

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540240

研究課題名(和文) 光ファイバー導入方式望遠鏡高分散分光器システムの実験室系での評価

研究課題名(英文) Laboratory Inspection of Fiber-link System between Optical Telescope and High Resolution Spectrograph

研究代表者

神戸 栄治 (KANBE EIJI)

国立天文台・岡山天体物理観測所・研究員

研究者番号：80435510

研究成果の概要(和文):岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES を結ぶファイバーリンクの評価をするために、簡易高分散分光器などを開発した。これらを用いて、高効率モードのスループットの最大化を図るとともに、この光学系ではファイバーモードノイズが天体スペクトルに与える影響が限定的であることを確認した。これらの研究は、ファイバーリンクの速やかな完成・公開に結びついた。

研究成果の概要(英文): We have developed a high-resolution test spectrograph and other inspection tools to examine fiber-link systems which will connect Okayama 188-cm telescope and the high dispersion spectrograph, HIDES. With these instruments, we optimized throughput of a high-efficiency fiber-link mode as well as confirmed that effect of fiber modal noise on a spectrum was limited for the mode. Our research considerably contributes to the completion and open use of the fiber-link system.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野:恒星天文学

科研費の分科・細目:天文学・天文学

キーワード:光赤外天文学、高分散分光器、光ファイバー、視線速度精密測定、系外惑星、恒星振動、恒星天文学

1. 研究開始当初の背景

(1) 国立天文台岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡と高分散分光器(HIDES)は、数多くの天体を観測するサーベイ的な研究や天体の時間変動現象を調べる研究などのために、共同利用観測装置として活躍していた。我々のグループも、同装置用にコードセル装置を開発して、①太陽のような星とは異なる、巨星(G型)の周りの惑星探すというユニークなプロジェクトを実施し世界で始めて散開星団中の星の周りに惑星を発見する、②太陽型星プロキオンの極めて微小な振動を明確に捉える、などの成果を挙げている。

た。

(2) しかしながら、HIDES は完成から8年が経過しており、その競争力を維持し続けるためには、改良が不可欠であった。そこで、これまでよりスループットを約1等級(2.5倍)上げることおよび当時 6 m/s であった視線速度測定精度をさらに向上させるための指針を得ることを目標として、188cm 望遠鏡と HIDES とを光ファイバーで結ぶ計画を 2006 年度から進めていた。

(3) 光ファイバー導入方式の高分散分光器は、今後しばらくは主流な観測方式になると考えられていたが、一方で、天体の光をファイバーに通すことによって生じるモードノイズの影響により、取得されたスペクトルの SN 比に頭打ちがみられるなどの問題点も指摘されていた。また、高いスループットを実現するためには光学系などを入念に検査する必要があった。しかし、HIDES は利用率が高い共同利用装置であったため、別に簡易分光器などの実験設備を用意して、これらの調査・研究を行う必要があった。

2. 研究の目的

(1) 今回の研究を行うために重要な、簡易分光器の性能は、HIDES と同じスリット幅に対して同程度の波長分解能を持つことである。従って、この仕様は満たしつつ、他の性能は大きく妥協して、なるべくコストのかからない（通常の十分の一程度で）簡易分光器をまず開発する。

(2) ファイバーリンクの光学系の違いによって、ファイバーモードノイズが天体のスペクトルの SN 比や視線速度測定精度に与える影響を調べる。特に、ファイバーの入射面を像面にした場合と瞳面にした場合の違いや、導入予定のイメージスライサーによる影響について調べる。

(3) ファイバーモードノイズの影響が大きい場合には、その影響を軽減する方法を見出す。ファイバーを振る方法（ファイバーアジテータ）、曲げる方法、伸ばす方法、などを試み、我々の観測システムに最適な方法を探す。

3. 研究の方法

(1) 簡易分光器の開発にあたっては、まず、既存の光学定盤、エシエルグレーティング、CCD 検出器などを利用することにする。また、同時可能観測領域を数 nm に限ることでコリメータやカメラを球面鏡としたり、エシエルスペクトルのオーダー中心付近の波長域のみを観測することとしてクロスディスペルザーの代わりにバンドパスフィルターを使用したりして、なるべく製作コストを抑えた設計を考える。分光器の製作後には、基本性能の評価を行う。

(2) 上記分光器を用いて人工光源（ハロゲン

ランプ、ホロカソードランプ）のスペクトルを取得し、ファイバーモードノイズの影響を調べたり、その影響への対策方法を見出したりする。

(3) ファイバーリンク光学系の検査・調整を行うために、ファイバーの入射端面の観察光学系などを導入する。また、出射光の F 値などを調べる。

4. 研究成果

(1) HIDES と同程度の波長分解能を持ちつつ、同時観測可能波長を数 nm とした簡易分光器を開発した。

図 1 はその光学レイアウト、図 2 は 550nm 付近でのスポットダイアグラム、図 3 は開発された分光器の写真である。この分光器では、カメラの焦点距離の長さで波長分解能を稼いでおり、270 μm のスリット幅に対して $R \sim 48,000$ の波長分解能（HIDES の場合は $R \sim 52,000$ ）を持っている。また、スリット幅を 60 μm まで細めれば、 $R \sim 200,000$ 近くまで達成できる。一方、バンドパスフィルターによってエシエルグレーティングのオーダーの中心付近を切り出しているため、現在観測できるのは、488 nm, 580 nm, 717 nm, 870 nm 付近のみである。

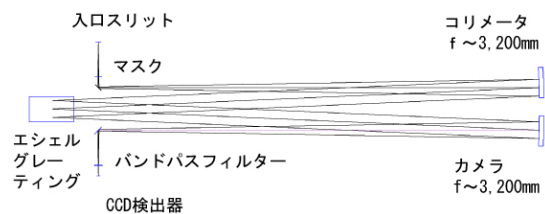


図1 簡易分光器のレイアウト

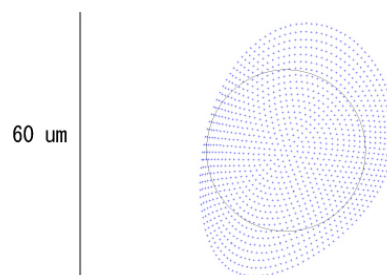


図2 553nm付近でのスポットダイアグラム

また、簡易分光器で取得したスペクトルには10%程度のフリッジが現れることがわかったが、いまのところその原因は特定できていない。このフリッジの波長スケールは大きい

ため、今回行ったファイバー光学系の試験では深刻な問題とはなっていないが、より高いSN比を目指した実験を行うためには、今後原因の特定・対策をする必要がある。

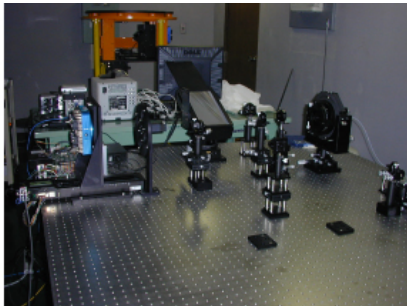


図3 光学定盤上に組み上げられた簡易分光器

(2) 上記分光器を利用して、ファイバーのモードルノイズの影響を調べ、高効率ファイバーリンク経路（像面モード）では、SN~2,000程度まではその影響が小さいだろうことを評価した。

図4は今回主にテストした高効率経路の概念図である。この光学系では、ファイバー入射部でマイクロレンズを用いて像瞳変換を行ってファイバー端面に瞳像を作り、出射部では逆の変換を行い、さらにイメージスライサーで像を3つに分割、再配列して分光器に入射している。図5はこの光学系にHe-Neレーザー光を入射させて取得したスペクトルである。1つの輝線が3つに分かれているのは、イメージスライサーで像を分割し再配列しているからである。図からわかるように、このような単色光の場合、輝線内にファイバーモードルノイズによるパターンがはっきりと現れている。

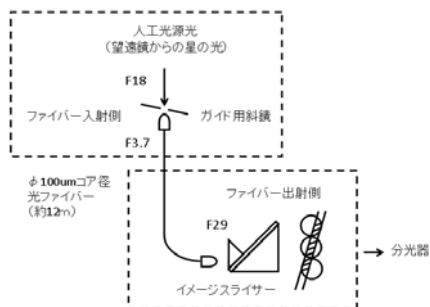


図4 今回主にテストした高効率経路

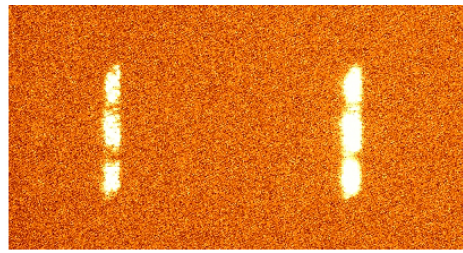


図5 高効率経路を通し、簡易分光器で取得したHe-Neレーザーのスペクトル

波長(nm)	SN ₀	SN _p	SN _u
487	1,970	2,490	1,050
580	1,400	2,030	1,930
717	1,800	2,710	2,400
870	540	2,200	550

表1 スペクトルから見積もった原因不明のノイズ

表1は、このファイバーモードルノイズがハロゲン光源によるフラットスペクトルのSN比にどのような影響を与えるかを、波長ごとに調べたものである。第2列目(SN₀)は取得されたスペクトルのSN比、第3列目(SN_p)は検出された光子数から見積もった本来あるべきSN比、第4列目(SN_u)はこの2つの量から見積もった原因不明のノイズのレベルである。これらのSN比では値が大きい方がノイズが小さいことを表している。通常ファイバーモードルノイズの影響は長波長側で顕著に現れるため、487nmでSN_u値が低くなっているのは、フリッジの影響が除去できていなかったためであると考えられる。この実験から、高効率経路は通常観測される波長750nm程度未満ではSN~2,000程度までモードルノイズの影響は小さいことがわかった。図6は、この高効率経路を188cm望遠鏡に取り付けて、HIDES自体でモードルノイズの影響を評価したものであるが、簡易分光器と同様の結果が得られている(HIDESの場合波長が700nmを超えるとCCD検出器によるフリッジが強く現れ、高いSN比が達成できないことに注意)。

また、視線速度測定精度については、1m/sの精度であればSN~300程度のレベルの系統的な誤差がなければ十分であり、ここ1年以上にわたるファイバーリンクを使用した観測からも、少なくとも数m/sの精度で観測が可能であることが確かめられている。

なお、現在、より高いSNを達成することを目指して、ファイバーアジテータなどを製作して実験を進行中である。

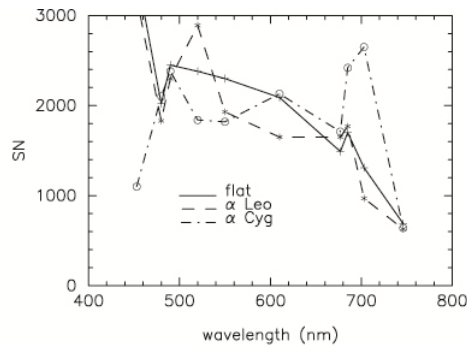


図6 実際の観測から求めたモーダルノイズによる影響の程度。α Cygで450nm付近の値が低いのは光量が足りないことによる

(3) ファイバリンク光学系を入念に検査し、スループットの向上を図った。

高効率経路を始めて望遠鏡につけたときに、スループットが期待される値の数分の一程度しかないとわかったため、実験室にこの光学系を検査する装置を立ちあげて、入念な検査を行った。図7は、高効率経路の出射側から逆に光を入れて、入射側のマイクロレンズから出てくる光を観察した例であるが、明らかに偏芯していることがわかる。いろいろな検査の結果、これはマイクロレンズ本体の偏芯が原因であることがわかり、マイクロレンズの交換を行った。また、マイクロレンズと光ファイバーの間にはマッチングリキッドを充填しているが、これがマイクロレンズ前面に染み出して効率の劣化を起こしていることがわかったので、ホルダーの改良を行った。

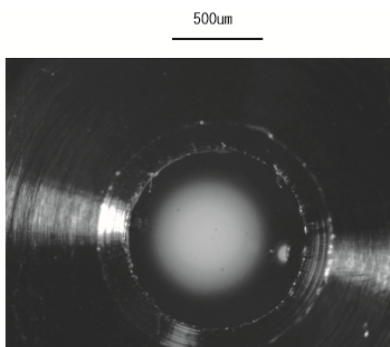


図7 高効率経路でファイバー出射部から光を入れて入射部をチェックした例

図8は実際に188cm望遠鏡でのスループットを測定して、従来のスリット観測(点線)と比較した結果であるが、このような改良を行った結果、ピーク値は倍以上(平均的には約1等級)効率が改善した。

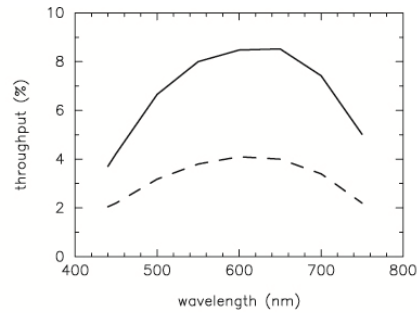


図8 試験観測で得られたスループットの最高値。実線はファイバーでの観測によるもので破線はこれまでのスリット観測によるもの

(4) 今回の研究で、高効率経路(像面モード)については一通りの性能評価を行うことができ、2010前期から試験観測を繰り返し、2011年前期からは共同利用装置として公開した。

一方で、光学系についての評価はまだ十分とはいえない。特に高効率経路では、青波長域でスループットが相対的に低いことの原因究明やSNが2,000を超える場合のファイバーモーダルノイズへの対策などが課題である。そこで、現在、高効率経路のデッドコピーを製作して、その評価を行いつつある。また、現在、よりファイバーモーダルノイズの影響が深刻であると考えられる、高分解能経路(R~100,000)を開発中であり、この評価も簡易分光器などを用いて行う予定である。

最後に、これらの研究の結果を、将来の新高分散分光器への開発につなげていきたいと考えている。

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1件)

- ① Moritani, Y., Nogami, D., Okazaki, A. T., Imada, A., Kambe, E., Honda, S., Hashimoto, O., Ichikawa, K., Drastic Spectroscopic Variability of the Be/X-ray Binary A0535+262/V725 Tau during and after the 2009 Giant Outburst, Publication of Astronomical Society of Japan, 査読有, in press

〔学会発表〕 (計3件)

- ① 神戸栄治、吉田道利、泉浦秀行他、「岡山188cm望遠鏡と高分散分光器HIDESの光ファイバリンク化計画」、日本天文学会2011年春季年会予稿集、V76a、平成23年2月20日
- ② 神戸栄治、吉田道利、泉浦秀行他、「岡

山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES の
光ファイバーリンク化計画 II. エンジニアリングファーストライトと今後の予定」、日本天文学会 2010 年春季年会、平成 22 年 3 月 27 日、広島大学

- ③ 神戸栄治、吉田道利、泉浦秀行他、「岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES の光ファイバーリンク化計画」、日本天文学会 2009 年秋季年会、平成 21 年 9 月 14 日、山口大学

[その他]

共同利用観測者のために公開しているホームページ

<http://www.oao.nao.ac.jp/~kambe/hidesf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神戸 栄治 (KANBE EIJI)

国立天文台・岡山天体物理観測所・研究員
研究者番号：80435510

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

吉田 道利 (YOSHIDA MICHITOSHI)

広島大学・宇宙科学センター・教授

研究者番号：90270446

泉浦 秀行 (IZUMIURA HIDEYUKI)

国立天文台・岡山天体物理観測所・助教
研究者番号：00211730

