

岡山天体物理観測所の簡易シーイング統計

柳澤顕史 (OAO/NAOJ)、下農淳司 (京都大学)

研究協力者：泉浦秀行、吉田道利、増田盛治、渡邊悦二、山下卓也、西原英治、清水康広
大谷浩、菅井肇、佐々木実、石垣剛、林忠史、尾崎忍夫、服部堯、石井元巳、河合篤史

2001年8月27日

概要

岡山天体物理観測所 188cm 反射望遠鏡のカセグレン・オートガイダで取得した星像半値幅のデータからシーイングサイズの統計をとった。その結果、 $0.66\mu m$ におけるシーイングサイズの最頻値は 1.4 arcsec 、sub-arcsec のシーイング環境は 10% の頻度で出現することが判明した。取得したデータををもとに $2.15 \mu m$ のシーイング環境を推測したところ、最頻値は 1.1 arcsec 、また sub-arcsec となる頻度は 30% であることがわかった。

1 はじめに

図 1 に示すように、岡山天体物理観測所 188cm 反射望遠鏡で観測したところ、sub-arcsec のシーイングであったとの報告が最近よく聞かれるようになった。観測時のシーイングがよいことが意識され始めたのはじつは、HIDES の焦点ユニットが更新され、クーデの望遠鏡焦点をあわせる時に星像の半値幅を定量評価¹するようになってからである。

それまで、岡山のシーイングはたまに良いことはある、とはいわれていたけれども、特に良いと意識されたことは無かった。ここに、観測者のシーイングサイズに対する意識と実測値の間に差がある。これは、岡山における主たる観測手段が分光であり、星像径を数値で評価する機会が少なかったことが原因のひとつであろうが、撮像観測が全くおこなわれなかったわけではない。画像データを見た観測者から、“シーイングが良かった”という声あまり聞かれないところをみると、観測で得られた積分画像の星像径は小さくは無いのであろう。

“シーイングは良いが、積分画像の星像直径がおおきい”、という事実を解釈すると、焦点調節が甘い、とか、オートガイダのガイドエラー・フィールドバックの際に人為的ないしは機械的原因により星像を拡げてしまっているかもしれない、などという推測もできるが、先ず手始めに岡山天体物理観測所におけるシーイングサイズを定量的に評価する必要がある。

これまで、岡山観測所では浦口史寛氏²を中心として Differential Image Motion Monitor によるシーイング評価をすすめてきた ([1],[2]) が、188cm 望遠鏡の占有時間を確保する必要があり、残念ながらあまり多くのデータは蓄積されていない。そこで、今回は 188cm 反

¹泉浦、増田がクーデ焦点調整の機能を含むクーデ焦点ガイド系ソフトウェアの設計製作をおこなった。

²2001年8月より、ハワイ観測所へ異動。ura@subaru.naoj.org

射望遠鏡のカセグレン・オートガイダの出力データを利用した。カセグレン・オートガイダは、ガイド時にガイドエラー、ガイド星の明るさ、ガイド星の半値幅を求め、HDに記録している。このデータは1997年より今日にいたるまで50夜程度蓄積されており、統計をとるには充分である。そこで、簡易解析を行った結果を報告する。

2 観測データと処理

2.1 Cassegrain Auto Guider

カセグレン・オートガイダ³はカセグレン焦点部に設けられたオフセット型式のオートガイダである。カセグレン焦点で利用しているのは、中心からおよそ2 arcminの範囲なので、その外側に結像する星をガイドできるように、X-Y stageにのせられたプローブが動くようになっている。良像範囲外なので、星像にはコマ収差が見られるが、ガイドをする限りは問題にならない。なお、受光部は市販のCCDカメラ(表1参照)を利用している。CCDカメラにはフィルターをかけていない。そのため、オートガイダ系の有効波長は、レンズ系、反射系の波長特性がフラットと仮定すると、CCDの感度特性で決まることになる。CCDの有効波長 $0.66\ \mu\text{m}$ である。

オートガイダで取得されたデータの一例を図3に示す。

表 1: オートガイダ CCD カメラ 諸元

CCD	TC-211
Manufacturer	Texas Instruments
Illuminaton	Front-side
Sensitive area	2.62 mm × 1.64 mm
Format	192 × 165
F.O.V.	48.0 arcsec × 47.9 arcsec
Pixel size	13.65 μm × 16.0 μm 0.25 arcsec × 0.29 arcsec
Effective wavelength	0.662 μm

2.2 データの取得

カセグレン・オートガイダは、主として京都大学3次元分光器グループ⁴によって利用されている。今回は彼らの取得したデータを利用した。データは全部で50夜分(表2参照)である。なお、データ取得に際して選択した露出時間は、1秒から10秒程度と幅があるが、典型的な露出時間は3秒(図2参照)である。

³岡山天体物理観測所の渡邊悦二、山下卓也(当事)、吉田道利、西原英治(当事)、清水康廣の各氏により製作された。

⁴京都大学3次元分光器グループのメンバーは、大谷浩、菅井肇、佐々木実、石垣剛、尾崎恐夫、服部堯、石井元巳、河合篤史の各氏である。

表 2: 解析に利用したデータを取得した日付

1997	04/30, 05/01, 07/30, 07/31, 08/01, 08/03
1998	05/20, 05/21, 05/22, 05/23, 05/26, 12/16, 12/17, 12/18
1999	04/05, 04/06, 04/07, 04/08, 04/11, 04/14, 04/15, 04/16, 10/08, 12/07, 12/08, 12/09, 12/10, 12/11, 12/12, 12/13
2000	01/04, 01/07, 01/08, 01/10, 01/27, 01/28, 01/30, 01/31, 02/02, 03/30, 03/31, 04/01, 04/03
2001	07/23, 07/24, 07/25, 07/26, 07/27, 07/28, 07/29

2.3 データ処理

生データには不自然に大きな半値幅のデータが見られる事がある (図 3 参照)。自然現象に起因するとは考えにくいので、ソフト⁵によりこれを除去した。

3 結果

3.1 観測時のシーイングヒストグラム

図 4 左: にオートガイダで得られた半値幅のヒストグラムを示す。実線のヒストグラムは $0.66 \mu m$ における観測生データから作製したもので、おなじデータを $2.15 \mu m (K_s\text{-band})$ に換算したのが、灰色のヒストグラムである。換算には次の式を利用した。

$$FWHM(\lambda_1) = FWHM(\lambda_2) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

このヒストグラム作製にあたっては、天頂距離による星像劣化の寄与は取り除いていないので、実際の観測時の状態を反映したヒストグラムと考えていただきたい。このヒストグラムから、 $0.66 \mu m$ 、 $2.15 \mu m$ における最頻値は、それぞれ 1.4 arcsec 、 1.1 arcsec であることがわかる。

3.2 光学系による像劣化の寄与を取り除いたヒストグラム

図 4 右は図 4 左から 188cm 反射望遠鏡の光学収差 (ハルトマン定数 $T=0.35$) を除去したものである。Natural Seeing のヒストグラムを見ようと作製したものであるが、ドームやガイド光学系のコマ収差による星像劣化の寄与は除外できていないので、Natural Seeing はこれ以上は悪くない、という目で見て頂きたい。図 4 左と同様に、実線のヒストグラムが $0.66 \mu m$ 、灰色は $2.15 \mu m$ である。 $0.66 \mu m$ 、 $2.15 \mu m$ における最頻値は、それぞれ 1.3 arcsec 、 1.0 arcsec であることがわかる。

⁵ソフトは共著者である京都大学理学部在学中の下農さんが作製した。ソフトの中味は、局所移動平均をとり、その平均値よりも 1.7 倍以上大きな値を除去する、ものである。

3.3 累積割合

前出の2つのヒストグラムから、累積割合 (cumulative fraction) をグラフにしたのが図5である。この図から次のことがわかる。

1. sub-arcsec となる割合は、 $0.66 \mu\text{m}$ では 10%, $2.15 \mu\text{m}$ では 30% である。
2. $<1.5 \text{ arcsec}$ となる割合、 $0.66 \mu\text{m}$ では 47%, $2.15 \mu\text{m}$ では 74% である。
3. $0.66 \mu\text{m}$ におけるシーイングサイズの平均値は 1.5 arcsec で、90% の確率で $<2.5 \text{ arcsec}$ の条件で観測できる。
4. $2.15 \mu\text{m}$ におけるシーイングサイズの平均値は 1.2 arcsec で、90% の確率で $<1.9 \text{ arcsec}$ の条件で観測できる。

3.4 過去のシーイングデータとの比較

岡山のシーイングが定量評価されたのは、1950年代に国内観測所建設候補場所調査ときまで時をさかのぼる。その評価方法の詳細は藤田 [3] により報告されているので参照されたい。また、同報告はさきごろ出版された”岡山天体物理観測所 40周年記念誌”にも掲載してある。藤田によると、岡山のシーイングの年平均値 2.0 arcsec 、最頻値 2.0 arcsec 、 1.5 arcsec 以下の頻度 21%、とある。今回の調査の結果は年平均値 1.5 arcsec 、最頻値 1.4 arcsec 、 1.5 arcsec 以下の頻度 47% なので、以前の評価と比較すると、かなり良い数値が得られている。

3.5 OASIS の観測に対する影響

今回の簡易統計により、近赤外におけるシーイングがかなり良く、90%の確率で $<1.9 \text{ arcsec}$ のシーイング環境で観測できることがわかった。この事実が、OASIS の観測に問題を与える可能性が高い。

まず、OASIS の画素サイズは 0.98 arcsec/pix である。通常、画素内感度むらの影響を避けて測光精度を保つ ([4],[5])⁶ ためには、少なくとも半値幅を 2 画素でサンプルする必要がある。しかしながら、今回の解析により殆どの観測においてアンダーサンプリングとなることが判明した。現 OASIS により測光を正しくおこなうためには、半値幅が 2 画素となるように off focus 気味にする必要がある。また、OASIS のスリットサイズのうち、一番幅の狭いものは 2.4 arcsec であり、星像と比較して大きいため、波長の決定精度が劣化してしまう。

以上の問題点を根本的に解決するためには、画像スケールをシーイングサイズと比較して充分小さくする必要がある。そこで、我々は OASIS のグレードアップを計画 (森他 (2001)) している。

⁶アンダーサンプルの状態に光学系を設定したために、測光精度が不十分 (0.4 mag.) となったのは、HST に搭載された NICMOS の Cam.3 に見られる。

表 3: 岡山観測所のシーイング

波長	0.66 μm	2.15 μm
最頻値	1.4 arcsec	1.1 arcsec
平均値	1.5 arcsec	1.2 arcsec
最大値 (累積頻度 90%)	2.5 arcsec	1.9 arcsec
sub-arcsec の頻度	10%	30 %
<1.5 arcsec の頻度	47 %	74 %

4 まとめと今後の展望

解析結果まとめを表に示す。今回の簡易解析により、岡山観測所のシーイング環境はかなりよくなった。ドームに特にシーイング対策を施してはいないので、然るべき対策をとることでさらに改善できることが期待される。岡山観測所は今年の1月頃から188cm反射望遠鏡ドーム内に多チャンネル温度モニタを設置し、40カ所の温度を継続的に測定している。シーイングの良いときの温度環境とはいかなるものか、その条件をみつけることを手始めとしたい。

しかしながら、シーイングが良いことは判明したものの、これまでの観測者の意識とはズレがあり、原因は未だ明かになっていない。今後の要調査課題である。

参考文献

- [1] 浦口史寛、柳澤顕史、高遠徳尚、岡田則夫 (1999) “屋外シーイングモニタの開発”、日本天文学会秋期年会 V34
- [2] 浦口史寛 (2000) “岡山観測所環境モニタの原状について”、平成13年度岡山ユーザーズ・ミーティング, p.53.
- [3] 藤田良雄 (1956), “74 吋反射望遠鏡建設への道”, 天文月報, **49**, 119
- [4] Storrs, A., Hook, R., Stiavelli, M., Hanley, C., Freudling, W. (1999) “Camera 3 Intrapixel Sensitivity”, Instrument Science Report NICMOS-99-005
- [5] Lauer, T. R. (1999) “The photometry of undersampled point-spread functions”, *P.A.S.P.*, **111**, 1434
- [6] 森 淳, 柳澤顕史, 渡邊悦二, 清水康広, 田実晃人 (2001) “ISLE : OASIS グレードアップ計画”, 本集録

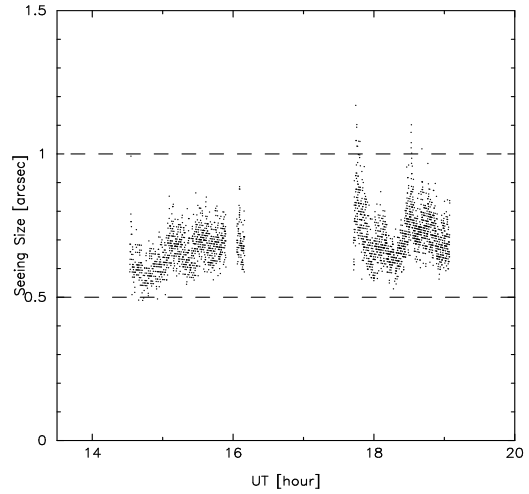
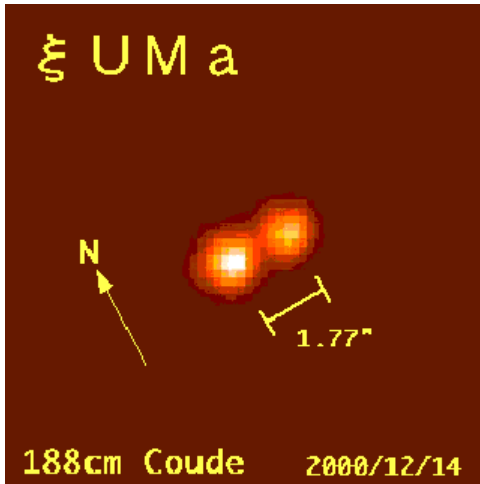


図 1: 左: 岡山天体物理観測所において sub-arcsec のシーイング環境が出現した晩に撮った画像。写真は、2000年12月14日の晩に Coude 焦点のオートガイダ用 CCD によって、泉浦が撮像したもの。露出時間は 0.5 sec。右: カセグレン・オートガイダが記録した sub-arcsec の夜。天頂距離による星像の劣化を補正してある。

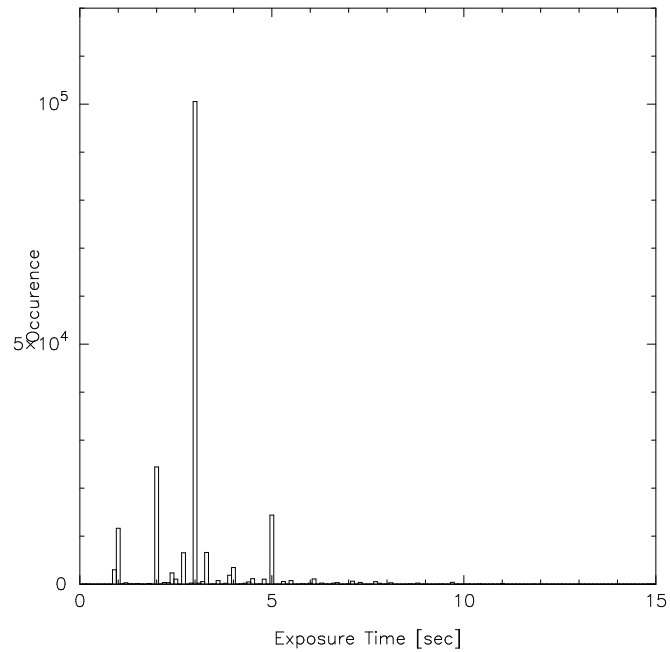


図 2: 観測時の露出時間のヒストグラム。典型的露出時間は3秒であることがわかる。

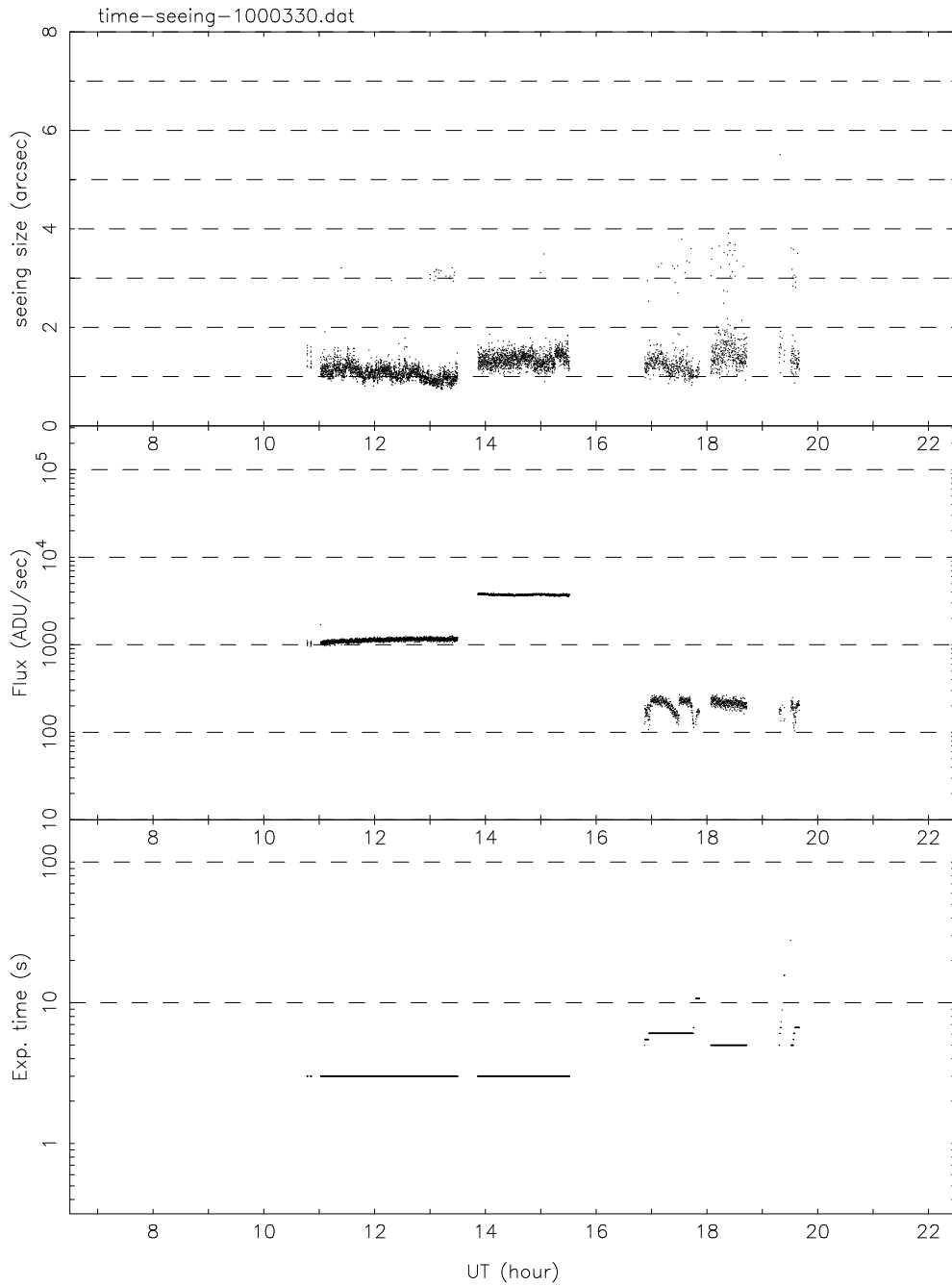


図 3: 2000年3月30日のオートガイダの出力データ。上からシーイングサイズ、ガイド星のフラックス、オートガイダの積分時間を示す。一番上のシーイングサイズのデータは、離散的になっておりときおり大きな値を示している。これは自然現象に起因するとは考えにくいので、ソフトで除去した。この場合 2.5 arcsec 以上のデータは除去される。

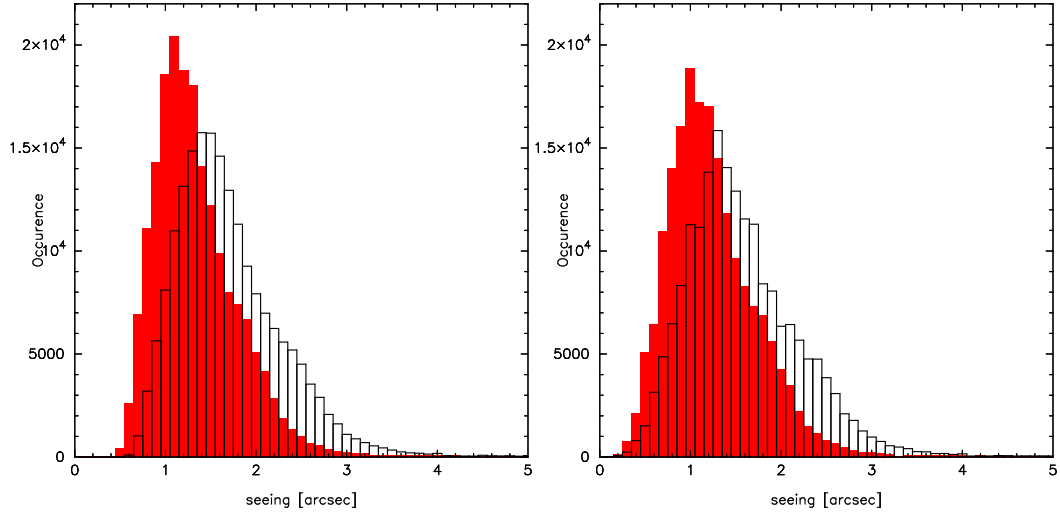


図 4: 左: シーイングのヒストグラム。実線は $0.66 \mu m$ のヒストグラムで、灰色は $2.15 \mu m$ に換算したもの。右: 左のヒストグラムより、望遠鏡の光学取差をハルトマン定数 ($T=0.35$) を用いて除去したもの。左のヒストグラムと同様に実線は $0.66 \mu m$ 、赤色は $2.15 \mu m$

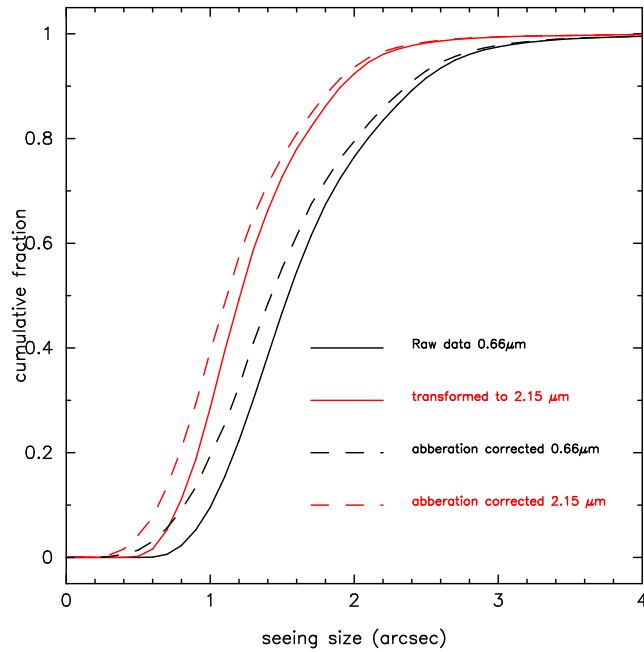


図 5: 累積割合のグラフ。sub-arcsec となる割合は、 $0.66 \mu m$ では 10%, $2.15 \mu m$ では 30% であることがわかる。