

平成21年6月1日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：平成18年度～平成20年度
課題番号：18340054
研究課題名（和文） 8メートルクラス望遠鏡における可視光補償光学「面分光」の実現
研究課題名（英文） Integral Field Spectrograph with Optical Adaptive Optics at an 8-meter class telescope
研究代表者
菅井 肇（SUGAI HAJIME）
京都大学・理学研究科・助教
研究者番号：50291422

研究成果の概要：

大型望遠鏡において可視光域で初めての、補償光学を用いた装置での観測準備が整った。すばる望遠鏡の新補償光学システムへの私達の特徴ある装置の接続により、初めての装置というだけでなく、一足飛びに、複雑なデータの取得までもが可能となった。今後、本格的な試験観測が行われ、それに続いて、共同利用観測時間を通して天文学のコミュニティ全体に対して貢献することが期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
平成19年度	900,000	270,000	1,170,000
平成20年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	6,700,000	2,010,000	8,710,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：面分光、補償光学、可視光、すばる望遠鏡、高空間分解能

1. 研究開始当初の背景

(1) 将来の可視光回折限界補償光学「面分光」時代を見据えた、すばる望遠鏡における可視補償光学「面分光」の立ち上げ

10年後程度に大望遠鏡における可視光回折限界補償光学の時代がおとずれると予想されている。それに適合した究極の面分光を実現することを最終的な目標においている。そのための装置を搭載する望遠鏡として、口径8.2メートルのすばる望遠鏡、または、そ

の時代に立ち上がっている可能性のある口径30メートル以上の望遠鏡を想定している。この最終目標までの重要なステップとして、本研究の目的は、すばる望遠鏡においてここ1～2年で実現されるレベルの可視光補償光学に適合した、面分光装置を立ち上げることにあった。最終目標への大切な段階をクリアするとともに、宇宙物理学のさまざまな分野において、ブレークスルーとなる高空間分解能の面分光データを提示することが狙いである。私のグループで開発し既にすばる望遠鏡での観測にも成功している面分光装置に

インターフェイスを加えることにより、比較的短期間で実現できるという点も重要であった。

(2) 可視光でも威力を発揮するすばる望遠鏡新補償光学システム

補償光学とは、大気の流れを測定し、可変形鏡を用いて、乱れの変化よりも早く光の波面に補正を加えることにより、シャープな画像を得る技術である。究極的には、望遠鏡の口径で決まる回折限界(角分解能 \sim 波長/口径(ラジアン))までの分解能が到達可能だ。口径が大きいほど、かつ波長が短いほど高い分解能が可能となり魅力的である。しかし、実際には、波長が短いほど大気の流れの影響が大きくそれだけ可変形鏡をより細かく分割してより速く動かすことが必要となり、技術的に難しくなる。日本のすばる望遠鏡をはじめとし、アメリカ合衆国のケック望遠鏡、ヨーロッパ南天文台の Very Large Telescope (VLT) といった 8~10 メートル望遠鏡において、補償光学は近赤外線に限られている。すばる望遠鏡の補償光学グループは、従来の補償光学システムでの経験を活かし、新しいシステムを完成させる段階にあった。この新しいシステムの主なターゲットはやはり近赤外線であるものの、可変形鏡を(現在の 36 分割のものから) 188 分割に増やし、また波面調査のための参照となる“明るい人工”星”をつくるためにレーザー光を空に向けてうつなどの大きな改良が加えられるので、可視光領域にも有効となることが予想されていた。0.02 秒角というような回折限界まではまだ及ばないが、通常の分解能 0.5-0.6 秒角より充分分解能の良い、大望遠鏡における初めての可視光補償光学が可能となるのである。

(3) すばる望遠鏡の高い空間分解能に重点をおいた京都三次元分光器第 2 号機

一方、英国ダーラムや独国ゲーピングでの面分光研究会(私は、アジアで唯一の面分光グループの代表として発表を行った。前者では科学組織委員も依頼され務めた)でも示されたように、面分光の有効性が世界的に認識されつつある。従来のスリット分光という手法では空間 1 次元のスペクトルしか得られなかったが、いろいろな工夫を施すことにより、(視野はある程度限られるけれども)面の各空間要素のスペクトルを一度に取得できるようにしたものである。すばる望遠鏡における私たち京大グループの開発した京都三次元面分光器第 2 号機(以下 3DII と略。可視光対応)は、37 個 \times 37 個の小レンズの集合体であるレンズレットアレイで空間を分割しばらけさせることによって面分光を可

能にしている。他にも、同じ可視光では、英国等のジェミニ望遠鏡と VLT が、ファイバを用いたタイプの面分光装置を私たちとほぼ同時期に立ち上げ、それぞれが特徴を活かした大きな成果をぞくぞくと示しつつある。中でも、3DII による成果は、細かいサンプリングを用いてすばる望遠鏡の高空間分解能という特徴を活かしたものだ。例えば、NGC 1052 という銀河の中心に存在する超巨大ブラックホール付近から噴き出す銀河風の形態・速度場を 0.4 秒角という空間分解能でとらえ、その起源に迫った。波長 400-500 ナノメートルという短波長の面分光で最高の分解能のものであり、しかもそれが 1 時間という長い露出で得られたのは、望遠鏡の性能と装置の安定性が結びついた結果である。すばる望遠鏡は他の大望遠鏡に比べ、架台が強固である、良い像が得られるようにドームの形や風の制御が工夫されているなど、安定性と高空間分解能という利点が特徴的である。

2. 研究の目的

1 でも述べたように、最終的な目的は、可視光回折限界補償光学の時代に、それに適合した究極の面分光を実現することである。この 10 年後に狙いを定めながら、その重要なステップとして、本研究の目的を、すばる望遠鏡における 188 素子新補償光学システムに適合した面分光装置を立ち上げることにいった。

3. 研究の方法

3DII をすばる新補償光学システム(A0188)に接続するために、(1)光学的インターフェイスと(2)機械的インターフェイスの設計/製作を行う。(1)については、A0188 に送る波長域と 3DII で用いる波長域を鋭く分けるためのダイクロイック鏡が必要である。(2)については、3DII を設置/退避しやすくするための回転機構を含めた。

4. 研究成果

3(1)の光学的インターフェイスについては、ダイクロイック鏡の表裏を完全に平行にした場合に 3DII へ透過してくる光束に対して非点収差が生じる問題については、微小角度平行からずらした設計にすることにより解決した。(2)については、ナスミス焦点用アダプタを製作した。具体的には、①分光器のアダプタへの設置、②アダプタ回転機構を用いた分光器姿勢の切り替え、③アダプタの移動、④アダプタ固定点の設置、などの作業・試験を行った。③は、普段分光器を使用しているカセグレン焦点階とナスミス焦点

階との間の移動のことであり、ナスミス焦点階のクレーンを使用することにより、2つの階の間にある比較的狭い穴を通して移動する手順を確立することができた(図1)。^④は、アダプタを精度・再現性良く置くために床に設置するための固定点のことで、こられるの製作も行い、またその位置決めもA0188の光軸調整用レーザを用いながら注意深く行った。なお、3DII専用の固定点設置穴をナスミス焦点床にあけることについては、ハワイ観測所によるレビュー委員会が設けられ、正式な形でも認められた。A0188グループは、複数のダイクロイック鏡を遠隔操作で精度良く入れ替えることのできるスライド機構を作成しており、これにより3DIIはA0188と有機的に結合される。



図1. ナスミス焦点用アダプタに分光器(黒い構造物上方の塊)を設置した後、ナスミス階クレーンを用いて、カセグレン階からナスミス階へとつりあげているところ。写真上部の黄色いつりあげ治具は国立天文台ハワイ観測所に設計・製作していただいた。他の装置の治具としても使用可能である。

これらの作業と並行して、3DIIの維持とこの装置を用いた共同観測・論文執筆や研究成果の公開にも努めた。例えば、重力レンズ天体を面分光観測した結果を論文として出版した(図2)。私たちと天体(超巨大ブラックホールに起因する活動性を示すクェーサなど)との間に別の天体(銀河など)が存在すると、間にある天体の重力の影響を受けて、奥にある天体が多重像となって観測される現象だ。この現象を利用すると、間にある天体の見えない質量を含めた質量分布の議論が可能となり、一方では、奥にある天体の極微の構造が引き伸ばされて空間分解できるようになる。この内容を一般の方々にもわかりやすい形の文章にし、説明のイラスト入りでウェブページにも公開した(「邪魔者は誰だ?!」
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~sugai/gravlens.html>)。

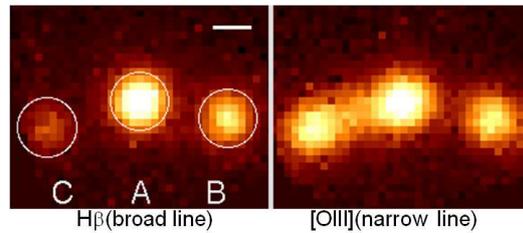


図2. 銀河(この図では見えない)によって、1個のクェーサが4重像になって見えている。このうちの、明るい3つの像を面分光観測した。[左側]:水素からの光。クェーサ像Cが異様に暗い。白い棒線が天空上の0.5秒角(1度角の7200分の1の大きさ)を示す。[右側]:酸素からの光。クェーサ像Cも予想通りの明るさ。

また、2009年5月に京都大学で開催された「すばる-ジェミニ合同国際サイエンスコンファレンス」について一言述べておきたい(図3。年度が開けているため、5には含めなかった)。すばる望遠鏡とジェミニ望遠鏡とともにハワイ島マウナケアにある大望遠鏡であり、最近、観測時間交換などを通し協力関係が築かれつつある。互いを良く理解し、国際協力をさらに推し進める目的で開かれたコンファレンスだ。これの実行委員としてコンファレンスを成功させた。両コミュニティからそれぞれ100人、合計200人ほどの参加があり、それぞれの望遠鏡・装置での特徴ある成果が報告された。3DII関連でも、私の口頭発表をはじめ、他に3つのポスター発表をグループとして行った。3DIIはすばる望遠鏡のPI装置として共同利用に貢献していることを広く宣伝し、また、本研究についても認識してもらった。実際、さっそく共同研究の問い合わせがジェミニ望遠鏡側の参加者からもいただいている。

今回、A0188との接続に成功した3DIIは、今後、共同利用時間を通して自分たちの成果はもちろんのこと、天文学コミュニティ全体への貢献が期待される。



図 3. 「すばる-ジェミニ合同国際サイエンスコンファレンス」のポスター。
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/kyoto2009/>より。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

1. Chiba, Masashi; Minezaki, Takeo; Inoue, Kaiki T.; Kashikawa, Nobunari; Kataza, Hirokazu; Sugai, Hajime

“Dark Matter Substructure in Lensing Galaxies”

the proceedings of “Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution”, 1st Subaru International Conference、1 巻、2008 年、98 ページ、査読なし

2. Goto, Tomotsugu; Kawai, Atsushi; Shimono, Atsushi; Sugai, Hajime; Yagi, Masafumi; Hattori, Takashi

“Integrated field spectroscopy of E+A (post-starburst) galaxies with the Kyoto3DII”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、386 巻、2008 年、1355-1365 ページ、査読あり

3. Sugai, H. 他

“Integral Field Spectroscopy of the Quadruply Lensed Quasar 1RXS J1131-1231: New Light on Lens Substructures “
 The Astrophysical Journal、660 巻、2007 年、1016-1022 ページ、査読あり

4. Sugai, H. 他

“Nearby Galaxies Observed with the Kyoto Tridimensional Spectrograph II”

Science Perspectives for 3D Spectroscopy, Eso Astrophysics Symposia European Southern Observatory、2007 年、93-97 ページ、査読なし

5. Sugai, H. 他

“The Kyoto tridimensional spectrograph II”

New Astronomy Reviews、50 巻・4-5 号、2006 年、358-361 ページ、査読あり

[学会発表] (計 2 件)

1. 松林 和也、菅井 肇他

“ファブリ・ペロ干渉計を用いた近傍星形成銀河 NGC253 の銀河風の観測”

日本天文学会、2008 年 9 月 12 日、岡山理科大学

2. 菅井 肇他

“重力レンズ: 面分光で探るレンズ銀河の質量分布とクェーサの空間構造”

日本天文学会、2007 年 9 月 26 日、岐阜大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~sugai/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅井 肇 (SUGAI HAJIME)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号: 5 0 2 9 1 4 2 2

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし