

将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ ハレアカラ望遠鏡とTMT～

笠羽康正 (東北大理)
前澤裕之 (名大STE研)
笠井康子 (NICT)
岡野章一 (東北大理)

1. ハレアカラ望遠鏡

経緯

2007FY	東北大	雑談「飯館60cm」を もっと天候・Seeingに恵まれた場所へ 雑談「どうせなら新型望遠鏡を」
	UHマウイ	
2008FY	東北大-UHマ 全体	基本設計 欧・米・日メンバーによるコンソーシアム形成
2009FY	東北大 全体	PPARC経費の最終年度：新規概算要求 (2010FY～) 東北大-UH MOU:「主鏡鑄造経費」をUHへ出資 第一回全体会合 (Maui, Hawaii) 寄付資金の獲得(ドーム・建屋)、NASA経費申請(観測装置)
2010FY	東北大 全体	運営交付金化:「主鏡研磨経費」をUHへ出資 第二回全体会合 (Ensenada, Mexico) 財団経費申請(望遠鏡本体)

東北大・惑星プラズマ・大気研究センター(PPARC)では、ハワイ大学・IfAと共同でハレアカラ山頂に口径1.8mの光学赤外望遠鏡を建設するプロジェクトを進めている。

プロジェクト「PLANETS」

(Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems)

ハワイ大学IfAが運営するマウイ島・ハレアカラ山頂(標高3005m)の「ハレアカラ高高度観測所」内に建設。

明るい天体近傍の暗い対象の観測を可能にするために、
望遠鏡内の回折・散乱を抑えるべく

軸外しグレゴリアン光学系
最新のWater鏡面研磨技術
コロナグラフィー
補償光学

を用いて

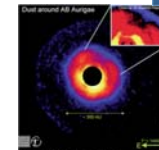
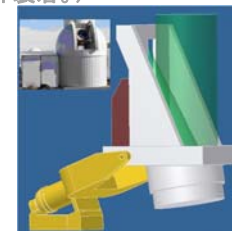
太陽系惑星、特に大気・プラズマの分光、偏光分光
系外惑星とその大気、特にその偏光分光
原始惑星円盤、特にその偏光分光

を行う。

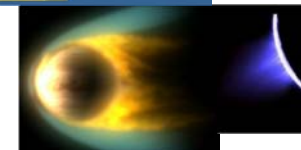
<現況> 東北大(1)、ハワイ大(1?)、アマ天文家寄付(1:カナダ)+研磨工作(1:メキシコ)
=「自前の2m望遠鏡」を「最新の軸外し型」で構築し、
ハワイ・ハレアカラ山頂へ！ 明るい「母天体」に隠された惑星・系外惑星現象を追う。

礎となった 東北大「Very Small Observatory」の
40cm Schmidt-Cassegrain

(アマチュア用望遠鏡に、それには不釣り合いの
「非常識な高機能分光器」を自作装着。)



Disk around a young star
in polarized light (~300AU).
A ring at 150AU might be
a proto-planet clearing.

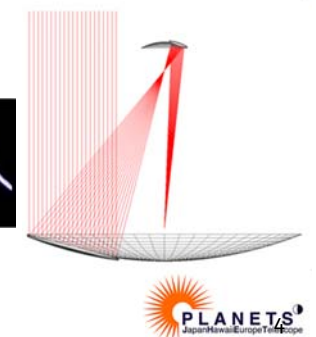


Weak light close to Planets
scattered by the escaping
atmosphere from Mars / Venus /
Io / Encheladas

<http://kopiko.ifa.hawaii.edu/planets/>

~2mφ telescope at Haleakala

- Wide dynamic range
- Off-axis with 1/100λ smoothness
- Coronagraph: Gregorian-type
- Polarization: Equatorial mount





将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 5

PLANETS国際コンソーシアム

ハワイ大学 Institute for Astronomy
東北大学 PPARC
メキシコ国立大学 Institute of Astronomy
Kiepenhauer 太陽物理研究所
Tuorla大学 (フィンランド)
Caisey Harlinton (アマチュア天文家)
他、Brasilメンバー等

望遠鏡光学・機械設計
太陽系惑星観測、主鏡等提供
研磨技術提供、原始惑星円盤観測
系外惑星大気モデル
系外惑星大気偏光観測
資金提供

- ・東北大-ハワイ大は共同研究契約(2009年10月締結、5年間)。
2010年9月に主鏡ガラスの国際入札を行い
オハラのセラミックガラス・クリアセラムZが落札(直径1.85m, 厚さ100mm)
- ・主鏡ガラス
溶融は11月に開始。2011年4月に完成。5月にハワイ大へ納入予定。
マウイ島のATRC/IfAで荒摺り
メキシコ・EnsenadaのIfA/UNAMでHyDra技術により精磨予定
- ・以下も進行中
望遠鏡の基本光学設計(グレゴリアン焦点・クーデ焦点)
基本機械構造設計(含有限要素法構造解析)
建物ドーム基本設計

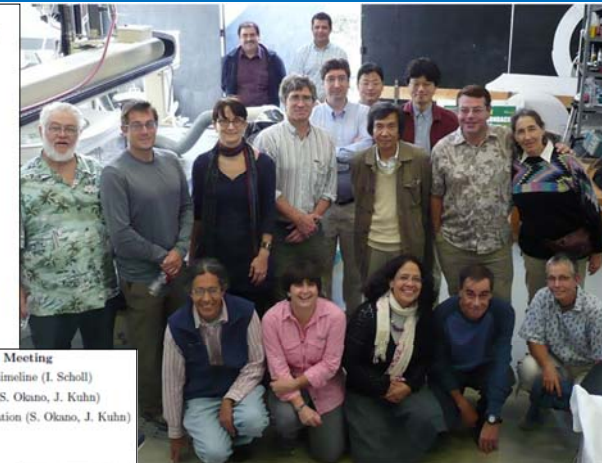


将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 6

Tuesday, 16 November	
Meet in hotel lobby for transportation to IA/OAN 8:30 am	
9:15 PLANETS: Why the world needs THIS 2m-class telescope (J. Kuhn)	
1. Science focus	
9:45 S. Okano	
10:05 S. Berdyugina	
10:25 I. Cruz-González	
10:45 M. Emilio	
11:05 Science discussion	
Coffee Break: 11:30-12:00	
2. Optics technology	
12:00 Mirror polishing (L. Salas)	
12:20 Optical testing (E. Luna, L. Salas)	
Lunch: 12:40-14:00	
14:00 Visit to the HyDra Laboratory	
3. Telescope and optics technology	
15:00 Optics handling, generation (S. Truitt, J. Ritter)	
15:20 Mirror cell design (E. Ruiz, E. Sohn)	
15:40 Building, OSS status (I. Scholl)	
16:00 Discussion (J. Kuhn)	
4. Instrumentation needs	
16:20 Coude, heterodyne, etc. (Y. Kasaba)	
16:30 Broad-band polarimetry (S. Berdyugina)	
16:40 Spectropolarimetry (D. Harrington)	
16:50 Photometry (M. Emilio)	
17:00 IR systems (I. Cruz-González)	
17:10 Adaptive optics, coronagraphy (J. Kuhn)	
17:20 Discussion	
17:50 The San Pedro Mártir Observatory (D. Hiriart)	
Coffee Break: 17:30-17:50	
5. Partner Members Meeting	
9:30 Project milestones, timeline (I. Scholl)	
10:00 Funding discussion (S. Okano, J. Kuhn)	
10:30 Partnership organization (S. Okano, J. Kuhn)	
11:00 General discussion	
11:30 Adjourn	



第二回全体会合(Ensenada, Mexico製造) 2010/11/16-17 [UNAM, Mexico]

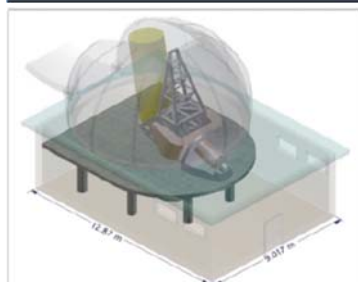
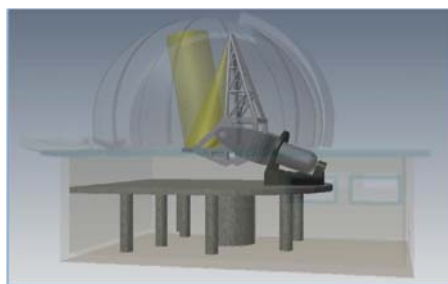


将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 7

建物・ドーム基本設計



この古い建物跡地に建設予定



将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 8



主鏡溶融製造:2010/12/16
[OHARA (相模原)]
(現在:冷却凝結途上)





主鏡M1研磨

IfA/UNAMで開発されたHyDra研磨技術
10cm径で $\lambda/100$ を実証済み



現在、80cm (Harlingten望遠鏡主鏡) を研磨中。



PLANETS望遠鏡完成後の東北大観測計画

- | | | |
|----|----------|---|
| 可視 | 火星大気散逸 | CO+イオンの共鳴散乱発光
イメージスライサーを使用した
エシェル分光器による分光撮像 |
| 赤外 | 火星大気微量成分 | CH ₄ 吸収線
量子カスケードレーザーを使用した
レーザーヘテロダイン分光 |

PLANETSコンソーシアムで

東北大は金も出す、口も出す、人も出す・・・でやっていく。

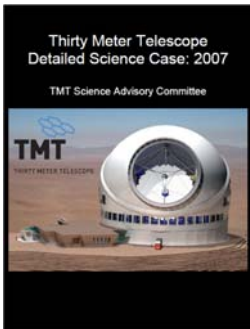
2011/3～ 鍵谷君が、UHに長期滞在予定



2. TMT (Thirty Meter Telescope)

経緯

- | | | |
|---------|--|--|
| 1989-91 | JNLT計画
[Subaru] | 「太陽系」の「た」の字も出てこない。
(Extragalactic & Star Formation屋であった私としては
何の疑問も抱かなかったが) |
| 1997-8 | OAO | 「金星赤外観測」を提案したら
「岡山は太陽系を対手とせず」という回答。
啞然とした。 |
| 2009FY | 英語版「TMT Detailed Science Case: 2007」
(全: 84 page、主に Caltech, UC のメンバーによる)
の「10章 Solar System」はたった3 page。
Subaruよりましだが。

渡辺潤一さんに「太陽系、なにかするの?」と
伺ったら「関口君@北教大が面倒見る」ことに。
「ないよりはいい。せめて10ページ」を目標。 |  |





星形成・惑星・太陽系班 報告 + トランジット惑星系のサイエンス



国立天文台
太陽系外惑星探査プロジェクト室
成田憲保

2010FY

「星形成・惑星・太陽系班」なるものがTMT提案書執筆Gに形成
(Head: 成田さん)

・星形成
・系外惑星

・惑星形成
・太陽系天体



星形成・惑星・太陽系班 検討内容

- [1] 星形成の現場を探る (犬塚、大朝、左近、深川、本田)
 - (1a) 若い星からのジェットの観測
 - (1b) IMFの下限とその環境依存性
 - (1c) 星形成領域の中間赤外高分散分光観測による星間分子種の調査
 - (1d) 分子雲中における固体物質の成長・形成・化学進化
 - (1e) 高空間分解能による系外銀河の星形成領域の観測
 - (1f) 大質量星の形成
- [2] 惑星形成の現場を探る (犬塚、深川、本田)
 - (2a) 形成中の巨大ガス惑星からのジェットの観測
 - (2b) 原始惑星系円盤・デブリ円盤の高解像度撮像
 - (2c) 原始惑星系円盤のガス観測
 - (2d) 円盤における磁場構造の調査
 - (2e) デブリ円盤中のギャップの詳細観測

星形成・惑星・太陽系班 検討内容

- [3] 系外惑星の軌道・組成・環境を探る (佐藤、住、成田、松尾、山下)
 - (3a) さまざまな星のまわりの系外惑星探索
 - (3b) トランジット惑星大気の観測
 - (3c) ホットジュピターの反射光と放射光の高分散分光観測
 - (3d) ロンター効果による低質量惑星の軌道進化の研究
 - (3e) 重力マイクロレンズで見つかった惑星系の主星の同定
 - (3f) 新しい高コントラスト装置による系外惑星の直接撮像観測
- [4] 太陽系天体の軌道・組成・環境を探る (笠羽、関口)
 - (4a) 準惑星・太陽系外縁天体の化学組成同定
 - (4b) 小惑星・外惑星衛星の熱放射の観測
 - (4c) 小惑星・彗星コマのマッピング観測
 - (4d) 彗星コマ中の未発見分子種の探索
 - (4e) 太陽系惑星・衛星の微量大気成分の探索
 - (4f) 太陽系惑星・衛星の発光現象の観測
 - (4g) 太陽系惑星・衛星の大気速度場・大気振動の観測

2010年 7・10・12月

「班として」の意見交換会



2010年12月・1月

以下の「3つのSub-Section」に分かれて執筆。現在、校正作業中。

Chap.1 星・惑星形成	(犬塚[名大] 他)		51 pages
Chap.2 系外惑星	(佐藤[東工大] 他)		31 pages
Chap. 3 太陽系	(関口[北教大] 他)		26 pages [多すぎ]

太陽系 ～ 「惑星系」 の一典型を直接探る～

「太陽系」は、我々が最も詳細な観測が可能なる「惑星系」である。近年盛んになりつつある「系外惑星系の研究」において、そのリファレンスたるのは我々の太陽系であろう。

既に Mauna Kea 山頂では、Gemini・Keck・Subaru に代表される大望遠鏡群によって、大口径を活かした太陽系天体の発見的・統計的観測研究がなされつつある。同様に設立される次世代の 30m クラス望遠鏡は、その可能性をさらに広げることとなる。

笠羽 康正	東北大学理学研究科 地球物理学専攻	総括、惑星・衛星
関口 朋彦	北海道教育大学	小天体・準惑星
寺尾 剛	神戸大学大学院理学研究科	小天体・準惑星 (高空間分解能観測)
鍵谷 将人	東北大学理学研究科 地球物理学専攻	惑星・衛星 (高空間分解能観測)
坂野井 健	東北大学理学研究科 地球物理学専攻	惑星・衛星 (高分散分光観測)
中川 広務	東北大学理学研究科 地球物理学専攻	惑星・衛星 (高分散分光観測)
宇野 健	東北大学理学研究科 地球物理学専攻	惑星・衛星 (高分散分光観測)

「惑星・衛星」の章では、また岡野章一、佐藤隆雄、寺田直樹、米田瑞生 (東北大)、岩上直幹、杉田精司 (東京大)、前澤裕之 (名古屋大)、今村剛、上野宗孝、大月祥子、佐藤毅彦 (JAXA)、笠井康子、佐川英夫 (NiCT) の皆さんに資料及びご意見を頂いた。ここで感謝の意を述べる。

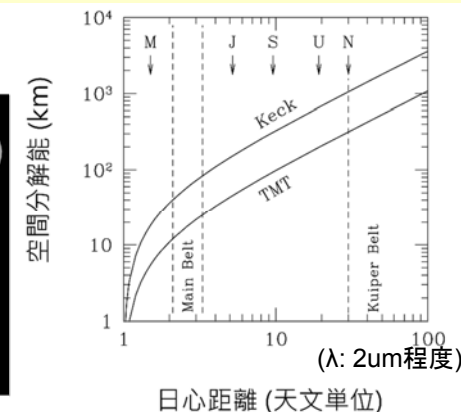
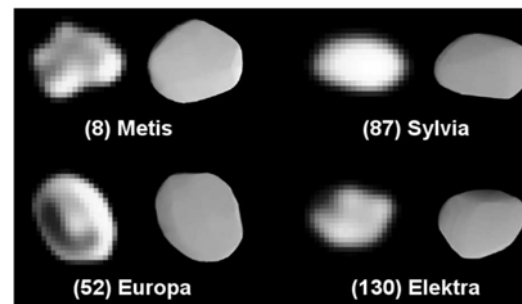


< 小天体/準惑星 >

・高空間分解能勝負

形状・自転速度・自転方向の直接高精度測定

深淵に潜む「太陽系の果て」を探り、
また太陽系に散在する「微天体」の素顔を見る



* 太陽系としての特殊要求

・移動天体への追尾能力

Subaruでは最近解決



将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 17

<惑星・衛星>

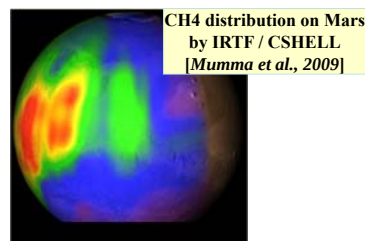
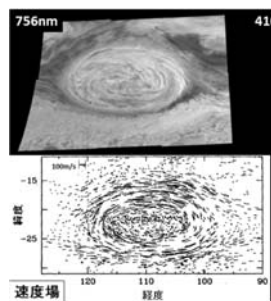
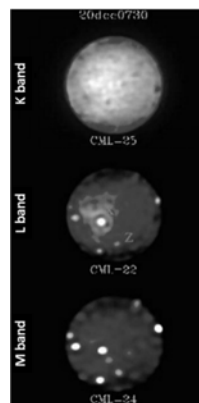
・高空間分解能勝負

固体・流体表層の構造・温度場・速度場等やその変動の検出。

・高分散分光観測＝大光量勝負

大気・組成分布・温度場・速度場等やその変動の検出。

兄弟の姿に「地球とその環境の本質」を探り、また太陽系に「宇宙における惑星系」の一典型を見る。



* 太陽系としての特殊要求

- ・広がった移動天体に対するAO
 - ・オカルテーションマスク
- Subaruではこれから試験
特殊要請は望み薄



将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

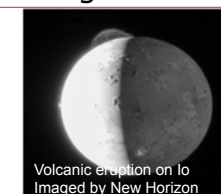
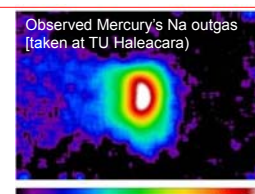
Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 18

Haleakala - for 'Atmospheric Escape from Terrestrial Planets'

VIS high-dispersion Echelle spectrograph (Gregorian)

(R > 50,000, FOV: > 8 arcmin, at Gregorian) with Occultation mask & Image slicer



Akatsuki with VEX
[2010/11- Obs. Start]
(Venus)



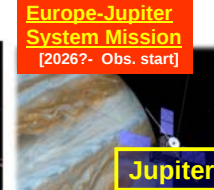
MAVEN
[2015- Obs. start]
Next Mars (Nozomi2)
[2021?- Obs. start]



Messenger
[2011- Obs. Start]



Juno
[2017- Obs. start]



Europe-Jupiter System Mission
[2026?- Obs. start]



将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 19

Haleakala - 'Magnetosphere & Atmosphere of Giant planets'

NIR high-dispersion Echelle spectrograph (Coude)

(R > 40,000, FOV: > 1 arcmin, at Coude)

for Time & Spatial variations for

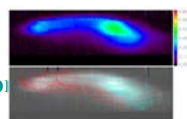
Luminosity distributions

(= wide FOV)

Temperature distributions

(= multi-line detection)

Velocity distributions (= 100m/s resolution).



in order to see Jovian atmospheric coupling between Neutral (by H₂) & Ion (H₃⁺).

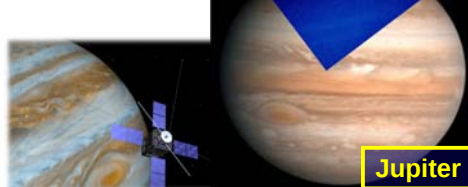
Akatsuki with VEX
[2010/11- Obs. Start]
(Venus)



MAVEN
[2015- Obs. start]
Next Mars (Nozomi2)
[2021?- Obs. start]



Juno
[2017- Obs. start]
Europe-Jupiter System Mission
[2026?- Obs. start]



将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状 ～ TMTとハレアカラ望遠鏡 ～

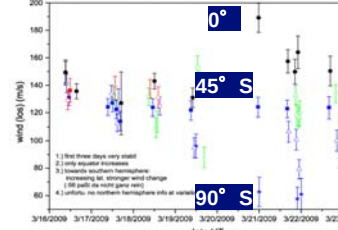
Y. Kasaba, H. Maezawa, Y. Kasai, and S. Okano

第25回 大気圏シンポジウム (Feb. 2011) 20

Haleakala - for 'Atmospheric Minor Constituent & Dynamics'

MIR ultra high-dispersion Heterodyne spectrograph (Coude)

(R > 1,000,000, FOV: ~ point, at Coude)



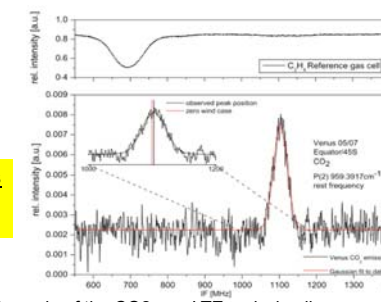
Velocity of Targets
 $\lambda/d\lambda > 10^7$
($3 \cdot 10^8 / 30$ [m/s])

Line profile of Targets
 $\lambda/d\lambda > 3 \cdot 10^5$
(30THz/100MHz)

Akatsuki with VEX
[2010/11- Obs. Start]
(Venus)



Gas-Tracer Mission
[2017- Obs. start]
Next Mars (Nozomi2)
[2021?- Obs. start]



Example of the CO₂ non-LTE emission line.
[Sornig et al., 2008]

<Discovery>

- Daily variation of the wind velocity
- Sometimes larger than predicted
- (> 10 m/s)
- Different behavior between the equator, mid-latitudinal region, and polar

1. ハレアカラ望遠鏡

2010FY	東北大 全体	運営交付金化: 「主鏡研磨経費」をUHへ出資 第二回全体会合 (Ensenada, Mexico) 財団経費申請 (望遠鏡本体)
2011FY	東北大 全体	鍵谷君をUHへ派遣し、本格的に機器開発を開始。 主鏡切削(UH) および 研磨 (Ensenada) 開始 財団経費を確保し(これは願望込み) 主鏡セル製造着手。
.....		

2. TMT (Thirty Meter Telescope)

2011FY	全体 東北大	校閲を経て、Publish。その後はTBC 書いたことは「装置・Scienceとも今やろうとしていること」 なので、やれる範囲で粛々と実施。
.....		

Ex) Polarization: Cloud of Venus / Mars

Polarization obs. With High-spatial resolution
can potentially identify & provide
Particle size
shape
material
of ICE/CO₂/Dust clouds

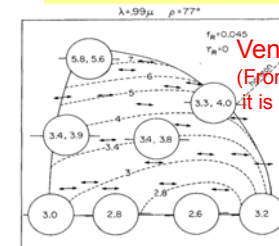


FIG. 2. Distribution of percent linear polarization over the disk of Venus for phase angle 77° and wavelength 0.99 μm. The calculations, for a homogeneous atmosphere of spherical particles with $n_0=1.43$, $r_{00}=1.05 \mu\text{m}$ and $n_{90}=0.07$, are given by the contours which are symmetrical about the intensity equator. The percent polarization observed by Coffeen and Gehrels (1969) is indicated within the circles which represent the nominal size and location of the diaphragm, with the left (right) number being the result for the Northern (Southern) Hemisphere.

Venus
(From refractive index
it is found H₂SO₄.)

