

# TAO/MIMIZUKU を用いた小天体の含水鉱物探査計画

上塚 貴史<sup>1</sup>, 臼井 文彦<sup>2</sup>, 宮田 隆志<sup>1</sup>, 長谷川 直<sup>3</sup>, 高遠 徳尚<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東大天文センター <sup>2</sup> 東大理 <sup>3</sup> 宇宙科学研究所 <sup>4</sup> 国立天文台

## 概要

我々は太陽系の水の分布をもとに太陽系の形成過程を探るべく、地上望遠鏡観測による太陽系内小天体の含水鉱物サーベイを計画している。含水鉱物の有無を調べるには波長 2.7 – 2.8  $\mu\text{m}$  に見られる吸収バンドを分光観測する。この波長帯は地上観測が通常困難だが、標高 5640 m に位置する東京大学アタカマ天文台 (TAO) では可能となる。この観測を実現すべく、我々は TAO 6.5 m 望遠鏡搭載赤外線観測装置 MIMIZUKU に近赤外線分光機能の新規実装を計画している。その装置仕様と感度を検討し、計画実現の見込みを得た。本格サーベイの開始は 2019 年度を目指している。

## 1 TAO/MIMIZUKU による含水鉱物探査

含水鉱物は無水鉱物と液体の水が反応することで形成される鉱物であり、小惑星における含水鉱物の存在は観測的にも指摘がある [1, 2]。含水鉱物は水の昇華温度以上でも安定なため、含水鉱物形成後の温度変化にもリセットされない水のマーカーとなる。このため、多くの小惑星について含水鉱物の有無を調べる事で太陽系における水の分布を探ることができ、太陽系形成過程における小天体の熱史や軌道進化を探る上で重要な情報を得ることができる。

含水鉱物を十分な数の小惑星について探るには、十分な観測時間を確保できる地上観測が有効である。含水鉱物の有無を探るには、波長 2.7 – 2.8  $\mu\text{m}$  (2.7  $\mu\text{m}$  帯) に存在する吸収バンドを分光観測する。しかし 2.7  $\mu\text{m}$  帯は地球大気の水の吸収を強く受けるため、地上で観測するには大気の水蒸気量 (可降水量) が少ない高山や南極で観測する必要がある。標高 5640 m にある東京大学アタカマ天文台 (The University of Tokyo Atacama Observatory; TAO) [3] はこのようなサイトの一つで、2.7  $\mu\text{m}$  帯に大気の透過帯が現れ含水鉱物の吸収が観測できる (図 1)。そこで我々は TAO からの含水鉱物サーベイを計画し、TAO 6.5 m 望遠鏡搭載の赤外線観測装置 Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe (MIMIZUKU; 図 2)[4] に 2.7  $\mu\text{m}$  帯の分光に特化した分光観測モードの実装を進めている。

## 2 装置仕様の検討

小惑星の分光スペクトルから含水鉱物の吸収バンドを抽出するためには、周辺の波長域を含めたスペクトルの形状を正確にとらえ、正しくベースラインをきめる必要がある。そのための分光モードの仕様と光学系の検討を行った。

MIMIZUKU ではグリズムを用いたスリット分光を行う。この場合、スリット幅が波長分解能・スペクトルの精度・感

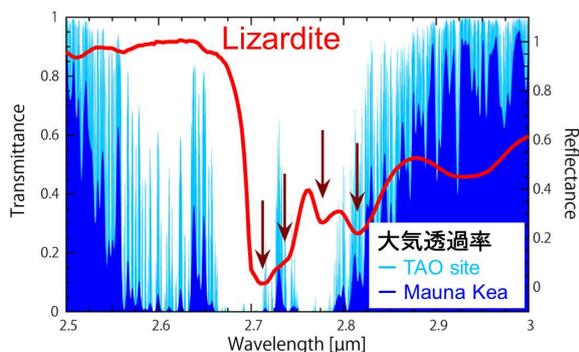


図 1 含水鉱物 Lizardite の反射スペクトルと大気透過率



図 2 TAO 搭載赤外線観測装置 MIMIZUKU

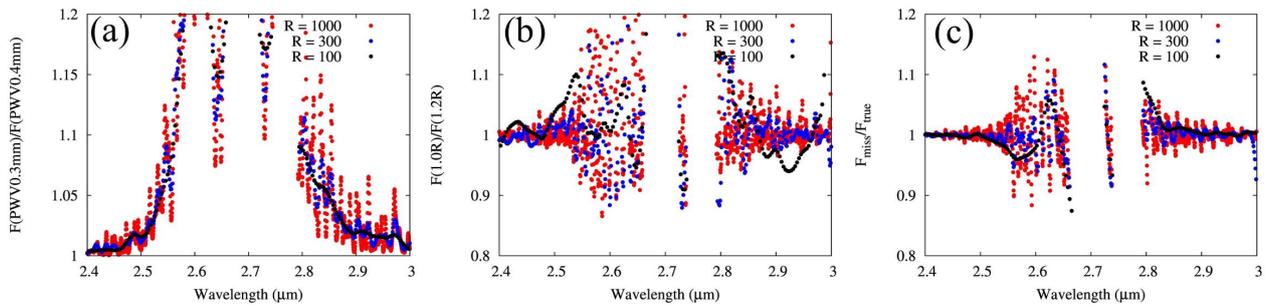


図3 様々な要因によるスペクトル変化. (a) 0.1 mm の可降水量変化, (b) 20% のシーイング変化, (c) 0.3 pix の波長較正誤差.

度を決定する上で重要となる. ここではスペクトル形状の決定精度を優先し, 星像より大きい幅のスリットを採用した. これにより波長分解能は星像サイズ (シーイングサイズ) とグリズムによって決まることになる. 次に様々な要素の変化に伴うスペクトルの安定性を検討し, 波長分解能率 ( $R = \lambda/\Delta\lambda$ ) を決定した. 図3に示すように, スペクトルは可降水量, シーイング, 波長較正誤差によって変化し, その変化は  $R$  に依存する. 検討の結果,  $2.7 \mu\text{m}$  帯を安定的に観測するには  $R$  が 600 以上あることが望ましい事がわかった. さらにスペクトルのベースラインの決定に必要な波長域を考慮し,  $2.7 \mu\text{m}$  帯分光モードを, 波長  $2.40 - 2.95 \mu\text{m}$  を  $R = 620$  でカバーするものと決定した. また,  $2.7 \mu\text{m}$  帯の観測安定性は劣るが, 水氷の観測に有効な KL 分光モード ( $\lambda = 2.1 - 4.0 \mu\text{m}$ ,  $R = 210$ ) の搭載もあわせて決定した. 設計の結果, これらのモードの実装に必要なグリズムは図4のような構造を持つシリコングリズムで実現できることがわかった.

### 3 予想感度とサーベイ計画

それぞれの分光モードについて, 背景光リミットでの予想感度を計算しサーベイ規模を検討した. 期待される感度は,  $2.7 \mu\text{m}$  帯の透過帯では  $1\sigma$ -1sec でおおよそ  $1 \text{ mJy}$  となった (図5). この感度があれば  $50 \text{ km}$  クラスのメインベルト天体を  $400$  秒で観測可能であり,  $50$  夜程度で約  $300$  天体の小惑星について観測できる. これにより現存する小惑星の含水鉱物観測データをおよそ一桁増やすことが可能となる. このようなデータセットが実現すれば, 小惑星における含水鉱物の分布について統計的に議論することもできるようになる.

MIMIZUKU の完成は 2015 年度を見込んでいる. その後 MIMIZUKU は, 装置の立ち上げと初期観測運用のためにすばる望遠鏡への持ち込みを計画しており, すばる望遠鏡での観測においても MIMIZUKU の正確な大気透過率較正機能 [4] により  $2.7 \mu\text{m}$  帯が観測できる可能性がある. TAO への MIMIZUKU の輸送は TAO 望遠鏡完成後を予定しており, 本格的なサーベイ観測の開始は 2019 年頃を予定している.

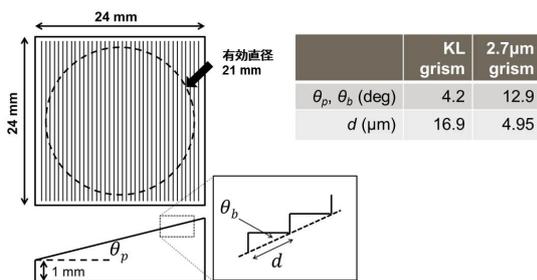


図4 グリズムの仕様

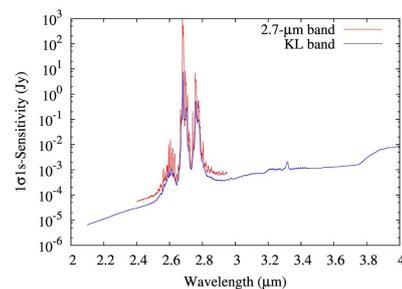


図5 背景光リミットを仮定した時の予想感度

### 参考文献

- [1] Hiroi et al., M&PS, 31, 321 (1996)
- [2] Takir & Emery, Icarus, 219, 641 (2012)
- [3] Yoshii et al., Proc. of SPIE, 9145, 914507 (2014)
- [4] Kamizuka et al., Proc. of SPIE, 9147, 91473C (2014)