

高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星の可視光分光観測

伊藤洋一(兵庫県立大学)、岩井彩(産業技術総合研究所)

1. 高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星

1. 小惑星とは
彗星活動を行わない、**岩石質**の太陽系小天体。



2. 小惑星の分類=大きく2種類

A. 空間分布
メインベルト

火星と木星の間(2.1-3.3AU)にある環状の領域。軌道確定済み小惑星の約9割が存在。

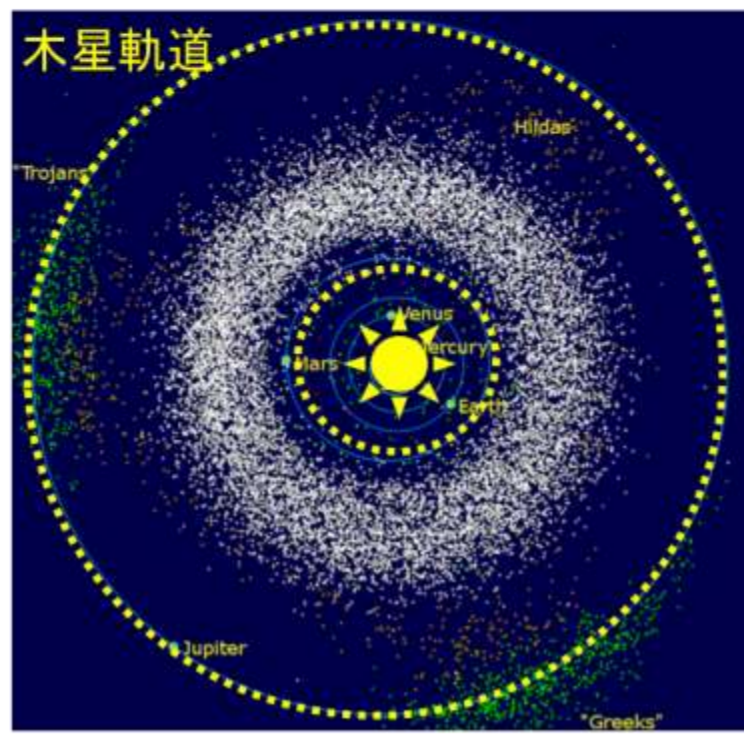


図1: 黄緯90度から見た空間分布。白点はメインベルト小惑星

B. 可視光波長域のスペクトル形状(S,C,X,D型)

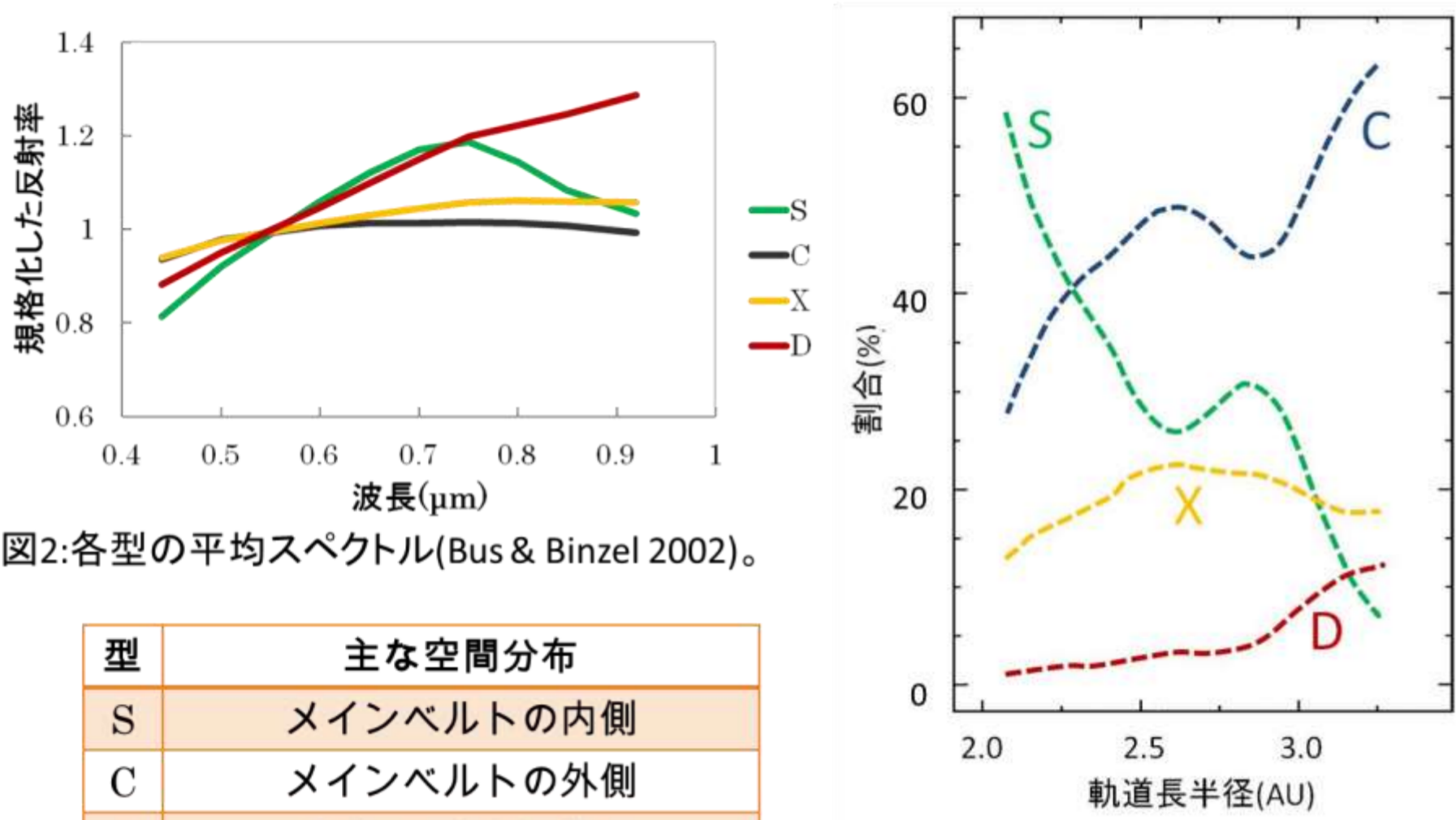


図2: 各型の平均スペクトル(Bus & Binzel 2002)。

型	主な空間分布
S	メインベルトの内側
C	メインベルトの外側
X	メインベルトに均一
D	メインベルトの外側~木星軌道

図3: メインベルト小惑星(D \geq 20km)の型別空間分布(Bus & Binzel 2002)。

3. 高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星
他のメインベルト小惑星と同様に黄道面付近で形成後、重力摂動を受けて高軌道傾斜角を獲得したと考えられる。本研究では10度以上を高軌道傾斜角と定義する(Nomura et al. 2007)。

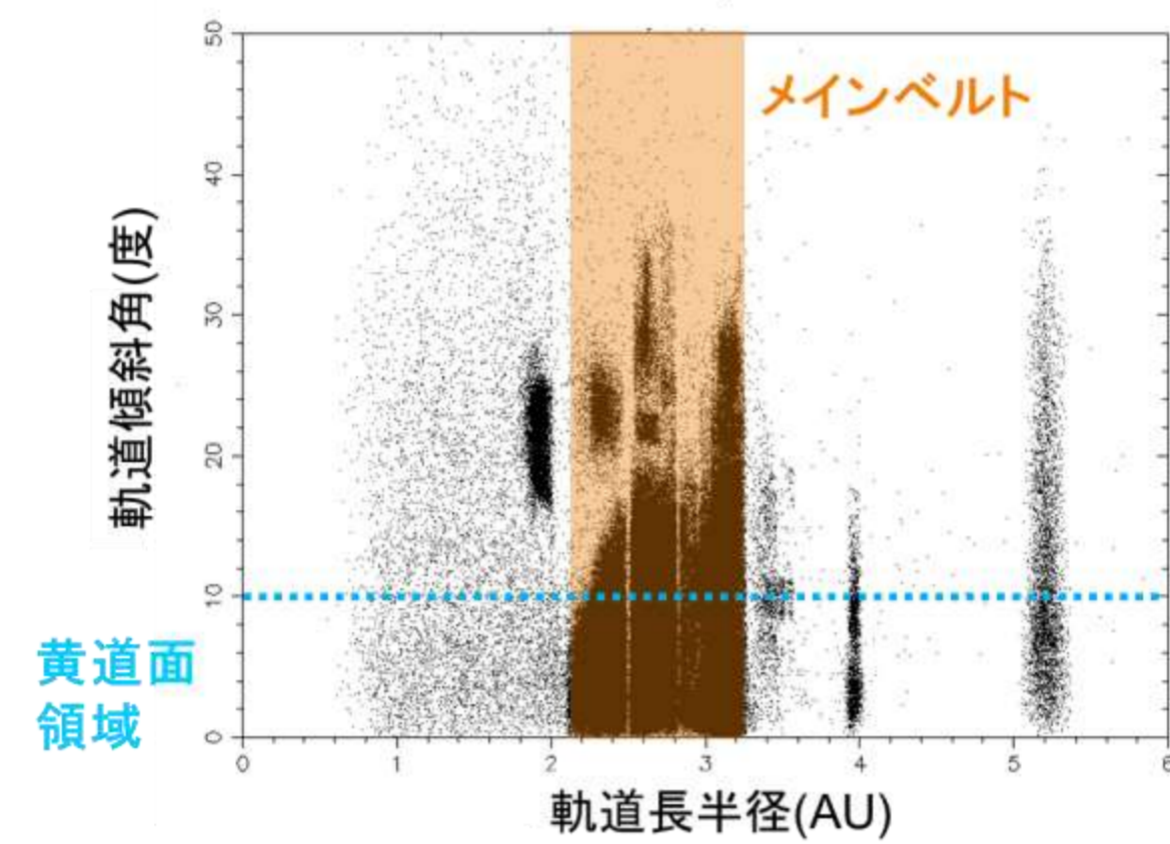
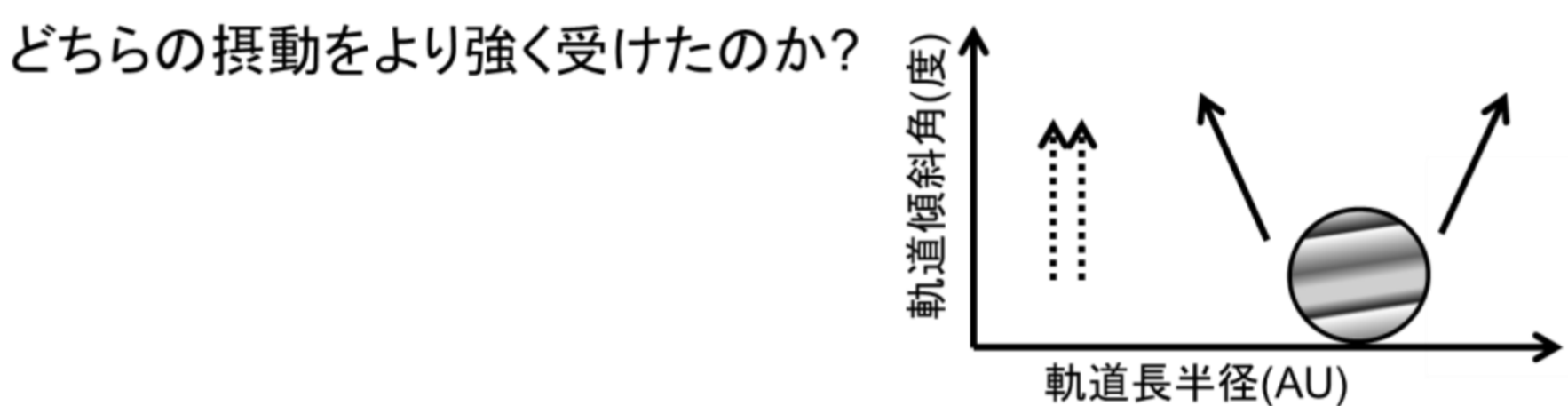


図4: 小惑星の軌道長半径と軌道傾斜角分布(Minor Planet Center) 黒点は小惑星。

4. 小惑星の軌道傾斜角を増加させる重力摂動

• **永年共鳴** (Nagasawa et al. 2000)
太陽系ガス散逸中の木星・土星の永年共鳴によって、円盤内の小惑星は軌道長半径を変えず、軌道離心率・軌道傾斜角が増大。

• **重力散乱** (Ida and Makino 1993)
原始惑星がその周囲に分布する微惑星に重力散乱を与え、微惑星は原始惑星から離れるように移動し、軌道傾斜角が増大。



どちらの摂動をより強く受けたのか?

5. **D型小惑星**
黄道面付近でメインベルト外側から木星トロヤ群領域(3.3-5.2 AU)に分布。木星の重力摂動を他の型より受けたと考えられる。

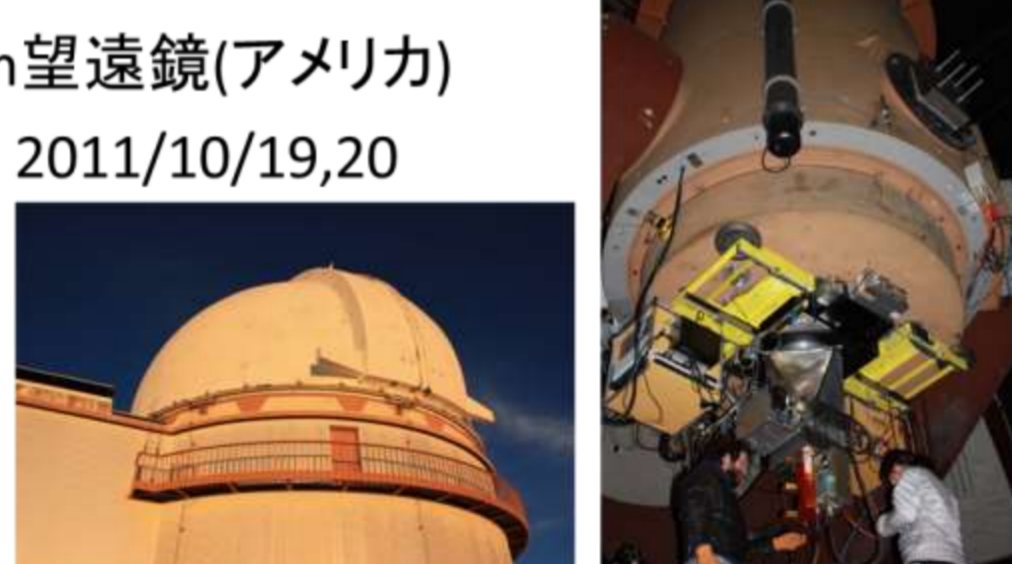
D型メインベルト小惑星(2.1-3.3AU)の**軌道傾斜角分布**に注目
→木星による重力摂動を調べるために、D型小惑星の割合を比較。

- 永年共鳴 軌道傾斜角に依らず、等しい割合。
- 重力散乱 高軌道傾斜角を持つほうが、黄道面付近より高い割合。

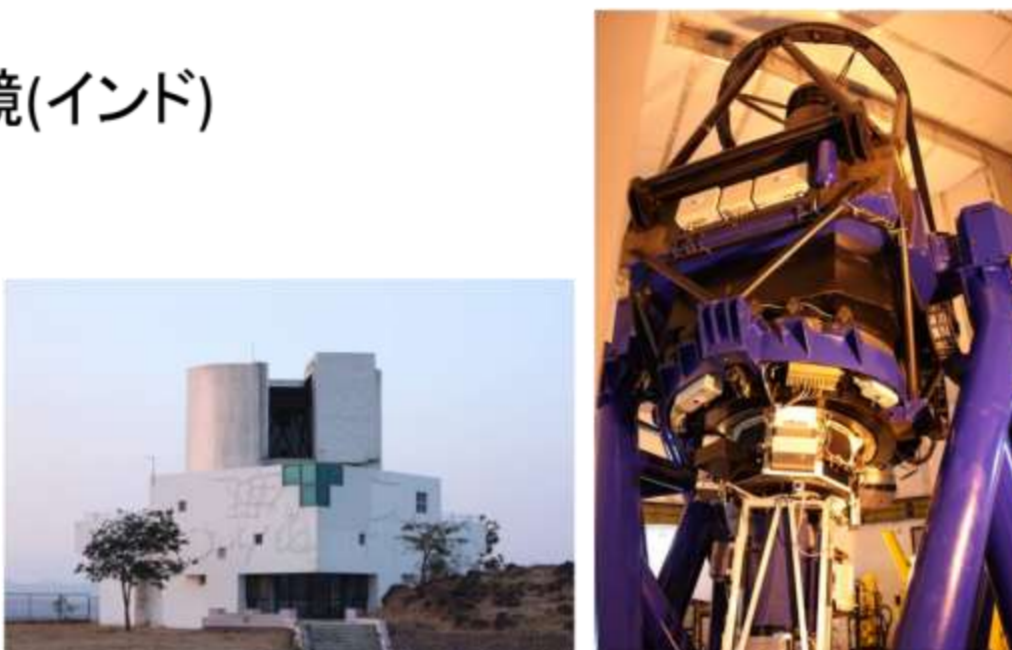
目的
◆ 高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星を分光観測し、取得したスペクトルを分類する。
◆ D型メインベルト小惑星の軌道傾斜角分布を求め、小惑星がより強く受けた摂動を特定する。

2. 可視光分光観測と結果

- 望遠鏡 : ハワイ大学2.2m望遠鏡(アメリカ)
- 日程 : 2008/10/30,31 2011/10/19,20
- 装置 : WFGS2
- 有効波長域: 0.44-0.83 μ m
- 波長分解能: 410 @0.65 μ m
- 積分時間 : 180-600秒



- 望遠鏡 : IUCAA2m望遠鏡(インド)
- 日程 : 2008/12/28,29
- 装置 : IFOSC
- 有効波長域: 0.52-1.03 μ m
- 波長分解能: 650 @0.60 μ m
- 積分時間 : 300-600秒



観測天体
Vバンド(0.53 μ m) 12-17等
: 高軌道傾斜角(\geq 10度)
63天体
: 黄道面付近(<10度)
3天体(確認用)

先行する測光観測(Ivezic et al. 2001)を用いてD型候補天体を選び、優先して観測した。

合計66天体のスペクトルを取得

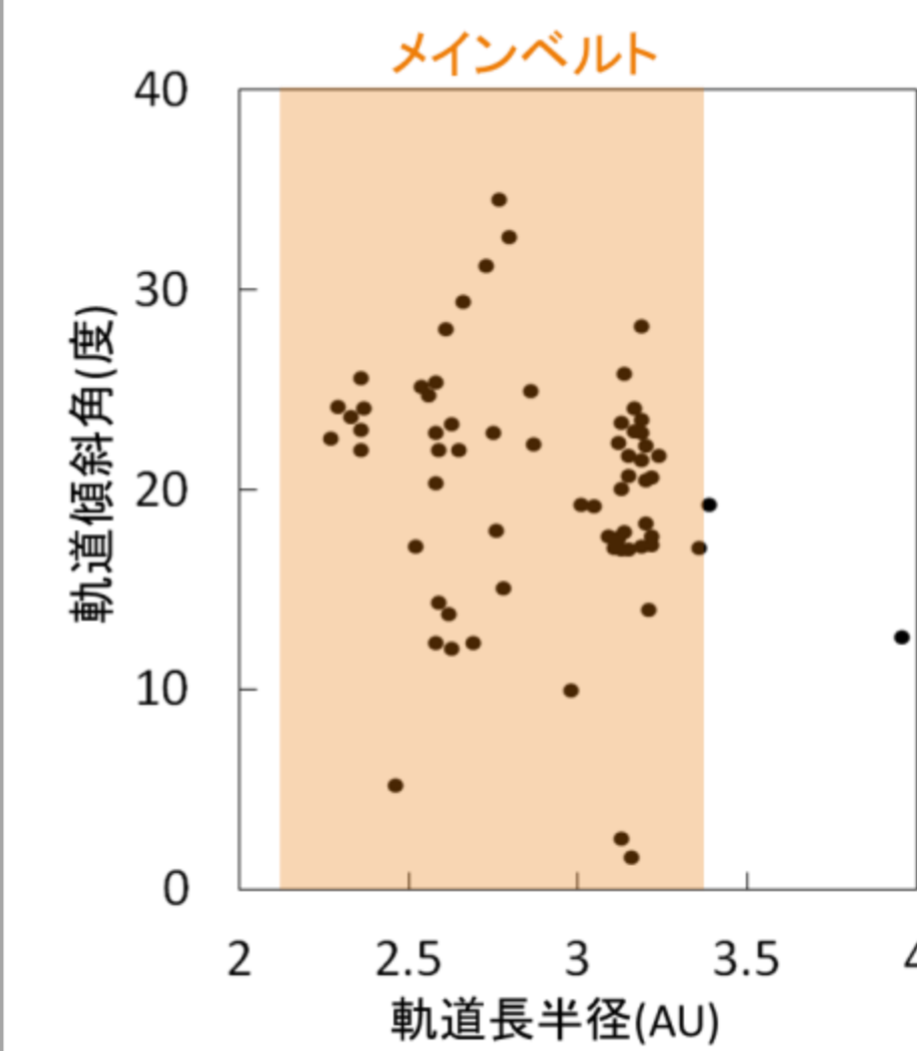
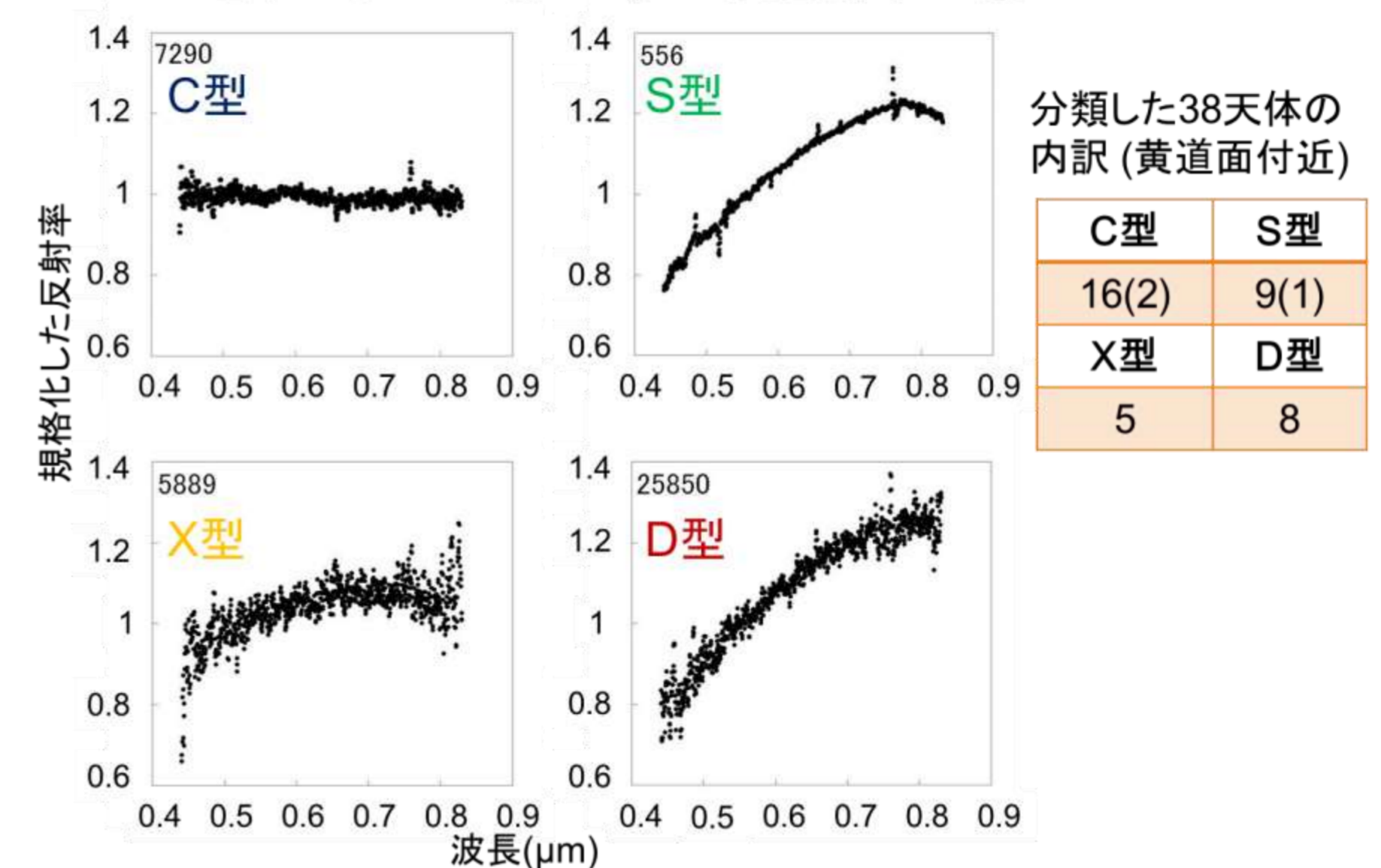


図5: 観測した小惑星の分布。

結果 38天体(高軌道傾斜角:35天体)のスペクトルを分類。
Bus and Binzel (2002)より各スペクトル(C,S,X,D)型の基準スペクトルを作成し、小惑星スペクトルと基準スペクトルとの残差が最小になる型を、その小惑星のスペクトル型とする



分類した38天体の内訳(黄道面付近)

C型	S型
16(2)	9(1)
X型	D型
5	8

3. 考察

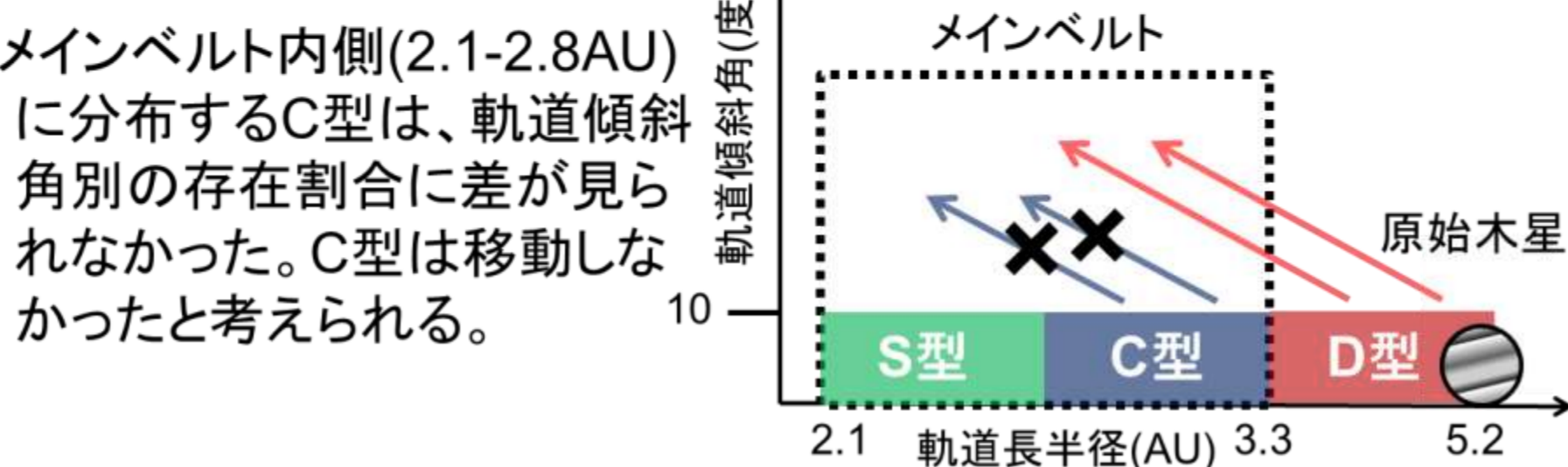
1. D型メインベルト小惑星の軌道傾斜角別存在割合

測光観測によるD型候補天体 [Ivezic et al. 2001] × 分光観測でD型に分類される天体
測光値(g,r,i)が既知のメインベルト天体 [SDSS-MOC4, 本研究] × 分光観測によるD型候補天体内でスペクトル分類済みの全天体 [Bus and Binzel (2002), Lazzaro et al. (2004), 本研究]

黄道面付近(<10度)	高軌道傾斜角(\geq 10度)
$\frac{26261}{67921} \times \frac{8}{103}$	$\frac{11786}{31400} \times \frac{13}{67}$
$= 3.0 \pm 1.1\%$	$= 7.3 \pm 2.0\%$

黄道面付近 : 3.0 \pm 1.1%
高軌道傾斜角 : 7.3 \pm 2.0%

• 高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星のほうが、黄道面付近よりD型が多く分布する。
→メインベルトより外縁で形成された小惑星が、原始木星の**重力散乱**によって高軌道傾斜角を獲得しながらメインベルト領域へ移動した可能性がある。



2. 得られた数値を用いて、原始木星の質量を推定する。

• Ida and Makino (1993)のN体数値計算を原始木星と微惑星に応用する。

原始木星の重力散乱が及ぶ最大の領域を3.3AU、原始木星の軌道長半径を5.2AUとする。

原始木星の質量 $M \leq 2.3 \times 10^{29}g$

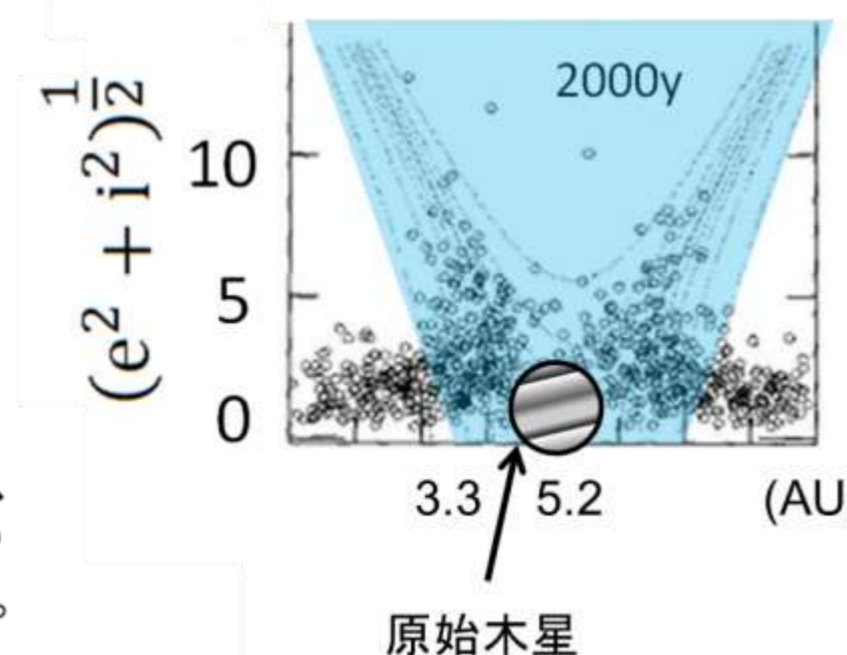


図6: 原始惑星と微惑星の時間進化 (Ida & Makino 1993)。横軸は距離、縦軸はランダム速度。原始木星の重力散乱が及ぶ領域を水色で示す。

3. 原始木星の質量獲得過程と比較。

Pollack et al. (1996)では、木星など巨大ガス惑星の形成過程を数値計算。

暴走固体成長後の原始木星の質量 $M = 6.9 \times 10^{28}g$

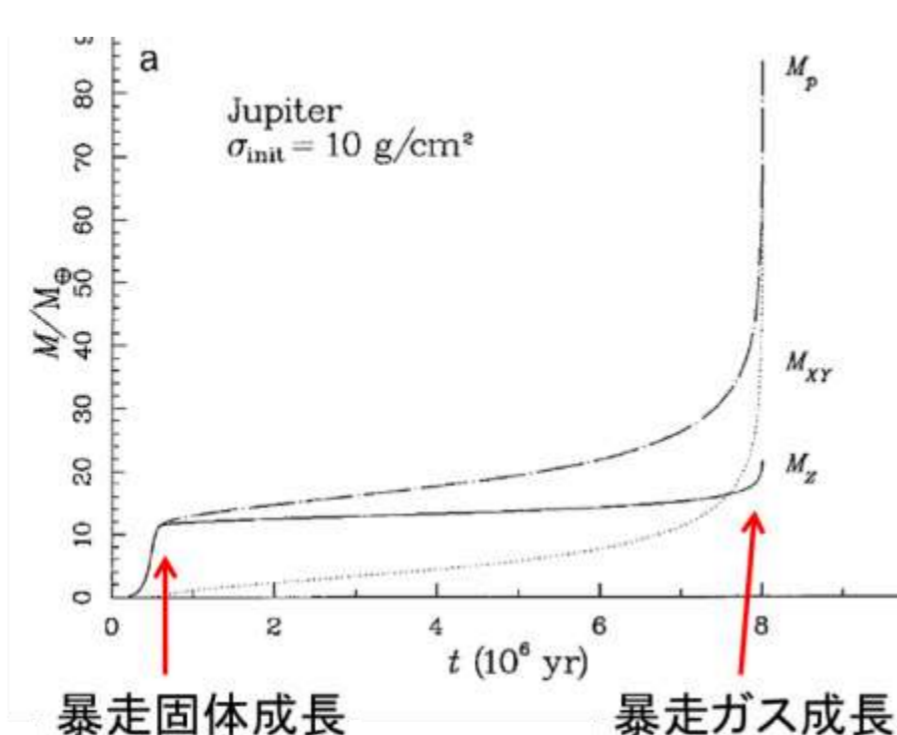


図7: 原始木星の質量獲得過程(Pollack et al. 1996)。横軸は時間、縦軸は地球質量で規格化した原始木星質量。

両者の原始木星の質量は3倍程度で一致する。
原始木星段階で、周囲の微惑星は飛ばされた可能性がある。

まとめ

• 高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星がより強く受けた重力摂動を特定するために、可視光分光観測(UH88,IUCAA)を行った。

• 合計66天体のスペクトルを取得し、38天体のスペクトルを分類。

• D型小惑星の軌道傾斜角別空間分布から、高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星は重力散乱をより強く受けた可能性を示唆。

• 原始木星の重力散乱が及ぶ最大領域を推定し原始木星の質量を求めると、暴走固体成長時の原始木星質量と3倍程度で一致。

• 原始木星段階で、周囲の微惑星は重力散乱を受けて飛ばされた可能性がある。