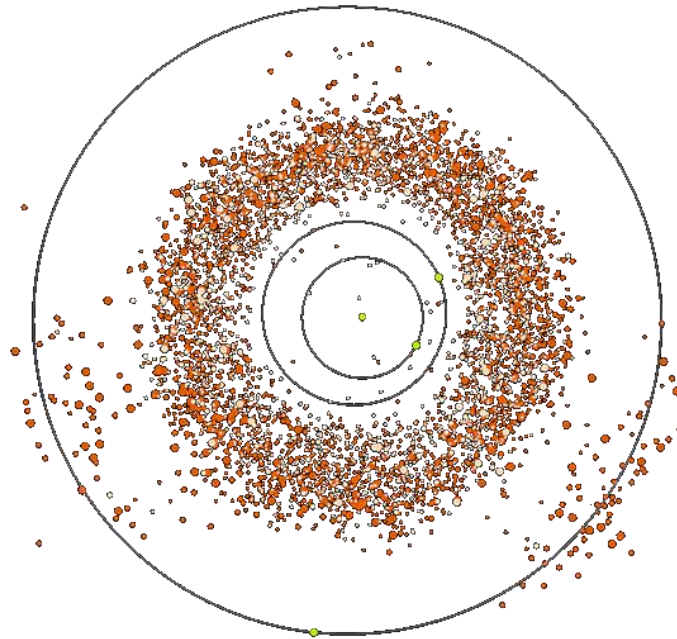


# 高反射率小惑星の絶対等級決定

---



寺居 剛、古莊 玲子、渡部 潤一 (NAOJ)

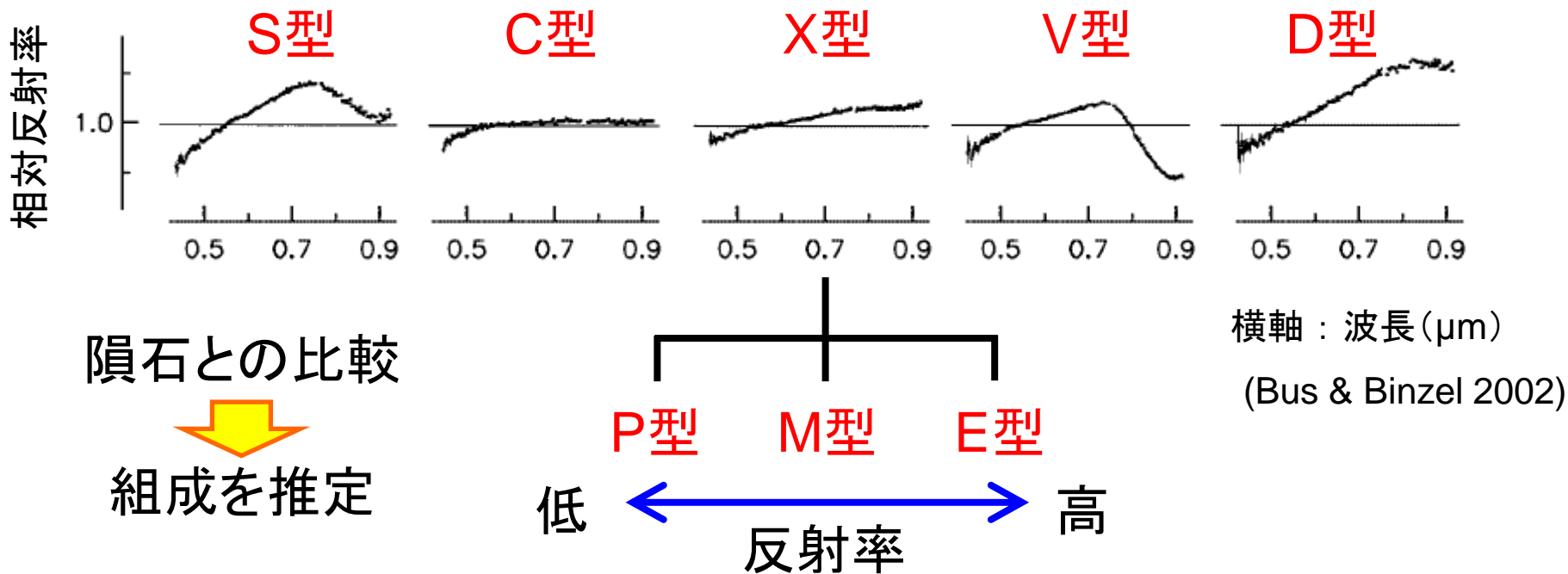
猿樂 祐樹、臼井 文彦 (JAXA/ISAS)

関口 朋彦 (北海道教育大学)

# 小惑星の表面特性

小惑星の表面組成は、微惑星の形成環境(温度・物質分布)や表層進化(分化、熱/水質変成・宇宙風化)の履歴を保持

反射スペクトルによる主な小惑星分類 (e.g. Tholen et al. 1984)

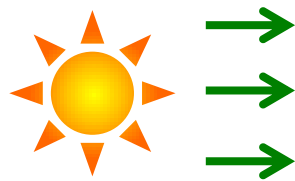


反射率(アルベド)はスペクトルとともに表面組成の推定に不可欠

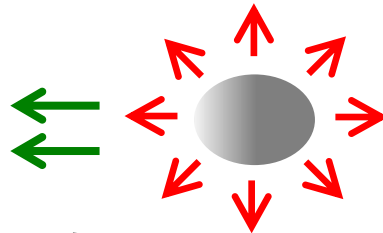
# 小惑星のアルベド

エネルギー収支：

$$\text{太陽光照射} = \text{反射光} + \text{熱放射}$$

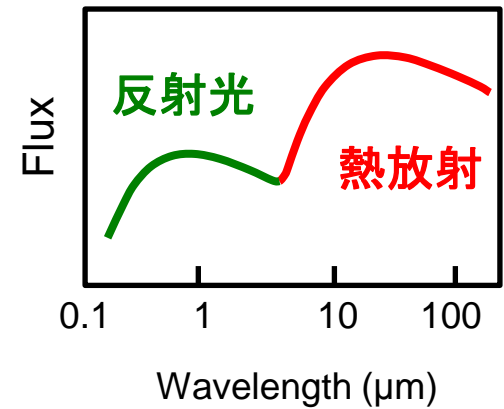


太陽定数



反射

吸収 → 再放射



反射光 ⇒ 断面積・アルベド  
(可視-近赤外)

熱放射 ⇒ 温度・表面積  
(中間赤外-電波)

アルベドを算出

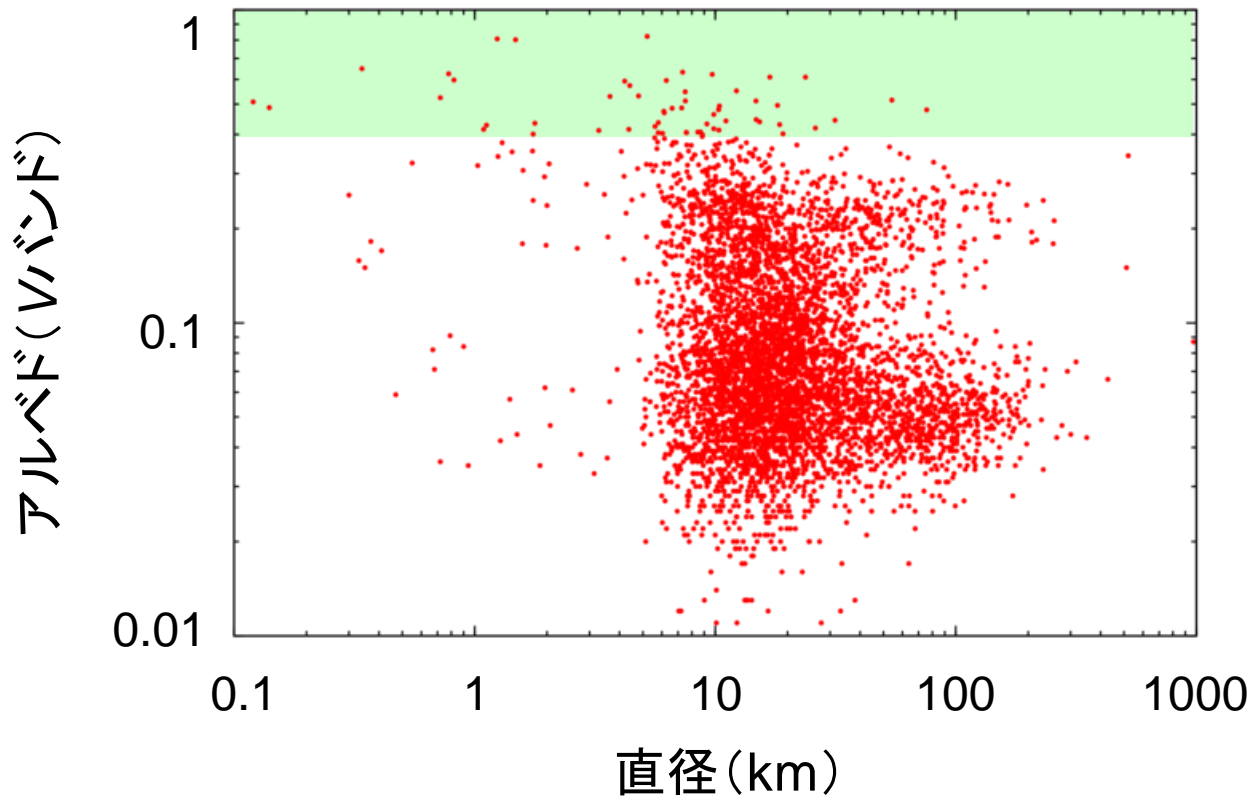
赤外線衛星IRASによる観測 (Tedesco 1994, Barucci+ 1987)

分類	C型	D型	M型	S型	V型	E型
アルベド	~0.05	~0.07	~0.11	~0.15	~0.3	~0.4

# 熱放射測定

赤外線衛星AKARI・・・5120個の小惑星を観測 (Usui et al. 2011)

→ 直径・アルベド測定値の公開カタログ「[AcuA](#)」



→ 極めて高いアルベドの小惑星が存在 (0.4以上の天体が約50個)

# アルベド決定の問題点

## ■ 直径 ( $D$ km) – アルベド ( $p_v$ ) の関係式

$$\log p_v = 6.259 - 2 \log D - 0.4 H$$

(Bowell et al. 1989)

$H$ : 可視 ( $V$ バンド) の絶対等級

→ AcuAカタログでは小惑星軌道データベース「**ASTORB**」  
(Lowell Observatory 配布) に記載された値を使用

## ■ ASTORBの絶対等級は精度が保証されていない

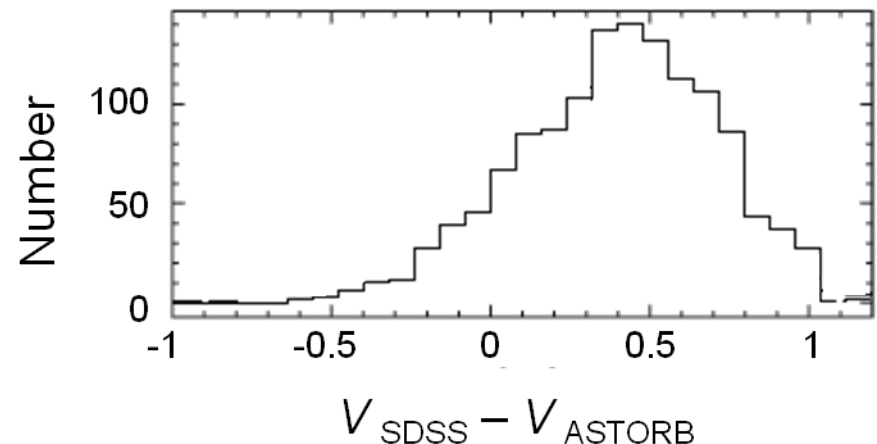
Juric et al. (2002)

SDSSとASTORBの測光値を比較

→  $\sim 0.4 - 0.5$  等のずれ

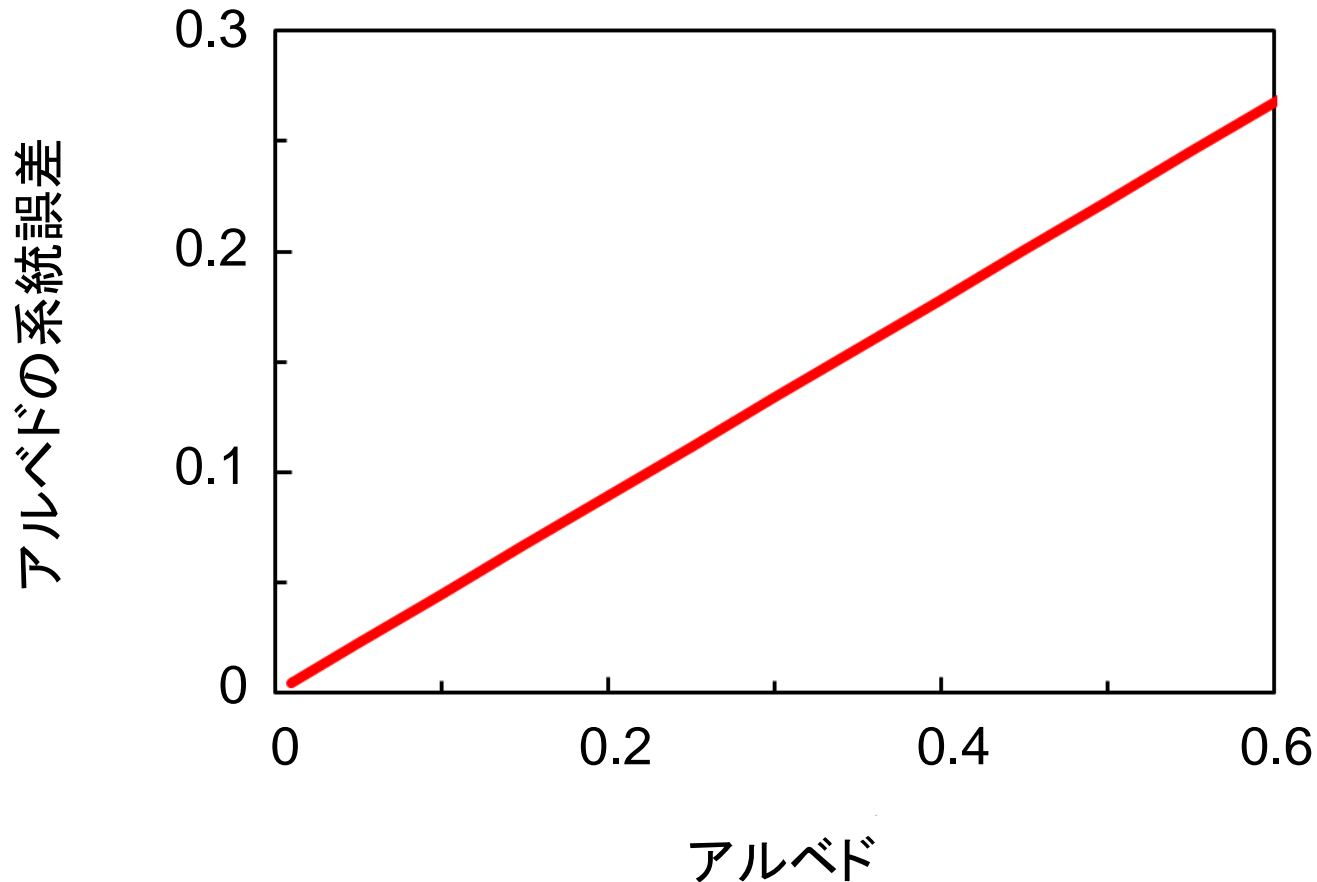
Pravec et al. (2012)

ASTORBの絶対等級には $-0.4$ 等  
程度の系統誤差がある



# アルベド決定の問題点

■ 絶対等級の系統誤差が $-0.4$ 等の場合:



→ アルベド0.4の小惑星がアルベド $\sim$ 0.6と測定される

# アルベド決定の問題点

- 小惑星の明るさは位相角によって変化

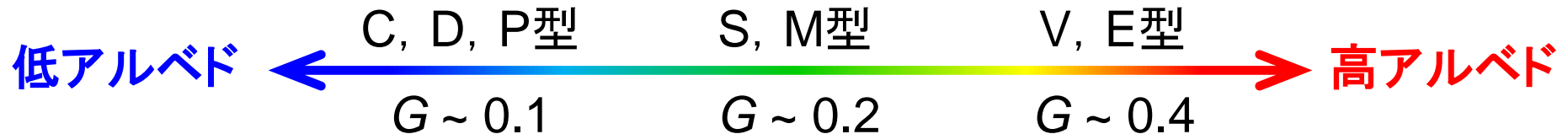
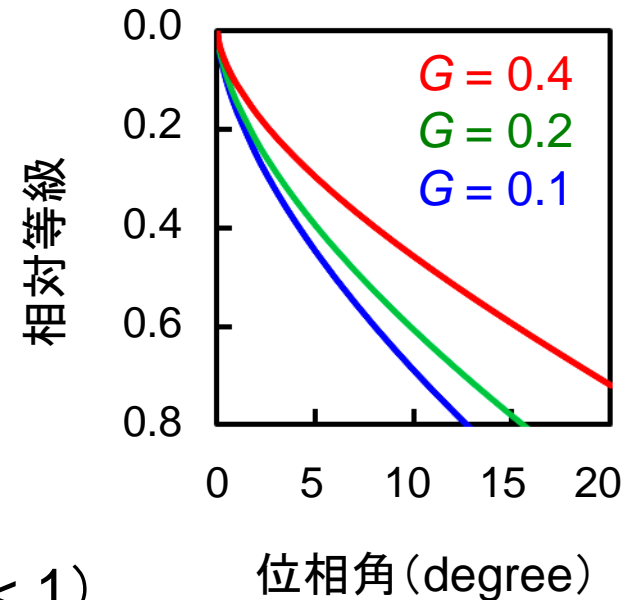
**位相角 ( $\alpha$ )**: 太陽 - 天体 - 観測者のなす角

位相角による光度変化(位相曲線):

$$H(\alpha) = H - 2.5 \log [ (1 - G) \Phi_1(\alpha) + G \Phi_2(\alpha) ]$$

$\Phi_{1,2}(\alpha)$ : 位相関数

$G$ : 位相曲線の傾斜パラメータ ( $0 < G < 1$ )



(Harris & Young 1988)

- ASTORBでは、ほとんどの小惑星に対して **G = 0.15** を仮定

→ 高アルベドの小惑星ほど明るく見積もられやすい

# 目的と手法

---

- AKARIによる観測から高アルベドと示唆された小惑星の絶対等級を高い精度で測定し、アルベド値を検証
- 複数の位相角で光度を測定し、位相曲線傾斜  $G$  を決定
- 自転(周期 数時間 – 十数時間)によって光度変動するため、各天体を一晩で数時間、15 – 20分の間隔で観測
- 対象天体：反射率40%以上の小惑星 ( $V=13-18$  mag)  
→ ほとんどの天体は自転周期既知



# 決定精度

## ■ 観測シミュレーション

- ライトカーブをsine関数で近似
- 自転周期6時間、振幅 0.15等を設定
- 20分間隔で180分間観測（9ショット）

→ 測光精度 < 0.1等で中央等級誤差  
~**0.03**等以下

## ■ 位相曲線 → アルベド

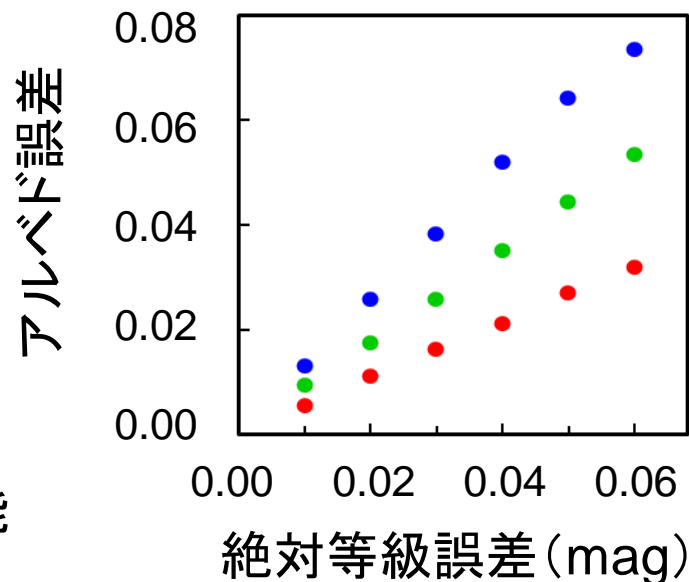
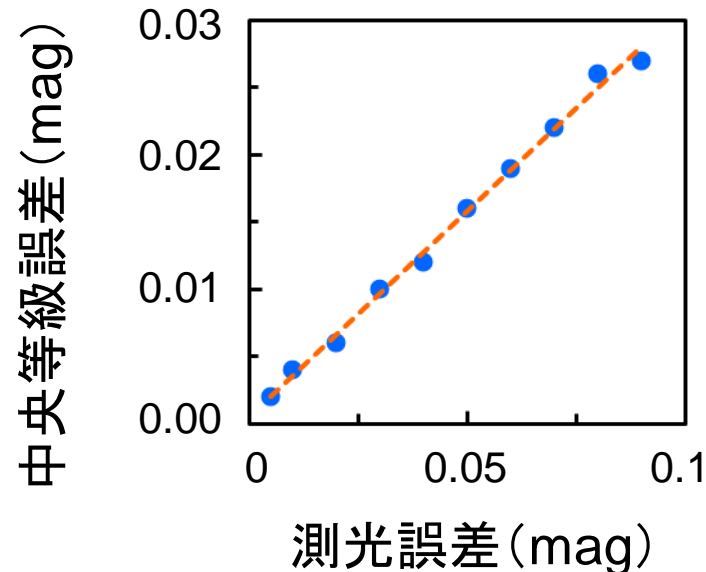
- $G = 0.4$ 、 $p_V = 0.4$  の小惑星を設定
- 右図は以下の観測パターンを計算:

① 位相角  $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$

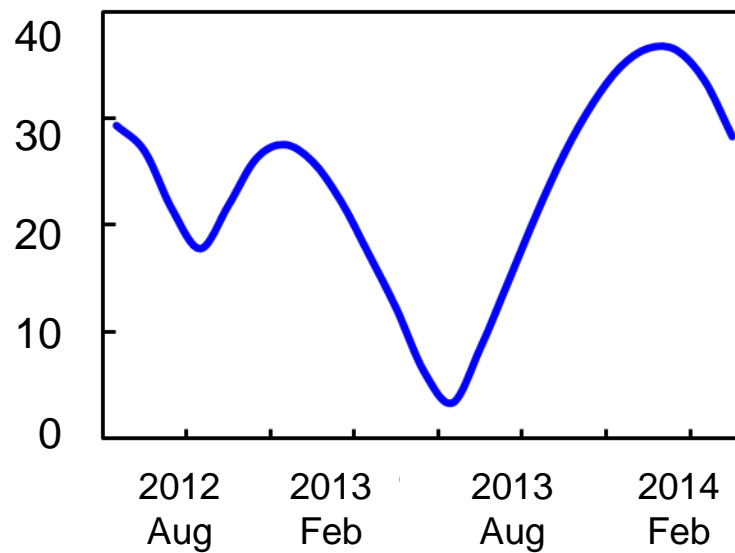
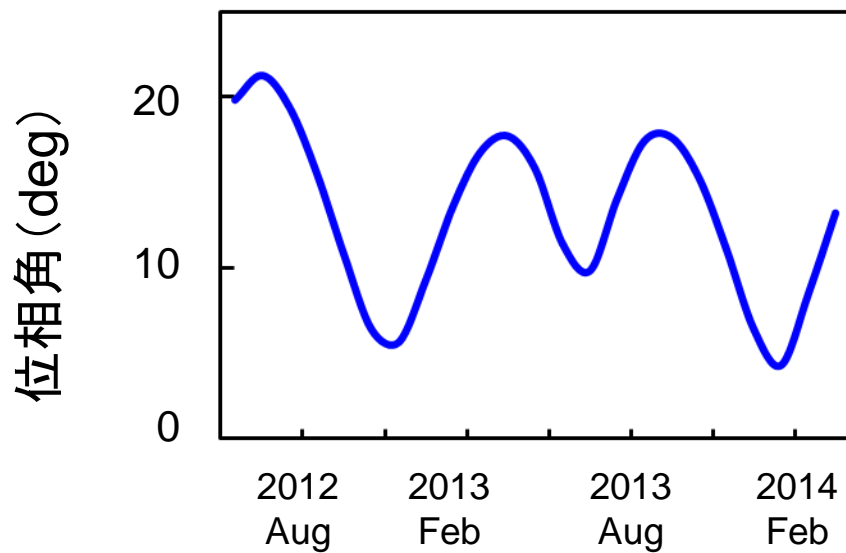
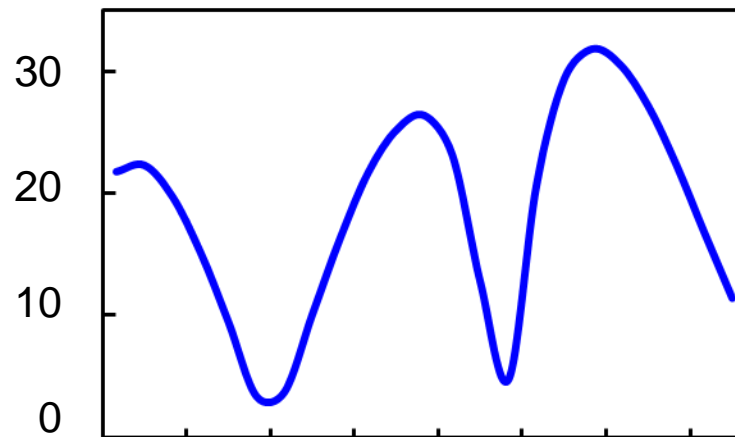
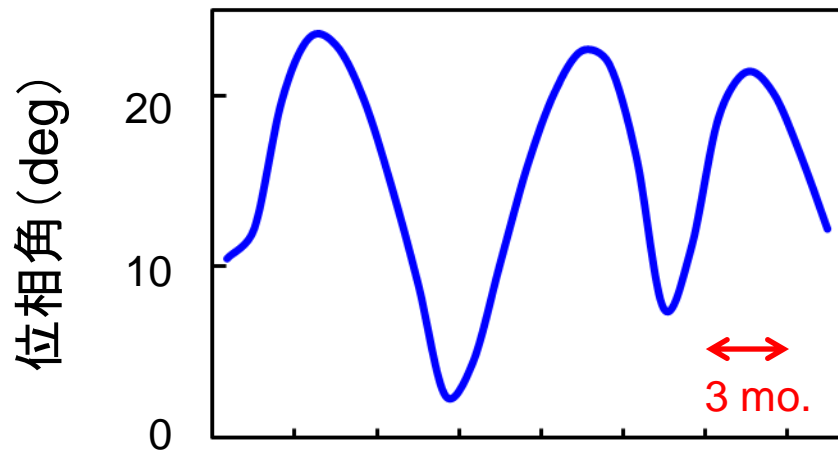
② 位相角  $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$

③ 位相角  $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$

→ アルベドを±**0.05** 未満の精度で測定可能



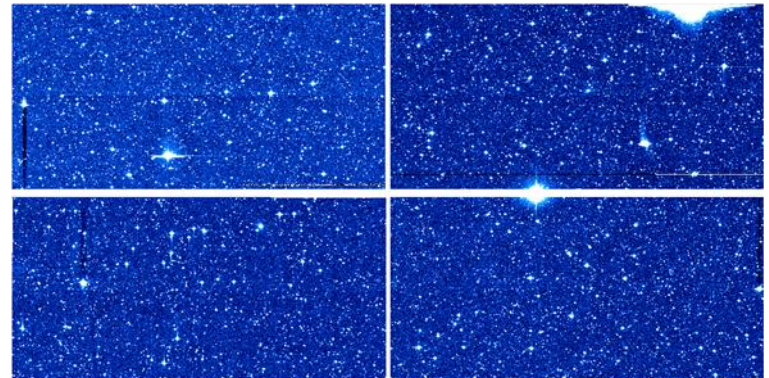
# 位相角变化



# 観測

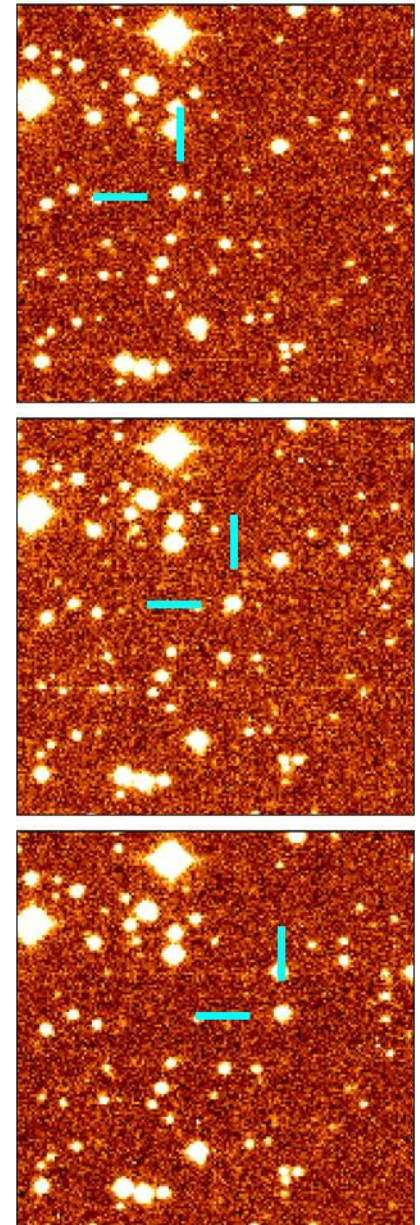
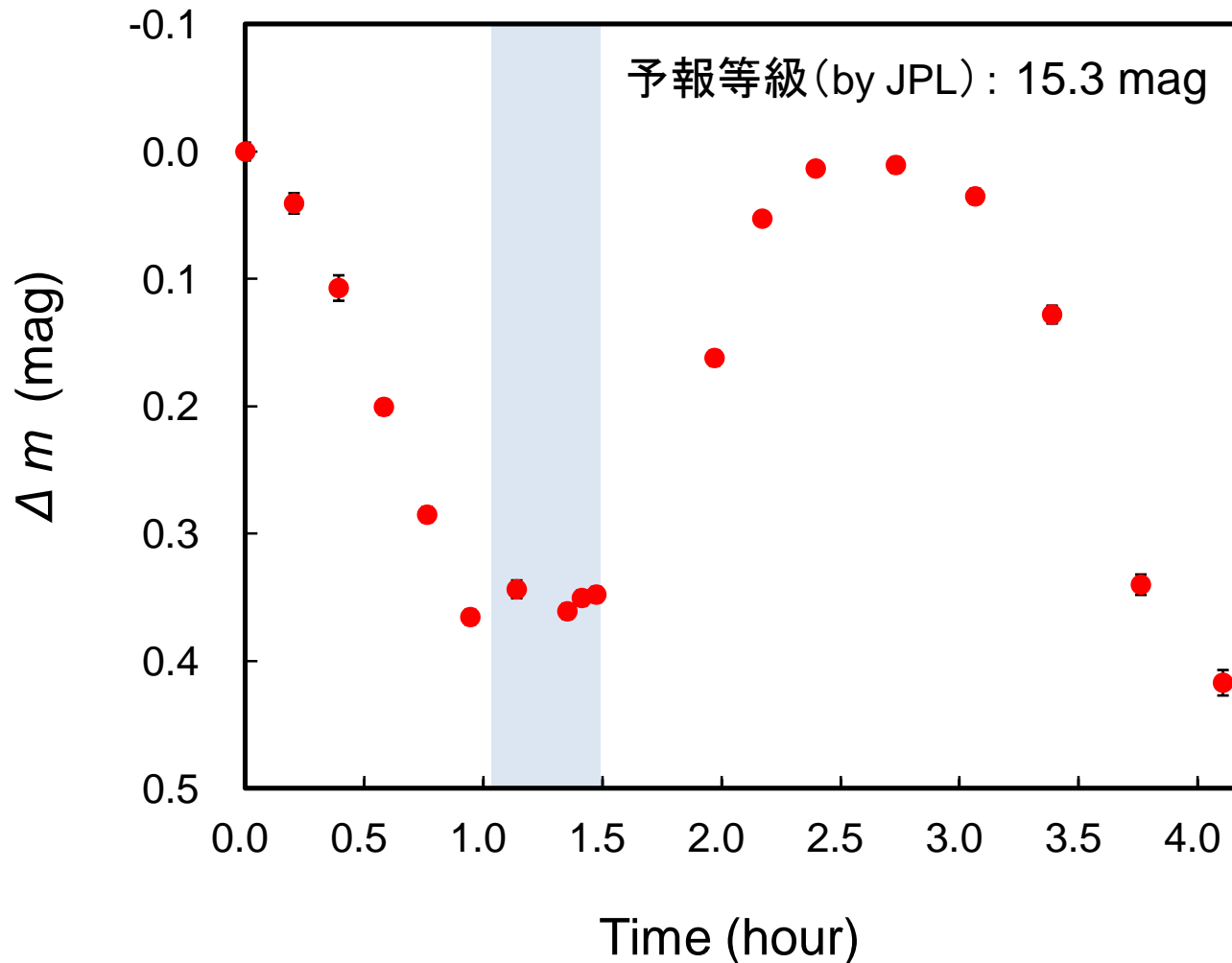
---

- 2012. 5. 23 – 5. 31
- 木曾シュミット + KWFC
- Vバンド、 $2 \times 2$  binning
- 露出時間 90 – 300 秒
- 小惑星5天体のライトカーブを取得



# ライトカーブ

2012年5月23日 23 – 27時 (seeing ~4")



# まとめ

---

- 高アルベド小惑星候補の絶対等級を測定し、それらのアルベドを検証する
- 小惑星の短期的変光(ライトカーブ)および長期的変光(位相曲線)を観測し、絶対等級を正確に決定
- 測光精度0.1等未満かつ位相角範囲10度以上で複数回ライトカーブを取得し、アルベドを $\sim 0.05$ の精度で決定可
- KWFCを用いた観測を開始。今後も継続的に観測を行い、1 – 2年で10 – 20天体のアルベド測定を完了させたい