

散開星団における 系外惑星トランジット 探索に向けた試験観測

大宮 正士 (東工大)

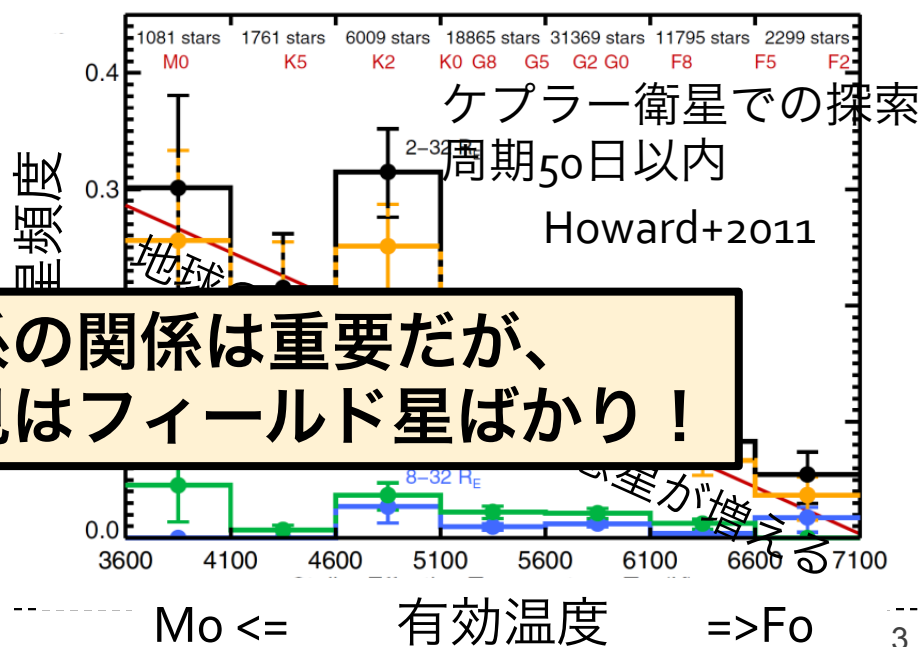
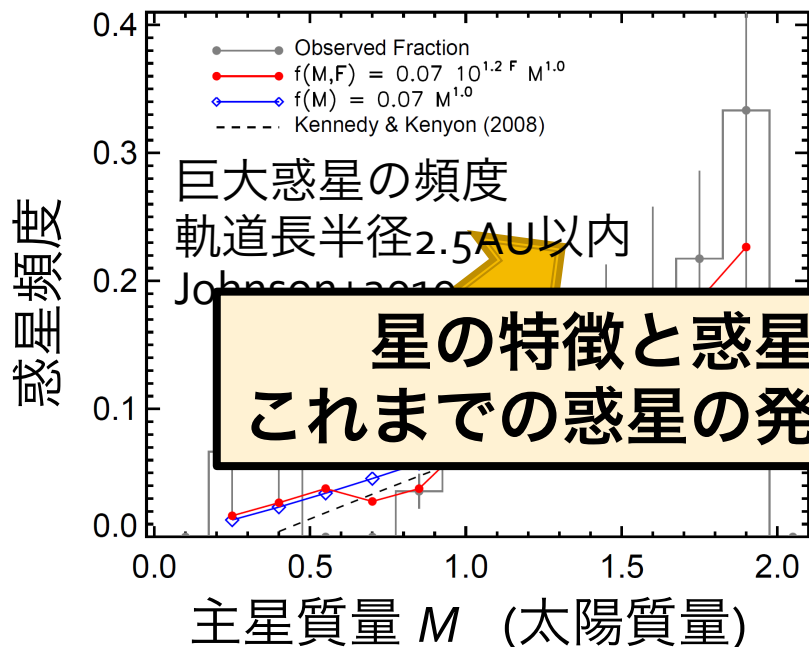
中村 祐太、比田井 昌英 (東海大)

目次

- インTRODakション
 - ケプラー衛星の成果：2個の小型惑星を発見！
- サーベイ観測
 - データの取得状況
- データ解析手法
 - リダクション&フォトメトリ
 - ライトカーブ作成
 - フラットの影響
- 結果
 - 光度曲線と達成精度
- 今後の観測に向けて

太陽系外惑星探索の現状

- 発見数：909個（2013/7/10現在）
 - ドップラー法での発見：528個
 - トランジット法での発見：312個
 - ケプラー衛星による発見：142個
 - 直接撮像：31個
 - マイクロレンズ法：21個



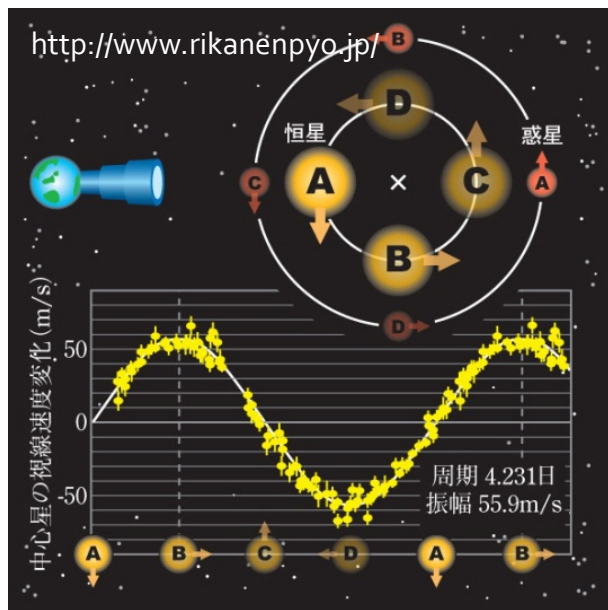
星の特徴と惑星系の関係は重要だが、
 これまでの惑星の発見はフィールド星ばかり！



これまでの散開星団の惑星たち

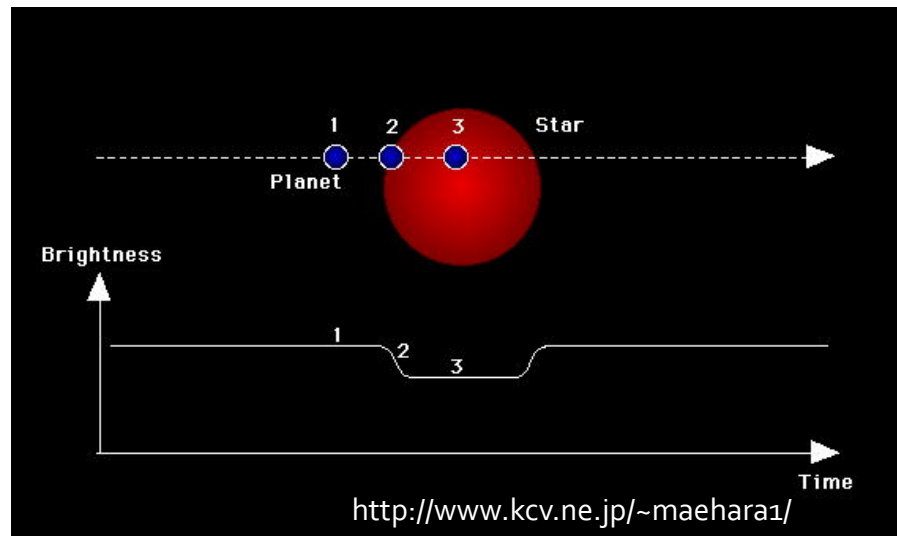
ドップラー法、トランジット法、直接撮像で探索

e.g. Mochejska et al. 2002, AJ, 123, 346; Paulson et al. 2004, AJ, 127, 3579



太陽-木星： 12m/s (12年)

- ドップラー法での発見： 4個の惑星
 - 全て巨大惑星
 - Sato+2007
 - Lovis & Mayor 2007
 - Quinn+2012
 - ただし、明るい天体しかできない



太陽-木星： 1%の減光

M型矮星-0.1-0.5木星半径： 1%の減光

- トランジット法での発見： 2個
 - 以前は発見されていなかった！
 - van Saders+2011
 - ケプラー衛星： 2つの小型惑星の発見
 - Meibom+2013

散開星団の惑星頻度は他の星と同じ？

- Kepler衛星が、散開星団NGC6811に小型の惑星を2個見つけた！
- 小型惑星の期待される頻度（下）と矛盾なし
 - $2.2 \pm 1.5 (2-4R_e) \Rightarrow$ 2個の惑星の発見と矛盾なし
 - $1.2 \pm 1.1 (0.8-2R_e), 0.6 \pm 0.6 (>4R_e)$

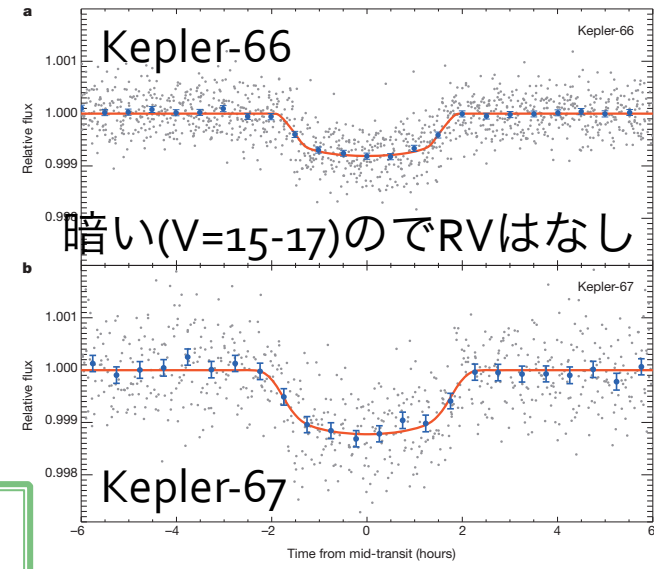
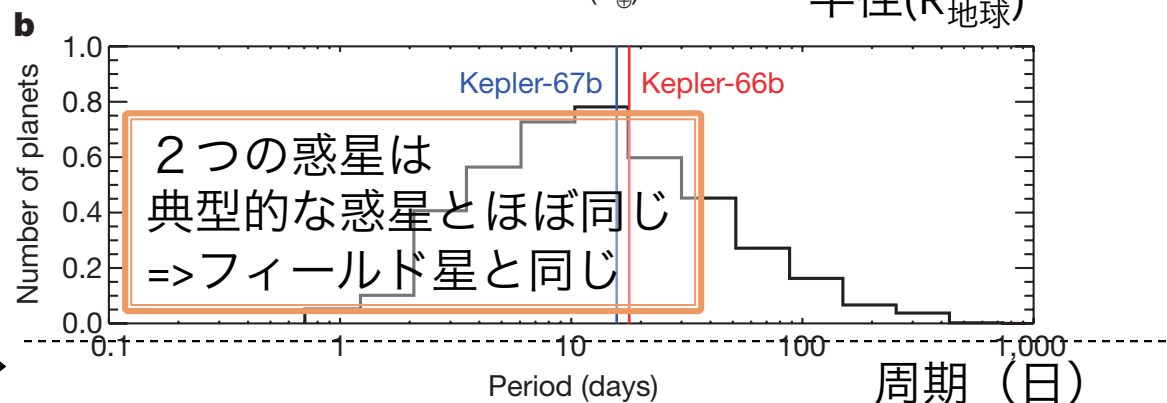
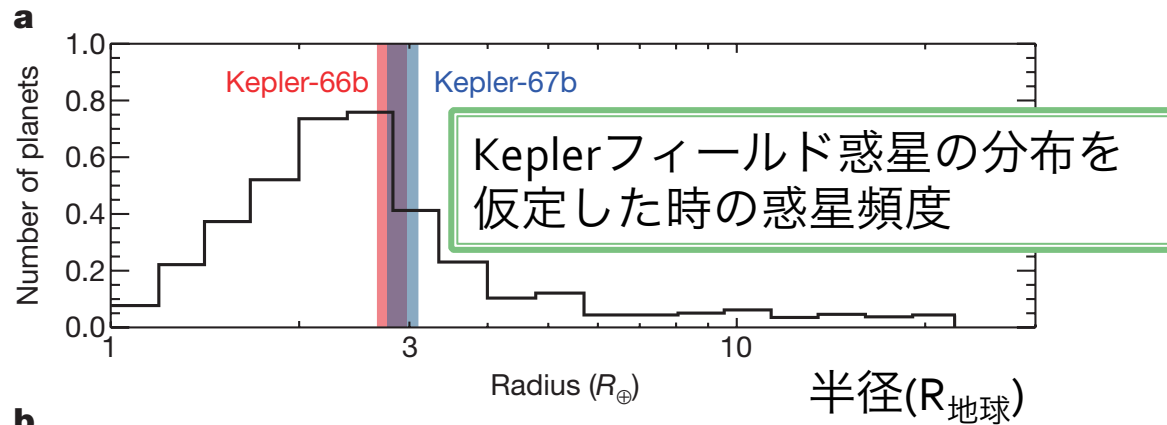


Table 1 | Stellar and planetary parameters for Kepler-66 and Kepler-67

Stellar properties	Kepler-66	Kepler-67
Right ascension	19 h 35 min 55.573 s	19 h 36 min 36.799 s
Declination	46° 41' 15.906"	46° 09' 59.181"
Spectral type	G0V	G9V
Effective temperature, T_{eff} (K)	$5,962 \pm 79$	$5,331 \pm 63$
$\log[\text{Surface gravity (cm s}^{-2}\text{)}]$	4.484 ± 0.023	4.594 ± 0.022
Rotation period (days)	9.97 ± 0.16	10.61 ± 0.04
Mass (solar masses)	1.038 ± 0.044	0.865 ± 0.034
Radius (solar radii)	0.966 ± 0.042	0.778 ± 0.031
Density (solar)	1.15 ± 0.15	1.89 ± 0.17
Visual magnitude, V	15.3	16.4
Age (billion years)		1.00 ± 0.17
Distance (parsec)		$1,107 \pm 90$
Metallicity, Z		0.012 ± 0.003
Planetary parameters	Kepler-66b	Kepler-67b
Orbital period (days)	17.815815 ± 0.000075	15.72590 ± 0.00011
Impact parameter	0.56 ± 0.26	0.37 ± 0.21
Time of mid-transit (BJD)	2454967.4854 ± 0.0025	2454966.9855 ± 0.0048
Planet-to-star radius ratio	0.02646 ± 0.00097	0.03451 ± 0.0013
Scaled semi-major axis (a/R_{star})	30.3 ± 1.0	32.4 ± 1.1
Semi-major axis (AU)	0.1352 ± 0.0017	0.1171 ± 0.0015
Radius (R_e)	2.80 ± 0.16	2.94 ± 0.16

散開星団のトランジットを狙え！

- 散開星団での惑星探しの有効性
 - 星団の星は年齢や金属量が正確に決まる
 - 惑星系と星の特徴が関係していると考えられる
 - 主星の影響を詳細に議論することができる
- 本研究の目的
 - KWFCを用いた、近傍の散開星団のGKM型矮星の短周期惑星に感度を持つサーベイの実現にむけて
 - これまでより広視野でより暗い星を観測する
 - 探索のサンプル数を増やす
 - KWFCでのサーベイ観測の実現性（特に測光精度）の評価を行う

=> トランジットを見つけたら、ドップラー法でフォローアップします！

観測対象：散開星団

- 散開星団のカatalogから選定
 - Milky Way global survey of star clusters
 - Kharchenko et al. 2012, A&A, 543, 156
 - 選定条件
 - サイズ： 半径 = 0.5~1度角
 - 星の数： $> 500 (1\sigma) + \text{約}20000$ (周辺の星)
 - 年齢： 3億年程度
 - 近傍： $< 1000\text{pc}$ 以内
- 観測した散開星団
 - NGC1039, NGC1746, ASCC13 (比較的若い) 他

観測

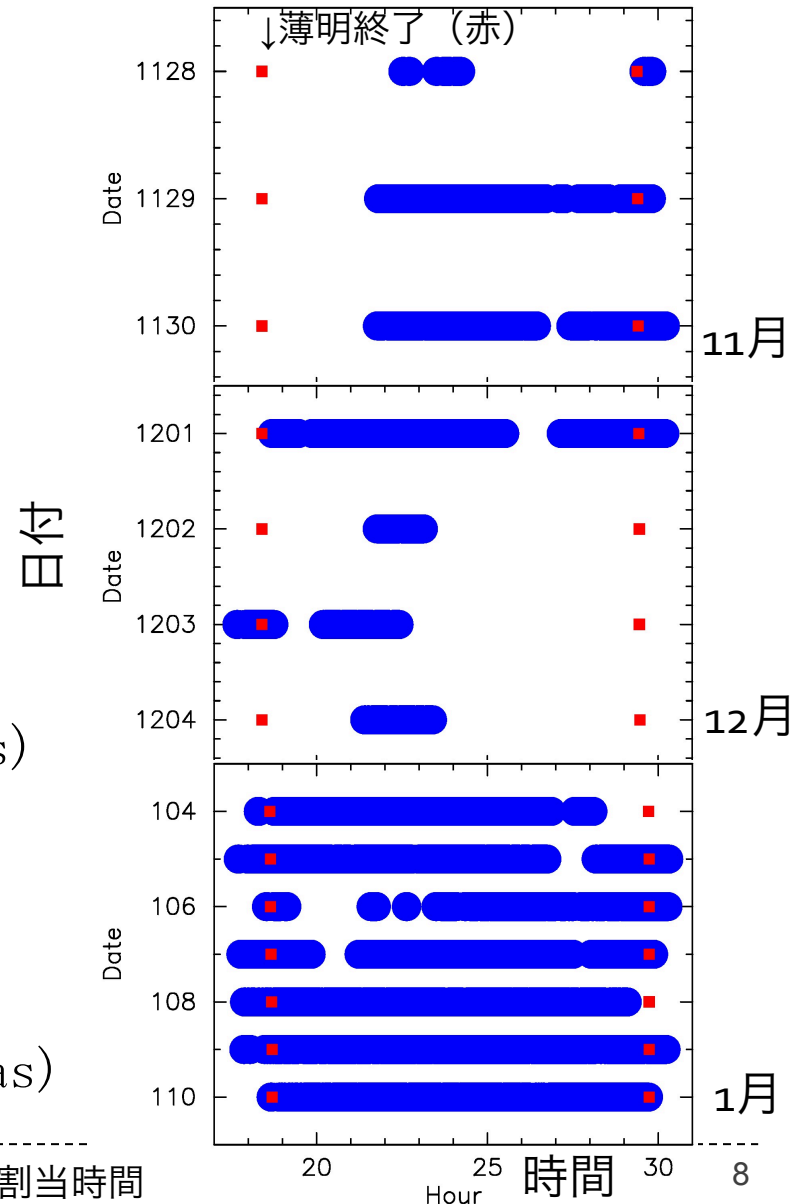
データ(I-band)を取得した時間(青)

■ 観測装置

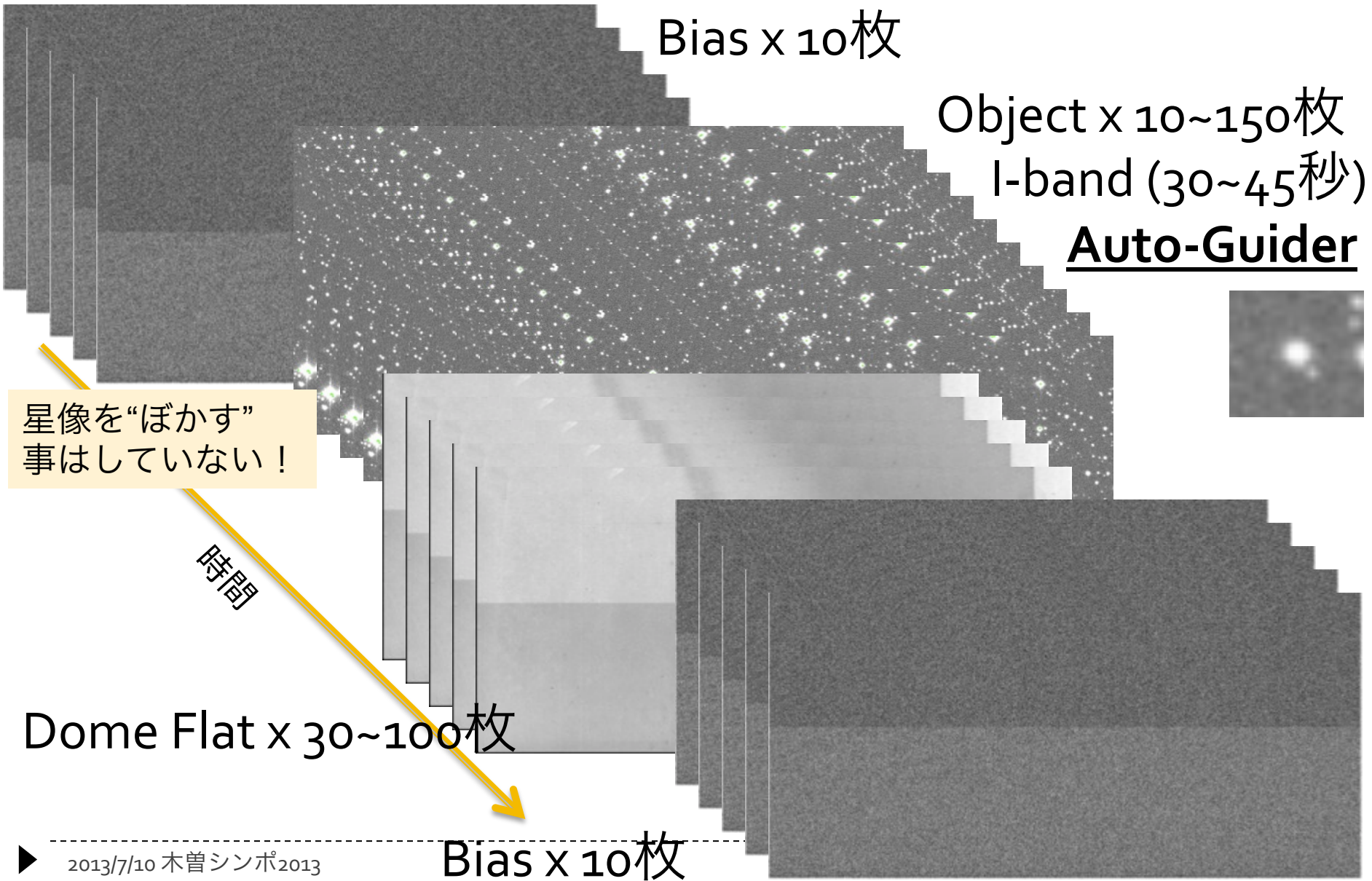
- 105cm望遠鏡+KWFC
 - 主にIバンド (一部None, V, B)
- オードガイダー、ビニング無し

■ 割当夜:計14夜

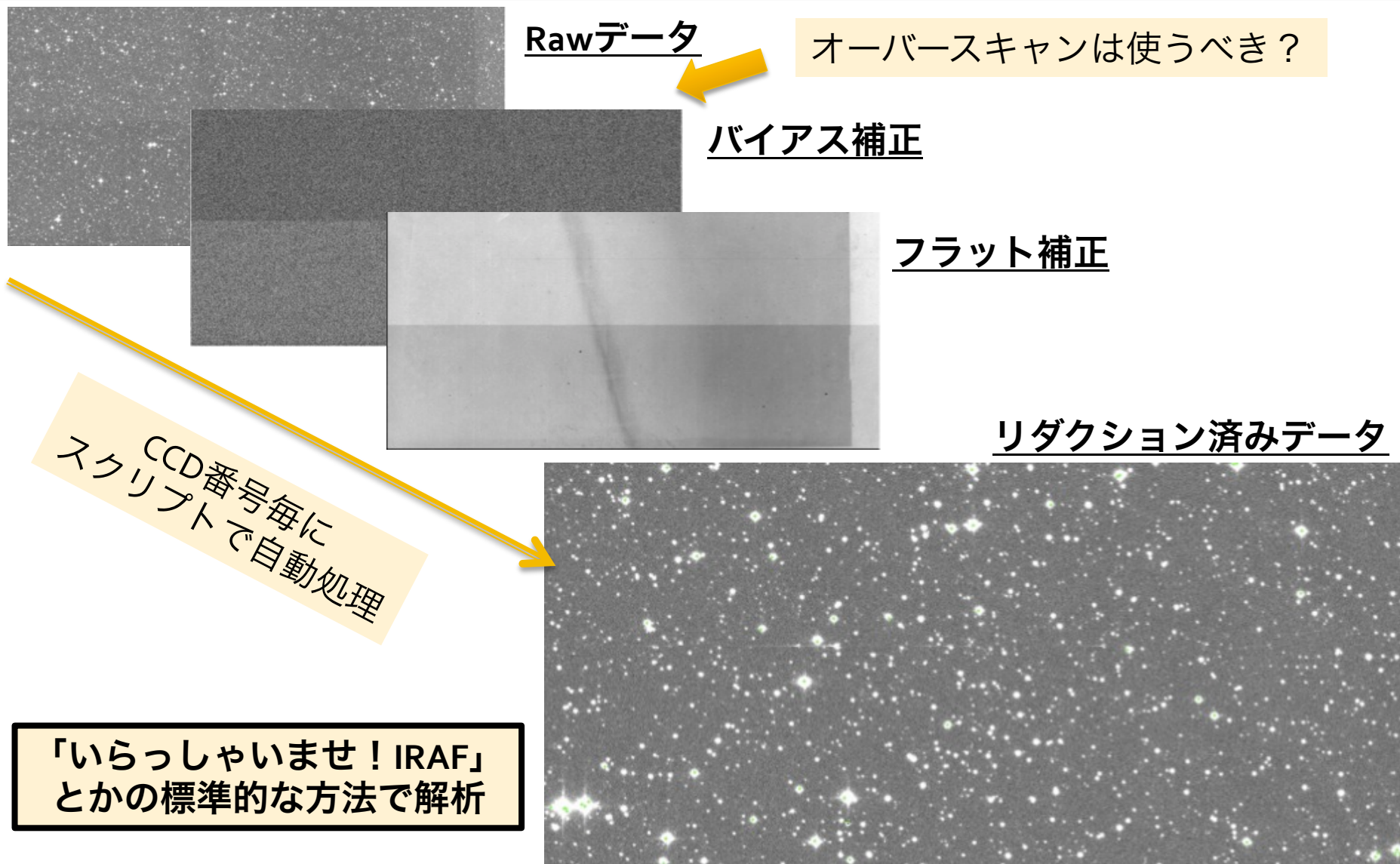
- 2012年11月28日～12月4日
 - 天気:晴のち曇
 - データ取得率*: 39%
 - OBJECT取得数: 約640 + (Flat&Bias)
- 2013年1月4日～1月10日
 - 天気:おおむね良好
 - データ取得率*: 89%
 - OBJECT取得数: 約1540 + (Flat&Bias)



観測の流れ：標準的な観測



リダクションの手順



測光解析+光度曲線作成



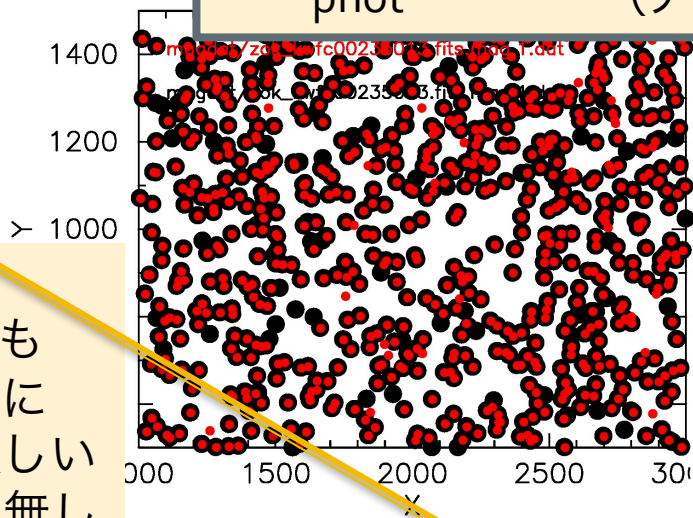
測光結果
標準出力: *.mag.1

IRAFによる測光解析

imstat	(おおざっぱなskyの見積もり)
daofind	(明るい☆の検出)
psfmeasure	(PSFの決定)
daofind	(☆の検出)
phot	(アパーチャー測光)

画像毎のズレの調査

オートガイドをしてもズれるので。本当は非常に正確なオートガイドが欲しい
正確なアストロメトリ無し

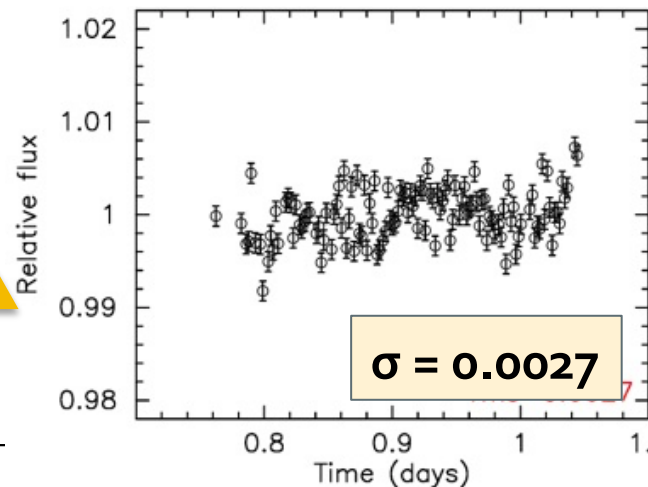


黒：基準のデータでの星の位置
赤：比較した画像での星の位置

ズレ：±100~600 pix

光度曲線を書く

- ・ 比較星：変化が安定した星30~50個以上
- ・ 比較星のトータルFluxを比較対象にした
- ・ 今のところ、カタログとの比較はできていない



ドームフラットの検討

- 星の位置が動いていくので特に重要
- 高精度フラット取得のために
 - どれだけ必要か検討してみたい
 - 観測終了後、昼間も撮らせて頂いた

ご迷惑をおかけして
いたらすみませんv_v

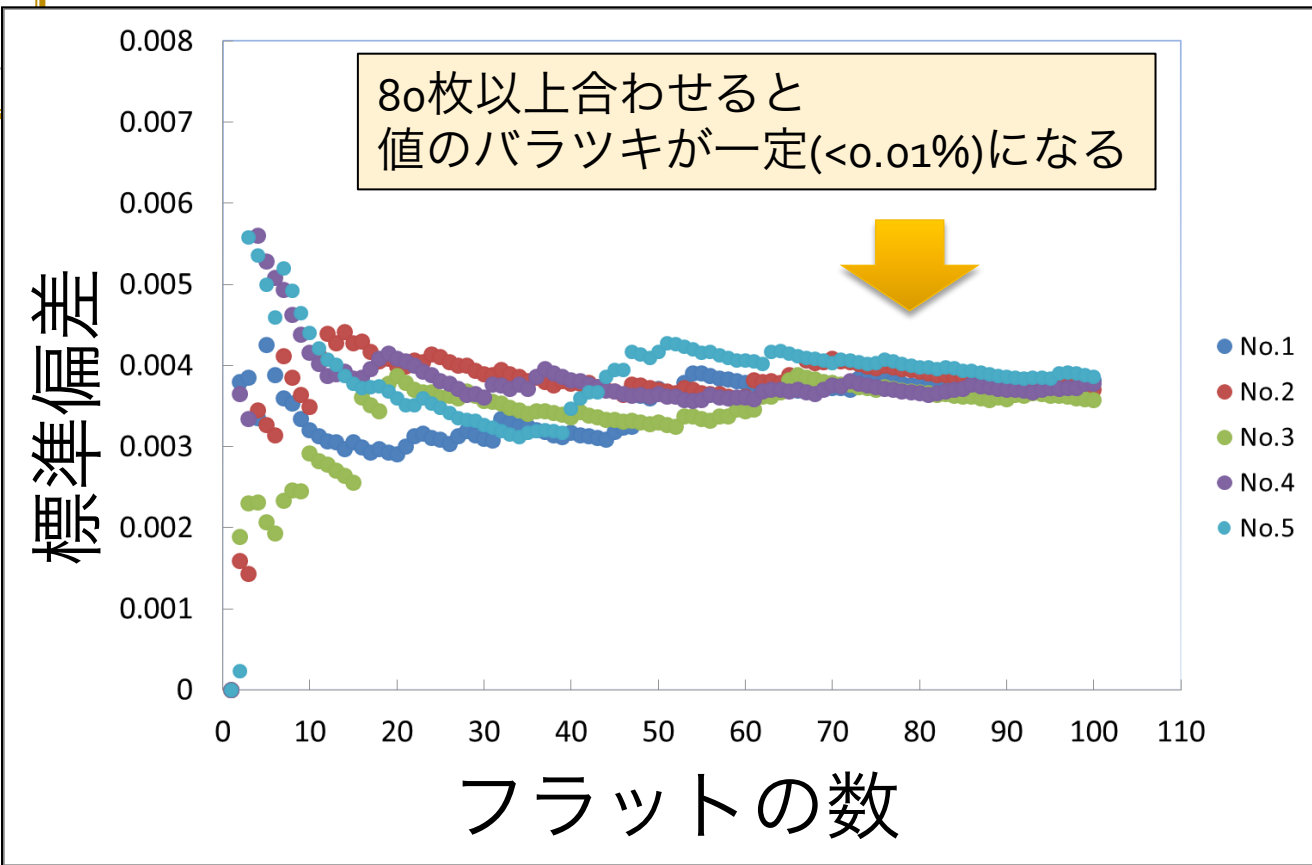
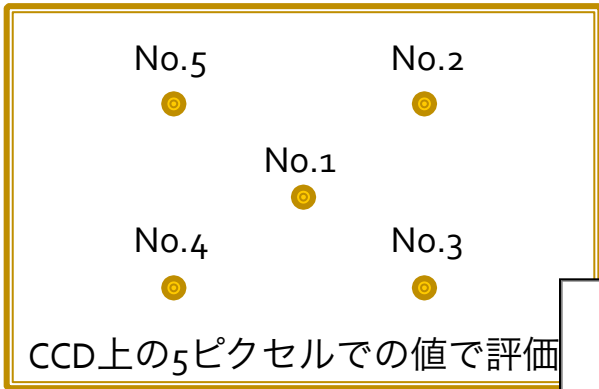
ドームフラットの取得数

Date	#
2012/11/28	51
2012/11/29	30
2012/11/30	40
2012/12/1	40
2012/12/2	50
2012/12/3	40
2012/12/4	100

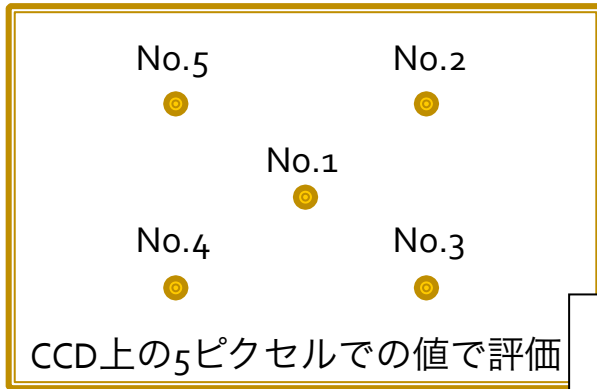
Date	#
2013/1/4	80
2013/1/5	100
2013/1/6	94
2013/1/7	100
2013/1/8	100
2013/1/9	100
2013/1/10	100

フラットの検討 1

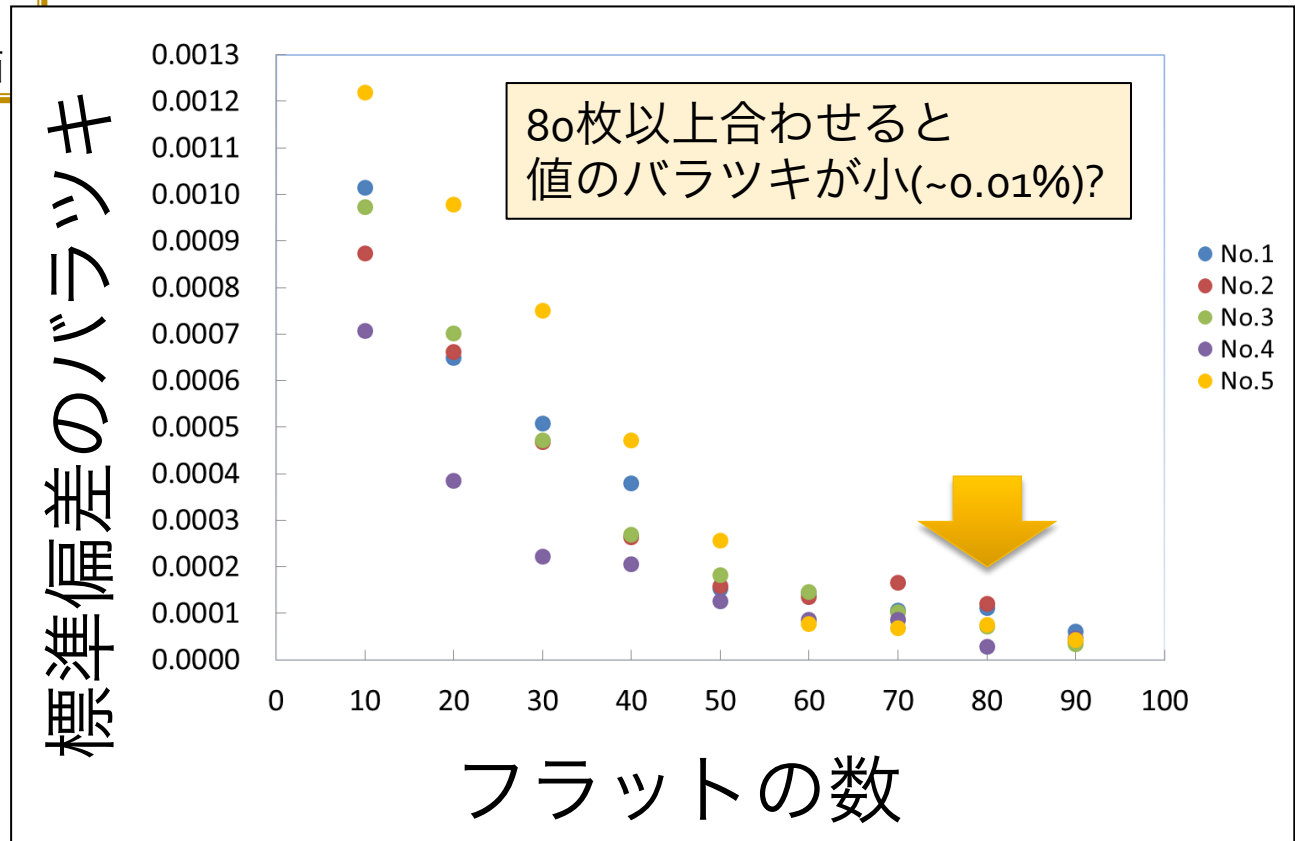
2013年1月8日 CCD No.3



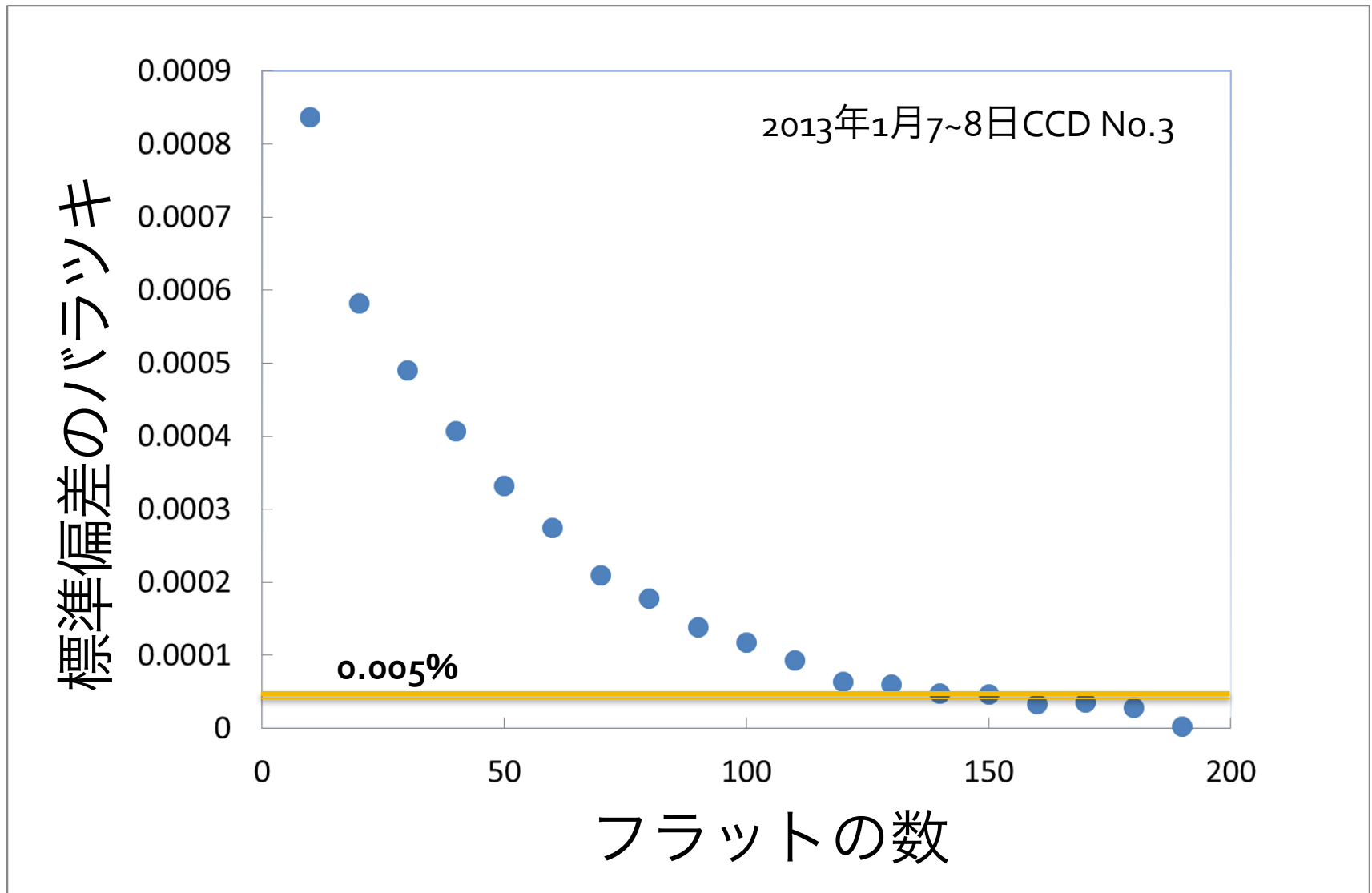
フラットの検討 2



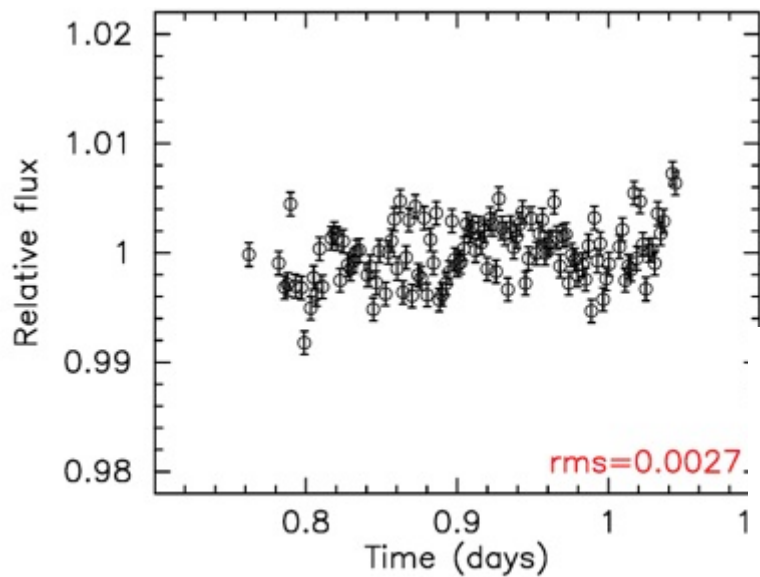
2013年1月8日CCD No.3



フラットの検討 3



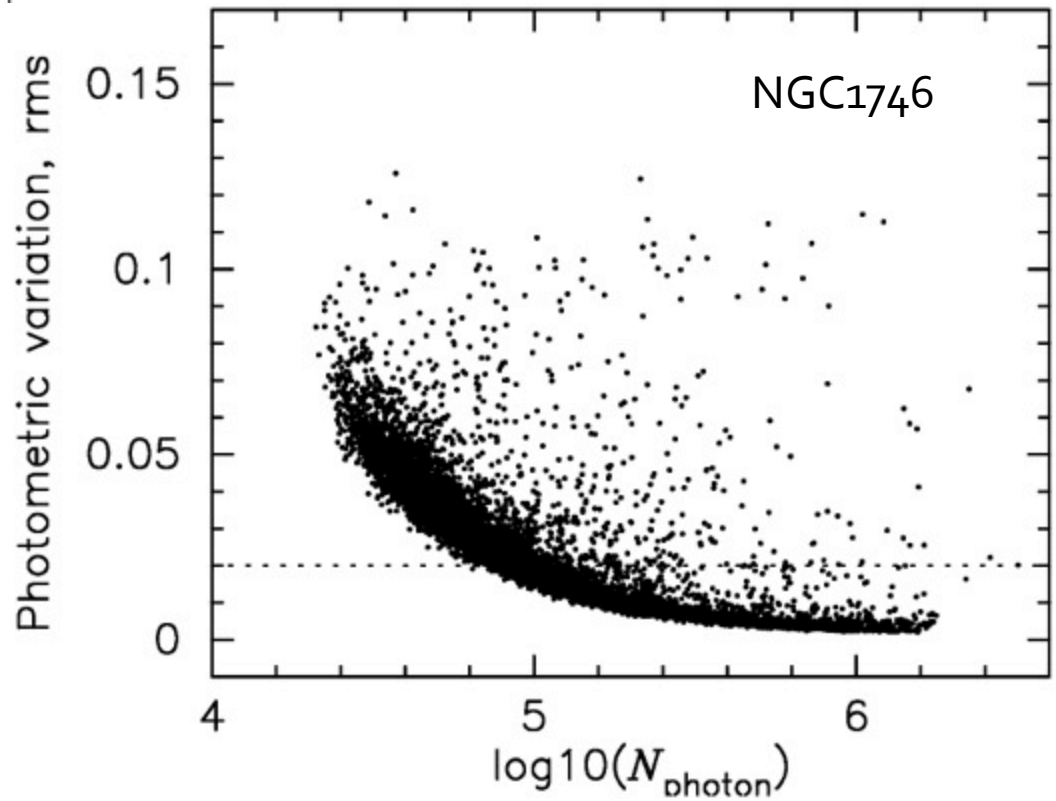
解析結果1 2013/1/4



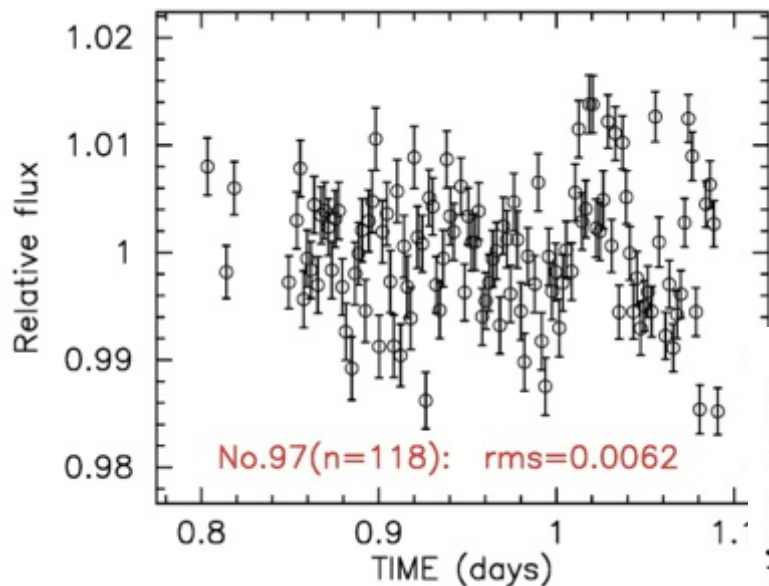
- ・シーイングが良かった=>悪くなった
- ・CCD上で星像が150ピクセル以上移動
- ・露出時間：30秒

7800個の星の中で、要求される精度が達成できた星は、600個程度

赤経 (2000)	05 03 50
赤緯 (2000)	+23 46 12
銀経	179.07
銀緯	-10.65
距離 [pc]	760
年齢 [Log Age]	8.19



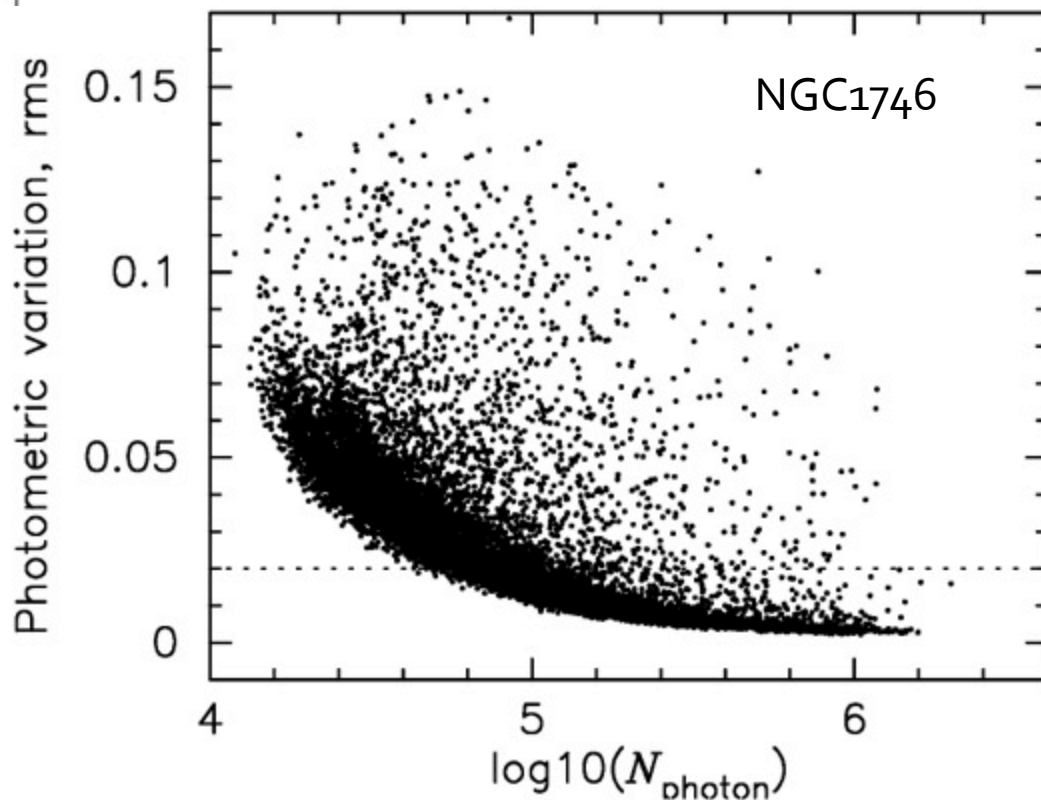
解析結果2 2013/1/10



- ・シーイングが初めから悪かった
- ・CCD上で星像が20ピクセル以下の移動
- ・露出時間：30~45秒

10000個の星の中で、要求される精度が達成できた星は、600個程度

赤経 (2000)	05 03 50
赤緯 (2000)	+23 46 12
銀経	179.07
銀緯	-10.65
距離 [pc]	760
年齢 [Log Age]	8.19

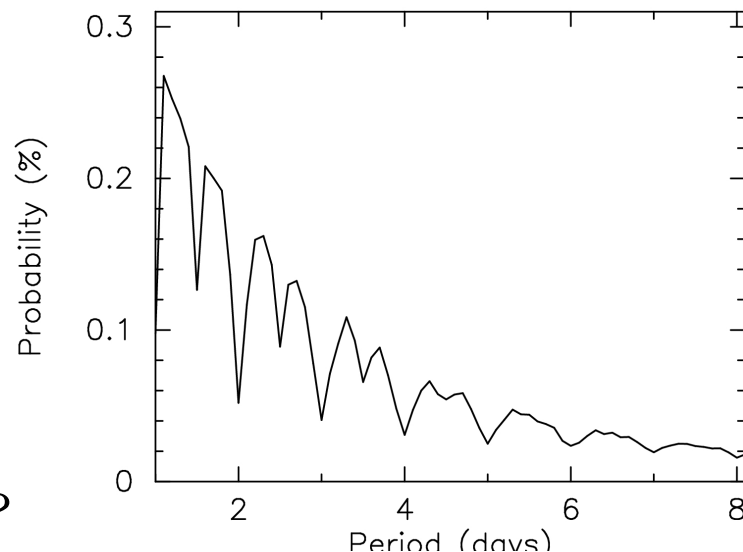


今後のトランジット探索に向けて

- 標準的なトランジット探索&解析を試してみた！
 - まだ解析手法に不安あり。試行錯誤中
 - 色等級図は今後作成予定@東海大卒論
 - 各星の光度曲線の様子はチェックしていない
 - $>10^{5-6}$ の光子をためれば良い事がわかった
 - 今後、まとめ&観測の実現性を議論

フォトンを貯めれば高精度が出る！

- 今後の方向性 => 考え中。。。
 - 独自のサーベイを始める
 - ある程度まとまった観測時間が必要
 - 人手も必要
 - ターゲットの選定も
 - 晴天率が問題！一晩中晴れるのは何日？
 - 他のサーベイと協力する
 - トランジットネットワークへ参加
 - e.g. YETI network (Neuhäuser+11)



巨大惑星の発見確率
仮定：①巨大惑星の発見率1.2%、
②10夜の連続観測③10時間観測/1夜
周期5日以下の惑星なら約10000星の中
に10個以上の発見を期待