

2021年9月4日 木曾シュミットシンポジウム2021

# 影と閃光の動画観測

OASES(オアシズ)とPONCOTS(ポンコツ)

Tomo-e と

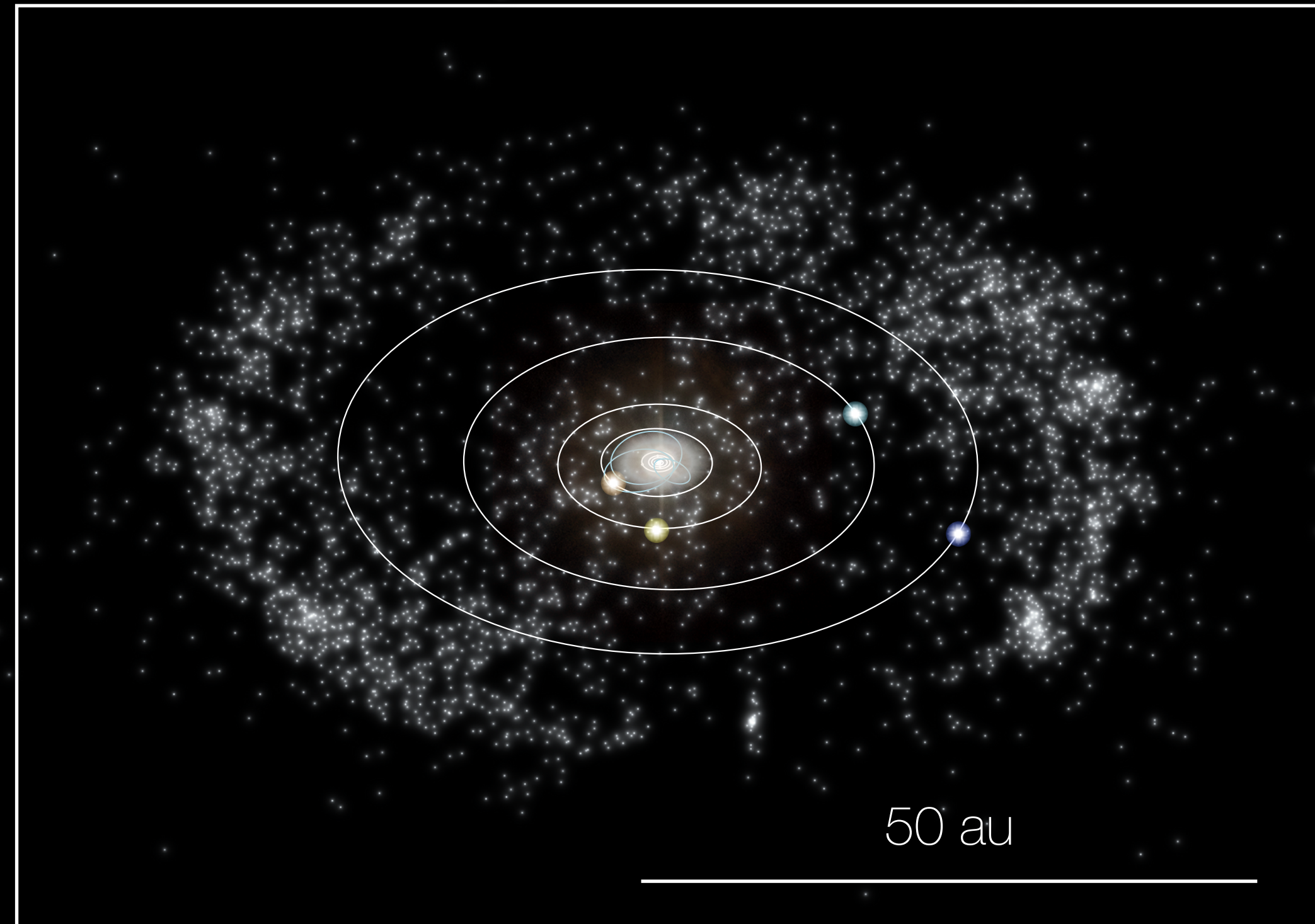
有松 亘 (京都大学 白眉センター)



# 太陽系外縁天体(Trans-Neptunian Objects: TNOs)

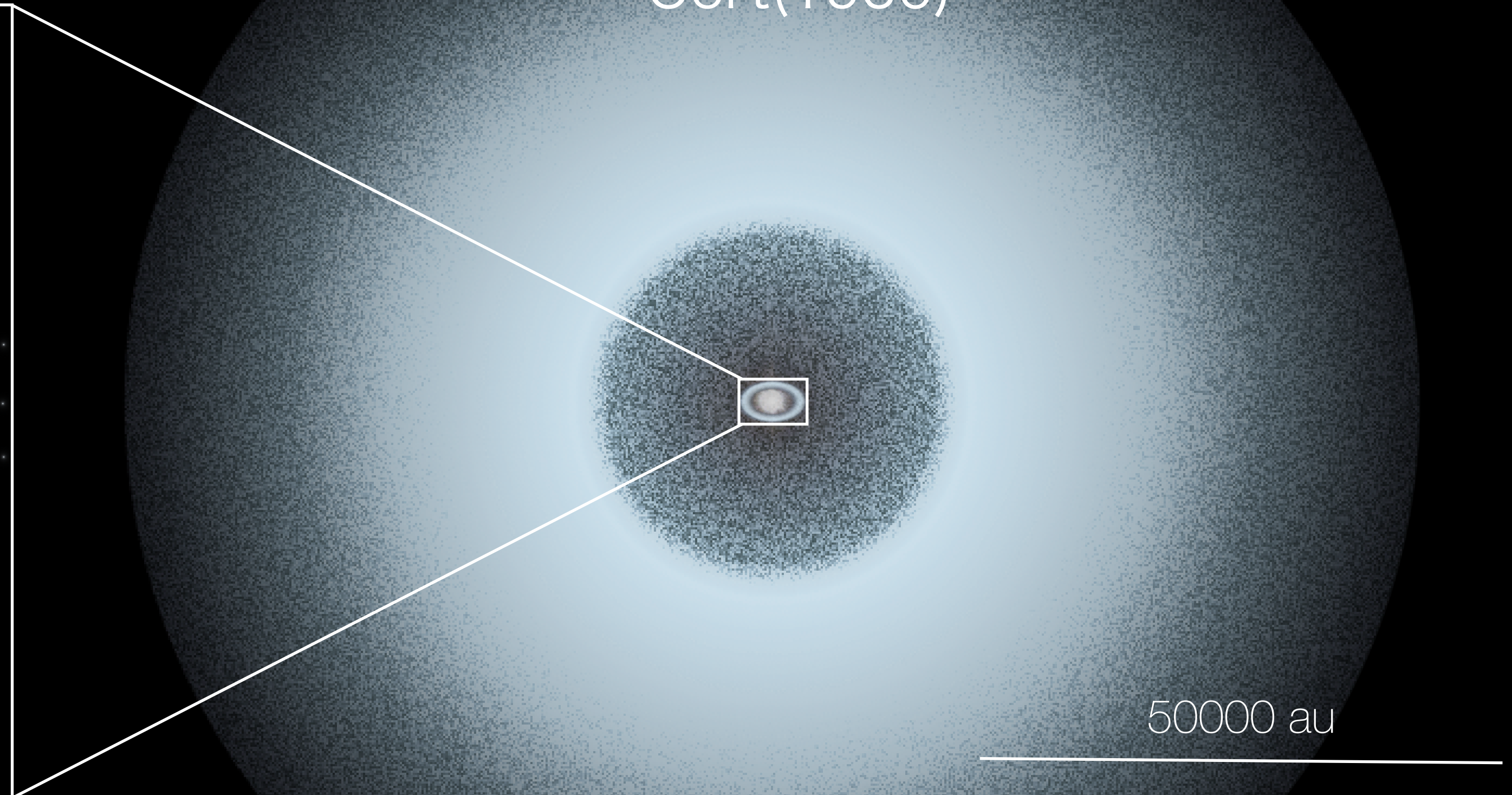
## エッジワース・カイパーベルト

Edgeworth(1943), Kuiper(1951)



## オールトの雲

Oort(1950)



- 黄道(木星族)彗星の彗星核の起源として提唱
- 海王星のすぐ外側に帯状の天体群
- これまで2000以上の天体が発見

- 長周期彗星の彗星核の起源として提唱
- 海王星より遥か遠方に球状の天体群
- $10^{10}$ 以上の天体が存在?

- ・ **カイパーベルト・オールトの雲**

- 微惑星の生き残り、太陽系形成・進化の歴史を知るうえで重要な『化石』

- ・ **1990年代以降、カイパーベルト天体(KBO)の観測や直接探査が実現**

- 1992年以降、2000以上のカイパーベルト天体が発見

- 2015年・2019年にはカイパーベルト天体への直接探査が実現

- ・ **太陽・地球から離れているため、未解明な部分が多く残っている**

- カイパーベルト: 大型天体でも表面環境の観測は困難

- 小サイズ(kmサイズ)の天体は直接検出不可能

- オールトの雲: 直接観測不可能

# OASESの話

Organized Autotelescopes for Seren

Arimatsu et al. 2017, PASJ, 69, 4

Arimatsu et al. 2019a, Nature Astronomy, 3, 301

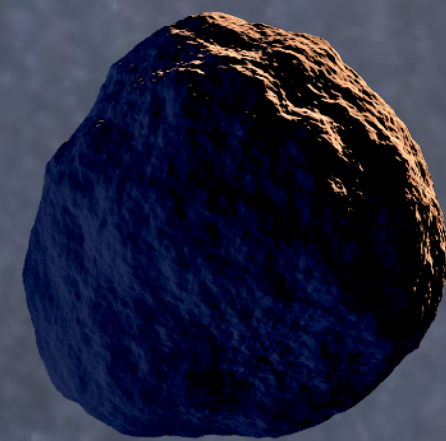
Arimatsu et al. 2021, AJ, 161, 3



# 太陽系外縁天体を観測する方法: 星を隠す瞬間(掩蔽)<sup>えんぺい</sup>を捉える

□ 恒星掩蔽: 太陽系天体が背景の恒星の手前を通過し、恒星の光度を変化させる天文現象

➔ 直接観測困難な太陽系外縁天体の存在・特性の解明を実現



太陽系外縁天体

背景の恒星



□ 未知のkmサイズKBOによる掩蔽: 秒未満の時間スケールで起こる稀で再現性ない現象

➔ 専用の動画観測システム2台を開発し、多数の恒星の同時モニタ観測を実施

# 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

- 広い視野を持ち、多くの恒星を同時に動画観測可能
- 望遠鏡ショップや電気屋さんで買える既製品を活用、新規開発要素ゼロ
- 2台で開発費約360万円

→競合プロジェクトと比較して1/300の開発費

# 2016~2017年: OASESモニタ観測

□ 宮古青少年の家(沖縄・宮古島)の屋上に2台の観測システムを約40 m離して設置



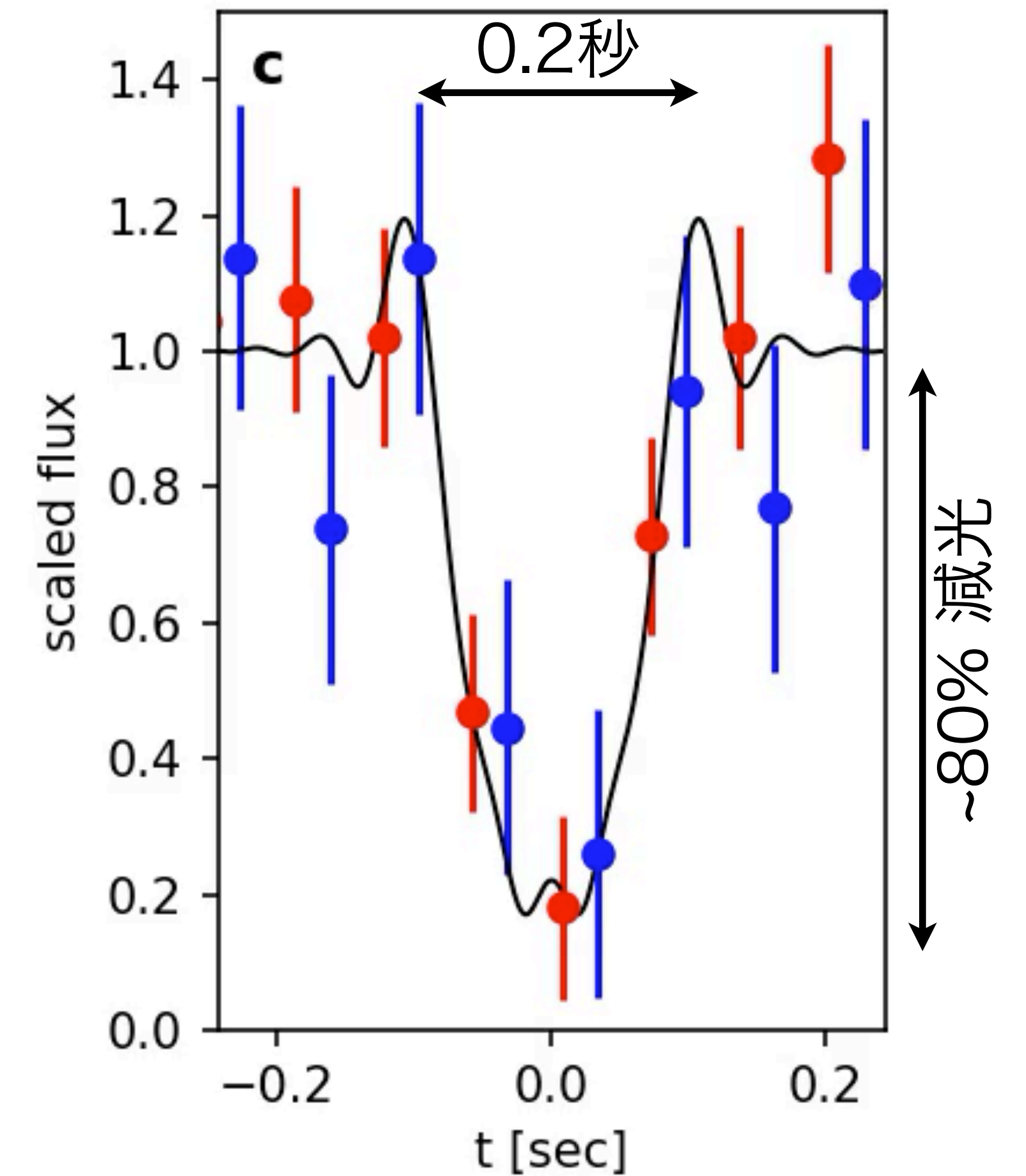
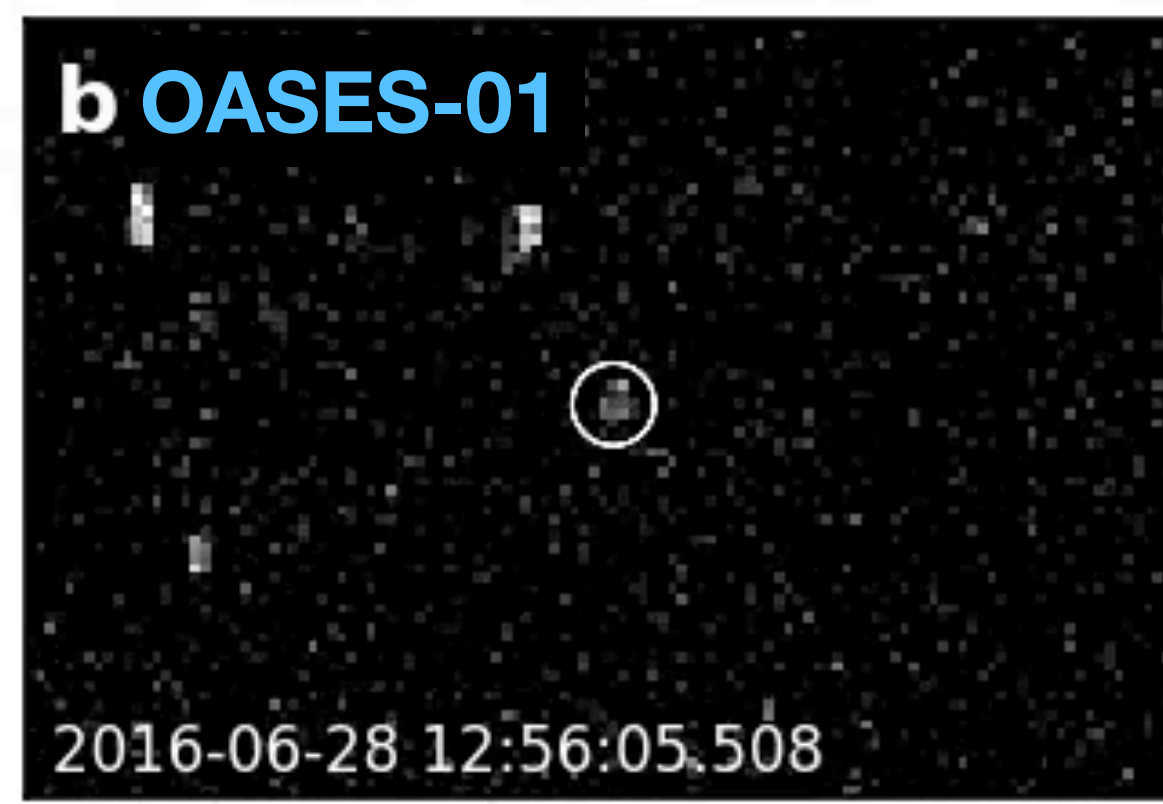
# 2016~2017年: OASESモニ夕観測





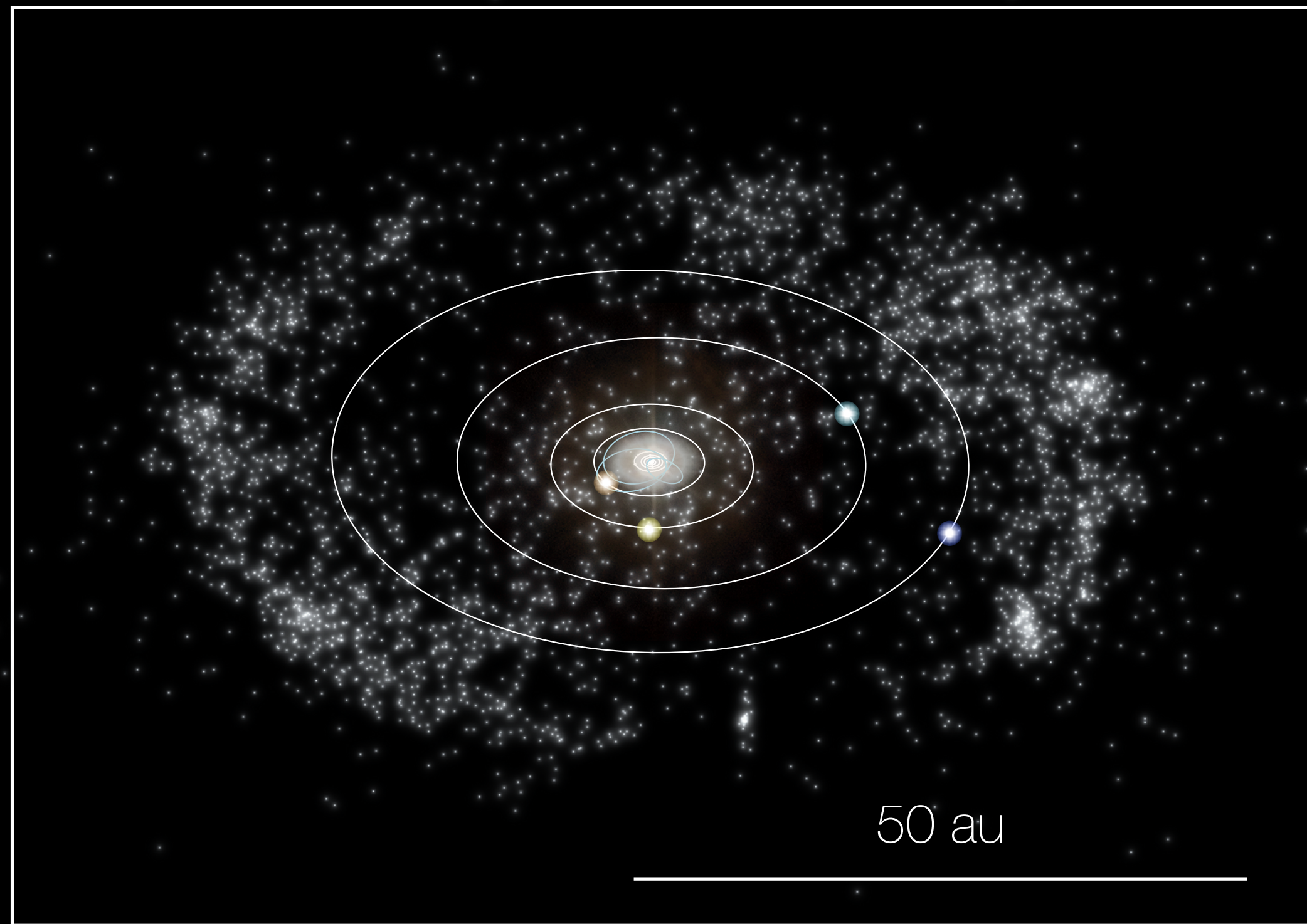
# 史上初、OASESが太陽系外側の小天体による掩蔽を発見

- kmのカイパーベルト天体による掩蔽現象候補の検出に成功  
(Arimatsu et al. 2019a)

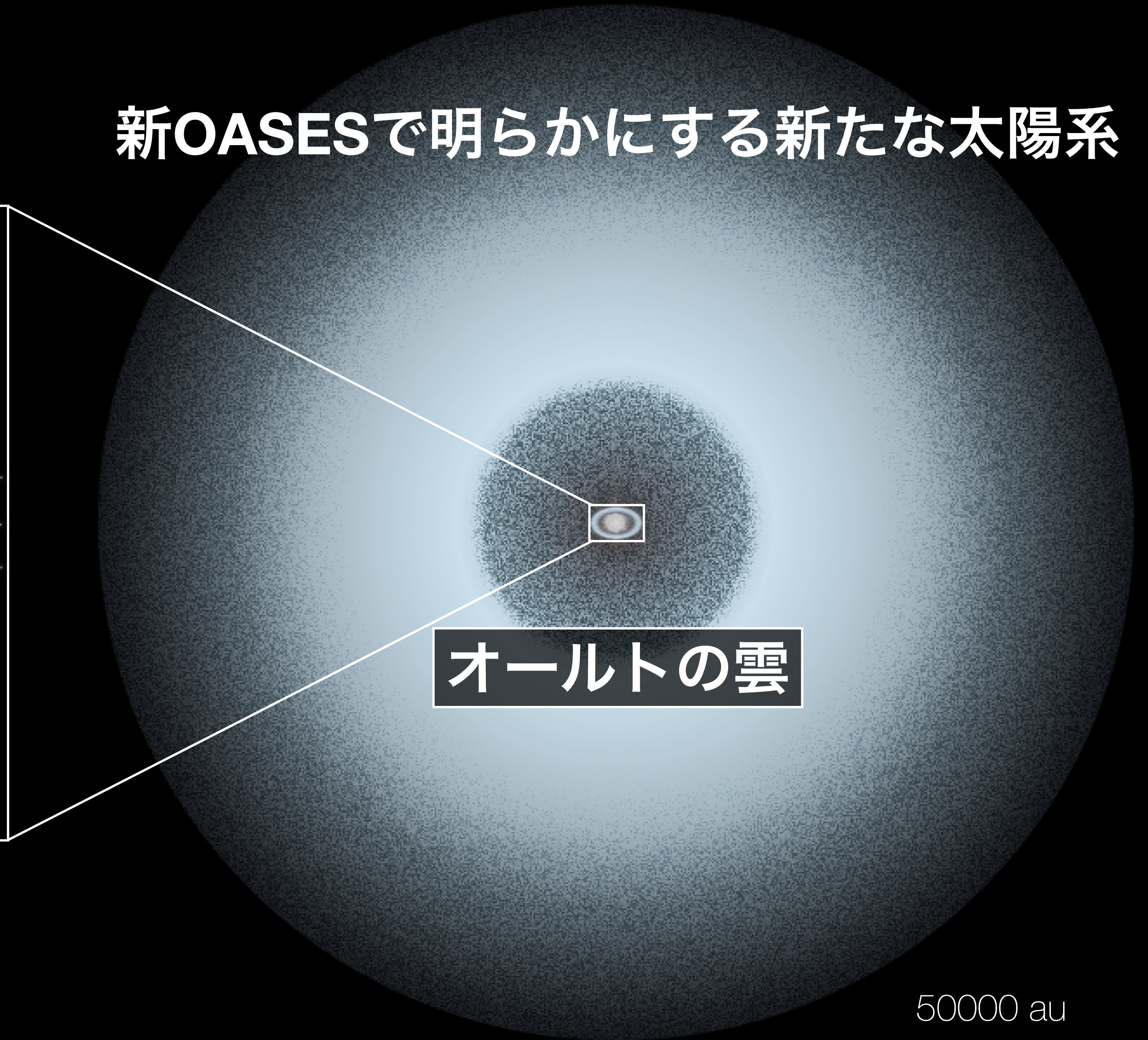


# OASESの最終目標: 太陽系の地図の余白を埋める

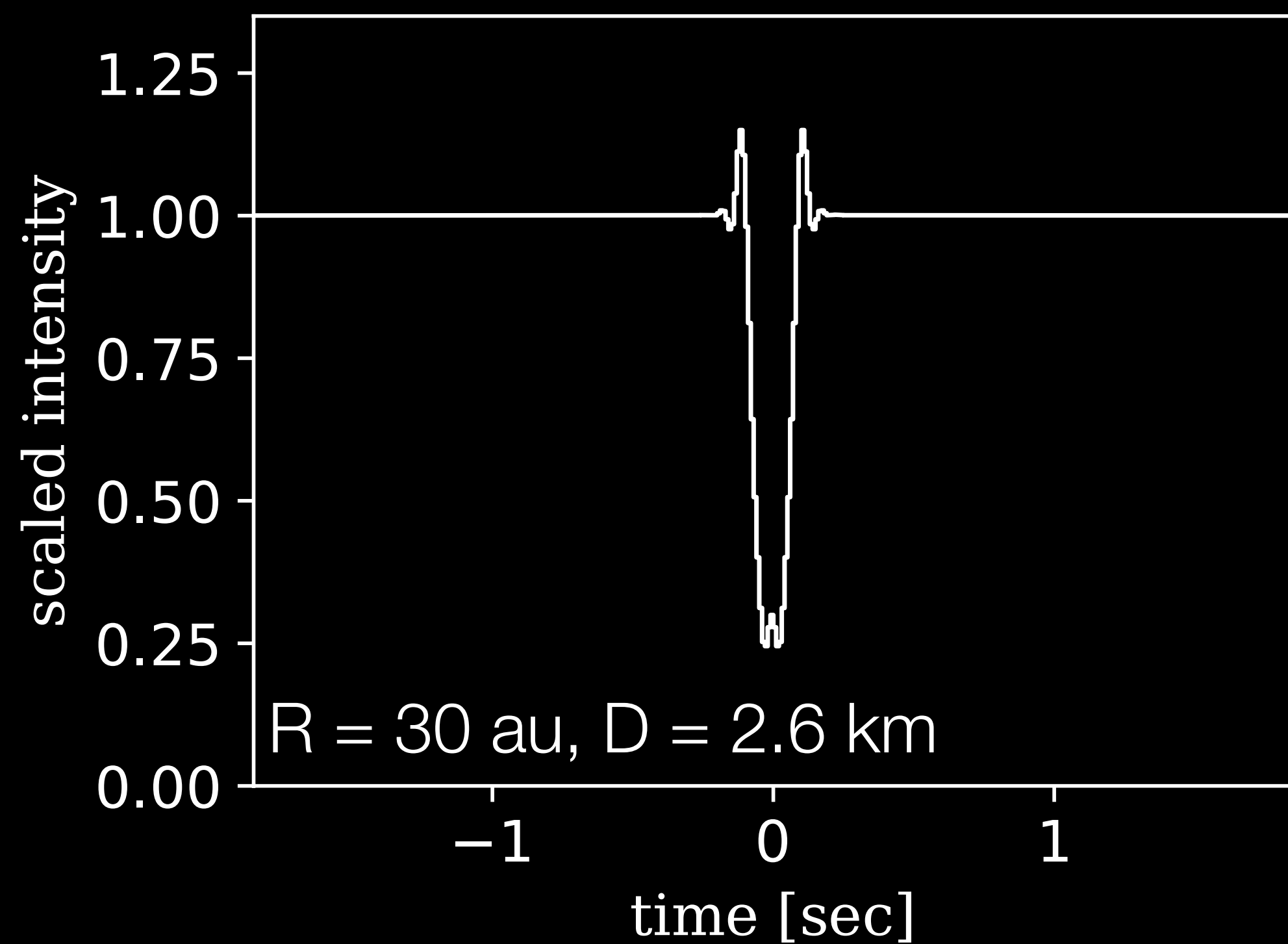
これまで解明されている太陽系



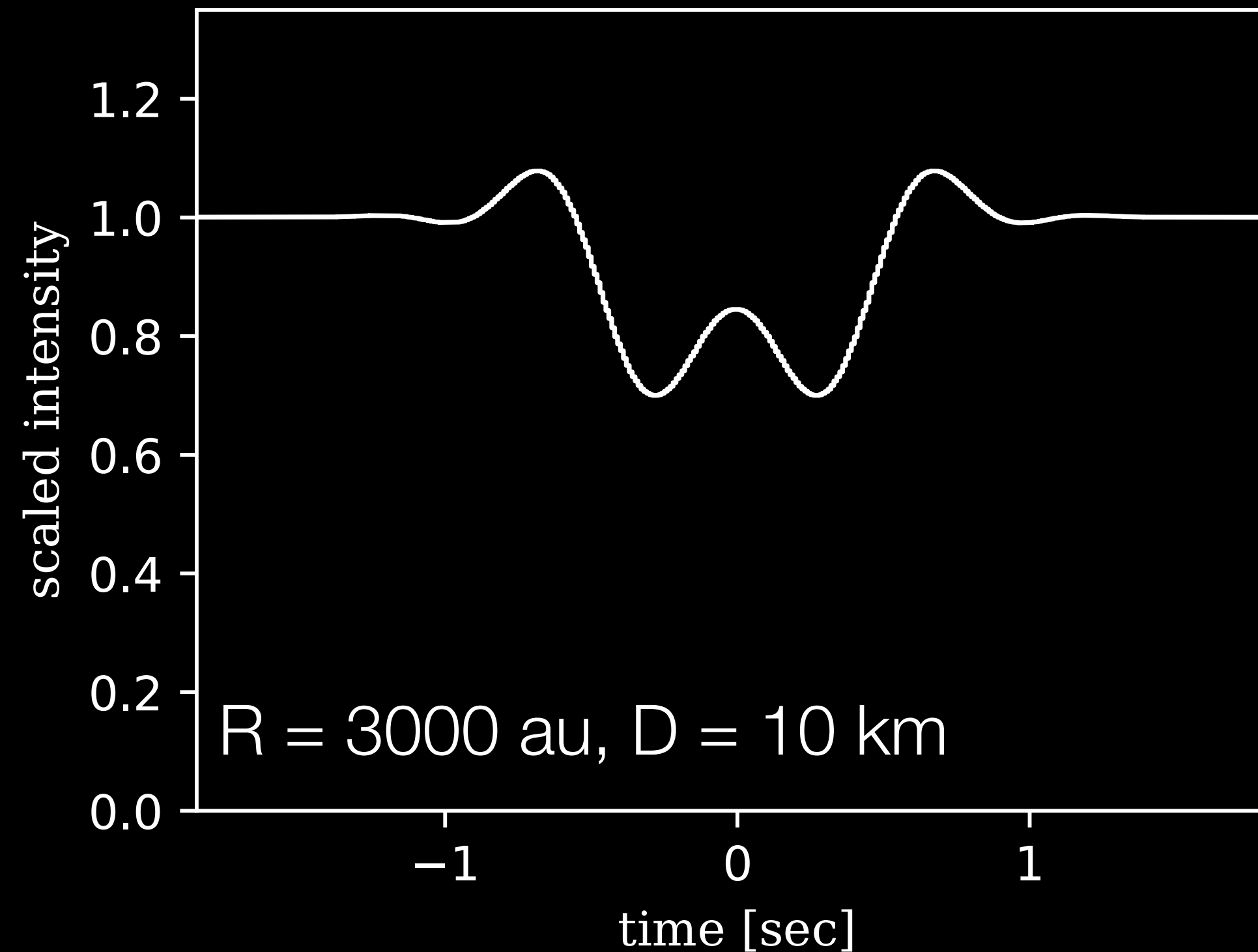
新OASESで明らかにする新たな太陽系



## カイパーベルト天体による掩蔽



## オールト雲天体による掩蔽



- 比較的ゆっくりとした、しかしより小さな光度変化を見つけなくてはいけない…
- オールト雲天体の掩蔽が発生する頻度も(おそらくは)カイパーベルト天体より小さい

**➡OASES観測システムのアップグレード**

# 中小望遠鏡を用いた太陽系外縁天体による恒星掩蔽現象の観測

- 恒星掩蔽観測は、直接観測が困難な遠方の太陽系天体の特性を明かすユニークな観測手法
  - 天体”そのもの”を観測困難な中小望遠鏡でも、太陽系外縁天体の研究を実現
  
- そもそも恒星掩蔽の動画観測は、これまで既知の外縁天体について詳細な特性解明を実現
  - 天体のサイズ、形状の決定
  - 衛星・環(リング)の検索(e.g., Braga-Ribas et al. 2014)
  - 表面大気の有無、大気鉛直構造や大気圧の経年変動の測定(e.g., Arimatsu et al. 2020)
  
- ➡ 動画観測が必要なため、Tomo-eは掩蔽観測に最適な観測装置

# Tomo-eを用いた太陽系外縁天体Quaoarによる 恒星掩蔽動画観測

Arimatsu et al. 2019b, AJ, 158, 236

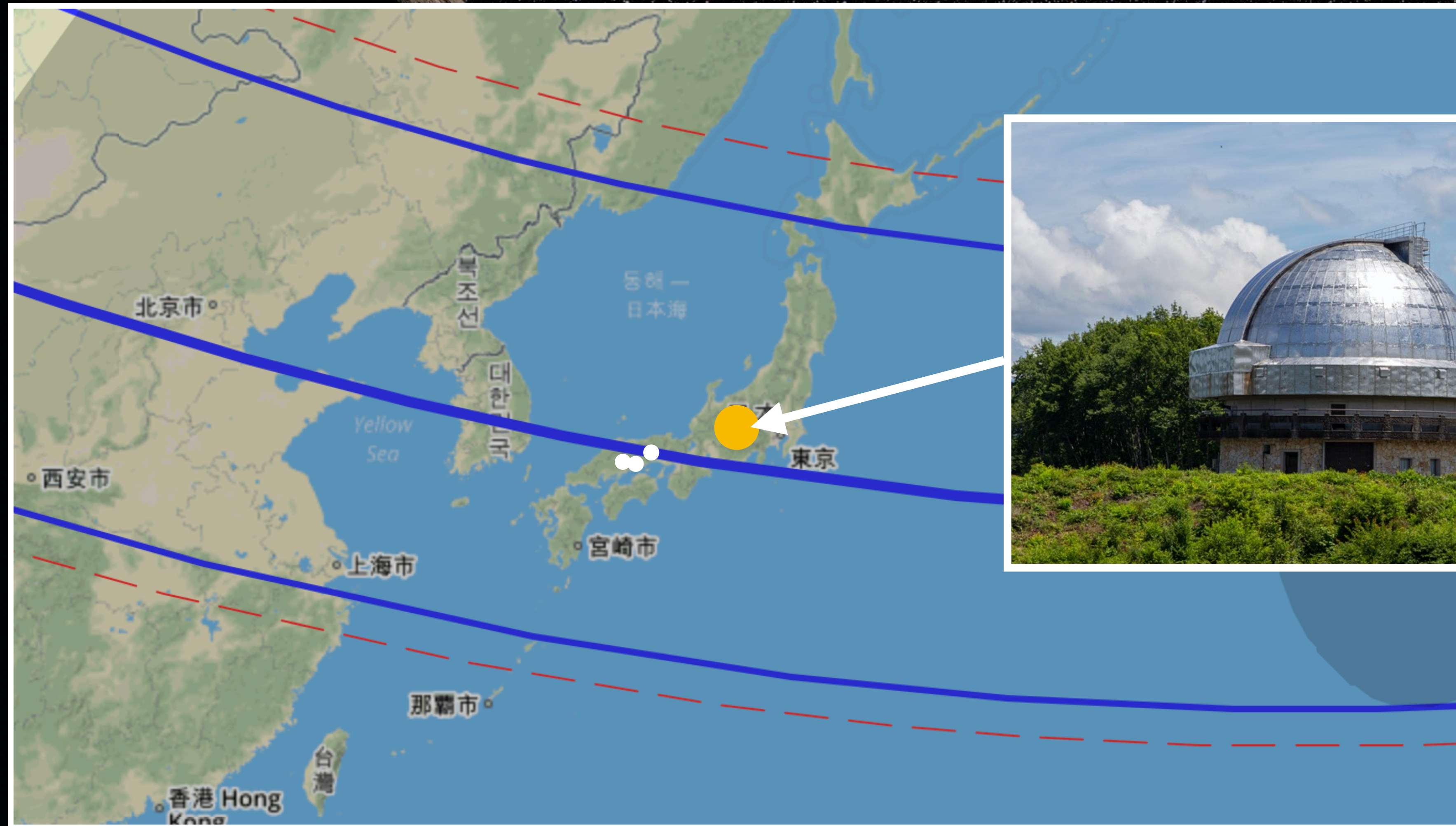
# 準惑星候補天体クワオアー(50000 Quaoar)

- 半径およそ560kmのカイパーベルト天体 (Braga-Ribas+ 13)
- 宇宙風化をうけやすい結晶質H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>・H<sub>2</sub>O氷の発見(e.g., Jewitt & Luu 2004)
- 大気? 氷の火山?

# クワオアーによる恒星掩蔽@2019年6月28日(Arimatsu et al. 2019b)

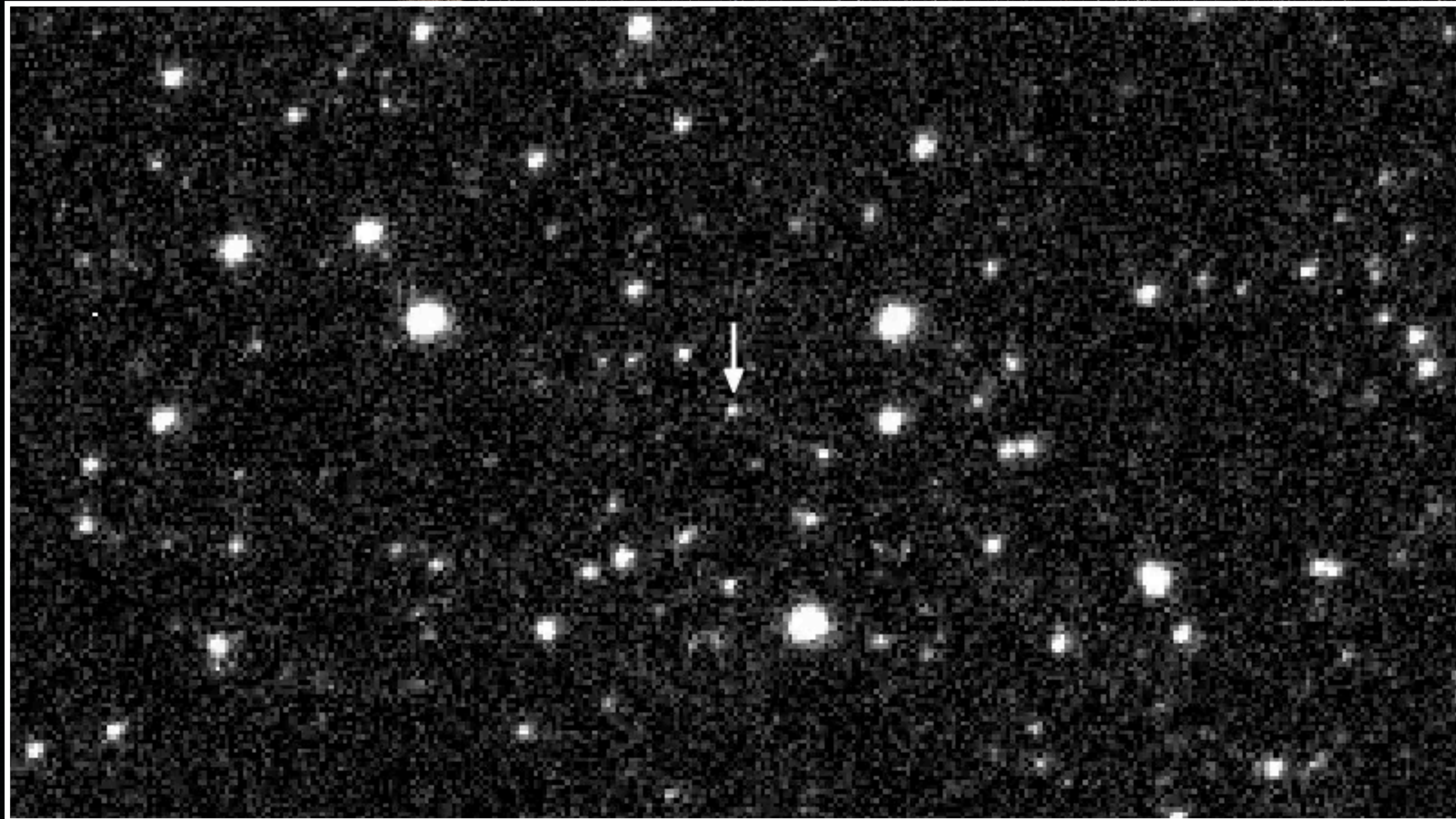
□ 背景星:  $G_{\text{mag}} = 15.7$ の掩蔽を国内4箇所ですべて同時観測

□ 唯一好天に恵まれた木曾観測所にて1.05mシュミット/Tomo-e Gozenで観測成功



# クワオアーによる恒星掩蔽@2019年6月28日(Arimatsu et al. 2019b)

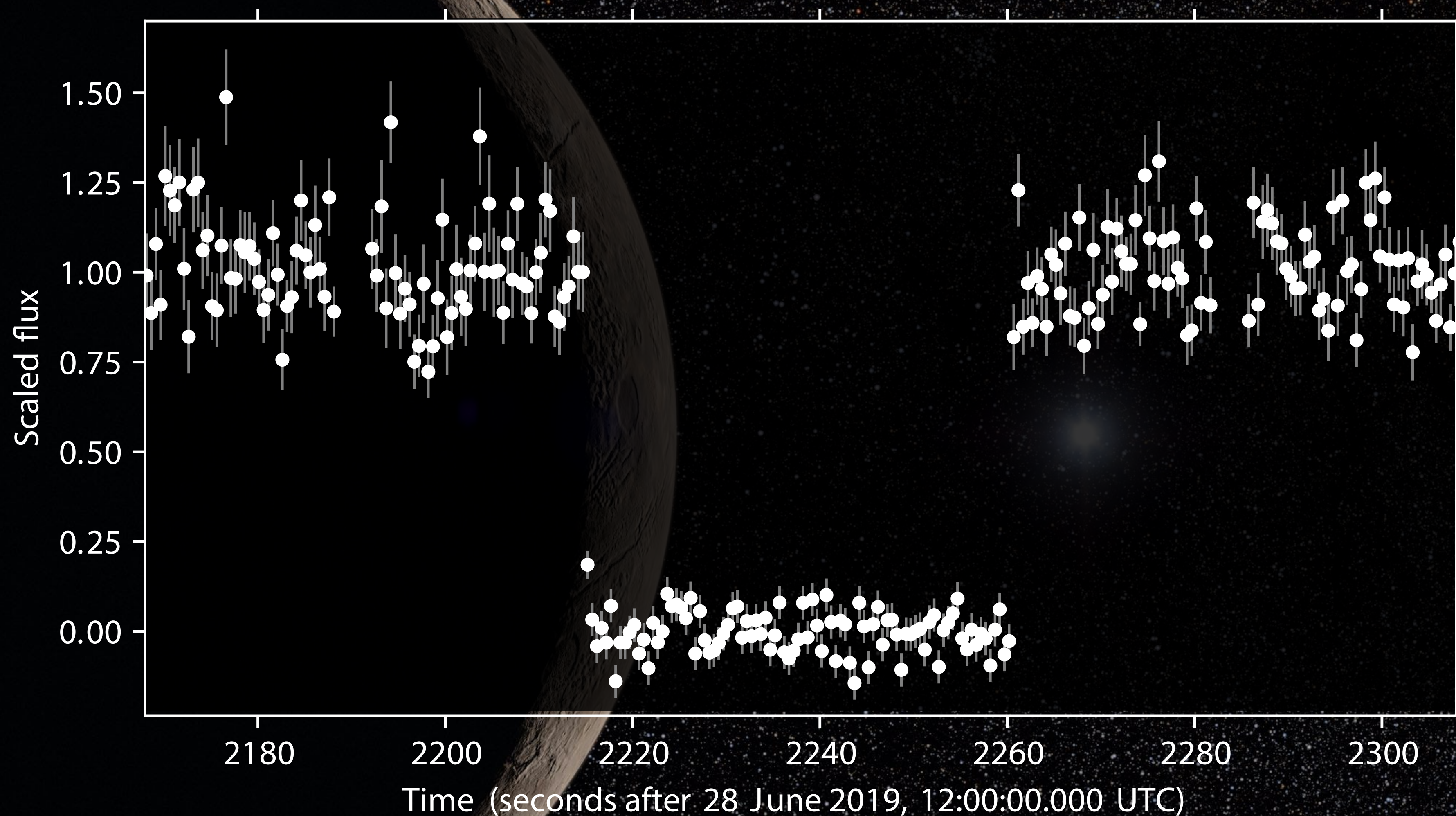
- 背景星:  $G_{\text{mag}} = 15.7$ の掩蔽を国内4箇所でも同時観測
- 唯一好天に恵まれた木曾観測所にて1.05mシュミット/Tomo-e Gozenで観測成功





# クワオアーによる恒星掩蔽@2019年6月28日 (Arimatsu et al. 2019b)

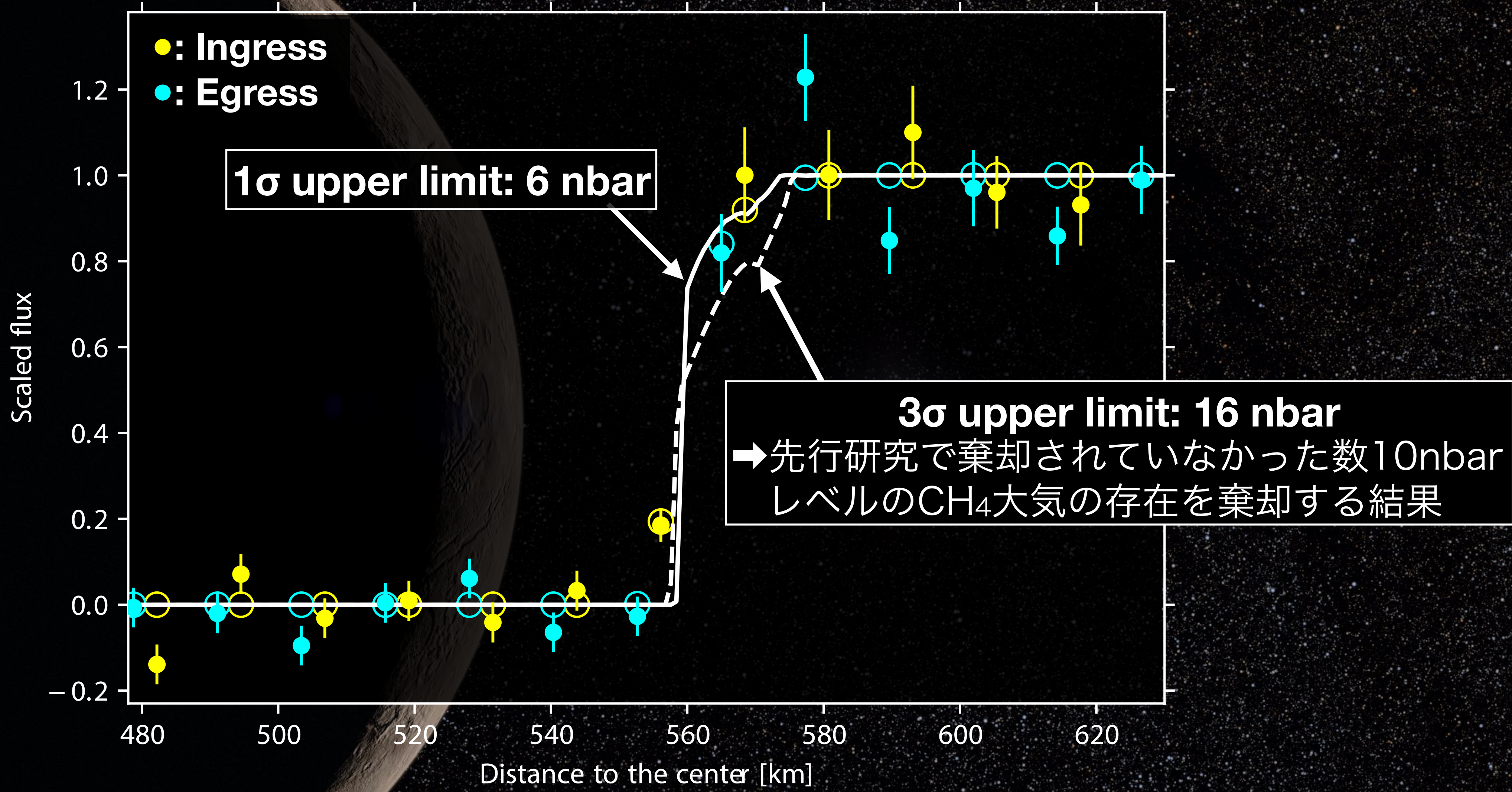
- 木曾観測所にて1.05mシュミット/Tomo-e Gozenで観測された掩蔽の光度曲線
- $G = 15.7$  magの非常に暗い背景星ながら高精細な高速(2 Hz)測光観測に成功



# クワオアーによる恒星掩蔽@2019年6月28日(Arimatsu et al. 2019b)

□ 潜入/出現時の光度曲線に大気屈折モデルfit(表面気圧をfree parameter)

➡ 表面大気圧に最も強い観測的制約を得ることに成功



# 最近、占有指向観測できる小さな望遠鏡がほしかったんです

- Tomo-eやTriCCSの出現で、可視動画観測の環境が急速に進歩
- Tomo-eやTriCCSを使うまでもない観測や、コスト・リスクの大きな指向観測
  - 発生率/観測成功率の低いイベント(既知TNOによる掩蔽の多くは発生確率10%未満)
  - 明るいターゲット
  - 低空・昼間など、悪条件下での観測の実施
  
- OASESは広視野掩蔽モニタに特化しているので、指向観測だと使い勝手が悪い
  
- 最近の民生品小型CMOSセンサで超高感度・高速観測が実現できそう
- ➡ より小型・安価な装置を用いて実験的な試みを手軽に実施し、  
Tomo-eなどを用いた新たなサイエンスの開拓につなげたい。

# PONCOTSの話と閃光の動画観測

Planetary Observation Camera for Optical Transient Surveys

# PONCOTS観測風景

世にき子PC

カメラ部

口径280mm

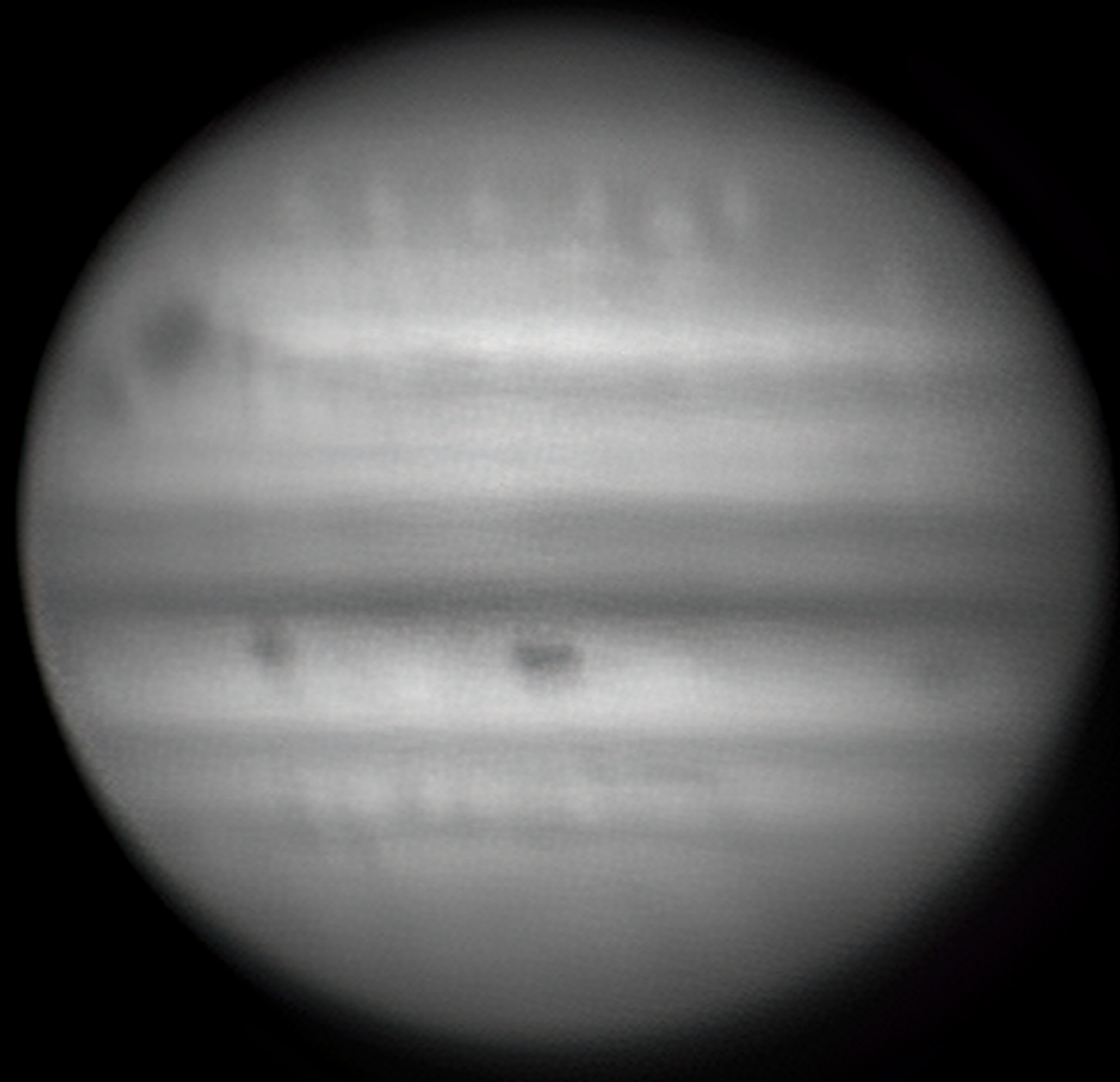
フユ三力也

京都大学理学4号館屋上にて観測を実施

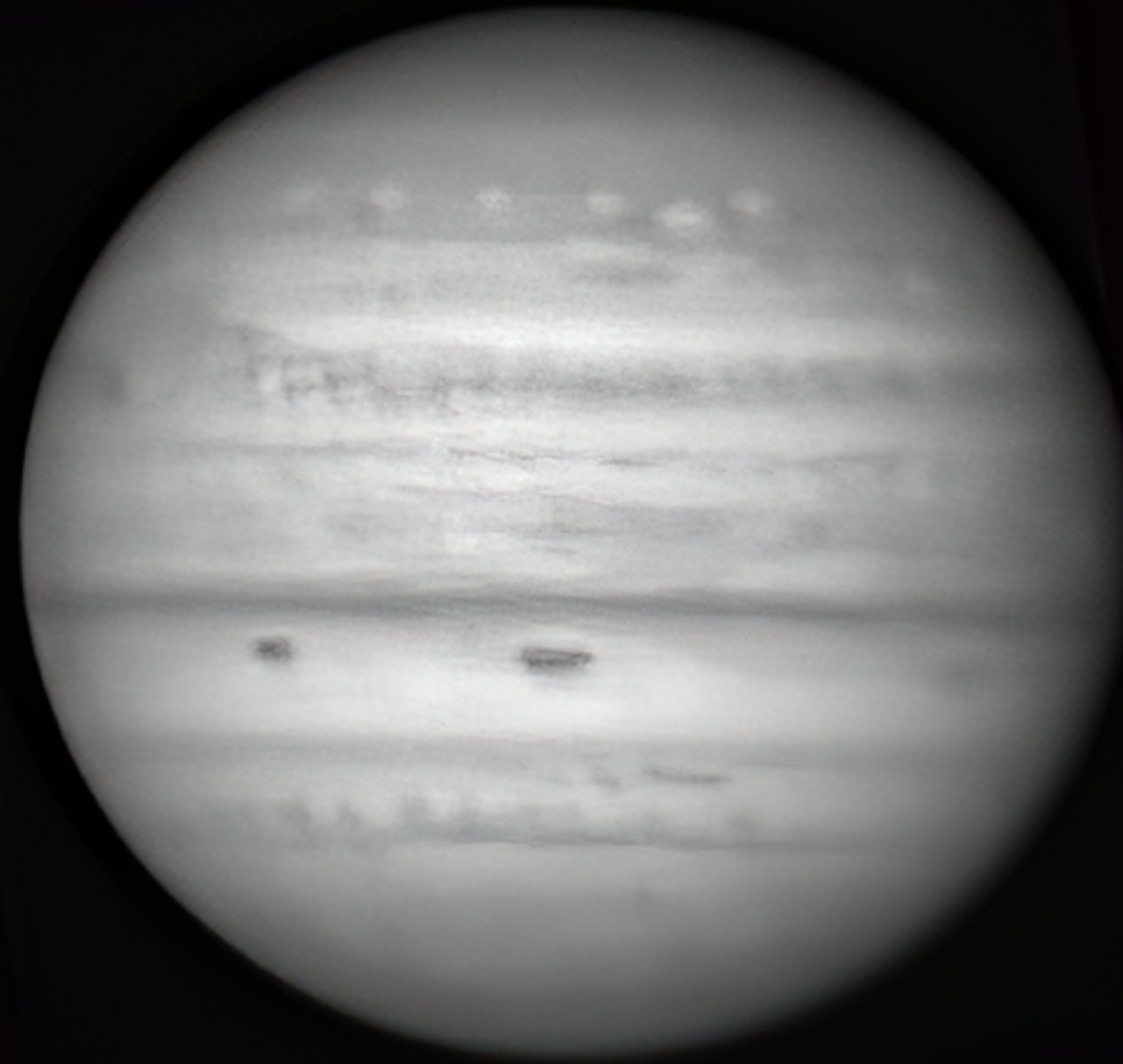


# PONCOTSで撮影した木星

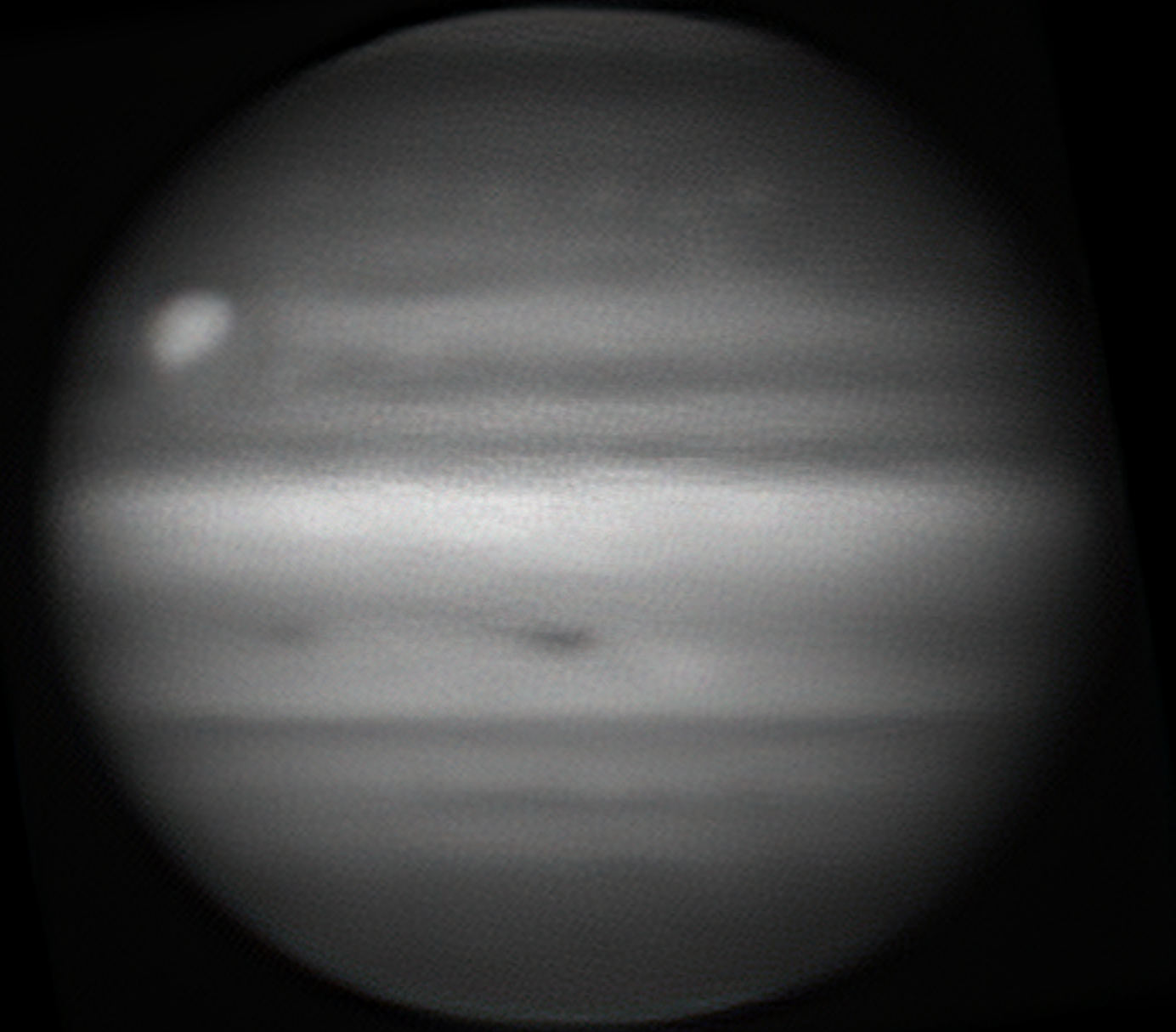
400-505 nm



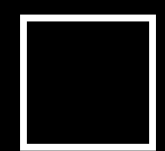
505-650 nm



CH<sub>4</sub> (889 nm)



実際には505-650nmバンドとCH<sub>4</sub>(889 nm)狭帯域バンドの2色モニタ観測を実行



## □ 小中望遠鏡+動画観測は、太陽系外縁部/外側太陽系の解明にユニークな貢献

- 直接観測の困難な太陽系外縁天体の研究を実現

## □ Tomo-e+小望遠鏡システム(OASES+PONCOTS)で太陽系の謎に挑戦

- Tomo-e: 既知外縁天体による恒星掩蔽を通して詳細な表面特性の解明

- OASES: 未知の『カイパーベルト』『オールトの雲』天体の掩蔽モニタ観測を実現

- PONCOTS: 惑星衝突閃光、Tomo-eを用いるまでもない明るい恒星による掩蔽、 $+\alpha$