

# NIC新パイプラインによる 測光精度向上の試み

～国内2m鏡究極の精度を目指して～

斎藤 智樹 (兵庫県立大学)

2022年7月25日 なゆたユーザーズミーティング

# 概要

- NICの測光精度を改善するための試みを続けている

- 静止系紫外で high-z ( $z \gtrsim 6$ ) QSOs の系統的なモニターをしたい!
- そのために高い測光精度が必要 (~20 AB で 数%-10%)

関根さん@早稲田大  
の講演を参照

- 新たなパイプラインを開発し、精度向上のための改善策を実装した

- フラット・ダーク作成支援ツールも実装: キャリブレーションデータの更新が容易に
- 細かな手法改善 (スカイ引き・検出器パターン引きなど)を実装した
- IDL-based なシステム: フレキシブルにパラメーターを変えつつ解析が可能

昨年度まで:  
細かな改善で精度向上

- さらに、星団のデータを用いた ubercalibration の実験を進めた

- 理想的な条件であればさらに精度向上が望めることを示した
- 単純なポワソン統計を仮定すれば 7200秒積分・20等 (AB) で数%程度の精度に相当

(楽観的な見積もりなら)  
遠方QSOモニターの  
必要目標を「達成」

「地味な改善」

**新フラット/旧フラット:**  
フラットレベルが変動している  
→フラット更新

**検出器パターン除去の問題:**  
パターン見積もりの改善  
→ sigma-clippingの導入

**etc.**

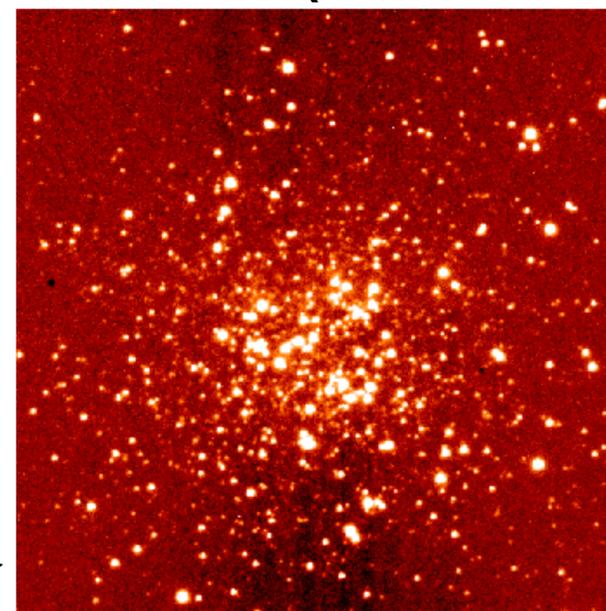
実装

新パイプライン (IDL)

- IDLに最適化
- ドキュメント整備

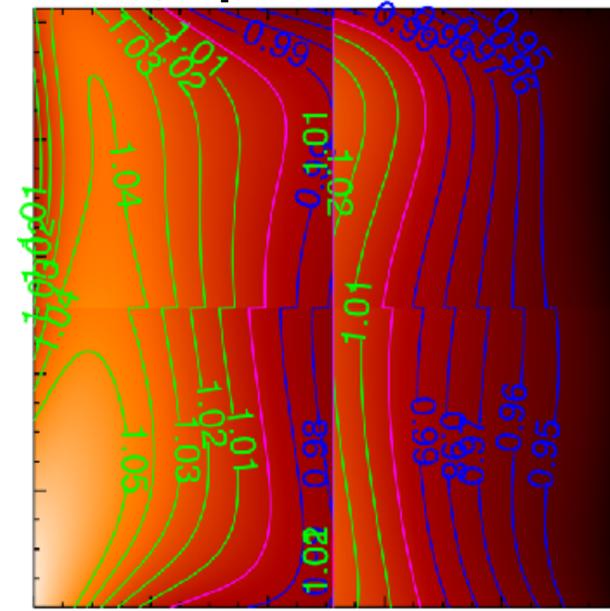
**Ubercalibration**

星団のデータ(一次処理済み)



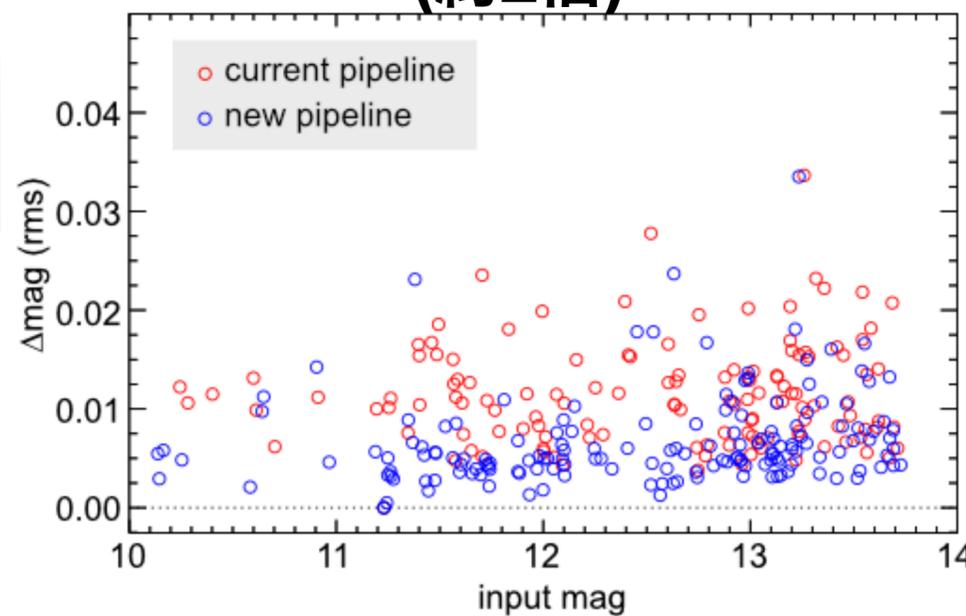
視野をずらしながら20-30フレーム

"superflat" 画像

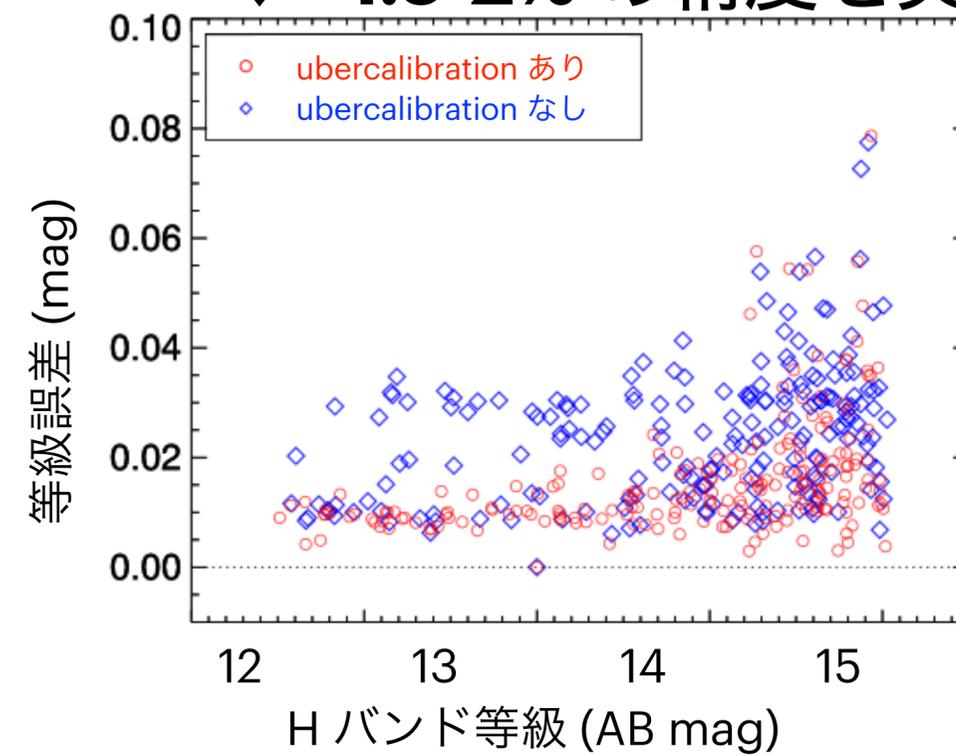


(視野内の感度むらマップ)

測光精度改善  
(約2倍)



14-16等(AB)で  
1.5-2%の精度を実現



# NIC データ解析の基本的な流れ + 改造箇所

[http://www.nhao.jp/~nic/nic\\_wiki/index.php?NIC解析マニュアル](http://www.nhao.jp/~nic/nic_wiki/index.php?NIC解析マニュアル)

(生画像)



I) ダーク差し引き

ダーク・フラット画像  
作成を容易に

II) フラット補正

→ (b)

III) スカイ画像作成

→ (c)

IV) スカイ差し引き

→ (d)

V) 検出器パターン除去

→ (e)

sigma-clippingで改善

VI) 画像位置合わせ

VII) 重ね合わせ

VIII) アstrometry → (最終画像)

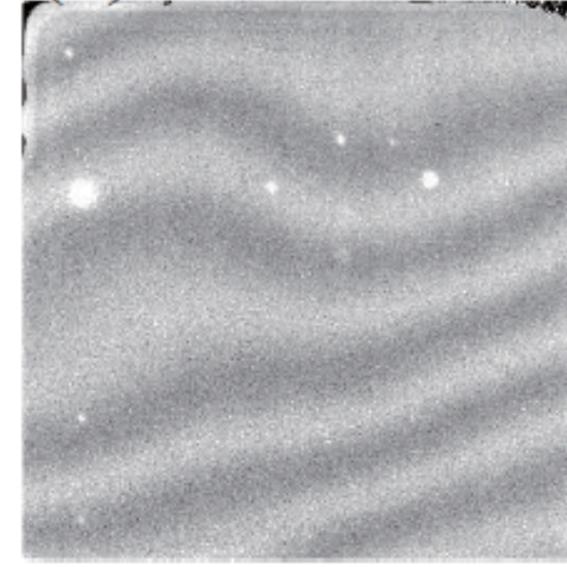
も参照

(a)

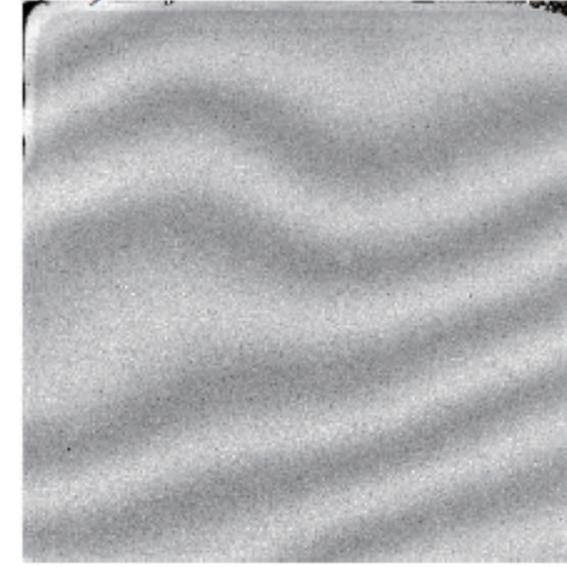
生画像



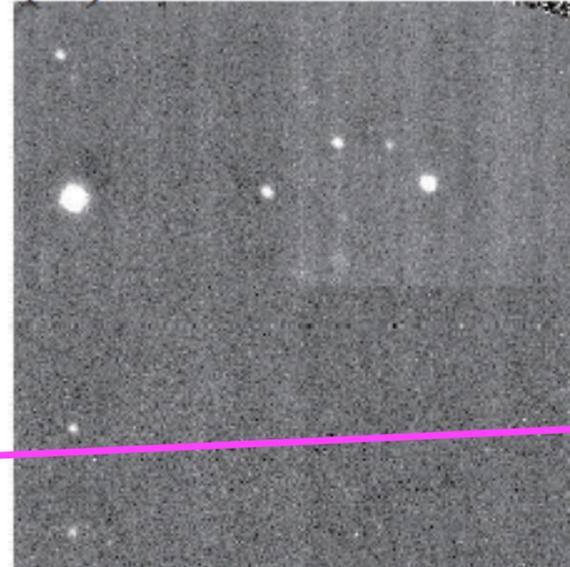
(b)



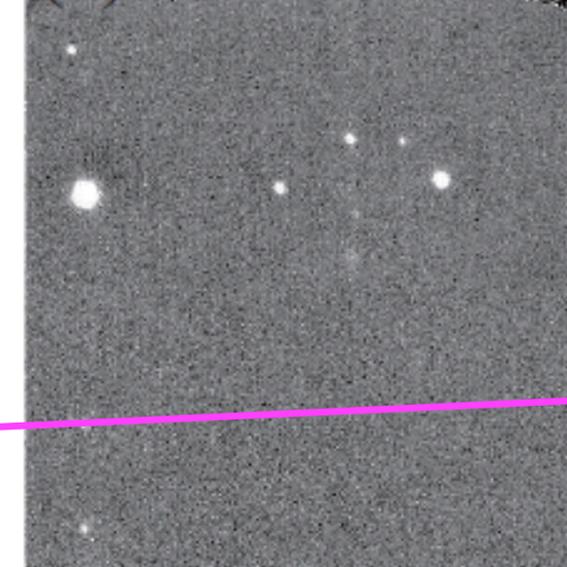
(c)



(d)

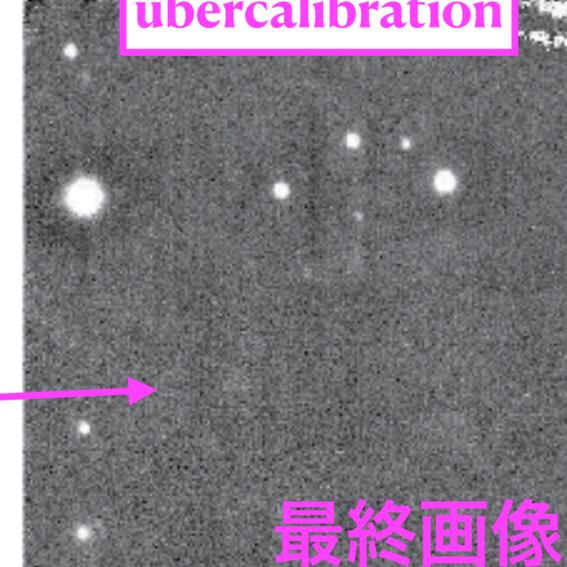


(e)



(f)

これを更に補正:  
ubercalibration

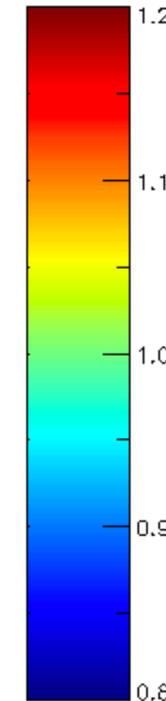
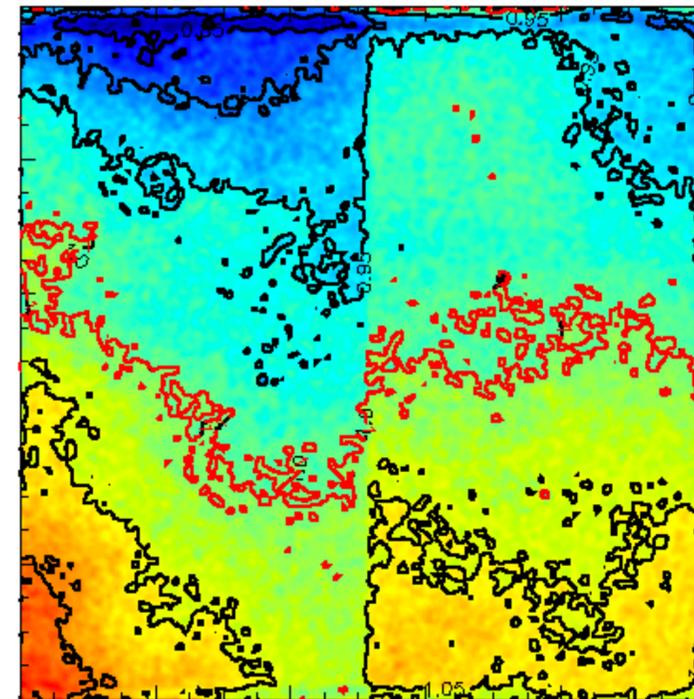


最終画像

# フラット(+ダーク)画像作成

～鮮度の高いキャリブレーションデータ作成のために～

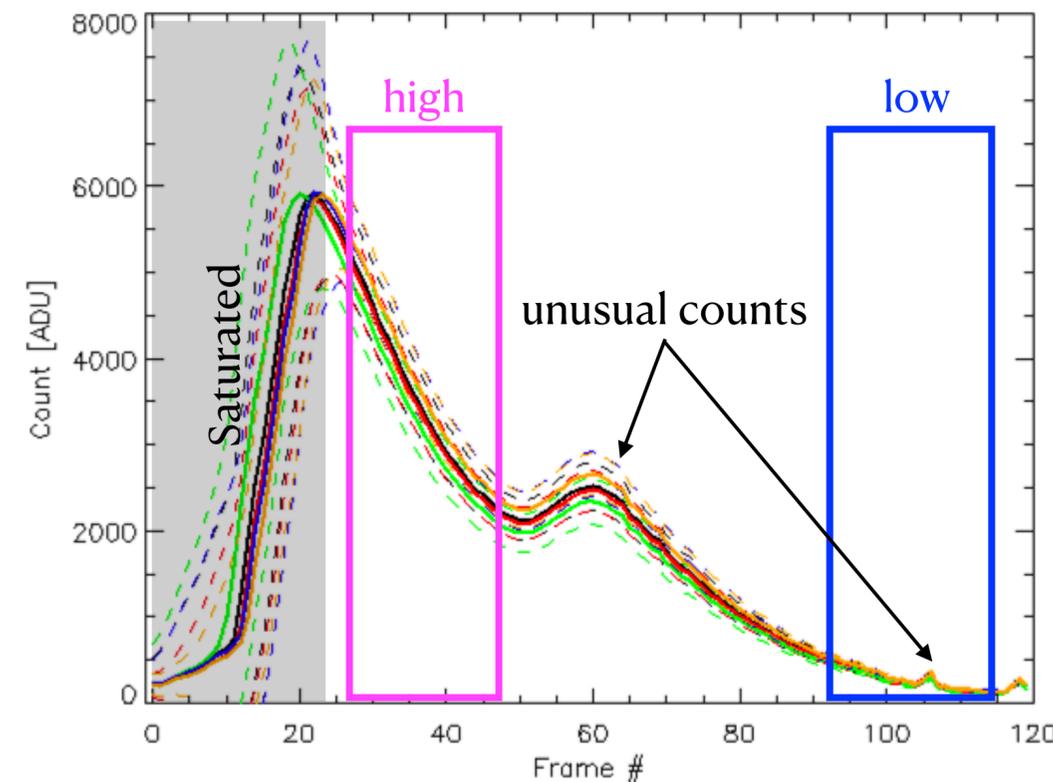
- 新旧フラットの比較: 視野端で10% (!! )の変動
  - 高精度の測光には新しいフラットを推奨
  - 良質な大量のデータ+手間が必要
  - フラット作成支援ツールが不可欠
- データの質を判断するツールを開発 (countplot)
  - Frame IDの関数としてカウント値をプロット
  - 飽和・異常なカウントの有無を調べる
    - IRAF/imstat的なツールも併用 (quadstat)
  - ダークフレーム選択にも流用:
    - 時間変動・象限間のばらつきのしきい値を設定、使えるフレームを選択する



新旧フラットの比を取った画像  
(Hバンドの例):

$$F_{new}/F_{master}$$

概ね2-3%以内に収まるが、  
視野端では10%程度の変動  
がある (2015 vs. 2021)。  
ただし、~14-15等 (AB) で  
数%の精度を得るには十分。



countplot の出力例



quadstat の出力例  
統計処理でこうしたフレームを  
除去する (第1象限が異常に暗い)

# 検出器パターン (縦縞) 除去

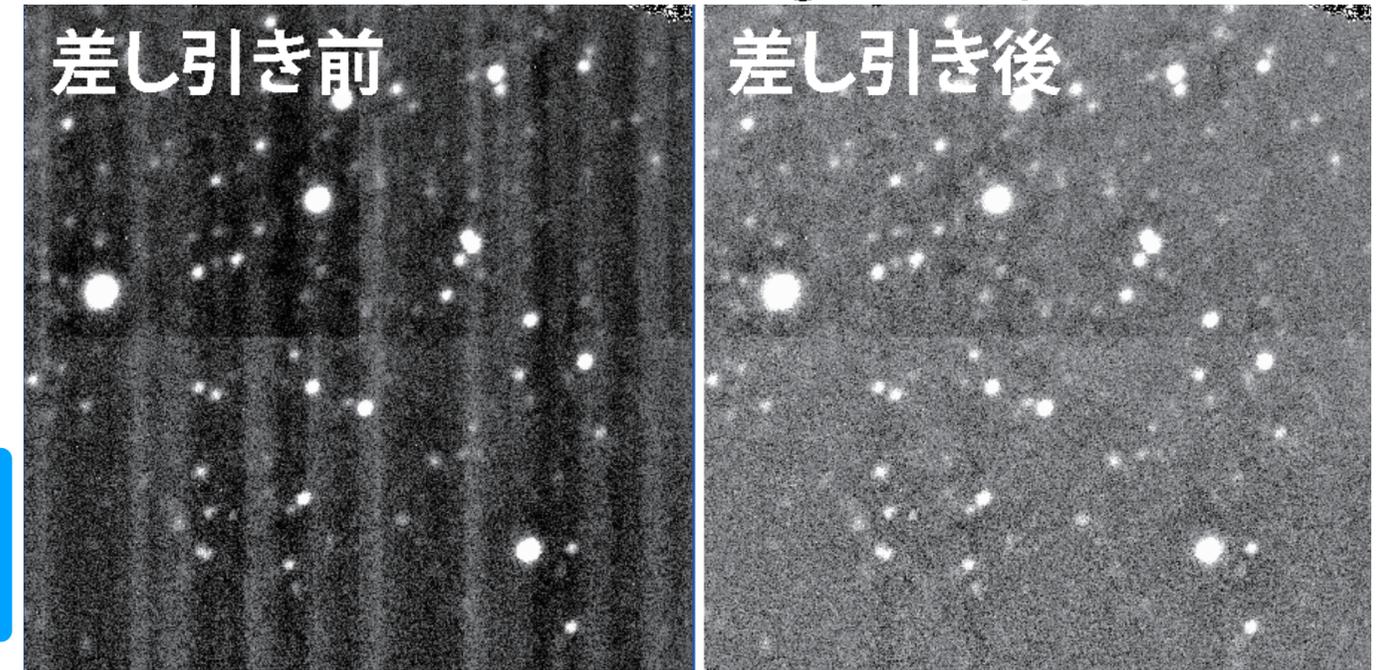
～シンプルな手法で「ゲタ成分」を見積もる～

- sigma-clipping により「縦方向の断面の、天体のない領域」を抽出 (column\_pattern)
- 縦方向(1列)の平均値を取る
- そこからしきい値以上外れたピクセルを除外
- 以上を繰り返し、プロファイルを得る
- スカイ引き後・フラット補正前に行う
  - 「縦方向に一定値」の仮定を崩さないため
- この方法のメリット:
  - 混んだ天域・空いた天域共通に使える
  - 天体検出が必要ない

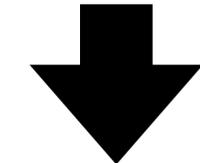
しきい値は  
パラメーター化して調整

iteration 回数は  
パラメーター化して調整

Median法 + sigma clip

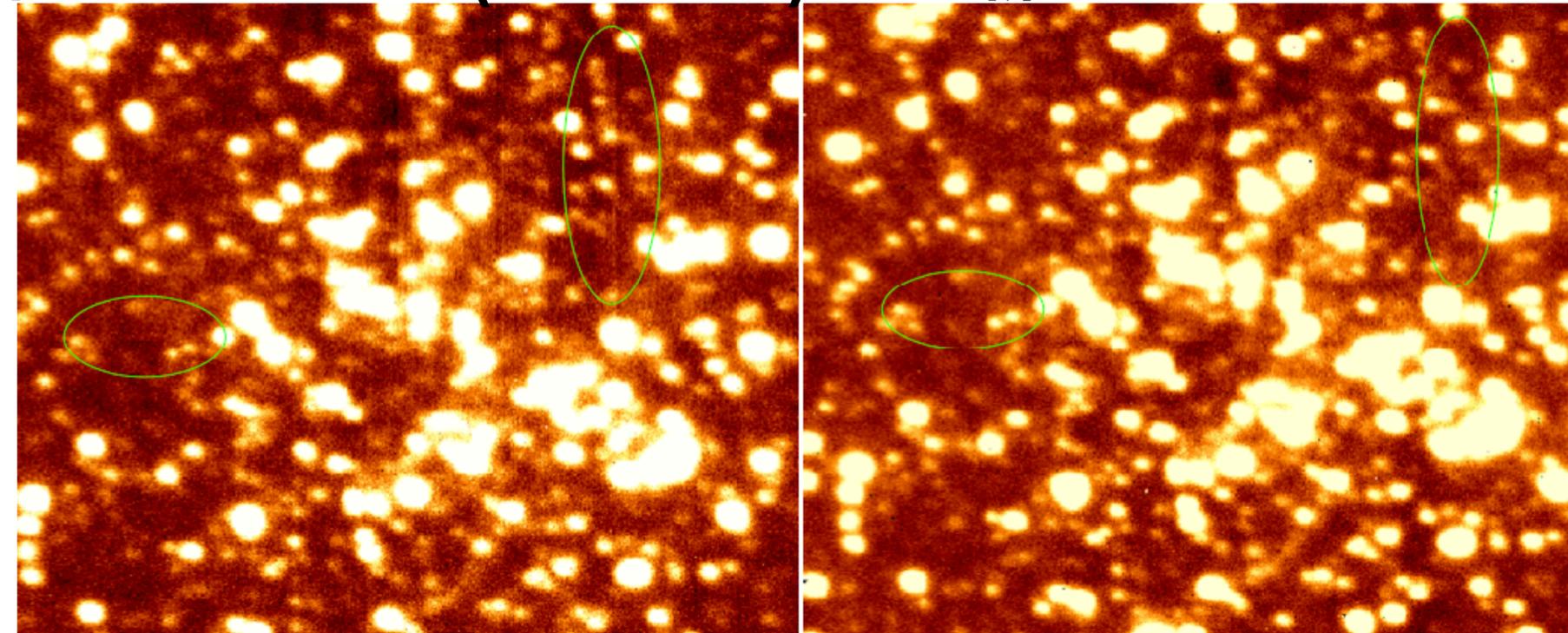


→かつ、スカイ引きの後・フラット補正の前に処理



旧パイプライン(Median法)

新パイプライン



# ここまでの結果

～ 地味な改善 + パイプライン実装 ～

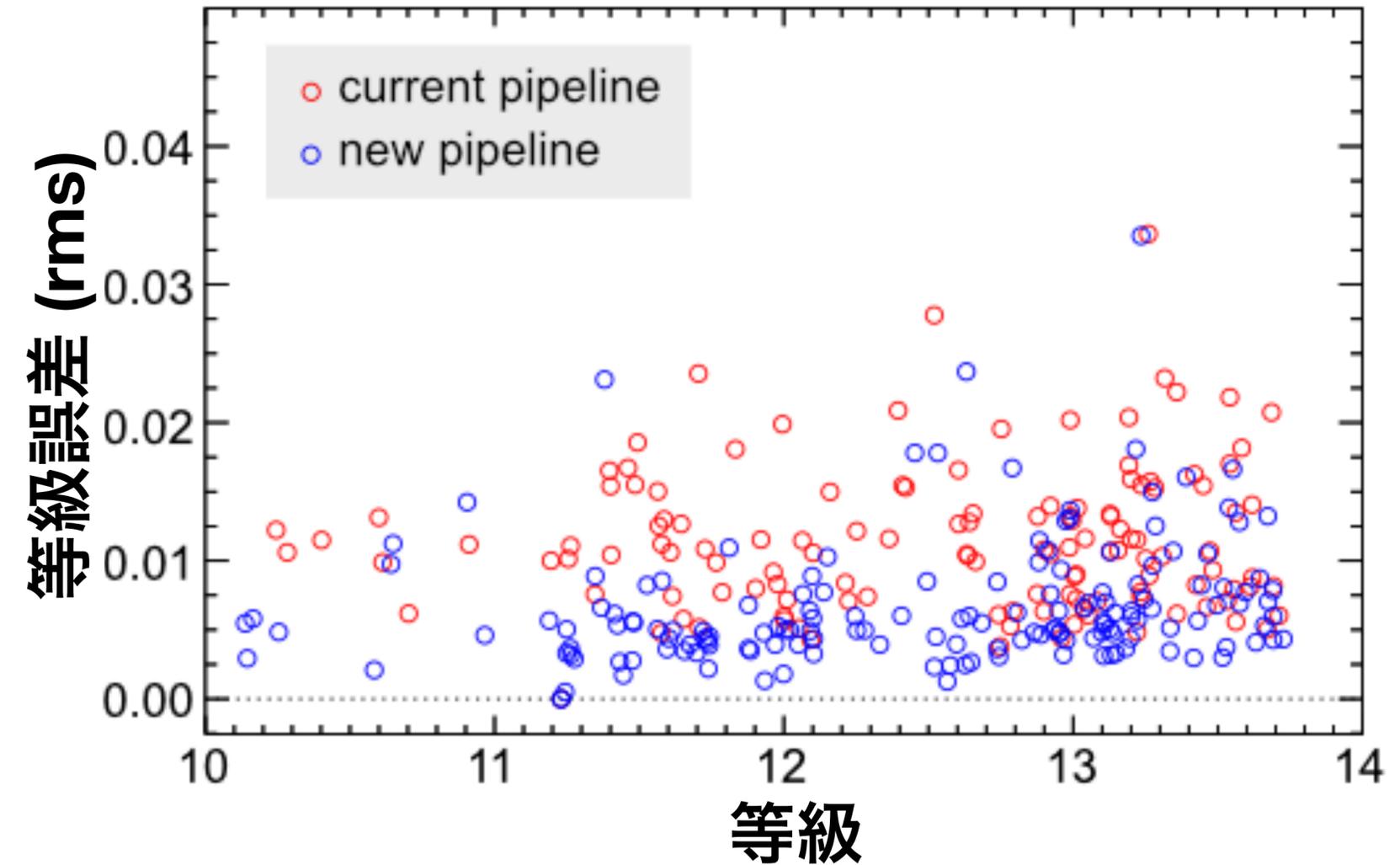
- 「地味な細かい改善」の積み重ねで精度を少し改善:
  - 新しいフラットを使う
  - フラット補正の直前に縦縞パターン除去
  - 縦縞パターンは  $\sigma$ -clipping + median 法で見積もり、除去
- リスクシェアで公開可能
  - ドキュメント (wiki) も近日公開予定
  - 「使ってみたい」は歓迎！ (ご連絡下さい)

ファクター 2 程度の改善



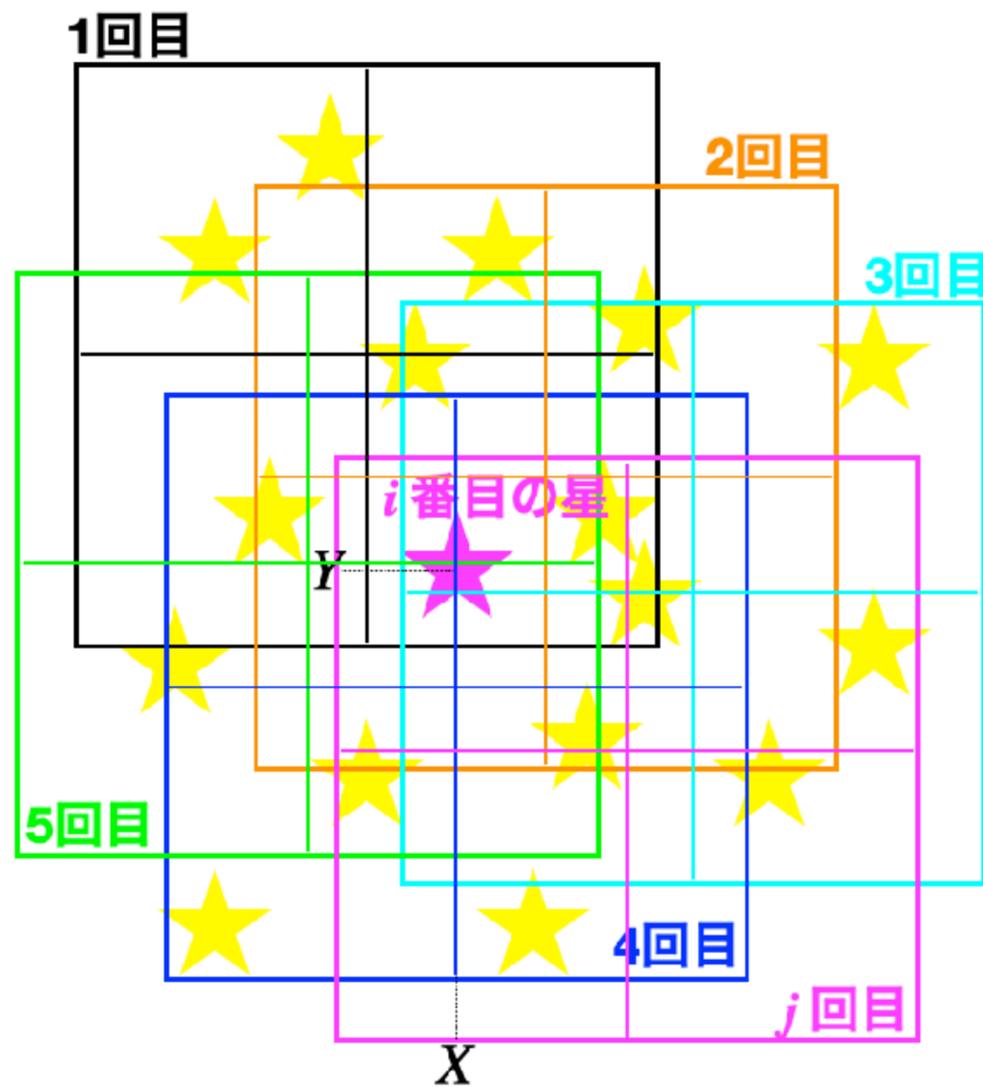
ここまでも、それなりによし。  
でももう少しがんばりたい。(目標: 数% @ 20AB)

フレーム間の測光値のばらつき (30秒積分・10点デザイナー)



# Ubercalibration

～更なる測光精度向上に向けて～



視野内の複数の星を場所を変えて複数回観測

- 通常のフラットは補正済み
- 大気透過率はおよそ補正済みと仮定
- 各象限の感度むらは観測期間中一定と仮定

- 視野内にフラットで取り切れない感度むらが存在
  - 系外惑星トランジットでこれを補正した前例あり (Tabata+Itoh 2020)
  - 測光精度には視野内の局所的な感度むらが効いている (Sekine+2021; 関根講演)
- 同一の星が視野内のどこでも同じ明るさになるように補正をかける: "ubercalibration" (e.g. Padmanabhan+2006)

$$m_{true} = m_{obs} + \Delta a + f(X, Y)$$

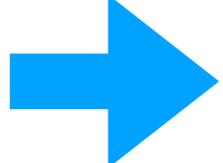
i 番目の星  
j 番目の観測  
第  $\alpha$  象限  
ピクセル座標 (X, Y)

$$m_i^{true} = m_{i,j}^{obs} + \Delta a_\alpha + f(X, Y)$$

未知数:  $n_* + 4 + \frac{n(n+3)}{2}$  個  
観測量:  $\approx (n_* \times n_{obs})$  個

$$\chi^2 = \sum_{ij} \left( \frac{m_i^{true} - m_{i,j}^{obs} - \Delta a_\alpha - f(X, Y)}{\sigma_j} \right)^2$$

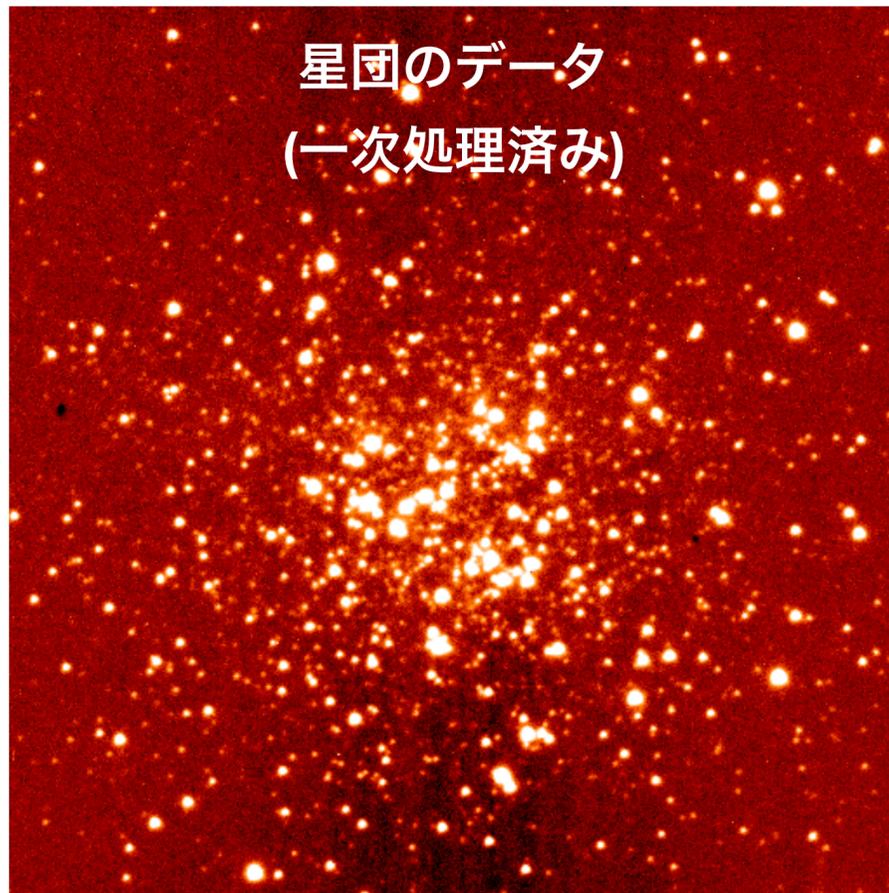
これを最小化



$m_i^{true}$ ,  $\Delta a_\alpha$ ,  $f(X, Y)$  を求める

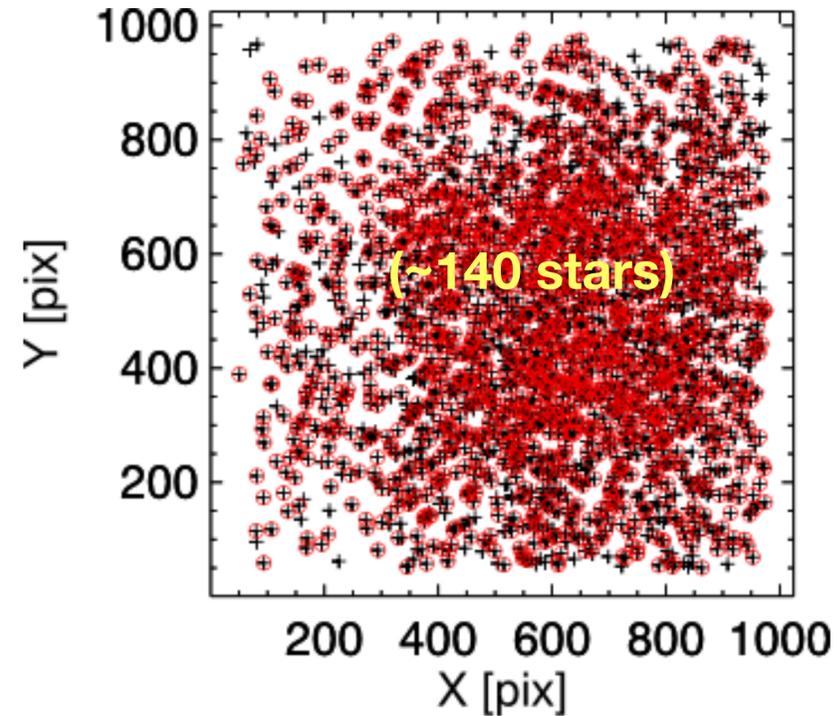
# 現時点での到達点: ~14-16 AB で ~1.5-2%

~ただし、理想的な条件下で~

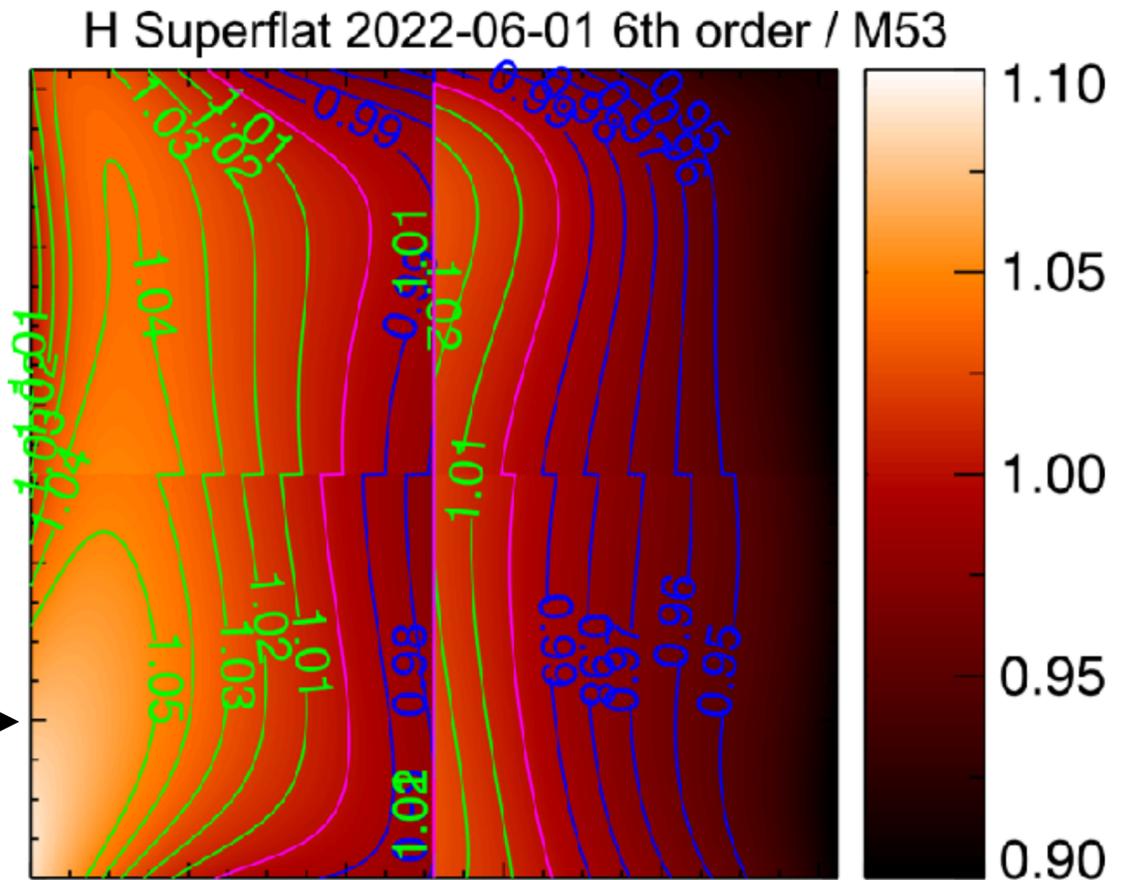


星団のデータ  
(一次処理済み)

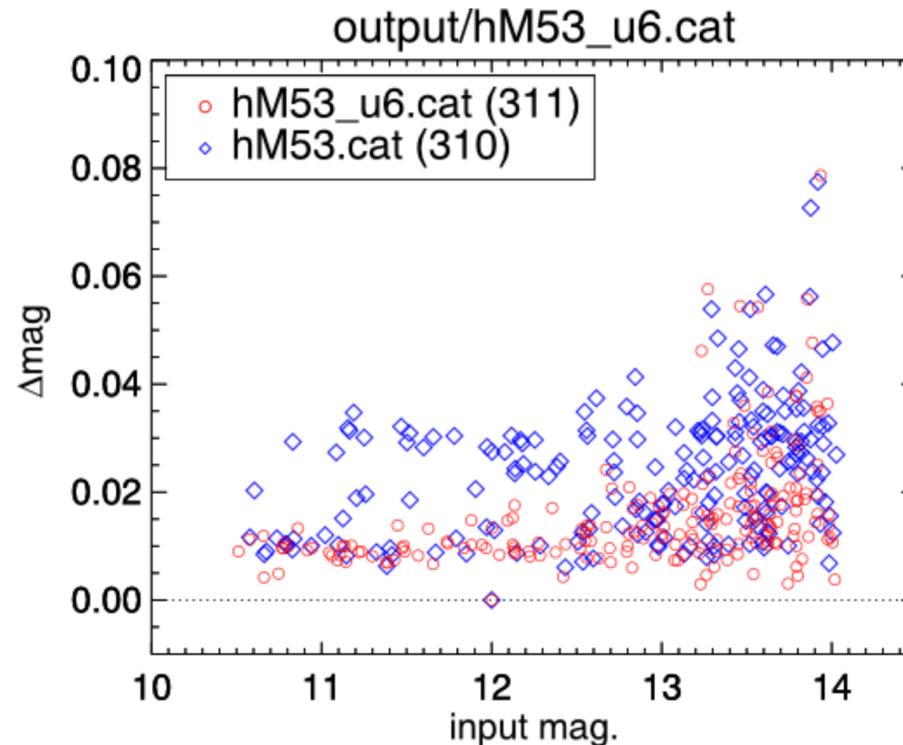
x 5 dither x 4 pointings  
(20 frames)



Ubercalibration



一次処理済み画像を  
更に補正



現状の問題(検討すべき課題):

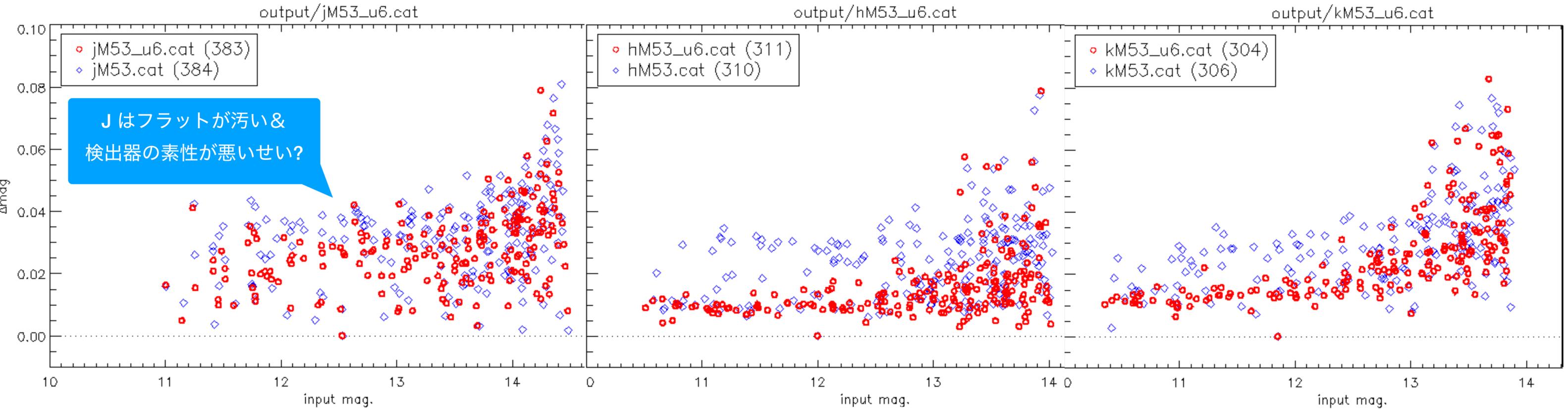
- 日が違ってても同じデータを適用できる?
- どんなパターンでディザーする?
- どんな密度の星団を使うのがいい?

**\*良い条件+当日のデータを適用できれば\***

- ~13-14等(Vega) で1-2%の測光精度を実現 (~14.5-15.5等(AB)に相当) @20秒積分
- 7200秒なら、**約20等(AB)で数%の精度に相当** (単純なポワソン統計を仮定)

# うまくいくケース・行かないケース

例: 2022-06-01 のデータ (M53)



**J: イマイチ**

**H: なかなかよい**

**Ks: まあまあ...?**

• J/H/Ks で M53 を撮像・等級の関数としてばらつきをプロット

• 積分時間20秒 x 5点ディザー x 4ポインティング

• ディザー半径 10"

• ポインティング: 中心から  $(\alpha, \delta)$  方向に  $\pm 40$  arcsec

• PSF  $\sim 0.5'' - 0.8''$  (個人的な観測史上最高の条件)

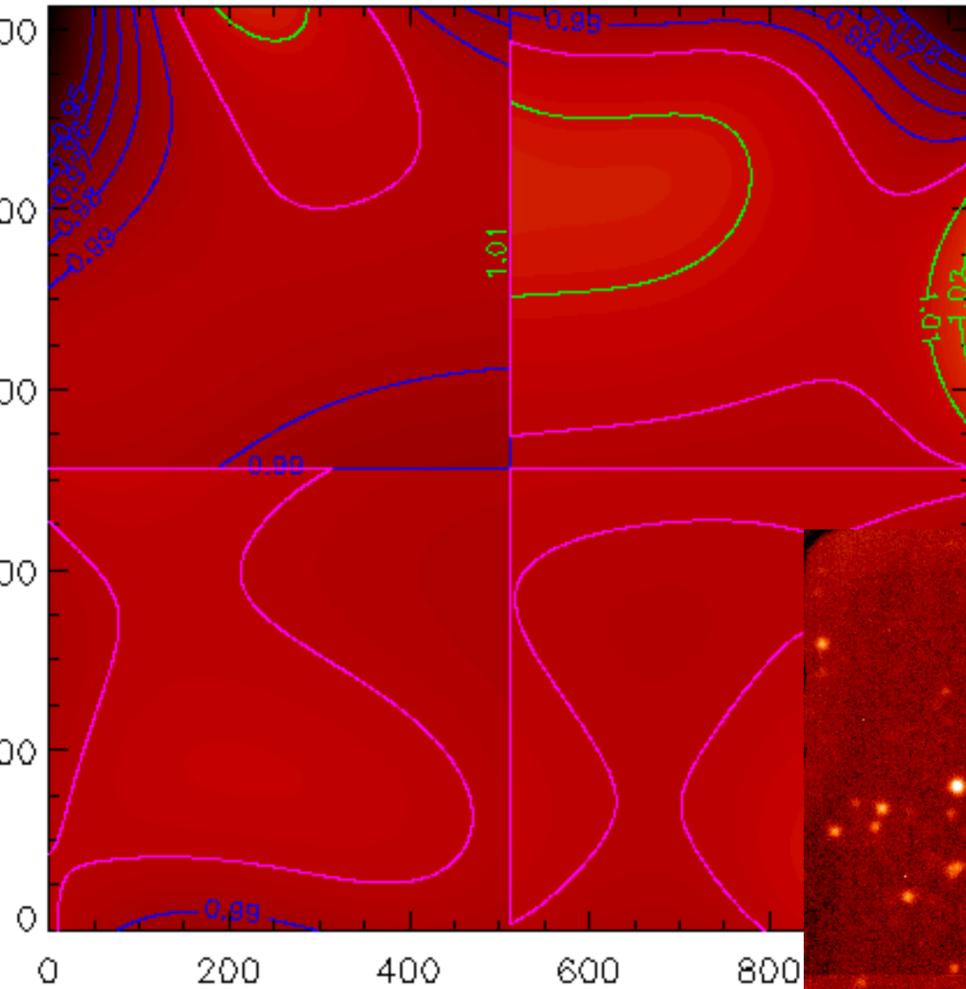
「大気透過率一定」  
は悪くない仮定

- 補正できる感度むら成分はある
- 現状、Jバンドは補正が困難
  - NIC特有の「スカイ引き」?
  - フラットに複雑な成分?

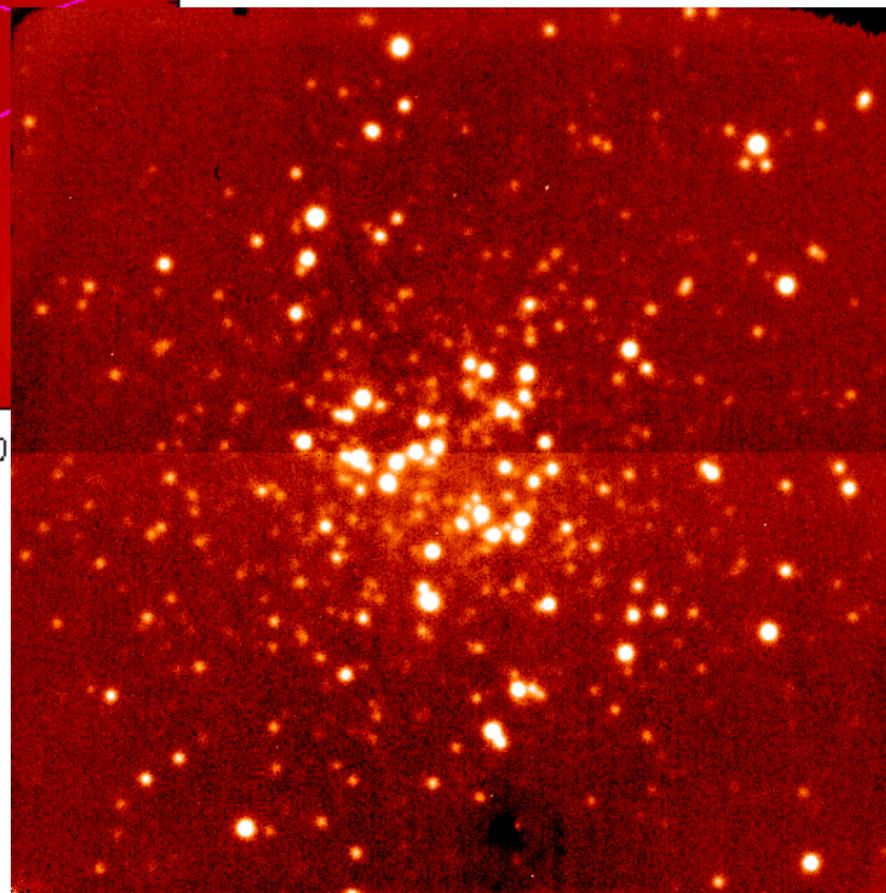
# 観測日による変動

例: Jバンド superflat (8次) -- 2022-05-27 vs. 2022-06-01

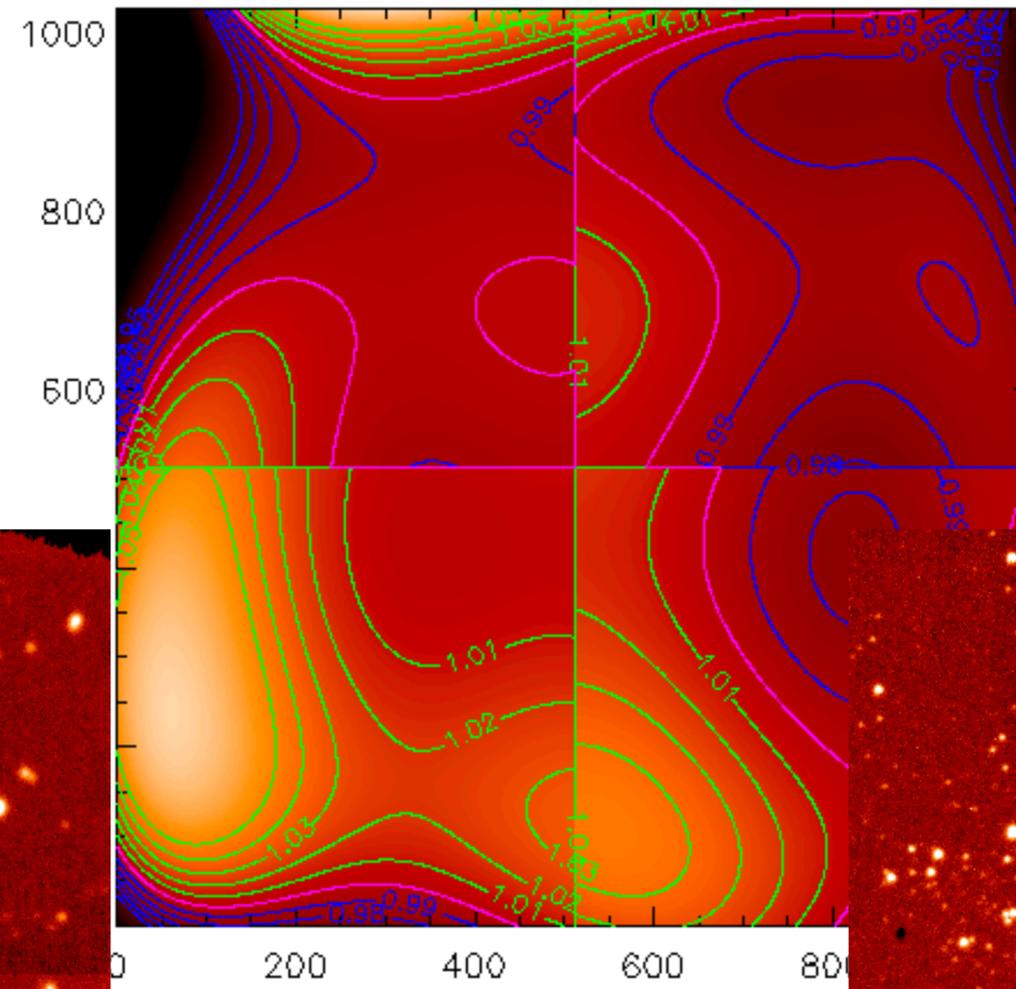
2022-05-27



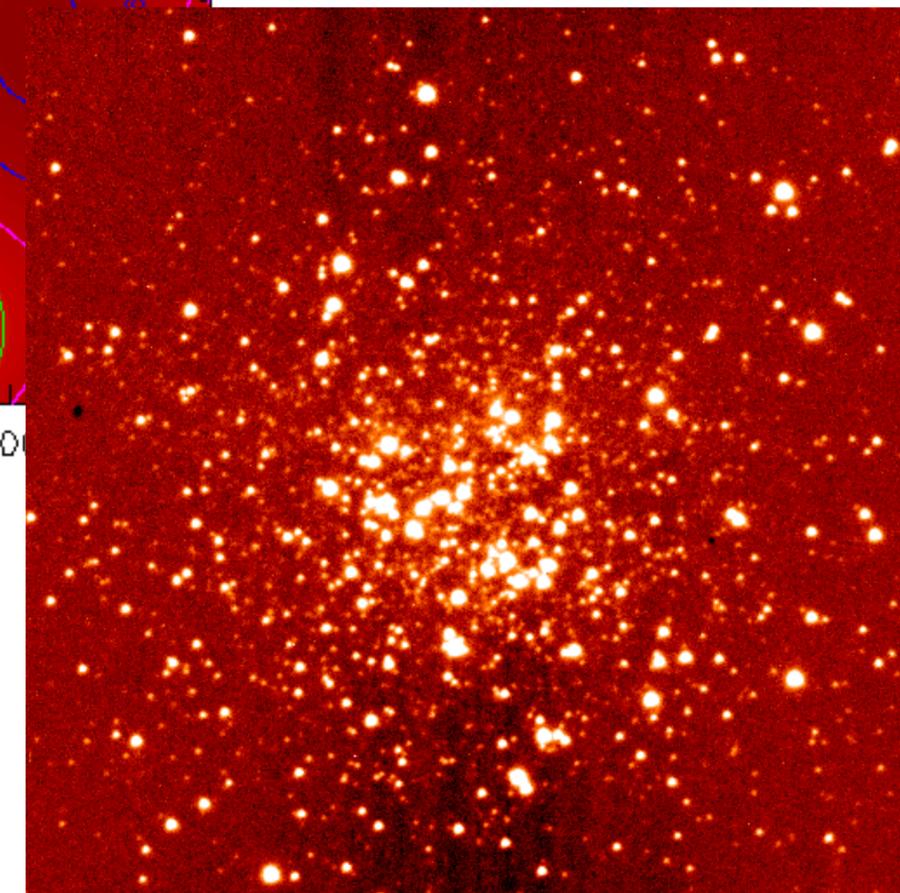
PSF  $\approx 1.2$   
 $n^* \approx 290$   
 $n_{fit}^* \approx 80$



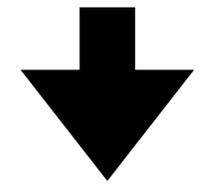
2022-06-01



PSF  $\approx 0.7$   
 $n^* \approx 310$   
 $n_{fit}^* \approx 140$



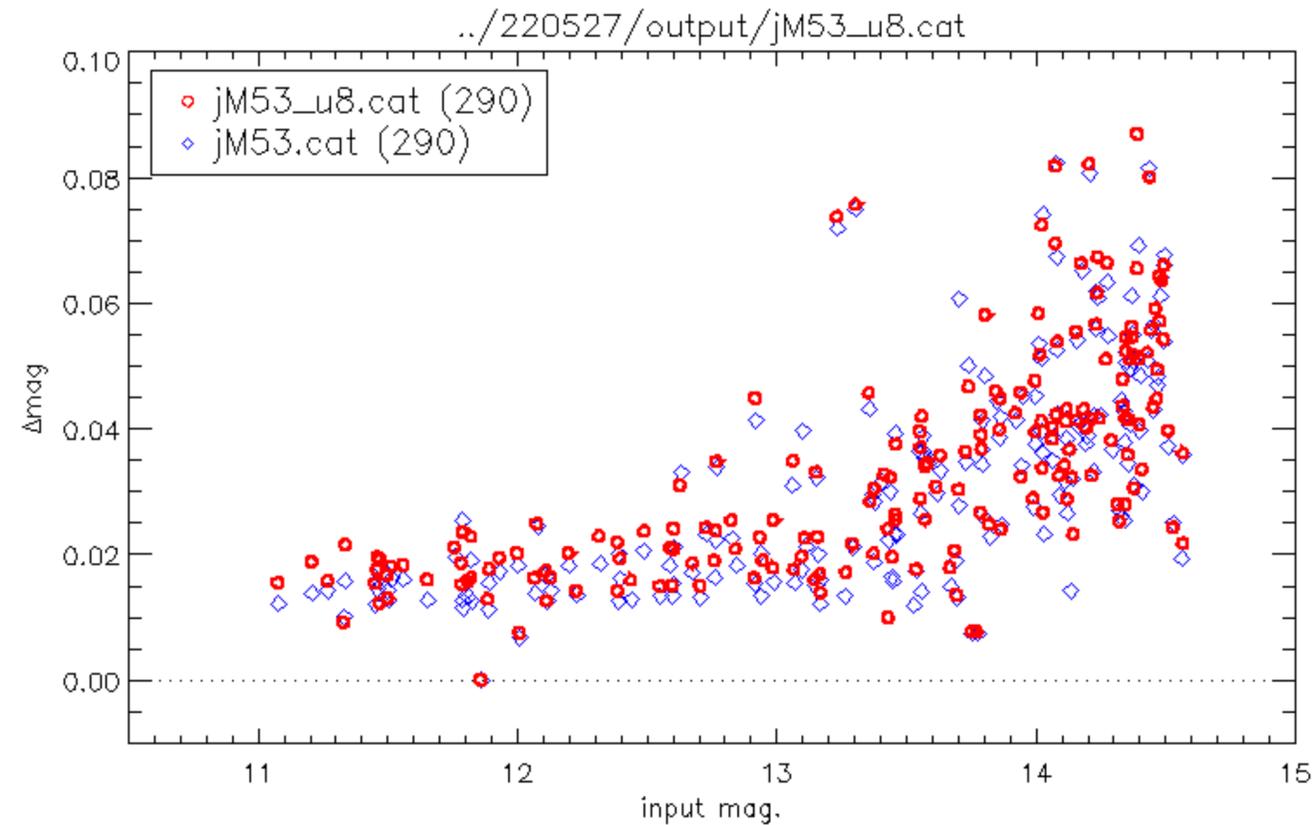
日によって変動あり:  
他の日のデータには  
そのままでは適用不可



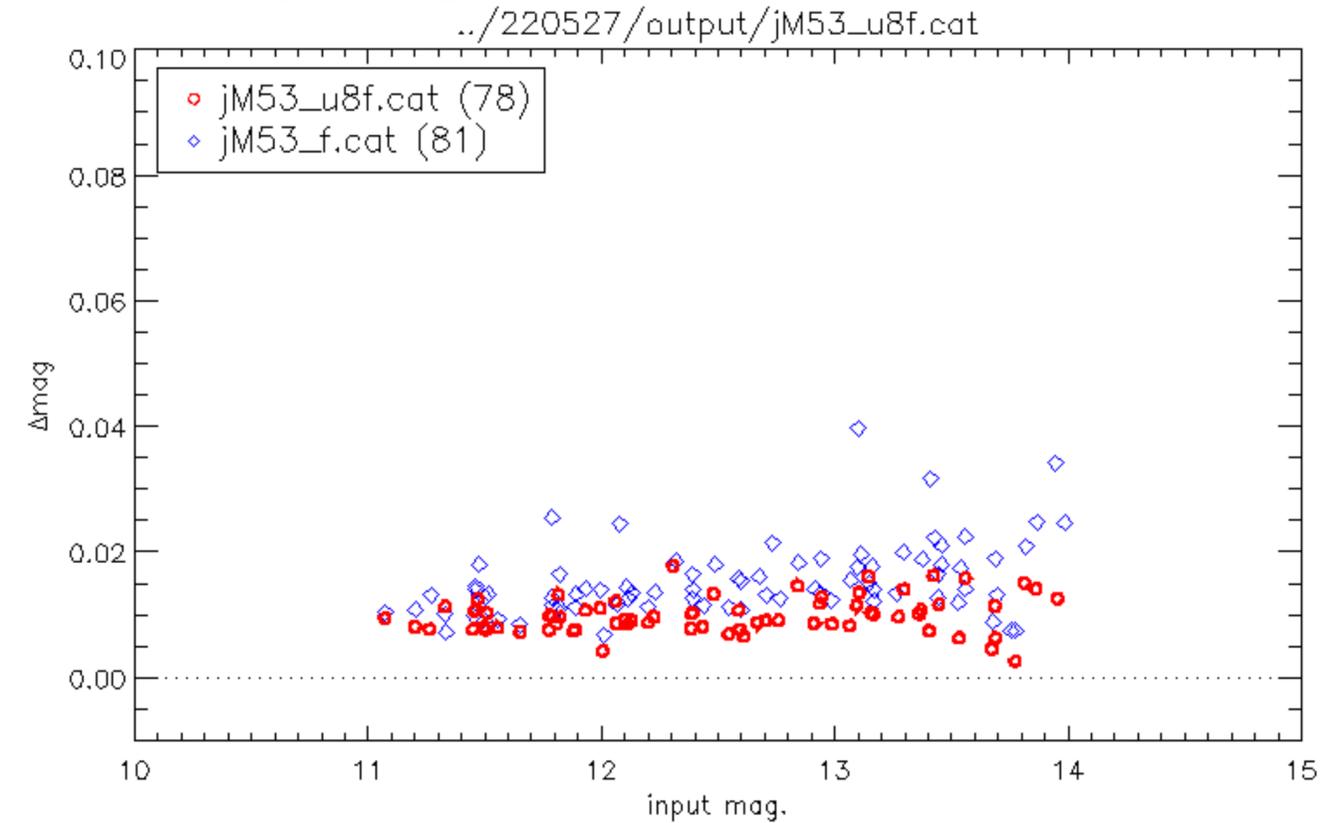
大気透過率の  
更なる補正が必要か

# S/Nの高い星だけに注目すると...

例: 2022-05-27 のデータ (続き)



全部の星を使ったプロット:  
ubercat でかえって悪化?



約80個の星を使ったプロット:  
実は良くなっていた?

→ 各星のS/Nを上げる (i.e. 積分時間を伸ばす) 必要あり?