

太陽シンチレーション観測を用いた大気擾乱の定量化

○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）、萩野正興（国立天文台）

概要

地上観測における空間分解能はシーイングに依存してしまう。そのため、シーイングの原因のひとつである大気擾乱を定量的に示し、空間分解能の向上を目的とした研究が進められている。本研究では、大気擾乱による太陽光強度のわずかな変動を観測するシンチレーションモニタを使用し、高度ごとの大気擾乱を推定し、シーイングを定量的に測定する。本講演では、その初期成果として茨城県水戸市上空を観測した結果を報告する。

1. 背景・目的

地上観測では、対流圏内の大気擾乱により屈折率の不均一が起こり、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、定量化することは重要である。シンチレーションモニタ(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。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. 使用するパラメータ

本研究では、シンチレーションを(光強度の標準偏差)/(光強度の平均)で表している。 $C_n^2(h)$ の導出過程は 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理論値である。理論値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り、波長を λ 、天頂角度を ζ として以下の式で計算することができる。

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

3. 観測

観測日時は 2016 年 12 月 02 日 08:13-16:00 (JST)、場所は茨城大学水戸キャンパス理学部 G 棟(4 階建)屋上(図 1 右)で行った。太陽を追尾するために検出器は赤道儀に設置した望遠鏡に固定した(図 1 中央)。光量は 16bit-AD 変換、サンプリング Hz は 5000 Hz で取得した。



図 1 左：シンチレーションモニタ 中央：観測風景 右：観測場所風景(茨城大学 G 棟屋上)

4. 観測結果

図 2 は、観測日の 2 秒ごとの光強度とシンチレーションである。観測ソフトが止まるなどした時間帯は空白となっている。図 2 を見て分かるとおりの光強度に大きな変動はなく観測日の天気は快晴であった。また、シンチレーションは太陽高度と共に正午付近をピークとしてアーチ状に変化している。シンチレーションが大きいことは大気の影響が大きくなることを示す。これは、本結果は太陽高度が大きくなると大気の影響が大きくなることを示している。また、時間帯ごとの $C_n^2(h)$ (図 3) から、8 時から 12 時の間に大気擾乱が徐々に大きくなっているのが見られる。特に、高度 10 m 以下で $C_n^2(h)$ が大きくなっている。観測場所は、地面がコンクリートであり地表付近での上昇気流による影響が大きいと考えられる。これより、太陽高度が大きくなるに従って地表が温められ、大気擾乱が大きくなりシンチレーションが増したと解釈することができる。

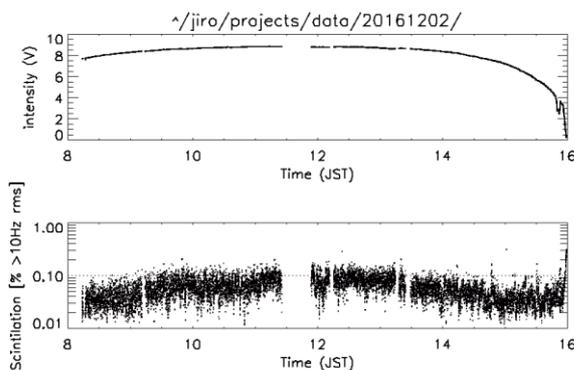


図 2 上：光強度 下：シンチレーション

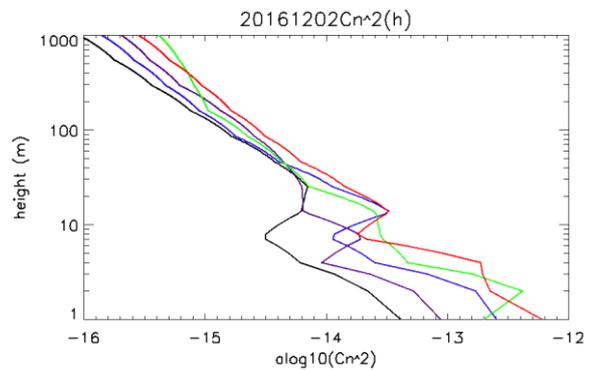


図 3 : 時間帯毎の $\log_{10} C_n^2(h) [m^{-\frac{2}{3}}]$

黒：8時、紫：9時、青：10時

緑：11時、赤：12時

1 分ごとの r_0 (図 4 左)は、15 時以降で 6.5 cm まで大きくなり、0.1 cm まで小さくなる様子が見られる。これらは大気擾乱によるもの光強度変動に加えて、太陽高度が小さくなり大気の光吸収・散乱による影響も受けているため不正確な値であると考えている。15 時以降の値を除くと本観測の r_0 は 0.8 cm から 5.5 cm の間で変化し、中央値は 2.6 cm となった。ヒストグラムを作成すると、1.4 cm から 3 cm の間で r_0 が頻出することが分かった。これまで茨城大学で太陽観測を行ってきた経験則から r_0 は 6 cm 以下であると考えられていたため、本観測の結果は妥当な値を導出することができた。

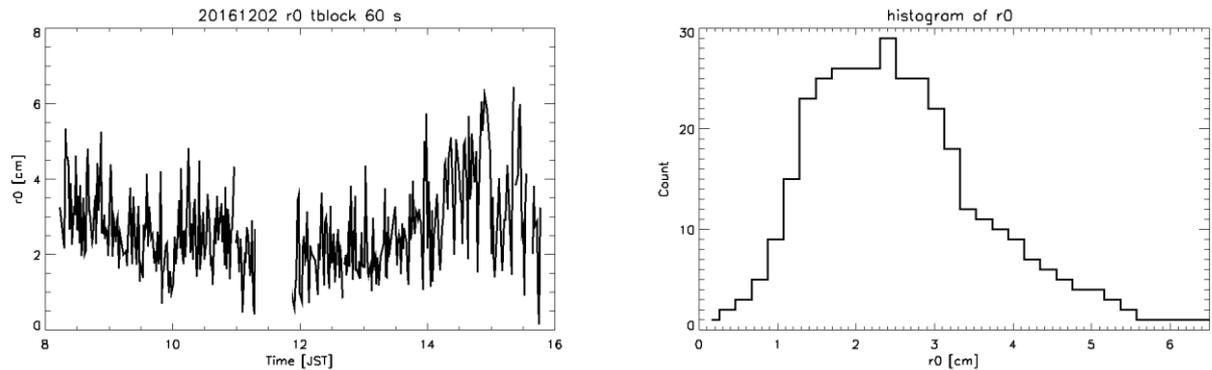


図 4 左 : 1 分ごとの r_0 時間変化 右 : 1 分ごとの r_0 のヒストグラム

5. 今後の展望

本観測では、結果を定性的や経験則のみの評価であるため、導出したパラメータの信頼性の検証に関して不十分である。今後は太陽二次元像からシーイングを評価でき、シンチレーションモニタよりも信頼性の高い DIMM や波面センサーとの同時観測や高度ごとの温度分布測定から得た値と比較するなど定量的な比較・検証をすべきと考えている。

6. 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

Hickson. P., and K.Lanzetta, " Measuring Atmospheric Turbulence with a Lunar Scintillometer Array" ,PASP Vol. 116, 1143-1152 (2004)