

# **A Comparative Study of Size Distributions for Small L4 and L5 Jovian Trojans**

**Fumi Yoshida, Tsuko Nakamura**

**紹介者:神戸大学 瀬藤真人**

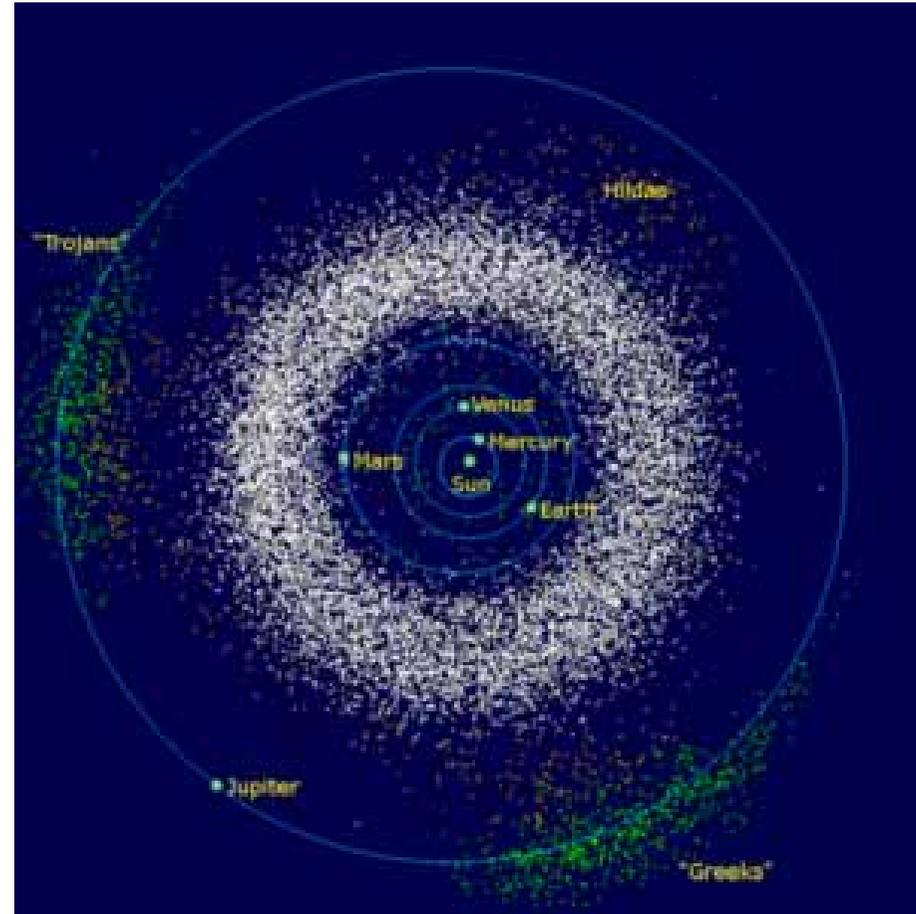
# Index

- ・ **イントロ**  
(木星トロヤ群とは)
- ・ **観測手法**  
(移動天体検出)
- ・ **結果**
- ・ **議論とまとめ**

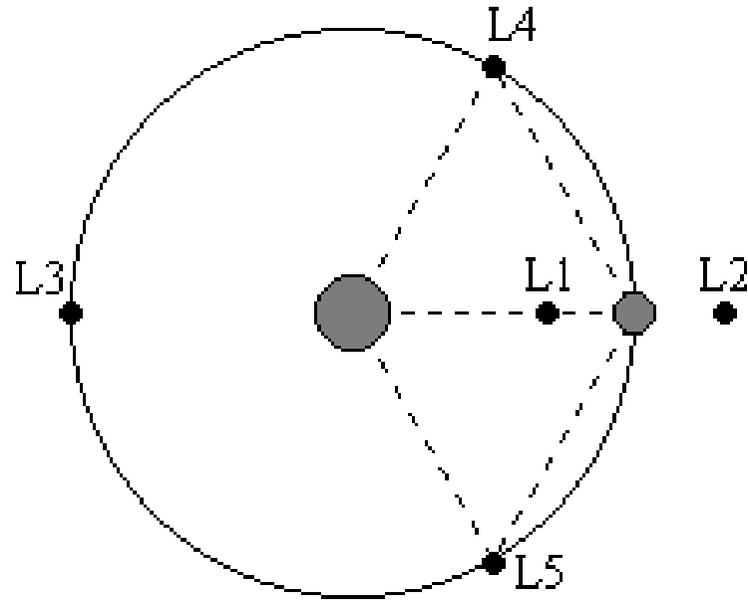
# 木星トロヤ群

木星と同じ公転軌道上の  
ラグランジュ点(後述)の  
L4とL5地点を公転する小惑星

現在までに2400個以上が  
確認されている。



# ラグランジュ点



ラグランジュポイント

太陽と木星の作る重力場と遠心力が釣り合った点。  
力学的に安定。

太陽 - 木星 - 小惑星が正三角形を描く点がL4(前方)L5(後方)であり、  
これらの位置に存在する小惑星が木星トロヤ群。

総数はL4がL5より圧倒的に多い

# トロヤ群を調べて何かいいことあるの？

トロヤ群天体の起源には諸説あり、

太陽系形成初期に木星付近の微惑星が木星に捕獲された。

( Marzari & Scholl 1998, Fleming & Hamilton 2000 )

メインベルトや太陽系外縁部からの散乱天体が木星に捕獲された。

( Jewitt 1996 )

太陽系形成初期に、外惑星の移動によって破壊された始原天体が

再構築されて形成した。 ( Morbidelli et al. 2005, Strom et al. 2005 )

いずれにせよ太陽系形成初期の様相を残している可能性が大きい。

太陽系の衝突進化の歴史を紐解く鍵になる

# 観測による移動天体検出

すばる望遠鏡による観測(2回)

SMBAS-I 2001年2月22、25日

同じ領域を2時間で3枚撮影

SMBAS-II 2001年10月21日

同じ領域を40分で3枚撮影

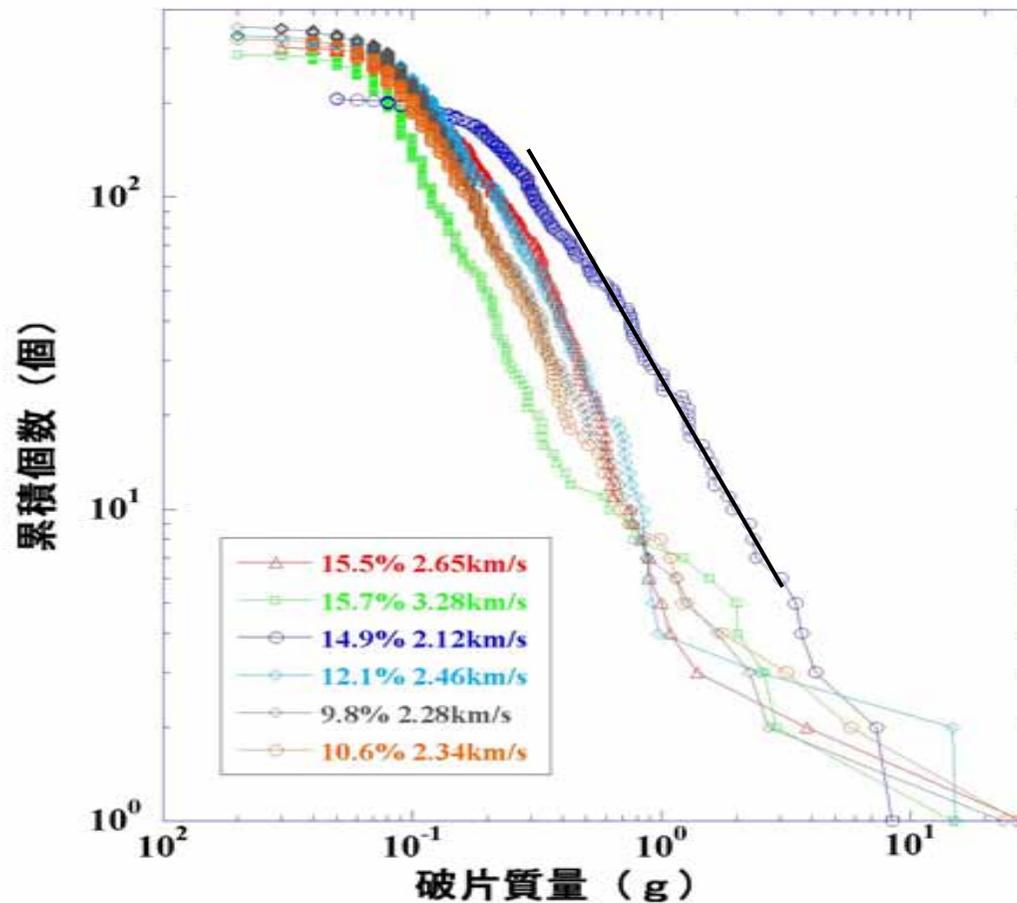
本当はメインベルトを観測したが、  
ついでに(?)映った  
トロヤ群について  
サイズ分布を調べた。



# サイズ分布とは？

あるサイズ以上の天体の累積個数は、そのサイズのべき乗で近似される。

$$N(>D) \propto D^{-b}$$

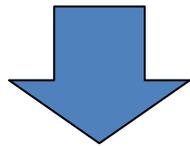


# サイズ分布を調べて何かいいことあるの？

サイズ分布がほぼ同じグループがあれば、  
それらが同じ起源を持つとも言えるかも知れない。  
例えば、NEO、メインベルト、トロヤ群ではそれぞれサイズ分布が異なる

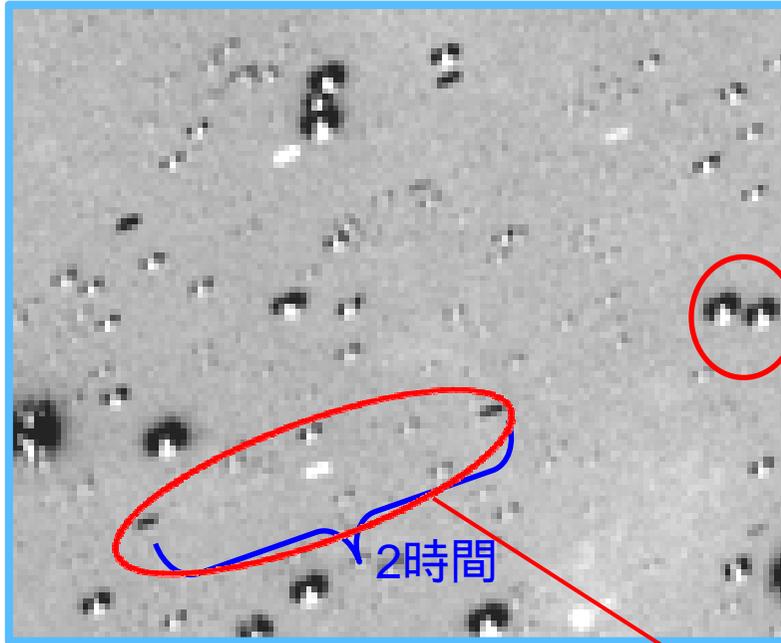
サイズ分布から天体の総数を予想して、衝突確率がもとまる。  
衝突シミュレーションにとって重要な数値情報となる。

月などのクレーターのサイズ分布と比較して、  
そのクレーターを作ったインパクターの起源が分かるかも知れない。



衝突現象全般に絡んでくる値である。

# 移動天体の検出方法



1時間の間隔を置いて撮った  
3枚で作った合成画像

動いていない天体

動いている天体

メインベルトかトロヤ群かカイパーベルトその他かの同定は移動速度で行う  
経度方向の1日の動きが8分前後の物を木星トロヤ群の候補とした。

## 検出方法・続き

トロヤ群の軌道長半径は、 $\sim 5.1\text{AU}$   
Hilda族小惑星の軌道長半径は、 $\sim 4.0\text{AU}$  } これらの区別が必要

トロヤ群候補天体の軌道は、観測ではほんの少ししか分からない  
円軌道で仮定してやる  
本当の軌道とのずれの標準偏差 ( $\sigma_{a_r}$ ) が求まる  
候補天体のうち、軌道長半径が  $a_j \pm 3 \sigma_{a_r}$  のものをトロヤ群とみなす

### 結果

SMBAS-Iで見つかった1194個の天体のうち51個  
SMBAS-IIで見つかった1838個の天体のうち62個  
をトロヤ群天体とみなした

# 検出した天体の明るさからサイズを見積もる

トロヤ群天体の絶対等級Hを

$H = V - 5 \log_{10}(r)$  の式から求め、

( V : Vバンドでの見かけの等級、 r : 日心距離、 : 地心距離、 )

$\log_{10}D = 3.13 - 0.5 \log_{10}A - 0.2H$  の式から直径を求める。

( D : 直径、 A : アルベド ) (Bowell & Lumme 1979)

木星トロヤ群は多くがD型のスペクトルを示すため (Jewitt et al. 2000他)

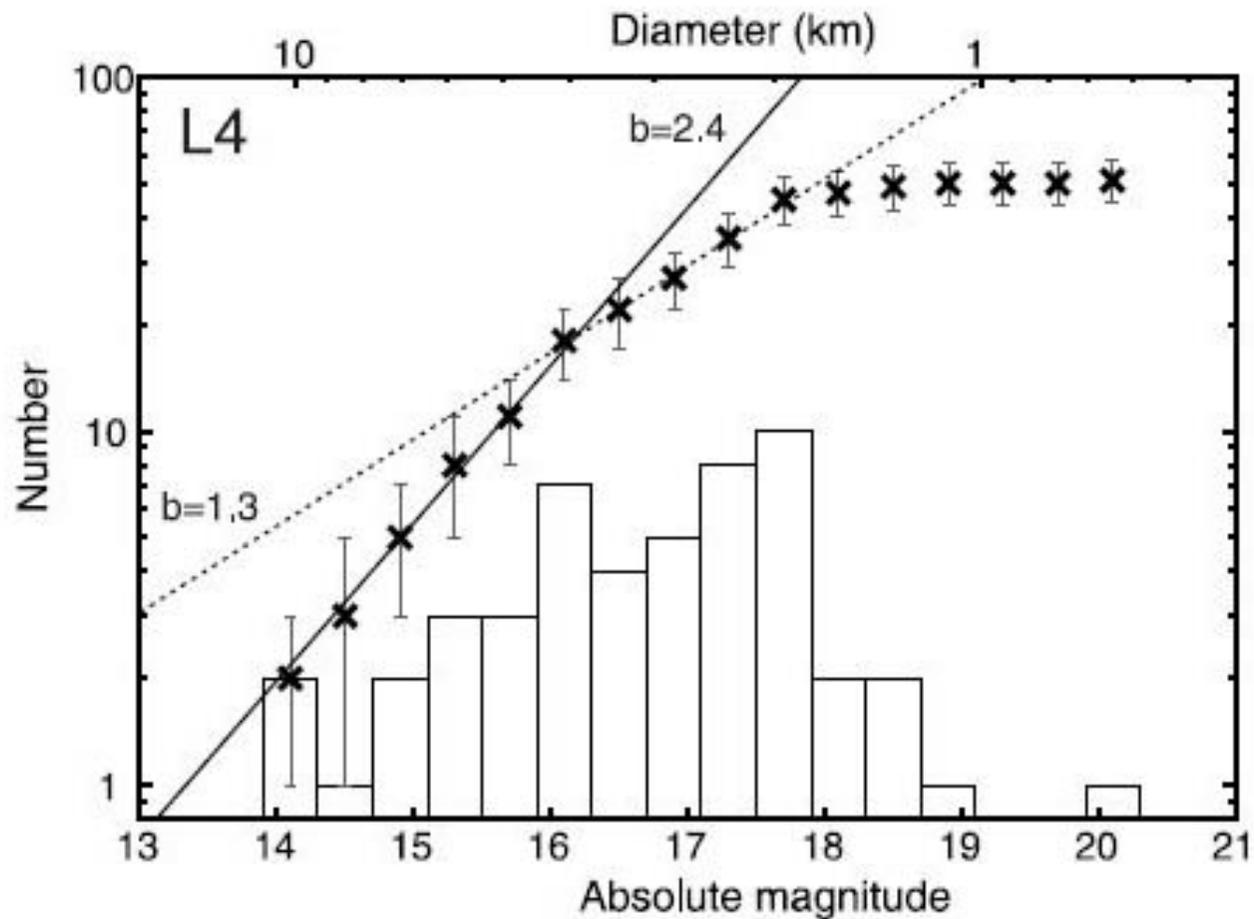
A = 0.04 を代入

観測はRバンドで行ったため、Vバンドでの等級に直す必要がある。

$V = R + 0.48$  ( R : Rバンドでの見かけの等級 ) (Dotto et al. 2006) を用いた。

# 結果

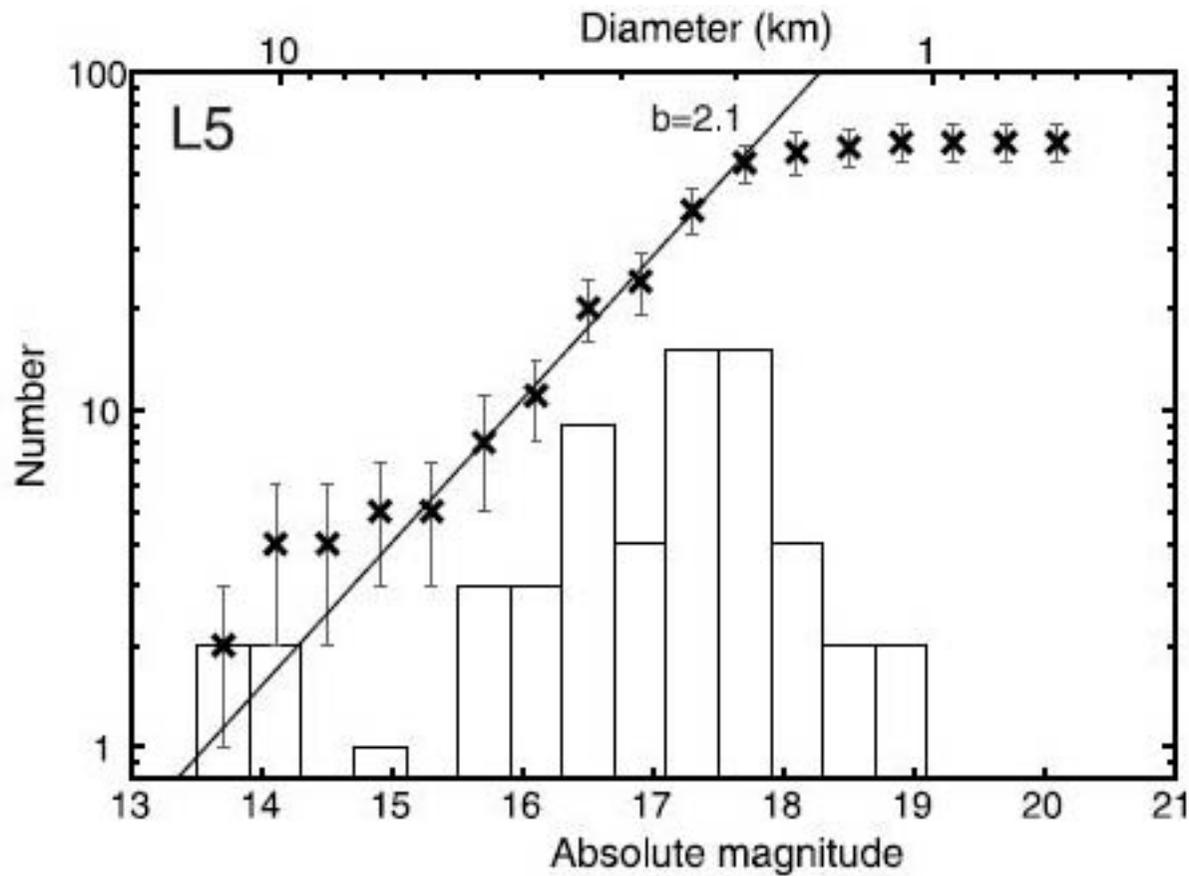
## SMBAS-Iから得られたL4トロヤ群のサイズ分布



D=5kmあたりにべきの  
折れ曲がりがある？

2km < D < 5kmで  
 $b=1.3 \pm 0.1$   
5km < D < 10kmで  
 $b=2.4 \pm 0.1$

## SMBAS-IIから得られたL5トロヤ群のサイズ分布

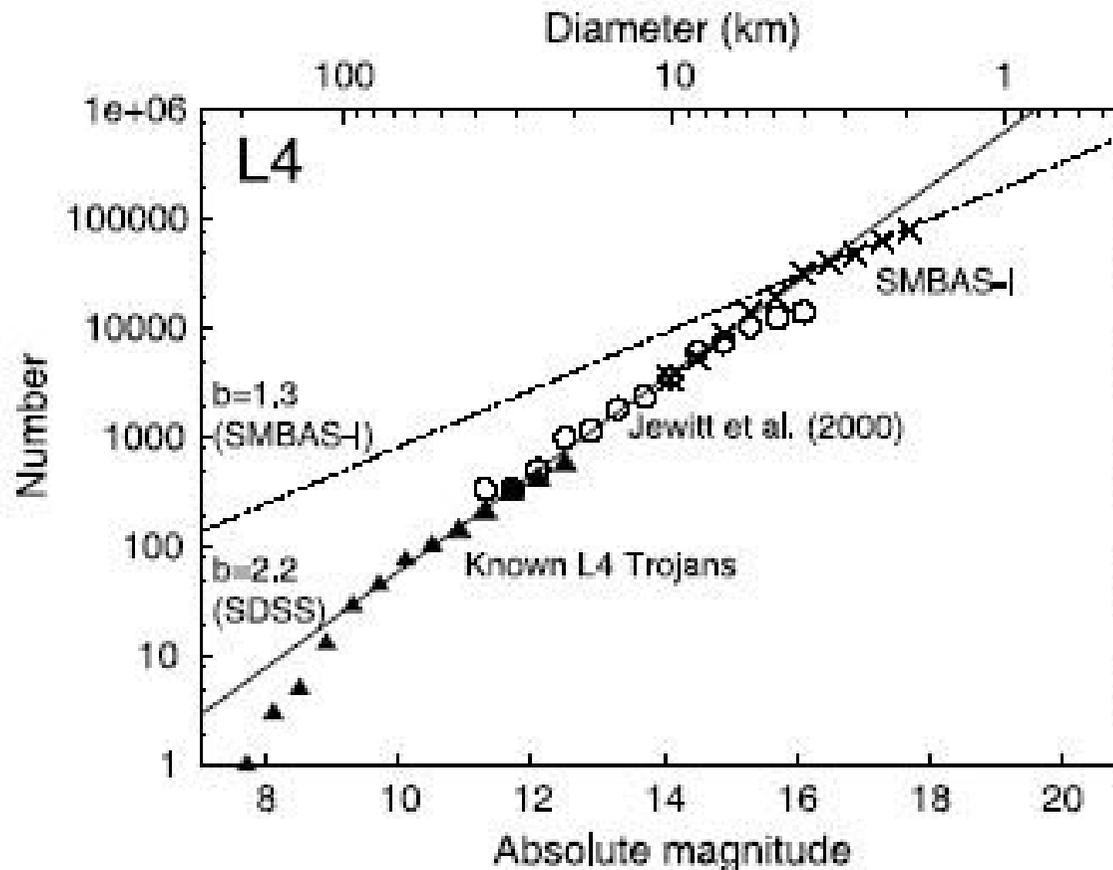


直径の大きいところでは  
サンプル数が足りなくて  
よく分からない

2km < D < 5kmで  
 $b = 2.1 \pm 0.3$

# 過去のデータとの突き合わせ

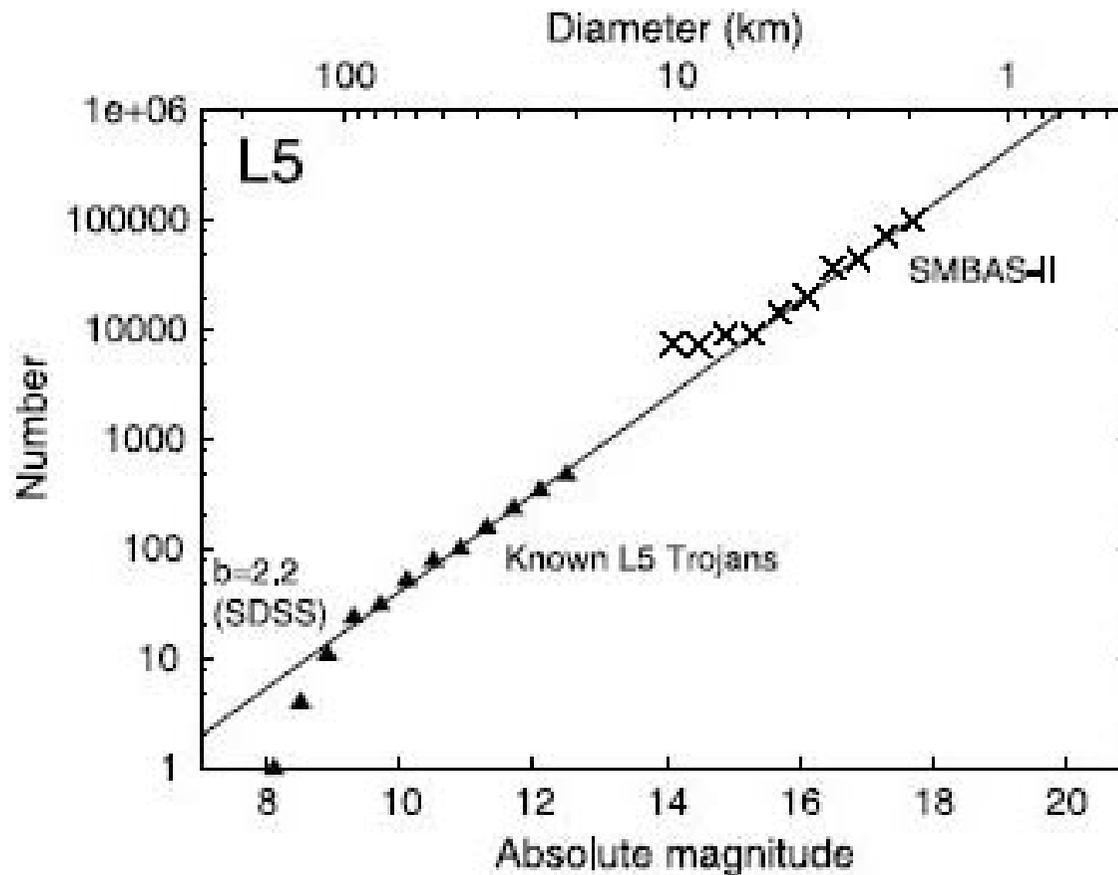
今回のL4の結果と、Jewittその他の結果を合わせたところ、**5km<D<93km**で**b=2.2**となり、Szabo et al.2007の13km<D<107kmの結果とも一致する



しかしD<5kmだけ  
傾きが少し違う。

別に小さいトロヤ群が  
全部発見できてないだけでは？

今回のL5の結果と既知のトロヤ群のデータを合わせたところ、  
**2km<D<5kmと20km<D<93kmでb=2.1となり、**  
やはりSzabo et al.2007の13km<D<107kmの結果と矛盾しない。



2km<D<100kmまで  
まっすぐな傾きで  
描けるのではないか？

## 全体を表でまとめる

Group	Slope ( $b$ )	Size range $D$ (km)	Reference
L4	$1.3 \pm 0.1$	$2 < D < 5$	SMBAS-I (YN2005)
L4	$2.4 \pm 0.1$	$5 < D < 10$	SMBAS-I (YN2005)
L4	$2.0 \pm 0.3$	$4 < D < 40$	Jewitt, Trujillo, and Luu (2000)
L4	$2.0 \pm 0.1$	$20 < D < 93$	Known Trojan catalog <sup>2</sup>
L5	$2.1 \pm 0.3$	$2 < D < 5$	SMBAS-II (This work)
L5	$2.1 \pm 0.1$	$20 < D < 93$	Known Trojan catalog <sup>2</sup>



L4トロヤ群のみ、小さい個体の割合が急激に減少する

# 議論

何故L4トロヤ群の小さい個体数が少ないのか？

ヤコフスキー効果による小さい天体の除去

熱放射の非等方性による軌道長半径の乱れによって、  
小さい天体を取り除かれた。

衝突過程による小さい天体の除去

衝突で小さい天体が破壊されたり飛ばされたりした。

どちらもL4のみに影響が出ていることを説明できない。

## ガス抵抗

初期太陽系に残っていた**原始惑星円盤ガス**による**抵抗**がある状況下で木星付近に捕獲されるトロヤ群の軌道は、**L4付近周りよりL5周りの方が安定**であるというシミュレーション結果  
(Peale . 1993)

原始惑星円盤ガスがある状態での微惑星のトロヤ群への捕獲率

大きい天体にはガス抵抗はあまり効かないが、1kmより小さい天体は、**ガス抵抗のせいで捕獲されにくい**。  
その捕獲率は、**L5トロヤ群 > L4トロヤ群**

(Marzari & Scholl 1998)

L4地点での小さいトロヤ群が減っているのを説明しやすい？

## 惑星大移動(ニースモデル)

太陽系初期段階に、巨大惑星が形成初期よりも外側に移動し、現在の位置に落ち着いたという説。

Gomes 1998のシミュレーションによると、惑星移動の間のトロヤ群の生き残りやすさは  $L4 > L5$  だった。

これはトロヤ群の総数が  $L4 > L5$  であることと一致する。

しかしこれだけでサイズ分布の違いまでは説明できない。

以上の4つを組み合わせれば、トロヤ群形成のシナリオが描ける

# まとめ 木星トロヤ群形成のシナリオ

原始惑星円盤ガスがある状況下で、成長中の木星周りにトロヤ群が捕獲される



ガス抵抗のせいでL4の小さいものが飛ばされる



惑星大移動のせいでL4とL5の数が非対称(L4>L5)になる



惑星の配置が現在のものになってから、衝突進化が始まる



衝突現象によって、サイズ分布が現在のものになる

(ただしL4の小さいのは初期に減らされているから少ないまま?)