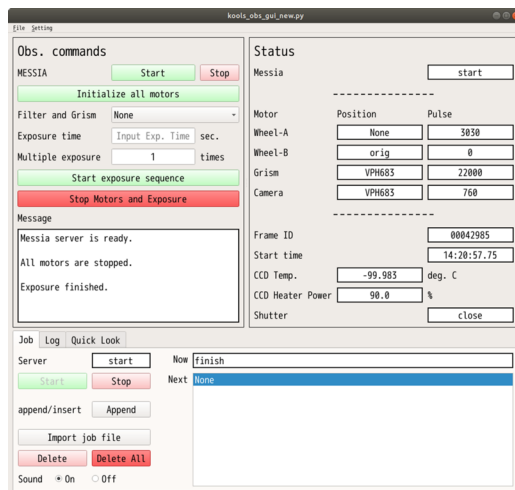


図3 KOOLS-IFU観測GUI。積分コマンドは左上のObs. commands内を記入し、Start exposure sequenceボタンを押すと、GUI右下にジョブリストに登録される。ジョブリスト内のコマンドが順次実行されていく。クイックルック画像とスペクトルはGUI下側のQuick Lookタブ内で見ることができる。

2.3 制御システム

せいめい望遠鏡への移設の際に、KOOLS-IFU制御システムを全面的に更新した。その理由は(1) MESSIA 5から6へ更新したことで、シャッター制御機構を別途用意する必要が生じたこと、(2) KOOLS-IFU内のモーター制御にPCIボードを使っていたが、PCIスロット付きのPCを購入しにくくなってきたこと、(3) 188 cm望遠鏡での観測では使っていたが、せいめい望遠鏡では使わない機能が数多くあること、(4) 将来的に自動観測ができるように、他PCからKOOLS-IFUのステータス要求などに常時答えられるようにすること、などがあった。システム更新後は、MESSIAとの通信はLAN経由で、シャッターやモーターの制御はマイコンを通じてUSB経由で行っており、バックアップPCを準備することが容易になった。

観測者が装置を操作するためのGUIも一新した(図3)。188 cm望遠鏡に接続したKOOLS-IFUは撮像・スリット分光モードがあり、多くの

ものを操作しなくてはならず、操作が難しいところがあった。せいめい望遠鏡では観測モードが面分光しかないため、観測者は使用するグリズムと積分時間を決めて積分開始ボタンを押すと、自動的にグリズムとフィルタとカメラレンズの位置を動かして積分を実行するようになっている。積分などのコマンドはジョブリストに登録され、順次実行される。積分コマンドを100個登録しておけば、あとは何も操作しなくても連続で100フレームのデータが取得できる。KOOLS-IFUはファイバー型面分光装置であり、2次元アレイと1次元アレイのファイバーの対応は複雑なため、CCD上で1列に並んだ127本のスペクトルを見て2次元アレイ上でどこに天体が映っているか判断することは困難である。そこで、CCD読み出しが終わって約20秒後、簡易的に波長較正や背景光引きをしたクイックルック画像とスペクトルがGUIに表示されるようにした。

3. まとめと今後の展望

我々は、岡山188 cm望遠鏡で観測を行ったファイバー型面分光装置KOOLS-IFUをせいめい望遠鏡へ移設し、2019年2月から観測を行っている。光学系は188 cm時代とほぼ変わらないが、制御システムや観測用GUIは一新されている。観測開始から1年半ほど経つが、大きなトラブルは無く安定して運用できている。

2020年9月まではファイバーバンドルが仮ローテータに設置されていたが、2020年10月から装置ローテータが本格的に稼働し、こちらを使って観測を行うことになった。装置ローテータ稼働に合わせて、KOOLS-IFUも新しいファイバーバンドルに交換した。旧ファイバーバンドルでは2次元アレイ側でファイバー間に隙間があり、点源に対して平均約40%の光損失があった。また、旧ファイバーバンドルは背景光用ファイバーが無く、広がった天体の観測の際には背景光をきれいに引くには、背景光用のフレームを別途取得する

ことが必要だった。新ファイバーバンドルでは2次元ファイバーアレイの前にマイクロレンズアレイを付け、さらに約3.8分角離れた視野を見る背景光用ファイバーを備えており、これらの欠点を解消できる見込みである。

他にも改善したい項目はいくつかある。分光器内のCCD直前にあるカメラレンズの更新、GUIを含む制御系の更新、観測データパイプラインの整備と高精度化などを検討している。これからも少しずつ改善を進めていくので、ぜひ多くの方にKOOLS-IFUを使ってみていただきたいと考えている。

謝辞

KOOLS-IFUの開発にあたって、国立天文台ハワイ観測所岡山分室（旧岡山天体物理観測所を含む）、京都大学理学研究科附属天文台と宇宙物理学教室の多くのスタッフから多くの協力を受けている。2次元マイクロレンズアレイ開発は理化学研究所光量子工学研究センターとの共同で行っている。本研究は国立天文台共同開発研究、科学研究費助成事業、光赤外線天文学大学間連携事業の助成を受けた。

参考文献

- [1] Matsubayashi, K., et al., 2019, PASJ, 71, 102
- [2] 松林和也, 太田耕司, 2017, 天文月報, 110, 37

Initial Status of KOOLS-IFU Connected with Seimei Telescope

Kazuya MATSUBAYASHI

Okayama Observatory, Astronomical Observatory, Graduate School of Science, Kyoto University; 3037-5, Honjo, Kamogata-cho, Asakuchi, Okayama 719-0232, Japan

Abstract: We moved an optical-fiber integral field spectrograph KOOLS-IFU from OAO 188 cm telescope to Seimei Telescope. Most of the optical components are the same between these telescopes, whereas its control system was fully refurbished. KOOLS-IFU is available in open-use time and Kyoto University time from February 2019.