



## 史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見

宮古島の小さな望遠鏡が太陽系誕生の歴史と彗星の起源を明らかに

登壇者

有松 亘 (京都大学 大学院理学研究科 附属天文台 研究員)

渡部 潤一 (国立天文台 副台長(総務))

1

## 今回の成果のまとめ

- ・超低コストな小望遠鏡を用いて宮古島で実施した観測によって、太陽系の果てに始原天体『微惑星』の生き残りと考えられる小天体を史上初めて発見
- ・今回発見したような小さなサイズの微惑星は現在の太陽系の果てに大量に生き残っており、彗星の供給源になっていることが示唆

小望遠鏡を用いた宮古島での観測のようす



今回発見した小天体の想像図



2

## 目次

・研究の背景

・今回の研究成果の詳細

・今後の展望、その他

3

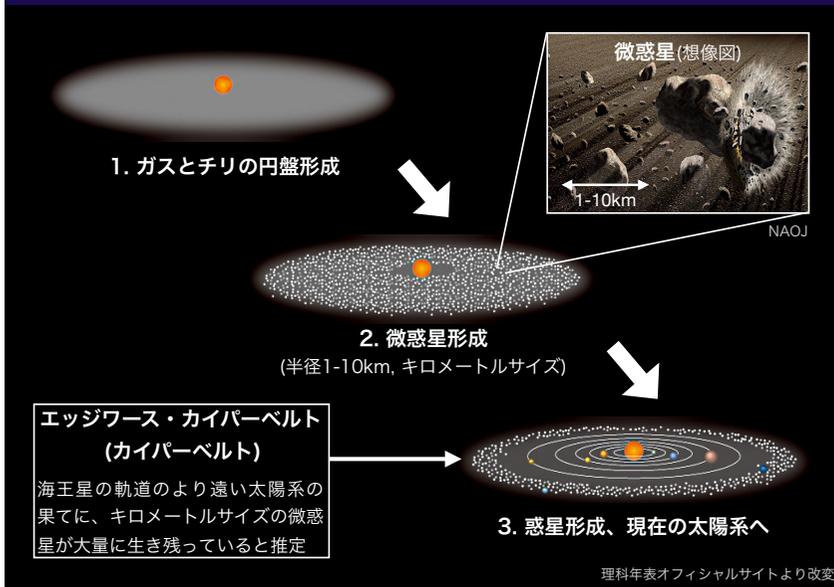


## 研究の背景



4

太陽系の誕生と進化: 惑星の材料となった始原天体『微惑星』



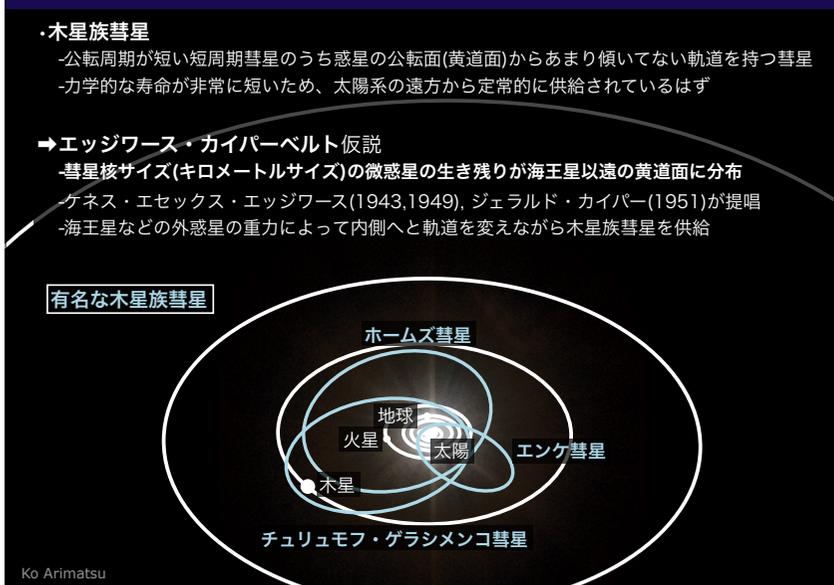
5

エッジワース・カイパーベルト: 彗星の供給源として提唱された微惑星の巣窟



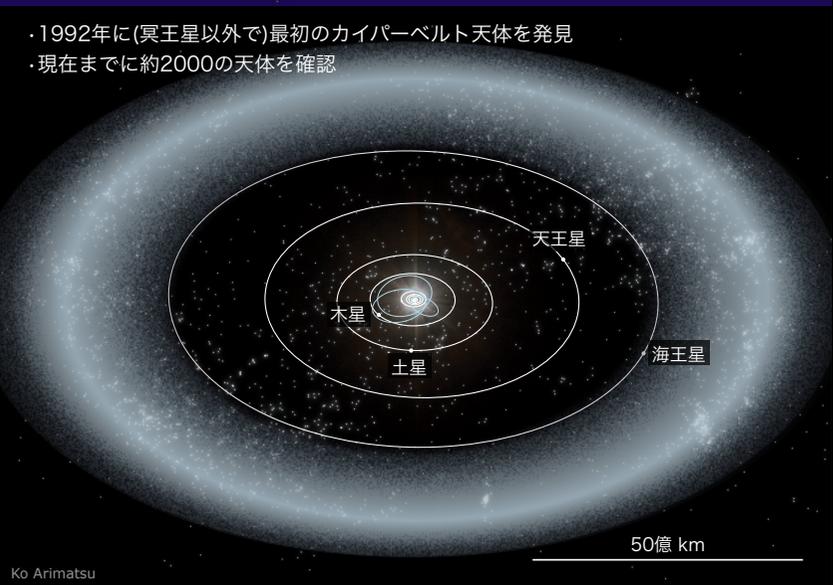
6

エッジワース・カイパーベルト: 彗星の供給源として提唱された微惑星の巣窟



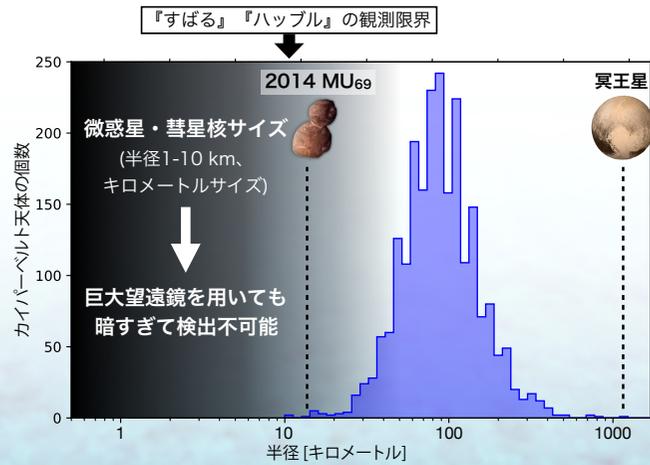
7

現在までに発見されているカイパーベルト天体



8

現在までに発見されているカイパーベルト天体のサイズ



- ・キロメートルサイズのカイパーベルト天体の発見例なし
- 直接観測以外の方法でカイパーベルトの小天体を観測する必要

9

今回の研究で利用した天文現象: 掩蔽(えんぺい)

- ・前方の天体が後方の天体の手前を通過し、後方の天体から届く光を遮る現象
- 直接観測できない太陽系の果ての天体でも、明るい恒星の掩蔽を捉えれば発見可能
- 掩蔽の発生頻度から天体の個数密度を測定可能
- ・キロメートルサイズのカイパーベルト天体による掩蔽: "回折"(光の回り込み)が発生
- 回折による明るさの変化のパターン: 天体の距離、サイズに依存
- 掩蔽の観測からカイパーベルト天体のサイズ頻度を得ることが可能



Ko Arimatsu

10

キロメートルサイズのカイパーベルト天体による掩蔽の観測は難しい

- ・過去の掩蔽観測:  
観測の難易度が高くキロメートルサイズ天体の発見例なし

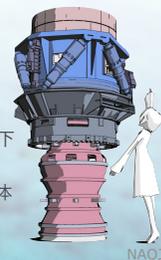
・複数台の観測装置による同時観測

- 未知の天体による掩蔽は再現性のない一回きりの現象
- 複数装置での同時検出で鳥、雲、飛行機、地球大気の揺らぎの影響を除外
- ◎システム全体のコスト増大に対応する必要

・広い視野

- 掩蔽の発生頻度: 1恒星だけ観測していたら極めて小さい
- ◎過去の掩蔽観測では観測効率が不足
- 広視野な観測装置を用いてたくさん星を同時に観測

すばる望遠鏡/HSCの例



NAOJ

・動画観測

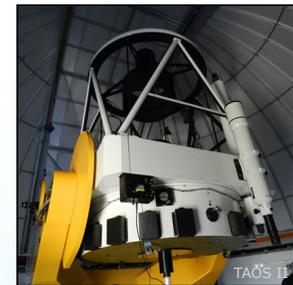
- キロメートルサイズのカイパーベルト天体による掩蔽の継続時間: 0.5秒以下
- 0.1秒より細かい時間分解能で恒星を『動画』で観測
- ◎『なるべく長い時間シャッターを開けて微弱な光を受ける』通常の天体観測で使用するカメラ(画像読み出しに数秒以上必要)は使用不可

11

現在計画進行中のカイパーベルト天体掩蔽観測プロジェクト: TAOSII

・Transneptunian Automated Occultation Survey, 『タオス2』

- 台湾、アメリカ、メキシコ、カナダの国際プロジェクト
- 口径1.3mの望遠鏡3台をメキシコに新設
- ドーム、望遠鏡、ビデオカメラを全て新規開発



- 総開発費10万ドル(約10億円)
- 当初は2015年観測開始予定
- 2018年時点で装置開発中



TAOS II

12



今回の研究成果の詳細

13

# OASES

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey

- 『オアシズ』
- 低予算ながらアイデアとフットワークの軽さを武器に、史上初めてのキロメートルサイズのカイパーベルト天体発見を目指すプロジェクト
- 【参考】OASESプロジェクトに関する論文:  
Arimatsu et al. "Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES): Design and performance",  
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 69, Issue 4, 68, 2017  
DOI: 10.1093/pasj/psx048

14

## OASES観測システム

- 計2台の口径28cm小型観測システムを開発
- 広視野(4平方度)、動画(15.4fps)観測可能
- 既製品を活用、新規開発要素ゼロ
- 2台で開発費約350万円
- 競争プロジェクトと比較して1/300の開発費

15

## OASESプロジェクト観測地:宮古島

- 2015年、宮古島・与那覇前浜ビーチで撮影
- 低緯度: 天の川の最も星が多い部分がじゅうぶんに高い空で観測可能
- 高晴天率: 天の川の観測条件が良い夏期(6月下旬-8月)に高い晴天率
- 低光害: 南の空に街明かりが少ない
- 好アクセス: 限られた予算の中で移動・輸送が容易

Ko Arimatsu

16

OASESプロジェクト観測地:宮古島



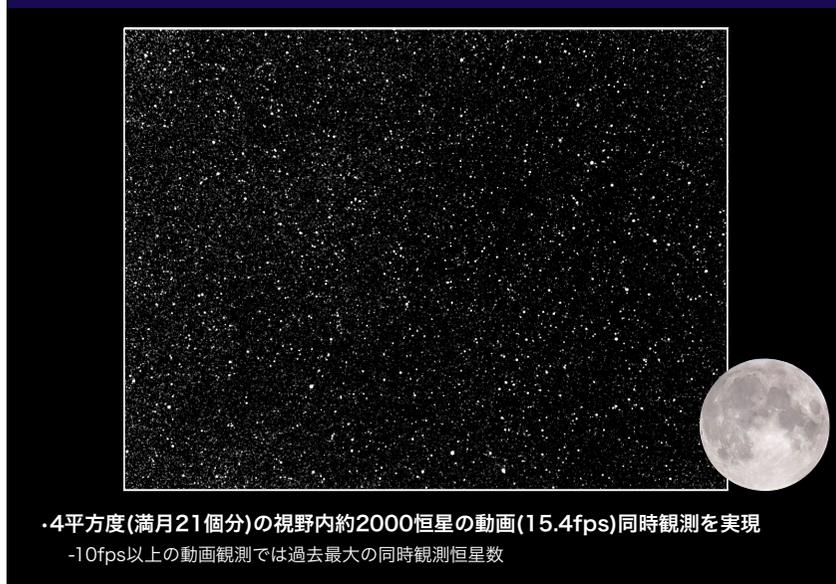
17

宮古島での観測のようす



18

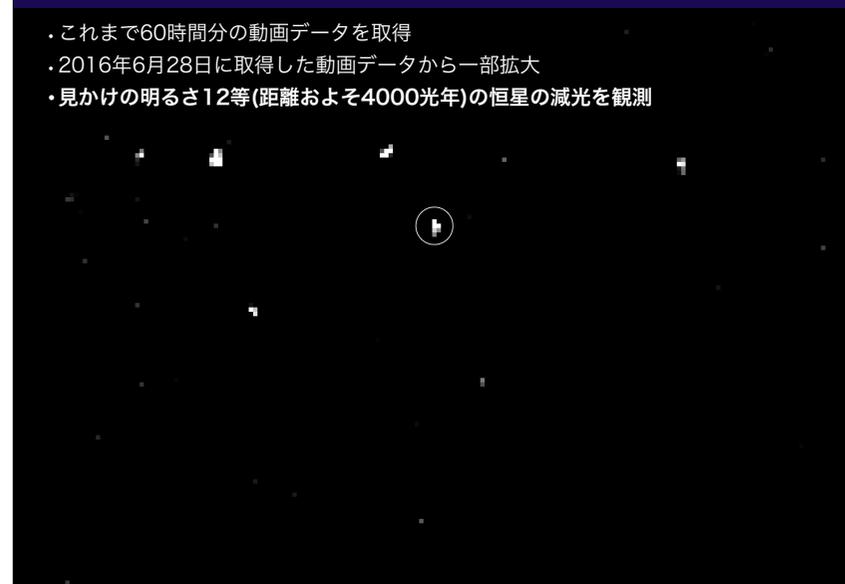
宮古島で観測した星空の『動画』



・4平方度(満月21個分)の視野内約2000恒星の動画(15.4fps)同時観測を実現  
-10fps以上の動画観測では過去最大の同時観測恒星数

19

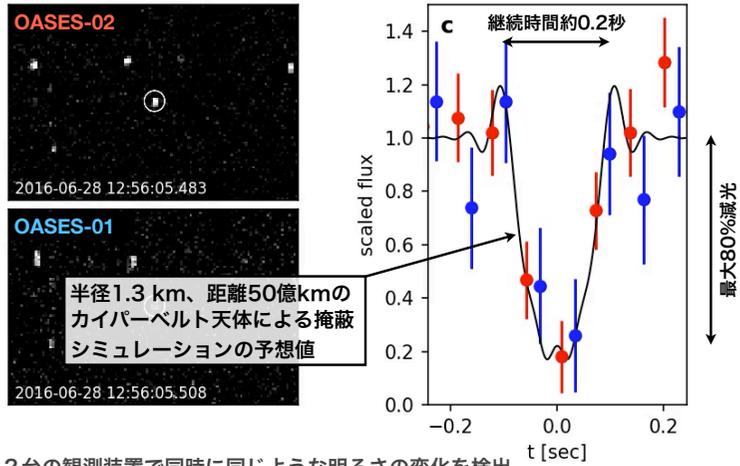
史上初、キロメートルサイズのカイパーベルト天体による掩蔽を発見



- ・これまで60時間分の動画データを取得
- ・2016年6月28日に取得した動画データから一部拡大
- ・見かけの明るさ12等(距離およそ4000光年)の恒星の減光を観測

20

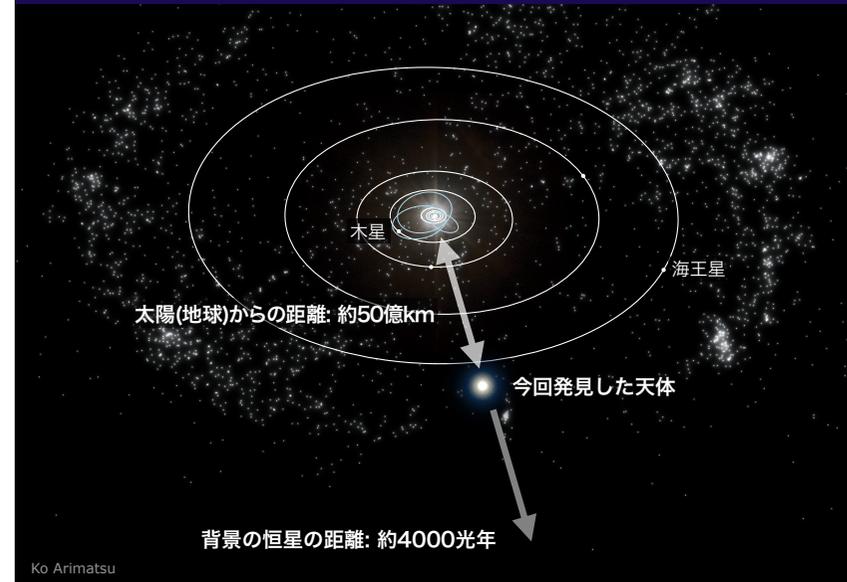
史上初、キロメートルサイズのカイパーベルト天体による掩蔽を発見



- ・2台の観測装置で同時に同じような明るさの変化を検出
- 雲の遮蔽や大気のゆらぎなどの影響では説明不可能
- ・カイパーベルト天体による掩蔽シミュレーション結果とよく一致

21

今回発見されたカイパーベルト天体について



Ko Arimatsu

22

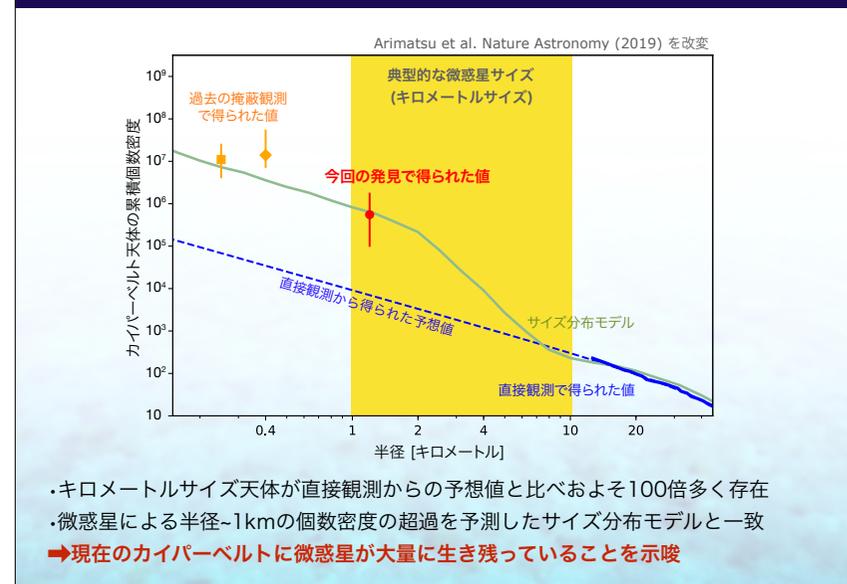
今回発見されたカイパーベルト天体について



Ko Arimatsu

23

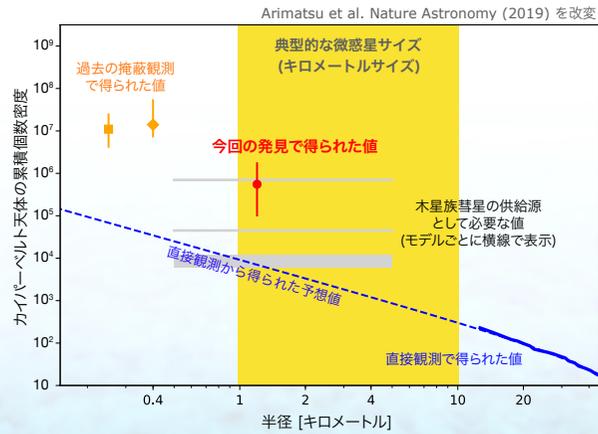
史上初、キロメートルサイズのカイパーベルト天体が大量に存在することを発見



- ・キロメートルサイズ天体が直接観測からの予想値と比べおよそ100倍多く存在
- ・微惑星による半径~1kmの個数密度の超過を予測したサイズ分布モデルと一致
- ➡現在のカイパーベルトに微惑星が大量に生き残っていることを示唆

24

史上初、キロメートルサイズのカイパーベルト天体が大量に存在することを発見



・キロメートルサイズ天体は木星族彗星の供給源として十分な個数密度あることを確認  
 →カイパーベルトが彗星の供給源であることを示唆

25

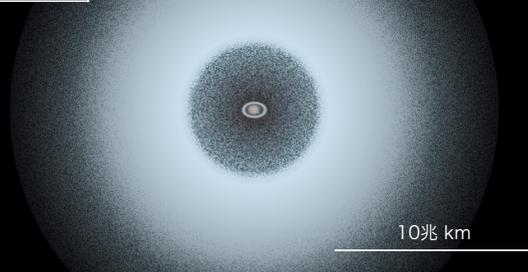


26

今後の展望: カイパーベルト、そしてその先の『太陽系のさいはて』を捉える

- ・アイデアを駆使して太陽系の果ての極小天体を発見することに成功
- ・数多くの掩蔽を追検出することで、カイパーベルト天体の特性をより詳細に把握
  - 微惑星の特性、惑星の形成プロセスの解明
  - 木星族彗星の供給過程の詳細解明
- ・より遠方、太陽系の最果て『オールトの雲』の天体の発見
  - 長周期彗星(および一部短周期彗星)の供給源と考えられている、太陽系さいはての天体群
  - 掩蔽観測でなければ解明不可能な、太陽系最後のフロンティア

オールトの雲



Ko Arimatsu

27

発表論文情報

・題目:  
 A kilometre-sized Kuiper belt object discovered by stellar occultation using amateur telescopes  
 (訳: アマチュア向けの望遠鏡を用いた恒星掩蔽の観測で発見された、キロメートルサイズのカイパーベルト天体)

・著者:  
 有松 亘<sup>1,2</sup>、津村 耕司<sup>3</sup>、白井 文彦<sup>4</sup>、新中 善晴<sup>1,5</sup>、市川 幸平<sup>3,6,7</sup>、大坪 貴文<sup>8</sup>、小谷 隆行<sup>9,1</sup>、和田 武彦<sup>8</sup>、長勢 晃一<sup>8</sup>、渡部 潤一<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>国立天文台, <sup>2</sup>京都大学, <sup>3</sup>東北大学, <sup>4</sup>神戸大学, <sup>5</sup>京都産業大学, <sup>6</sup>コロンビア大学, <sup>7</sup>テキサス大学サンアントニオ校, <sup>8</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>9</sup>アストロバイオロジーセンター

・掲載誌:  
 Nature Astronomy  
 2019年1月28日(日本時1月29日)に掲載  
 - DOI: 10.1038/s41550-018-0685-8  
 - 本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業(科研費)No.JP26247074,15J10278,15J10864,26800112,16K17796,18K13584,18K13606の補助を受けています。  
 - 本研究は沖縄県立宮古青少年の家をはじめ、宮古島市のみなさんの協力を得て実現しました。



28