

Current status of Haleakala Observatory; Instrumentation and its future perspective

T. Sakanoi, M. Kagitani, T. Obara, S. Okano, H. Nakagawa, and Y. Kasaba (Tohoku Univ.)
Y. Yoneda (Kiepanheuer Inst. , Germany)

We report the current status of the T40 and T60 telescope activities including the onboard instruments as well as the updates of 1.8-m aperture telescope PLANETS project at Haleakala dedicated to planetary and exoplanetary observations. Continuous monitoring is essential to understand the planetary atmospheric phenomena, and therefore, own facilities with even small- and medium sized telescopes and instruments are important. The location of our telescopes, the Haleakala High Altitude Observatories at the summit of Mt. Haleakala is sufficiently high (3050m), and one of the best sites with clear sky, good seeing, and low humidity conditions. Operation is relatively easy because we can access to the airport, major towns, and a good engineering facility, ATRC (Advanced Technology Research Center) of University of Hawaii/Institute for Astronomy within 1-2 hour drive.

On the summit, our group is now operating a 40 cm Schmidt-Cassegrain (T40) and 60 cm Cassegrain (T60) telescopes. The T40 telescope is mainly observing faint atmospheric features such as Io torus, Mercury, Lunar sodium tail, and so on. From fall 2013, ISAS Hisaki/Exceed EUV space telescope run on the orbit. It has uniquely provided long-term Io torus activities for this project, including the identification of Io volcanic enhancement in January - March 2015. The T60 telescope was moved from Iitate Observatory and started the operation from Sep. 2014. This telescope is now observing planetary atmospheres in infrared with newly developed Infrared heterodyne spectrometer (MIRAH). In addition, high- and medium-resolution grating spectrometers with coronagraph to observe the Io's sulfur ion torus, Io's sodium cloud, and the Enceladus oxygen and water ion torus. Further, the polarization imager called DIPOL-2 is installed to measure the weak polarization of exoplanetary light. These activities are open to any possible collaborators. For example, guest observers visited for Jupiter (Dr. Asada, Kyushu Inst. Univ.), Mercury (Dr. Kameda and colleagues, Rikkyo Univ.) and exoplanets (Dr. Berdyugin, Univ. Turk, Finland, and Dr. Berdyugina, KIS, Germany) observations. Our and guest investigators' observations are also linked to Venus (Akatsuki), Mars (Mars Express, MAVEN) and Jupiter (Juno) in the 2015-2016 observation period.

In addition, we are currently carrying out a new telescope project PLANETS. This is a 1.8m off-axis telescope, which is under the international consortium mainly formed with IfA/UH and KIS (Germany). Although the schedule is delayed by the mirror forming etc., in the earliest case, we will see the first light in the late 2017.

Any collaboration for science and instrument is very welcome to whom have interest to use our facilities. To encourage the collaboration, Planetary Plasma and Atmospheric Research Center (PPARC) of Tohoku University starts to call for collaborative research programs with funding support. For the applications and guidelines, refer to the PPARC web site at <http://pparc.gp.tohoku.ac.jp>.

Symposium on Planetary Science 2017
Poster#24

Current status of Haleakala Observatory; Instrumentation and its future perspective ハレアカラ観測所の現状; 観測装置と将来展望

T. SAKANOI, M. KAGITANI, T. OBARA, S. OKANO,
H. NAKAGAWA, AND Y. KASABA (TOHOKU UNIV.)
Y. YONEDA (KIEPANHEUER INST., GERMANY)



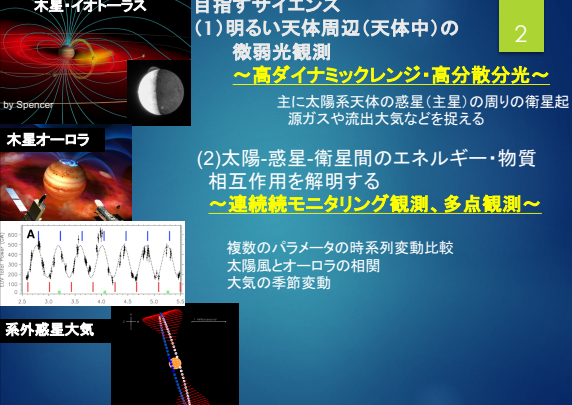
木星・イオトラス

目指すサイエンス
(1) 明るい天体周辺(天体中)の
微弱光観測
~高ダイナミックレンジ・高分散分光~
主に太陽系天体の惑星(木星)の周りの衛星起源ガスや流出大気などを捉える

木星オーロラ

(2) 太陽・惑星・衛星間のエネルギー・物質相互作用を解明する
~連続モニタリング観測、多点観測~
複数のパラメータの時系列変動比較
太陽風とオーロラの相関
大気の時節変動

系外惑星大気



ハワイ・ハレアカラ観測所 東北大観測施設

- ▶ 連続観測 - 現象の時空間変動観測と因果関係解明
日々変動、季節・年・太陽サイクル変動
- ▶ フレキシブル - タイムリーなタイムアロケーション
国際協力、探査機・大型望遠鏡との共同観測
- ▶ ユニークな装置 - 可視・近赤外装置
高分散分光
高コントラストイメージング

1999- 広視野単色カメラ
2006- T40: 40cm シュミットカセグレン望遠鏡
可視ファイバー・エシェル分光器
2014- T60: 60cm カセグレン・クーデ望遠鏡
可視・赤外高分散分光器、偏光カメラ, etc.
2017(予定)- PLANETS: 1.8mグレゴリアン・クーデ望遠鏡
可視・赤外高分散分光器、偏光カメラ

JSPS頭脳循環を加速するプログラム (2013-2015): 7700万円
科研費基盤B一般、海外学術



1. T40とひさき宇宙紫外望遠鏡

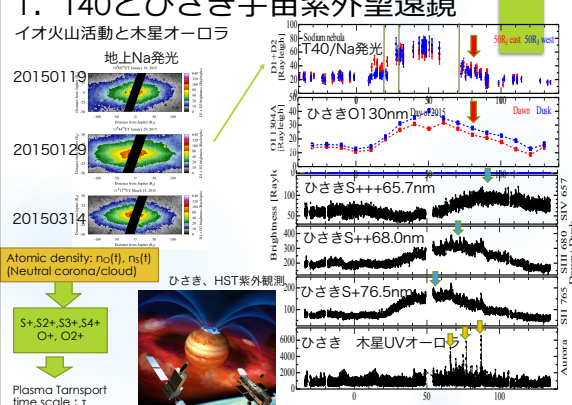
イオ火山活動と木星オーロラ

地上Na発光
20150119
20150129
20150314

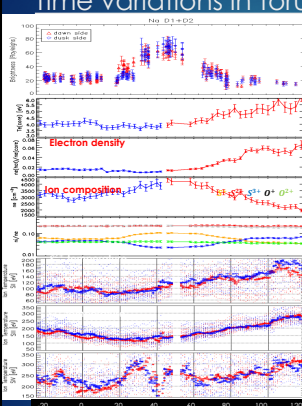
Atomic density: $n_0(t)$, $n_s(t)$
[Neutral corona/cloud]

ひさき, HST紫外観測
S+ S2+ S3+ S4+ O+, O2+

Plasma Transport time scale: τ



Time variations in torus composition



※FOV at dusk side is limited to $<6.5 R_J$ before DOY 44 and FOV at dawn side is limited to $<6.6 R_J$ after DOY 44.

Plasma diagnosis [Kagitani, 2016]

- ✓ Hot electron fraction and core electron temperature start to increase around DOY 50.
- ✓ Electron density and S+ composition have a maximum around DOY 50, when the brightness of sodium nebula [Yoneda et al., 2015] is at maximum.
- ✓ Ion temperatures keep increasing as same trend as the core electron temperature and hot electron fraction.

There seems to be some energy transfer between electrons and ions presumably due to the inflow of hot electron into the torus.

2. 東北大60cm望遠鏡 (T60)

ユニークな装置

- クーデ焦点に大型高分散分光器
- 赤外高分散分光器
- 赤道儀 - 偏光観測可能
- 日本から遠隔制御

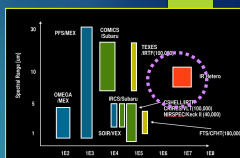
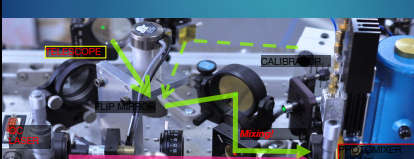
- 可視高分散・中分散エシェル分光器・コロナグラフイメージャー (Vispec): (鍵谷, 小野)
0.4-0.9 μ m, FOV $\sim 10'$ / $\lambda/\delta\lambda \sim 50000, 3000$
- 中間赤外レーザーヘテロダイン分光器 (MILAH): (中川, 高見)
8-10 μ m, $\lambda/\delta\lambda \sim 10^5-7$
- 偏光イメージャー (DIPOL-2): (S. Berdyugina, 鍵谷, 前田)
B, V, R 高精度偏光観測 (DoLP $\sim 10^{-5-6}$)

[開発中またはゲスト装置]
近赤外(1-4 μ m) エシェル分光器・イメージャー (ESPRIT)
 $\lambda/\delta\lambda \sim 20,000$
中間赤外(7-12 μ m) エシェル分光器 (GIGMICS) 名古屋大
 $\lambda/\delta\lambda \sim 40,000$
近赤外(1-1.7 μ m) エシェル分光器 京都大
 $\lambda/\delta\lambda \sim 200,000$



2-1. 中間赤外ヘテロダイン分光器 (中川、高見) ($\lambda/\Delta\lambda > 10^6$)

- 惑星微量気体の高感度検出
- 温度と風速の遠隔探査(誤差~10 m/s & ~10K)
- 鉛直プロファイル推定(分解能~5 km)
- 有機分子・水系分子の検出
- 小型軽量 (飛行体・気球搭載可能性)
- 現在セットアップ中、まもなく観測再開予定

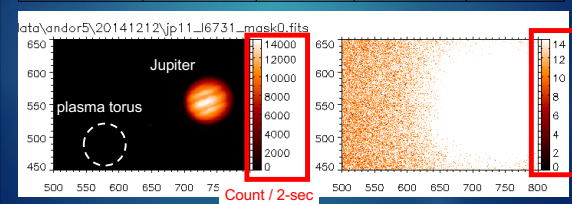
Beam Size (60cm case): 2.6" @ 7um, 3.5" @ 10um

FOV (sub-mm): Venus 15°, Mars 15°, FOV (MILAH)

2-2. 広ダイナミックレンジ コロナグラフィャー (鎌谷)

$1R = 10^6/4\pi \text{ photons/cm}^2/\text{s}/\text{str} = 3.17 \times 10^{-10} \text{ (W/m}^2/\text{sr)} @ 500\text{nm}$

ターゲット	惑星ディスクからの距離	ターゲット明るさ	惑星ディスク明るさ	明るさの比 (obj/target)
木星イオ・硫黄プラズマトラス	50-100"	500 R	50MR/nm	10^5
土星・エンケラドス 酸素トラス	5" from Rings 15" from disk	5 R	20 MR/nm (Ring) 15 MR/nm (Disk)	$>10^6$
金星・火星流出大気	10-100"	1-100 R	$>500/\text{nm MR}$	$>10^6$



Count / 2-sec

Lyot stopによる散乱光低減

入射像イメージ

副鏡スパイダー(支持構造)が十字型の装置内散乱光を生み出し、光源となる。入射像に対応したLyot stopを置くことで、装置内散乱光を低減させる。

FT

オカルティングマスク前後

Lyot stop前後

CCD上最終結像

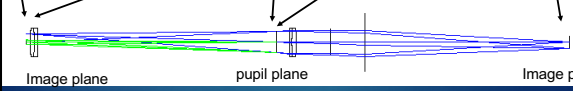


Image plane pupil plane Image plane

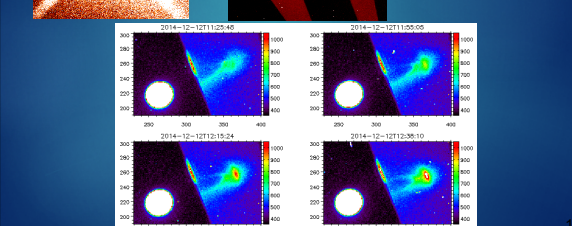
Fig. Model calculation of diffraction pattern using Lyot stop

コロナグラフの木星S+トラス観測例

Lyot stopなし

Lyot stopあり

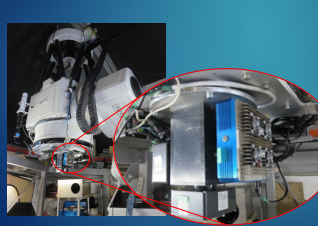
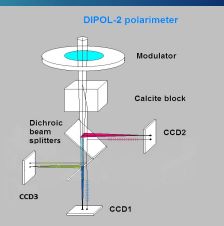
木星イオトラス(S+) 671.6nm発光。カラスケールは左右同じ。オカルティングマスク形状は左は丸型、右は短冊型



2-3. T60/DiPOL2による系外惑星観測 (鎌谷、前田)

B, V, Rの3チャンネル偏光カメラ (design by V. Piirola)

- 方解石ブロック + 45-deg. 回転 1/2 波長板
- '電場2成分'の同時観測
- シンプルな光学系で低装置偏光 $< \sim 10^{-5}$
- 測定精度はフォトン数限界 10^{10} フォトン

DIPOL-2 polarimeter

Modulator

Calcite block

Dichroic beam splitters

CCD3

CCD1

DIPOL2機器偏光の校正

機器偏光校正の目的

多数の無偏光標準星を観測することで、機器偏光の絶対値を求める。

- 固有偏光は平均をとることで相殺
- 加重平均をとり、機器偏光の絶対値を計算
- 観測の方角の違いによる固有な偏光要素は、多くの方角を観測することで打ち消し合えると想定

◆結果

機器偏光は、

$Stokes Q_{instr} = (1.20 \times 10^{-5}) \pm (8.36 \times 10^{-6})$

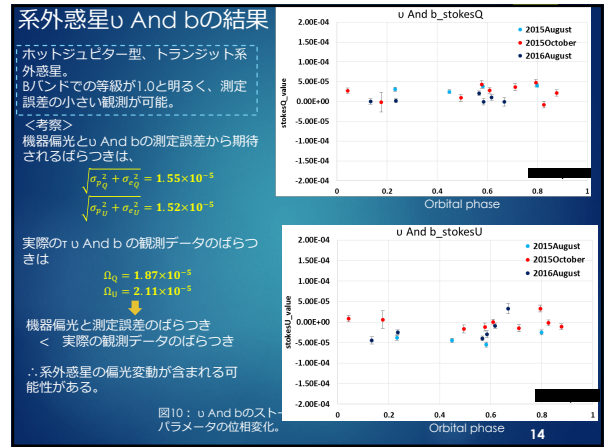
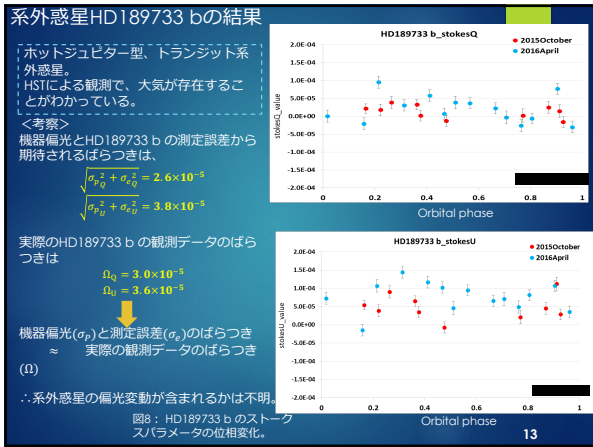
$Stokes U_{instr} = (2.63 \times 10^{-6}) \pm (9.02 \times 10^{-6})$

→ 系外惑星のストークスパラメータQ、Uの計算では、観測された値からこの値を差し引いて計算する。

◆機器偏光見積り誤差 (標準偏差) は、

$\sigma_{PQ} = 1.00 \times 10^{-5}$ 、 $\sigma_{PU} = 8.80 \times 10^{-6}$

→ 過去 (Berdyugina et al., 2011) の報告にある系外惑星偏光度 $Q_{amplitude} = 10^{-4}$ と比較すると、誤差は一桁以下小さい。



PLANETS JapanHawaiiEuropeTelescope

3. PLANETS(坂野井、岡野、他)

口径1.8m非軸望遠鏡

- ハワイ大ifA, ドイツケーペンハウワー研ほかとの共同研究
- ハレアカラ山頂のUH既存建物を改築
- 2017年完成を目指す

通常望遠鏡 vs 非軸望遠鏡 (PLANETS)

Off-axis, coronagraphic

PLANETS JapanHawaiiEuropeTelescope

PLANETS optics

Gregorian focus, 6" FOV
 F/13.5 0.13"/mm

M1: parabola, 1.86m 4.333m fl
 M2: ellipse, 12cm 0.26m fl
 M3: ellipse, 24cm

Coude 20" FOV
 F/49 0.04"/mm

(たぶん) 世界で最大の (**夜間) 非軸望遠鏡 (**太陽望遠鏡を除く)

PLANETS JapanHawaiiEuropeTelescope

主鏡の現状

最終研磨にむけた形状測定と誤差解析

Metrology Assessment

- Average of 2 Orientations Clipped to CA
- Generation Contract - All specifications met

3mm Thick Neoprene Wetsuit Material McMaster-Carr Part # 1580T3

95° Flat on 3-points positioned in the 7/10th Zone

Profilometry results:

11.53 μm P-V
 1.45 μm RMS
 Specification 2.0 μm RMS

PLANETS JapanHawaiiEuropeTelescope

今後: 主鏡研磨

Harris/ITT
 イオンビーム研磨
 1回: rms=170μm
 2回: rms=125nm
 3回: rms=45nm

形状計測: SCOTSテスト

HyDraテクノロジー

流体研磨 λ/100
 自前で形状計測

Pollution control

- Confinement of atomized polisher particles
- Air washer - polisher recovering system
- Immersion polishing
- Noise level: open issue.

おわりに：共同研究ご興味ある方はぜひお願いします

東大
立教大
九州国際大
国立天文台
広島大学
名古屋大
京大
京師産業大
千葉工大

ハワイ大
コロラド大
JPL
ケーベンハウ
ワー研
ケルン大
ハリ天文台
レスター大

40cm

60cm

1.8m

マウナケア: すばる 8m, IRTF 3m

ひさき・EXCEED
[EUV宇宙望遠鏡]

西山、飛騨、京都 3.8m

直径30m電波アンテナ

アタカマ
最大: Mini-TAO,
TAO 6.5m

[火星]
Mars Express, MAVEN
ExoMars / TGO (2017-)
火星サンプルリターン

[木星]
Juno (2016-)
JUICE (2030-)

[金星]
あかつき
(2015-)

