

2019年度国内研修支援金（旧内地留学奨学金）による 成果報告書

坂江隆志

〈埼玉県立浦和西高等学校 〒330-0042 埼玉県さいたま市浦和区木崎 3-1-1

2020年4月より，川口市立高等学校 〒333-0844 埼玉県川口市上青木 3-1-40〉

e-mail: ta_sakae@tk2.so-net.ne.jp

研究テーマ：太陽CaIIK画像によるブラージュ領域から求められる太陽活動の指標について

受入機関：茨城大学理学部

指導教員：野澤 恵

研究内容の概要：自作した太陽観測用高分散分光器の応用として，CaIIK吸収線（393.4 nm）を用いて太陽全面のスリットスキャン撮像を行い，そのスペクトルプロファイルから太陽の周期活動が評価できないかの検討を行った。現在，太陽はその活動が極小期にあり，黒点が皆無の黒点相対数ゼロの毎日が続いている。しかし，黒点が無くてもブラージュと呼ばれる活動領域が存在することがあり，これを観測することでより詳細に太陽活動を評価することができると考えた。ブラージュはCaIIK吸収線のK2, K3と呼ばれる波長域で輝度が高いことから，太陽全面の平均スペクトルプロファイルを求め，そのK2, K3における輝度が太陽面上のブラージュが全く存在しないときのプロファイルに対してどの程度高いかで評価することを試みた。その結果，ある程度の比率でブラージュが存在するときは輝度の有意な上昇が見られたが，小さなブラージュでは全体に埋もれてしまうという結果を得た。どの程度のブラージュから検出可能かということは今後活発化するとみられる太陽活動を継続的に観測してデータの蓄積が必要である。

1. 自作分光器の概要

図1は分光器の外観で，重量は約7キロ，市販の小型赤道儀（タカハシEM-200）に載せて使用している。この写真は2016年夏に旧乗鞍コロナ観測所のテラスで観測している様子である。

図2は分光器の構造である。基本的には市販の部品を組み合わせて作っているが，スリットはカッターナイフの刃を向い合せに顕微鏡下で6ミクロン幅に接着した自作で，この工作が最も困難であった。当初は1次（ $R=30000$ ）を使用していたが，現在は $H\alpha$ （656.3 nm）で2次，CaIIK（393.4 nm）では4次のスペクトルを使用している。



図1 観測の様子。後ろの山は乗鞍岳剣が峰。

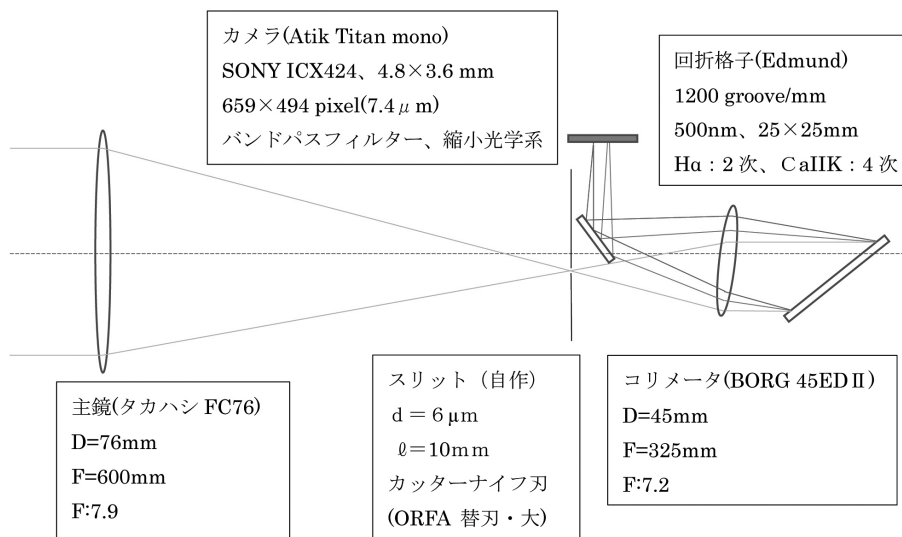


図2 分光器の構造.

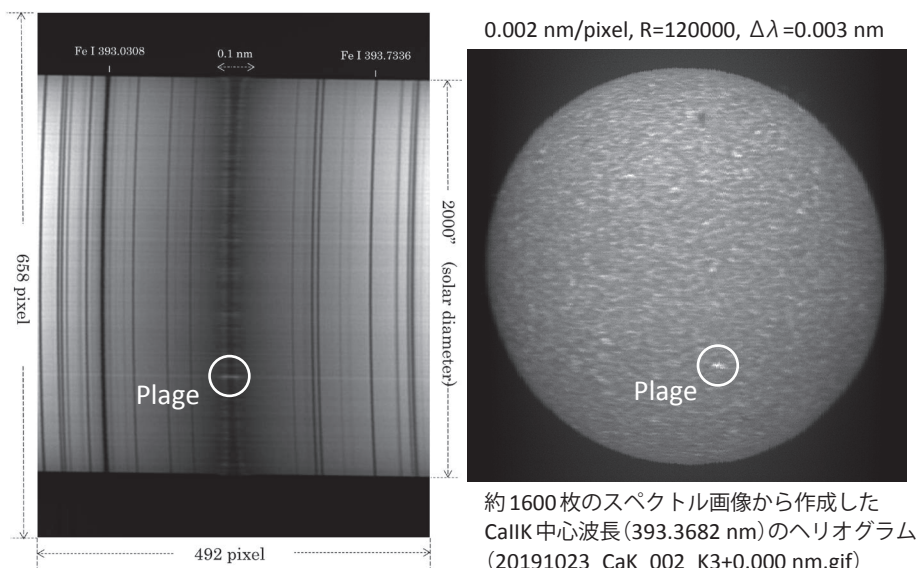


図3 4次スペクトルで得られた画像(左)とスリットスキャンから求めたヘリオグラム(右).

2. 自作分光器で得られるCaIIKの画像

図3が得られた4次によるスペクトル画像(左)とスリットスキャンしたデータから作成した中心波長(K3, 393.368 nm)におけるヘリオグラム(右)で、スペクトルの湾曲を補正して作成している。無黒点であるが図3に示してあるようにプラージュ

(Plage)と呼ばれる活動領域が見られる。

3. 太陽の周期活動

太陽は約11年の周期で活動が変化している。その周期活動を数値化して表す代表がウォルフの黒点相対数で、1700年代から記録が残っている。その算出方法は図4の通りだが、無黒点時にはそ

太陽の周期活動

黒点相対数 (ウォルフ) $R=K(10g+f)$
 g ; 黒点群の数 f ; 黒点数 k ; 補正係数

無黒点 $R=0$ における CaIIK ヘリオグラム例

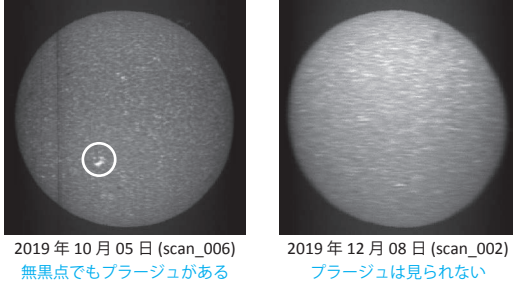


図4 太陽の周期活動.

の値はゼロとなる。しかし、無黒点でも $H\alpha$ や CaIIK で観測すると図3のようにプラージュが存在することがあり、黒点相対数以外の指標が必要であることがわかった。

4. CaIIKのスペクトルプロファイル

CaIIKの分光観測でプラージュはどのように見えるのかを図5に示す。静穏領域 (Quiet region) とプラージュ領域 (Plage region) のスペクトルプロファイルにおいて、プラージュでは吸収線中心で輝度が大きくなっていることがわかる。この違いを太陽活動の指標に使うことはできないかと考えた。

5. スペクトルプロファイルの作成 (Normalize標準化)

スペクトルプロファイル同士の比較は次のように行った。まず太陽の活動状態によらず、静穏領域のスペクトルプロファイルはほぼ同じになることを確認した。そのうえで、静穏領域の平均プロファイルと NSO (National Solar Observatory) のサイト*1で公開されている標準化されたプロファイルと比較し、Continuum (吸収線が無いところ)

スペクトルプロファイル

CaIIK center のヘリオグラム

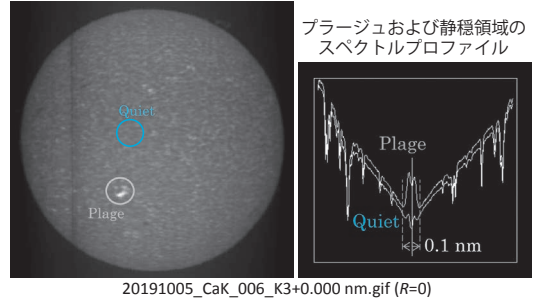


図5 CaIIK スペクトルのプロファイル. なお、CaIIK の中心波長を K3, その両脇の輝度の高い部分を K2, さらに外側の最も輝度が低い部分を K1 と呼ぶ。

が1となるように標準化した。

なお、フラット補正は重要と考えるが、太陽に代わる吸収線の無い光源はなかなか難しく、今回はスリットを静穏領域の太陽直径位置にあて、赤道儀の赤緯微動ボタンを操作することでスリット方向に太陽像を移動させながら大量に (約1000枚) 撮像し、平均化して得られた画像から吸収線を画像処理で除去し簡易的なフラット画像を得た。

6. 全面平均スペクトルプロファイルによる評価

今回、図6にある3つの観測について、太陽全面のCaIIKスペクトルを平均化したものを比較してみた。

- (左) 2016/10/15 黒点相対数 $R=38$
 - (中) 2019/10/05 $R=0$ 無黒点, プラージュあり
 - (右) 2019/08/14 $R=0$ 無黒点, プラージュ無し
- 黒点相対数 $R=38$ と $R=0$ (無黒点, プラージュ無し) を比較した結果が図7になる。 $R=38$ の方が少し輝度が高く、 $R=0$ に対する比をとってみると特に中心波長 K3 では急激に大きくなっていることがわかる。この K3 の比をもって太陽活動

*1 <https://solis.nso.edu/0/iss>

太陽全面平均スペクトルプロファイルによる評価

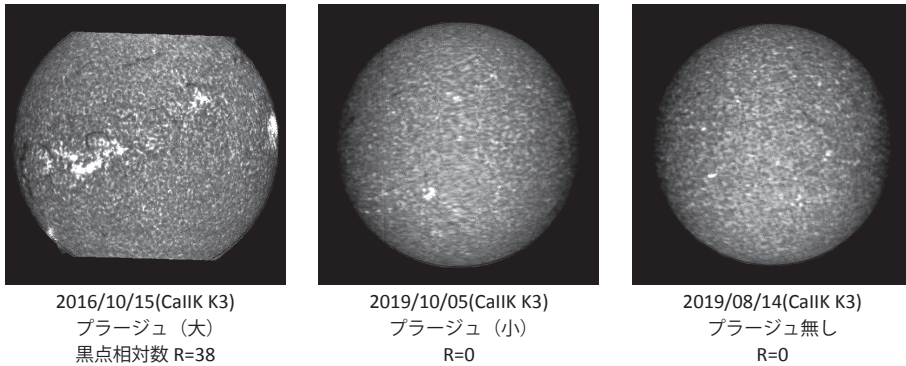


図6 この3つの観測データを解析する.

太陽全面平均スペクトルプロファイルによる評価
2016/10/15($R=38$) と 2019/08/14($R=0$) を比較

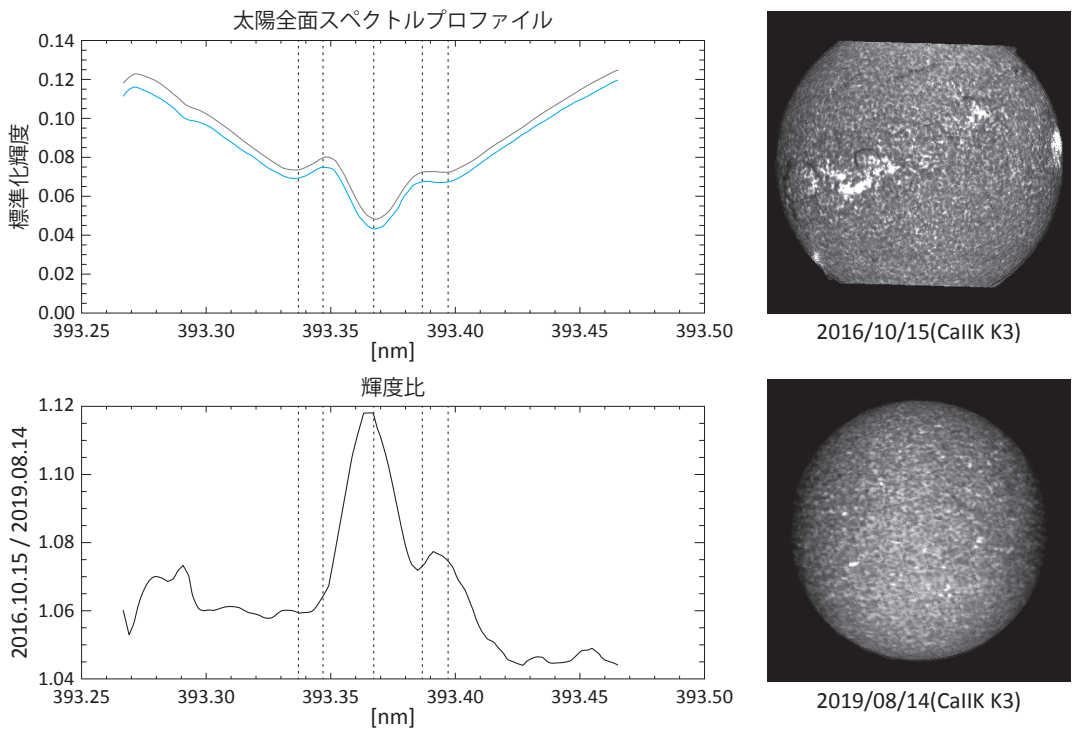


図7 黒点相対数 $R=38$ と $R=0$ (無黒点)を比較.

の指標とするのが良いのではないかと考えた.

次に、無黒点 ($R=0$) でプラージュがあると
きと無いときではどのような結果になるのか求め

てみたのが図8である. 残念ながらこの程度の大き
きさのプラージュでは全体に埋もれてしまい検出
することはできなかった. どのくらいのプラ

太陽全面平均スペクトルプロファイルによる評価
 2019/10/05(プラージュあり)と 2019/08/14(なし) (ともに R=0) を比較

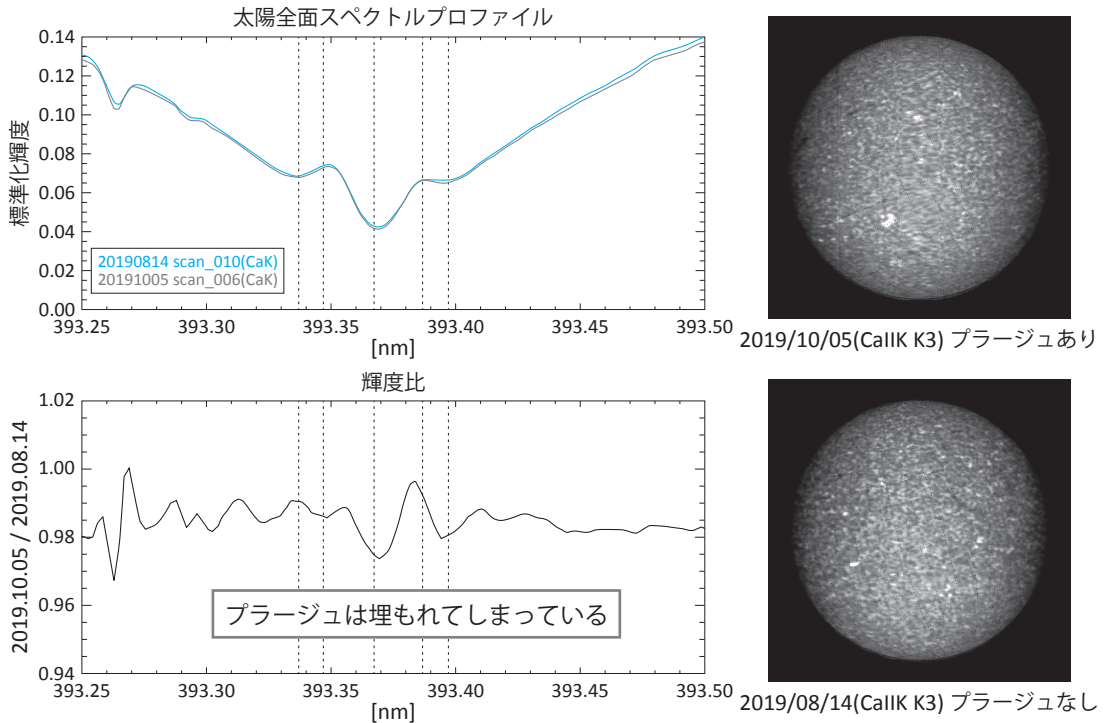


図8 黒点相対数R=0(無黒点)でプラージュあり, 無しを比較.

ジュ量から検出ができるのかは今後の課題である。

試しに、プラージュ(大)と(小)についてプロファイルの比を求めてみる。その結果は図9の通りで、微妙なプロファイルの変化と中心波長(K3)付近での増加が見られる。プラージュの面積や輝度についても調べてみた。どこをもってプラージュの境界とするかは適当に決めただけであるが、作成したヘリオグラムから太陽全面に対するプラージュの面積比を求めてみると、プラージュ(大)で約3%、プラージュ(小)は0.3%であった。K3の輝度は静穏領域に対して、プラージュ(大)で127%、プラージュ(小)は102.7%の増光、プラージュ(小)に対する(大)は23%の増光という結果になった。

7. 今後の課題と展望

今後は、太陽活動が極小状態にある現在の記録をしっかりとることが重要と考える。現在の状況をリファレンスとして、今後活動が活発になるにつれて平均スペクトルプロファイルがどのような変化を見せるのか継続的に観測を行い、1サイクルをしっかりと記録に残すことを目標にし、そのうえで平均スペクトル形状の変化を数値化することも考えていきたい。さらに良質なデータとするために分光器内の迷光低減の工夫も必要である。(CanKの1次スペクトルで測定したところ、迷光比は約7%となっている。)

プラージュ (大) と (小) で比較

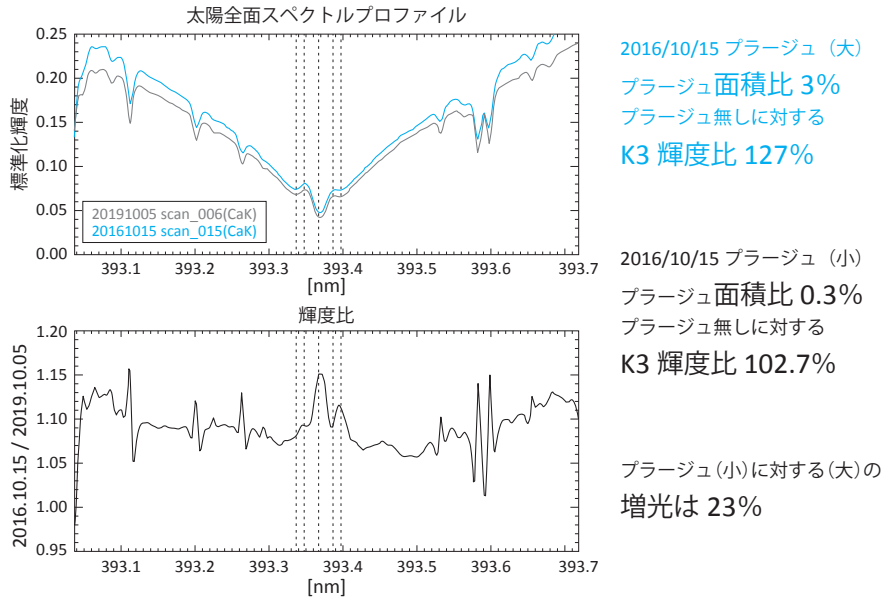


図9 プラージュ (大), (小) を比較.

8. 先行研究等

太陽に関する先行研究として次の2つの論文を参考にした。

- ウィルソン山天文台による, CaIIKのスペクトロヘリオグラムから求めた太陽全面に対するプラージュ面積比をplage-indexとしたもの [1]
- CaIIKスペクトルプロファイルのK3±0.05 nmの面積をCaIIK-indexとしたもの [2]

このほか, 恒星の研究においてもCaIIH, K線の独自フィルターによるウィルソン山天文台での観測例があり, 恒星の周期的活動が捉えられている [3, 4].

謝 辞

本研究は, 2019年度日本天文学会国内研修支

国内研修支援金選考委員会より

当成果報告書は坂江氏より期限内に提出されましたが, 選考委員会の都合により1年ほど天文月報への掲載が遅れました。

援金(旧内地留学奨学金)の補助を受けて行ったもので, 研究を進めるうえで大いに活用させていただきました。指導教官である野澤恵先生には様々なアドバイスをいただき感謝申し上げます。また, 京都大学飛騨天文台(現在 情報通信研究機構)の大辻賢一さんには解析面で全面的に協力や助言をしていただきました。ほかに, 国立天文台太陽観測科学プロジェクト, 京都大学飛騨天文台の研究者の皆様にも多くの有益なアドバイスをいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Bertello, L., et al., 2010, Solar Phys, 264, 31
- [2] Livingston, W., et al., 2007, ApJ, 657, 1137
- [3] Egeland, R., et al., 2017, ApJ, 835, 25
- [4] 桜井隆ほか編, 2018, シリーズ現代の天文学2 太陽 (日本評論社)