

## 京大岡山 3.8m 望遠鏡用可視光高分散分光器の開発

高本 昌弥 (京都大学大学院 理学研究科)

### Abstract

これまでケプラー衛星の測光観測によって、スーパーフレアを起こす太陽型星が発見されてきた。今回の研究では光度変化だけでなく、どのような条件でスーパーフレアが起こるのか、またその太陽型星がどのような物理的特性を持つのかを解明する。これにより太陽でスーパーフレアが起こるのか、またどのような前兆現象があるのかという謎に迫る。そのためには精密な分光観測をする必要があり、我々は広い波長帯を高分散で一度に取得できて、そして2天体を同時に観測することで観測精度を高めた可視光高分散分光器の開発を予定している。

これまでの高分散分光器は、各次数のスペクトルの重なりを分離する役割を担う部分にも回折格子を使用していた。回折格子は原理的に観測波長の半分の波長を持つ光の分離ができないため、広い波長帯を同時に観測するにはダイクロミックミラーで波長域を2つに分ける必要がある、などの問題がある。一方、その役割の部分にプリズムを使用する高分散分光器もあるが、その場合一般的に十分な波長分散を得るためにプリズムの頂角が大きくなり、個数が増加する。

それらの問題を踏まえて今回の分光器はファイバーで離散スリットを作っている。そうすることで各スリットから得られるデータの重なりをずらすのに必要な波長分散を抑えられ、スペクトルの重なりを分離する部分に頂角の小さなプリズムを使うことができる。プリズムは回折格子に比べて波長分散が小さいのだが、回折格子の場合、観測可能な波長範囲が最小波長の1.5倍から最大でも2倍までであるのに対して、プリズムの場合はその範囲に制限がなくなる。よってこの離散スリットとプリズムを組み合わせることで十分な波長分散、かつ広い波長範囲を得ることができる。

ただ問題として検出器上に繰り返し現れる広い波長範囲で軸上色収差をなくす必要がある。それに対しては反射光学系を使用し、さらに自由曲面を用いることでその収差の補正を可能にする。

本発表ではこの分光器の設計について紹介する。

## 1 イントロダクション

現在京都大学を中心として、岡山に口径3.8mの光赤外線望遠鏡の建設を進めている。この望遠鏡の観測時間のうち、京都大学が使う予定の時間枠の中では、(1)ガンマ線バースト、重力波天体、超新星、激変星などの突発天体・現象の即時対応観測、(2)直接撮像による系外惑星探査、(3)スーパーフレア星の長期間の高分散分光モニター観測をサイエンスの柱としている。その中でも、スーパーフレア星の研究について簡単に紹介する。

黒点周辺に溜まった磁気エネルギーが突発的に解放されることで増光する太陽フレアという現象が存在する(図1)。そしてスーパーフレアとは、最大級の太陽フレアの10~1万倍のエネルギーをもつものであ

る(図2)。そのスーパーフレアを起こすスーパーフレア星の長期変動や物理的特徴を調べることによって、我々は最終的に太陽でもスーパーフレアは起こるのかという疑問に迫る。これまでのスーパーフレア星の観測は、ケプラー衛星の測光観測によって太陽型星におけるスーパーフレアの見、自転周期の推測等がなされ、またすばる望遠鏡のHDSによる分光観測では、Ca線などの吸収線からスーパーフレアの発生に必要とされる巨大黒点の存在の確認、吸収線の広がりから自転速度の情報を得ることなどがなされてきた。しかしすばる望遠鏡の分光観測では、スーパーフレア星の長期変動を調べるための十分な観測時間が得られていなかった。そこで京大岡山3.8m望遠鏡で使える可視光高分散分光器を開発してそのよ

うな観測を行う計画が立てられた。

その開発している可視光高分散分光器の要求仕様は、波長分解能 ( $\lambda/\Delta\lambda$ ) が 50,000 であり、波長範囲は可視光全域を取れるようにしている。そしてこの分光器はその広い波長範囲を得る点と、検出器上でのボケやゆがみである収差を補正する点において、一般的な高分散分光器で用いられている方法とは異なる方法を用いている。

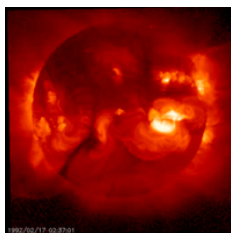


図 1: ようこう衛星で見た X 線での太陽

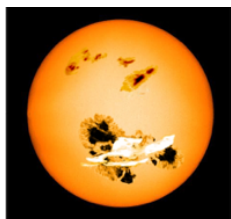


図 2: 可視光で見たスーパーフレア星想像図

## 2 一般的な高分散分光器

本研究の分光器のような広い波長範囲を得るために、また様々な収差を補正するために、一般的な高分散分光器ではどのような設計がなされているのかを紹介する。

まず分光器の中身について光の進む順にそって簡単に説明する。まず望遠鏡から来た光はスリットを通り、はじめにコリメータで反射され平行光となる。その後、その平行光は回折格子で分散されるのだが、このとき分散された光は各次数のスペクトルが重なった状態にある。よって回折格子で分散された後の部分でこの重なりを分離する必要があり、またそこで

は、近接した各スリットから得られる検出器上でのデータどうしの重なりをずらすこと、広い波長範囲を得られるようにすること、そして収差の補正を行う必要もある。

ではこの回折格子で分散された後の部分について 2 つほど例をあげて分光器の中身についてさらに説明する。

まず 1 つ目の例としてダイクロイックミラーと回折格子を用いた場合、先ほどの回折格子で分散され各次数のスペクトルが重なった状態にある光はダイクロイックミラーによって短波長側と長波長側に分けられる。その後、先の回折格子で光が分散する方向に対して直角方向に分散させるもうひとつの回折格子によってその重なりは分離され、そして検出器に集められていく。ダイクロイックミラーで光を 2 つに分けた理由は、回折格子が最小波長の 2 倍までしか観測可能な波長範囲を取れないからである。短波長側、長波長側に分けてそれぞれで重なりを分離し検出することで広い波長範囲を得ている。

次に 2 つ目の例はプリズムを用いた場合であるが、このとき回折格子で分散された光は頂角の大きな複数のプリズムを通過することによってスペクトルの重なりが分離され、検出器上に集められていく。1 つ目の例のように広い波長範囲を得るためにダイクロイックミラーで光を分けなかったのは、プリズムは観測可能な波長範囲に制限がないからである。ではなぜ頂角の大きなプリズムを複数用いる必要があるのかというと、近接した隣の次数のスペクトルが完全に分離できない恐れがあるからだ。プリズムは回折格子に比べて波長分散が小さいため、その重なりを分離するには頂角の大きな複数のプリズムが必要になってくるのである。

以上のように 2 つ例を示したが、両方ともスペクトルの重なりを分離した後は、一般的にレンズを使った屈折光学系によって収差を補正し検出器上に結像している。ただこの場合プリズムを使うなどして一度に広い波長範囲を得ようとすると、色収差が問題になってくる。

### 3 本研究の高分散分光器

では本研究の分光器はどのようにして、広い波長範囲を取得し、スペクトルの重なり（波長的重なり）と検出器上のデータどうしの重なり（空間的重なり）をずらし、収差を補正しているのかについて説明していく。

まず広い波長範囲の取得は、ファイバーで離散スリットを作りサイズの小さなプリズムを使用することで可能にしている。Section2 の 2 つ目の例で書いたように、観測可能な波長範囲に制限のないプリズムを使うことによって、広い波長範囲を得ることができる。ではなぜ一般的な高分散分光器で考えられていたプリズムにおける問題が解決されたのかというと、ファイバーで作った離散スリットを用いたからである（図3のファイバーバンドルとファイバースリット）。これによって各スリットが近接しないように並べることで検出器上でのデータどうしの重なりをずらすための波長分散が抑えられ、波長分散の小さいプリズムでも頂角の小さなものでその重なりをずらすことが可能になる。

次に収差の補正に関してなのだが、本研究の分光器は一般的なものと違って繰り返し広い波長範囲が現れるようになっている（図3の検出器上）。この場合、屈折光学系で収差、特に軸上色収差を補正するのは難しいのではないかと考えられる。軸上色収差とは、屈折率の違いが原因で起こる波長ごとの焦点位置のずれである。この軸上色収差を発生させないために本研究では、自由曲面を用いた反射光学系で構成している（図4）。反射の部分では軸上色収差は発生せず、その反射光学系では自由曲面を用いることで少ない反射面で軸上色収差以外の収差の補正を行っている。そして屈折が起こる検出器前に入射窓で発生した軸上色収差をプリズムの片面をほんの少し凸面にすることで補正している。そのようにして全体の収差を補正している。

以上のような設計によって、広い波長範囲の取得、波長的・空間的重なりのずらし、収差の補正を可能にしている。また、現在までの検討をベースに更に波長分解能を上げる事を検討予定である。

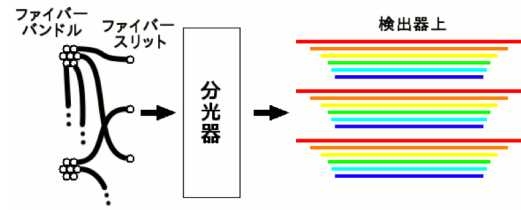


図 3: ファイバーによる離散スリットと検出器上のデータのイメージ図

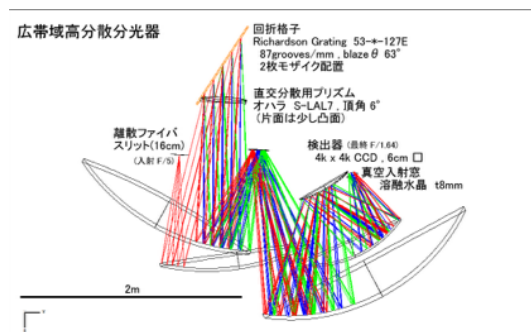


図 4: 今回の分光器の図

## 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

- Maehara et al. 2012, Nature, 475, 478
- Nogami et al. 2014, PASJ, 66, L4
- Notsu S et al. 2013, PASJ, 65, 112
- Notsu Y et al. 2013, ApJ, 771, 127
- Notsu Y et al. 2015a, PASJ, 67, 32 (Paper I)
- Notsu Y et al. 2015b, PASJ, 67, 33 (Paper II)
- Shibata et al. 2013, PASJ, 65, 49
- Shibayama et al. 2013, ApJS, 209, 5