CCD測光における フラットフィールドとガイドによる系統的誤差について

大島　修
岡山県立水島工業高等学校

今や日本国内でのTransit観測で問題になる

測光精度は0.2%以下

- 国内での測光精度は「１%が限界」？
- HD17156bの場合（減光量0.7%）
  - フラットフィールドの違い（薄明フラットかドームフラットか）で、０．２%が問題
  - R_p/R_sの値に大きく影響する
- HD**234の場合
  - フラットフィールドの補正誤差とガイド不良が見かけのtransit現象を引き起こした

HD17156b
PASJ論文になったものの・・・・

PASJ: Publ. Astron. Soc. Japan **60**, L1–L5, 2008 April 25
© 2008. Astronomical Society of Japan.

A Possible Spin-Orbit Misalignment in the Transiting Eccentric Planet HD 17156b*

Norio NARITA†
Department of Physics, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033
narita@utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp
Bun'ei SATO
Global Edge Institute, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550
Osamu OHSHIMA
Mizushima Technical High School, 1230 Nishiachi-cho, Kurashiki, Okayama 710-0807
and
Joshua N. WINN
Department of Physics, and Kavli Institute for Astrophysics and Space Research, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA

(Received 2007 December 16; accepted 2008 January 30)

Abstract

We present simultaneous photometric and spectroscopic observations of HD 17156b spanning a transit on 2007 November 12 (UT). This system is of special interest because of its 21 d period (unusually long for a transiting planet) and its high orbital eccentricity of 0.67. By modeling the Rossiter–McLaughlin effect, we find the angle between the sky projections of the orbital axis and the stellar rotation axis to be $62° \pm 25°$. Such a large spin-orbit misalignment, as well as the high eccentricity, could be explained as a relic of a previous gravitational interaction with other planets.

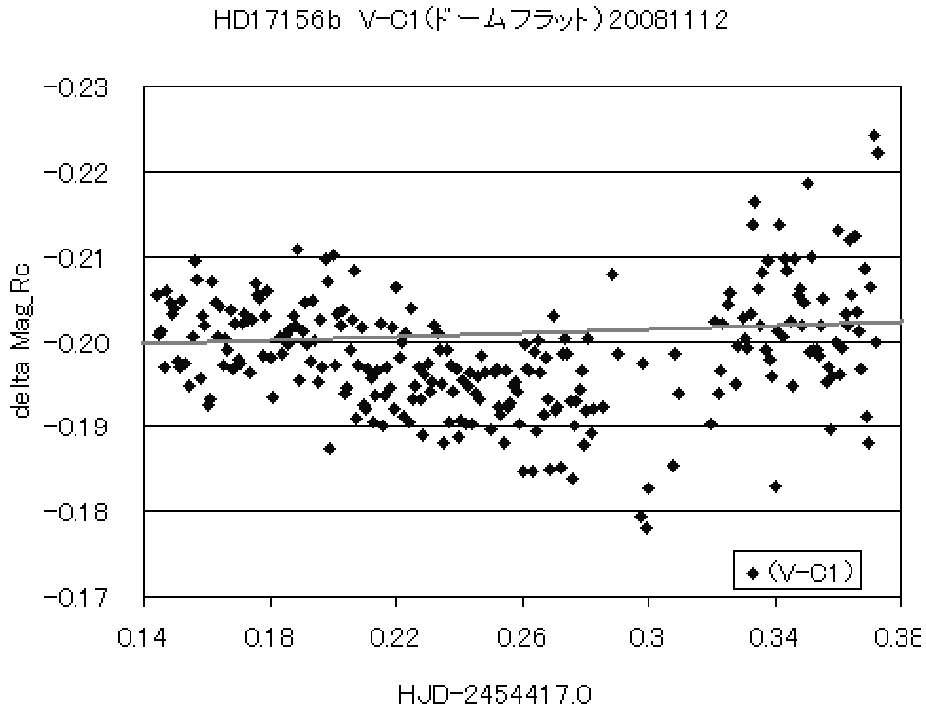
Key words: stars: planetary systems: individual (HD 17156) — stars: rotation — techniques: photometric — techniques: radial velocities — techniques: spectroscopic

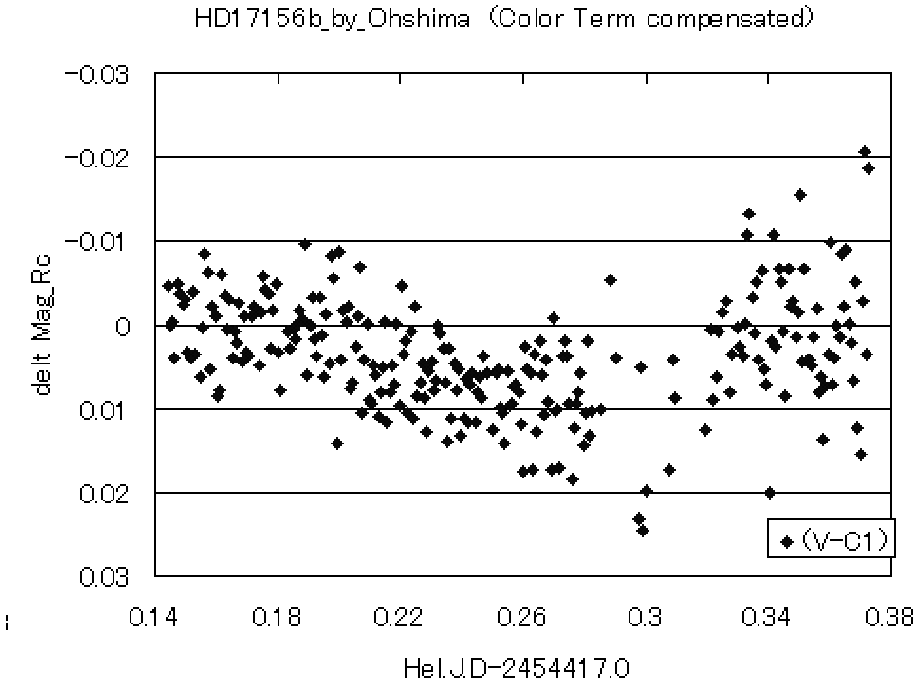
測光データの

- 2007年11月12日の観測
- フラットフィールドにはドームフラット（筒先フラット）を使用した
- Out-of-transitのレベルが食の後で少し明るい→1次式で近似し補正→光度曲線が歪む（食の後半ほど深くなる）
- R_p=1.21 ±0.12R_Jup
  （Narita et al.,2008,PASJ,60L,1）

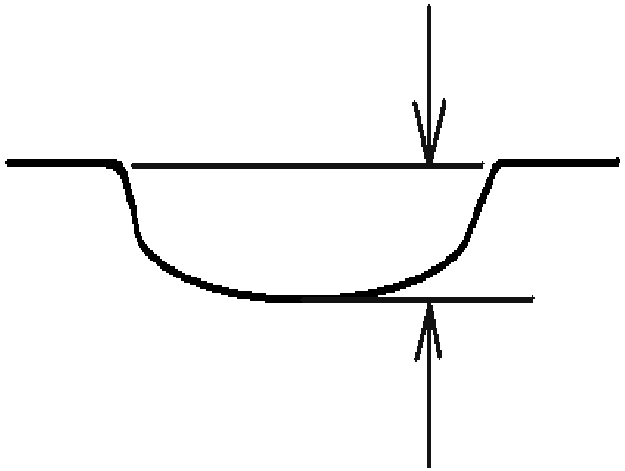
  R_p= 1.01 ± 0.09 Rjup

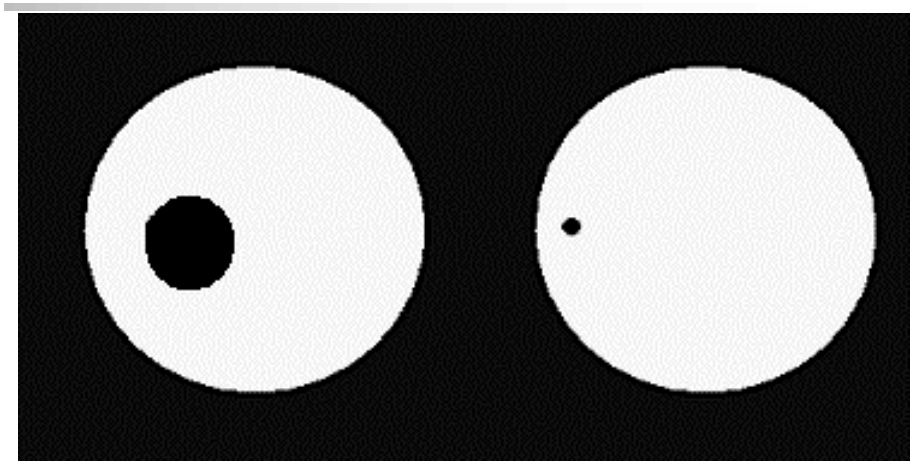
  （Irwin et al. 2008,ApJ,681,6361）





惑星のサイズは測光誤差が効く





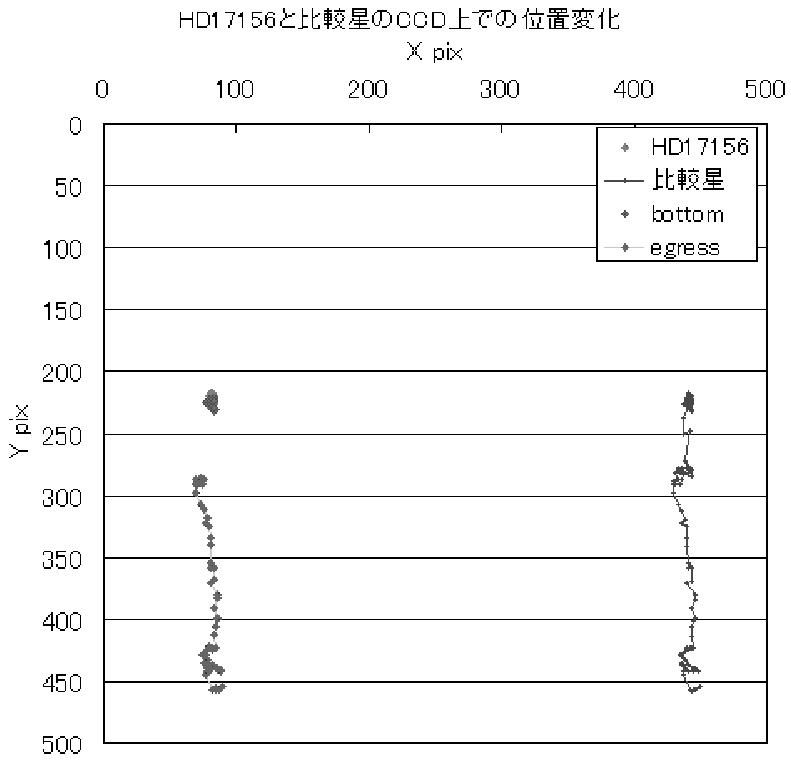
減光量＝面積比＝$\dfrac{2\pi \mathrm{Rs}^2}{2\pi \mathrm{Rp}^2} = \left(\dfrac{Rs}{Rp}\right)^2$

太陽と木星の場合　減光量は１％

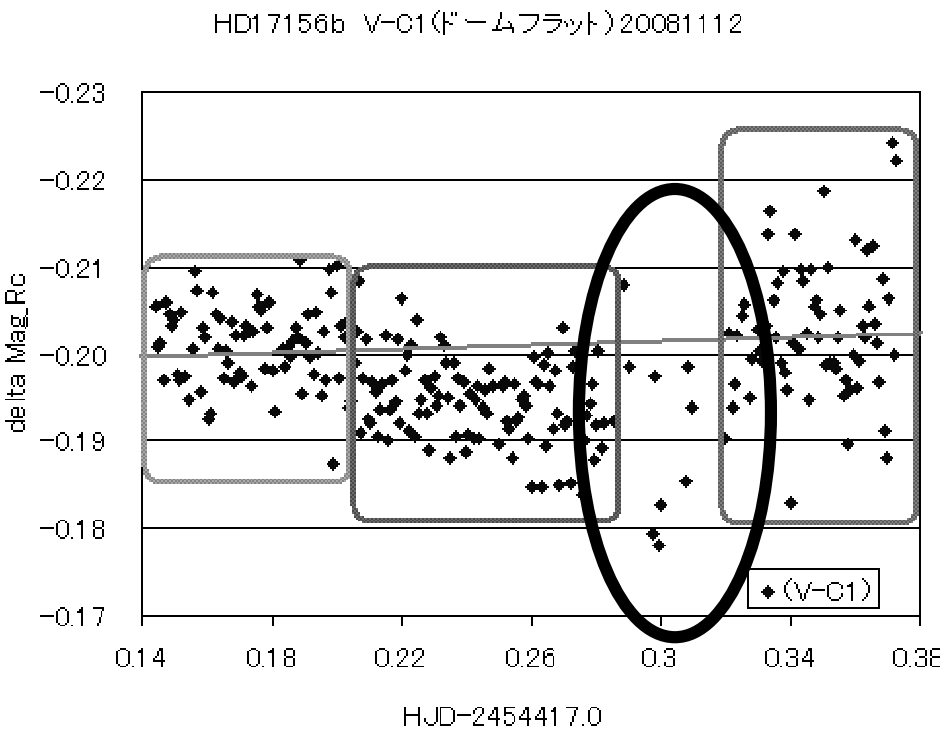
太陽と地球の場合　減光量は0.0084%

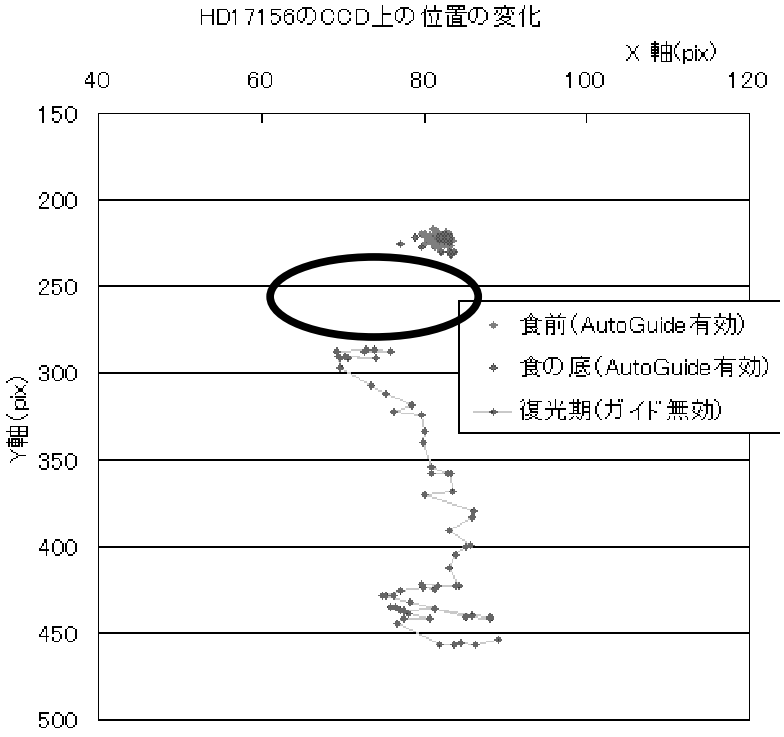
CCD上でのVとCの位置

- ターゲット星と比較星（HD16906）のCCD上での位置を調べた（右図）
- かなり視野の両端に近い位置で観測している（端ではフラット補正が効きにくい）
- 食の後半の悪天候オートガイダーがガイド星を見失ったらしい。オートガイドが効かず南へずれている



CCD上の位置と光度曲線

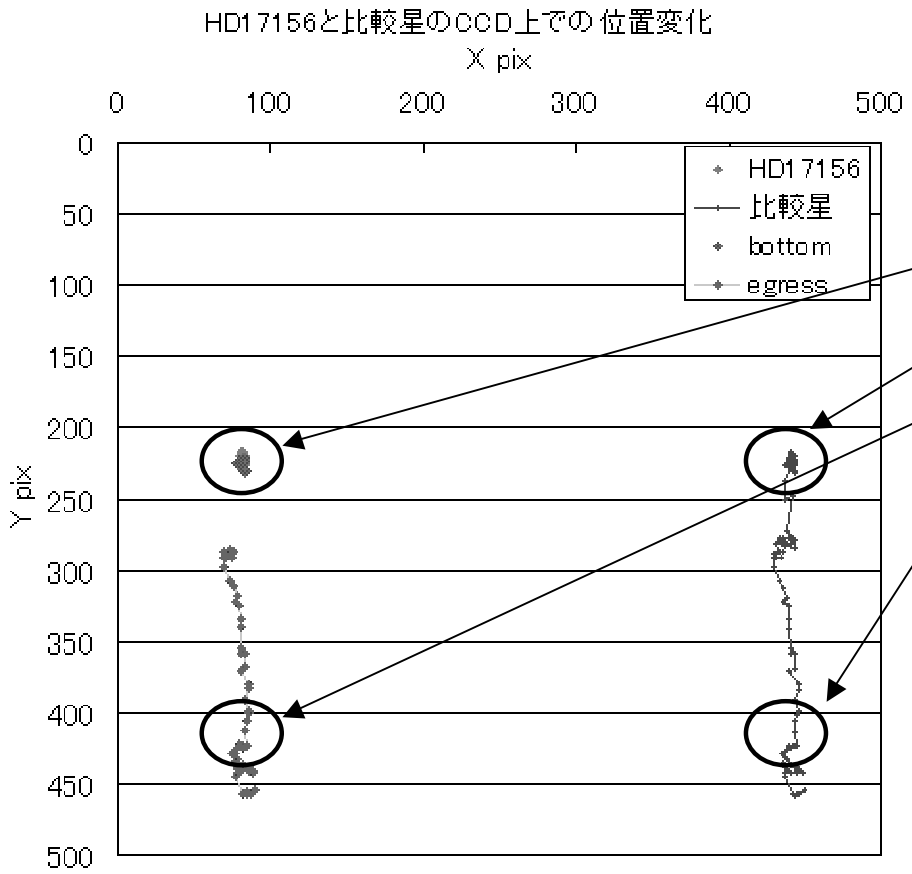




悪天候のため、ガイド星を見失ったらしい

フラットフィールドの誤差測定

測定したフレームは、(Mstドーム Flat/Mst薄明flat×定数)で得たものを使用。Mstフレームは100枚のノーマライズメジアン処理結果。

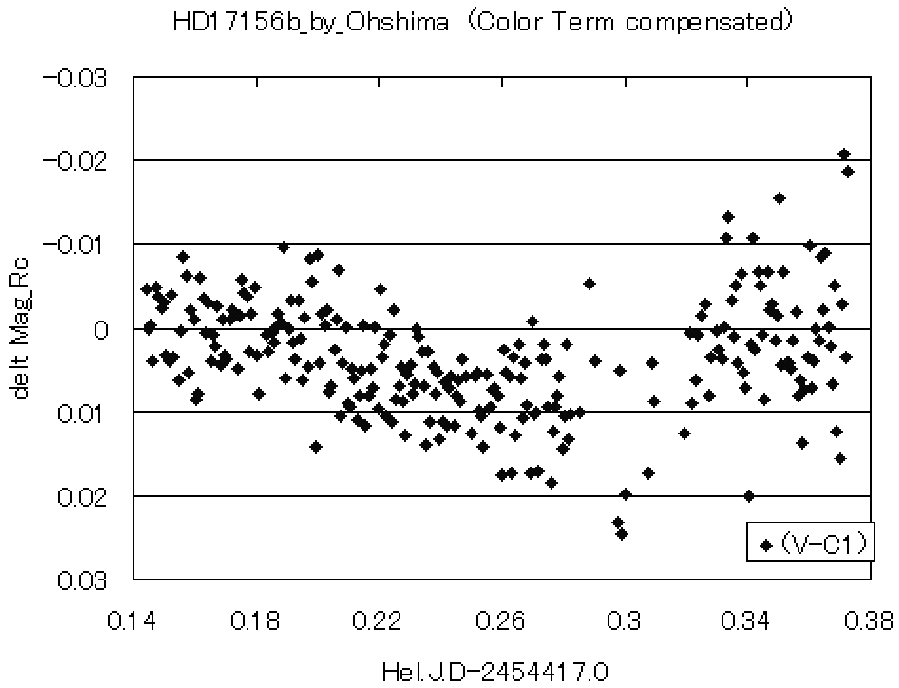


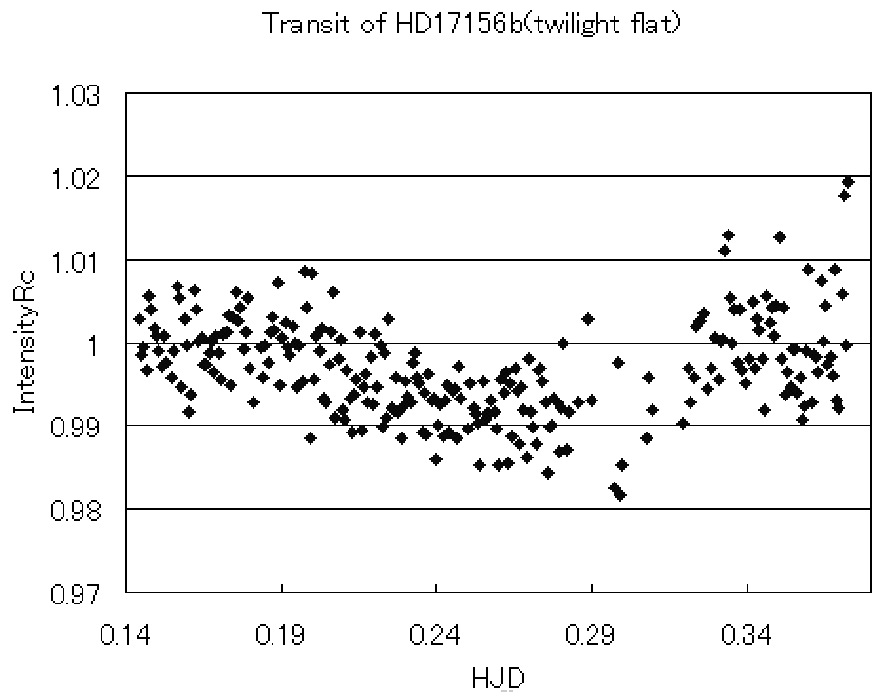
	X	Y	径	PixNo.	総カウント
V1	77	219	30	2917	805240
C1	421	216	30	2917	800249
V2	92	419	30	2917	801647
C2	422	409	30	2917	798154
V1/C1					1.00624
V2/C2					1.00438

このドームflatは薄明flatに比べて、画面下の方で目的星を0.2%ほど明るくする影響を与えている

薄明フラットで再

- Out-of-transitの補正なしでも（下図）
- 食の深さ
  1%→0.8%へ





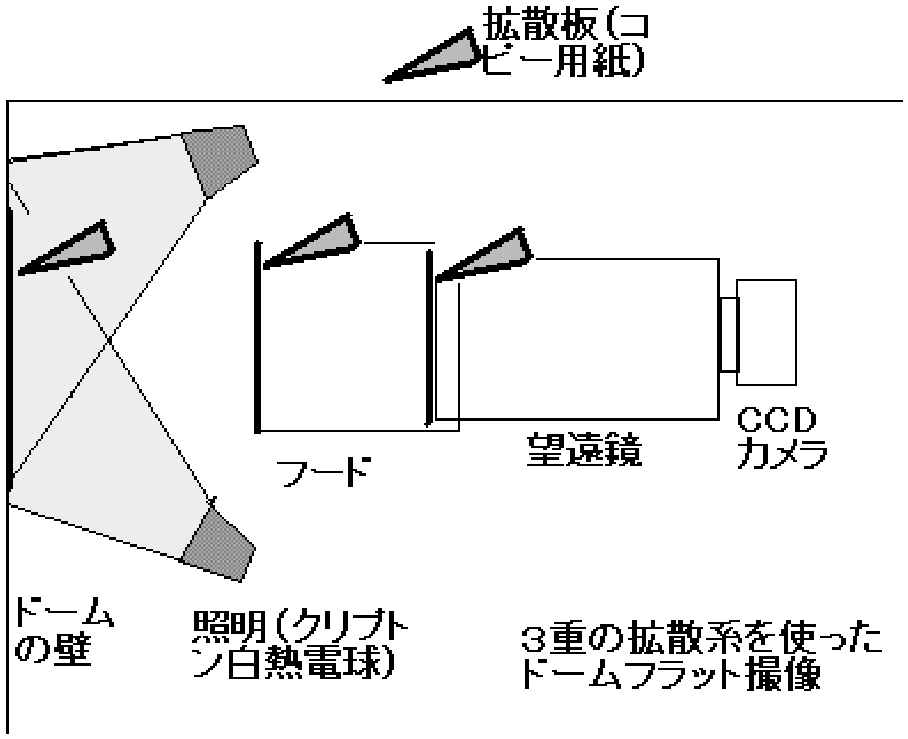
大島様　データのフィットとエラーの見積もりをやってみました。 予想したとおり、惑星の大きさを表すR_p/R_s は小さくなり、 トランジット中心時刻は3分ほど後ろにずれました。 我々の結果はほとんどIrwin et al. の結果と同じです。

6月11日　　成田憲保

OTOにおけるFlatの撮像方法(1)

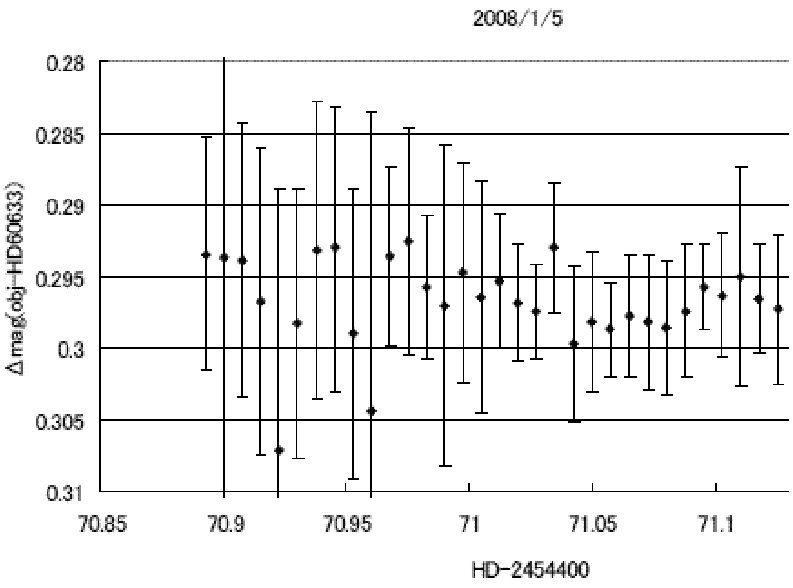
- ドームフラット
  - 両側からの照明
  - ３重の拡散板

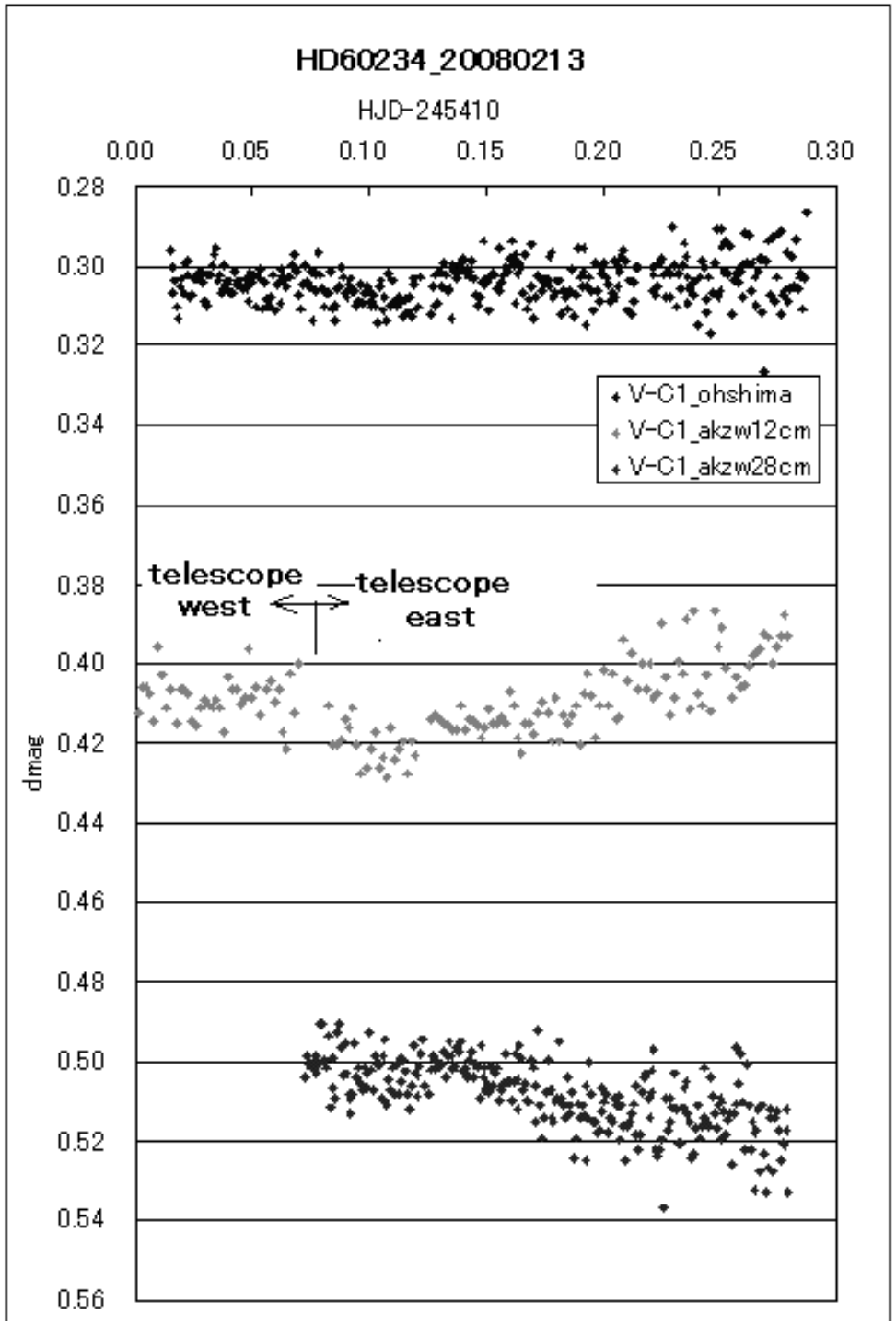
  それでも0.2%程度の照明ムラが出る
  - 数万カウントで100枚、メジアンをとりマスターフレームを作成



N2K候補星HD

- 発端2008年1月
  - 高橋祐介さんからの
  - 追試2月13日

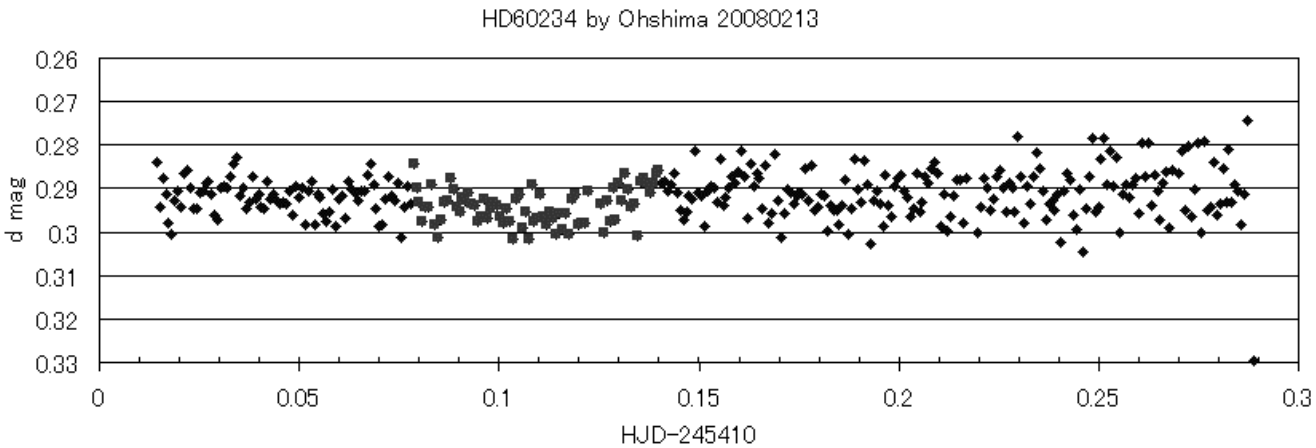


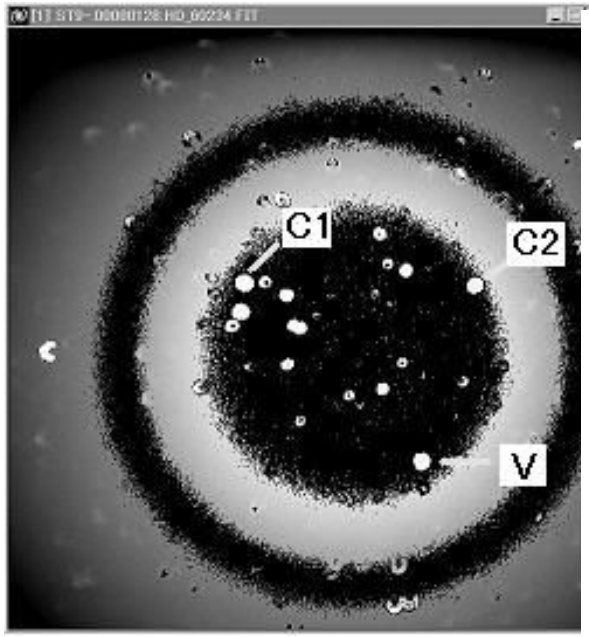


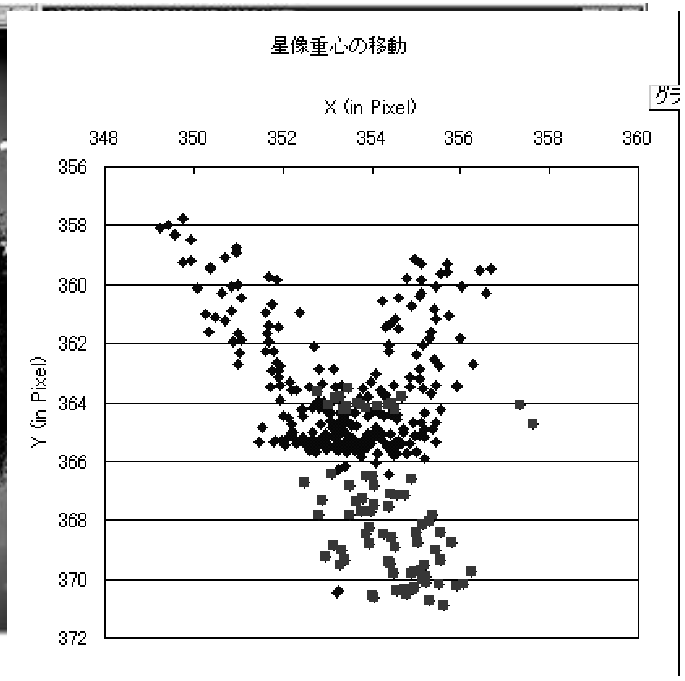
「減光」とCCD上の位置

大島の観測データを解析した

- 「減光」現象とCCD上の位置には相関関係があるのではないか
- フラットフィールドの不完全性とガイド不良の関係がありそう

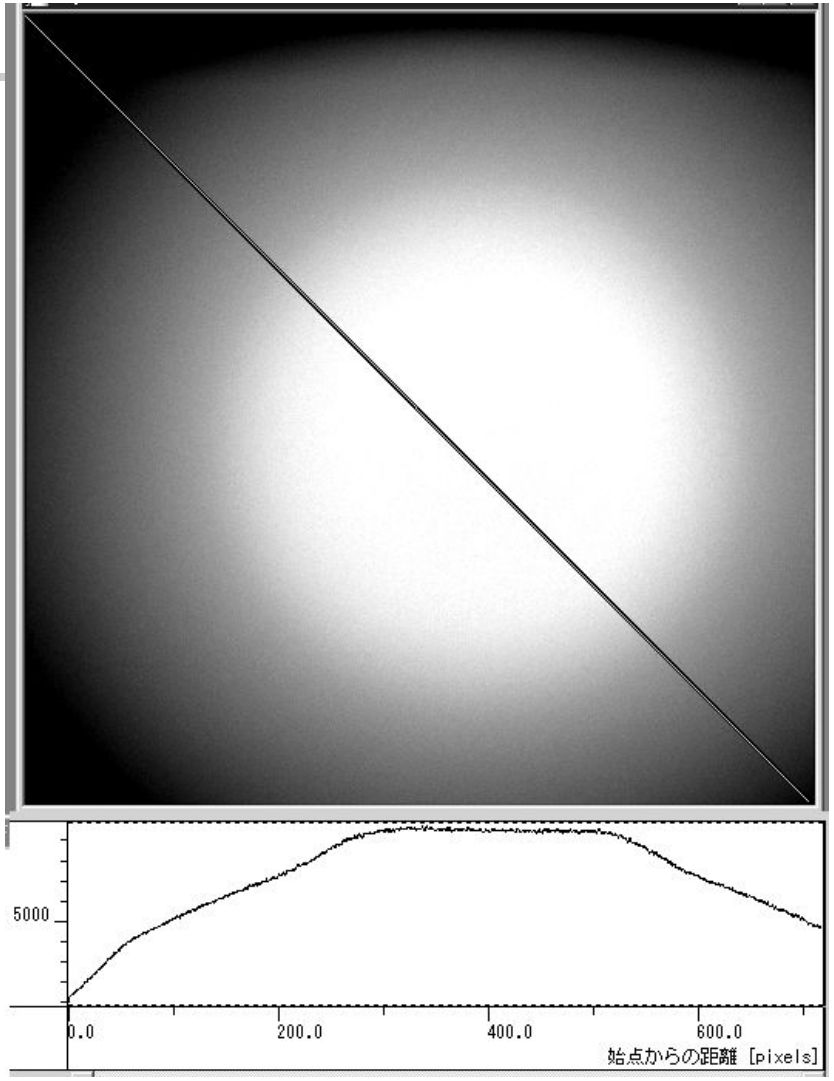






望遠鏡の周辺減光（ケラレ）が著しい場合

- 比較星を確保するために
  20cm f/10→f/3.3へ
  フォーカルレデューサーにより極端な視野縮小を行った→著しい周辺減光
- 薄明フラット（右図）を撮っても、精度良く補正できそうにない
- 補正量が少ないものほど高精度になる

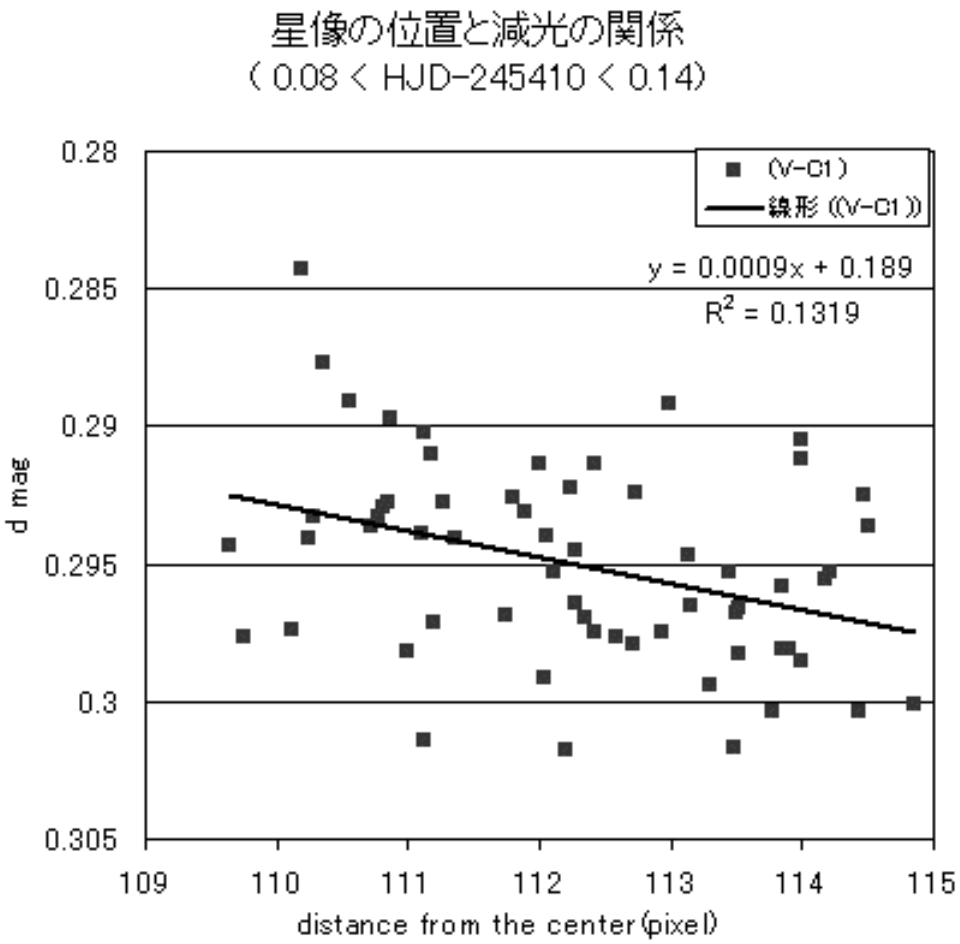


CCD上の位置と減光の相関

- 周辺減光の中心からの距離と「減光」との相関を調べた

  →相関関係がありそうだ

- フラットフィールドの不完全性とガイド不良の関係がありそう



結論　系統的誤差を避けるために

- 系統誤差０．１％の精度を狙え
- 高精度フラットを使う
  - 薄明フラット（多数枚のノーマライズメジアン）
  - 周辺減光の激しい光学系は避ける（完全なフラット補正が得られにくい）
- CCD上の星の位置を必ずチェック
  - ガイドは数ピクセル以内の誤差に抑える
  - オートガイドが有効（途中で雲が出た場合は）

OTOにおけるFlatの撮像方法(2)

- 薄明フラット（夕方の場合）
  - 天頂より、5度程度の反太陽方向が最も均一
    Chromey & Hasselbacher, 1996, PASP 108, p.944
  - 空の明るさは、1秒露出で50000カウント程度以下になってから、10000カウントまで
  - 100枚連続撮像中は望遠鏡をNWSEに振り続ける
  - マスターフラットは100枚のノーマライズ・メジアンで

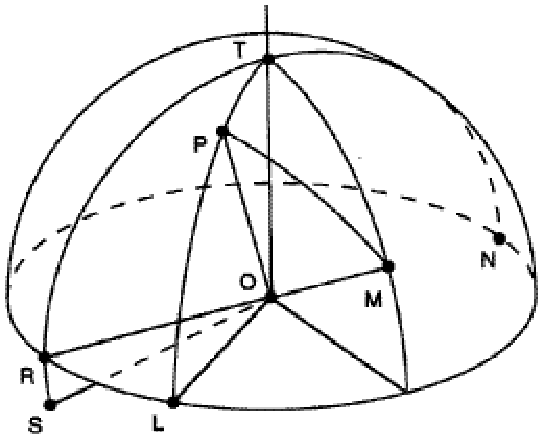
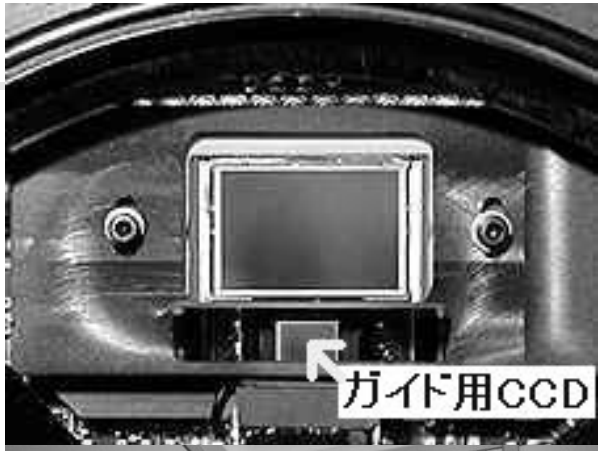


FIG. 1—Definitions of angles. The observer at point O has a local zenith at T, and a horizon circle passing through RLN. The Sun is located at S, on the solar vertical, $SRTN$. Another source, the Moon or bright star, is at M. If point P is observed, then the angles discussed in the text are $z=\angle TOP$, zenith distance of P; $A=\angle ROL$, azimuth from the solar vertical of P; $x=\angle LOP$, elevation of P from the solar horizon, taken to be zero at the sunward horizon and 180° at the opposite horizon; $\zeta=\angle TOS$, zenith distance of the Sun; $z_m=\angle TOM$, zenith distance of the Moon; and $r=\angle POM$, distance between P and the Moon.

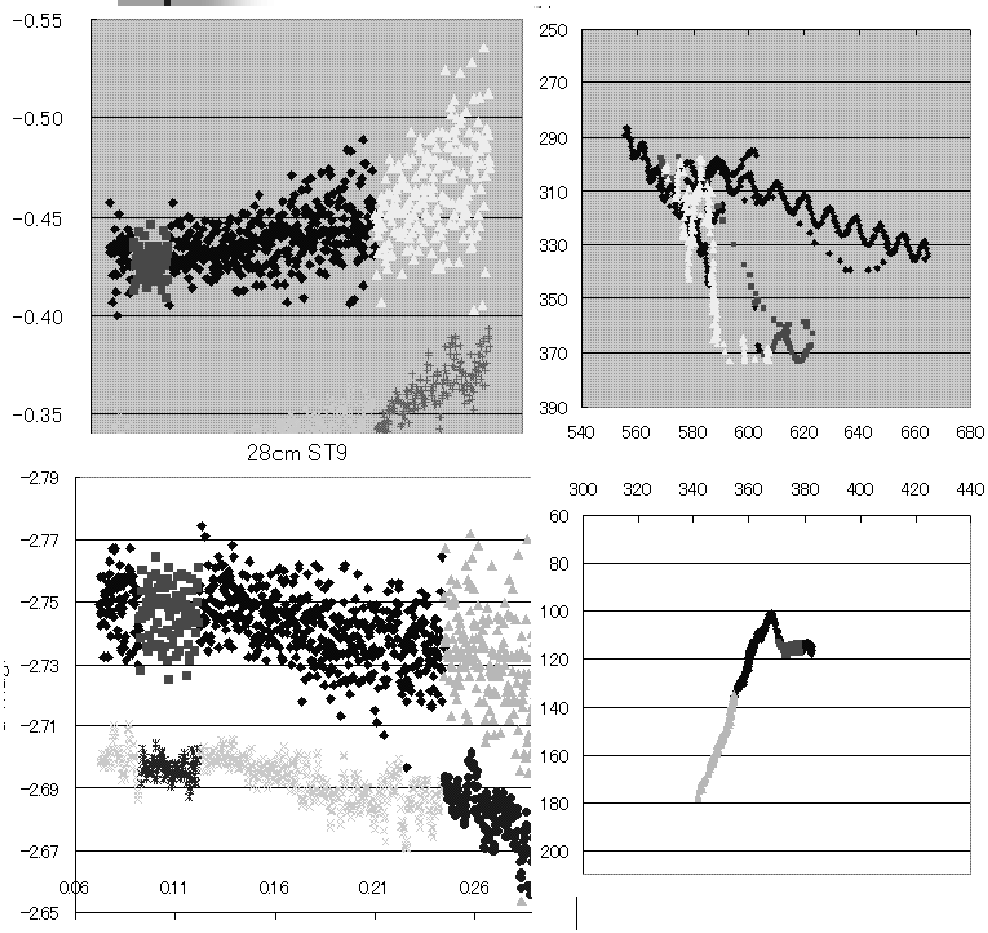
オートガイドの必要性

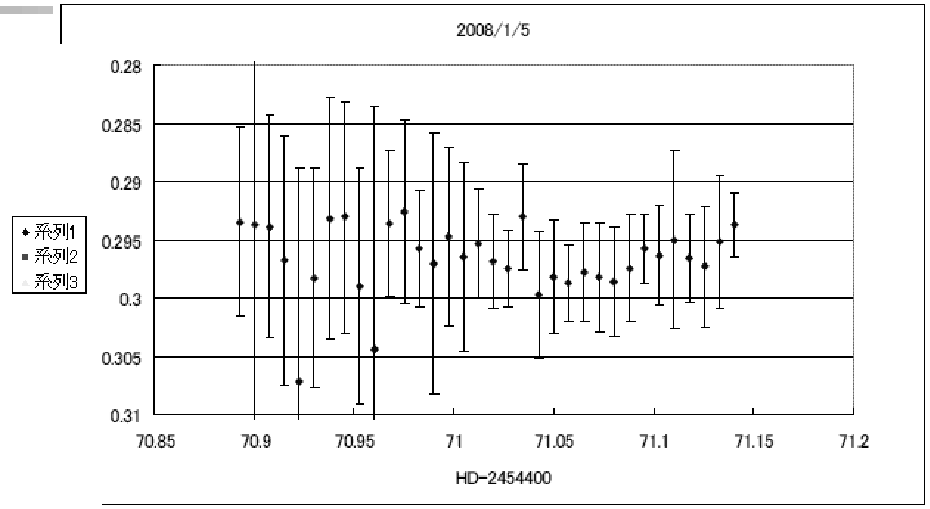
- 高精度測光＝高精度フラット＋ガイド
- CCD上で数ピクセル以内のガイド精度を保持することも大切
- SBIG社のCCDカメラではガイドチップが載っているが、ピントをはずすとガイドしにくい
- ガイド望遠鏡があった方が良い
  - Orion社StarShoot AutoGuider $249.95 、軽くて小さいので赤道儀の負荷にならない
- STXシリーズでは、ガイドチップは独立に合焦できるらしい
- 問題点：雲が出てガイド星を見失った場合のガイダーの振る舞い

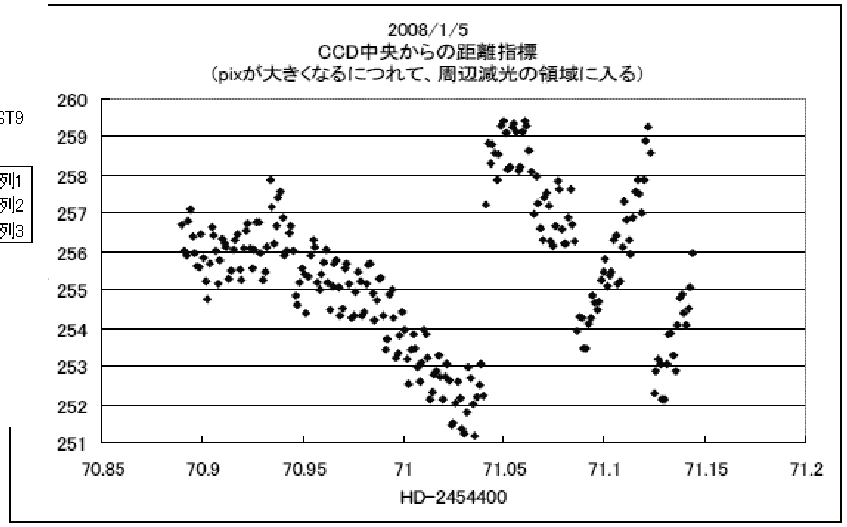


CCD上の位置と減光の相関

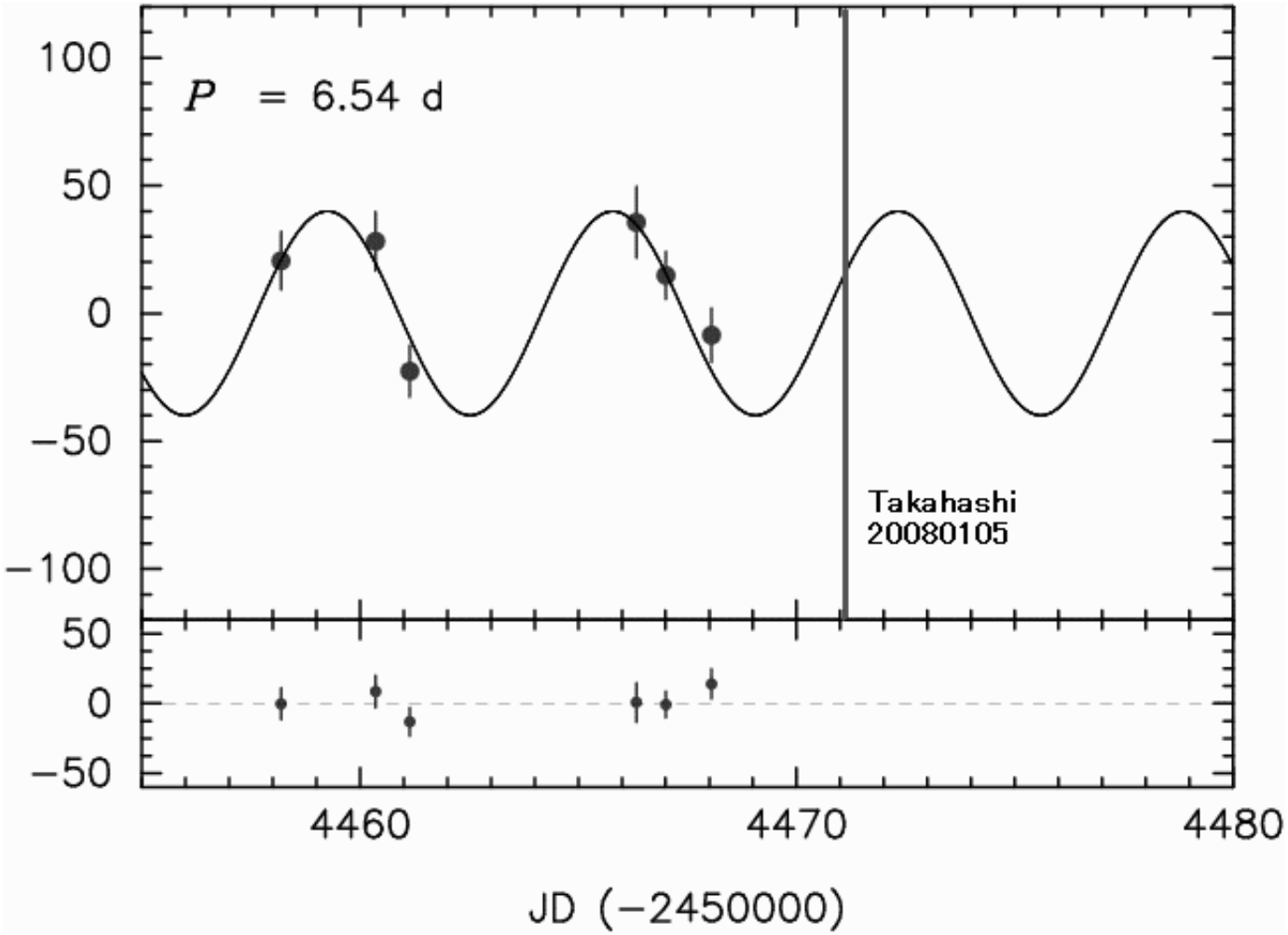
赤澤(左)と高橋(右)







視線速度とのタイミング



第３回系外惑星トランジット観測研究会　2008 年 8 月 23 日 24 日 於 美星天文台