

高黄緯移動天体(惑星X)の探査

寺居 剛

Patryk S. Lykawka

伊藤 洋一

向井 正

神戸大学 大学院理学研究科

太陽系外縁天体 (TNOs)

カイパーベルト

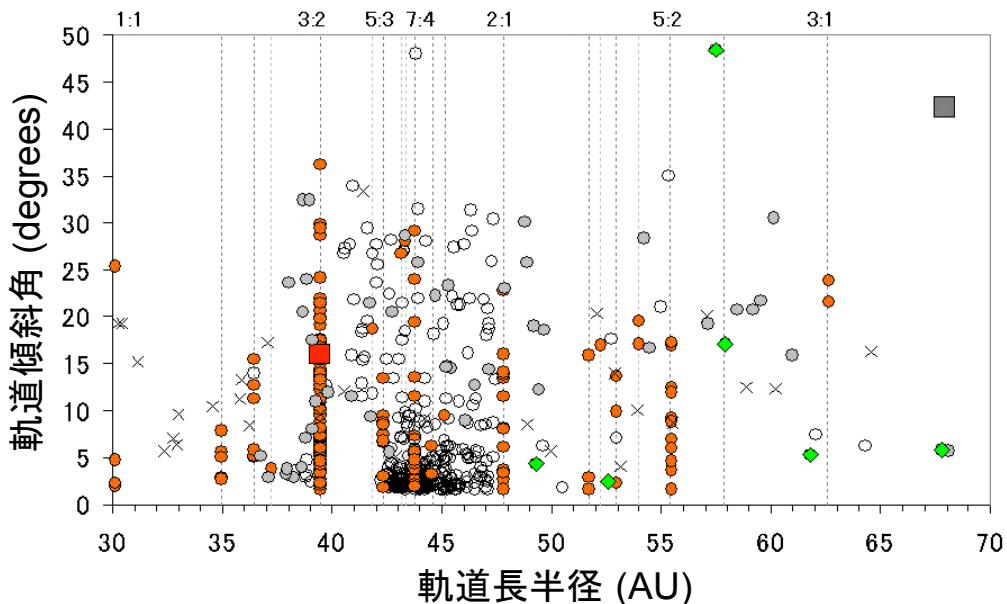
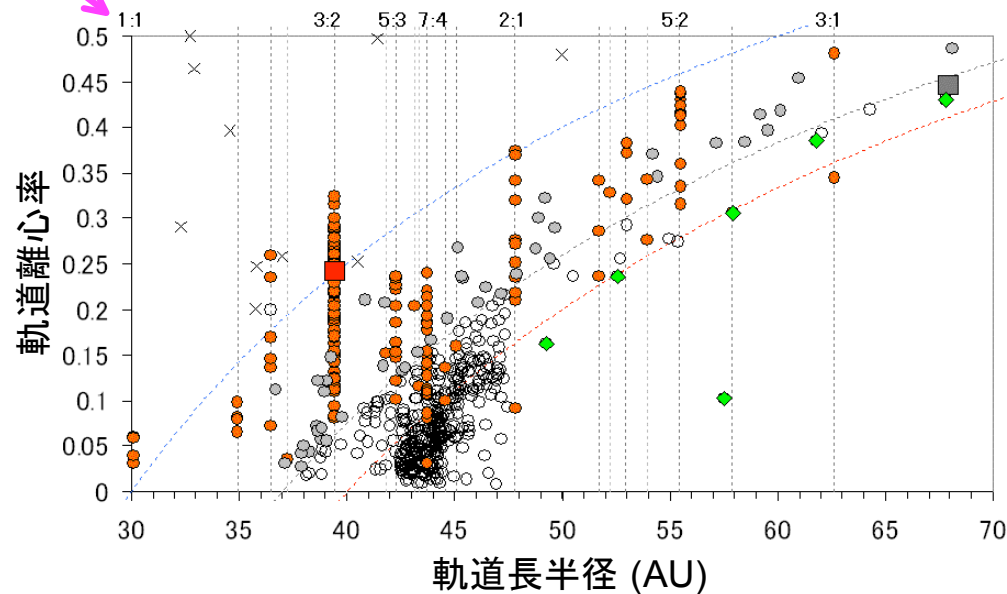
海王星

← →
50AU

- ・海王星軌道以遠に帯状に分布する小天体群
- ・現在までに1100個以上発見されている
- ・主に氷でできている
- ・微惑星の生き残りであり、太陽系の進化過程を解明するうえで重要な天体
- ・短周期彗星の供給源と考えられている

TNOsの軌道分布

海王星との周期比



- ・海王星の重力摂動による影響を強く受けている
- ・力学的な特徴から、以下の4グループに分類される (Lykawka & Mukai 2007)

① 共鳴天体

海王星と平均運動共鳴にある軌道

② 古典的天体

軌道長半径が37AU-48AUで、海王星との共鳴関係にない軌道

③ 散乱天体

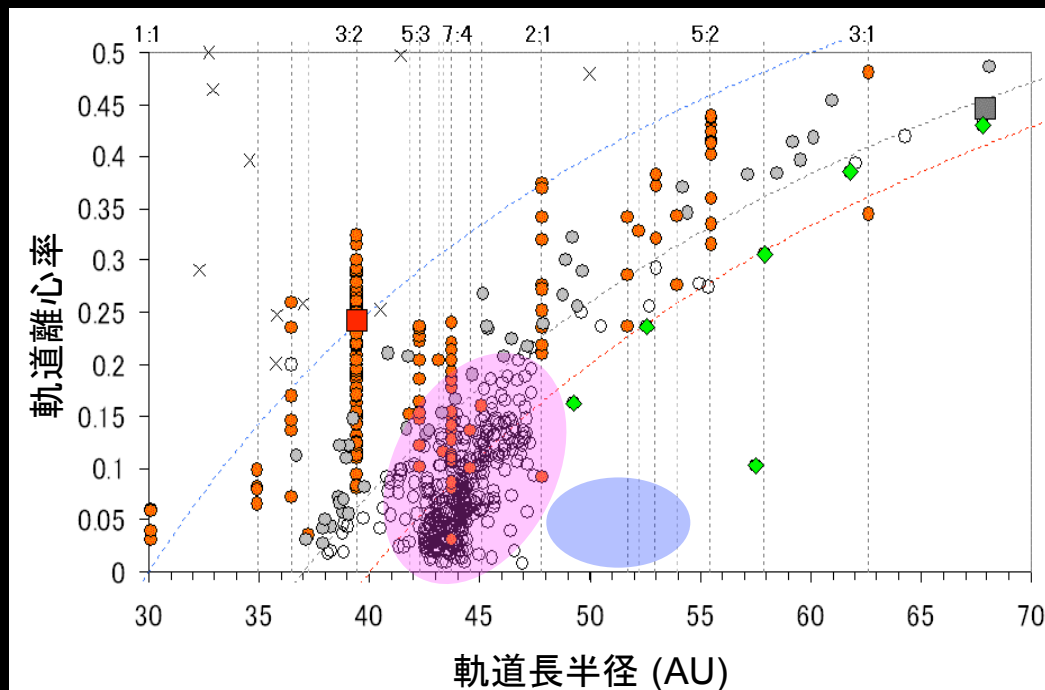
海王星により重力散乱された天体
近日点 < 37AU-40AU

④ 分離天体

海王星に接近しない安定した軌道
長半径 > 48AU, 近日点 > 40AU

軌道分布に関する謎

- ・ 大きな軌道離心率・傾斜角をもつ古典的TNOsが多数存在する
 - ・ 48AU以遠では円に近い軌道を持つ天体が全く発見されていない
 - ・ 近日点が海王星から大きく離れているにもかかわらず、離心率・傾斜角が大きい軌道の天体（分離天体）が存在
- ⇒ 従来の微惑星集積モデルだけでは説明できない



“惑星X”モデル

太陽系外縁天体の軌道分布の特徴を説明するため、
海王星軌道の外側に惑星サイズ天体の存在を仮定



太陽系外縁天体群の軌道進化の数値シミュレーションを惑
星系が生まれてからの40億年にわたって実行



軌道長半径 100 - 175 AU

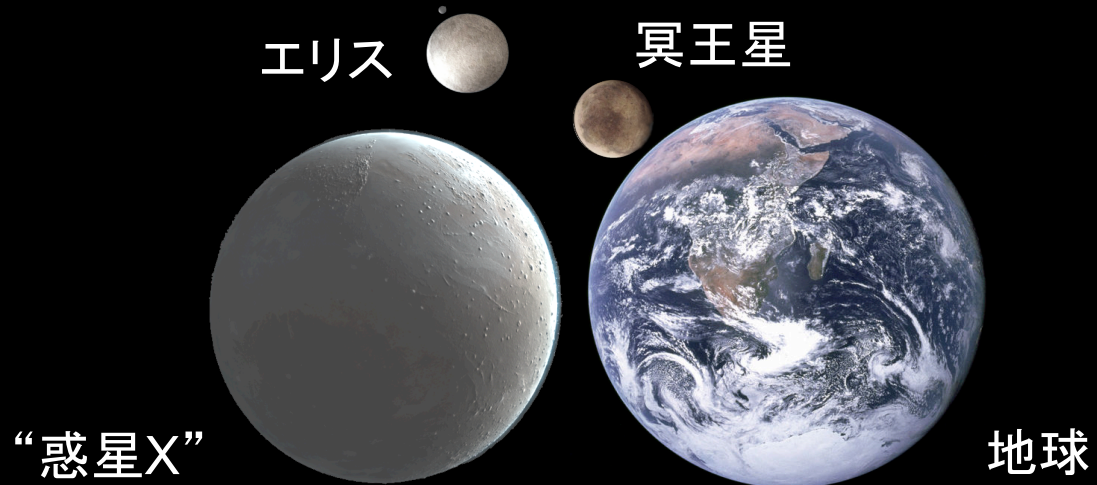
近日点距離 > 80 AU

軌道傾斜角 20 - 40°

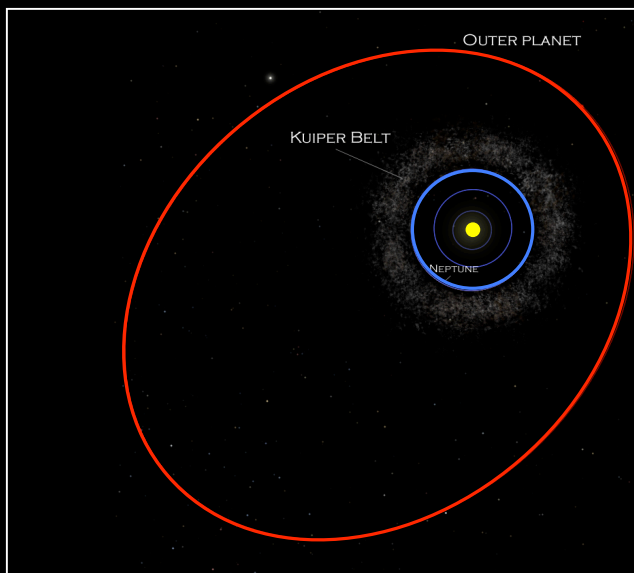
質量 0.3 - 0.7 M_{\oplus}

(Lykawka & Mukai 2008)

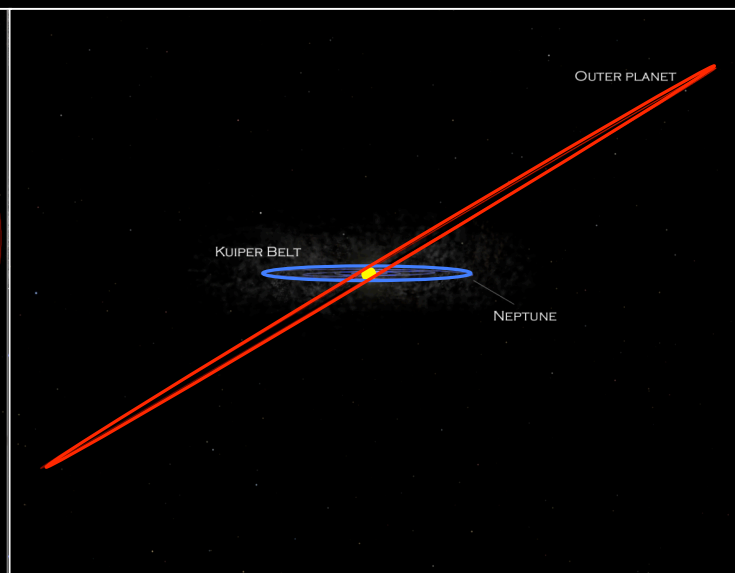
“惑星X”の姿



黄道面を上から見た図



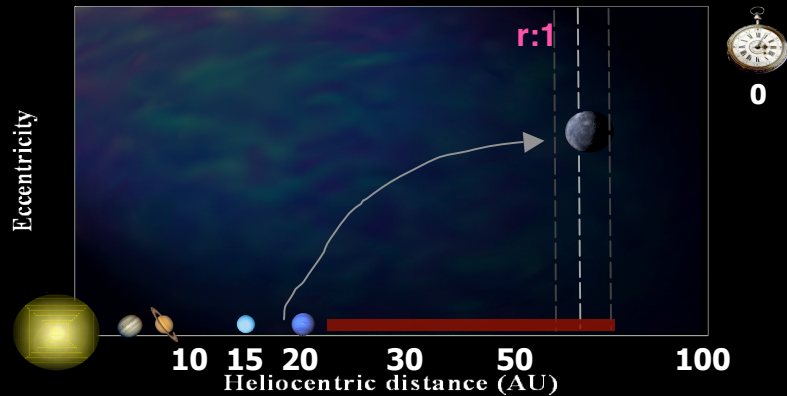
黄道面を横から見た図



TNOs進化の新シナリオ

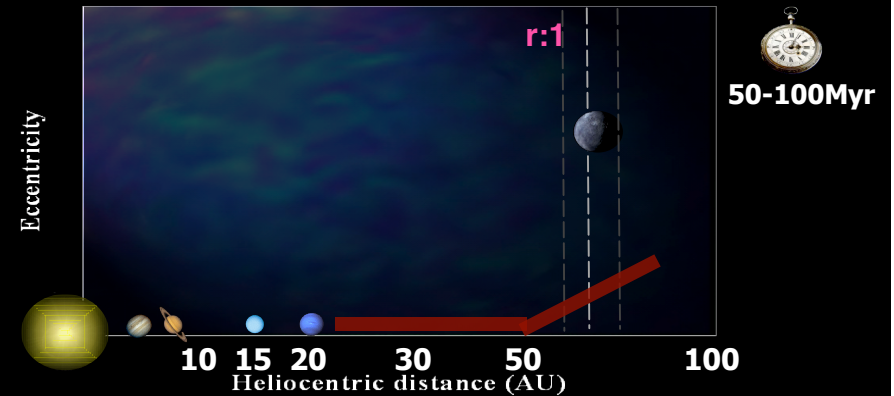
1 FORMATION STAGE

巨大微惑星(惑星X)は天王星と海王星によって重力散乱される



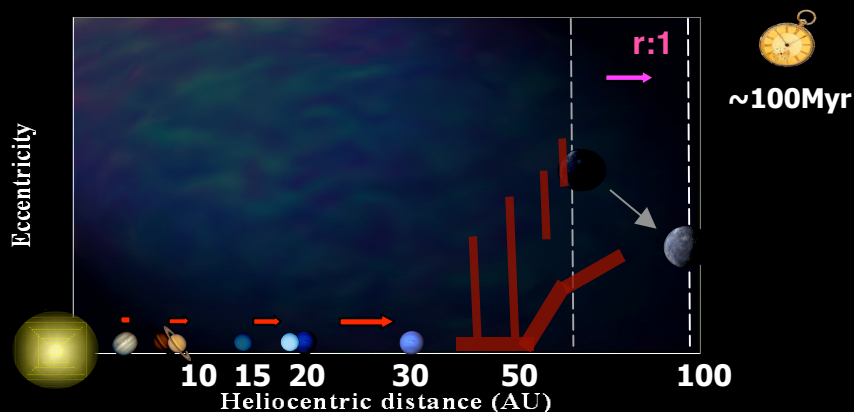
2 PRE-MIGRATION STAGE

数千万年の間、惑星Xは円盤から摂動を受ける



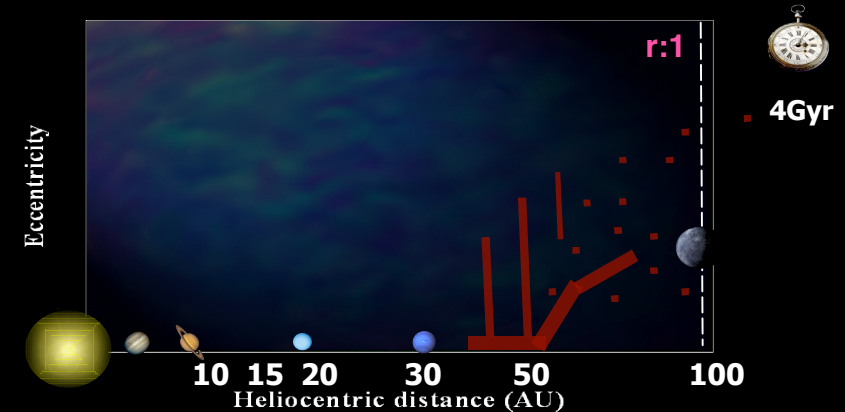
3 MIGRATION STAGE

惑星移動の段階で、惑星Xは海王星との共鳴で100AU以上外側に運ばれる

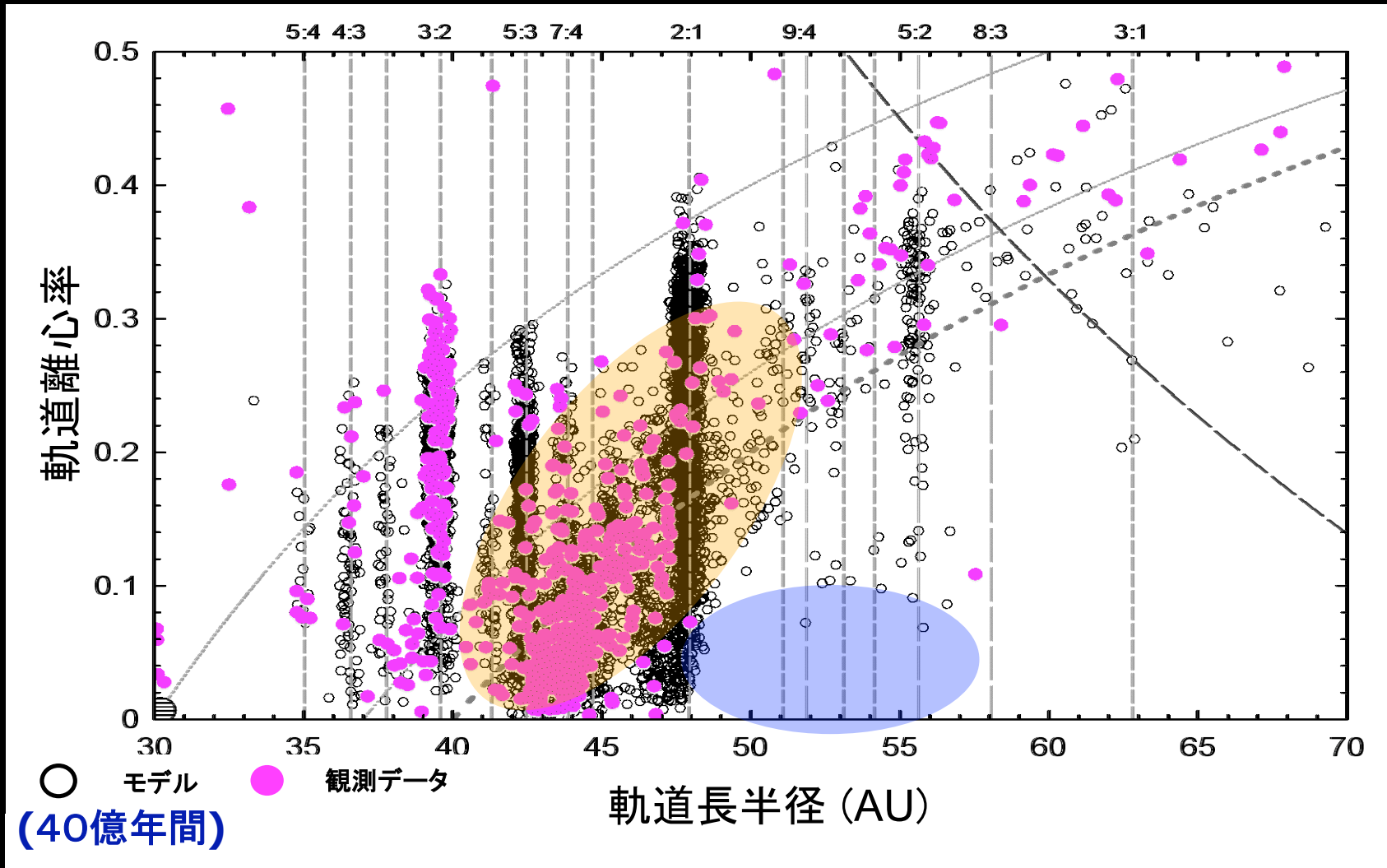


4 LONG-TERM SCULPTING STAGE

古在共鳴により、惑星Xの軌道離心率は減少し、軌道傾斜角は増加する

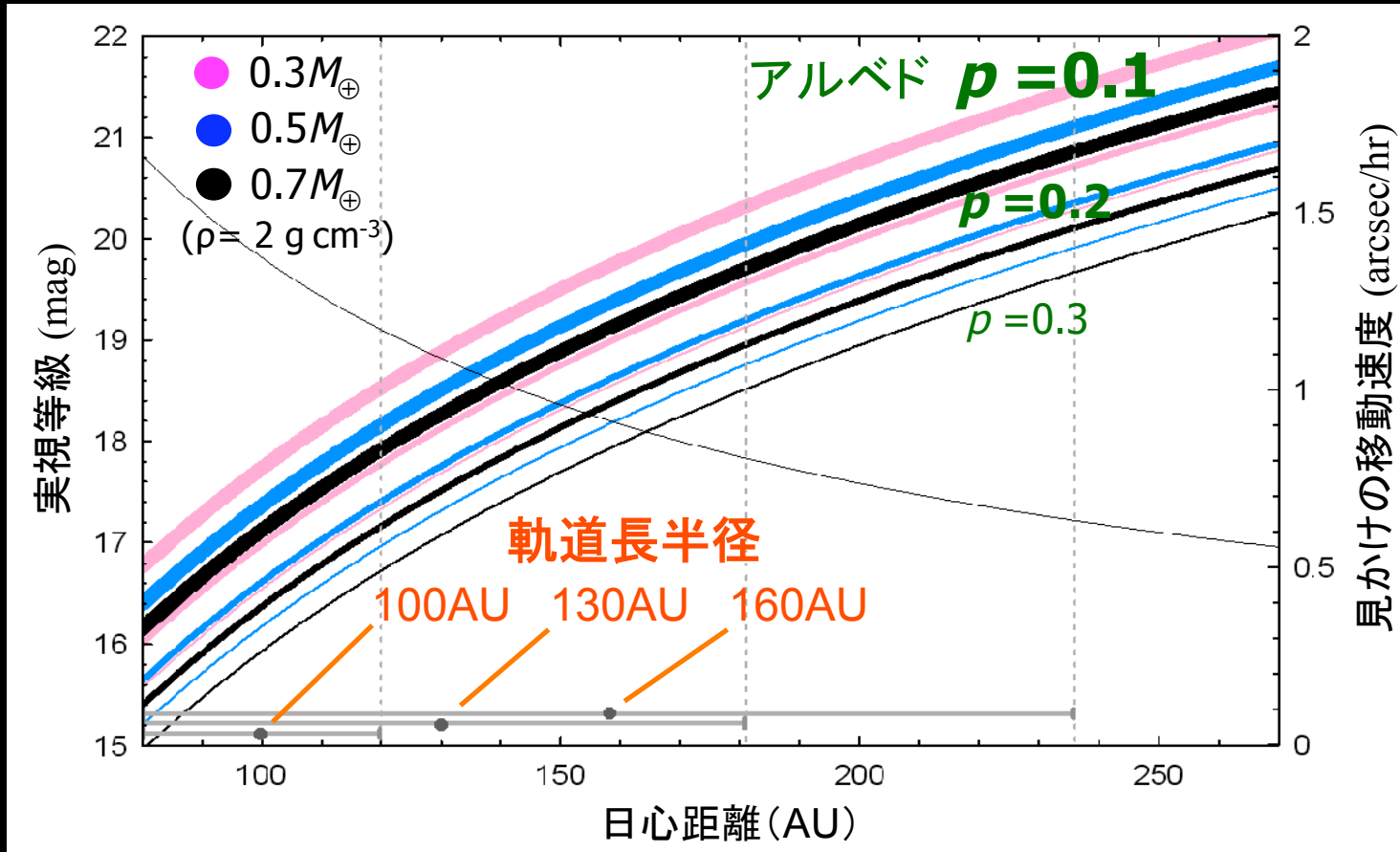


本モデルから導かれる軌道分布



惑星Xの明るさ

- 天体表面は氷 (H_2O , CH_4 , CO , N_2) で覆われている (Schaller & Brown 2007)
→ アルベドを **0.1 - 0.3** (~Sednaのアルベド) と仮定 (Emeer *et al.* 2007)



軌道長半径=100AU	$m \sim 15\text{--}18 \text{ mag}$
軌道長半径=130AU	$m \sim 15\text{--}20 \text{ mag}$
軌道長半径=150AU	$m \sim 15\text{--}22 \text{ mag}$

惑星Xはどこにいる？

- ・ 海王星との共鳴軌道 $r:1$ (r は自然数) にいる可能性が高い

共鳴	軌道長半径	共鳴	軌道長半径
6:1	99.4 AU	11:1	148.9 AU
7:1	110.1 AU	12:1	157.8 AU
8:1	120.4 AU	13:1	166.4 AU
9:1	130.2 AU	14:1	174.8 AU
10:1	139.7 AU		

⇒ 見かけの移動速度 0.35 – 1.7 arcsec/hr

- ・ 軌道傾斜角 20 - 40° (特に 20 - 30°)

⇒ 高黄緯領域 (黄緯 $\pm 20-30^\circ$) に滞在する期間が長い
(黄道面付近での検出確率はきわめて低い)

※注意: これらの軌道要素はいくつかの仮定によって導かれるものであり, それら以外の値をとる可能性もあり得る

- ・ 軌道中のどの位置にいるのかはわからない

⇒ 黄経方向の制限はつけられない

惑星Xを発見するには

- ・ 限界等級が20等程度あれば, 検出できる可能性は高い
⇒ 中口径望遠鏡でサーベイが可能
- ・ 移動速度が非常に遅い(0.35 – 1.7 arcsec/hr)
⇒ 同じ領域を数時間おいて撮像しなければならない
- ・ 軌道傾斜角が大きい
⇒ 高黄緯領域(黄緯 $\pm 20 - 30^\circ$)におけるサーベイ
- ・ サーベイ領域はおよそ $2 \times 10^\circ \times 360^\circ = 7,200$ 平方度
⇒ 効率の良いサーベイ方法が必要

すなわち, 本サーベイに必要な条件は

- ① 広い視野を撮像できる中口径望遠鏡
- ② 長期間に亘って1晩中観測できる体制
- ③ 効率的な観測・解析方法

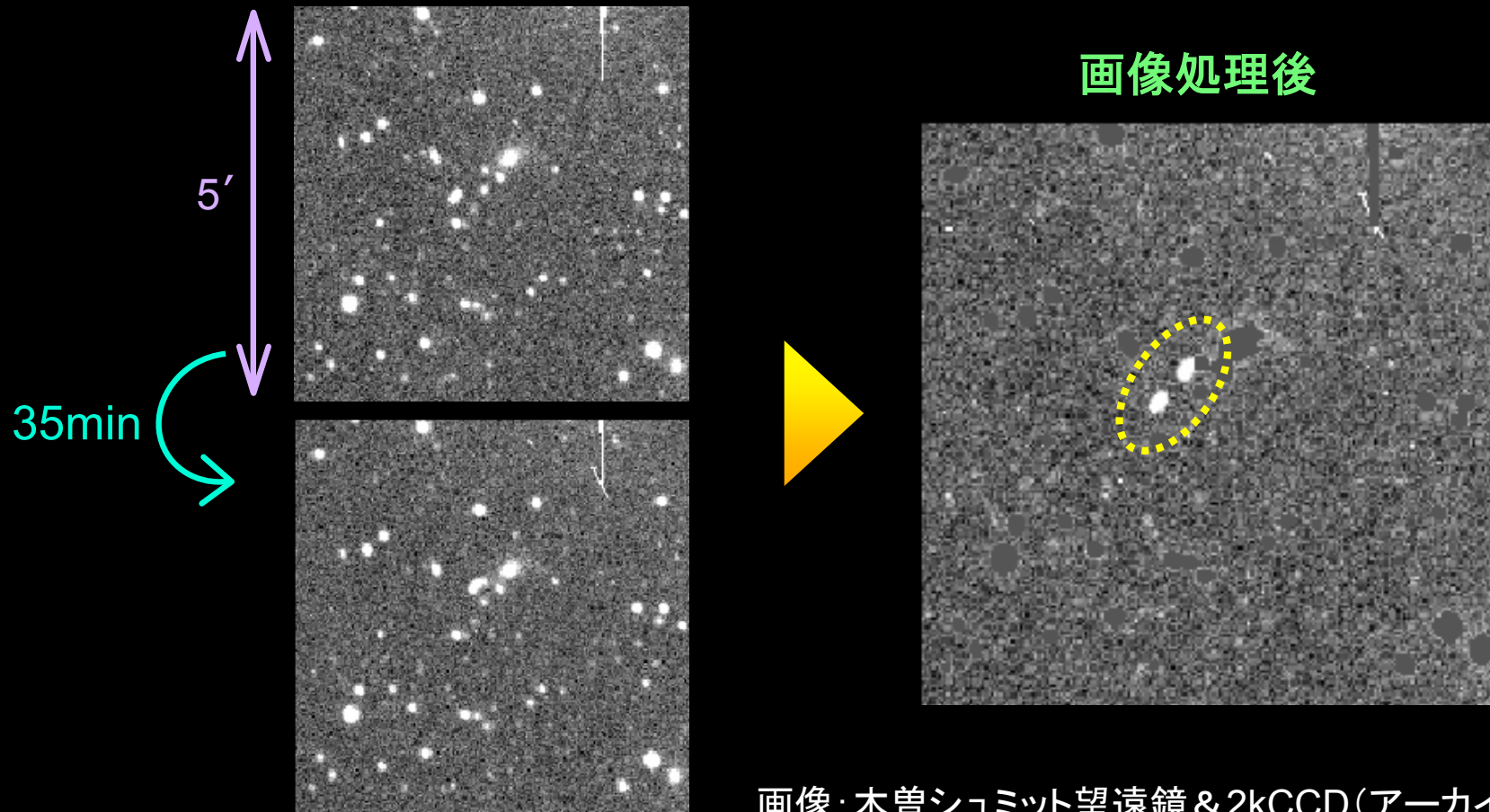
木曾観測所シュミット
望遠鏡が最適!

我々が既に開発済み

検出方法

- ・ 1領域につき2枚の画像のみから移動天体を自動検出する手法を確立 (Terai *et al.* 2007)

⇒ すばる望遠鏡のデータから1000個以上の小惑星を検出
(太陽系外縁天体も10数個検出)



木曾観測所におけるサーベイ計画

2kCCDカメラ

- ・ 限界等級: $V = 22.5 \text{ mag}$ (S/N=10, 15分露出)
⇒ 遠日点 (< 22mag) でも **1分露出** で 3σ の検出が可能
- ・ ピクセルスケール: $1.5'' / \text{pix}$
⇒ 数時間間隔の **2回** の撮像によって惑星Xの移動を検出
- ・ 視野角: $50' \times 50'$
⇒ 1夜で **100平方度** の領域が観測可能
⇒ 全サーベイ領域の観測に要する期間は **72夜**

KWFCカメラ

- ・ 視野角: $2^\circ \times 1.5^\circ$
⇒ 1夜で **430平方度** の領域が観測可能
⇒ 全サーベイ領域の観測に要する期間は **17夜 !!**

まとめ

- ・ 海王星の外側に未知の惑星サイズ天体(“惑星X”)を仮定することにより、太陽系外縁天体の軌道分布の特徴をうまく説明することができる
- ・ 予測される“惑星X”は、質量が地球の30-70%、軌道長半径は100 - 175 AUで、歪みと傾きの大きな軌道を持つ
- ・ 発見には検出限界 $V=22$ 等、掃天面積7200平方度という大規模なサーベイが必要であるが、木曾シュミット望遠鏡はこれに最も適した観測装置と言え、充分に実現が可能である
- ・ 以上を踏まえ、前回の共同研究課題公募(ショート)にて試験観測を提案したところ・・・ 不採択

みなさまの温かいご支援とご理解よろしくお願いいたします