

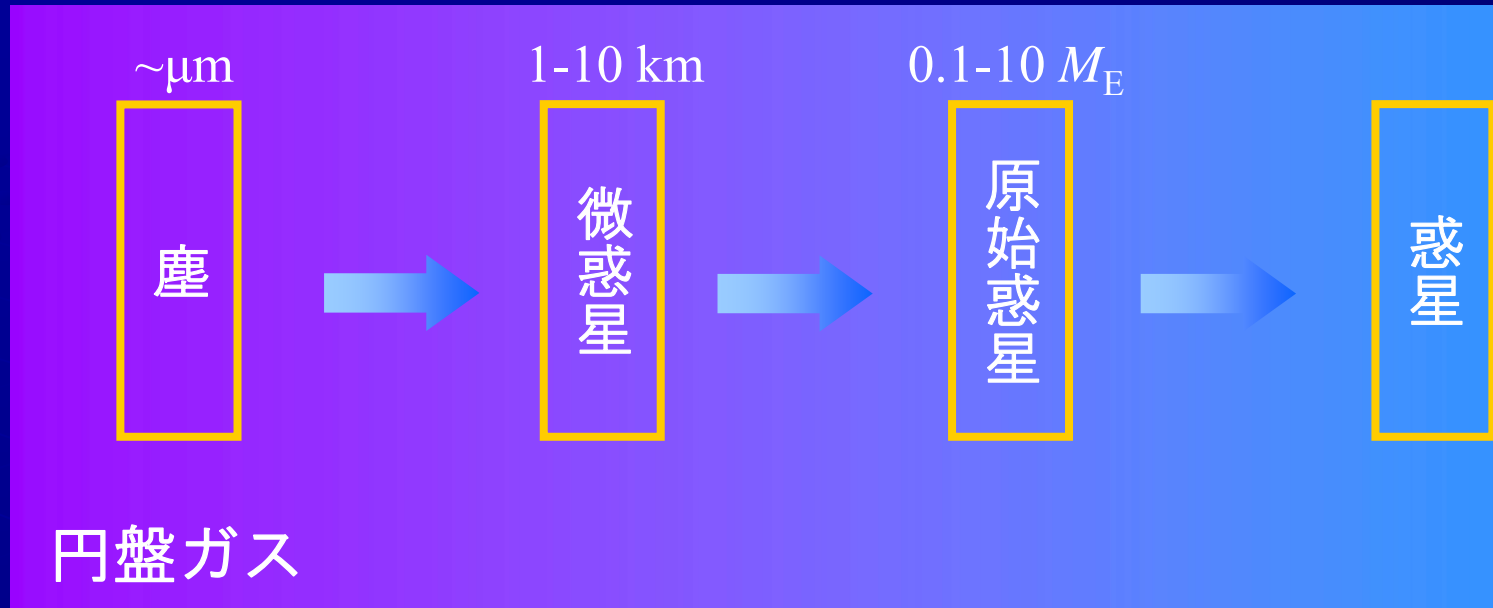
# 高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を 対象とした可視広視野サーベイ

寺居 剛, 伊藤 洋一(神戸大)

2008. 07. 05 第5回小惑星ライトカーブ研究会

# 太陽系形成過程

原始太陽系円盤



流体的ガス抵抗

↓  
小天体（ $\sim 1\text{km}$ 未満）軌道の長半径，離心率，傾斜角が短期間で減衰  
(Adachi *et al.* 1976, Weidenschilling 1977)

◆円盤ガスが散逸するタイミングはまだ明らかにされていない

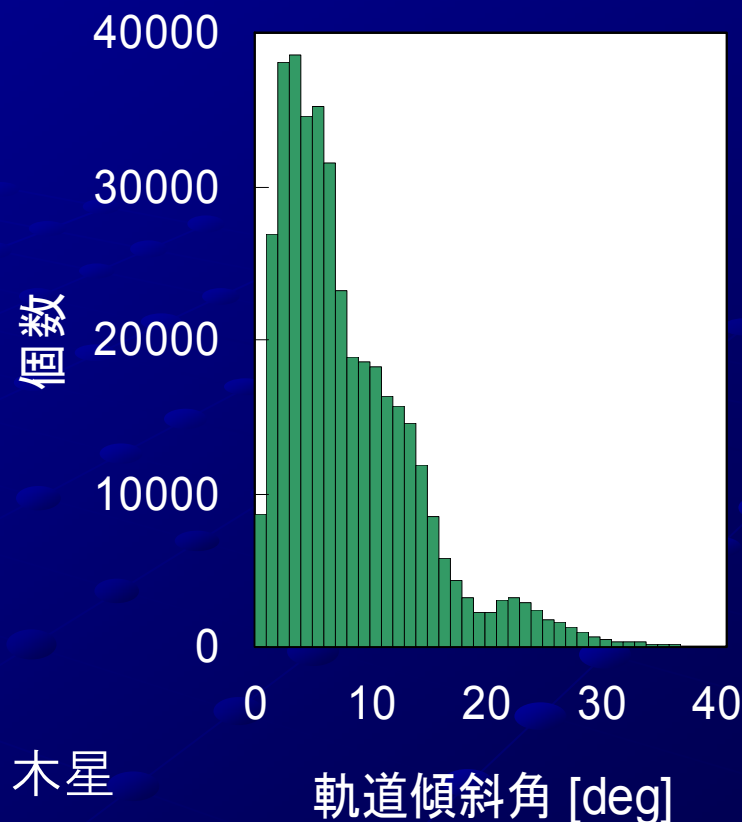
※円盤の寿命（ダスト放射）： $10^6$ - $10^7$ 年（Haisch *et al.* 2001）

# 小惑星の力学的進化

## メインベルト小惑星

- ・ 多くは黄道面に沿って公転
- ・ 一部の小惑星は黄道面から大きく傾いた軌道をもつ

⇒ 力学的な軌道励起機構が必要



## 形成過程



(Petit *et al.* 2001, Bottke *et al.* 2005)

- ・ 衝突 ⇒ 破壊 (破片 = 小惑星)
- ・ 軌道励起 ⇒ 離心率・軌道傾斜角が増大

メインベルト小惑星の  
軌道傾斜角分布

# 着眼点

軌道励起 ⇒ 軌道傾斜角が増大  
(天体直径の依存性は小さい)

ガスなし

ガスあり

軌道傾斜角の減衰なし

小さな天体ほど軌道傾斜角が減衰

軌道傾斜角の大小に関わらず  
サイズ分布は等しい

大きな直径の小惑星ほど傾斜角の  
大きなものが選択的に残る

メインベルトにおける微小小惑星（直径<1km）の割合が  
軌道傾斜角の大小で異なるかを観測的に検証

小惑星の軌道励起過程におけるガス抵抗の関与を探る

# 観測対象

## メインベルト小惑星

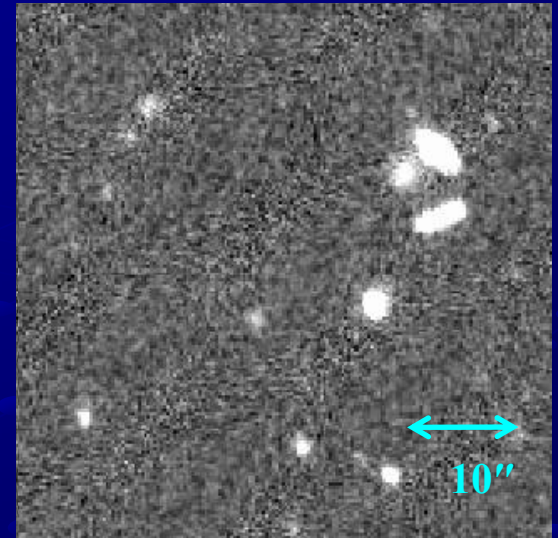
- ・ 地球と相対速度が大きい → 移動天体  
(移動速度  $\sim 30 - 70$  arcsec/hr)

## 高軌道傾斜角小惑星

- ・ 個数が少ない
- ・ 黄道面領域に滞在する時間が短い
- ・ Spahr *et al.* (1996) : 高黄緯領域13500平方度から64天体を検出

## 微小小惑星

- ・ 直径  $\sim 1$ km未満
- ・ 非常に暗い ( $> \sim 21$ mag)
- ・ Yoshida & Nakamura (2007) : 4平方度から1,838天体を検出 (黄緯 $\pm 3^\circ$ )



効率的なサーベイが必須

大口径望遠鏡による観測データが必要

# 手法

## 高黄緯サーベイ

軌道傾斜角が大きいほど、より黄緯の高い領域に長く滞在



高黄緯領域を探索することにより、  
高傾斜角の小惑星を効率よく検出できる

## アーカイブデータを活用

すばる望遠鏡のデータアーカイブSMOKA  
から取得したデータを解析

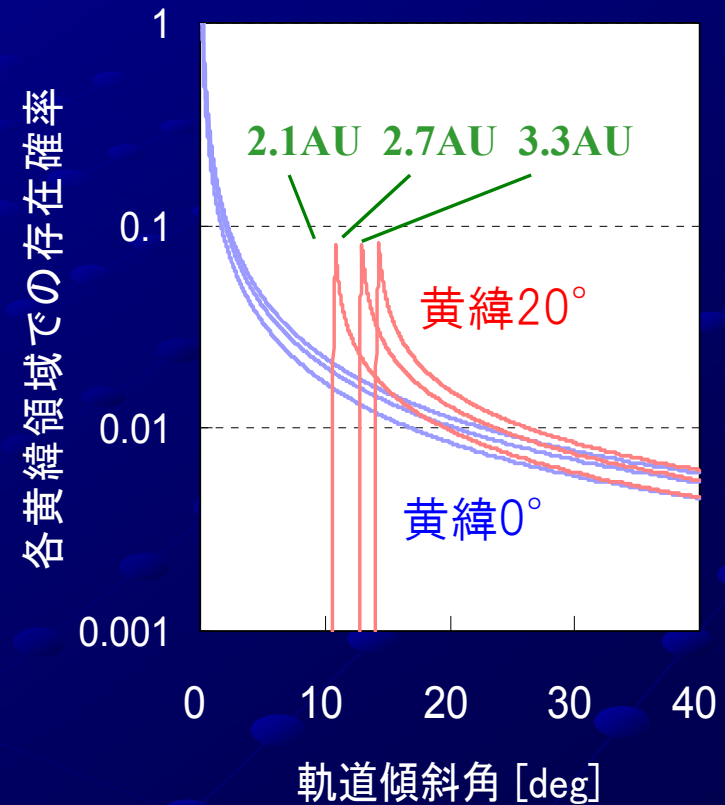


微光天体の広域サーベイが可能

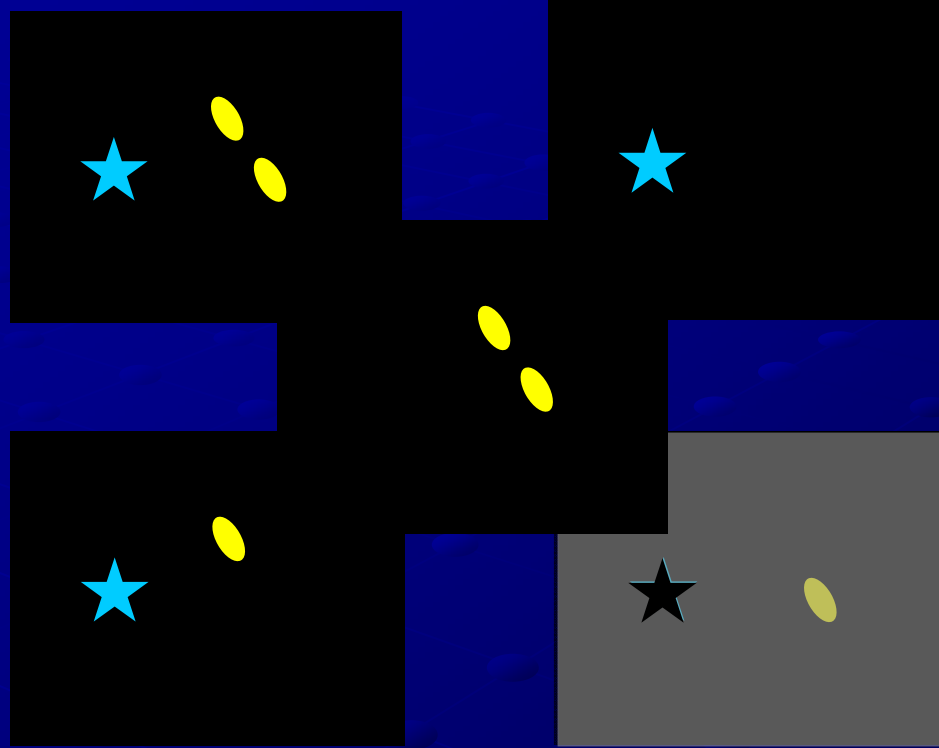
## 2枚の画像から検出

1領域につき2枚の画像から移動天体を自動検出 (Terai *et al.* 2007)

→ 利用できるデータが増大



# 検出方法



1枚目の画像

2枚目の画像

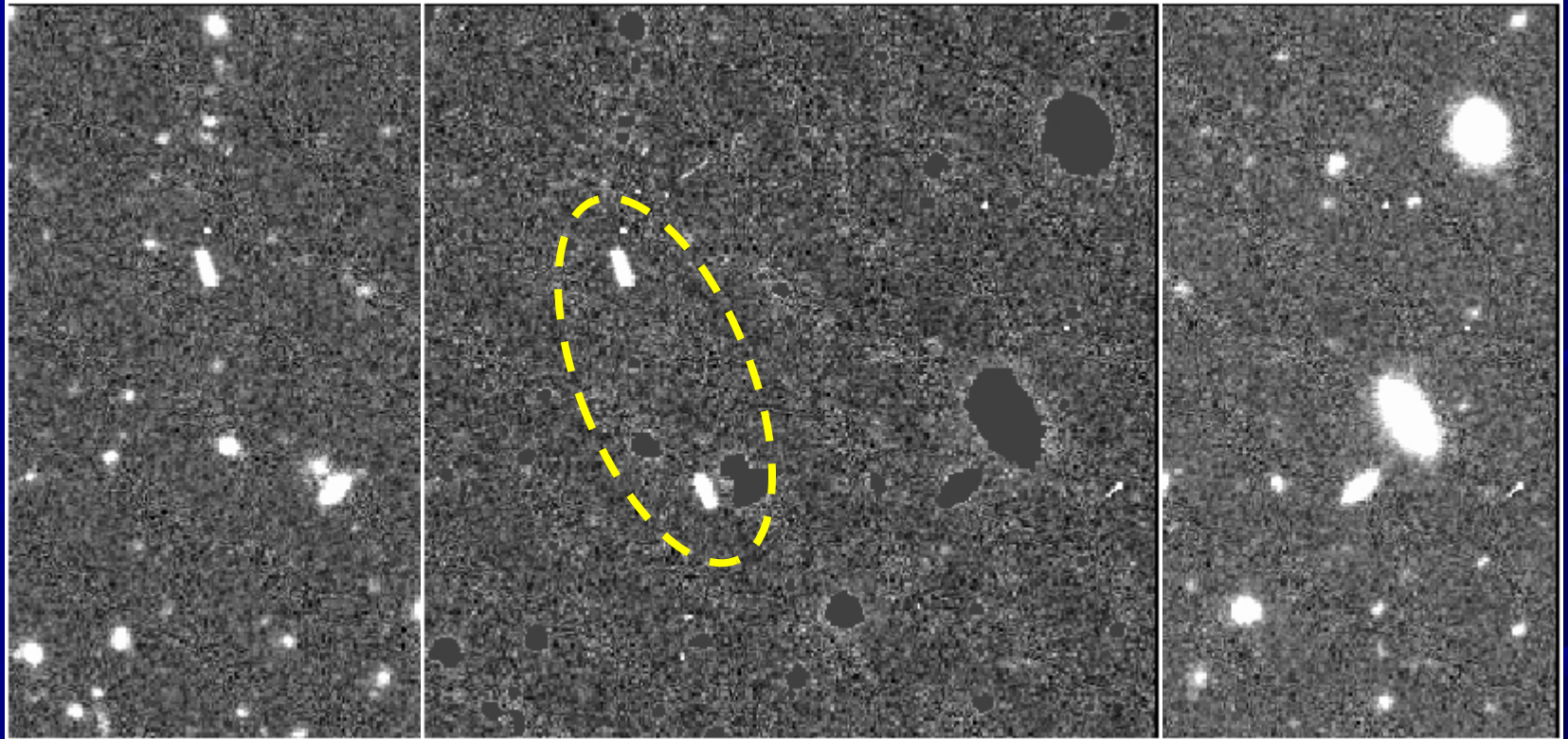
移動天体の画像が残る・！

★：恒星・銀河

2枚の画像に写った色の異なる星の位置を比較する

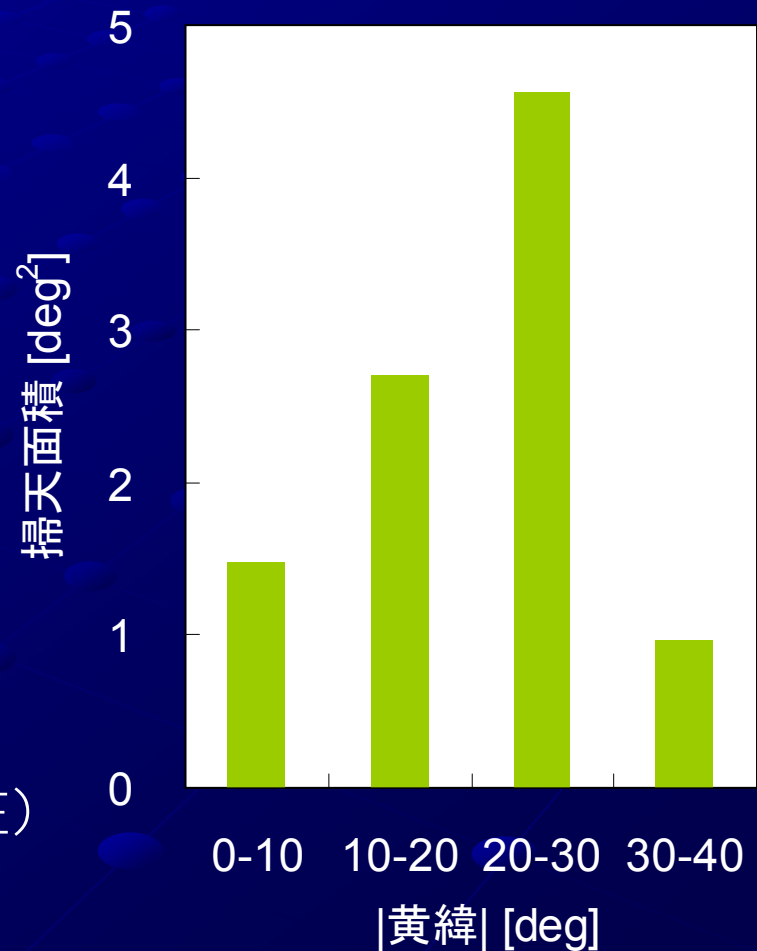
# 検出方法

---



# データ

- ◆ 装置：すばる望遠鏡主焦点カメラSuprime-Cam (34' × 27', 0.2"/pix)
- ◆ 領域：黄緯 0 - 34° (絶対値)  
黄経 衝から±15° 以内
- ◆ フィルター： $R_c$ バンド (0.66 $\mu$ m)
- ◆ 露出時間：240 - 500 秒
- ◆ 撮像間隔：10 - 60 分 (20分程度が最適)
- ◆ シーイング：0.6"-0.9"
- ◆ 限界等級：23.7 - 24.2 等  
(疑似移動天体を用いて検証)
- ◆ 解析枚数：47領域 (9.7 平方度)

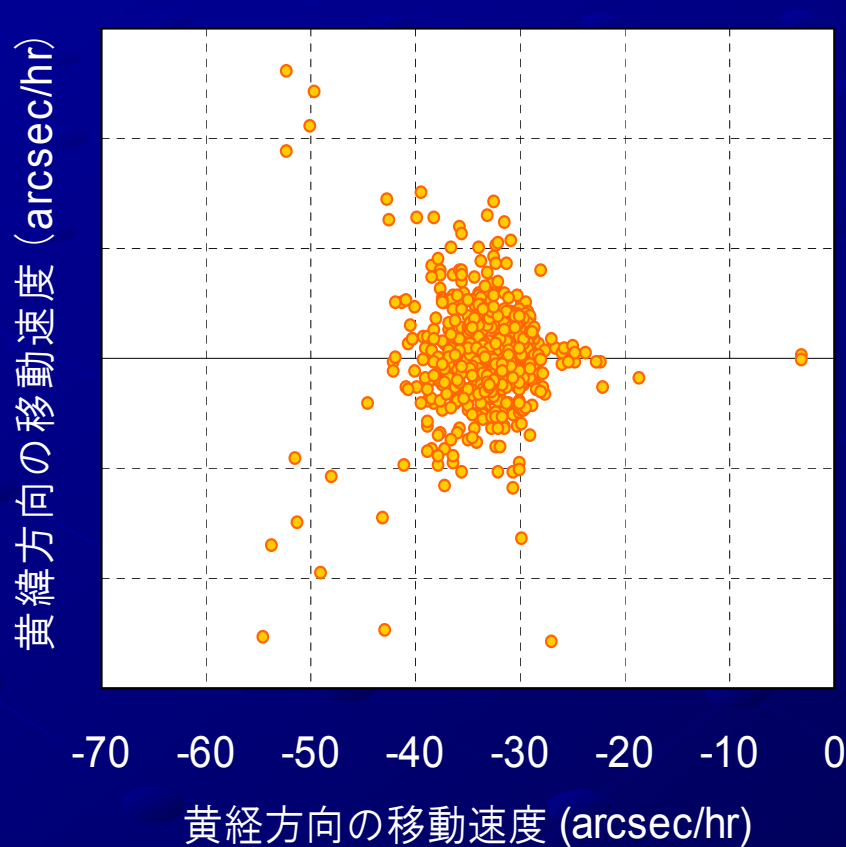


# 結果

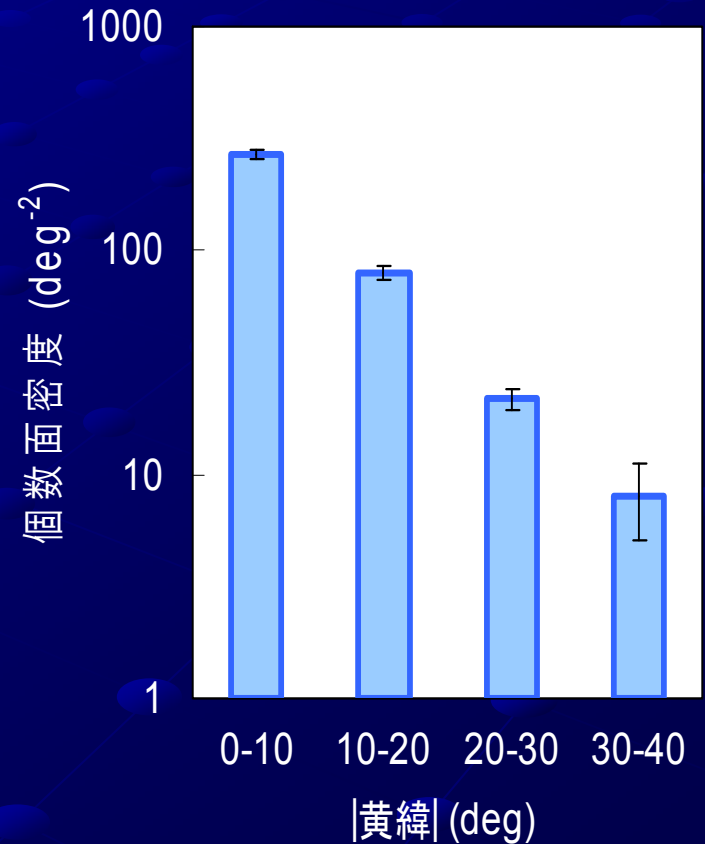
◆ 47領域 (9.7平方度) から**652**個の移動天体を検出

→ 移動速度 (誤差 $<0.5$ arcsec/hr) と等級 (誤差 $\sim 0.04$  mag) を測定

移動速度分布

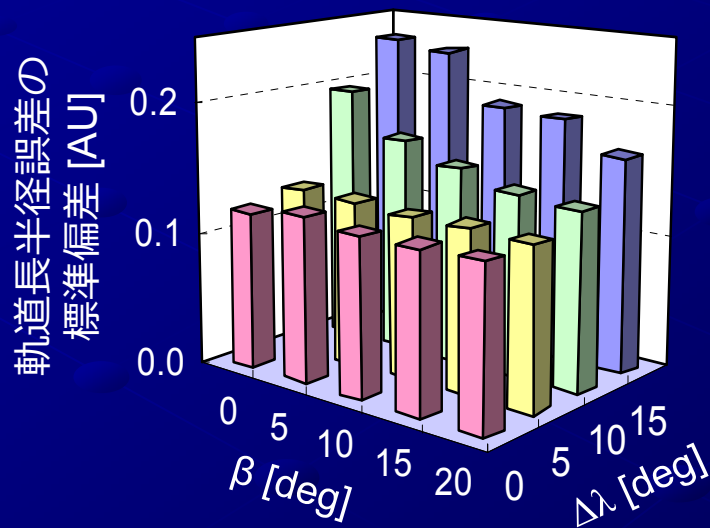


個数面密度

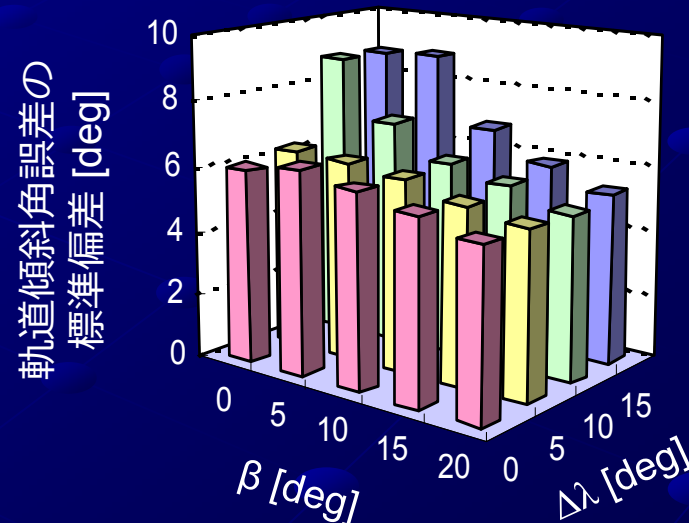


# 軌道計算

- ◆ 円軌道仮定により軌道長半径・軌道傾斜角を計算 (Jedicke 1996)
- ◆ シミュレーションにより円軌道仮定の誤差を評価 (Nakamura & Yoshida 2003)
  - ⇒ 様々な観測領域 (衝との黄経差 $\Delta\lambda$ , 黄緯 $\beta$ ) で計算
- ◆ 衝付近における誤差の標準偏差:  $\sigma_a \sim 0.12\text{AU}$ ,  $\sigma_i \sim 2 - 6^\circ$



軌道長半径

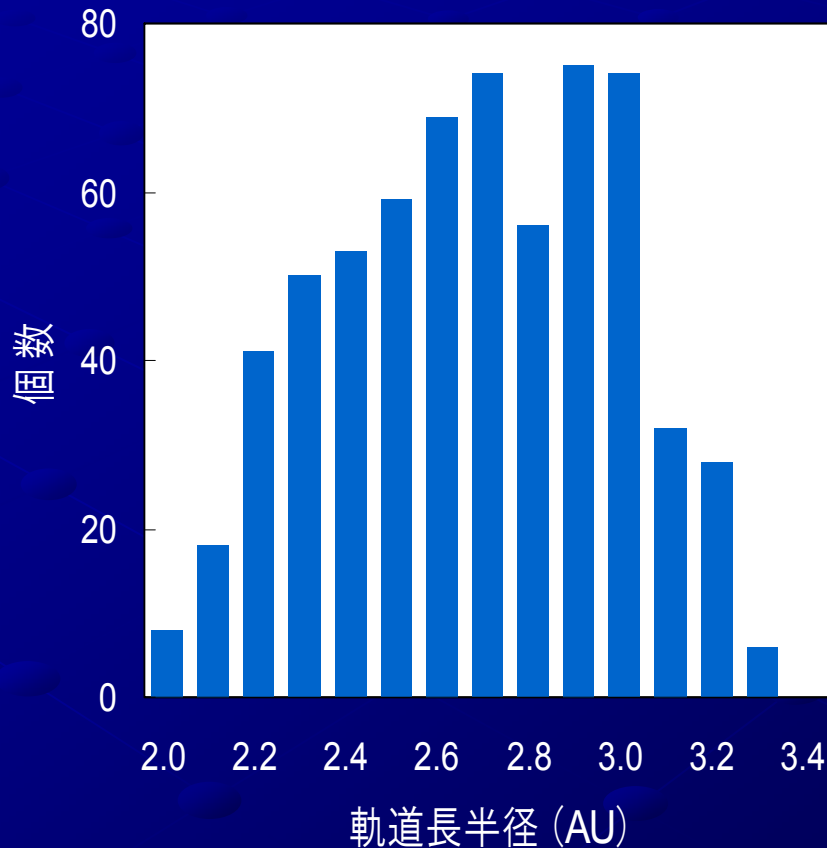


軌道傾斜角 ( $20 < i < 30$ )

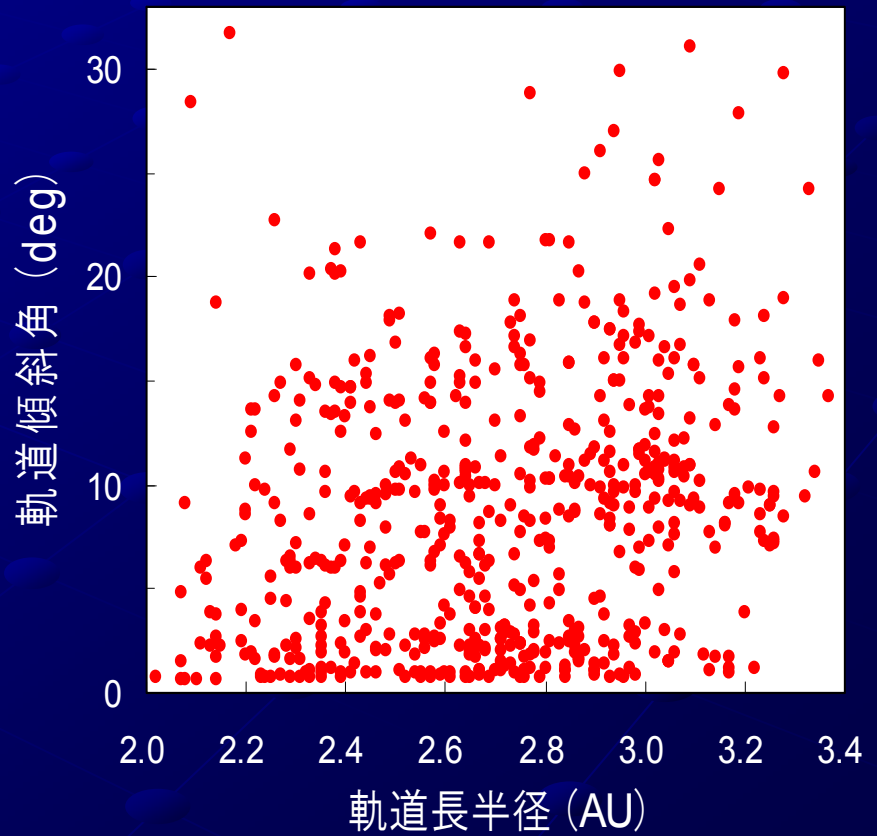
# 軌道分布

- ◆ 軌道長半径2.0AU – 3.4AUの範囲をメインベルトとする  
→ メインベルト小惑星候補天体 608個

長半径 — 個数



長半径 — 傾斜角



# 直径の推定

◆ 軌道長半径と実視等級から  
絶対等級 $H$ を算出 (Bowell *et al.* 1989)

→ 誤差 :  $\sigma_H \sim 0.6$  mag

◆ アルベドを

MB内側部 0.14 (S型 : C型=1:1)

MB中間部 0.11 (S型 : C型=1:2.3)

MB外側部 0.09 (S型 : C型=1:4)

と仮定して天体直径 $D$ を計算

(Yoshida & Nakamura 2007)

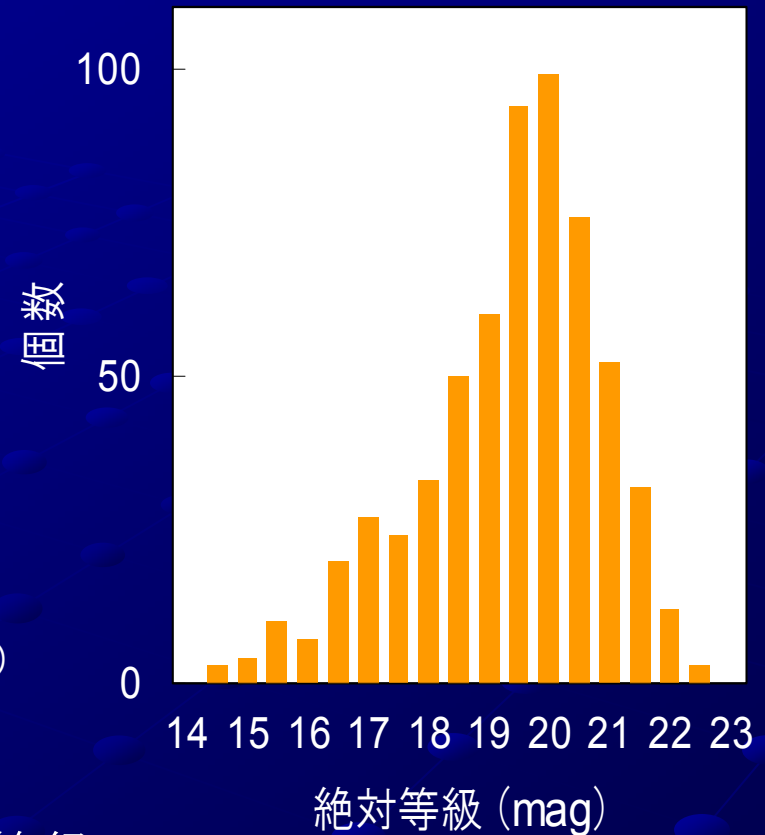
→ 誤差 :  $\sigma_D / D \sim 0.2 - 0.3$

◆ メインベルト外縁の高黄緯領域で限界等級に  
相当する絶対等級は  $H=18.9$ mag



限界直径 :  $D = 0.57$ km

⇒  $D > 0.57$  kmのMBAsは検出バイアスのないサンプル (263個)



# 微小小惑星の割合

## ◆微小小惑星 ( $D < 1$ km)の占める割合

低軌道傾斜角 ( $i < 15^\circ$ )

⇒  $0.56 \pm 0.06$

高軌道傾斜角 ( $i > 15^\circ$ )

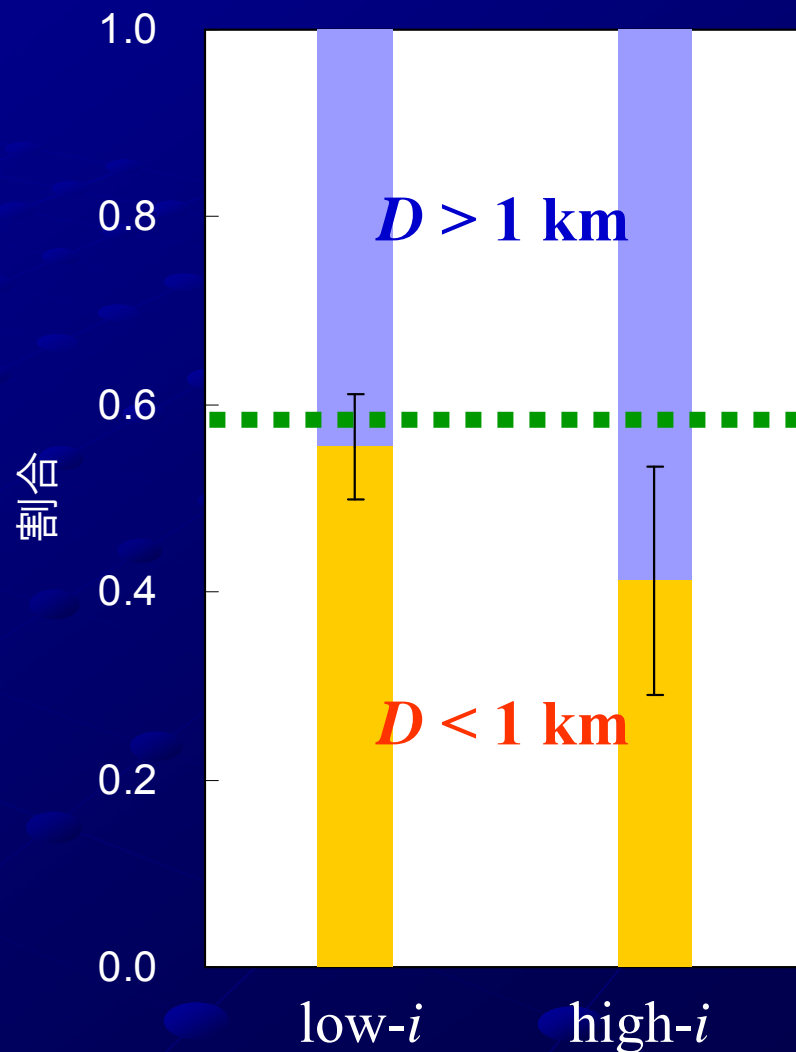
⇒  $0.41 \pm 0.12$

※Yoshida & Nakamura (2008) によって  
求められているサイズ分布から計算  
される値は0.594 (右図の点線)

◆両者の差が有意ならば, 高い傾斜角  
をもつ小惑星は過去に直径の小さな  
天体の選択的除去を経験



円盤ガスの抵抗による効果の可能性



# まとめ

---

- ◆小惑星の軌道励起過程におけるガス抵抗の関与を検証するため、高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を対象とする広域サーベイを行った
- ◆すばる望遠鏡のアーカイブデータを活用し、効率よく高軌道傾斜角小惑星を検出できる手法を確立した
- ◆高黄緯領域を中心とする47領域を解析し、608個のメインベルト小惑星候補天体を検出した
- ◆高軌道傾斜角の小惑星には直径の小さいものがより少ないという傾向が見られた

## 追記：

Lykawka & Mukai (2008)において提唱された、未知の惑星サイズ太陽系外縁天体（“Planet X”）の発見を目的としたサーベイ観測を、本研究と同じ解析手法を用いて行なうことを計画している