

## 2KCCD カメラのデュワー窓のくもりによる感度ムラについて（速報）\*

### 概要

2009年11月に木曾観測所で行った2KCCD解析合宿以降、2KCCDの感度ムラ（あるいはフラットの精度）について、有志で調査を進めてまいりました。その過程で、2KCCDカメラ入射窓の汚れ（あるいはくもり）に起因すると考えられる0.2等程度の大きなムラが存在していたことが判明しました。このムラは、ドームフラットなどの一様な面光源ではあまり影響が目立たないのですが（0.5%以下）、星の測光には約0.2等の強い影響があります。ただし、広がった光源であっても天体の輝度分布は歪められていると考えられます。

過去のドームフラットをさかのぼって調べたところ、2008年4月以降では、2008年8～11月と2009年8月～2010年5月あたりに入射窓の汚れの影響が出ている可能性が高いことがわかりました。このような感度ムラは、もともとフラットの検証を始めた目的とは異なる要因のトラブルですが、各種解析に大きな影響があるため2KCCDカメラユーザー各位に速報としてお知らせいたします。特に上記期間のデータをお使いの方で、0.2等以上の精度を必要とされる方はご注意ください。

汚れの形状から、入射窓に吹き付けている結露防止用の乾燥空気が何らかの形で影響しているのではないかと考えますが、詳しい原因とさらにどのような対策を取ればよいか現在検討中です。少なくとも、入射窓の清掃を定期的に行うことで今後の被害を最小限に抑えることはできると考えています。7月15・16日に行うシュミットシンポジウムでは、もう少し詳しく報告をしたいと思います。

2010年7月2日

### お問い合わせ先

木曾観測所 松永典之 (matsunaga@ioa.s.u-tokyo.ac.jp)

---

\* より詳しいレポートを以下のURLにおきましたので、合わせてご覧ください。  
[http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~nmatsuna/study/flat\\_check\\_20100702.pdf](http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~nmatsuna/study/flat_check_20100702.pdf)

### SDSS 領域の観測による感度ムラ調査の方法

感度ムラの調査のために、SDSS<sup>†</sup>カタログがカバーしている天域を観測して、SDSS の等級との比較を行います。SDSS は広い領域の天体の等級をほぼムラなく求めているので、検出器の位置によらずに星の等級が得られるかどうかをチェックするのに適しています。そのような目的で広視野カメラの感度ムラをチェックした例もすでにあります(Koch et al, 2004<sup>‡</sup>)。今回の調査では、SDSS の観測領域に含まれていて、Koch らが観測したのと同じ領域(球状星団 Palomar 5 の周囲, 15:16:05.30, -00:06:41.0)を観測しました。また、解析にはドームフラットを用いてフラット化を行いました。本レポートで報告する感度ムラはドームフラットとスカイフラットの差(約 1%)よりも大きいものなので、どちらを用いても結果はほぼ同じとなるはずで

SDSS と 2KCCD では測光フィルターが全く異なるので、変換式を求める必要があります。今回の観測から、下の図のように SDSS のカラーに対して 1 次の補正項を入れることで、精度のよい補正(残差は約 0.03 等)が出来ることがわかりました。

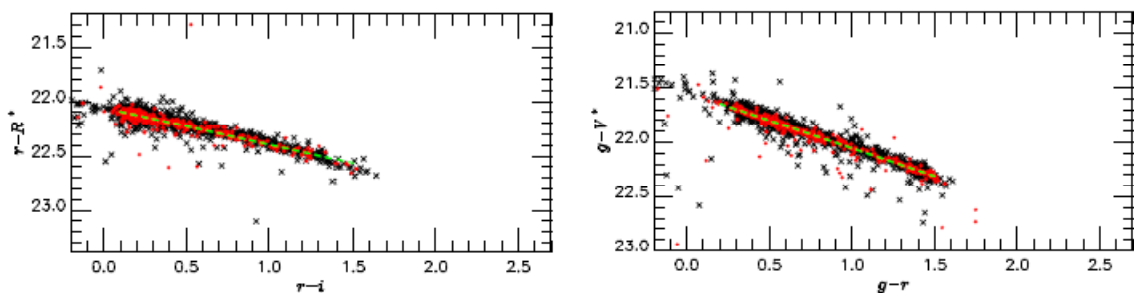


図 1: SDSS カタログと同定できた天体について、SDSS の等級と 2KCCD 機械等級との差を SDSS カタログでのカラーに対してプロットした。赤点は、[200:800,200:1800] に写っている星で、黒点はそれ以外の星。赤点に対して、変換式(緑の破線)を求めた。

上記のように測光フィルターの影響を変換式によって補正したうえで、残差が検出器の位置に依存しているかどうかを見ることで、感度ムラがあるかどうかを調べることが出来ます。感度のムラなく星の測光を行えるなら、上の図における残差が検出器の位置によらないはずで

<sup>†</sup> <http://www.sdss.org/> 本調査の解析では VizieR を通して利用可能な Photometric Catalogue (Data Release 7)を用いた。

<sup>‡</sup> Koch et al. 2004, Astron. Nachr., 325, 299—306

### 2010年4月13日の観測結果

4月13日に観測を行い、SDSS カタログによる予想等級（カラー項を補正したもの）と2KCCD カメラで得た等級とを比較したところ、下の図のようなばらつきがあることがわかりました。検出器中央部から縦に分布している星が0.2等ほど暗くなっていることがわかります（ $\epsilon = [\text{SDSS から予想したその星の等級}] - [\text{2KCCD での機械等級}] + [\text{定数}]$ ）。検出器をシフトさせてデータを取っても、検出器の位置に対するムラの形状が変わらないので、星の性質などではなく、光学系で生じてしまっているムラだと考えられます。また、この調査ではVバンドとRバンドでの観測を行いました。いずれのバンドでも同じような形状のムラを検出しました。

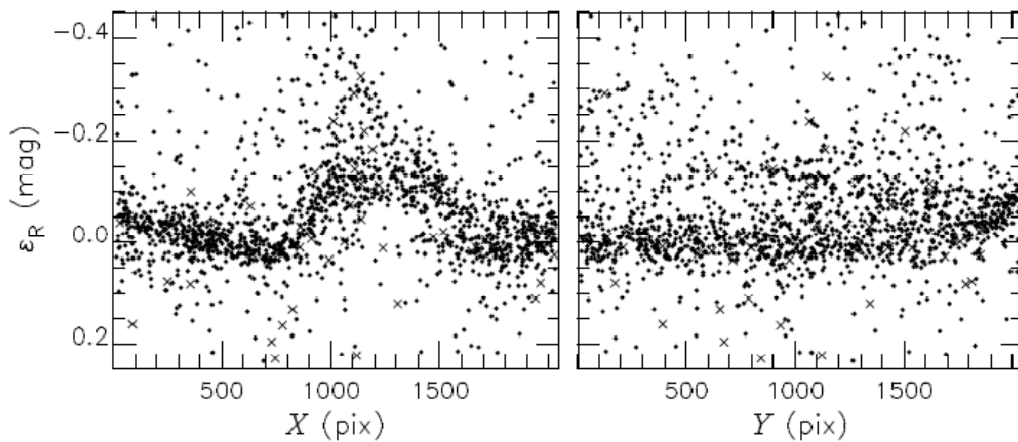
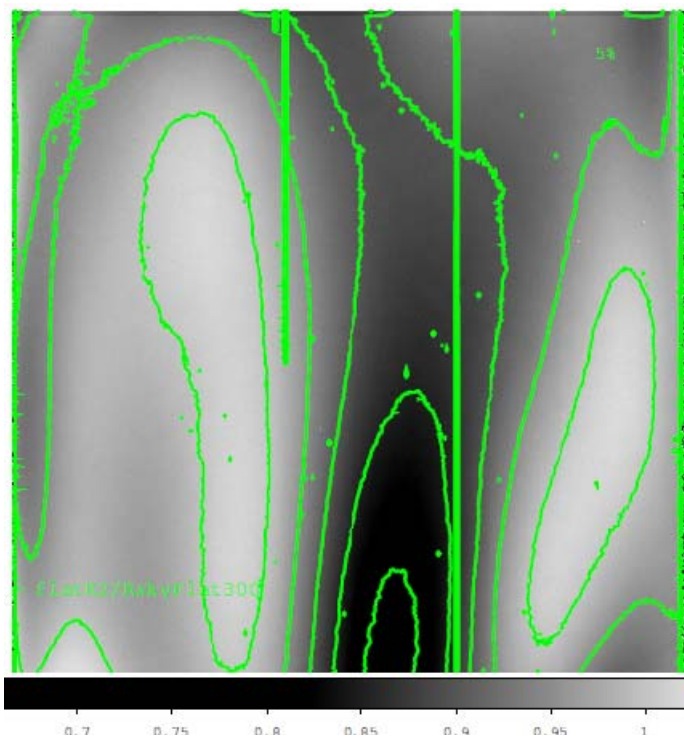


図 4: #167258(R, 300 秒) の画像での測光値と SDSS カタログからの予想等級とのずれ。



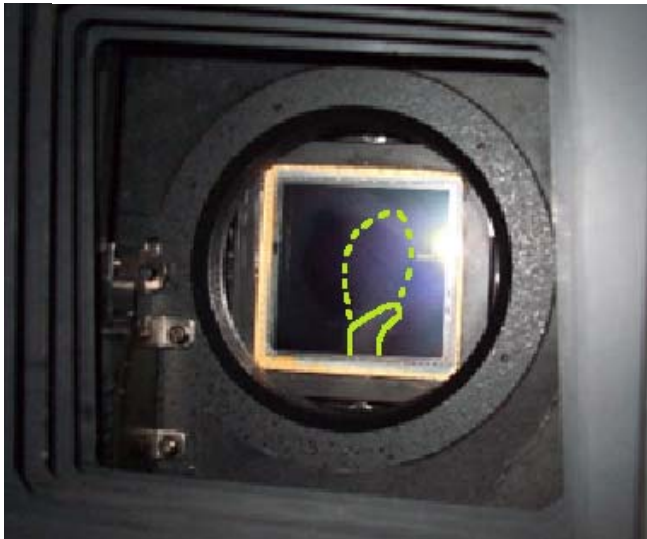
感度ムラを補正することができる仮想的なフラットとドームフラットとの比。中央下部では20%以上ずれている。

## 2KCCD カメラデュワー窓のくもり

5月31日、鏡筒の中に入って光漏れが見えないかどうか等チェックを行っているときに、2KCCD カメラのデュワーの窓がかすかに白っぽくくもっていることに気がきました。これはちょうど前ページで大きな感度ムラを検出した領域（カメラ中央から下側）に相当します。また、結露を防ぐために乾燥空気がカメラ下側から丸ホースで窓に当てられている部分とも一致しているため、この乾燥空気システムが汚れの原因となった可能性が考えられます。現在、さらに原因を調査中です。



図 1: 2KCCD カメラのデュワー窓の写真 (5月31日撮影)。左右の2方向から撮影した。見えにくいですが、窓の下側の中央当たりにかすかに白い汚れがある。



窓の汚れによるフラットの変化。20081020 のフラットを 20100602 のフラット(汚れを拭いた後)で割ったもの。

このくもりを拭き取る前後でドームフラットを取って比較したところ、おおよそくもりと同じような形で変化していました。上の図(赤字で 20081020 と書いてあるもの)のように中央下部から縦に 2 本の白い筋が伸びているように見えるのが特徴です。ただし、その大きさは±0.5%程度でした。星の測光値で得られた感度ムラよりもずっと小さい変化です。

## 2010年6月9日の観測結果

デューワー窓のくもりを拭き取った上で4月の調査と同じように観測・解析を行うと、下の図のようにほとんど感度ムラが存在しないという結果が得られました。残差は0.03等以下です。したがって、窓のくもりが0.2等という大きな感度ムラの原因であったと考えられます。さらに窓のくもりのない状態では、ドームフラットによって1%程度の高い精度でフラット化を行えることが、この実験でわかりました。

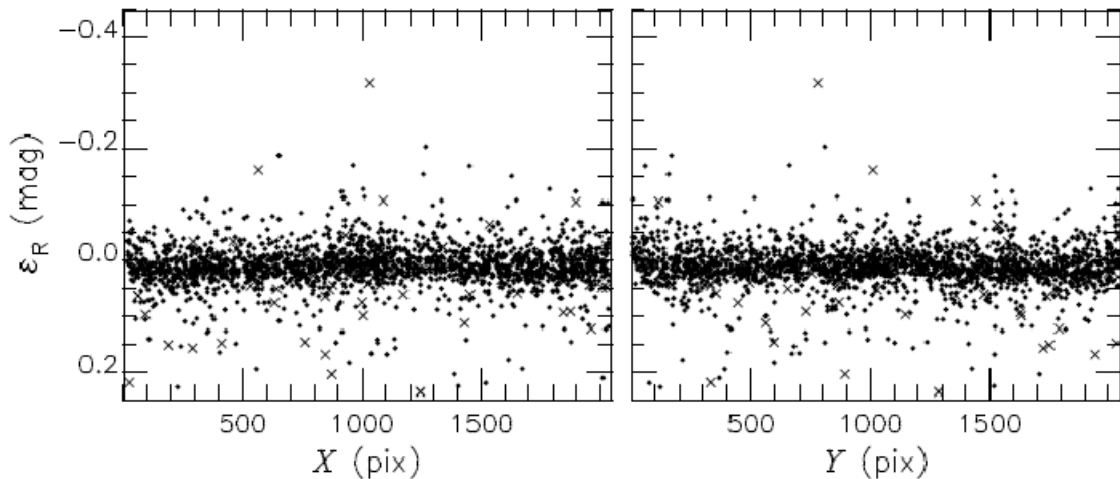


図 2: #170709(Rバンド,300秒)の画像での測光値とSDSSカタログからの予想等級とのずれ。

## 過去のドームフラットの変化

4ページで述べたように、窓のくもりによって小さいながらもその影響がドームフラットに現れます。そこで、過去に取られたドームフラットを調べて、どの時期にくもりが存在していたかを調べました。利用したのはIバンドのドームフラットで、ほとんどのデータはNDフィルター1.4を用いて50秒の積分を5~15枚繰り返したものです。2008年4月以降について、1か月に1日以上観測日を適当に選んで比較を行った結果、

- 2008年8月~11月11日(2008年11月12日にKWFCファーストライトのため2KCCDカメラは取り外されました)

- 2009年8月~2010年5月(2010年6月1日に本調査で窓のふき取りを行いました)

という2つの時期で入射窓の汚れが原因だと考えられるドームフラットの変化を検出しました。ただし、正確にムラの有無を確認するためには、今回行ったようなSDSS領域の測光データを使う方が確実です。

この入射窓のくもりは、湿度の高いときに発生するかもしれない結露などとは違い、一度生じると数カ月にわたってこびりついたままのものようです。

## まとめ

2KCCD カメラのフラットを検証するうちに、デューワー窓のくもりが原因だと考えられる 0.2 等程度の大きな感度ムラがあることが判明しました。このくもりは、ドームフラットのような一様に近い面光源にはあまり影響を及ぼしませんが、星の測光値では 20%もの大きな影響を及ぼします。これは、くもったガラスを通してものを見たときに、像はぼやけてしましますが、全体的な明るさはそれほど変わらないのと同じような現象であると考えられます。さらに、くもりを拭き取る前後でのドームフラット変化が小さいことから、くもりの部分で生じていた散乱は、強い前方散乱であったはずで

これまで確認した例では、画像中央部から縦に広がった領域 ( $900 < X < 1500$ ) の星が他の部分よりも 0.2 等程度暗く写るようです。しかし、その変化の大きさや領域は時期によって変わることが十分考えられるので、補正が可能かどうか現時点ではわかりません。さしあたって、ユーザー各位にはこのような不定性の可能性を考慮に入れて解析を進めていただきますようお願いいたします。また、このような現象の検証を行うために、SDSS カタログに含まれている天域のデータが効果的です。そのような観測データをお持ちの方は、観測所までご一報ください。選択領域(Landolt, 1992)は等級が既知の星の個数が SDSS ほど多くありませんが、検出器上のちょうどよい場所に標準星が写っていれば大きな感度ムラがあるかどうかを調べることが出来ると考えられます。お手元のデータで調査いただければ幸いです

## 謝辞

この調査は、木曾観測所のスタッフ (現在 JAXA の猿楽さん含む) のほか、家中さん (東大)、伊藤さん (三重大)、西浦さん (学芸大)、鈴木さん (鹿児島大) たちにもご協力を頂きながら進めています。