

# 2017 北米皆既日食における自作低分散分光器によるコロナの観測

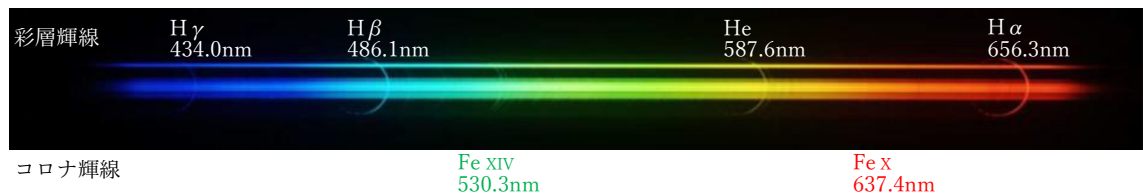
埼玉県立浦和西高等学校 坂江隆志

## はじめに

皆既日食の観測は 2009 年奄美大島以来の 2 回目である。と言っても奄美では完全に曇られ、日食を見ることはできなかったのが今回の観測は晴れば初皆既ということになる。普段は自作分光器による太陽の高分散分光観測に興味を持って取り組んでいることから、今回の日食も分光観測に挑戦することにした。できれば、学術的なデータをとりたいということも考えた。このようにして、私のコロナ分光観測計画がスタートを切ったのが約 1 年前である。

## 何を観測する

日食の分光観測といえば、フラッシュスペクトルが思い浮かぶ。これは、多くの先輩たちによって撮られていて、その多くは対物レンズ前にプリズムや回折格子といった分光素子を置く方法である。比較的簡単な装置で撮ることができ、それでも輝線に分離されたスペクトルが幾重にも見られ、カラーで撮ると大変美しい。うまくすると、彩層輝線だけでなくコロナ輝線まで写る。



【図 1】 塩田和生氏撮影のフラッシュスペクトル

しかし、ひとたびこの画像を解析しようとする、波長の重なりが問題になる。リング状の太陽彩層およびコロナが分光されるため、同じ位置に二つの波長が重なるのである。解析用の画像を得るためにはこの波長の重なりをなくすため、太陽を東西に分けて分光観測する。そのためには、はるか上空で太陽の片側を隠すことができればよいのだがこれは無理である。そこで、望遠鏡で一度太陽を結像させ、スロットと呼ばれる片側スリットで太陽の東側または西側を隠す。その後ろにコリメーター、回折格子、カメラレンズという構成の通常の分光器により観測すればよい。また、波長がわかればよく色情報は不要なので、観測にはモノクロカメラを使用する。

観測対象は、彩層とコロナのスペクトルである。特に、コロナは 200 万度の Fe XIV 530.3nm と、100 万度の Fe X 637.4nm の 2 つの輝線が明るく、これが観測できれば太陽リム近傍の温度構造が求められる。スロット分光器の場合、輝線スペクトルは月縁の外側に向けて輝線輝度の減衰に従って広がる。時間差で撮像したスペクトル画像の差分をとると、この間にコロナの状態が変わらないとすれば、月の移動がスリットの役をして時間差による 2 つの月縁をスリットとするスペクトル画像が得られる。これなら、通常のスリットを使った観測より観測位置がはっきりしていて解析しやすいと考えた。この方法で観測できるのは、皆既中に月が移動する約 1' の領域である。例えば、1 秒ごとにスペクトルが撮像できれば、太陽面上で約 300km を分解できることになり、SDO 衛星などによる撮像観測では得られない空間分解能で温度構造を知ることができる。

### 観測装置

以上のような観測のため、2 台の低分散分光器を製作した。それぞれのスペックは【図 2】の通りである。ともに可視光領域全体(380~700nm)を撮像できるが、全域にピントを合わせることはレンズの収差のため困難で、今回は上に述べた 2 本のコロナ輝線にピントが合うように D 線付近で調整することにした。

	分光器 # 1	分光器 # 2
主鏡	Sharpstar 60ED+Flattener (D=60mm , f=330mm , F5.5 )	BORG65 (achromat) (D=65mm , f=450mm , F6.9)
コリメーター レンズ	Kasai Trading SV-42mm 2 インチアイピース	同左
回折格子	透過型ブレード 300 本/mm 50×50mm(Edmund OPT.#49-583)	同左
カメラレンズ	Nikon Nikkor-s 28mm F2.8	Canon EF-S 18-55mm , F3.5~5.6
カメラ	Atik Titan mono 冷却 CCD (Sony ICX424 , 16bit fits)	同左
装置写真		

【図 2】 製作した 2 台の分光器



【図3】分光器の構造



【図4】赤道儀に搭載した2台の分光器

2台の分光器は、【図4】のように Vixen GPD 赤道儀の極軸部に対称的に取り付けた。それぞれに微動雲台がついていて太陽の導入、微調整ができるようにしてある。また、回折格子部分に少し光漏れがあるため、暗幕布が巻き付けてある。

## 課題

準備が進むにつれて、いろいろと課題が明らかになってきた。

- ① ピント合わせ…コリメーターレンズはあらかじめ焦点位置を決めて固定してあるので、主鏡とカメラレンズのピント合わせが必要である。まず、カメラレンズの調整をするが、スリットであれば吸収線や輝線がはっきり見えるようにすればよい。しかし、今回はスロットのため吸収線や輝線は見えない。そこで、スロットをスリットに交換してピントを合わせ、アライメントが変わらないようにスロットに戻すことにした。その後、太陽リムがはっきり見えるよう主鏡のピントを調整する。
- ② 太陽中心の位置合わせ…スロットが太陽の中心をとる南北線になるようにしたい。しかし、部分食が進行すると太陽中心がわからなくなるのではないかと心配があった。東側はまだ第二接触直前で欠けた太陽が見えており合わせられると思うが、月によって先に隠される西側は難しそうである。これは2台の分光器の光軸をあらかじめ合わせておき、部分食で見えている東側を合わせれば西側もスロット位置が合うということで対応した。

- ③ 露出時間…適正露出時間がどれくらいなのか全くわからない。先行研究も無く、ND1000×2 (100 万分の 1) の減光で太陽光によるテストを行い、さらに撮像ソフト (Atik Titan 冷却 CCD カメラ付属) の sequence 機能により多段階の露出を行うことにした。

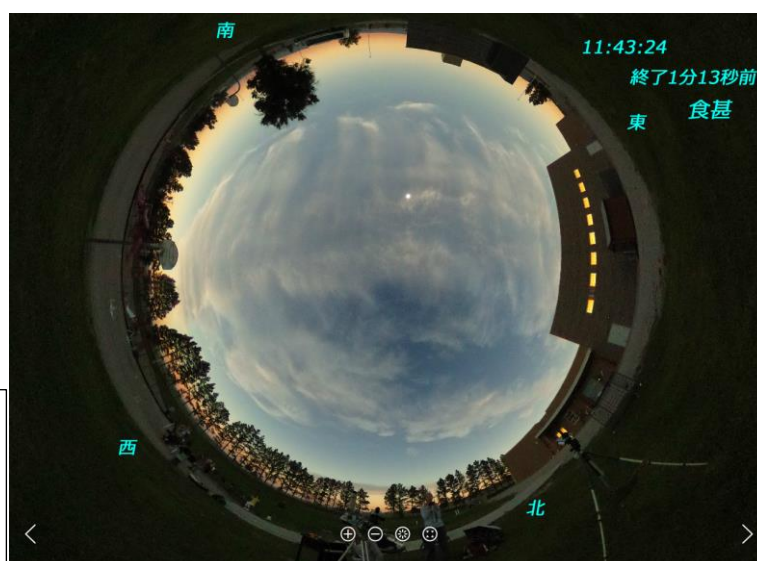
### いざ出発

観測は、東京理科大学天文研究部観測隊の仲間に入れていただいた。行程は 8/19 (土) ~23 日 (水) の 3 泊 5 日、いわゆる弾丸ツアーである。理科大隊は観測地が 3 つに分かれ天候リスクの分散が図られている。残念ながら分光観測を行うのは私のチームのみである。観光は一切ないが、前日には丸一日リハーサルがあり、日食観測に関しては全く問題ない。私が参加したチームの観測地は、ワイオミング州キャスパーで、総勢 11 名である。ほぼ皆既中心線にあり、皆既継続時間は 2 分 26 秒で、観測地の位置と標高は次のとおりである。

Casper/Poison Spider School (42° 50.0267' N, 106° 34.0967' W, Alt. 1641m)

### 観測当日

前日のリハーサルがあったおかげで、セッティングは順調に進んだ。朝は快晴であったが、日が昇るにつれ図 5 に示すように薄雲が上空に広がり、日食全経過中とれることはなかった。太陽の光量としては半分から 10 分の 1 くらいになったのではないかと感じた。スペクトルと並行して Eclipse Orchestrator (一眼レフカメラ自動制御ソフト) による直接焦点での多段階露出自動撮像(Takahashi FS-60Q、Canon EOS6D)も行っていたが、露出を 10 倍にした Emergency Mode に切り替えた。



【図 5】日食時の空の様子  
薄雲が広がり、上空の風により移動している。  
また、雲による散乱光が強い (撮影:大越治・和子氏)

## 観測結果

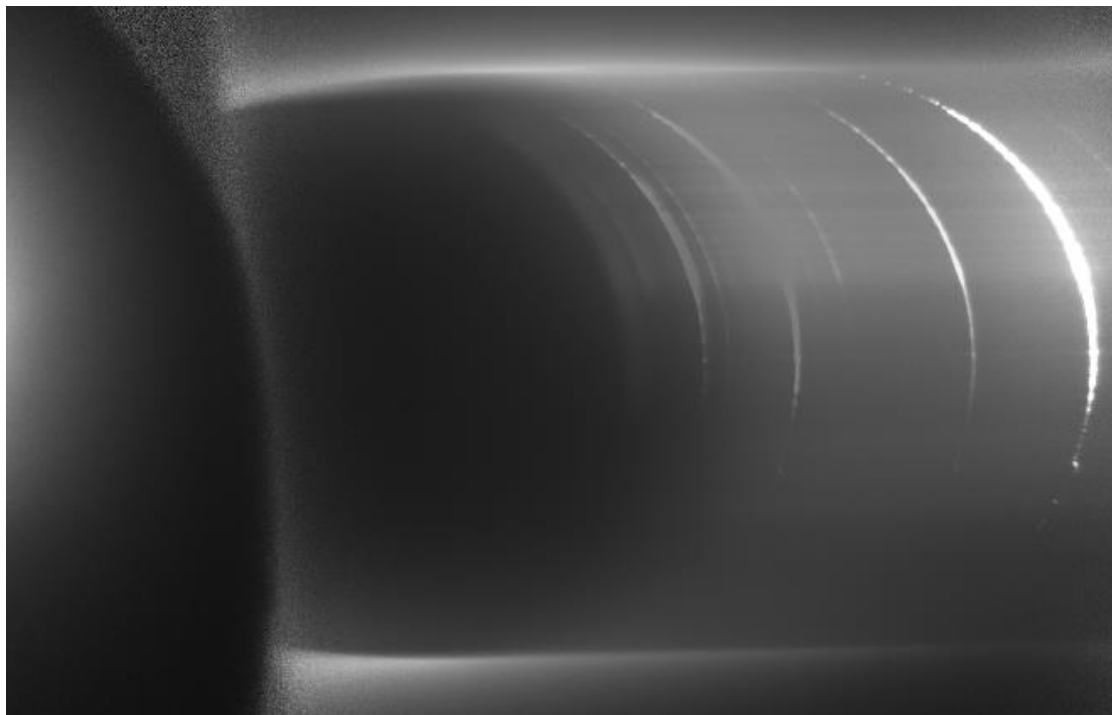
2 台の分光器のうち西側の分光器#1 は直前にピントを動かしてしまい、その再調整を試みたが、課題②にあるように太陽西側はすでに部分食が進んでおり調整しきれないまま皆既を迎えた。また、この分光器はF値が明るいため、すべてで露出オーバーとなっていた。東側の分光器#1 は無事撮像できたが、薄雲の影響は大きく、彩層輝線のフラッシュスペクトルは写ったが、コロナ輝線は全く写らなかった。雲による散乱光が非常に大きかったと思われる。

カメラの露出時間については、【図6】のパターンで行い、皆既中にこれを16回繰り返す連続撮像ができた。この中で適正露出は0.1秒のみで、その他はすべて露出オーバーであった。そのうち彩層輝線が見られたのは8枚である。

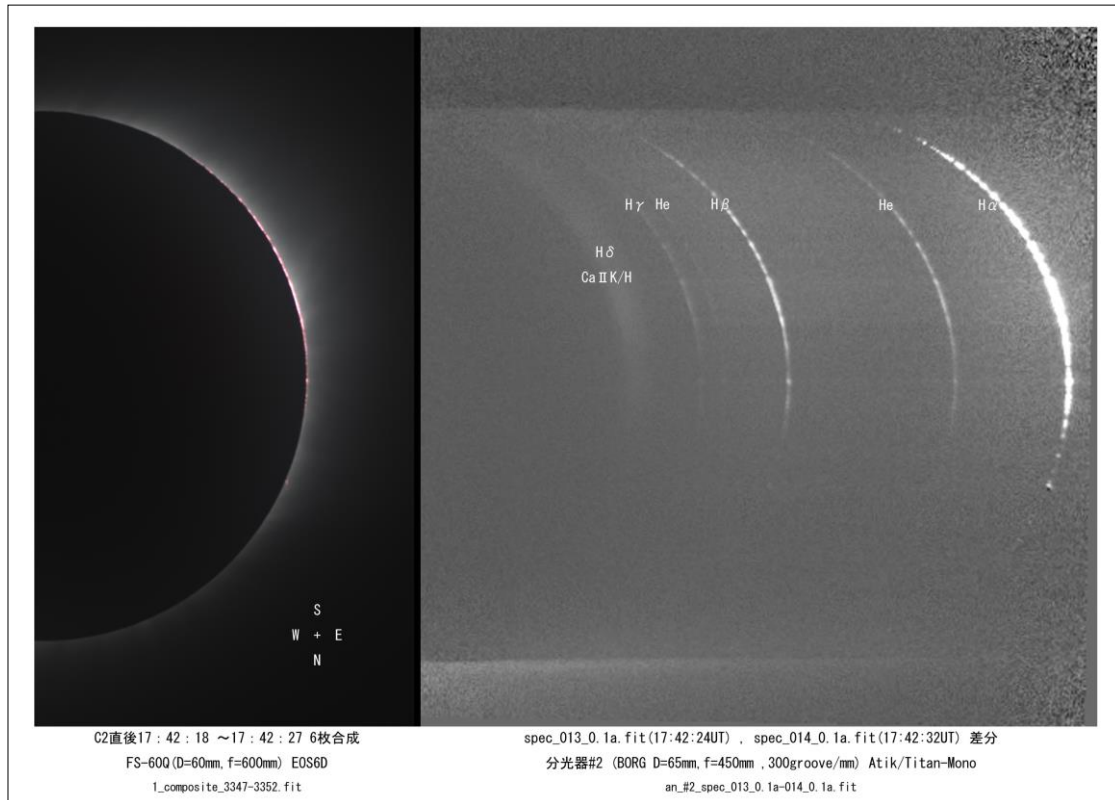
露出時間 (秒)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.8	1.6
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

【図6】 撮像ソフトによる露出、これを皆既中繰り返す

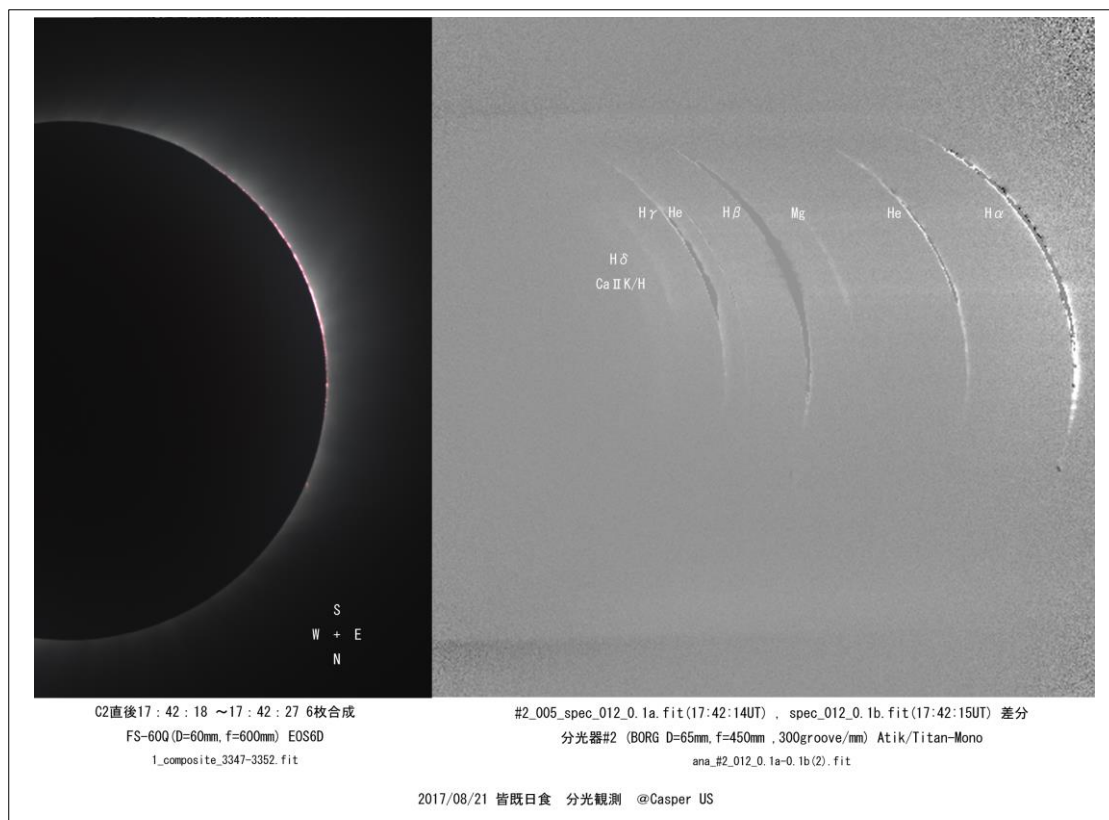
【図7】に分光器#2（東側）で撮影できた画像を1次処理（ダーク、フラット処理）したものを示す。【図8】は【図7】の画像から次のルーチンで撮像した8秒後の画像を引いた差分画像で、同定した彩層輝線の元素も示してある。【図9】は1秒間の差分画像である。西側には大きな活動領域があり、プロミネンスも多数あったことを思うと、西側分光器の失敗は残念であった。



【図7】 分光器#2 による画像（スロットのためスペクトルは長波長側（右方）に伸びている）



【図8】 第二接触直後の東側太陽画像（左）とそれに対応する彩層スペクトル（右）  
H $\delta$ やCa II K/Hなど短波長側は収差のためピンボケである  
スリット幅を広くとるため、8秒間の差分画像



【図9】 1秒間の差分画像  
コロナ輝線を狙ったため、彩層輝線はともに飽和し、差分は黒くなっている

時間差画像の差分からスペクトルを得るための前提として、この間、コロナや彩層は変化していない必要がある。しかし、今回の観測では、薄雲が常にかかり、しかも移動していたため、差分をとると輝度値が負になるなど、この方法で解析画像を得ることはできなかった。

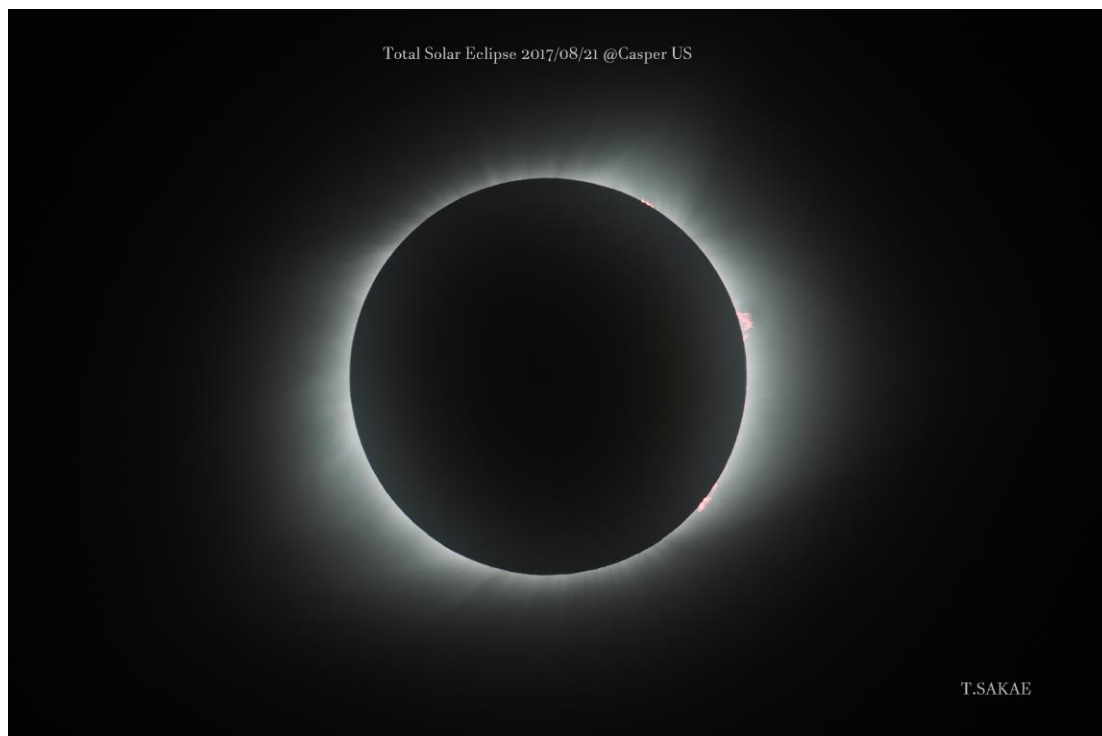
#### まとめ

今回の観測は、観望的には晴れたとあってよい天気で、感動的な皆既日食を見ることができた。しかし、観測的には薄雲の影響が大きく、期待したデータをとることはできなかった。今まで、アマチュアによる日食の分光観測はほとんど行われていないように思われるので、その点ではひとつのステップを踏めたのではないかと考えている。次の機会がいつになるかわからないが、今回の経験と失敗を教訓に次なる挑戦を心に秘めて更なる研修に努めていきたいと思う。

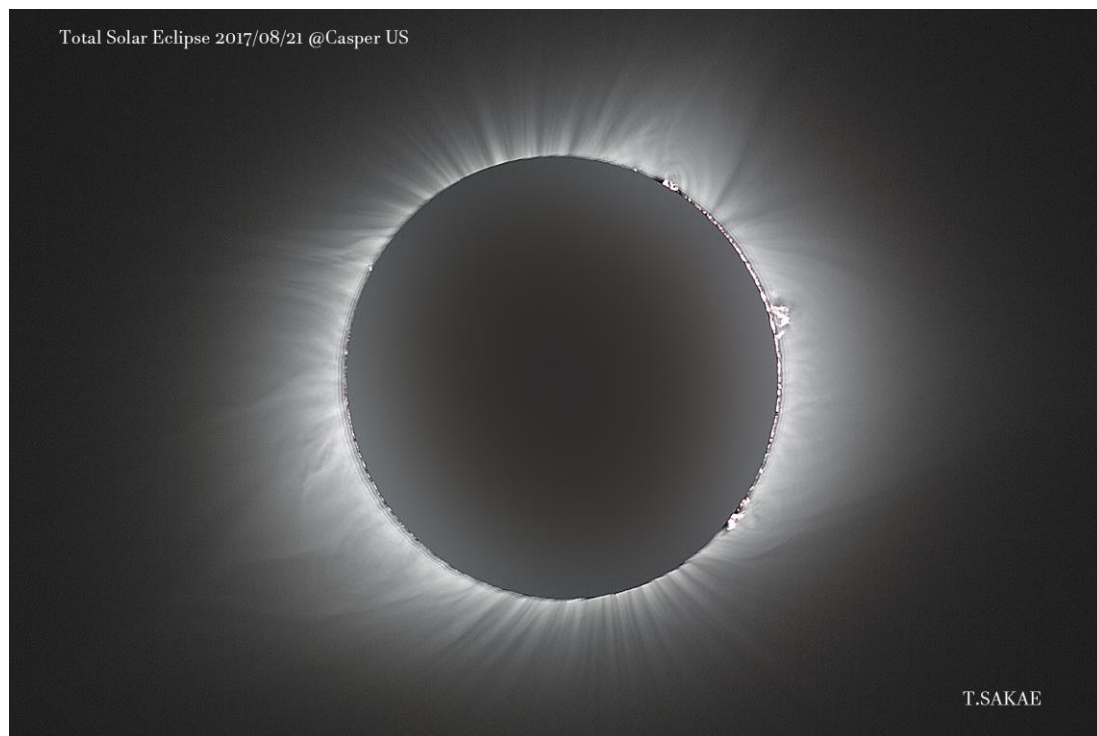
#### 謝辞

この観測について、計画当初から国立天文台太陽観測科学プロジェクトの花岡庸一郎先生には様々な場面でご指導いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。また、この観測旅行は「休暇」ではなく「研修」という勤務の一環として行くことができました。研修として承認してくれた本校管理職に謝意を表します。この経験は今後の授業や部活動指導を通して生徒に還元していければと思っています。旅行に関しては、東京理科大学天文研究部日食観測隊運営委員の方々のご尽力に感謝いたします。特にキャスパー隊でご一緒させていただいた大越治さんには観測地の手配をはじめ旅行全般にわたり大変お世話になりました。東京理科大学天文研究部の現役学生である神尾実早貴さんには分光器の工作或観測でいろいろと手伝ってもらいました。最後に、当研究について下中記念財団から科学研究助成金の補助をいただき、観測、セミナー、研究会の旅費として活用させていただきました。

【付録】直接焦点による写真(Takahashi FS-60Q、Canon EOS6D)



【写真1】第三接触直前の5枚の多段階露出画像を加算



【写真2】第二接触から第三接触までの多段階露出画像26枚を加算  
回転アンシャープマスク処理(Stella Image 8.0)