

# 太陽シンチレーション観測の妥当性検証及びシーイングの定量化

○山本大二郎、野澤恵（茨城大学）、一本潔、仲谷善一（京都大学飛騨天文台）、三浦則明（北見工業大学）萩野正興（国立天文台）浜屋ひかり、宮良碧（明星大学）

## 概要

地上観測における空間分解能は、シーイングに依存する。そのため、シーイングを定量化する研究が進められている。その中でもシンチレーション観測は、太陽光強度の微小変動から高度ごとのシーイングが推定可能である。本研究では、太陽シンチレーションシステムの確立を目的としている。太陽シンチレーションモニタ SHABAR (SHAdow-BAnd-Ranger) と、波面センサーを用いたシーイング測定手法 SLODAR (SLOpe-Detection-And-Ranging) との同時観測による測定値の妥当性検証及び、茨城大学・飛騨天文台・乗鞍コロナ観測所でのシーイング測定結果について報告する。

## 1. 背景・目的

地上観測では、対流圏内の大気擾乱からの屈折率の不均一により、対象天体からの光は歪んだ波面となり星像の位置と光強度に揺らぎが生じる。その際の大気による影響をシーイング、大気による星像の光強度揺らぎをシンチレーションと本研究では定義する。望遠鏡のサイト調査の際にはそれらを観測し、定量化することが重要である。SHABAR (図 1 左) は、異なる間隔で設置された複数の光センサーによりシンチレーションを観測する装置である。異なるセンサー間ごとの共分散から、屈折率構造関数  $C_n^2(h)$  と呼ばれる高度  $h$  に依存した大気擾乱の情報を取得でき、 $C_n^2(h)$  を導出することでシーイングの定量化が可能である。本研究ではシンチレーションモニタを使用し、高度ごとの大気擾乱の推定、シーイングの定量化システムの構築を目的としている。

## 2. 解析

$C_n^2(h)$  の推定は主に ATST (現 DKIST) のサイト調査グループが作成した “Deriving  $C_n^2(h)$  from a Scintillometer Array” と Hickson and Lanzetta (2004) を参考にしている。 $C_n^2(h)$  の導出は、

$$B_I(r) = 0.38 \int_0^{\infty} C_n^2(h) K(h, r) dh \quad ,$$

を用いる。このとき、 $B_I(r)$  はセンサー間距離  $r$  ごとの共分散の観測値、 $K(h, r)$  は高度  $h$  とセンサー間距離  $r$  に依存した共分散のモデルである。モデルを観測値にフィッティングさせることにより  $C_n^2(h)$  を求める。また、シーイングの定量化としてフリードパラメータ  $r_0$  を用いる。 $r_0$  は、観測条件を口径  $r_0$  [m] の望遠鏡の回折限界として表すパラメータである。波長を  $\lambda$ 、天頂角度を  $\zeta$  とし、 $C_n^2(h)$  を用いて、

$$r_0(h) = 0.18466 \lambda^{\frac{6}{5}} (\sec \zeta)^{-\frac{3}{5}} \left[ \int_h^{\infty} dh C_n^2(h) \right]^{-\frac{3}{5}} \quad ,$$

で表される。したがって、 $C_n^2(h)$ を精度良く推定することができれば、正確な $r_0$ を計算することができるといえる。

### 3. 太陽 SLODAR と SHABAR の同時観測

SHABAR の観測・解析の妥当性を検証するために 2017 年 06 月 05 日 06:13-18:00 (JST)、場所は京都大学大学院附属飛騨天文台で SLODAR との同時観測を行った。観測時は太陽を追尾するために SHABAR を赤道儀に設置した望遠鏡に固定した(図 1 中央)。図 1 右は、同時観測時の様子である。奥にドームレス太陽望遠鏡(DST:Domeless Solar Telescope)があり、手前に赤道儀・望遠鏡に設置された SHABAR が観測を行っている。また、SLODAR は北見工大の三浦氏が DST を用いて行っている。比較するパラメータは、高度 0-1000m 内の $C_n^2(h)$ の平均値である。図 2 は、SLODAR と SHABAR の $C_n^2(h)$ の平均値を比較した結果である。両手法による $C_n^2(h)$ の平均値の相関係数は 0.82 と正相関を示した。SLODAR の値が全体的に大きくなっているが、望遠鏡及び塔起因のシーイング、観測室内のシーイング等が無視できなかつた可能性が高い。値の時間変化は相関があることを考慮すると、茨城大学が所有する SHABAR はシーイングの測定が可能であると考えられる。



図 1 左：シンチレーションモニタ 中央：観測風景 右：SLODAR との同時観測風景

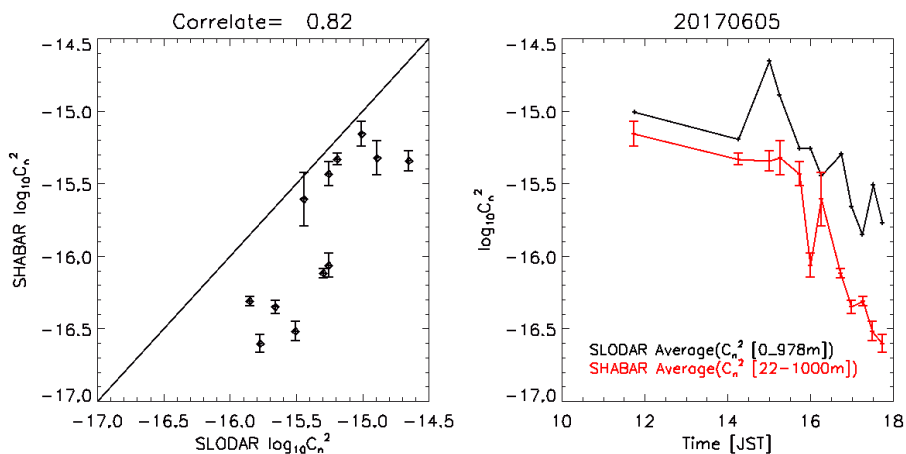


図 2 左：SLODAR と SHABAR の $C_n^2$ の平均値の散布図 右：SLODAR と SHABAR の $C_n^2$ の平均値の時間変化

#### 4. 3つのサイトでのシーイング測定結果

茨城大学・飛騨天文台・乗鞍コロナ観測所でのSHABARによる観測を行った。観測概要は、表1の通りである。また、図3に各観測日・場所で観測した $C_n^2(h)$ の平均値、図4に $r_0(h)$ の平均値を示す。高度ごとの分布は各サイトで定性的に類似し、他のサイトとは異なる分布を示した。季節・観測時間帯が異なるため、サイト調査に使用できるような議論はできない。しかし、各サイトでSHABARによる定常的・長期的観測を行うことでシーイングのサイト特性を調査できると考える。

観測日	観測時間 [JST]	観測場所	天気
2016/12/02	8:15 - 16:00	茨城大学	快晴
2016/12/03	8:30 - 14:45	茨城大学	晴れ後曇り
2017/06/05	6:15 - 18:00	飛騨天文台	曇り後晴れ
2017/06/06	6:45 - 13:15	飛騨天文台	晴れ後曇り
2017/09/02	8:00 - 12:50	乗鞍コロナ観測所	晴れ後曇り

表1：観測概要

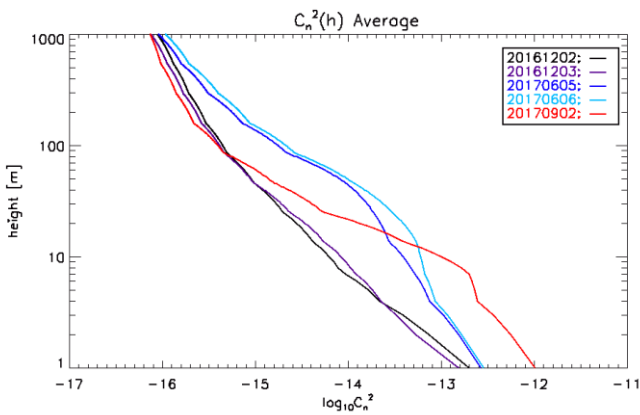


図3：各観測日・場所の $C_n^2(h)$

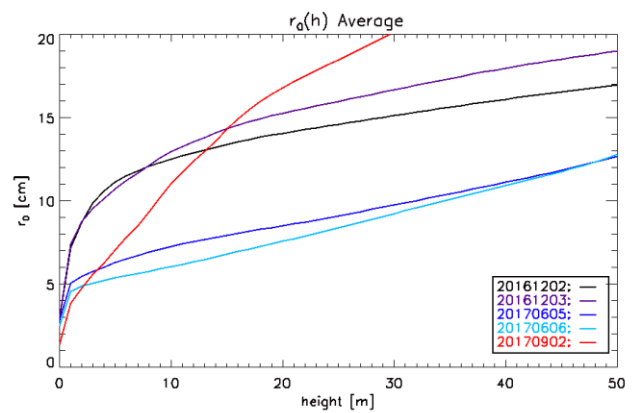


図4：各観測日・場所の $r_0(h)$

#### 5. 参考文献

- F.Hill, R.Radick and M.Collados, “Deriving  $C_n^2(h)$  from a Scintillometer Array”, ATST Site Survey Working Group Final Report. ATST Proj. Doc., 14, 2003
- Hickson.P., and K.Lanzetta, “Measuring Atmospheric Turbulence with a Lunar Scintillometer Array”, PASP, 116, 1143-1152, 2004