

# 2MASSから学ぶ近赤外サーベイ データ処理とカタログ作成

2MASS Data Release Documentation  
を読んで、我々に足りない所を学ぶ

2004年 中島 康

# 2MASS Data Release Documentation

2MASSのページ <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/>

## 2MASS Documentation

<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/docs.html>

## The 2MASS All-Sky Data Release (2003 March)

<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/doc/explsup.html>

が最新のものなので、それを読む。

# The 2MASS All-Sky Data Release

- I. Introduction
- II. User's Guide to the 2MASS All Sky Data Release
- III. 2MASS Facilities and Operations
- IV. 2MASS Data Processing
- V. Catalog Generation
- VI. Analysis of Release Catalogs

IV.とV.を重点的に読み解く。

ただしI. II. VI.も触れる。

# I. Introduction

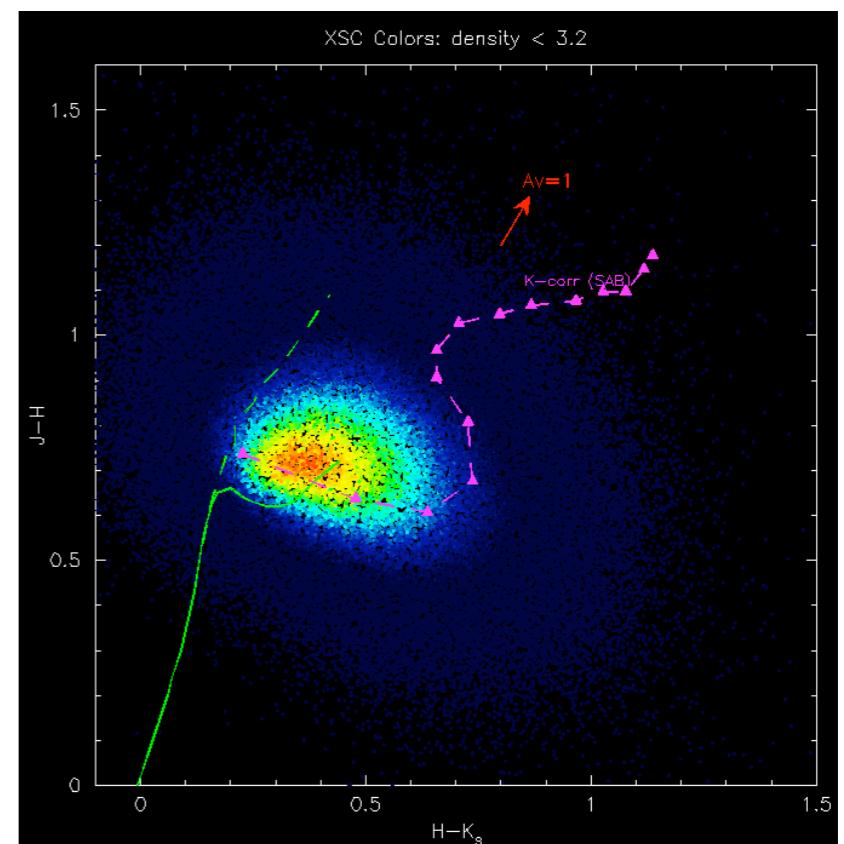
- 2MASS Overview

- 近赤外サーベイの歴史の記述。(The Two Micron Sky Surveyなど)
- 1.3m + 3x256x256 array, J(1.24), H(1.66), Ks(2.16)  
North : 1997/6 – 2000/12 : Level1 Science Requirement 691 nights  
South : 1998/3 – 2001/2 : 750 nights  
rawdata : 24.5TB  
covering 99.998%

- All-Sky Data Release  
Point Source : 470,992,970  
Extended Source : 1,647,599  
Image Atlas : 4,121,439

- The 2MASS Sky

- $J=16.0$ ,  $H=15.0$ ,  $Ks=14.5$  (10-sigma)  
限界等級の非一様性の記述。  
銀極での系外銀河のカラー(星形成屋さん)



- Executive Summary of 2MASS All-Sky Release Data Products

- a. Point Source Catalog (PSC)

- 470,992,970

- Positions, magnitudes, astrometric and photometric uncertainties, flags indicating the quality of the source characterizations, associations with Tycho 2 or USNOA-2.0 optical catalog sources, known solar system objects are presented for each source.

- b. Extended Source Catalog (XSC)

- 1,647,599 (97%がgalaxy)

- Positions, magnitudes measured in a wide variety of ways, photometric uncertainties, associations with several external catalogs, a number of flags and scores indicating the quality of the measurements, the likelihood of "extendedness" are presented for each source.

## c. Image Products

### i. Atlas Images

1,373,813 × 3 (=4,121,439)枚のAtlas ImageというFITS画像

8.5' × 6°のSurvey Tileというユニットが59,731ある。

Tileは23枚のAtlas Imageに分割される。

そのうち22枚は512x1024(1"/pix)、1枚は512x698(1"/pix)

( camera-pixelは2"/pix, atlasは1"/pix )

位置と測光キャリブレーションのデータがヘッダに記載

Quicklook Imageというのもwebで配給されている。

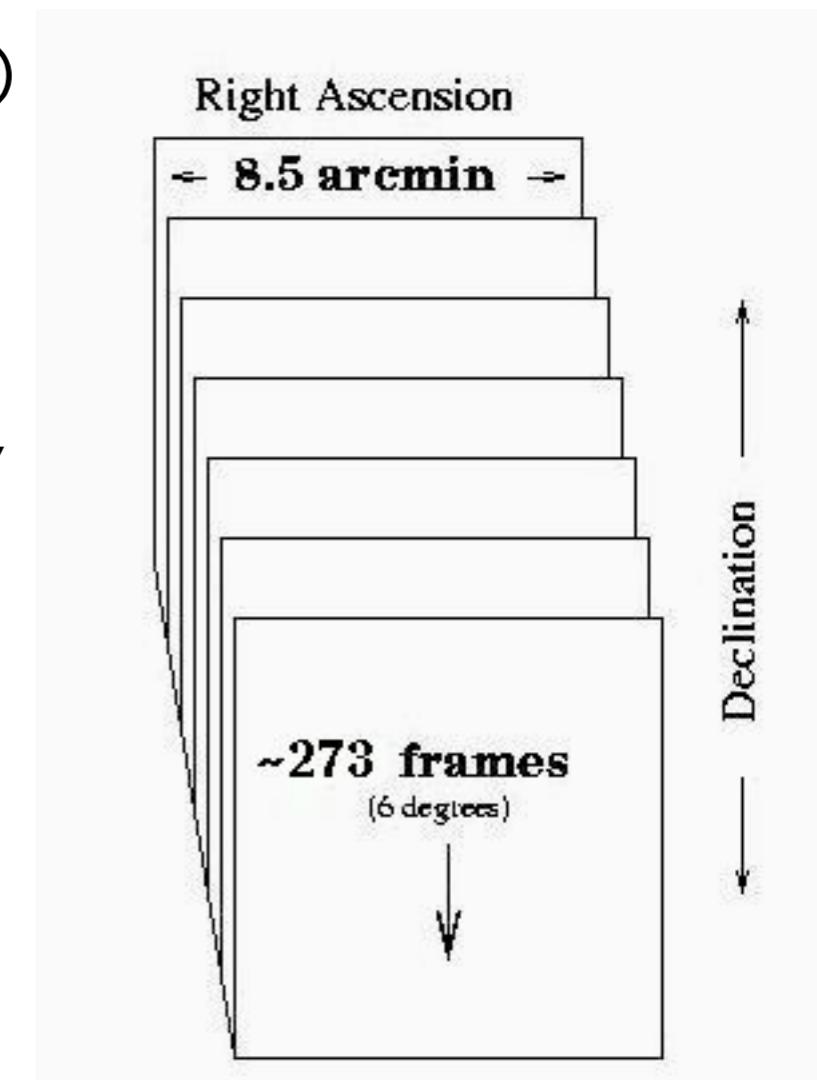
<http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/2MASS/QL/>

1/20に圧縮したデータ。測光には向かない。

### ii. Extended Source Postage Stamp Images

XSCのソースの周辺の切り出し。

21"x21"から301"x301"までサイズが選べる。



## ● Cautionary Notes

- Sky Coverage

Image Atlas : 99.998%

PSC : 99.65% (J), 99.51%(H), 99.56%(Ks)

XSC : ~98%

足りない分は主に明るい星をマスクした効果。

- Physical Gap : 望遠鏡のpointing error ( $0.71 \text{ deg}^2$ )、

- Effective Gap in the catalog : tile の端から  $10''$  (PSC),  $15''$ (XSC) 以上離れたソースのみ拾っている。

tileのペアの重なりが $20''$ 以下だとカタログにはのらないものが生じる。  
( $1.26\text{deg}^2$  for PSC, 1.65 for XSC)

- 明るい星 :  $106 \text{ deg}^2$  in J,  $156 \text{ deg}^2$  in H,  $178 \text{ deg}^2$  in K

- Effective loss of faint source coverage due to confusion in the Galactic plane

# II. User's Guide to the 2MASS All-Sky Data Release

## 2. Point Source Catalog

- a. Point Source Catalog Column Descriptions
- b. How to Use the 2MASS PSC – A PSC Practical User's Guide
- c. PSC Source Selection Criteria
- d. General Properties of the PSC
- e. Photometric Properties
- f. Astrometric Properties
- g. Solar System Objects

# 例

## c. PSC Source Selection Criteria:

The All-Sky Release PSC contains accurate astrometry and photometry for 470,992,970 near-infrared sources extracted from scans of 59,731 Tiles covering 99.998% of the sky.

Sources in the PSC were drawn from a *Working Database* of all [detections](#) in these Tiles, using the selection criteria described in Section [V.3](#) and summarized in Table 1. The point source *Working Database* contains approximately a factor of two more detections than are in the PSC; a significant fraction of these are detections of noise and image artifacts. The source detection thresholds in 2MASS [pipeline data processing](#) are set intentionally low to insure completeness. The demanding [reliability requirements](#) for the 2MASS PSC were achieved by applying the selection criteria listed below.

Users are recommended to review the Cautionary Notes for the PSC in Section [I.6.b](#) for known features of and problems in the catalog.

Table 1 - Point Source Selection Criteria for the All Sky Release

Category	Criteria	Purpose
Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Band-detection	<p>Source must be detected in at least one band with a SNR&gt;7</p> <p><b>OR</b></p> <p>Source must be detected in three bands with a SNR&gt;5</p> <p>The SNR thresholds can be satisfied by either the SNR derived from the photometric measurement uncertainty or the <i>scan SNR</i> (<a href="#">[jhk].snr</a>).</p>	To filter out low SNR noise detections
Frame-detection	<p>In at least one detected band, the source position must not be masked out because of noisy pixels or other transient events on more than two out of the six (and sometimes seven) frames sampling its position,</p> <p><b>AND</b></p> <p>SNR&gt;20 sources must be detected at SNR&gt;3 on at least 40% of individual the unmasked frames</p> <p><b>OR</b></p> <p>The source must have non-saturated detections in all three bands <b>AND</b> it must have been</p>	Hot pixel, cosmic ray, meteor trail and low reliability source rejection

# III. 2MASS Facilities and Operations

- 留意点

- 積分セット

[Read1 (**R1**) 51-ms, Read2(**R2**) 1.3s, doubly-correlated difference frame Read2 – Read1 (R2–R1)]

R1も残っていて明るいソースの測光に使われる。

- image quality

the best image

for Mt.Hopkins : 2.7"-2.8" FWHM

for the CTIO : 2.5"-2.7" FWHM

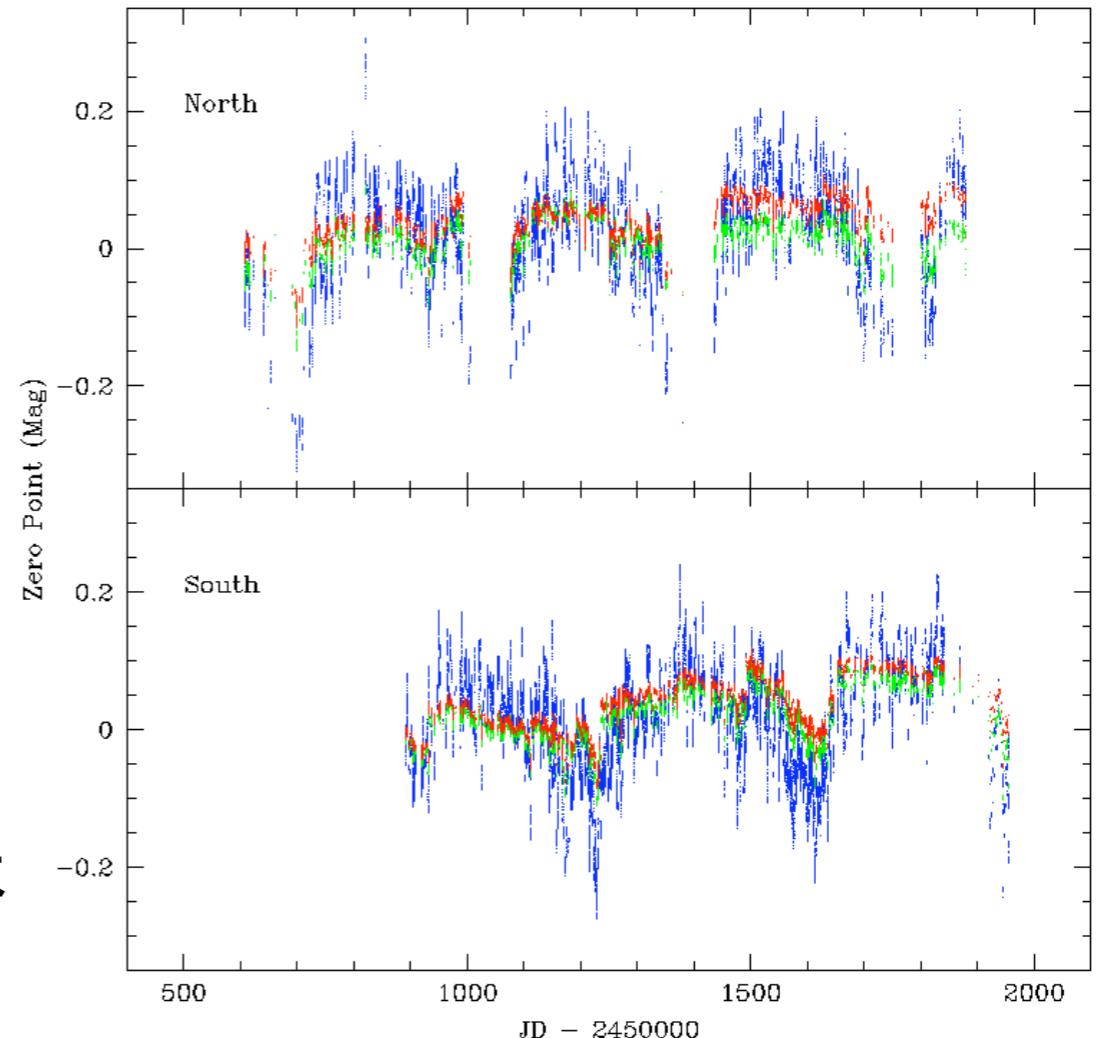
- zero-point Offsets

夜毎に測光のゼロ点補正を決める。

時間の関数としても考慮

zero-pointの変化(右図)

急激に変化しているところはカメラの窓および主鏡のクリーニングがあった



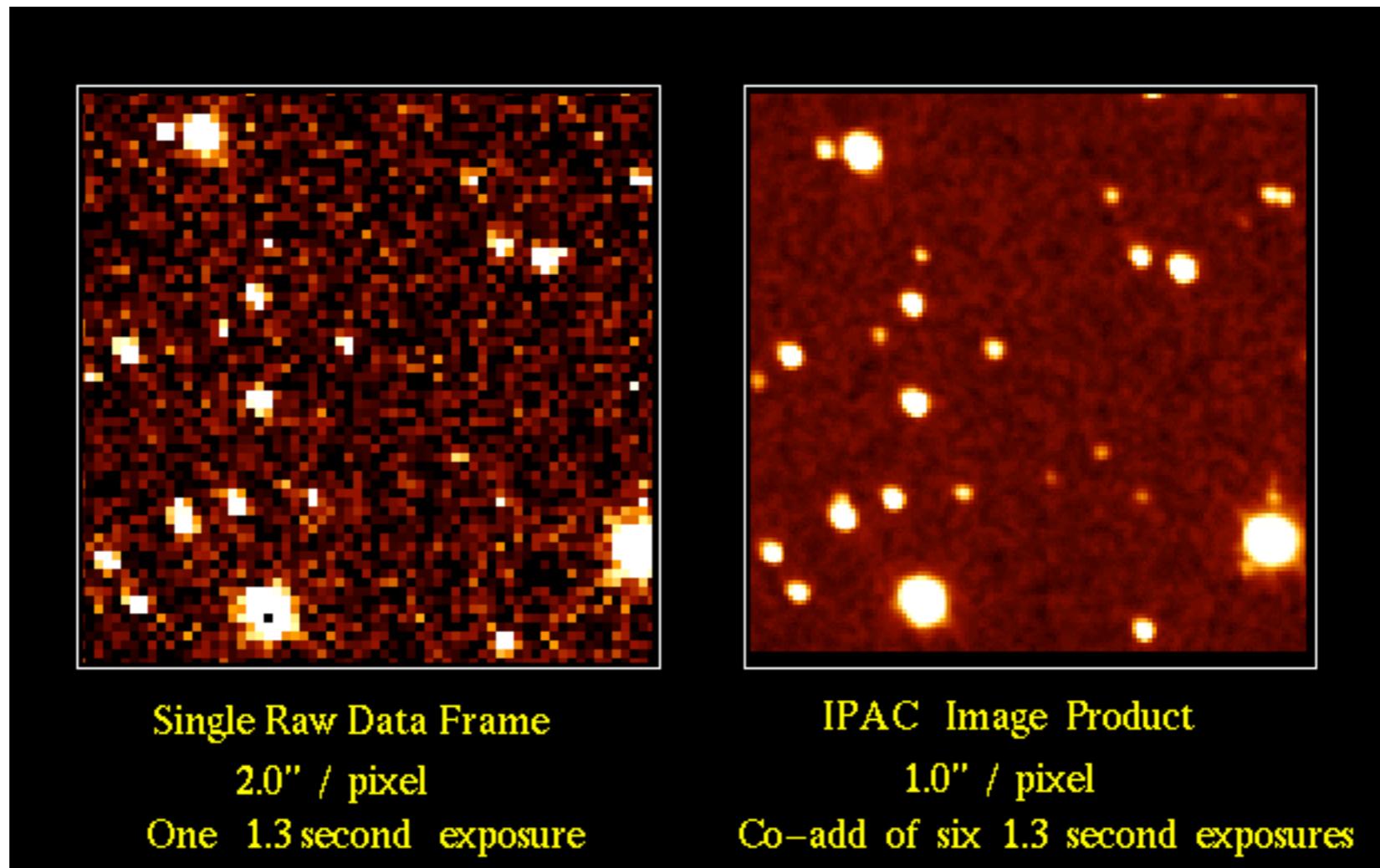
- Scanning Strategy

赤緯方向に57"/秒でスキャン。

視野の1/6が重なる。

1.3sec×6=7.8secが1点での総積分時間

sub-pixel ditheringで空間分解能をあげる



- Photometric Calibration Strategy

1時間おきに標準星(Persson or UKIRT)を含むtileを観測する

数個の同じ標準星tile( $1^\circ$ )を何回か観測(airmass補正)

2次標準星カタログの作成 (Nikolaev et al. 2000)

# IV. 2MASS Data Processing

## ● Processing Pipeline Overview

2MASS Production Processing System (2MAPPS) を用いてimageの作成、point and extended source dataの作成が行われる。

- basic scan processing
  - R1(51 ms) およびR2-R1(1.3 s)フレームのdark引き、flat割り、sky補正
  - point source検出、位置決め、明るいソースの測光
  - image combine -> Atlas image
  - Atlas imageからpoint sourceの検出
  - point sourceの位置と明るさの測定。明るい星で作られた人工的なものの同定
  - 3バンドのソースの同定、位置はTycho2 (2.5million) によって決定。
  - 点源として分解されているかチェック。広がったソース候補の明るさと形。

- post scan processing
  - 測光calibration決定上記
  - calibrationをpoint sourceとextended sourceとAtlas imageに適用
  - データの質を確認
  - source list, image, scan informationをdatabaseに入力。
- pipelineの産物は、bandを合わせ、測光補正、位置決定されたpoint source とextended sourceのlist。これらのlistの積み重ねがdata base となり catalogとなる。

# 質の向上のために行ったこと

## 2nd Incremental からの改善点の記述

- Instrumental Calibration
- Atlas Images
- Point Source Characterization
- Extended Source Characterization
- Astrometry
- Artifact Identification
- Photometric Calibration
- Minor Planet Identification
- Quality Assurance

## ● Instrumental Calibration

- それぞれのarrayで2次元saturation map使用。以前は全てのpixelに一様にconstant saturation thresholdを与えていた。  
(saturationに場所依存?)
- 全てのデータを使って、最良のCanonical DarkとFlat-field(その日の日に最適化)を作成した。(Flat-field images incorporate corrections for **cross-scan biases** observed in point source photometry. -> 何?)

## ● Atlas Images

- 流星の跡の検出とblanking
- backgroundの傾きを改良。
- backgroundのノイズがより本当のPoisson noiseになって、detection thresholdsがきちんと設定できるようになった。(Result is that Atlas Image backgrounds may not match smoothly in-scan. ->何?)
- Single pixel coverage allowed into Atlas Images to minimize “holes”. -> 何?

## ● Point Source Characterization

- noiseの評価を改良。(source detection thresholdsに関連)低周波の background 構造に敏感ではなくなった。
- R1でさちった星の検出。1次元のradial profile fittingを使って重心と明るさの評価。
- PSFのセットの改良。variance map(array上での?)の改良。全ての arrayと全ての時期について。結果として、質の向上がuncertainty estimation vs. brightness and chi-squared statistical distributionに見られた。
- R2-R1での測光で、Seeingに依存した、aperture photometryでの curve-of-growthとnormalizationのlook-up tableを使用。エラーが小さくなった。scan毎に求めてたものと比べて。

- Astrometry

- より高密度のTycho2カタログを使用
- 焦点面でのdistortionの測定
- 位置とその誤差の補正のテーブルを作成。これによって、星の数が少ない所でのパフォーマンスがあがった。

## ● Photometric Calibration

- 全サーベイから2次標準星を改良。internal consistencyに最大の努力がなされた。変光星も削除された。
- 時間変化する大気吸収のモデルを用いた(varies by month)。全てのサーベイデータを用いてglobal solutionを出してそこから導きだした。
- より高次のフィットを夜毎のzero-point offsetに適用。Piece-wise fitをJバンドに、linear fitをHとKsバンドを使った。これらのfittingで標準星のoverall residualを最も低くした。

## ● Instrumental Frame Calibration

- Frame Readouts

2回の読み出しのR2-R1を主にpipeline処理。R2でサチる星はR1で測定。

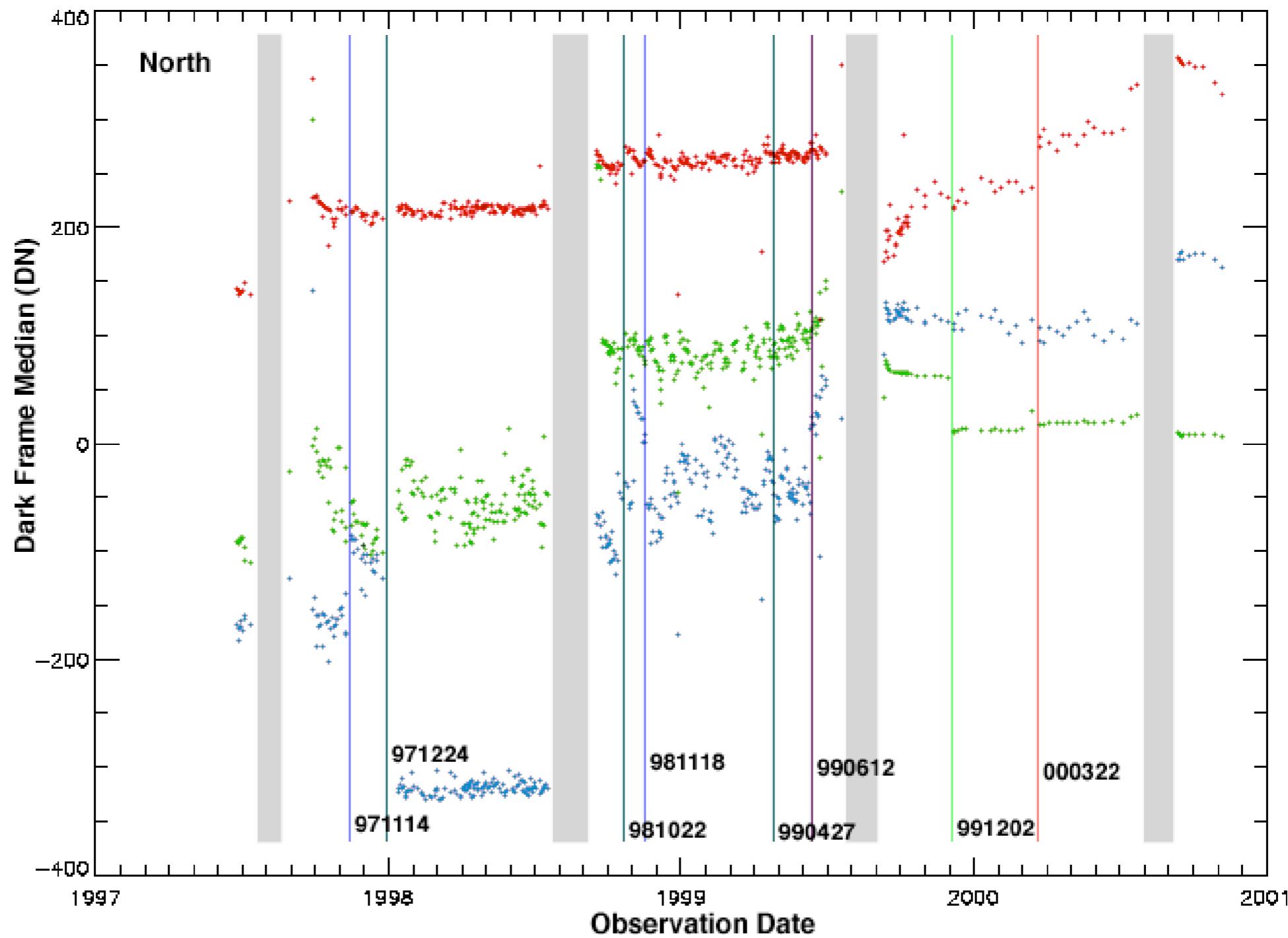
- Darks/Electronics Bias Characterization

- 夜毎のdarkは何週間-何ヶ月にわたって安定

- 夜毎のdarkは振る舞いが同じ期間のものについて平均された”grand canonicals”が作成される。そしてその期間すべてのデータに適用される。

- 振る舞いが変わるのは、機械をいじったとき。

- Northでは16-period、Southでは4-periodのcanonical darkを使用。



# canonical darkのlist

## NORTHERN HEMISPHERE DARKS

Dates	Bnd	Notes
-----		
a	970000 970830	---
		summer shutdown
b	970901 971114	JHK work during rain at telescope for several days
c	971115 971224	J holiday shutdown
d	971225 980411	JH zener diodes added (read1 changes)
e	980412 980719	JHK summer shutdown
f	980720 980924	JHK Leach test at start of night
g	980925 981014	H camera pumped down (only 3 days of darks; no break)
h	981015 981022	H Leach replaces GATIR electronics
i	981023 981118	J K Leach eprom change (actually before obs on 18th??)
j	981119 990427	JH Leach software upgrade
k	990428 990612	JH slight warmup of camera
l	990613 990720	J K summer shutdown
m	990721 991202	JHK H banding problems show in darks?
n	991203 000322	H camera pumped down
o	000323 000724	K summer shutdown
p	000725 020101	JHK end of ops

- Flatfield/Responsivity Characterization

- flatはtwilight skyを撮って作る。medianが1になるように規格化
- 毎日のflatは5日分さかのぼった平均(canonical flat)と比べる。そしてその canonical flatとよい一致をしていたら、その日のflatを加えて新たなcanonical flatを作る。一致しなかったら(雲の影響とか)、その日のは加えない。  
**ということを2nd Incrementalのときにやっていた。**
- 上記のように作成した全時期のflatのlibraryの解析の結果、何ヶ月というタイムスケールで安定なのでもっと長期間での平均のflatを作成。  
many of the **flatfield drifts** seen across timescales of weeks to months are seasonal in nature and more likely reflect changing illumination patterns within the observatories rather than actual drift in electronics responsivities. Therefore more uniform canonical flats averaged over longer periods have been adopted give more consistent **cross-scan biases** (illumination-derived variations in flats across the detector that do not correlate to actual responsivities can contribute to photometric biases as a function of horizontal position within the image).
- こうして”grand canonical” flatを素性のよいflatのmedianから作成。
- Northでは8-period、Southでは4-periodの ”grand canonical” flat

## NORTHERN HEMISPHERE FLATS

	Dates	Bands
a	970000 970802	J1 H1 K1
b	970903 970922	J2 " "
c	970927 971026	J3 " K2
d	971027 980918	J4 H2 K3
e	980919 981020	" H3 K4
f	981021 990720	J5 H4 K5
g	990721 000901	J6 H5 K6
h	000902 050000	" H6 "

## SOUTHERN HEMISPHERE FLATS

	Dates	Bands
a	970000 990117	J1 H1 K1
b	990118 990226	J2 H2 K2
c	990227 990624	J3 H3 K3
d	990625 050000	J4 H4 K4

- Frame Calibration Procedure

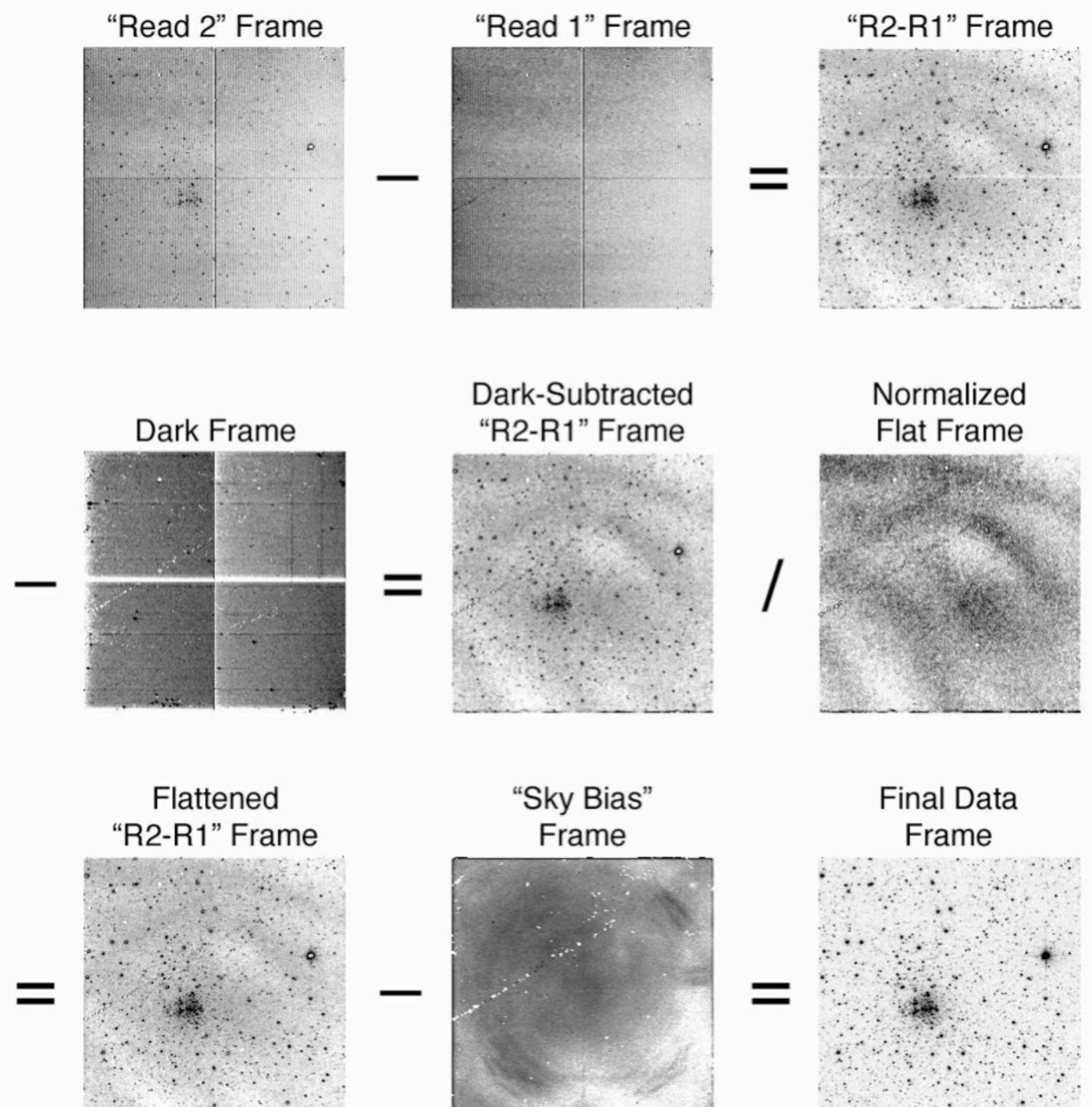
1. R1-R2フレームを作成
2. ダーク引き
3. フラット割り
4. sky引き

次ページに行程図

- 上記行程3まで終わったフレームを少なくとも42枚使用して、skyを作成する。(sigma-trimmed average)
- 最終的なcalibrated frameのバックグラウンドレベルは元々のスカイレベルと同じ。
- これでcombineするなりsource detectionするなりの準備はOK。

# 2MASS

## Instrumental Frame Calibration ( $K_s$ Band)



## ● Atlas Image Generation

8.53'×17.07' (512×1024, 1"/pix)のAtlas imageが6枚のcalibrated framesから作成  
declinationで隣とは54"重なる。

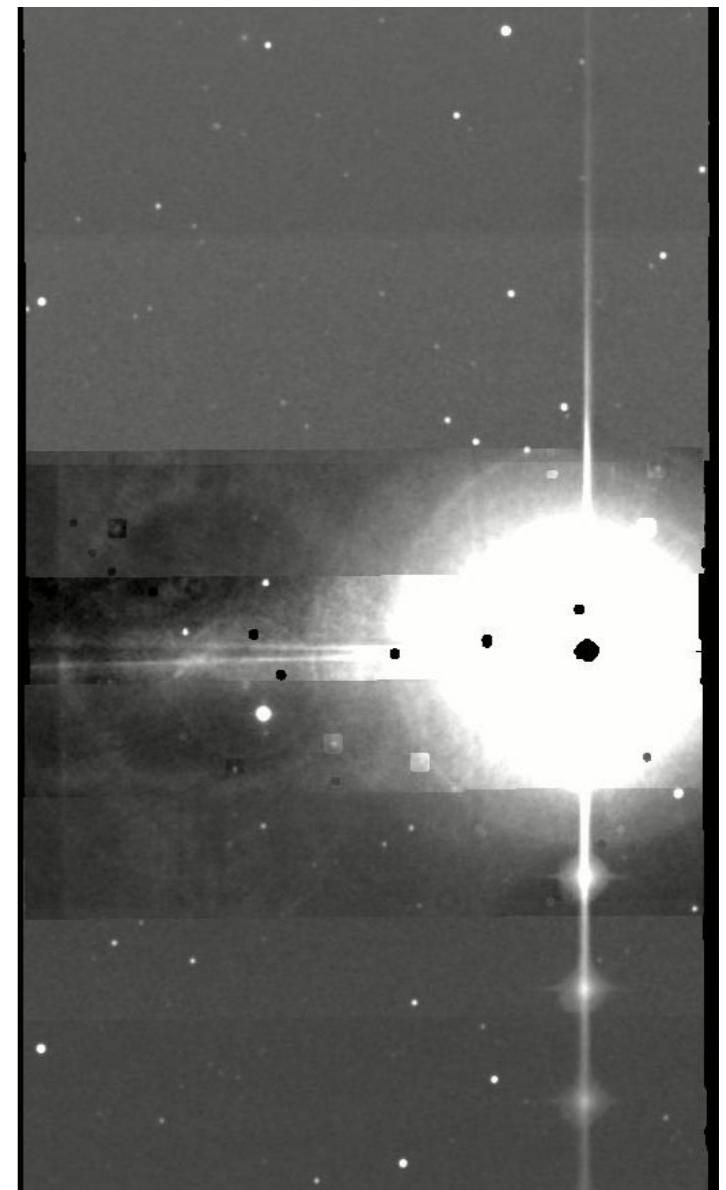
FITSヘッダにはastrometric solutionとphotometric zero point が含まれる。

重ね合わせは相対的な位置関係を見積もった後に、fluxが保存  
されるinterpolation kernel (後述)を用いて位置合わせされる。

極端にノイズの大きいpixel、流星や衛星の軌跡、宇宙線は  
マスクされてからinterpolationされる。

重なるframeのbackgroundにあうようにsky levelが調整される。  
継ぎ目のない画像。ただし、skyが急激に変動すると(雲やOH、  
明るい星)うまくいかない。

maskのために、1枚もそのpixelに値を与えない場合、0が入る。  
imageの端で、2枚以下のフレームしか値がない場合、そのpixel  
には0が入る。



- a bias reset decay artifact (我々がいうところのreset anomaly)

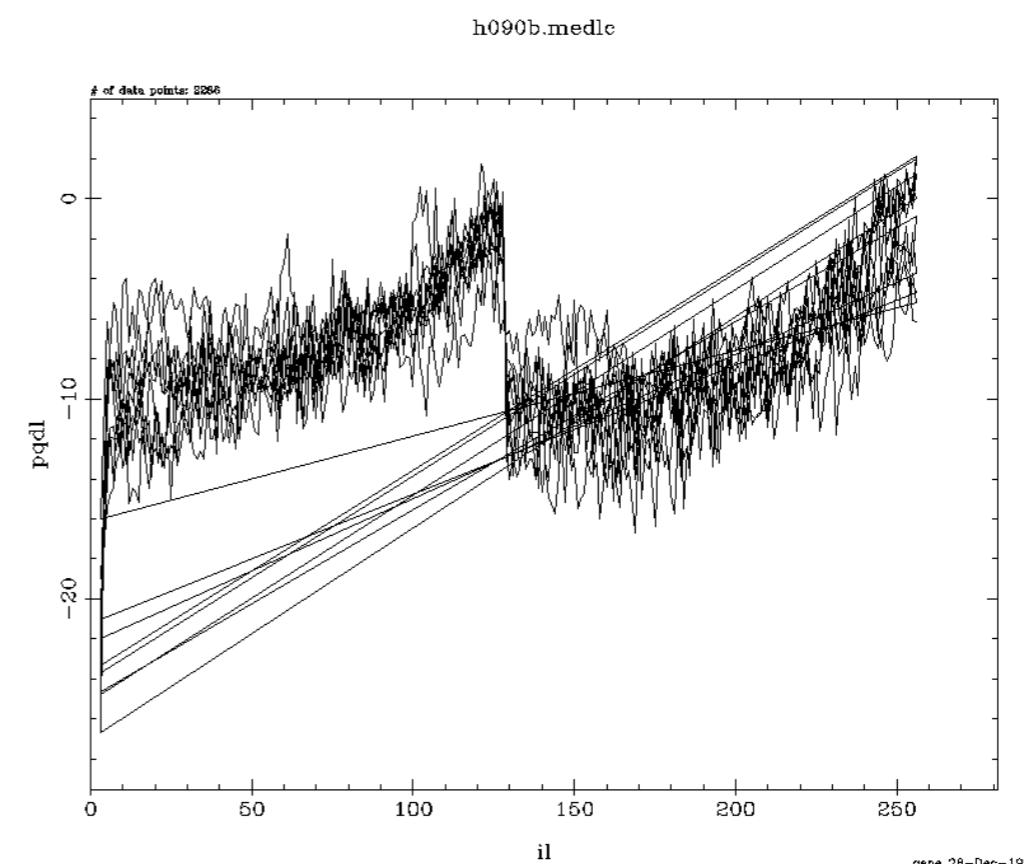
“a background bias which decayed across the lines in each detector quadrant and varied from frame to frame”

Northの方のカメラのJとHで確認されている

このbiasは各frameの各lineでの“the lower quartiles (四分位; データを小さい方からsortして25%のところ)”を使い、空間的に比べて除去

quadrantをまたいでoffsetとslopeはframe間での残差が最小になるように計算

詳細がリンクされているので見てみる



- bias slope problem

<http://spider.ipac.caltech.edu/staff/gene/analysis/hslope.html>

“a decaying offset as a function of line, discontinuous at quadrant boundaries”

これはcoadded imagesでbackground noise levelオーダーの大きさの不連続として現れ、galaxyや点源の検出感度と信頼性を劣化させる

decayはlinearではなくおおよそexponential

上と下のquadrantでdecayは同じではない

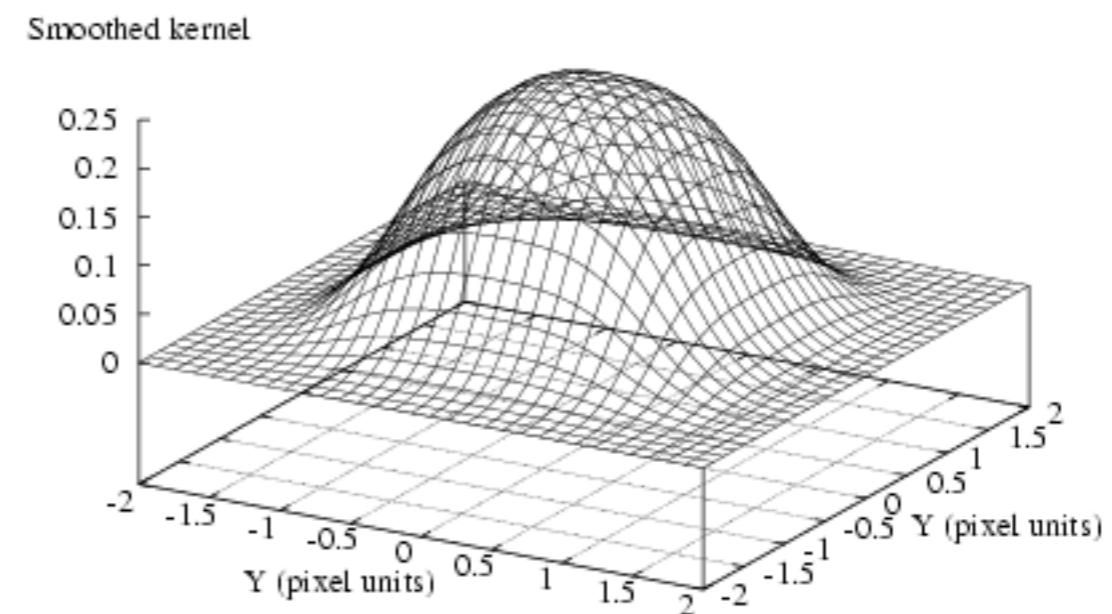
西側の端でこの効果が強いことが頻繁

exponential model を使ったfittingを用いて補正しているが、多少残差はまだ残る

明るい星やOH/雲の影響を受けているとき

- Image Estimation Using Kernel Smoothing

sub-pixelでの位置合わせと測光のために、interpolationが必要  
pixel間のfluxの推測のためにGaussian Kernelを用いたSmoothingを使う  
smoothing lengthは  $h=0.35$  pixel と経験上決めた



## ● Point Source Detection and Photometry

### ● overview

$J=9, H=8.5, Ks=8$ よりも暗い点源は1.3s積分でサチらずに6枚合成したフレームで検出される。これらの点源について重心計算、測光(PSF fittingとmulti-aperture)がなされる。curve-of-growth補正も行われる。default-magnitudeはPSF測光の結果

$4.5 < J < 9, 4 < H < 8.5, 3.5 < Ks < 8$  の点源は1.3s積分ではサチるが、51-msではサチらない。51-ms積分のフレームで検出、重心計算、aperture 測光。

$J < 4.5, H < 4, Ks < 3.5$  の点源は51-msでもサチる。これらの点源は51-msフレームで検出と重心計算し、サチっていないwingの部分を使って、1次元radial profile fittingで測光

S/Nの十分大きいサチっていない星のaperture測光が一番正しいと仮定。  
curve-of-growth補正したaperture測光に対して、PSF測光の値がnormalizeされる

- Frame Source Detection and Aperture Photometry

dark-flat-sky処理済みのR1およびR2-R1フレームで最初のdetectionとaperture phot  
目的:Atlas imageを作るための位置決定(ここでのpositionと測光値はカタログには使わ  
れない。Atlas imageで再測定するので)、R2-R1でサチってしまう星の測光をR1で(これ  
はカタログに使われる)

point sourceは局所的な強度のピーク(local maxima)を見つけることで検出。  
位置は a maximum-likelihood estimatorを用いて決められる  
等級は4" radius (2-camera pixel)のaperture photometryで決められる

全てのpixelの値がヒストグラム化される。そこからmedianとnoiseが求まる。  
このnoiseは0.1587と0.8413 percentile pointsの1/2の所で決められる。

local backgroundから4-sigmaを越すlocal maximaについて以下の計算がなされる。  
そのlocal maximaを中心とした3x3pixel領域でのcentroidが計算される  
そのlocal centroidはinitial source positionとして使われる。  
そしてmaximum likelihood position estimation techmichを用いてより厳密に決定  
/\* 計算の詳細はパス \*/

- (続き)

aperture photometryは上記で求められた場所について行われる。

skyの値は半径=24"-30"の間で測定される。ここで、サチった、マスクされた、異常に小さな値のpixelは除外される。

sigma-trimmed medianがskyの値とされる。

- i. Bright Source (R1) Aperture Photometry

51msのR1を使うことでダイナミックレンジが広がる。

1.3secの場合、(J,H,Ks)=(9.5,9.0,8.5)くらいでサチリ始める。R1でのaperture photometryの値が用いられる。

## ii. Faint Source Detection

暗い点源(要はほとんどの点源)はAtlas imageで検出される。

Atlas imageは **zero-sum** 4" FWHM Gaussianで13-pixel sub-arrayにわたってconvolve  
そのfiltered imageにthresholdを設定してsourceを同定。

corrected centroidから位置もroughに計算。

この検出方法は基本的にはDAOPHOTIIのFINDプロセスと同じ。(Stetson 1991)

このdetection listを使って、scan 中のseeingのestimate、photometryを行う。

detection thresholdは $3 \times (\text{noise level})$ 。noise levelはimageのヒストグラムの50%と  
32.22%のquantiles(変位値)の差で推算する。

このnoise-estimatorはconfusion noiseに敏感で銀河面などでthresholdが増加する

## iii. Very Bright Source Detection and Photometry

Read\_1でもサチる点源はwingの部分で測光する。

2MASS Catalogで最も明るい星はOriα (J=-2.99,H=-4.01,Ks=-4.38)

analytic modelを用いる  $f = f_0 e^{-(r/r_0)^2} + f_1 e^{-(r/r_1)^{p_1}} + f_2 e^{-(r/r_2)^{p_2}} + f_3 / (1 + (r/r_3)^2)^q$

Seeingによる補正が重要(several  $\times 0.1$  magくらい効く)

0.1–0.2等くらいの精度を達成しているらし

詳細は別のところで

[http://spider.ipac.caltech.edu/staff/cxu/2mass/bstar/grand\\_psf/grand\\_psf.html](http://spider.ipac.caltech.edu/staff/cxu/2mass/bstar/grand_psf/grand_psf.html)

- Profile-Fit Photometry

Atlas imageからのphotometryと位置推算はprofile-fittingで行われる

detectionはAtlas imageで行われるが、point source fitは"performed directly on the flat-fielded pixel values in a stack of 6 frames" (recombineされたimageで行われるのではないか?)

PSFの形とframe間の相対位置offset(Atlas imageを作るときに既知)の情報を元に行う。

数学的な詳細：パス

- Point Spread Function and Seeing Estimation

PSF libraryというのがbandごとseeingごとに用意されている。

2MASS pipelineの中でPSFを作るわけではない。

というのも星がすごく少ないところや多いところで自動的にPSFを作るのは難しい

それにPSF作成はCPUタイムも食うのでPSF libraryを使うほうがかなり速い

特定のseeing sizeのPSF libraryはempiricalに作られる(平均のseeing sizeがそのsizeのsingle calibration scansから)

明るい方から50個の星を選び、centroidをとって位置を合わせて

PSFを作るフレームおよび星の選出の基準は以下のとおり。

- \*scan中のseeing parameterの変化が小さいもの

- \*星のx-とy-のcentral momentsが同じ(10%以内)

- \*同様の条件化の他のPSFとconsistentであること

profile fitting photometryのときの適切なPSFの選び方。

seeingは時間差18secに相当する17arcminの中で決める。

実際の間隔は星の密度による。星が少なければ上記の3倍くらいまで長くなり得る。

もしseeingが上記間隔よりも早く変化する場合、several %程度の測光エラーがあり得る。

本当のimageのPSFとprofile fittingに使われるPSFが違ってしまうから。

- Aperture Photometry, Curve of Growth Correction and Photometric Normalization
- i. Aperture Photometry

Atlas imageで検出されたnon-saturated sourceについてaperture測光をする

1. Profile-fit photometryに絶対測光のスケールを与える
2. objectのdetectabilityの統計のため、
3. profile fittingが収束しないときのback-upのため

Profile-fittingと同様に、測光はindividual framesで行われる

aperture radiusは3"から14"まで1"ステップで複数radiusで行う。

skyは14"-20"の円環で計算される。skyはまずサチった、マスクされた、異様に小さい値、のpixelを除去して計算。sigma-trimmed medianを使って計算される。

6回の測定は重みなしで平均。ソースの場所から4"以内にマスクされたピクセルがあるフレームは平均から除外される。

ndetフラッグは3sigma以上のdetectionがあったものの数と測定可能(マスクピクセル等がなかった)なフレームの数が記されている。

"665634"だとJバンドは6枚全部で可能で6個のdetection、Hバンドは6枚で可能で5枚でdetection、Kバンドは4枚で可能で3個のdetectionがあった。

## ii. Curve-of Growth Correction

2MASSのaperture測光ではとりあえず4"半径が使われる。(~2 camera pixel)

しかしこの半径では2%-15%(seeingによる)のfluxがもれてしまう。

この損失を補正するためにcurve-of-growth correctionを行う。その補正後の値が aperture等級として j\_m\_stdapなどに記載される

curve-of-growth補正をすることで、4"-apertureの測光を無限大-apertureの測光と等価にする。

単純に大きなaperture半径を使うとS/Nが悪くなるのでこのようなことをする。

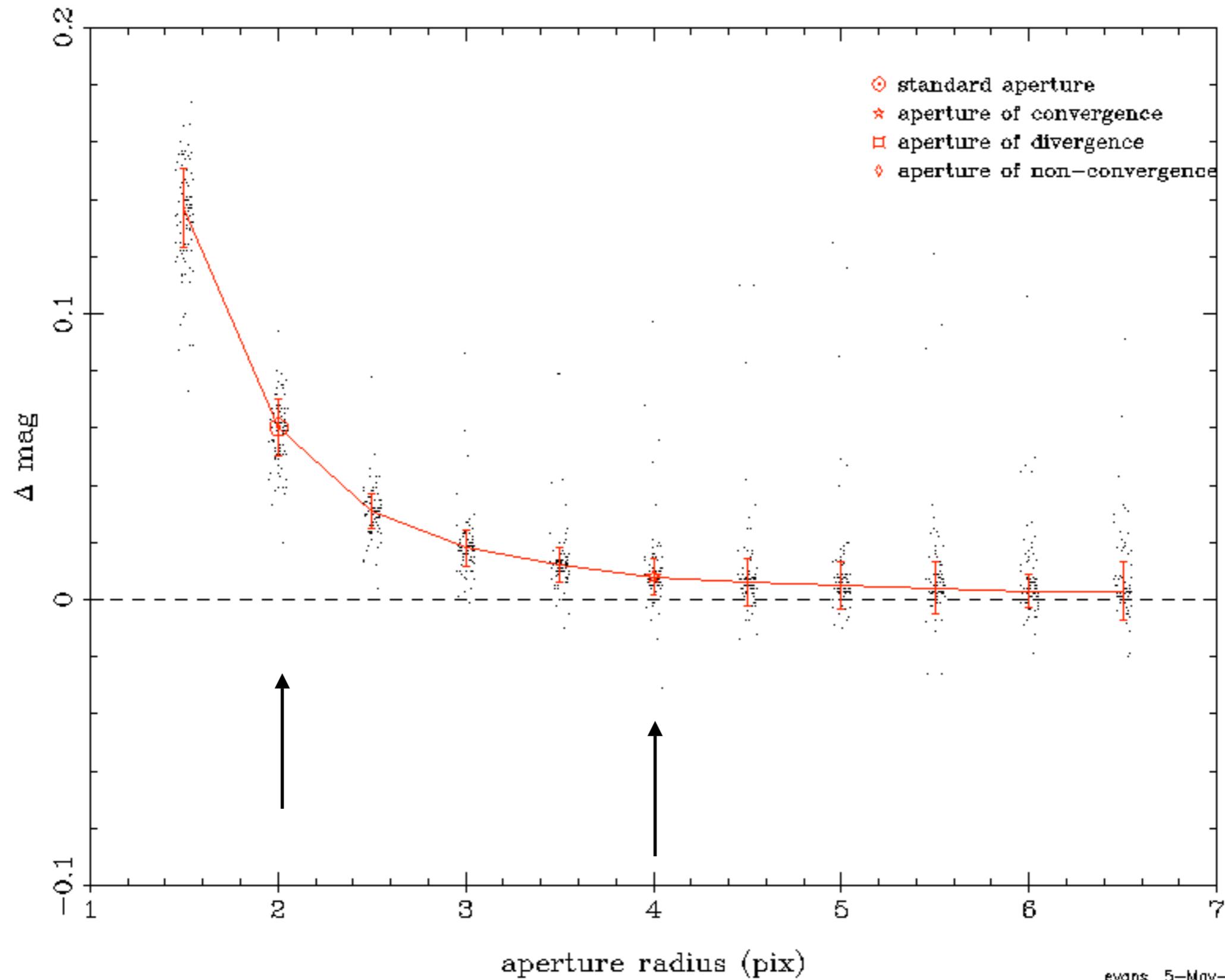
2MASSではseeing vs. curve-of-growth補正值のtableを参照する

tableはサチっていない明るい星を数多く、いろんなseeing条件で複数aperture半径で測定することでempiricalに作成

等級差が収束する半径を決めて(次ページ図参照)、その半径での等級と4"半径での等級の差のmedianを求める(収束の条件はどうしているのだろう。。)

各バンド、seeingでのinternalなconsistencyはmedianとmeanで0.01等以下(?)

971101n j 091, PSF=00240



### iii. Photometric Normalization

1.3s sec積分で、S/Nの高い、混んでいない、サチっていない星のcurve-of-growth補正後のaperture測光値が2MASSの真のphotometric scaleをbestに与え、profile-fitting 等級と51-msでのaperture等級がnormalizeされる

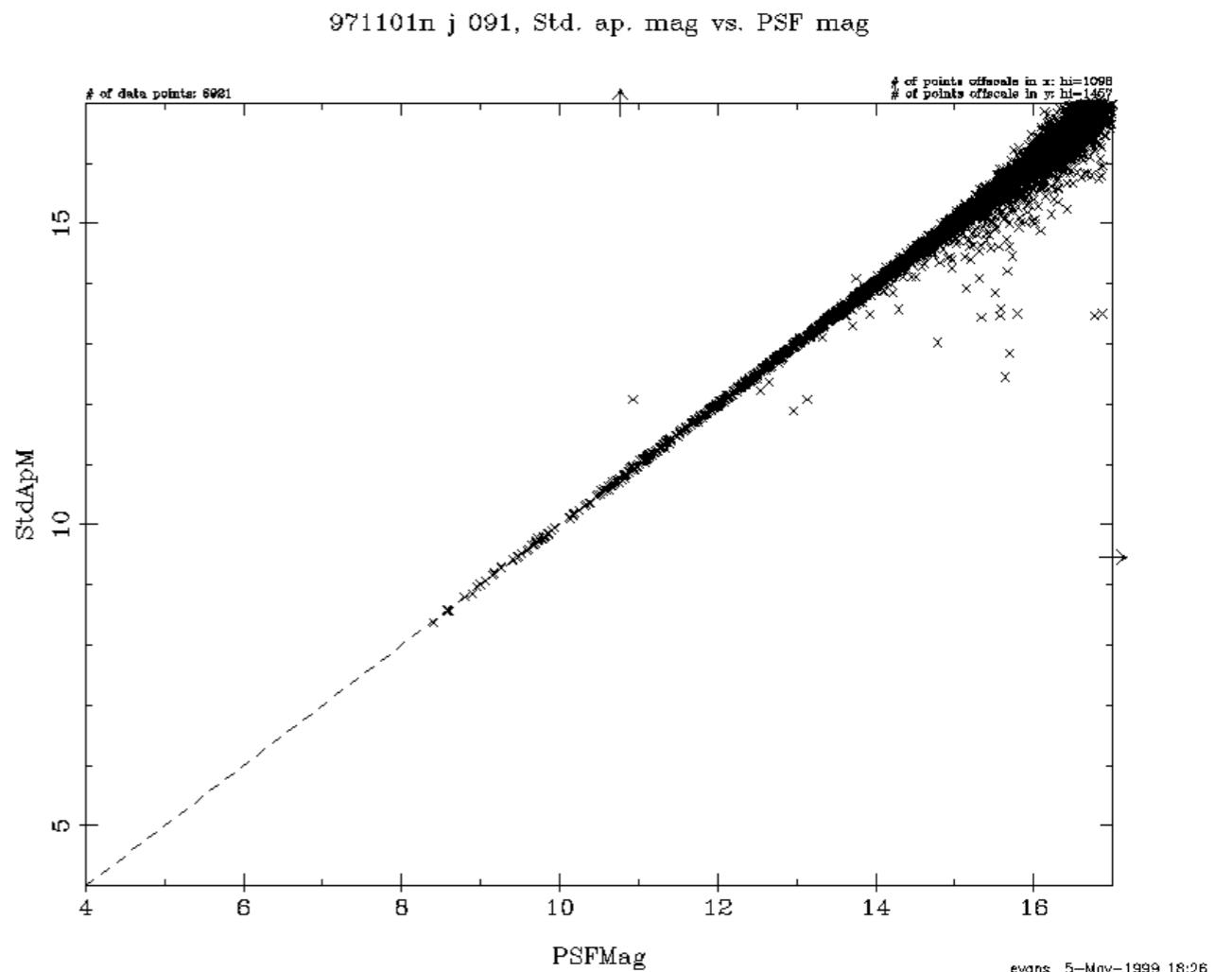
- Profile-fit Photometry

normalizationはS/Nの高い星のprofile-fitting等級とcurve-of-growth補正済み aperture測光値の差から求められる。

band毎、seeing毎に差のmedianが  
3-sigma clippingされて求められる

Tileによっては、星が少なすぎたり  
多すぎたりして信頼できる値が得られ  
ない。

その場合はtable (indexed by the  
seeing)を参照する。



- Bright Star Aperture Photometry

51-ms積分での明るい星のaperture測光値はseeing look-up tableを使ってnormalizeする(51-msと1.3secで同時にS/N良く測定できる星の数は少ない)

#### iv. Curve-of-Growth and Photometric Normalization Errors

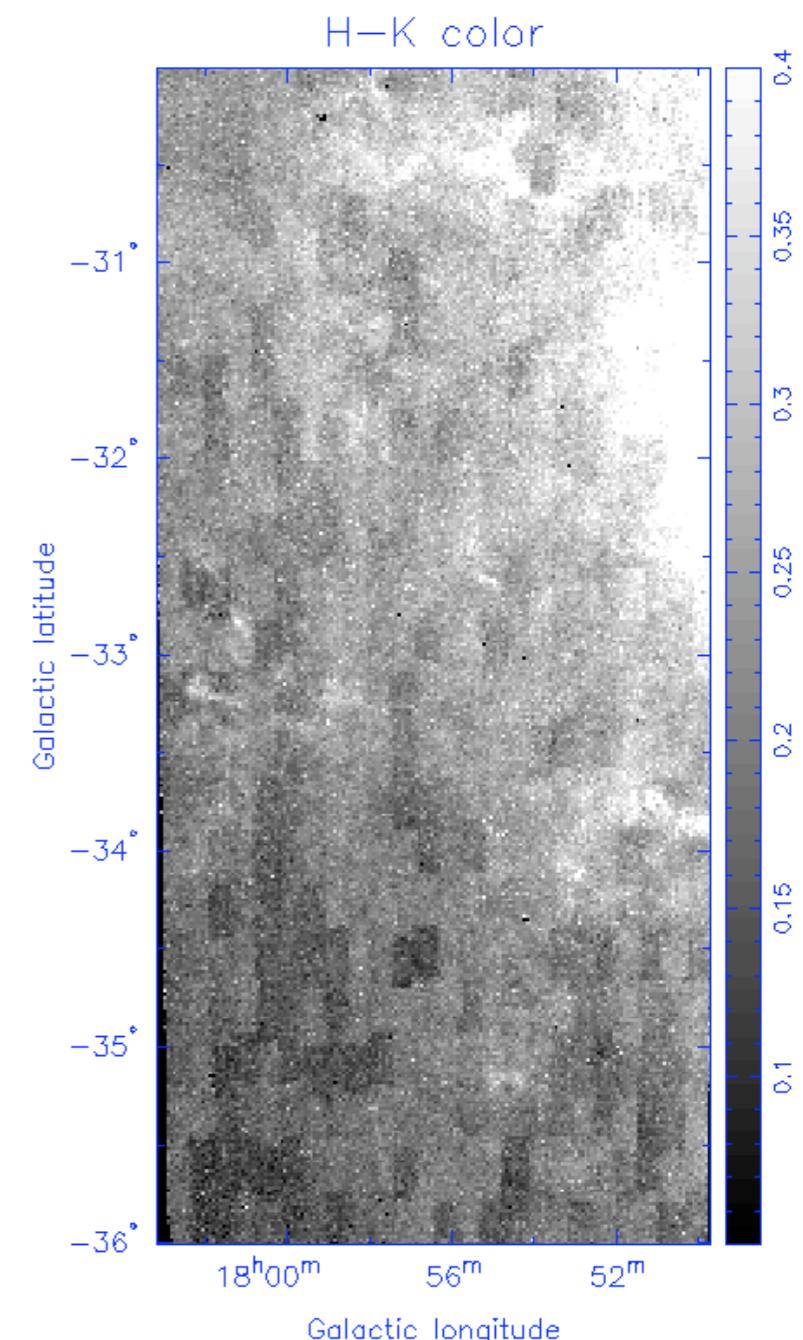
最終的な2MASSデータ処理が終わったあと、星の数の少ない場所と多い場所でのprofile-fitのnomalizationに対して古い補正tableが使われていたことが判明した。systematicに明るさをoverestimatedした。

<0.01mag (good seeing)

から0.02–0.03mag(worst seeing)

このbiasはcolorのジャンプの一要因となっているハズ  
右図は銀河中心近くの3度×6度の領域のH-Ksのmap  
最大で0.05等ほどのH-Ksのジャンプがある  
でもPSF-normalizationのerrorだけではこの値は説明  
できない。

まだ2MASSチームはこの原因をちゃんと理解していない  
でも、どうも、profile-fitのPSFの変化と関係がありそう  
aperture photometryではこのcolor biasは出ない。



- The Default Magnitude

上記までに述べた各種方法で点源の測光が行われた  
default magnitude(j\_m, h\_m, k\_m)では最もベストなものが選ばれて記載される  
rd\_flgにはどの方法を使ったかが記載される

- i. Non-Saturated “Read2–Read1” ( $J > 9$ ,  $H > 8.5$ ,  $K_s > 8$  mag)

- Profile-fit photometry : rd\_flg= “2”
- Aperture photometry : rd\_flg= “4”

- ii. Non-Saturated “Read1” ( $4.5 < J < 9$ ,  $4 < H < 8.5$ ,  $3.5 < K_s < 8$  mag)

- Aperture photometry : rd\_flg= “1”

- iii. Saturated “Read1” ( $J < 4.5$ ,  $H < 4$ ,  $K_s < 3.5$  mag)

- 1-d Radial Profile Fitting : rd\_flg= “3”

- iv. Upper Limits

- Non-Detections : rd\_flg= “0”

- そのバンドでは受かっていない場合。upper limitはnoize levelの2倍

- Inconsistently Deblended Sources : rd\_flg= “6”

- ちゃんと分解されなかった多重ソース

- v. Detections with Failed Measurements (rd\_flg= “9”)

- technicallyには検出されたが、useful measurementはできなかった。フレームの端のほうとか、detectorがnoizyになったときとか

- Band Merging and Bandfills

まずは各バンドで測光されるわけでそれらのマッチングをしないといけない  
Jを元にJHペア、JKsペア、Hを元にHJペア、HKsペア、Ksを元にKsJペア、KsHペア

マッチングは  $\chi^2 = \frac{\Delta X^2}{\sigma_{scx}^2} + \frac{\Delta Y^2}{\sigma_{scy}^2}$  をthresholdとして使う。ペアのseparationと位置の不確定性が変数

thresholdは密度により、 $95,000 \text{ deg}^{-2}$ までは36.0、そこから徐々に減り、 $350,000 \text{ deg}^{-2}$ で10.0になる

- i. Confusion in Band Merging

あるバンドの1つの点源に2つ以上の点源がマッチした場合、 $\chi^2$ の小さいペアを選ぶ  
マッチングが非対称なこともある。(複雑な操作を繰り返すらしい)

- ii. Bandfills

他の1 or 2バンドで検出が無い場合、Atlas image上の相当する場所で4" aperture sizeでのfluxとnoiseの測定がなされる。Skyはinner=14”，outer=20”

fluxが検出されない場合、noise level の2倍(2-sigma)がupper limitになる。

positive fluxが検出された場合、そのflux +2-sigmaがupper limitになる。

それらの値はdefault magnitudeに記載される

- Optical Source Associations

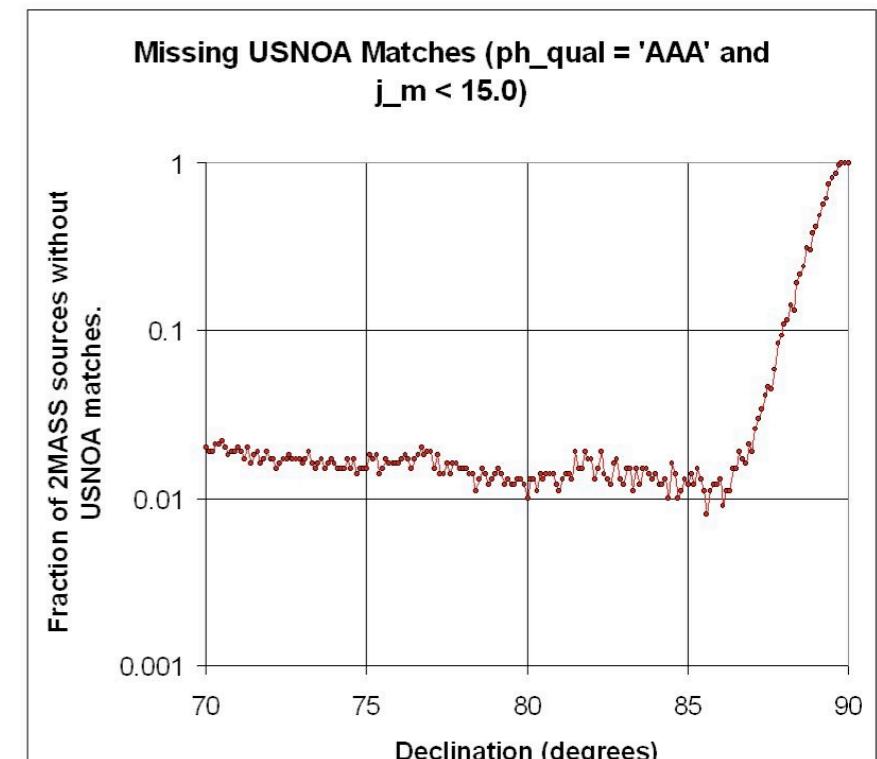
2MASSの位置決めのreferenceはTycho 2を使う。  
 cameraのdistortionのモニターには(星数の多い)USNO-A2.0を使う  
 2MASS PSC sourceの5"以内にあるoptical sourceはa=""T"(Tycho) or "U"(USNOA)  
 のflagがつき、それらの等級(b\_m\_opt and vr\_m\_opt)、離角(dist\_opt)と方位角  
 (phi\_opt)がリストされる。

強調するのは、これはpositional associationsであって、identificationsではない。  
 2MASSとoptical sourceのbest paringを見つける努力はしていない。

Tycho2との比較は、proper motionの情報がある場合には位置の補正を行っている  
 USNO-A2.0との比較はproper motion補正をしていない。

Tycho2のBとVの等級はJohnson systemに変換される  
 $V=V_t - 0.090*(B_t - V_t)$ ,  $B-V = 0.850*(B_t - V_t)$   
 USNO-A2.0の等級はそのまま

Pole近く(|dec| > 86度)でのOPTical associationはあてにならない。全然無いというふうに出るが。



The fraction of 2MASS sources with nopt\_mchs=0 shown for the north pole region. The selection of ph\_qual = 'AAA' and j\_m < 15.0 was made to enhance the unmatched region.

- Extended Source Identification and Photometry

省略

- Position Reconstruction

田辺さん

## ● Artifact Identification

明るい星によって、人工的なsourceが作られる。

青 : Diffraction spike

赤 : Persistence image (北側に残る)

マゼンダ : 明るい星のwing

シアン : stripe (256" northとsouth)

ブラウン : Filter and Dichroic glint

緑: リアル

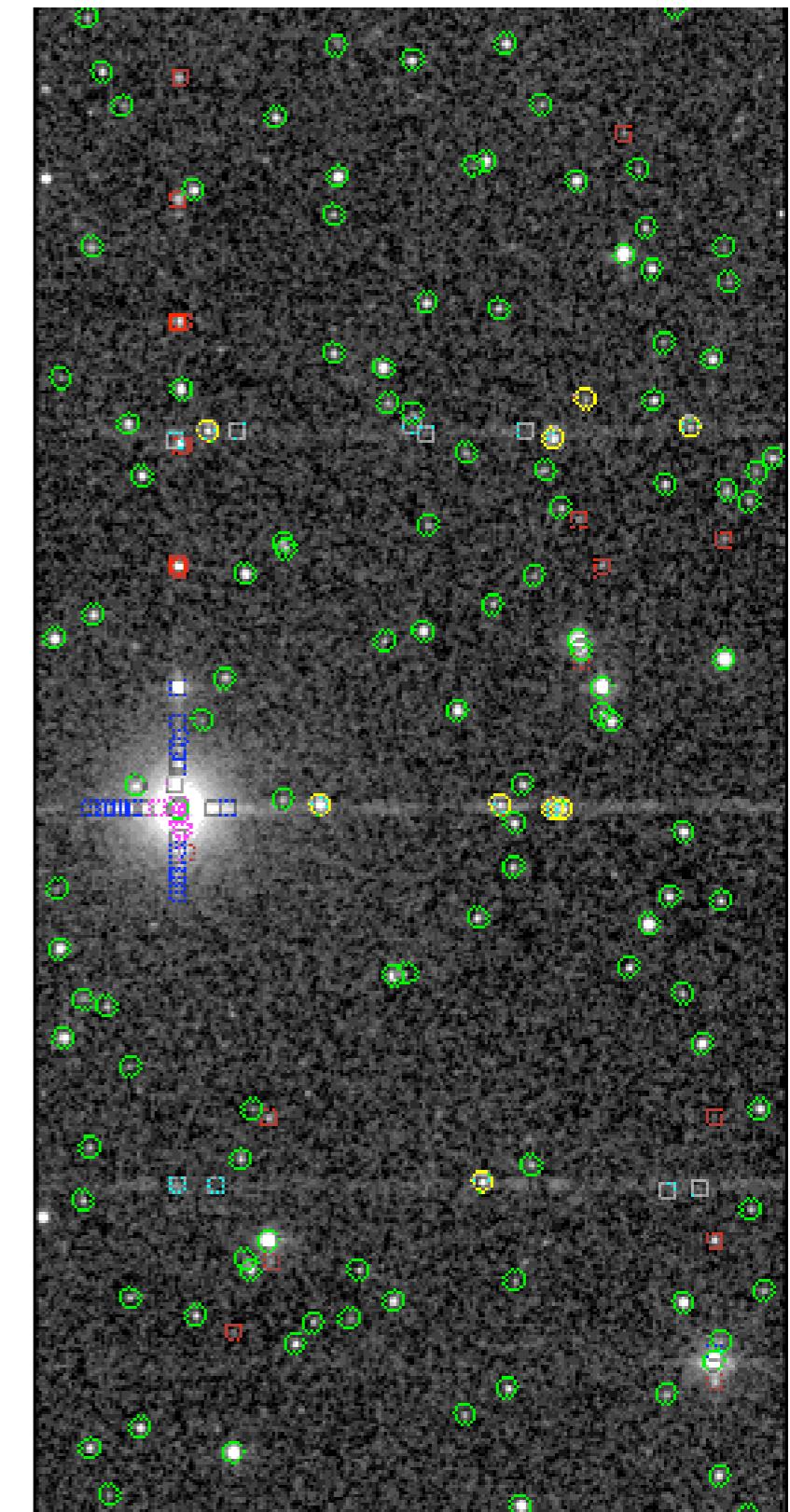
黄: たぶんリアル

人工的なsourceは明るい星との位置関係、明るさから  
判断される

flagつきでWorking Source Databaseへ

人工物の可能性の高いものは最終的なカタログには  
載らない

リアルな天体と思われるが、明るい星との位置や明る  
さから、artifactであり得るものにはcc\_flag  
(confusion and contamination flag)がPSCの中でつ  
けられる



`cc_flag`はband毎にひとつしかつかない。  
 2つ以上のflagがつく場合には下の表でより上にあるものが優先される。

<code>cc_flag</code> Value (1 per band)	Nature of Contamination or Confusion	$N(J)$	$N(H)$	$N(K_s)$
0	Source is unaffected by artifacts, or source not detected in that band	375059297	389911797	410775947
p	<a href="#">Persistence (Latent) Image from Bright Star</a>	2438794	3919008	1550140
c	<a href="#">Confusion with nearby brighter source</a>	90679500	73584699	54196294
d	<a href="#">Nearby Diffraction Spike</a>	133283	563982	707105
s	<a href="#">Horizontal "Stripe" due to Bright Star</a>	2667409	2995595	3740717
b	<a href="#">Confusion in Bandmerging</a>	14687	17889	22767

### i. Diffraction Spikes [cc\_flg= “d”]

明るい星( $m_{thrD}$ より明るい)の上下左右に出るSpikeによる人工物

そのSpikeに重なってある明るさよりも暗いもの( $m_{par} + \Delta m_D$ )にはこのflagがつく

Spikeの長さ :  $l = l_0 * 10^{[a * (m_0' - m_{par})]}$   $m_{par}$ は明るい星の等級

ここで  $m_0' = 6.0 - [\log_{10}(src\_dens/5883.0) / d]$

Spikeの幅 :  $w = w_0 + (e * z)$   $z$ は明るい星との距離

Table 2: Diffraction Spike Parameters

#### Northern Facility

	J							H						
	$m_{thrD}$	$\Delta m_D$	$l_0$	$a$	$d$	$w_0$	$e$	$m_{thrD}$	$\Delta m_D$	$l_0$	$a$	$d$	$w_0$	$e$
<i>N spike</i>	9.75	6.5	91.0	0.127	0.3172	2.0	0.0167	9.25	6.0	76.0	0.132	0.2175	2.0	0.0
<i>W spike</i>	9.00	6.5	65.4	0.121	0.3517	2.5	0.0278	8.50	6.0	55.0	0.125	0.4641	2.5	0.0
<i>S spike</i>	9.00	6.5	79.4	0.111	0.3012	2.0	0.0167	8.50	6.0	61.6	0.129	0.4723	2.0	0.0
<i>E spike</i>	9.75	6.5	86.4	0.114	0.2940	2.0	0.0250	9.75	6.0	65.4	0.126	0.3166	2.0	0.0

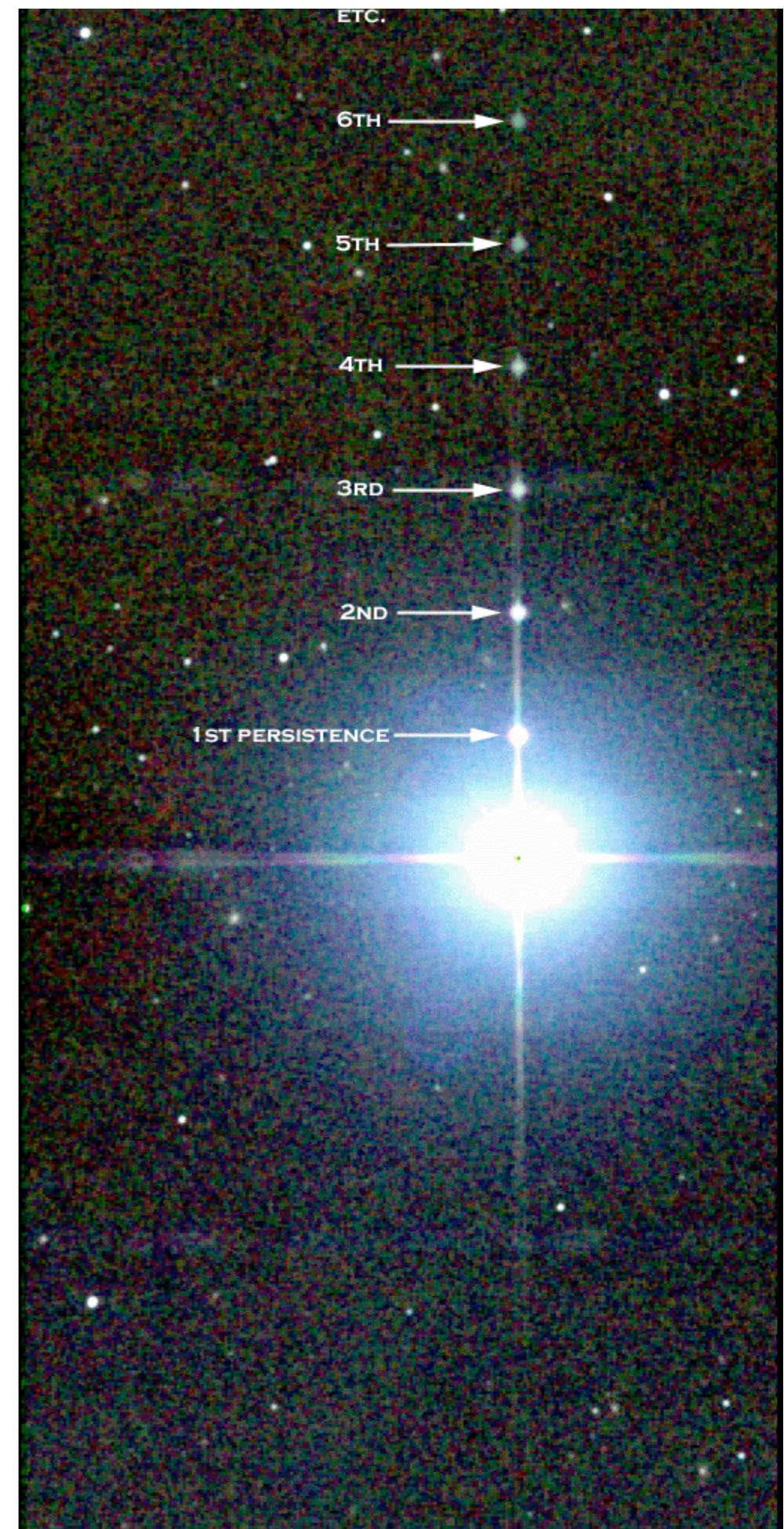
#### Southern Facility

	J							H						
	$m_{thrD}$	$\Delta m_D$	$l_0$	$a$	$d$	$w_0$	$e$	$m_{thrD}$	$\Delta m_D$	$l_0$	$a$	$d$	$w_0$	$e$
<i>N spike</i>	9.00	6.5	92.2	0.112	0.3620	2.0	0.0200	9.25	5.5	57.0	0.124	0.6244	2.0	0.0
<i>W spike</i>	8.75	6.5	88.0	0.105	0.3201	2.0	0.0190	8.75	5.5	59.4	0.120	0.5845	2.0	0.0

## ii. Persistence [cc\_flg= “p”]

NICMOS3 arrayでは明るい星が入ると続くread outのときにも残る J<11.5, H<10.0, Ks< 9.5  
出てくる位置と明るさ形状(元の星がRead1でもサチる場合)で判断。

SIRIUSでは出ないので詳細は省略



### iii. Filter and Dichroic Glints (カタログには入らない)

Glintはfilterとdichroic mirrorが明るい星を反射してできる  
point-likeなimage

明るい星との位置関係、等級差が決まっている。  
形状は星に見える。

期待される位置( $x_{gl} = x_{par} + f_{gl}$ ,  $y_{gl} = y_{par} + h_{gl}$ )から $r_{gl}$  arcsec以内  
にあり、等級が $m_{par} + \Delta mG \pm \sigma_{mgl}$  の天体をglintとする。

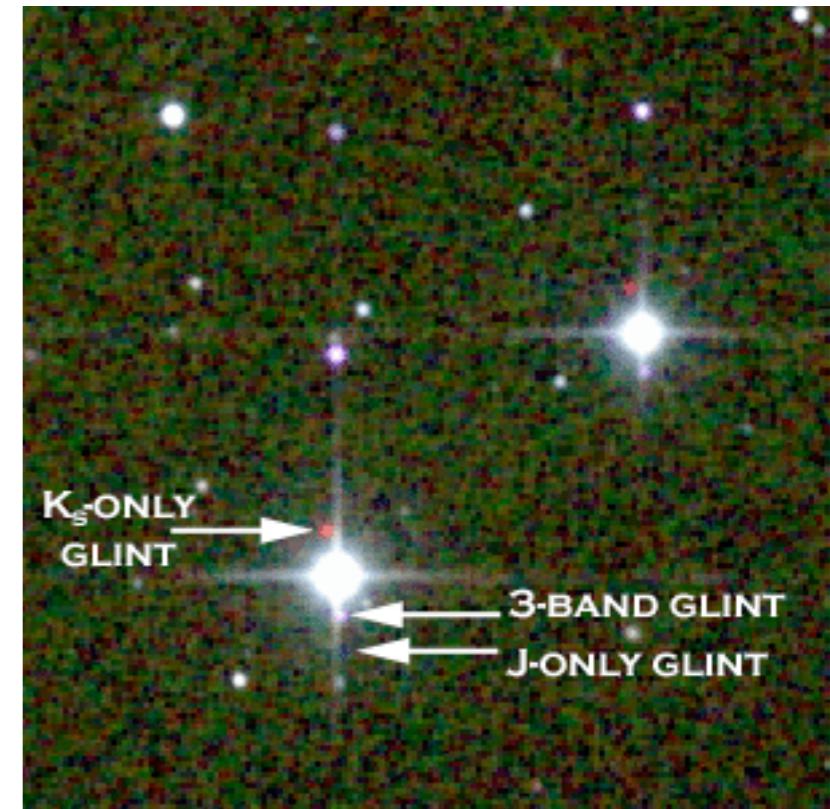


Table 4: Glint Parameters

	Northern Facility				Southern Facility								
	J	H	K <sub>s</sub>		J	H	K <sub>s</sub>						
Param	glint #1	glint #2	glint #1	glint #2	glint #1	glint #2	glint #3	glint #4	glint #1	glint #2	glint #1	glint #2	
f	1.5	3.0	1.5	1.5	-4.0	-2.5	1.0	-6.5	-10.0	-2.5	1.0	-2.5	1.0
h	-14.0	-28.5	-14.0	-14.0	16.5	11.0	-13.5	22.0	33.5	11.5	-13.5	11.0	-13.5
r <sub>G</sub>	2.0	3.0	2.0	2.5	2.5	3.0	1.5	3.5	5.0	3.0	1.5	3.0	2.0
Δ <sub>mG</sub>	6.7	9.0	7.9	7.8	7.2	6.5	9.0	9.0	12.0	8.0	8.2	7.3	7.5
σ <sub>mG</sub>	0.9	2.0	1.6	1.8	1.3	1.0	2.0	2.5	3.0	2.0	2.0	2.4	1.5

#### iv. Stripes [cc\_flg="s"]

明るい星とその上下256”のところに上下の幅8”の水平な線が出る。  
電気的なもので、J<6.7, H < 6.2, Ks < 5.7 magのときにできる。

#### v. Bright Star Confusion Artifacts

サチる星のcoreの中や外にはfaulse detectionが現れる。

それらが現れる半径をartifact confusion radiusとする。

その半径内にある場合、R2-R1でrd\_flg=2, R1でrd\_flg=1のフラグがつく。

$$r_{iAC} = r_{0AC} * 10^{[ b * ( m_{i0AC} - m_{par} ) ]}$$

Table 5: Artifact Confusion Parameters

	Northern Facility			Southern Facility		
	J	H	K <sub>S</sub>	J	H	K <sub>S</sub>
$m_{sat}$	8.0	7.7	7.1	8.0	7.6	7.1
$r_{0AC}$	12.90	10.20	8.50	15.06	9.46	7.74
$b$	0.202	0.203	0.171	0.207	0.201	0.194
$rd\_flg="1"$ $m_{0AC}$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
$rd\_flg="2"$ $m_{0AC}$	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

## vi. Photometric Confusion [cc\_flg= “c”]

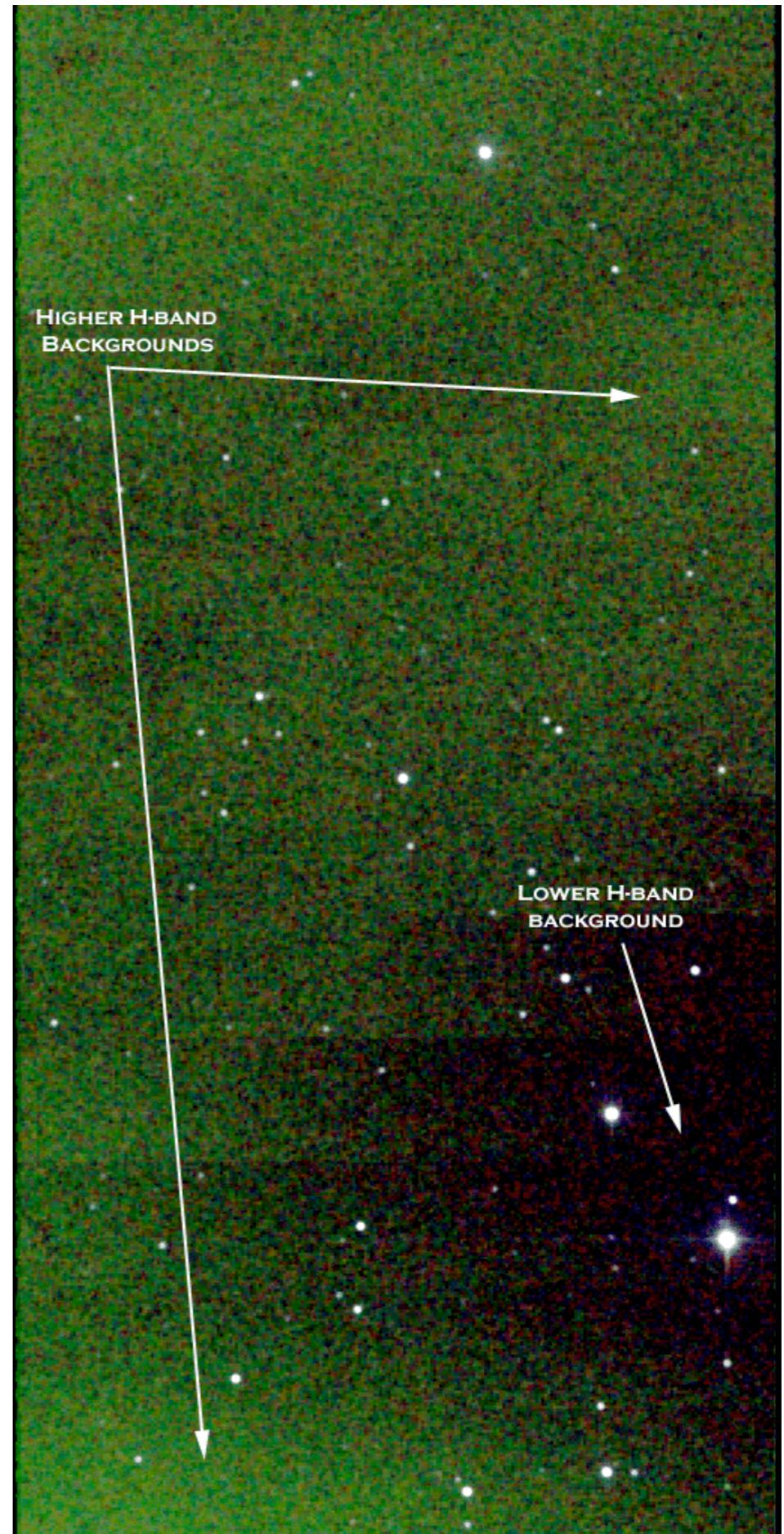
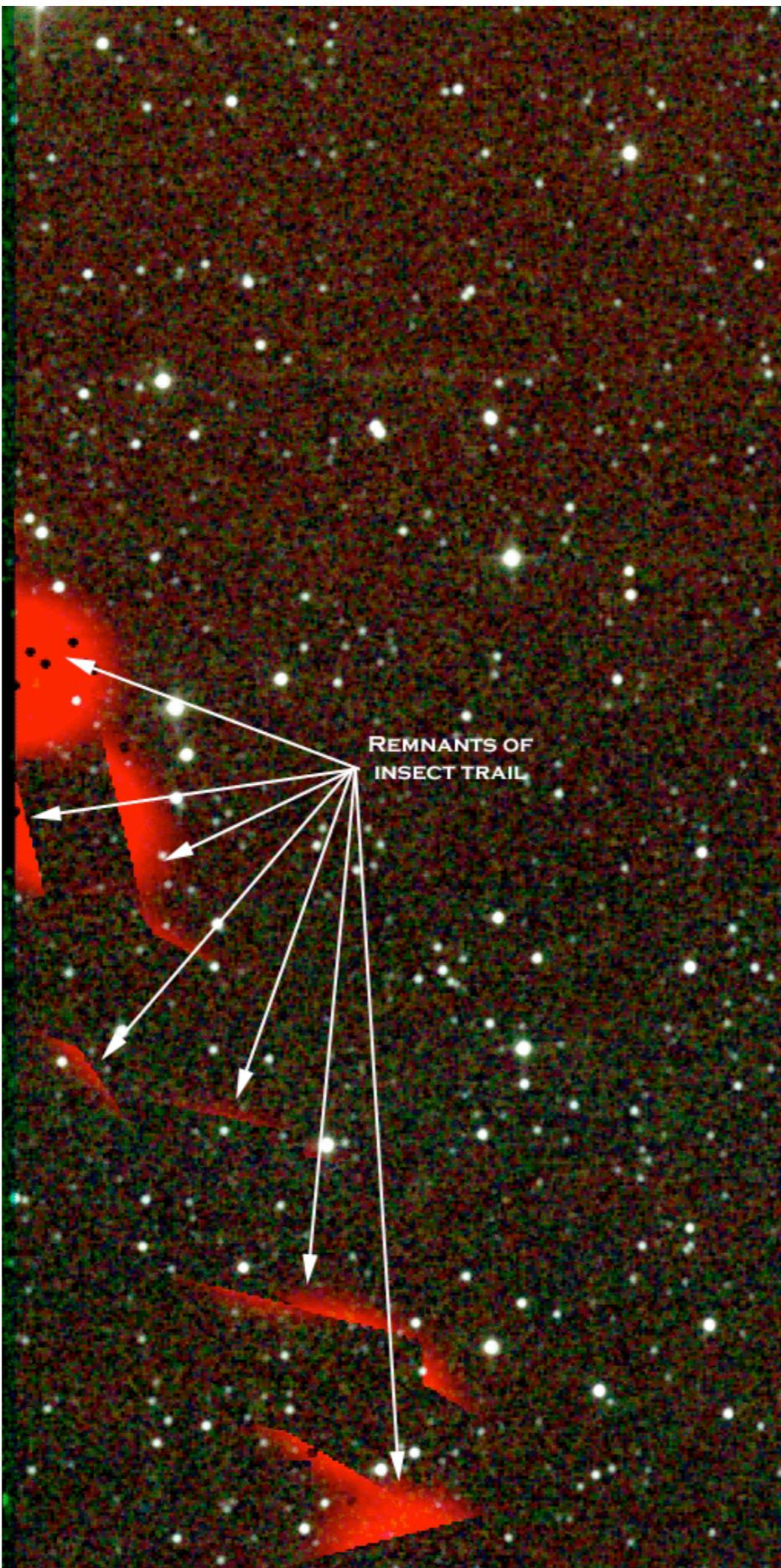
サチった星の周りにあるリアルな星は等級精度に影響を受ける。  
5%以上の等級誤差を受けたソースにはフラグcc\_flg=cがつく  
photometric confusion radiusが以下のように計算される

$$r_{PC} = r_{0PC} * 10^{\wedge} [c * (m_{fs} - m_{par})]$$

ここで  $m_{fs}$  はサチった星のそばの星の等級。

Table 6: Photometric Confusion Parameters			
	J	H	K <sub>S</sub>
$r_{0PC}$	4.678	4.380	3.980
c	0.1165	0.1148	0.1243

その他  
虫(左)  
OH(右)



## ● Photometric Calibration

2MASS Atlas imagesのFITSヘッダには測光のゼロ点、magzp、が記載されている。  
この章ではどうやってそのゼロ点を求めたかが記述されている。

instrumental magnitudeとcalibrated magnitudeの変換は、

$$M_{\text{cal}} = M_{\text{inst}} + c_1 - c_2(X-1.0)$$

$c_1$  : photometric zeropoint offset (mag)

$c_2$  : extinction coefficient (mag/airmass)

X : airmass

もちろんバンド毎に違う係数。

### a. Instrumental Magnitudes

$$M_{\text{inst}} = M_{0,\text{inst}} - 2.5 \cdot \log_{10}(\text{counts}) + K_{\text{norm}}$$

$M_{0,\text{inst}}$  : おおよそのzero点の平均値。固定。

$K_{\text{norm}}$  : the curve-of-growth  
の補正值

Table 1 - Instrumental Zero Point Magnitude for Point Source Photometry

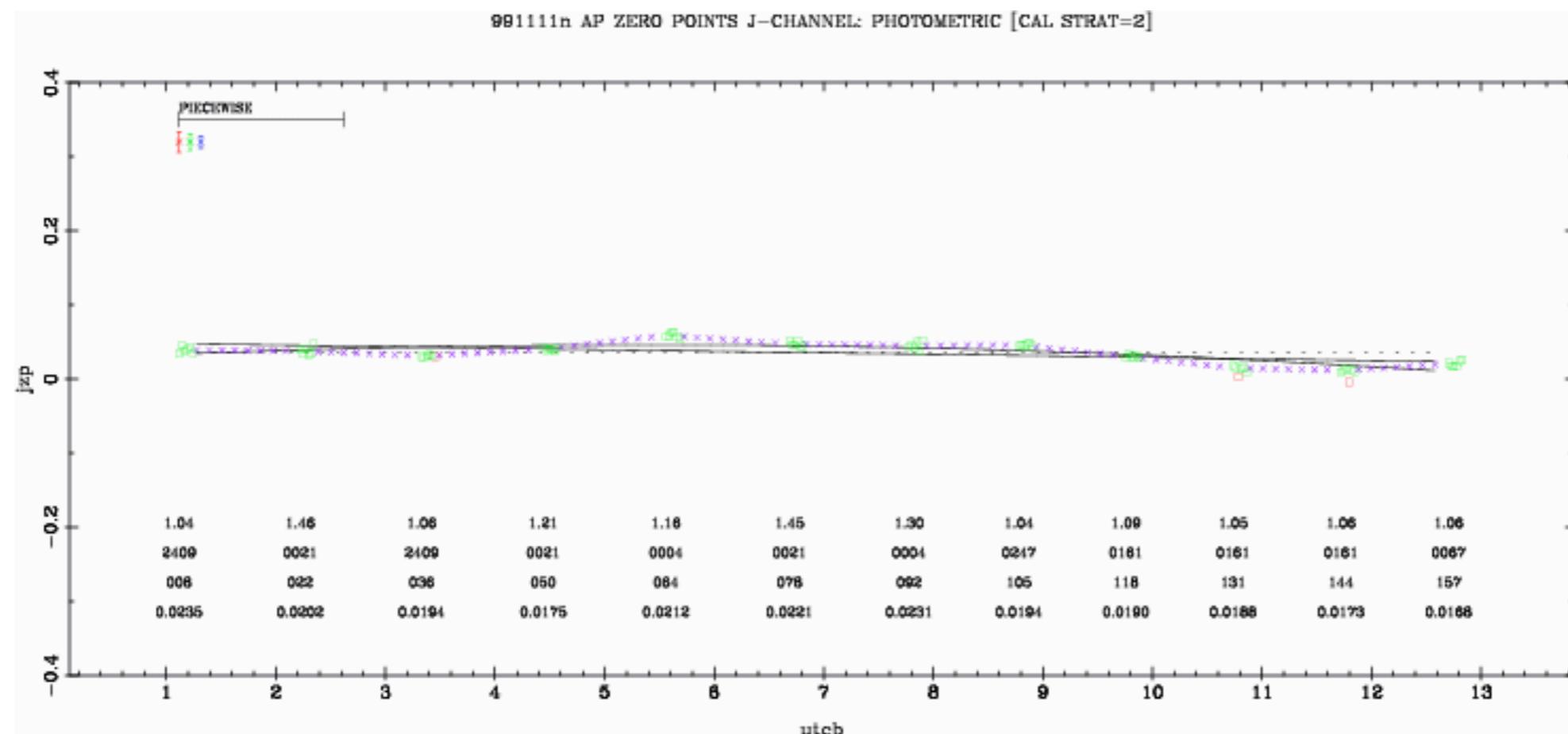
	North		South	
Band	Read_1	Read_2	Read_1	Read_2
J	17.44	20.93	17.39	20.88
H	17.18/16.85	20.67/20.34	16.93	20.42
K <sub>S</sub>	16.54	20.03	16.40	19.89

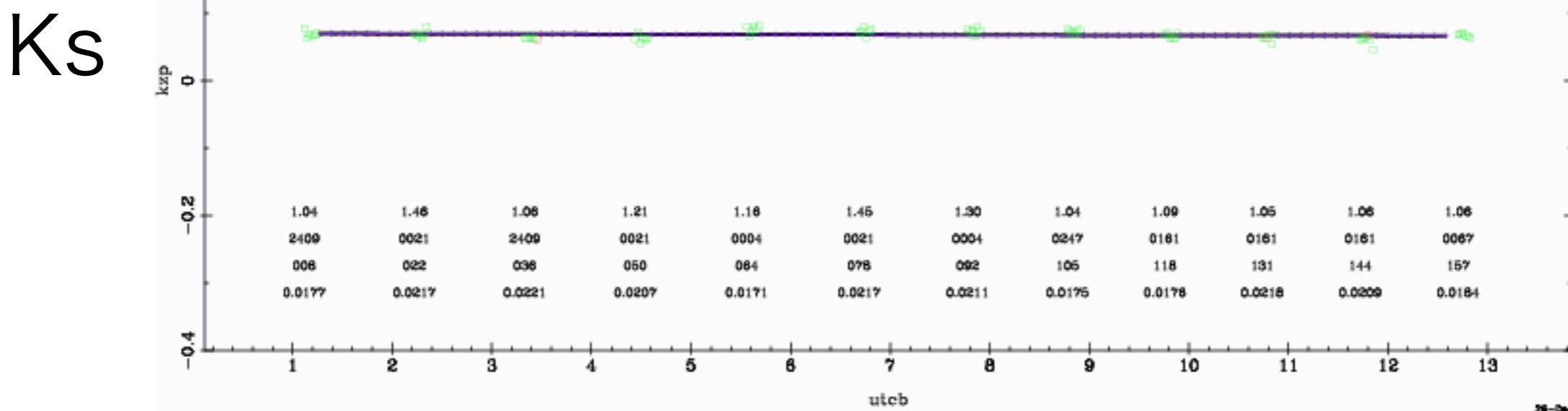
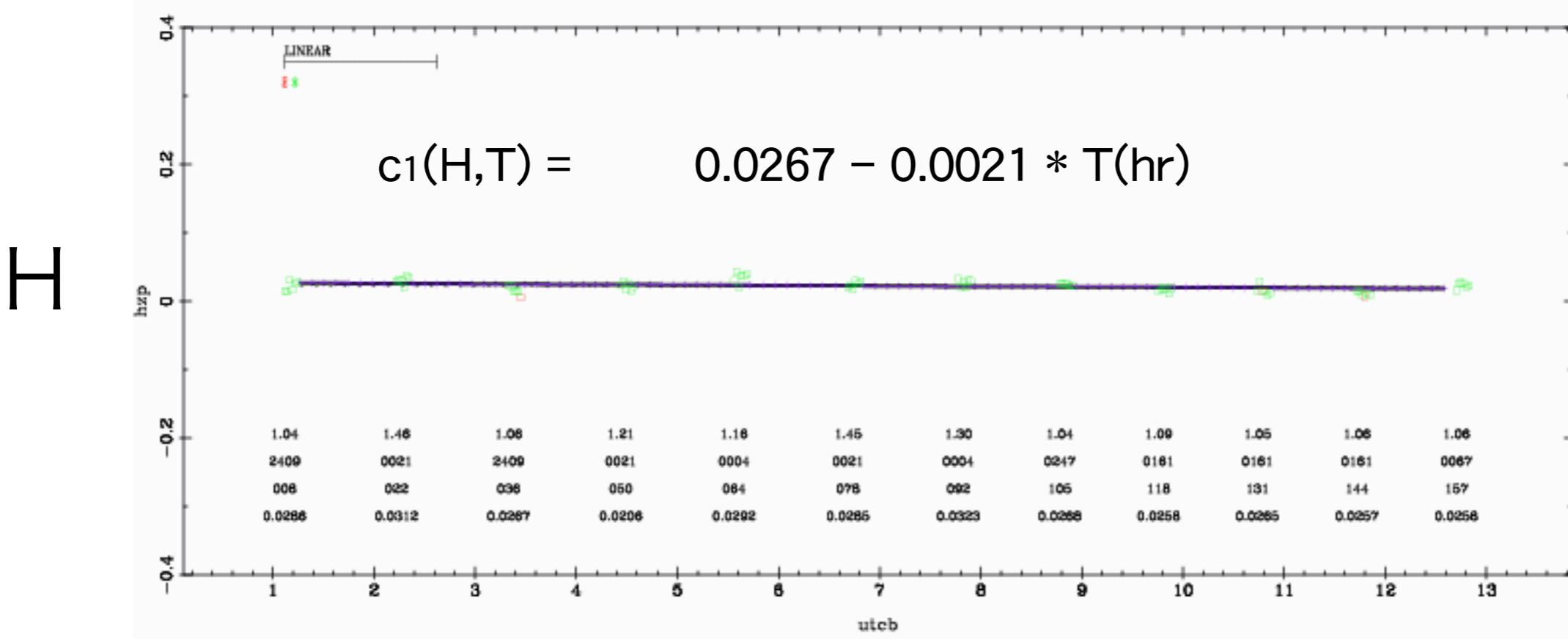
## b. Photometric Zeropoint Evaluation

photometric zero point offset coefficient  $c_1$ は大気の透過率を反映  
 $c_1(J,H,K_s)$ は夜毎に評価され、その夜の間の時間の関数とする  
それぞれのcalibration frameで、その時のzero point offsetが計算される。  
つまり、標準星のカタログ値( $M_{cat}$ )と吸収補正した $M_{inst}' = M_{inst} - c_2(X-1.0)$   
このoffsetには標準星のcurve-of-growth補正済みの値が用いられる  
 $H$ と $K_s$ の $c_1$ は時間の1次関数でleast-square fitされる。  
 $J$ は頻繁に変わるので、calibration毎にlinear interpolationする。

例えば、1999/11/11の例。横軸時間、縦軸 $M_{cat} - M_{inst}'$

J

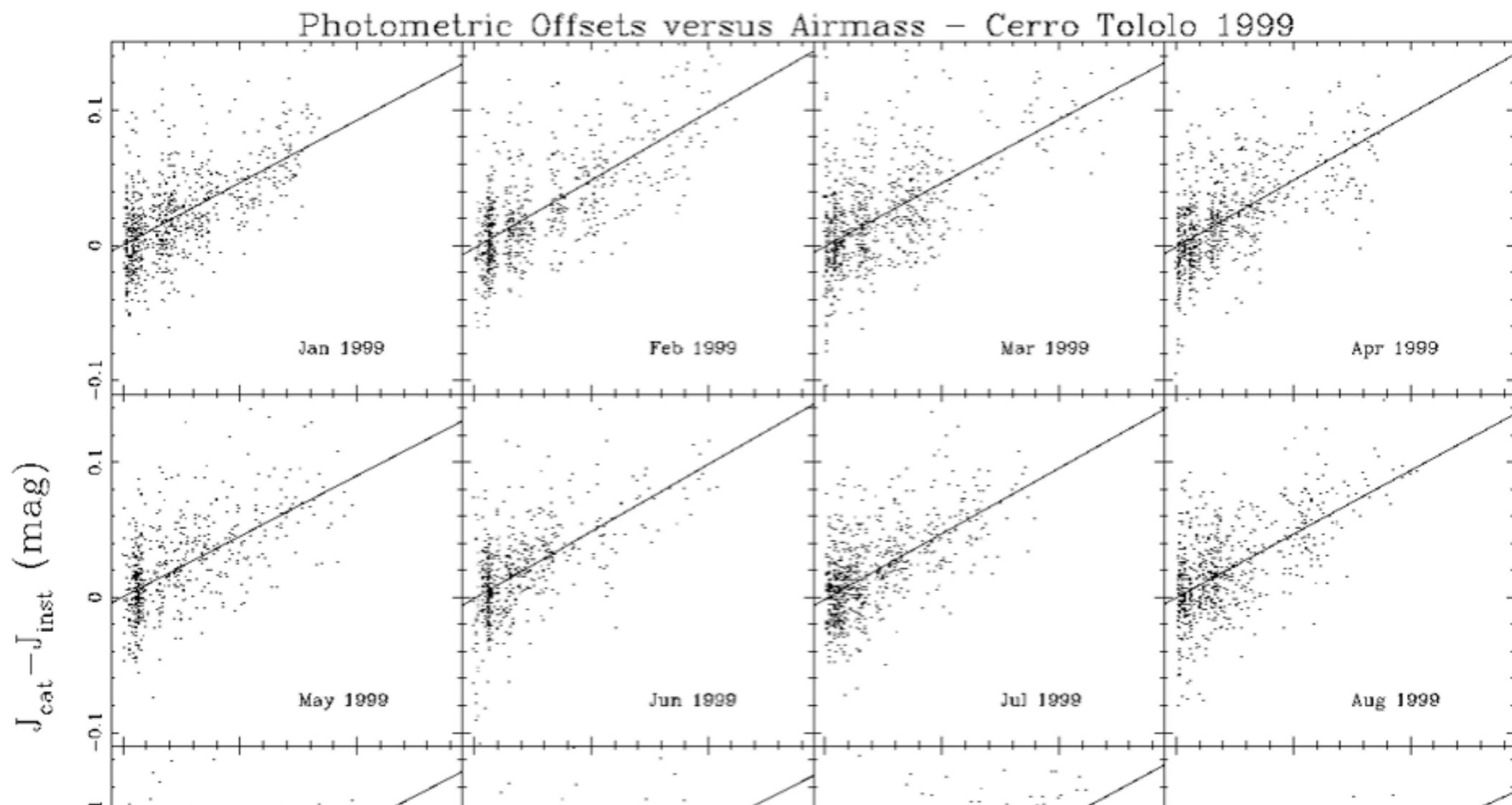


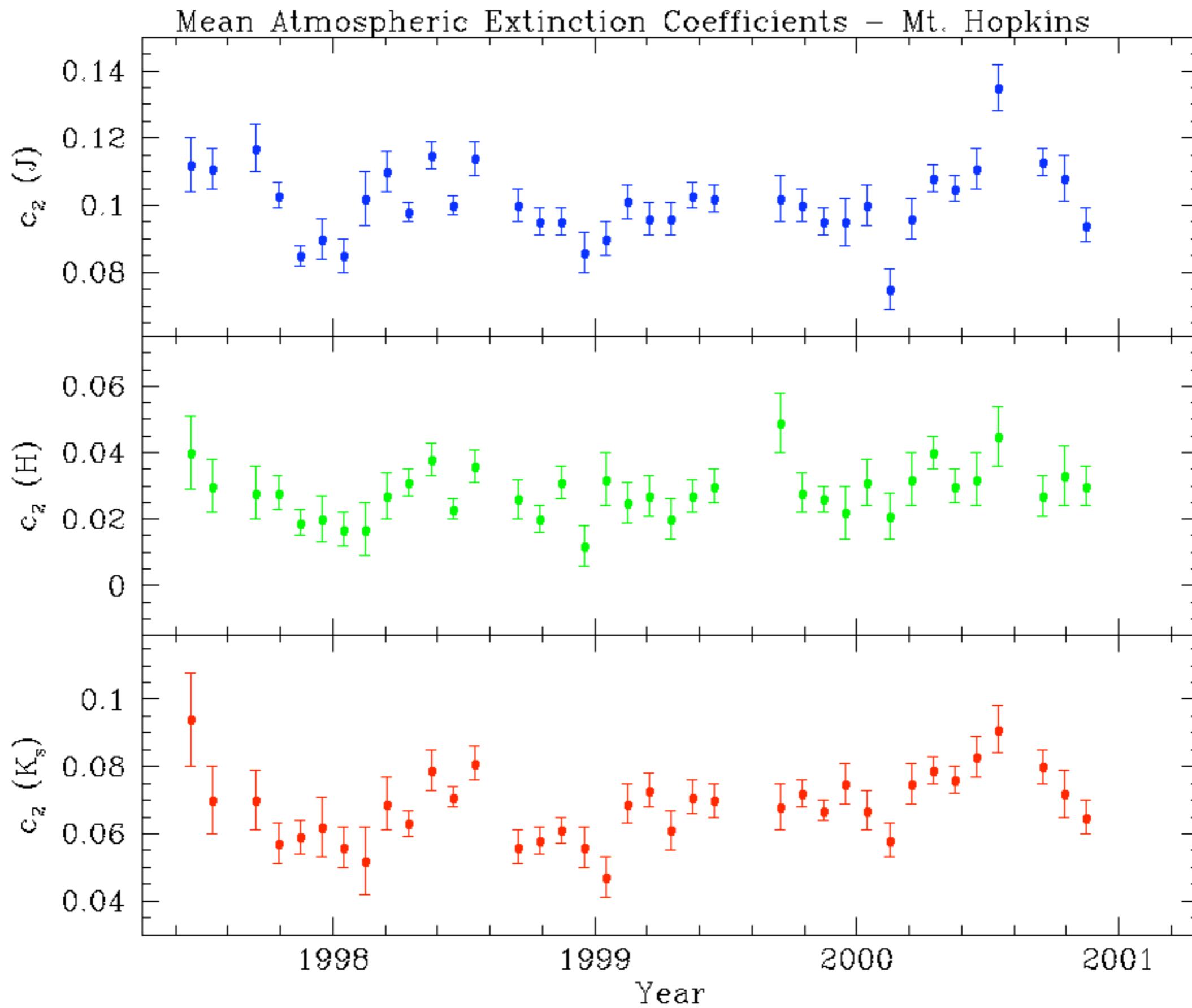


### c. Extinction Coefficients

airmass補正の $c_2$ はlook-up tableを用いる。観測所と月でindexされている。2MASSの2次標準星カタログを作成するときに月毎の平均吸収補正係数が求められた。

まず各標準星について600–3500の測定を用いて、各夜の測光解を求めた。次にairmass補正なしで標準星のカタログ値と測定値の差を求めた。月毎にairmass対上記の差のfitを作成。傾きがairmass補正係数となる。





## d. Calibration Uncertainties

combined photometric uncertaintiesはPSCでは、j\_msigcom ...  
夜毎のHとKsのlinear fitのRMS残差はcalibrationの精度の目安であり、  
平均で0.005–0.006magである。たまに(a few nights)0.01 magを超える  
ただし、これはsurveyの精度を表していないし、Jバンドについてはその残差  
は求められない。

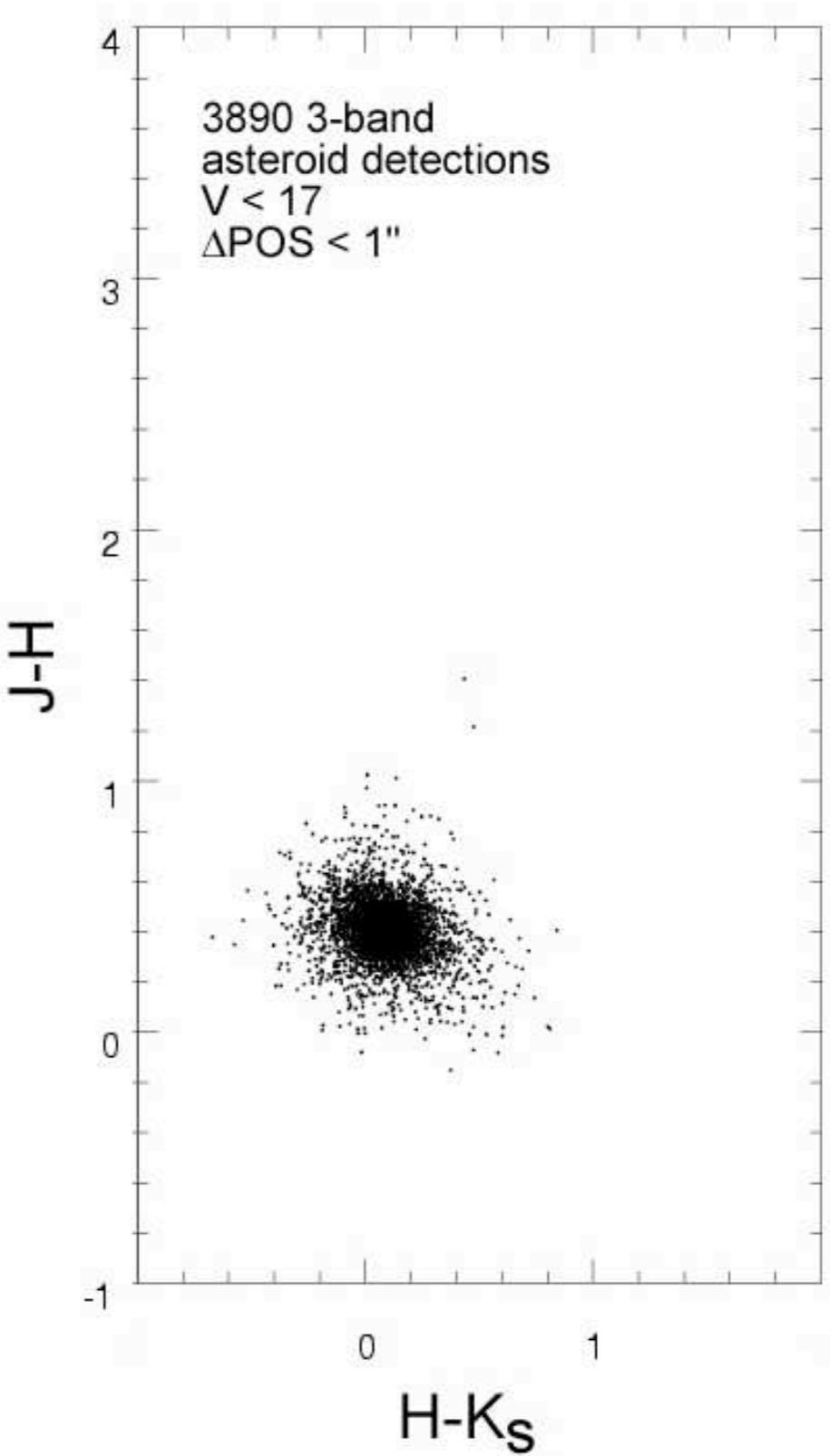
もうちょっと厳しいやり方で求める。  
あるcalibration fieldを“a test particle”とする。  
それ以外のcalibration fieldからphotometric solutionを求める  
“a test particle”のfieldの残差を求める。  
これはworst-case errorになる。前後のcalibration fieldの観測は2倍長く  
時間が明いているので。  
結果、残差のRMSはJ,H,Ks で0.011, 0.007, 0.007 mag

- Known Asteroid, Comet, Planet, and Satellite Associations

これらの太陽系天体にはmp\_flg=1がつく。

位置推算表を利用して同定

小惑星は右の図のようなcolorらしい



## ● Quality Assurance (QA)

最終的なデータが最初の要求 “Level 1 specifications” (次頁参照)を満たしているか  
Survey中はどのTileは「済み」でどのTileは「要再観測」か、の評価  
最終カタログのデータのqualityの評価

QAには3ステップある

- 第1ステップは “24-hr QA” ; IPACにデータテープが届いてから24時間以内に行われる。  
quick checkをして機械の具合のチェックと明らかに悪いデータの確認(再観測のため)
- 第2ステップは “Nightly Science QA” ; preliminary pipelineを通したデータの詳細  
チェック
- 2MASS全データ処理後にpipelineは改善された。Nightly Science QAで “3”以上のスコ  
アのデータセットについては、そのfinal pipelineで再処理。“Final Science QA”を行う

QAではLevel 1 specificationsを満たしている程度(likelihood)を10点満点評価する。  
この点数は以下のように診断される

- 観測時の空の測光の質と、“我々”がそれをちゃんと見積もれたか
- データの感度とsky backgroundの安定度
- seeingと、“我々”がseeingの変動をちゃんと見積もれたか
- 位置精度

# Survey Level 1 Requirements

	Category	Requirement	Performance
<i>Point Source Catalog</i>			
	<a href="#">Photometric sensitivity</a>	10- $\sigma$ at <b>15.8, 15.1, 14.3 mag</b> at J, H, K <sub>S</sub> respectively for  b >10°	met for full unconfused sky; exceeded for most of sky
	<a href="#">Photometric uniformity</a>	<4% maximum bias in photometric zeropoint around the sky	<2% achieved
	<a href="#">Photometric precision</a>	<5% 1- $\sigma$ for bright stars unsaturated in the 1.3 s exposure	<3% achieved
	<a href="#">Astrometric accuracy</a>	<0.5'' 1- $\sigma$ relative to the reference frame	<0.1'' achieved
	<a href="#">Completeness</a>	>0.99 at 10- $\sigma$ sensitivity limits	met
	<a href="#">Reliability</a>	>0.9995	0.9997 demonstrated in test areas; no known source of unreliability in excess of specification
	<a href="#">Bright star photometry</a> (Read_1, rd_flg=1)	<2% <b>bias</b> at Read_1 saturation limit (K <sub>S</sub> ~4.0 mag) <5% 1- $\sigma$ <b>repeatability</b> at Read_1 faint limit (K <sub>S</sub> ~8.0 mag) <10% 1- $\sigma$ <b>repeatability</b> at Read_1 saturation limit (K <sub>S</sub> ~4.0 mag)	<4% at worst 2% achieved 2% achieved
<i>Extended Source Catalog</i>			
	<a href="#">Photometric</a>	10- $\sigma$ at J<15.0, H<14.2, K <sub>S</sub> <13.5 mag	met

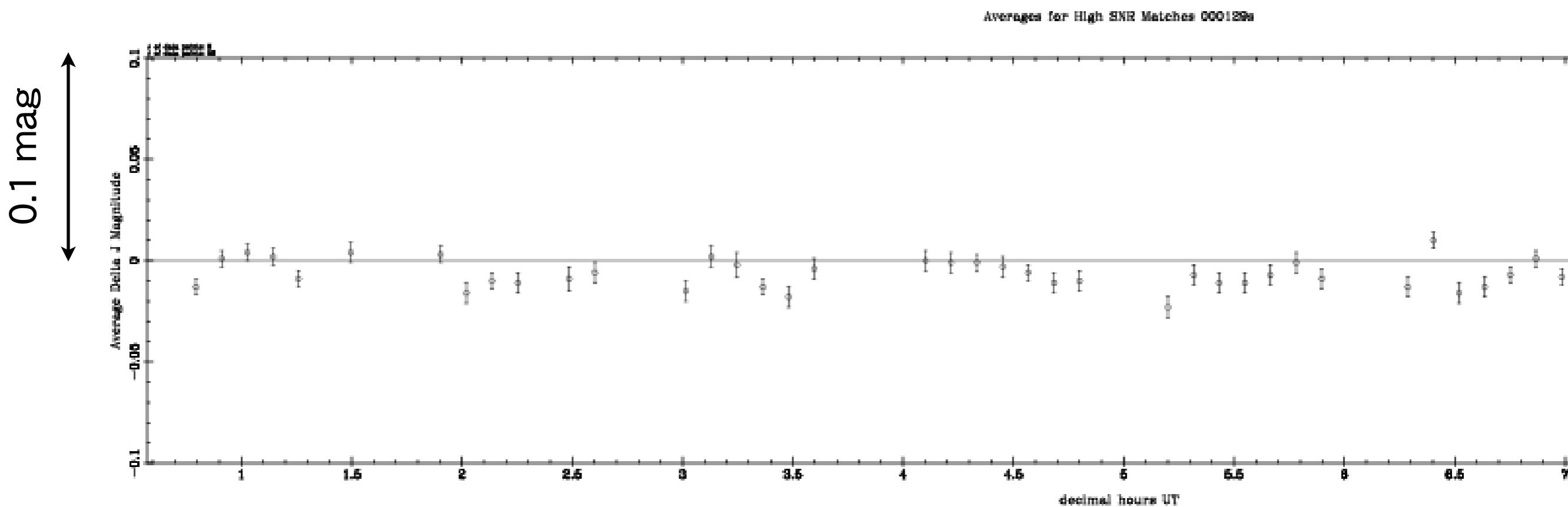
# 以下、Final Science QAの詳細

- Photometricity

calibration scanでの6回の測光の平均からのはらつきが測光の安定性の最初の診断

calibration fieldの測光ゼロ点fitのはらつきが2番目のチェック(by eye!)

隣のscanと重なるところに、 $S/N > 20$ の明るい星があれば等級の違いをチェック(by eye!) 下の図



上記の診断をして、photometric quality factor;  $fct1=pfct1*pfct2*pfct3$ が計算される。

- $pfct1$  : calibration scan setの数が5以下になると質が悪いと考える。  
5–6: $pfct1=1.0$ , 4: $pfct1=0.9$ , 3: $pfct=0.8$ , 2のときは次の $pfct2=pfct3=1.0$ のときのみ $pfct=0.3$ を与える。それ以外(non-photometric)は、 $pfct1=0.0$
- $pfct2$  : calibration scan での6回の測定のばらつき。  
分散が0.04等以下のとき :  $pfct2=1.0$   
分散が0.04等以上のとき :  $pfct2=2 - ((\text{worst dispersion})/0.04 \text{ mag})$   
 $\text{airmass} > 1.5$ のときだけ大きな分散を示して他はphotometricなときにはpcft2の「格下げ」はしない
- $pfct3$  : 重なる部分での同じ星の等級差  
peak-to-peakで0.05等以下 :  $pfct3=1.0$   
0.050–0.075等 :  $pfct3=0.7$   
0.075–0.100等 :  $pfct3=0.4$   
0.100等以上 :  $pfct3=0.0$   
たまに重なる部分がないときもある。そのときは後述のbackground levelを雲が存在したかどうかの指標にする

- 他のphotometricityのチェック

PSFの $\sigma$ をPSF magnitudeの関数として計算、 $\chi^2$ をmagnitudeとdetector上での位置の関数として計算。

PSF と aperture 測光の差をmagnitudeとdetector上の位置の関数として計算。明るい星と暗い星とでどう違うか

R1 aperture magnitude と R2-R1 PSF-fit magnitudeの差

- Sensitivity/Backgrounds (Airglow)/Meteor Blanking

photometric sensitivity parameter (PSP) というのがscanごとに計算される  
PSPは、seeingとbackground levelから期待されるS/N=10限界等級を導く。  
S/N=10の限界等級( $M_{10}$ )とbackground level (BG)には相関がある

$$M_{10} = k \cdot BG^{1.5}$$

seeing shape (SH : FWHM = 3.13\*SH-0.46) とも相関がある

つまりseeingがよくてbackgroundが  
低ければ感度はよくなる(当たり前だが)

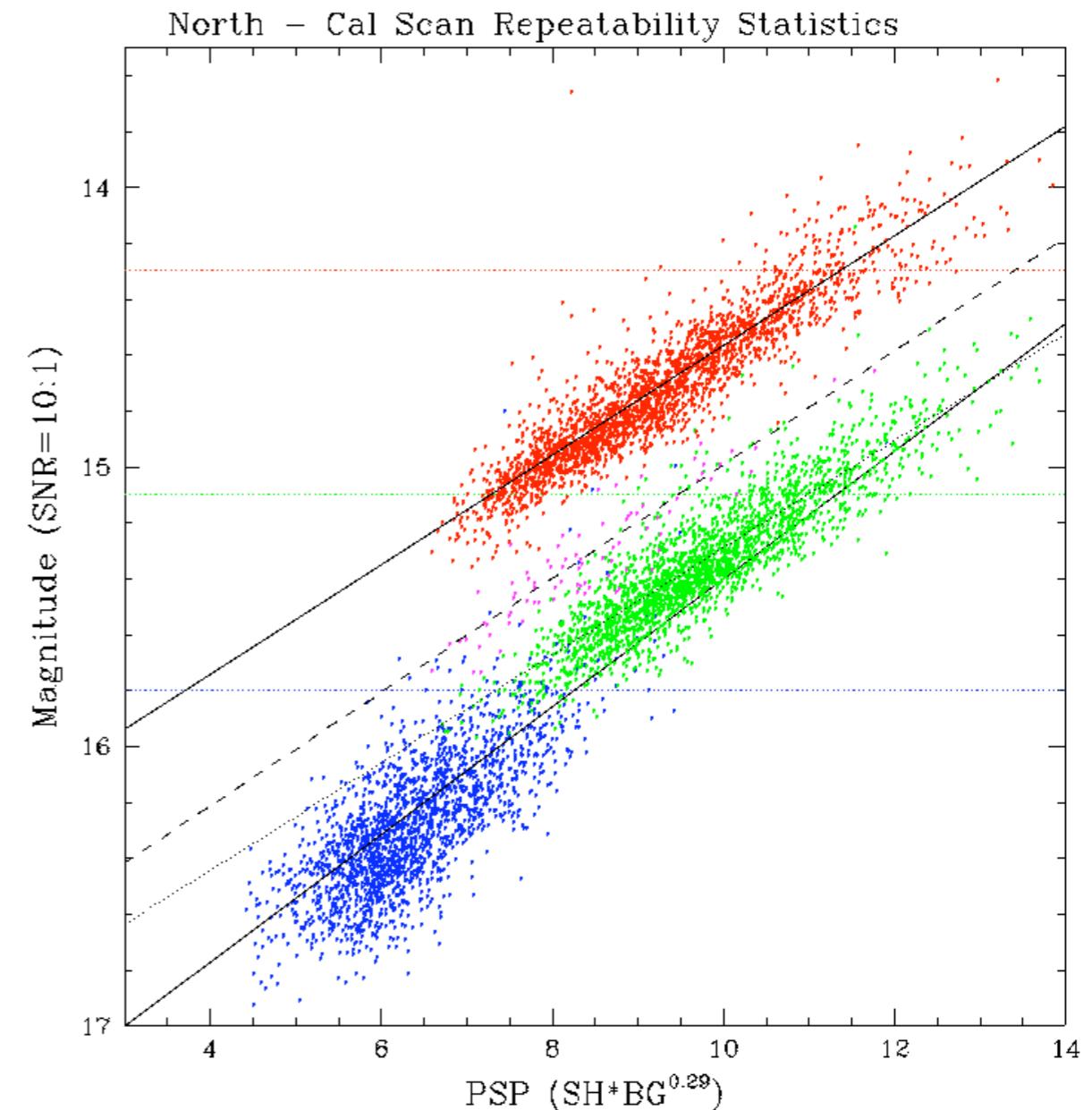
$PSP = SH \cdot BG^{0.29}$  は S/N=10 の限界

等級のindicatorとなる

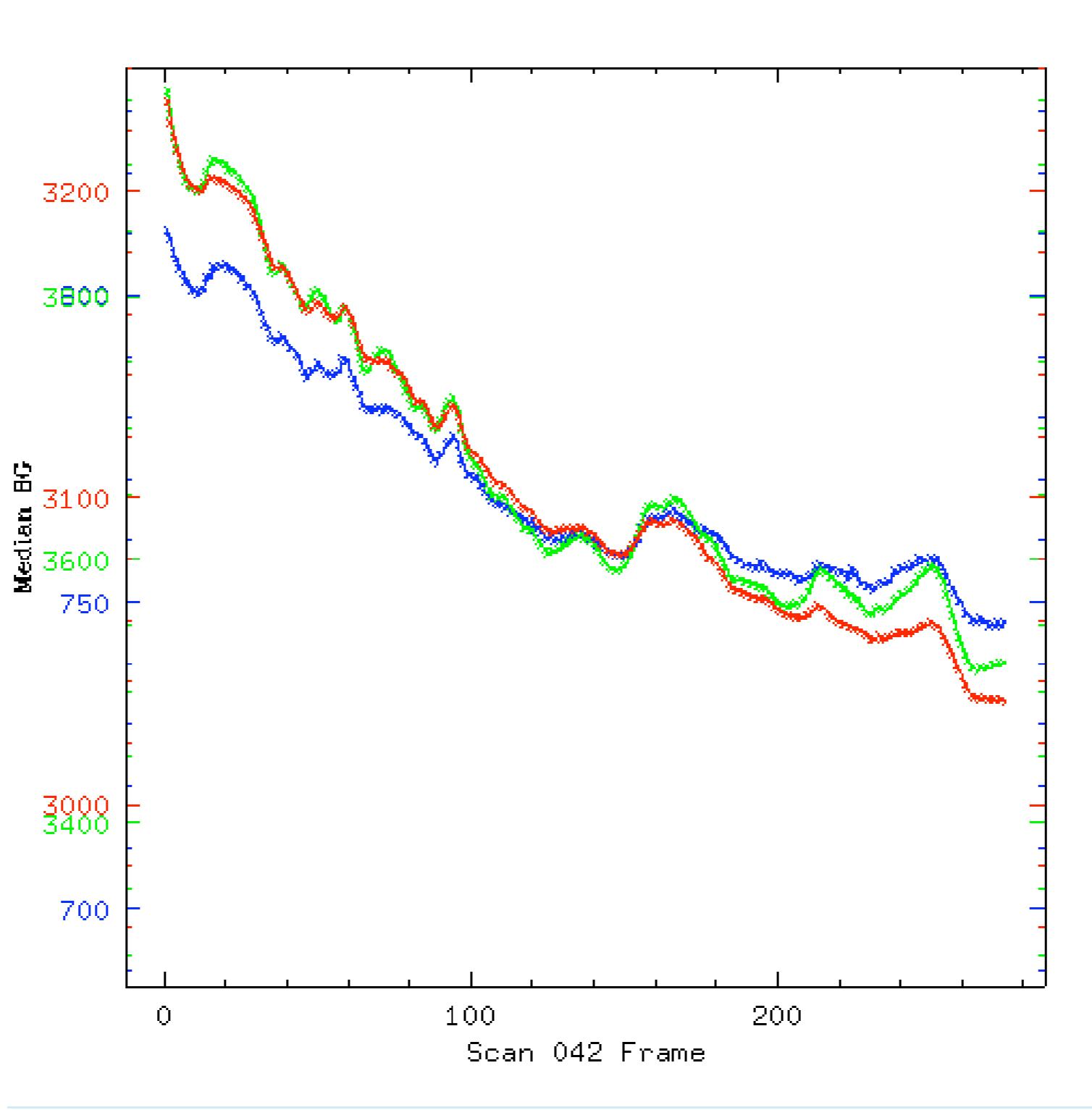
このPSPの値を元にfct2という  
sensitivity quality parameter  
を計算する。要求を満たしている可能性

Table 1: Conversion of PSP values into fct2					
Actual Probability	North K <sub>s</sub> PSP (& H before 990701)	North H PSP (after 990701)	South H PSP	South K <sub>s</sub> PSP	fct2
>75%	<= 10.85	<= 9.0	<= 9.6	<= 10.6	1.0
50-75%	<= 11.11	<= 9.3	<= 9.8	<= 10.9	0.8
25-50%	<= 11.35	<= 9.5	<= 10.3	<= 11.7	0.5
0-25%	<= 11.85	<= 9.7	<= 11.7	<= 11.7	0.3
0%	> 11.85	> 9.7*	> 11.7	> 11.7	0.1

\*These Northern H-band PSP values resulted in downgrades of only fct2=0.3, not 0.1.



background levelの変化もチェック  
雲が来た例



- Cnoise(4)

OH glowの急激な変化によって、スカイにのるパターン  
background levelから期待されるnoiseと実際のnoiseとを比較して  
このflagをつける

Cnoise(4)をもとにairglow quality factor, fct5 を決める

Cnoise(4) < 4.5 : fct = 1.0

Cnoise(4) > 4.5 : fct = 0.1

- jump counter

frameのbackgroundが隣のframeのbackgroundの平均よりも  
0.5 x root-sum-squared noise 分以上違っていたらsky levelが  
急激に変化したとみる

airglowの変化、雲、電気系の異常をとらえる

- QAの段階では、流星、人工衛星などの1つのフレームにしか出ないものはそ  
もそも取り除かれている。

QA係の人はそれらが本当にtransientなものなのか、取り除く事でちゃんと  
得したか、を見て調べる。幸運ながら、変な残り物は少なかった。

- Seeing

high qualityの条件として、seeingがある程度小さい、星が丸い、pipeline自体が seeingの変化よりも早くseeing測定を追いかける、ことが重要

- overall seeing : seeingはJバンドで一番悪い。 seeing shape quality factor, fct3  
Jのseeing shape が最大で1.3以上(3.61")か平均が1.25以上ならfct3=0.1
- PSF elongation : 丸さは a second image moment ratioで測る  
丸いと1である。これが0.81を下回ると最終的なgrade(後述)を1下げる
- Tracking of seeing variations : 900"の長さ以上にわたって、seeingが追えていない場合、untracked seeing quality factor, fct4=0.1とする

- Astrometry
  - overlapしたframe間でのastrometric solutionの比較。違いすぎてないか。
  - Global astrometry : Tycho catalogとの比較
  - R1とR2-R1でズレはないか
  - distortionのモニター : USNO-Aとの比較
- Scientific Diagnostics : astrophysicalな観点からのチェック
  - Color-colorとcolor-magnitude図でのチェック、銀緯ごとわけて、dwarfとgiantのlocusと比較しつつ、変なのがないか
  - colorとdetectorのx- y- の位置とに相関はないか？
  - Color-colorとcolor-magnitude図でR1でもサチった星の色と等級のチェック
- Miscellaneous Diagnostics
  - 小惑星のflagのチェック
  - the final processとthe preliminary processの違いをチェック  
いかにしてその差が生じたかを把握

- Final Quality Scoring
  - 上記のチェックのqualityの総計
  - $\text{grade} = 10 * \min(\text{fct1}, \text{fct2}, \text{fct3}, \text{fct4}, \text{fct5})$