

太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発～精度向上を目指して～

○宮良碧、浜屋ひかり、小野寺幸子(明星大学)、
萩野正興、篠田一也、日比野由美(国立天文台)、一本潔、大辻賢一、木村剛一(京都大学)、
山本大二郎、野澤恵(茨城大学)、三浦則明(北見工業大学)

概要(Abstract)

光学望遠鏡が大型化される昨今において大気擾乱による像劣化の情報が重要になる。そこで、我々は太陽像の特にリムを用いたシーイング測定法を開発してきた。この手法の精度向上を目指して、シンチレーションモニターSHABARでの観測や京都大学飛騨天文台SMART望遠鏡で高速撮像されたイメージを用いた像回復方法との比較を行った。本稿ではこれらの結果を報告し、将来大型望遠鏡計画や高速撮像への応用を議論する。

1. はじめに

光学望遠鏡を用いた天体観測において地球大気の揺らぎによる屈折率の変化は精度の高い観測の妨げになる。特に、望遠鏡が大型化する昨今においては補償光学やシーイング・モニターなどの技術が必要不可欠となっている。先行研究として、広島大学の上田の修士論文による恒星観測から点像関数を求めシーイングを評価する方法がある。また、北海道大学の合田の修士論文による北海道名寄市のピリカ望遠鏡で観測した木星の表面模様をハッブル望遠鏡での観測と比較して大気擾乱を測定する方法が開発されてきた。しかし、これらの装置は高額で大型のものが多く、大学の研究室レベルで扱えるほど一般的とは言えない。そこで我々は太陽像からシーイングのサイズを測定する手法を開発してきた。

2. 観測

本研究では京都大学理学研究科附属飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡(通称: SMART 望遠鏡、図1左)で得られた2種類の太陽像を用いる。一方はT1/SMARTによるH α 線太陽全面像観測(通称SDDI: Solar Dynamics Doppler Imager)のオフライン観測+3.5Å像(露出時間: 3m秒、ピクセル分解能: 1.23秒角/ピクセル)である(図1中)。他方は、T3/SMARTによるH α /連続光高速撮像観測(通称FISCH: Flare Imaging System in Continuum and H-alpha)で撮影された太陽のH α 線像である(図1右)。本研究に用いたデータの観測日は2018年5月14日である。これらの望遠鏡のスペックを表1と表2にまとめる。

表1 T1/SMARTのスペック

対物レンズ	有効口径	200 mm
	使用時口径	200 mm
	レンズ数	3
焦点面画像	画角	2300 arcsec
	波長変化対象角度(直径)	2000 arcsec
	けられなき画角	2300 arcsec
	使用波長	6562.81
フィルター	フィルタータイプ	Lyot
	フィルター口径	40.0 mm
	フィルター結晶部長	191.8 mm
CCD	半値幅	0.25 Å
	サイズ(一辺)	36 mm
	画素数	4000×4000
	最高時間分解能	2秒
光学系	合成焦点距離	3228.63
	合成Fナンバー	16.14

表2 T3/SMARTのスペック

対物レンズ	有効口径	200mm
	画角	2300arcsec
焦点面画像	使用波長	6562.81
	フィルタータイプ	Lyot
フィルター	フィルター口径	40.0mm
	フィルター結晶部長	191.8mm
	半値幅	0.25 Å
CCD	サイズ(一辺)	36 mm
	画素数	4000×4000
光学系	最高時間分解能	2秒
	合成焦点距離	3228.63
	合成Fナンバー	16.14

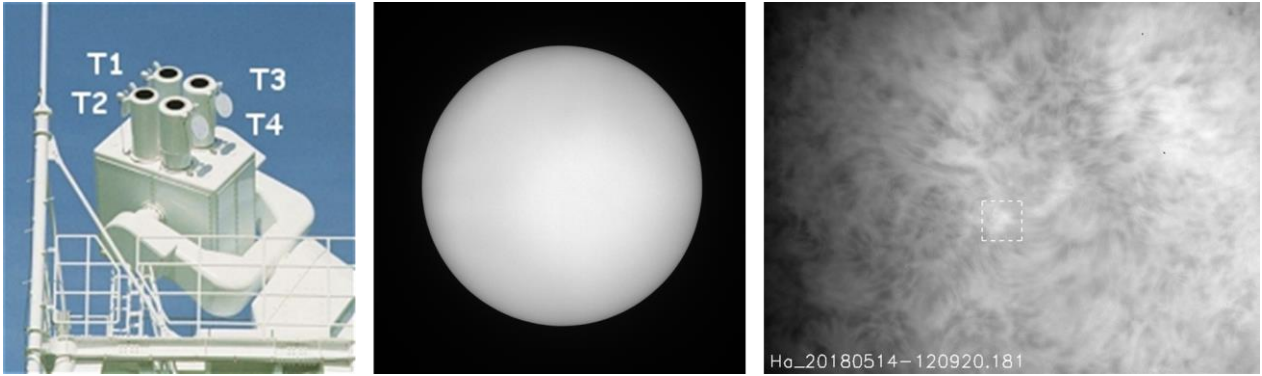


図1 (左) SMART 望遠鏡、(中) T1 で得られた太陽光球、(右) T3 で得られた太陽彩層。

3. 解析

太陽リムの凹凸を用いたシーイングの導出では、定性的に観測者の直感的なシーイングの状態と一致する（例えば黒点のスケッチ観測の場合に空の状態を記す場合など）が、大気の擾乱を表すフリード・パラメータとして定量化する場合には数学的な定義の曖昧さがある。これを表現する方法として、観測された太陽リムのコントラストと像のシャープさを用いてフリード・パラメータを計測する方法を開発した。ここではこれを Miyara Method と呼ぶ。この結果を図2に示す。

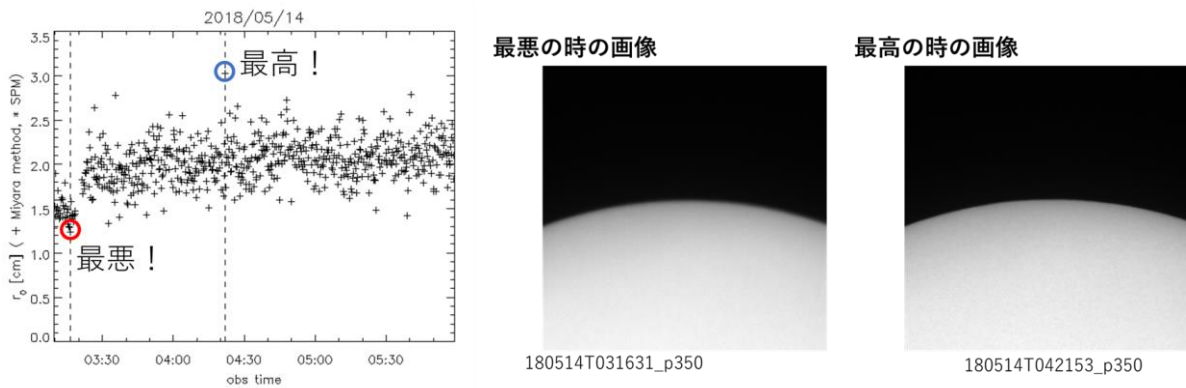


図2 (左) Miyara Method で求めたフリード・パラメータの時間変化。(中) 最も悪いシーイングの像。(右) 最もシーイングが良いときの像。これらを見比べるとリムのシャープさが違うことが分かる。

もう一方の解析には一本(2013)が開発したスペックルマスキング法で得られるフリード・パラメータを用いる。スペックルマスキング法はこの論文を引用すると「観測対象が変化しないと考えられる時間内に、短時間露出でかつ大気揺らぎの状態が独立と考えられる時間間隔において画像を多数枚取得し個々の画像をフーリエ変換して観測対象の各周波数成分の振幅と位相を多数のサンプル情報から推定し、それを逆フーリエ変換して本来の対象画像を復元する」というものである。本研究では計算時間短縮のため図1右の破線で示す範囲のみを用いた。

4. 結果

図3には2018年5月14日のデータを用いた Miyara Method とスペックルマスキングで得られるフリード・パラメータの比較を示す。この左図では両者の値は2倍程度違うものの、同じタイミングで増

減する時間変化を示した。右図はスペックルマスキングの値を2倍して、Miyara Method に合わせた場合の相関図である。この相関係数は0.22であった。実線は回帰直線を示し、破線は 1σ である。また、一点破線は傾き1の直線である。この回帰直線の傾きは優位なものとは言えないが、正の相関の傾向を示した。

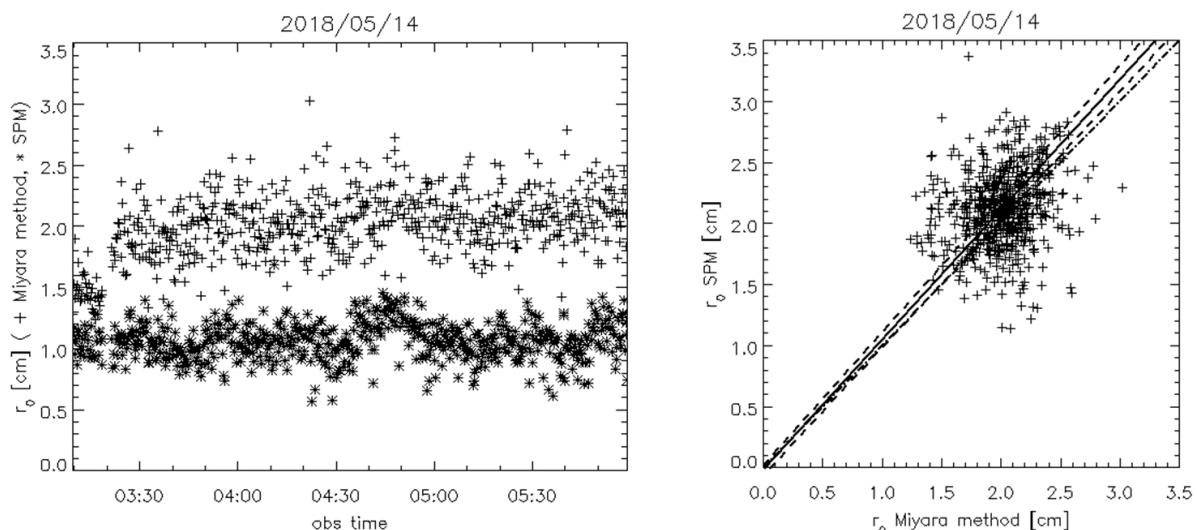


図3 (左) Miyara Method で求めたフリード・パラメータ (+) とスペックルマスキングで求めたフリード・パラメータ (*) の時間変化。(右) スペックルマスキングでの値を2倍したときの相関図。

5. 検証

ここでは Miyara Method の精度を確認するため 2017 年 11 月 24 日の太陽観測衛星 SDO(Solar Dynamic Observatory)に搭載された HMI(Helioseismic and Magnetic Imager)の太陽全面像(図4左)を用いて検証を行った。SDO はスペース観測のため、地球大気のシーイングの影響を受けない。このデータに Miyara Method を施した場合、光学系が完全なセッティングであれば求まるフリード・パラメータの値は SDO/HMI の口径 14cm になると考えられる。

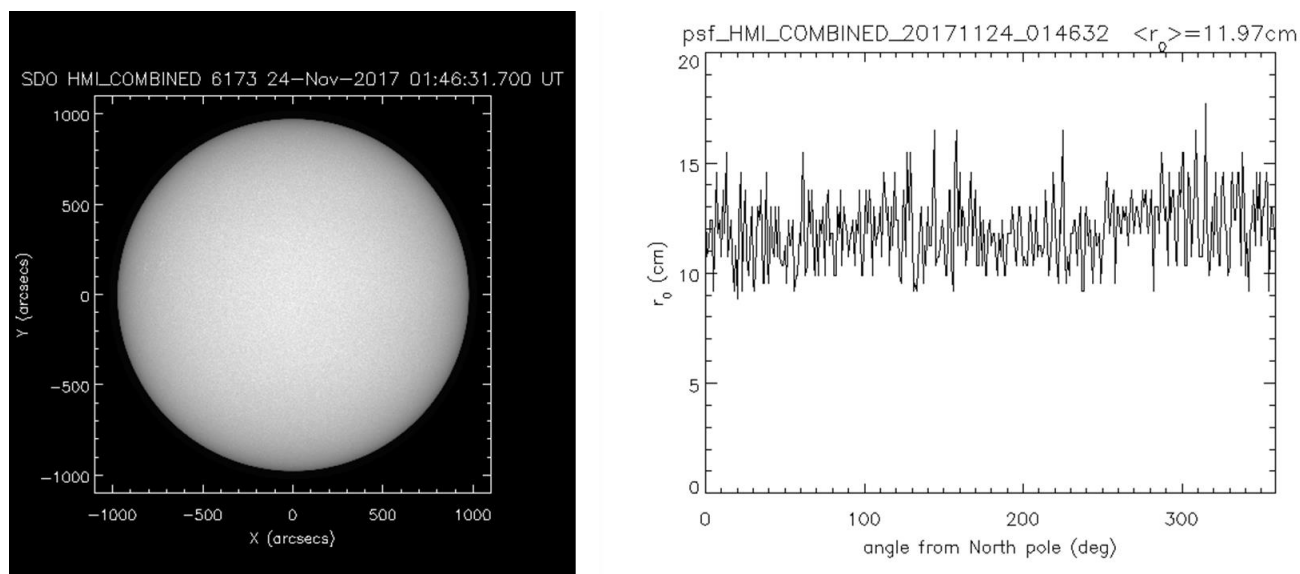


図4 (左) 2017 年 11 月 24 日 01:46:31 に SDO/HMI で観測された太陽光球像。(右) Miyara Method により得られた各緯度(横軸は北極からの角度)でのフリード・パラメータ。

しかし、導かれたフリード・パラメータの値は約 12cm であった。これは望遠鏡の口径 14cm よりも小さい値である。

6. 議論

本研究においては全く異なる Miyara Method とスペックルマスキングという 2 つの手法で求めたフリード・パラメータを比較した。この 2 つの解析方法による結果の値は異なるが同様に増減する時間変化を示した。この二つの解析方法で導出した値の違いは以下の理由が考えられる。

- ・用いたデータを取得している光学系と波長が違う。
- ・解析に使用した視野が違う。

フリード・パラメータは波長や場所によって値が違う。本研究では 5 月 14 日の 1 日分のデータしか扱っていないので、今後キャリブレーションを含む統計的な解析が必要である。

一方、SDO/HMI のデータを用いた検証においては、予想される値よりも小さな値を示した。予想していた値は回折限界のものであり理論値である。SDO/HMI の光学系の劣化や元々ある望遠鏡の収差などが反映されている可能性がある。また、Miyara Method にも議論しきれていない問題が存在する可能性がある。このためにも統計的な解析が必要であり、我々はこの解析の準備を進めている。

参考文献

- 一本潔、川手朋子, 2013 年, 京都大学大学院理学研究科附属天文台技報
上田篤, 2003 年度, 広島大学大学院理学研究科 修士論文
合田周平, 2016 年度, 北海道大学大学院理学研究科 修士論文
山本大二郎, 2017 年度, 茨城大学大学院理工学研究科 修士論文
浜屋ひかり, 2017 年, 天文学における技術シンポジウム
宮良碧, 2017 年, 天文学における技術シンポジウム

謝辞

本研究は科研費

「分光観測を深化させた太陽観測システムの科学教育への導入」(代表: 野澤恵、研究課題番号: 17K00958) により遂行されています。