

高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星の可視分光観測

岩井 彩 伊藤 洋一 (神戸大学理学研究科) 寺居 剛 (国立天文台)

イントロダクション

・太陽系形成の標準シナリオ：京都モデル (Hayashi et al. 1985) では、原始惑星系円盤内のダストが集積→微惑星→微惑星が集積→惑星 と進化する。これより、太陽系内の天体は黄道面上で形成される (図 1)。しかし一部の惑星は高い軌道傾斜角を持つ (図 2) ため、形成後に軌道が変化するような力学的作用を受けたと考えられる。

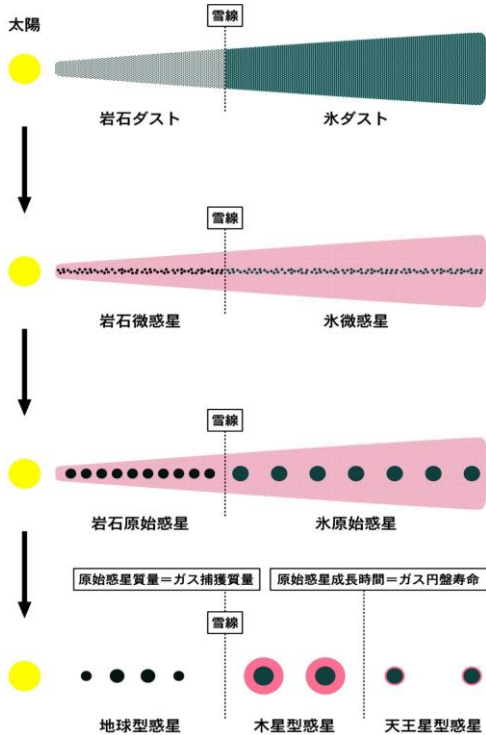


図 1：京都モデルに基づく円盤の時間進化

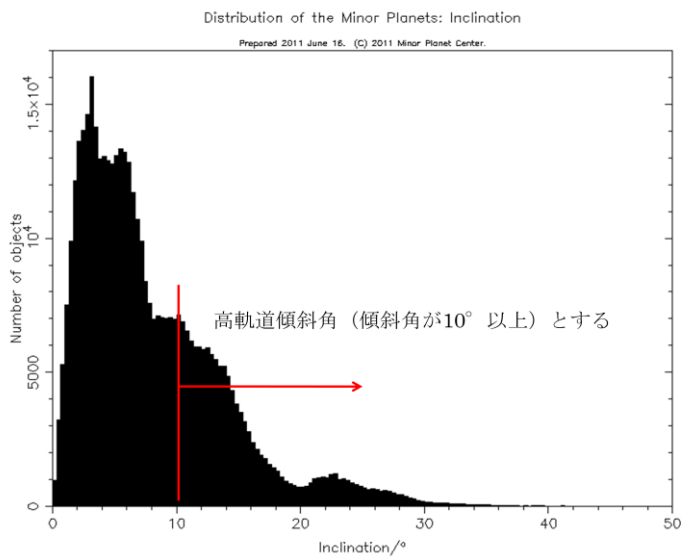
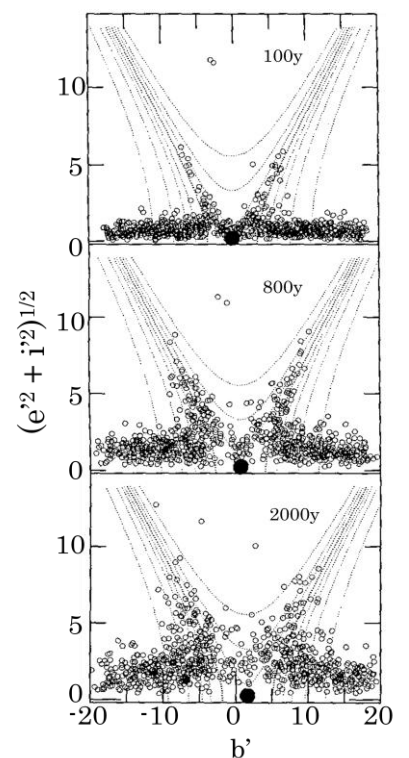


図 2：小天体の軌道傾斜角対個数分布

・考えられる力学的作用として、本研究では重力散乱 (Kokubo & Ida 1993) を用いる。これは、原始ガス惑星と周囲の微惑星との重力散乱によって微惑星は等ヤコビエネルギー領域に (離心率や軌道傾斜角が増大し、惑星から離れるように) 移動する。

図 3 (右)：重力散乱による時間進化 (Kokubo & Ida 1993)

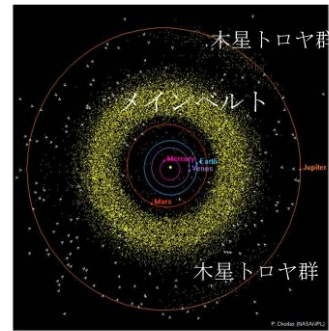
横軸 b' は距離、縦軸は微惑星の離心率と軌道傾斜角の二乗和である。中央にある黒点は惑星、白抜き点は微惑星である。惑星を中心にした V 字線は、等ヤコビエネルギー線である。図 3 より、惑星近傍の微惑星は惑星から離れるように移動し、離心率や軌道傾斜角が高くなるのがわかる。



→現在観測される高軌道傾斜角を持つ小惑星は、このような力学的作用を受けたのではないかな?

・小惑星とは、彗星活動を行わない岩石小天体である。現在確認済み小惑星の約 9 割が、太陽から 2.1-3.3AU 離れたメインベルトと呼ばれる環状の領域に分布する (図 4)。

また、小惑星表層の可視光波長域の反射スペクトル形状 (表層の組成を反映) を用いた分類が行われており、メインベルト内の空間分布はタイプごとに偏りがみられる (表 1、図 5、図 6)。

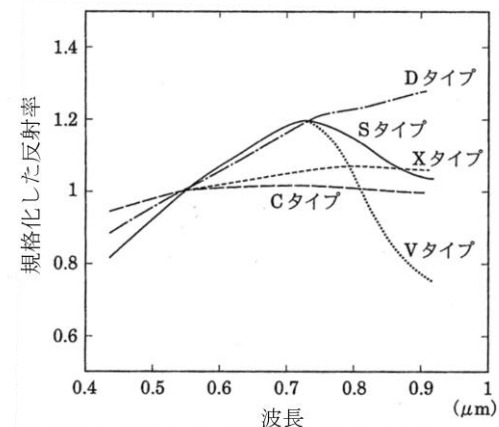
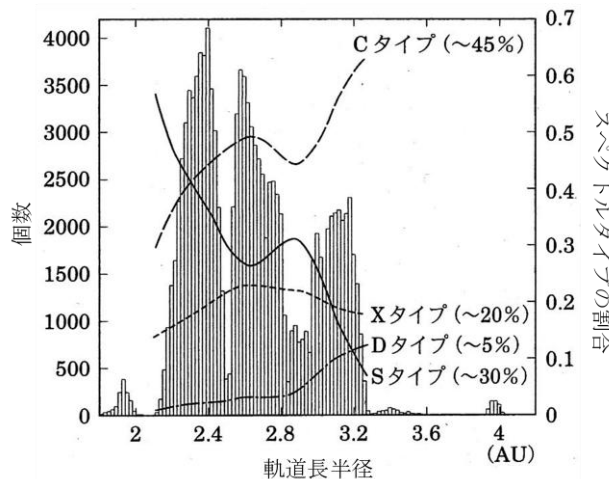


黄点は小惑星(NASA/JPL)

図 4 : 小惑星の空間分布

表 1 : 代表的な 5 タイプの対応&類似隕石と空間分布

	対応&類似隕石	空間分布	スペクトルタイプの形状
C	炭素質コンドライト	メインベルト外側	可視光全域で平坦
S	普通コンドライト	メインベルト内側	0.7 μm まで上昇し、以降は少し下降する
X	エコンドライトなど	メインベルトに均一	可視光全域で少し上昇
D	有機物、彗星核	木星トロヤ群	可視光全域で上昇し続ける
V	玄武岩質	4 Vesta 軌道近傍	0.7 μm まで上昇し、以降は S より下降する



(現代の天文学 第9巻)

図 5 (左) : 小惑星の軌道長半径対個数分布にタイプ別空間分布を合わせた図

図 6 (右) : 小惑星の可視光波長域の反射スペクトル形状 横軸は波長、縦軸は 0.55 μm で規格化した反射率

本研究では D タイプ小惑星に注目する。

D タイプは木星トロヤ群の多数を占め、メインベルトにはあまり分布していない。もし過去に原始ガス惑星による重力散乱が起こったなら、高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星は D タイプが多いはずである。しかし、高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星のタイプ分布はほとんどわかっていない。

以上より、本研究の目的は以下の 2 点である。

- ・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を行い、スペクトル形状による分類を行う。
- ・メインベルトの黄道面領域に分布する D タイプ小惑星の分布と、高軌道傾斜角を持つ D タイプ小惑星の分布をそれぞれ求め、存在割合を比較する。

可視光低分散分光観測

観測概要

観測日：2008/10/30-31

望遠鏡：ハワイ大学 2.2m 望遠鏡

分光装置：WFGS2 (Uehara et al. 2006)

分光素子：低分散分光グリズム 1

波長分解能：410 at $0.65 \mu\text{m}$

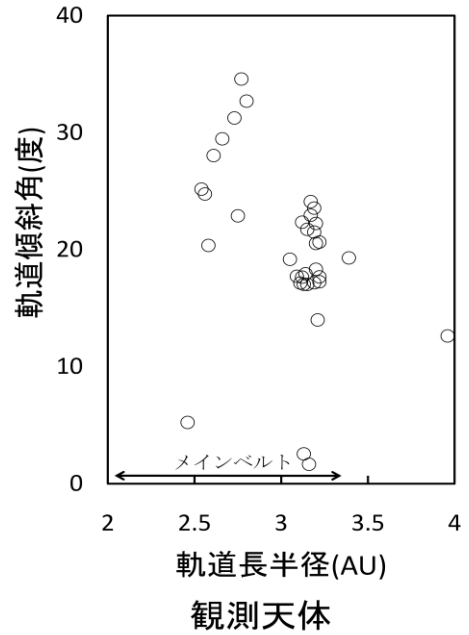
フィルター：Order-sort1 ($>0.435 \mu\text{m}$)

スリット幅：1.4"

高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星を対象に
合計 34 天体のスペクトルを取得した。

低軌道傾斜角(<10 度)： 3 天体

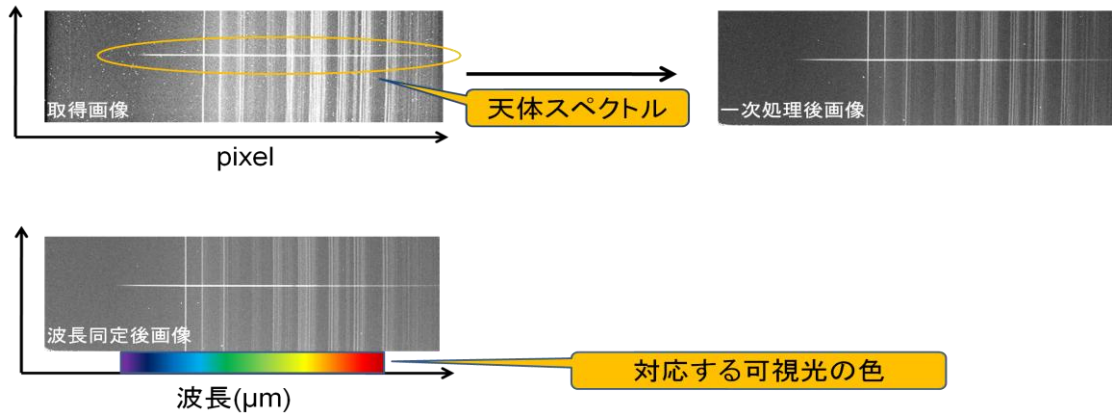
高軌道傾斜角(>10 度)： 31 天体



解析

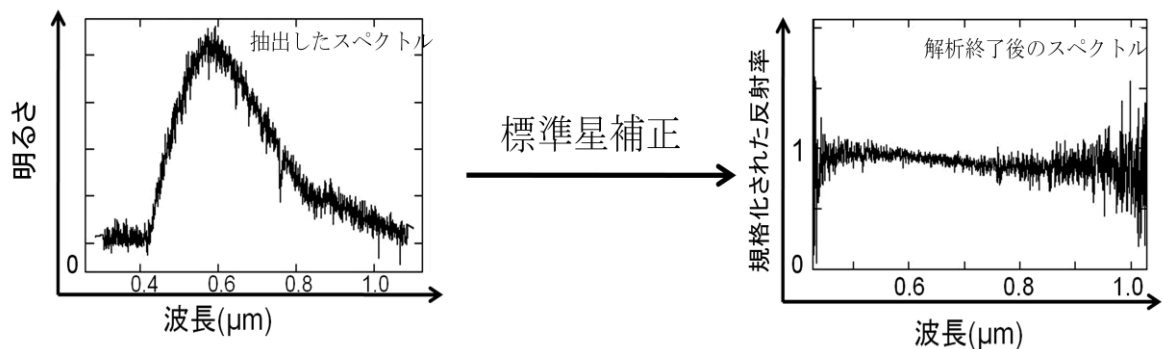
解析ソフト IRAF を使用した。

1. 一次処理 オーバースキャンの差し引き、バイアス・フラット処理、宇宙線の除去
2. 波長同定 大気スペクトル(主に OH 輝線)を用いて横軸を pixel \rightarrow 波長 μm に変換 (Ostebroek et al. 1992)



3. 背景光の除去
4. スペクトル抽出 (2次元データ \rightarrow 1次元データ)
5. 標準星補正 抽出したスペクトルから太陽のスペクトルを除去する
6. 規格化 $0.55 \mu\text{m}$ での反射率を 1 とする

二次屈折光の影響を除去するため、有効波長域は $0.44 < \lambda < 0.83 \mu\text{m}$ とした

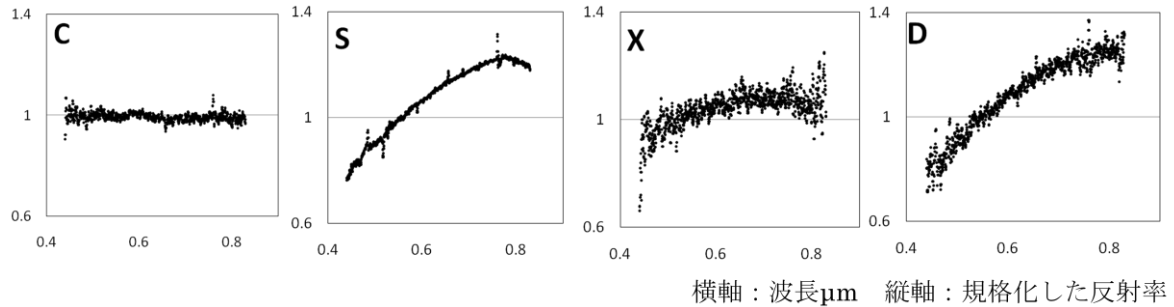


結果

得られた小惑星のスペクトルを用いて、以下の基準で分類を行った。

1. SMASS (Bus & Binzel 2002) を用いて、分類基準用スペクトル (C、S、X、D、V の五種類) を作成。
2. 小惑星スペクトルと各基準用スペクトルで標準偏差を求め、最も値が小さいタイプを小惑星のタイプとする。
3. 基準用スペクトルと小惑星スペクトルの形状が一致するかを目視で確認。

34 天体中基準を満たす 24 天体 (そのうち高軌道傾斜角を持つ天体 : 21 天体) を分類した。



実際に分類した小惑星スペクトル 各図の右上は分類したタイプを示す

分類結果 (高軌道傾斜角を持つ 21 天体)

タイプ	C	S	X	D
合計(天体)	12	2	4	3

黄道面領域のメインベルト小惑星とタイプ別存在割合を比較する。

メインベルト小惑星のタイプ別存在割合

(Bus & Binzel 2002, Lazzaro et al. 2004)

タイプ	天体数	存在割合(%)
C	642	28
S	830	33
X	443	19
D	136	5

今回得られたタイプ別存在割合

タイプ	天体数	存在割合(%)
C	12	57
S	2	9
X	4	19
D	3	14

これより、高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星のほうが D タイプ存在割合が高いとわかる。つまり、高軌道傾斜角を持つメインベルト小惑星の中には、現在の軌道よりも外側で形成された天体がある。