

コロナホールは H α 線で見えるか？*

(第3回科学部研究報告)

An Attempt to Detect a Coronal Hole Using H α Filtergrams

(The 3rd Report of the Science Club of Yonago National College of Technology)

青木良枝** 大島由也*** 角田俊一*** 松本卓*** 中江祥平***
Yoshie AOKI Yuuya OHSHIMA Shunichi TSUNODA Taku MATSUMOTO Shohei NAKAE

竹内彰継****

Akitsuugu TAKEUCHI

概要

コロナホールとはX線や極端紫外線で見える太陽コロナ内の暗く広がった領域のことである。そして、コロナホールはH α 線やK線といった彩層から放射される光では見えないとされてきた。しかし、この報告は1970年代にX線画像と彩層線写真を目視で比較してなされたものであり(Vaiana et al.1973)、詳細な比較がなされたとは必ずしもいえない状況にある。一方、現在は CCD カメラで観測した画像に高度な画像処理をほどこすことにより、以前では考えられなかったような詳細な比較を行うことができる。そこで、我々は本当にH α 線ではコロナホールが見えないのか？本校の望遠鏡にH α フィルタをとりつけ CCD カメラで観測し、画像処理をほどこし、それらと人工衛星の観測から得られたコロナホールの画像とを比較してみた。その結果、H α 線の光の強度図ではコロナホールに対応するものは見られなかったが光の強度分布の標準偏差図にはコロナホールに対応する模様が見えていることがわかった。

1. はじめに

コロナホールとはX線や極端紫外線で見える太陽コロナ内の暗く広がった部分のことである(図1)。コロナホールは磁場の開いた領域に対応し、そこからは高速太陽風が流出していることが知られている。ところで、コロナホールはH α 線やK線といった彩層から放射される光では見えないとされてきた。しかし、この報告は1970年代にスカイラブ衛星で観測されたX線写真と地上望遠鏡で観測された彩層線写真を目視で比較してなされたものであり(Vaiana et al.1973)、詳細な比較がなされたとは必ずしもいえない状況にある。一方、現在は CCD カメラで観測した画像に高度な画像処理をほどこすことにより、以前では考えられなかったような詳細な比較を行うことができるようになっている。

そこで、我々は本当にH α 線ではコロナホールが見えないのか調べるために本校の望遠鏡にH α フィルタをとりつけ CCD カメラで観測し、画像処理をほどこし、それらと人工衛星の観測から得られたコロナホールの画像とを比較してみた。以下その結果について報告する。

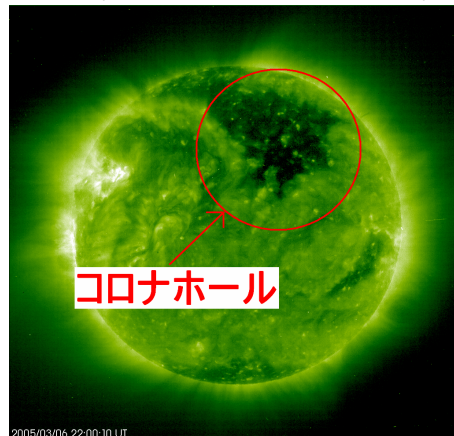


図1 人工衛星 SOHO で2005年3月6日に撮像された太陽のX線画像。写真上部の暗い部分がコロナホールで、このときのものは極から中緯度にまで達する大規模なものであった。

*平成17年9月1日受理

**物質工学科 学生

***電子制御工学科 学生

****機械工学科

なおこの研究は、我々科学部が明星大学で開催された日本天文学会 2005 年春季年会のジュニアセッションで発表したものである (図 2)。



図 2 2005 年日本天文学会春季年会ジュニアセッションにおける発表メンバー。右から大島、松本、角田、国立天文台渡部助教授、中江。学会ポスター会場にて。

2. 観測

2. 1. 観測装置

望遠鏡	タカハシ製作所製フローライト屈折望遠鏡 FS-128 (口径 128mm、焦点距離 1040mm、F8.1)
赤道儀	タカハシ製作所製赤道儀 S-90 (図 3)
H α フィルタ	コロナド社製 AS-90 (半値幅 0.7Å) (図 4)
冷却 CCD カメラ	ビットラン社製 BJ-41L (図 5)



図 3 観測に使用したタカハシ製作所製フローライト屈折望遠鏡 FS-128 とそれを搭載する赤道儀 S-90。



図 4 観測に使用した本校の望遠鏡とコロナド社製 H α フィルタ AS-90。この H α フィルタは望遠鏡の対物レンズの前面にとりつけて使用するため、フィルタのムラがでにくい構造になっている。なお、フィルタの透過波長帯の半値幅は 0.7Å である。



図 5 ビットラン社製冷却 CCD カメラ BJ-41L。望遠鏡の接眼部にこの CCD カメラをとりつけ、パソコンにつなぐことによって観測データを直接とりこむことができる。

2. 2. 観測方法

望遠鏡に H α フィルタと CCD カメラをとりつけ、直接焦点 (焦点距離 1040mm) で観測した。これは、1 枚の画像でなるべく広い領域をカバーするためである。ちなみに、この観測での画像のサイズは約 29' × 20' となり、太陽面のほぼ全面がカバーできた (太陽半径は約 16')。なお、CCD カメラのピクセル数は 1360 × 1024 なので、ピクセルサイズは太陽面上で約 940km (約 1.3") となった。この H α フィルタはレンズの口径を 90mm に絞るため、ピクセルサイズと望遠鏡の分解能はほぼ等し

くなった。また、望遠鏡の F 値は 11.6 となった。

本研究の目的は H α 線でもコロナホールが見えるか調べることにある。より具体的に書くと、コロナホール内・外の彩層が放射する H α 線に差があるか調べることが研究の目的である。一方、その差はあったとしてもきわめて小さいと予想される(Vaiana et al.1973)。そこで、その差がノイズに埋もれないよう、S/N 比を大きくするために 100 枚太陽画像を撮像した。なお、観測では露光時間は 1/1000 秒で固定した。

次に太陽の方位を定めた。観測後に画面中央に黒点を入れ、赤道儀の駆動装置を止めて撮像し、その動く方向から東西南北方向を求め、天文年鑑の数値表から太陽の北極の方向を算出した。

最後に、太陽中心を画面の中心において、フラットフィールド、ダークフィールド、フラットダークをそれぞれ 10 枚撮像した。このとき、フラットフィールドとフラットダークの露光時間はそれぞれ 1 秒、ダークフィールドの露光時間は観測に合わせて 1/1000 秒とした。ダークフィールドは、露光時間が短いことから、不要とも思える。しかし、CCD カメラをテストした結果、望遠鏡のふたを閉め露光時間を 1/1000 秒としても暗電流が残ることがわかったため撮像した。なお、データはすべて Fits 形式で保存した。

SOHO(Solar and Heliospheric Observatory、地球 - 太陽の第 1 ラグランジェ点に置かれた太陽観測用人工衛星)の観測から 2005 年 3 月 7 日に極地方から中緯度地帯にまで及ぶ大規模なコロナホールが出現していることがわかったため(図 1)、急遽観測を行った。本論文ではその日のデータの解析結果について報告する。

3. 解析

解析では画像処理言語 IDL を使用した。なお、解析に使ったコンピュータは Sony VAIO PCG-GRX71 である。

3. 1. 解析用画像の作成

まず、それぞれ 10 枚あるフラットフィールド、ダークフィールド、フラットダークを平均し、平均フラット、平均ダーク、平均フラットダークを作った。続いて、100 枚の観測画像すべてから平均ダークを引き算した。同様に、平均フラットから平均フラットダークを引き算した

ものも作った。最後に、観測画像から平均ダークを引いたものを平均フラットから平均フラットダークを引いたもので割り、100 枚の解析用画像を作った。

3. 2. 周縁減光と散乱光の処理

太陽面を観測すると、光の強度は太陽面内で一定ではなく、一般に中心から周辺部に行くにしたがって弱くなる(図 6, 7)。この現象を周縁減光というが、コロナホール内・外の彩層が放射する H α 線の強度の差は周縁減光以上とは考えられない。それは、もし周縁減光以上であれば 1970 年代でも H α 線でコロナホールが検出できたはずだからである(Vaiana et al.1973)。

したがって、解析においてはこの周縁減光の効果を引き算し、コロナホール内・外の差を強調する処理が必要となる。そこで、まず解析用画像すべてにおいて、光の強度を太陽中心からの距離の関数としてあらわした(図 6 の緑の曲線)。図 6 より、明らかに光の強度は太陽の中心から離れるにしたがって弱くなっており、周縁減光曲線が求まっていることがわかる。なお、図 6 で関数の傾きが一番急になっているところが太陽面の端(リム)であり、リムより外側の光は地球大気での散乱光である。

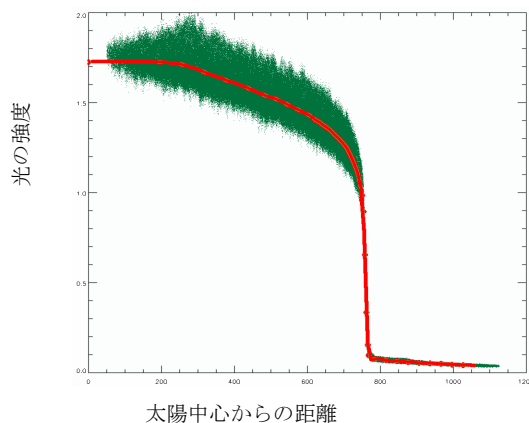


図 6 太陽の周縁減光をスプライン関数で近似した曲線。緑色の線は H α 線画像の各ピクセルの光の強度を太陽中心からの距離の関数としてプロットしたもの。太陽中心から離れるにつれ光の強度が弱くなる「周縁減光」が見られる。緑の曲線が幅を持っているのは太陽表面の微細な模様によるノイズである。これらを塗りつぶし、スプライン補間で近似周縁減光曲線(赤線)を求めた。



図7 観測した $H\alpha$ 線画像(解析用画像)。太陽中心が明るく、周辺部が暗い「周縁減光」が見えている。画像は一番明るい部分と一番暗い部分の差を 256 階調で表現するため、周縁減光により太陽面上の淡い模様が見えにくくなっている。

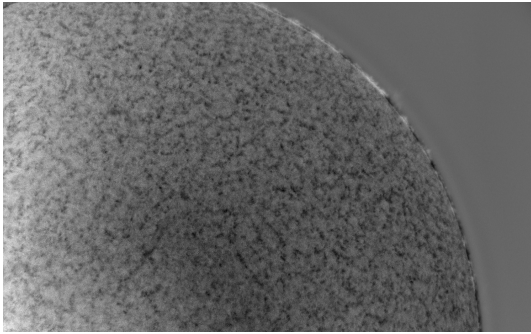


図8 $H\alpha$ 線画像から周縁減光を引き算した画像。周縁減光は図6のスプライン関数で計算した。周縁減光を引き算することにより、図7と比較して太陽面の淡い模様が見やすくなっている。

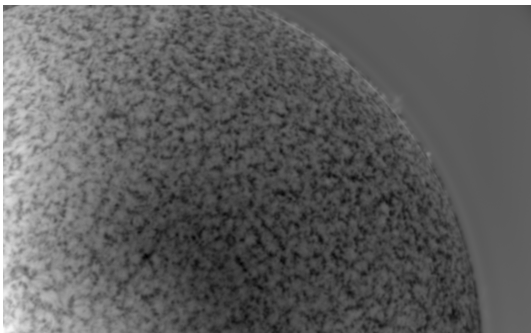


図9 $H\alpha$ 線画像 100 枚すべてで周縁減光を引き算し、さらに S/N を上げるためにそれら 100 枚の画像すべてを合成したもの。このようにすることにより、スピキュールのような短命な現象を取り除くことができる。図8と比較すると暗斑が見やすくなっている。

ところで、図6で緑の曲線が幅を持っているのは太陽面上の微細な構造によるノイズである。そこで、それらを塗りつぶした滑らかな曲線をスプライン補間で求め、周縁減光曲線を近似した。図6の赤い曲線が周縁減光の近似スプライン曲線であり、周縁減光から散乱光まで適用できる近似曲線が求まったことがわかる。そして、解析用画像から周縁減光を引き算し、それらをすべて加算し、S/N を上げた。

以上の処理を図で説明する。まず、図7に解析用画像を示す。図7では太陽中心が明るく、周辺にいくと暗くなる「周縁減光」が見られる。そのため、表面の淡い模様が見えにくくなっている。そこで、解析用画像から周縁減光を引き算し、淡い模様を強調した(図8)。図8では、図7と比べ表面の模様が大幅に見やすくなっているのがわかる。しかし、1枚の画像だけでは当然ノイズも含まれる。また、スピキュールなどの短命な構造も拾ってしまうことになる。そこで、S/N を上げるために 100 枚の画像すべてを加算した(図9)。図8と比較すると、図9の方が暗斑などの構造が見やすくなっている。

4. 結果と考察

4. 1. SOHO 画像との比較

コロナホールはコロナから放射される X 線や遷移層から放射される極端紫外線で観測すると良く見える。そこで、図10に SOHO で観測した極端紫外線(電離ヘリウムの 304\AA 輝線)の画像を示す。図10の太陽画像は上が北極、下が南極に対応しており、北半球に極から中緯度まで達する大規模なコロナホールが存在することがわかる。また、南半球の部分に重ねて表示されている白黒画像は図9の 100 枚合成後の $H\alpha$ 線画像であり、青色の線で縁取られた四角形は、 $H\alpha$ 線画像が SOHO 画像のどこに対応しているかを示す領域である。

SOHO 画像と 100 枚合成後の $H\alpha$ 線画像を比較すると、コロナホールに対応した部分が黒くなっているようにも見える。しかし、 $H\alpha$ 線画像の左側が明るくなっており、正しいフラットフィールドで割り算できておらず、ムラが生じた可能性もある。したがって、これではコロナホールが検出できたとは断言できない。そこで、別の方向から考察することにした。

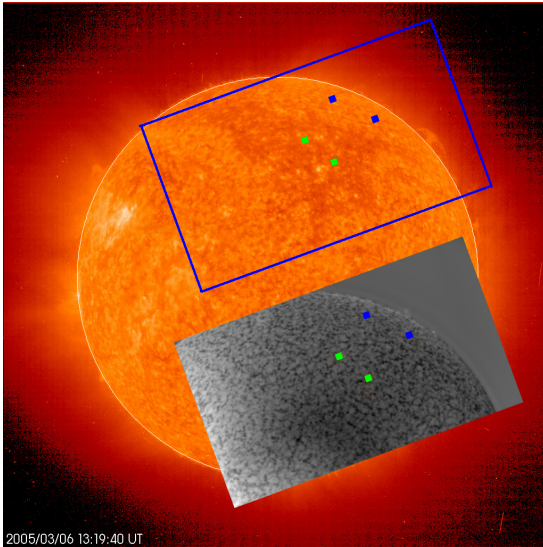


図 10 SOHO で観測した極端紫外線画像と H α 線画像を比較したもの。図は上が北に対応しており、SOHO 画像より北半球に極から中緯度にまで達する大規模なコロナホールが出現していることがわかる。南半球の部分に重ねて表示されている白黒画像は図 9 の 100 枚合成後の H α 線画像であり、青色の線で縁取られた四角形は、H α 線画像が SOHO 画像のどこに対応しているかを表す領域である。

4. 2. 明るさの分布での比較

Marsh(1977)は H α 線と同様に彩層線である K 線で観測し、コロナホール内・外の明るさのヒストグラムを作ると分布の幅に差があると報告している。そこで、コロナホール内・外に面積の等しい領域を定めそこで光の強度のヒストグラムを作ってみた(図 10 の緑の領域がコロナホール内で、青の領域がコロナホール外)。そのヒストグラムを図 11 に示す。図 11 の赤い曲線がコロナホール内、青い曲線がコロナホール外である。図 11 を見ると実際にコロナホールの中では分布の幅が広がっていることがわかる。すなわち、明るさで比較するのではなく、明るさの分布の幅で比較すればコロナホールが検出できる可能性がある。また、分布の幅を表す量としては分布の標準偏差が考えられる。そこで、図 9 の 100 枚合成後の画像を 25 \times 25 ピクセルのモザイク画像にして、その範囲内での光の強度分布の標準偏差の画像を作成し、SOHO 画像と比較した(図 12)。

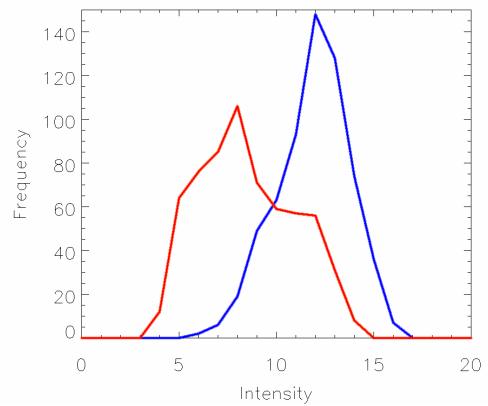
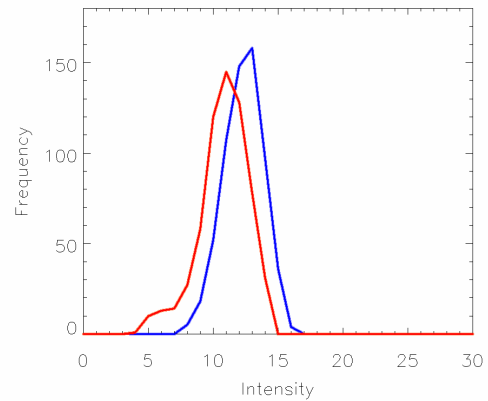


図 11 図 10 に示した緑の領域と青の領域内の明るさの分布の比較。横軸が光の強度、縦軸が頻度で、赤線がコロナホール内、青線がコロナホール外を表している。図よりコロナホール内の分布の幅の方が外より広いことがわかる。

すると、SOHO 画像でコロナホールに対応している領域が明るく表示されている(すなわち標準偏差が大きくなっている)ことがわかる。したがって、光の強度ではコロナホールは検出できなかったが、光の強度分布の標準偏差で見ると H α 線でもコロナホールが検出できることが示された。なお、この結果がモザイクのピクセル数に依存しないか調べたが、ピクセル数を 10 \times 10 から 50 \times 50 まで 5 刻みで変えても同様の結果が得られた。また、標準偏差ではなく(最大値-最小値)で分布の幅のマッピングを描いても同様の結果が得られた。

しかし、今回は不幸にして一回しか観測を行っていない。今後は観測回数を増やして同様の結果が得られるか確認していく必要がある。

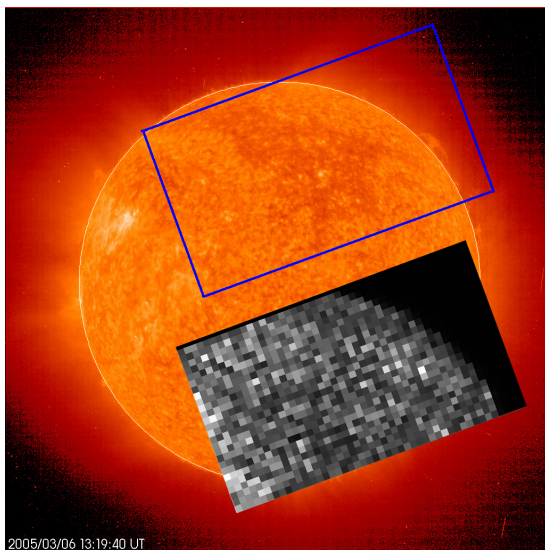


図 12 図 9 の 100 枚合成後の画像を 25×25 ピクセルのモザイク画像にして、その範囲内での光の強度分布の標準偏差の画像を作成し、SOHO 画像と比較したもの。なお、モザイク画像では標準偏差が大きかった領域が白く、狭かった領域が黒くなるようなグレースケールで表している。SOHO 画像でコロナホールに対応している領域が明るく表示されていることがわかる。

5. まとめ

コロナホールとは X 線や極端紫外線で見える太陽コロナ内の暗く広がった領域のことである。そして、コロナホールは $H\alpha$ 線や K 線といった彩層から放射される光で

は見えないとされてきた。しかし、この報告は 1970 年代に X 線画像と彩層線写真を目視で比較してなされたものであり (Vaiana et al.1973)、詳細な比較がなされたとは必ずしもいえない状況にある。

一方、現在は CCD カメラで観測した画像に高度な画像処理をほどこすことにより、以前では考えられなかったような詳細な比較を行うことができる。そこで、我々は本当に $H\alpha$ 線ではコロナホールが見えないのか調べるために、本校の望遠鏡に $H\alpha$ フィルタをとりつけ CCD カメラで観測を行った。

まず、観測された 100 枚すべての画像から周縁減光を引き算し淡い模様を強調した。その後 100 枚すべてを加算し S/N を上げた。そして、その画像と人工衛星 SOHO の観測から得られたコロナホールの画像とを比較してみた。その結果、 $H\alpha$ 線の光の強度図ではコロナホールに対応するものは見られなかったが光の強度分布の標準偏差図にはコロナホールに対応する模様が見えていることがわかった。したがって、光の強度分布の標準偏差で見ると $H\alpha$ 線でもコロナホールが検出できることが示された。

しかし、今回は不幸にして一回しか観測を行っていない。今後は観測回数を増やして同様の結果が得られるか確認していく必要がある。

<参考文献>

Marsh, K. A. 1977, Sol. Phys., **52**, 343

Vaiana, G. S., Krieger, A. S., and Timothy, A. F. 1973, Sol. Phys., **32**, 81

現代天文学 ウンゼルト著 小平桂一訳 岩波書店

太陽(現代天文学講座 5) 平山淳編 恒星社

天文年鑑 2005 年度版 天文年鑑編集委員会編 誠文堂新光社

SOHO ホームページ <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>