

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¹⁾・伊藤洋一¹⁾

¹⁾ 神戸大学大学院理学研究科

A wide-field optical survey for small main-belt asteroids in high-inclination

Tsuyoshi TERAJ¹⁾, Yoichi ITOH¹⁾

Abstract

There are small number of high-inclination main-belt asteroids (MBAs). They are formed during the dynamical excitation stage by gravitational perturbations of Jupiter and planetary embryos in the early Solar system. If the disk gas is still present in the main belt during this process, it acts smaller bodies than kilometer-size as a drag force, making the inclination of a small asteroid depleted. Thus the proportion of small bodies out of high-inclination MBAs should be smaller than that out of low-inclination MBAs. It will gives us clues about when the disk gas is dissipated. We perform a wide field survey for small high-inclination MBAs in high ecliptic latitude where the detection rate is higher than the ecliptic. We detected 269 MBA candidates in 8 deg². They indicate that the rate of smaller MBAs than 1km in diameter in the high-inclination ($>15^\circ$) MBAs than that in the low-inclination MBAs.

Key Words: MBAs, disk-gas, inclination, survey, Suprime-Cam

1 目的

我々の太陽系は、水素・ヘリウムを主成分とするガスと、ミクロンサイズの塵から成る原始太陽系円盤から誕生した。やがて塵は赤道面に集積し、互いに合体成長してキロメートルサイズの微惑星を形成する。微惑星はさらに衝突合体を繰り返して火星質量程度の原始惑星へと成長し、それらから惑星が形成される。この過程で円盤ガスは流体的ガス抵抗、あるいは重力相互作用を天体に及ぼし、それらの軌道を大きく変化(減衰)させる。そのため、円盤ガスの存在は天体の軌道進化・衝突進化において非常に重要である。ガスは太陽系の進化とともに散逸していき、現在では完全に消滅している。原始惑星系円盤のダスト放射の観測からは、円盤の寿命は 10^6-10^7 年であると言われている([1], [2])。しかし、円盤ガスが太陽系形成過程のどの段階で散逸したのかということについてはよくわかってい

ない。惑星の纏っている大気量を見ると、少なくとも木星・土星の大気が形成されるまではガスは残存しており、天王星・海王星のコアが形成されることには消失していたことは間違いないが、地球型惑星領域におけるガス散逸のタイミングについては未だ不明である。

本研究はその問題に対し制限を与える重要な情報として、メインベルト小惑星(MBAs)の力学的進化に注目する。メインベルトには多数の小惑星が存在するが、それらの大半は黄道面に沿った軌道をもつ。しかし、一部の小惑星は黄道面に対し大きく傾いた(軌道傾斜角 $20-30^\circ$)軌道をもつ。そのような高い軌道傾斜角を獲得するには、それらが過去に何らかの強い力学的作用を受けて軌道励起される必要である。近年のMBAs形成モデルでは、原始惑星および木星の重力によって周囲の微惑星の軌道が散乱され、衝突破壊によって小さな破片(=小惑星)が多数

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

できるとともに、軌道が励起されて軌道離心率および軌道傾斜角が増大する ([3], [4])。このとき、もしメインベルト領域に十分な量の円盤ガスが残っていたならば、キロメートルサイズ未満の小さな小惑星に対して流体的ガス抵抗が効果的に働き、それらの離心率および軌道傾斜角を減少させる ([5], [6])。すると、大きな軌道傾斜角をもつ MBAs のうち、直径の小さな天体は選択的に除去され、直径の大きな天体の占める割合が大きくなることになる。このサイズ分別を観測的に示すことができれば、MBAs の軌道励起段階の時点で円盤ガスが太陽系内側部に残存していたことが判明することになり、ガス散逸のタイムスケールを知る手がかりになり得る。

2 手法

そこで我々は高軌道傾斜角の MBAs を対象とするサーベイを行ない、直径が~1km 未満の微小小惑星の割合が高軌道傾斜角と低軌道傾斜角で異なるかを検証する。しかし、高軌道傾斜角の MBAs は非常に個数面密度が小さく、多数の天体を発見するには広大な領域を探索しなければならない。[7]ではそれらを対象として 13,500 平方度をサーベイしたにもかかわらず、64 天体の検出に留まっている。しかも我々がターゲットとする微小小惑星は大変暗く (~21 mag)、大型望遠鏡による観測で取得されたデータの使用が不可欠である。[8], [9]ではすばる望遠鏡を用いた、sub-km MBAs のサーベイが行なわれている。これらような困難のために、これまで高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星に関する観測的研究はほとんど行われていない。

本研究はすばる望遠鏡主焦点カメラ Suprime-Cam (視野 34'x27', ピクセルスケール 0.2") による画像をデータアーカイブ SMOKA から取得することで、深い限界等級かつ広視野のデータを効率よく解析することができる。また、高軌道傾斜角の天体は高黄緯領域でより検出されやすいため (Figure 1)、高黄緯領域を撮像したデータを中心に解析を行う。さらにもう一つ大きな特徴が、使用する画像の枚数である。通常の小惑星サーベイでは、検出精度を向上させるなどの理由から 1 領域につき 3 枚以上の画像を使用するが、本研究では様々な観測で得られたデータを使用できるようにするために、1 領域につき 2 枚の画像のみから小惑星を検出する (Figure 2, [10])。加えて、それらの画

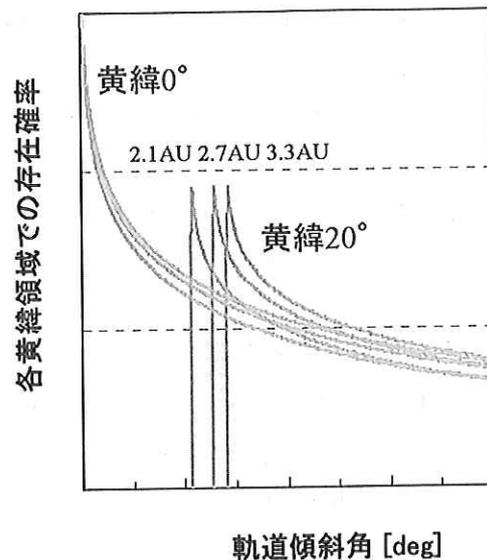


Fig.1 黄緯 0°および 20°の領域を全方位観測した場合の、小惑星の検出確率の軌道傾斜角依存性。

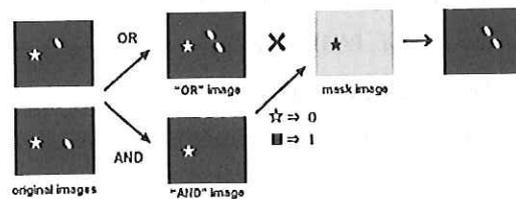


Fig.2 2枚の画像から移動天体を検出するための画像処理方法。

像処理工程および小惑星検出工程を自動化させることで、解析を高速かつ一定の精度で行えるようにした。

解析にはデータは、R_cバンド (中心波長 0.66μm) で露出時間 240–480 秒で撮像されたものを用いた。領域は黄緯 10°–34°、黄経が衝から ±15°以内のデータを使用した (後者は軌道計算誤差が大きくなるようにするため)。また、疑似移動天体を画像に付加して限界等級 (検出率 80%以上) を調べたところ、23.7–24.2 等であった。

3 結果

これまでに 40 領域 (8.2 平方度) を解析し、289 個の太陽系小天体を検出した。移動速度から円軌道仮定を用いて軌道長半径・軌道傾斜角を計算をしたところ ([11])、MBA 候補天体 (軌道長半径 2.1–3.3 AU) は 269 個あった (Figure 3)。計算から得られた軌道長半径 (誤差~0.1AU, [12])

と測光した等級（誤差 ~ 0.1 等）からアルベドを0.09（S型・C型の平均値，[8]）と仮定して直径を推定した（誤差 $\sim 10\%$ ）。低傾斜角（ $<15^\circ$ ）と高傾斜角（ $>15^\circ$ ）の微小惑星（直径1km未満）の割合を求めた結果、それぞれ46%，31%となり、微小惑星の割合は低傾斜のものよりも高傾斜のほうが小さいという傾向が見られた。

参考文献

- 1) Strom, S. E., *et al.*, Protostars and planets III, 1993
- 2) Haisch, K. E., *et al.*, ApJ, 553, 2, 2001
- 3) Petit, J. M., *et al.*, Icarus, 153, 2001
- 4) Bottke, W. F., *et al.*, Icarus, 179, 2005
- 5) Adachi, I., *et al.*, PTP, 56, 6, 1976
- 6) Weidenschilling, S.J., MNRAS, 1977
- 7) Spahr, T. B., *et al.*, ASPC, 107, 1996
- 8) Yoshida, F., *et al.*, PASJ, 55, 2003
- 9) Yoshida, F., & Nakamura, T., PSS, 55, 2007
- 10) Terai, T., *et al.*, PASJ, 59, 2007
- 11) Jedicke, R., AJ, 11, 2, 1996
- 12) Nakamura, T., & Yoshida, F., PASJ, 54, 2003

(2008年3月22日受付, 2008年6月15日受理)

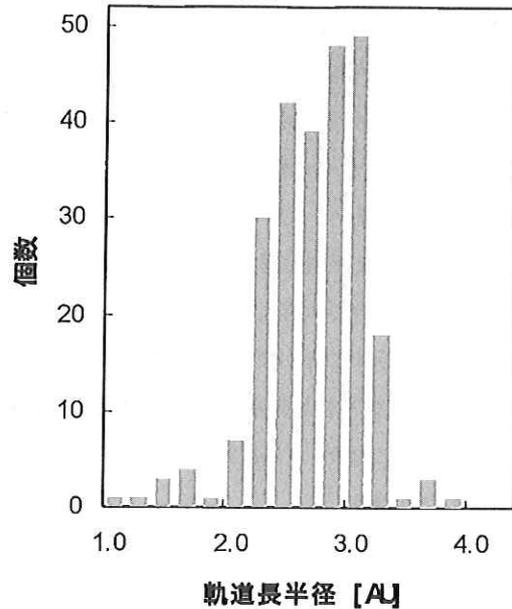


Fig.3 検出した小惑星から得られた軌道長半径の個数分布.

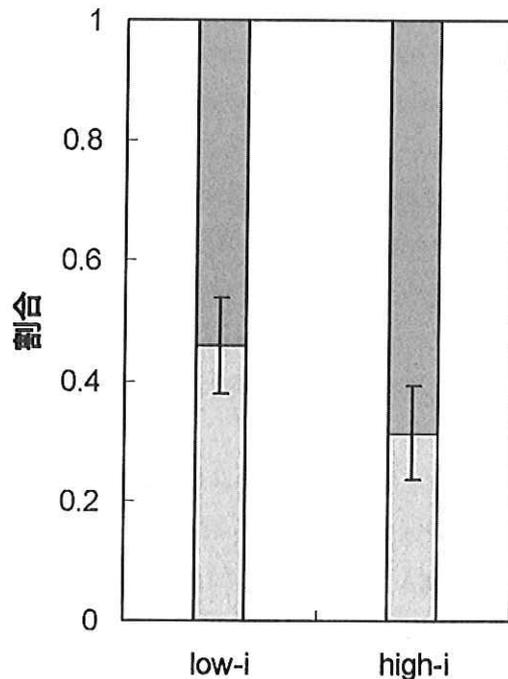


Fig.4 微小惑星（直径<1km）の割合.