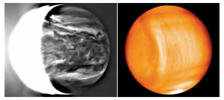
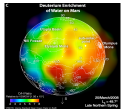
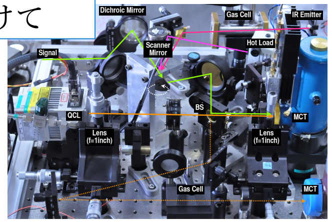
ハレアカラT60と超高分散分光器(MILAHI)による金星・火星観測



時間変動を伴う惑星大気の
(1) 構造・Dynamics
(2) 微量成分
の短中長期追跡へ向けて





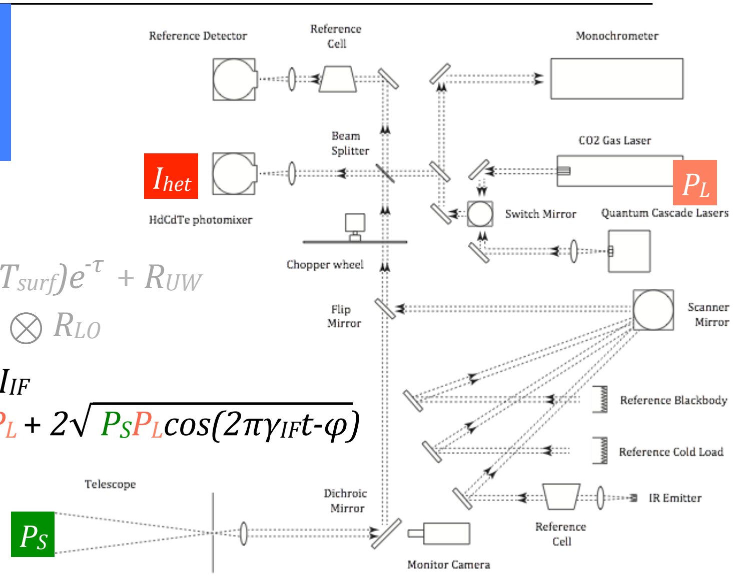
中川広務[1], 笠羽康正[1], 青木翔平[2,1], 佐川英夫[3], 高見康介[1], 村田功[1], 坂野井健[1], 鍵谷将人1, 岡野章一1, G. Sonnabend[4], M. Sornig[4], P. Krause[4], J. Kuhn[5]

1:東北大学, 2:INAF(Italy), 3:京都産業大, 4.Univ. Cologne (Germany), 5:Univ. Hawaii(USA)

地上赤外線観測による太陽系内天体の観測戦略 2016年9月7日

装置概要: 赤外ヘテロダイン分光器 MILAHI

Mid
Infrared
LAser
Heterodyne
Instrument



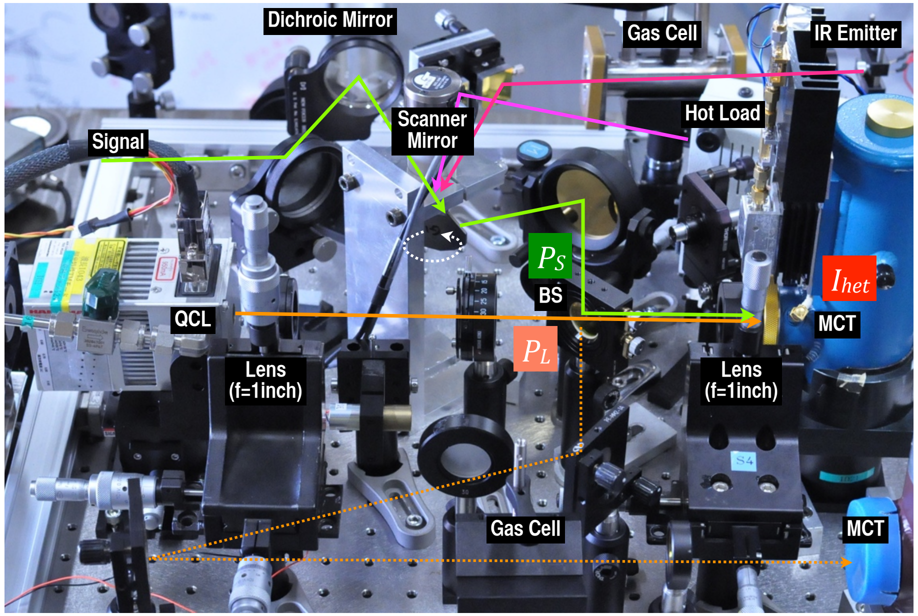
$$R_{TOA} = \varepsilon B(T_{surf})e^{-\tau} + R_{UW}$$

$$I_{het} = R_{TOA} \otimes R_{LO}$$

$$I_{het} = I_{DC} + I_{IF}$$
$$= P_S + P_L + 2\sqrt{P_S P_L}\cos(2\pi\gamma_{IF}t-\varphi)$$

Fig. Optical configuration of MILAHI [Nakagawa16].

Mid Infrared LAser Heterodyne Instrument: The 1st ver.



目的　高波長分解能(>150万)で

Dynamics　e.g. 金星中間圏-熱圏の風速・温度計測

- CO_2輝線プロファイルから 風速・温度を導出
- CO_2吸収プロファイルから 鉛直分布も導出
…

Trace Gas　e.g. 火星　CH_4, HDO/H_2O, H_2O_2, O_3, CO_2

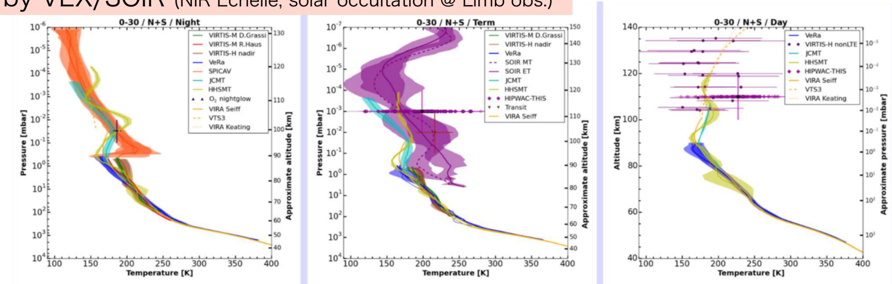
- 地球大気吸収を分離して
背後の「惑星大気の微量成分」を導出

手段

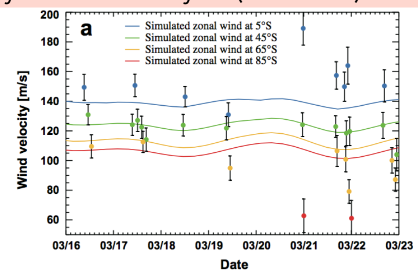
- T60（ハワイ・ハレアカラ山頂の東北大望遠鏡）で、
独自開発した中間赤外ヘテロダイン分光器を
連続長期間モニタにフル活用

[金星] 超高層大気温度/風速　複雑な時空間変化

by VEX/SOIR (NIR Echelle, solar occultation @ Limb obs.)



by MIR Heterodyne (Kitt Peak)



(Up) Local-time dependence of temperature profiles in the mesosphere-thermosphere on Venus by space-born measurements [Mahieux+15].

(Left) Short-term variations of mesospheric wind on Venus [Nakagawa+13].

[金星] MILAHIで得られた観測スペクトル

***Wind/Temperature** @ ~90km can be directly obtained from Doppler shift/ Doppler width of emission line (CO_2 non-LTE).*

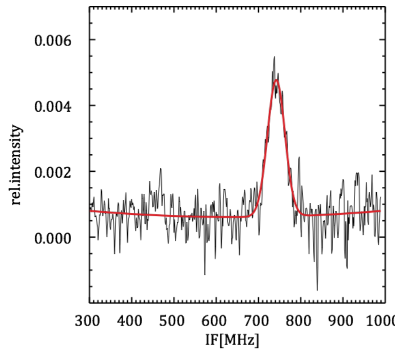


Fig. Example of the Venusian CO_2 non-LTE emission spectrum at 10.5 micron. The red shows the Gaussian curve fit to the data [Nakagawa et al., 2016]. Emission width ~ 0.0012 cm^{-1}.

***Wind/Temperature** @ 70~80km can be fully be resolved from absorption line (CO_2 LTE) with its vertical profile*

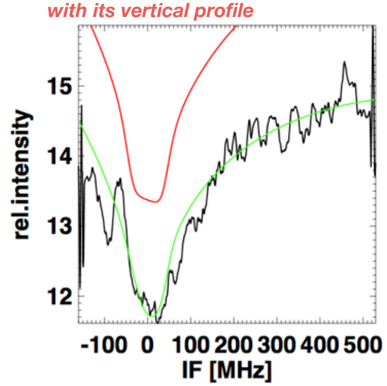


Fig. Example of Venusian CO_2 absorption spectrum at 10.5 micron. The green curve fits to the data in the case of retrieval. The red is a-priori for the retrieval [Takami et al.]

[金星] 観測データリトリーバル (高見/佐川)
(Data: from NASA/HIPWAC)

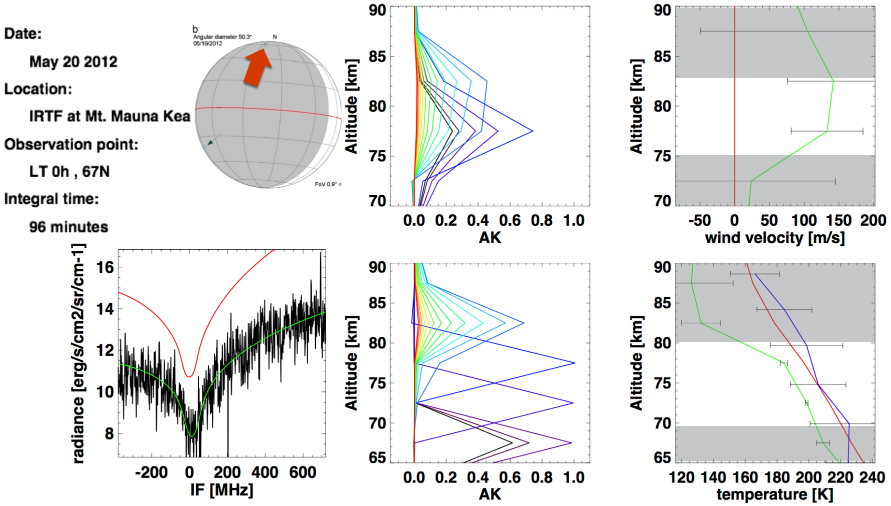
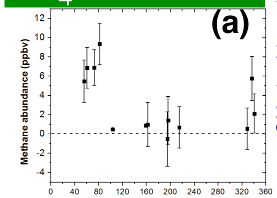
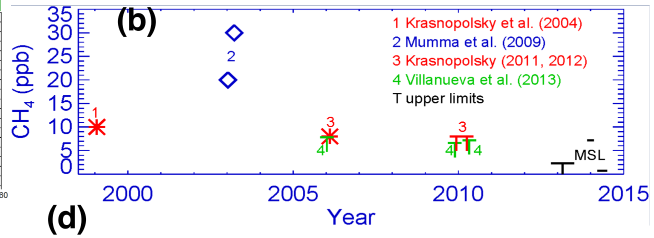


Fig. An example of the wind/temperature retrieval using THIS data. Red:A-priori, Green:Retrieved profiles, Blue:Stangier+15 [Takami et al.].

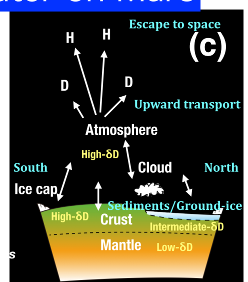
[火星] CH_4, HDO/H_2Oの季節変化～長期変遷

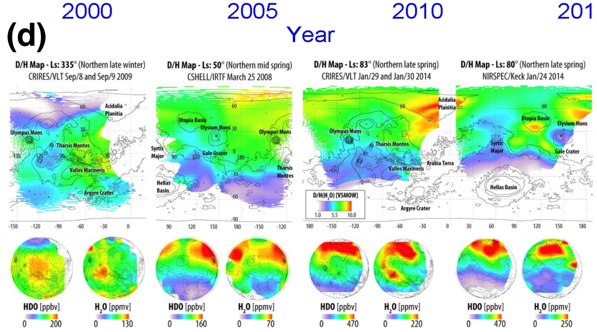
CH_4 on Mars ??





Water on Mars

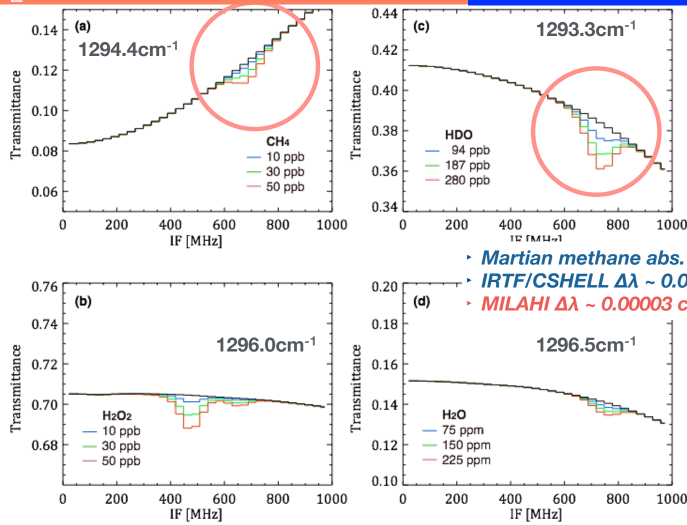




(a)Seasonal variation of CH_4 [Webster+14].
(b) Summary of previous measurements of CH_4 [Krasnopolsky+15].
(c)Water cycle on Mars [Usui+15]　　　(d) Seasonal change of HDO/H2O [Villanueva+15].

[火星] MILAHIへの期待： スペクトル (青木)

H_2O/HDO ratio – its variations | Water on Mars



Martian absorption could be fully distinguished from terrestrial absorption.

- *Martian methane abs. width ~ 0.004 cm^{-1}*
- *IRTF/CSHELL Δλ ~ 0.08 cm^{-1}*
- *MILAHI Δλ ~ 0.00003 cm^{-1}*

Fig. Synthetic spectra of CH_4, H_2O_2, HDO, and H_2O under v_D~15 km/s [Nakagawa et al., 2016]. Note that Martian HDO can be observed even if v_D~0 km/s. The resolution is reduced for S/N.

[火星] MILAHIへの期待: スペクトル (based on the data from NASA/HIPWAC)

CO_2 isotope & its ratio – its variations | Another cycle

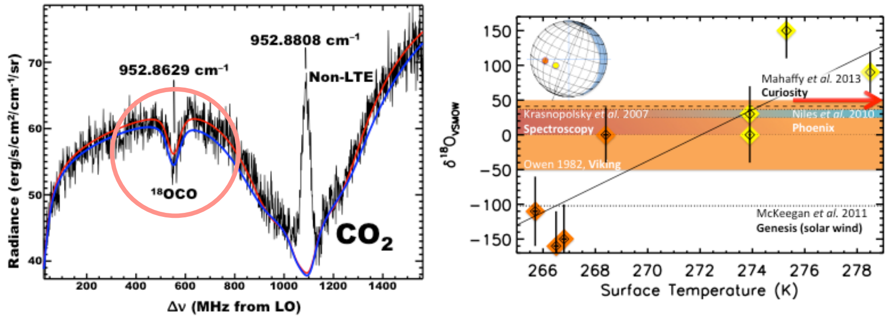


Fig. Carbon dioxide isotope spectrum observed by HIPWAC/IRTF, and its variations (right) [Livengood et al., 2015 (proceedings)]. Unexpected significant local-time variation was found.

MILAHI 1 号機：装置性能まとめ

Tab. Summary of the sensitivity of IR heterodyne for Mars [Nakagawa et al., 2016].

	Alt. [km]	Ver. res. [km]	Precision (assumed noise or typical integ.time)
T	0-30	10	40-10 K (1.0[ergs/s/cm^2/sr/cm^{-1}])
	75	10	**3-20 K**
Wind	10-25	10	20-30 m/s
	75	10	**10 m/s**
H_2O	-	-	75 ppm (3.62 h)
HDO	-	-	96 ppb (2-SMOW) (15 min)
H_2O_2	-	-	10 ppb (1.3 h)
CH_4	-	-	10 ppb (32 h)
CO_2 iso	-	-	100 ‰ for $\delta^{18}O_{VSMOW}$

Tab. Beam size of the IR heterodyne [Nakagawa et al., 2016].

LO	Spectral bands (cm^{-1})	Beam size(0.6m)	Beam size(1.8m)
1	968-973	4.32”	1.44”
2	1043-1048	4.03”	1.34”
3	1293-1297	3.23”	1.08”

将来展開の 1 つ： Fiber Optics & Near IR

✓小型化
✓光軸設定の簡易化
✓マルチチャンネル化
⇒衛星・Landerへの搭載も可

IKI, Russia

ExoMars Lander [2020] に搭載予定 (M-DLS: マルチチャンネル)
金星探査機(露)にも近赤外ヘテロダイン分光器搭載予定

高見（東北大M2）がこの開発を行っている機関へ
修行に行く予定（この9-10月）

まとめ：ここ数年の目標

- 東北大惑星望遠鏡T60 + 赤外ヘテロダイン分光器
  超高波長分解能(>150万)による
  地上からの長期間モニタを可能とする.
- Dynamics　金星 Akatsuki (& 火星MAVEN) 連携
  中間圏〜下部熱圏の風速・温度場を
  10-数10m/s(orK)の精度で導出,
  地方時依存性や短期〜長期変動を明らかに.
- Trace Gas　火星 ESA ExoMars (& 金星VEX)連携
  HDO/H_2Oを2-VSMOWの精度で,
  CH_4を10ppb精度で検出, 季節・長期変遷を明らかに.

＊基盤B - 海外学術（ハワイ）	〜2017FY	
＊基盤B　（火星-MAVEN連携）	〜2017FY	
＊基盤A or B（金星・火星）	申請予定	（2017-2019FY）
＊日-ベルギー協力	申請	（2017-2018FY）