

## 赤外レーザーヘテロダイン分光による金星中間圏の風速場/温度場計測

# 高見 康介 [1]; 中川 広務 [1]; 佐川 英夫 [2]; 青木 翔平 [3]; 笠羽 康正 [4]; 村田 功 [5]  
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 京都産業大学; [3] IAPS-INAF, Italy; [4] 東北大・理; [5] 東北大院・環境

## Mesospheric wind/temperature measurements in Venusian atmosphere using infrared laser heterodyne spectrometer

# Kosuke Takami[1]; Hiromu Nakagawa[1]; Hideo Sagawa[2]; Shohei Aoki[3]; Yasumasa Kasaba[4]; Isao Murata[5]  
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Kyoto Sangyo University; [3] IAPS-INAF, Italy; [4] Tohoku Univ.; [5] Environmental Studies, Tohoku Univ.

Mesosphere in the terrestrial planet is the transition region between the lower atmosphere and the upper atmosphere. The altitude region of mesosphere is 50-90km on Mars and 70-120km on Venus. In this transition region, atmospheric waves potentially play a major role through the effects of momentum transport and eddy mixing. Disturbances by atmospheric waves have significant effects on its variable nature and complicate the picture. The study of the planetary mesosphere is important to understand the coupling between the upper and lower atmosphere.

In this study, we observe temporal variations and global distributions of wind velocity and temperature in Venusian mesosphere using infrared high spectral resolution spectrometer. Infrared laser heterodyne spectrometer MILAHI (Mid-Infrared LASer Heterodyne Instrument) that has been developed in Tohoku University is currently installed to 60cm telescope (T60) of Tohoku University at the summit of Mt. Haleakala, Hawaii, which achieves  $\sim 3.5$  arcsec of spatial resolution and  $\sim 10^7$  of spectral resolution.

We can derive temperature and wind velocity at the altitude region of 100-120km from CO<sub>2</sub> non-local thermodynamic equilibrium (LTE) emission at a wavelength of 10 micron. We can directly detect temperature from Doppler width and wind velocity from Doppler shift of the peak of the emission line whose profile is Doppler line shape in this region. The wavelength resolution is required  $\sim 10^7$  and higher. This resolution makes it possible to detect with accuracies of about  $\pm 10$ K for temperature and  $\pm 10$ m/s for wind velocity. Reliable direct wind detections can be accomplished from CO line in millimeter and submillimeter region [e.g., Clancy et al., 2008]. Early submillimeter/millimeter observations had an essentially low spatial resolution due to their large beam footprints. MILAHI with T60 can achieve higher spatial resolution and the integration time of 20 minutes is enough to achieve sufficient S/N at a certain point of Venus disk. The accuracies were estimated using observed spectra obtained by another heterodyne spectrometer, Cologne Tuneable Heterodyne Infrared Spectroscopy (THIS), which conducted at the McMath Pierce Solar Telescope on Kitt Peak, Arizona, USA in 2009. Estimated accuracies were  $\pm 12$ K for temperature and  $\pm 8$ m/s for wind, respectively [Sonnabend et al., 2010, Sornig et al., 2013]. Additionally, we acquire constant and long-term variation using T60 of the exclusive possession.

Temperature field at cloud top altitudes between 70-95km is also observable by CO<sub>2</sub> absorption line at 10 micron in nightside. It is necessary to observe absorption line profile at so high resolution that temperature distribution is retrieved by absorption line. The required integration time to obtain CO<sub>2</sub> absorption spectrum are 160 minutes. We will analyze the spectra by Advanced Model for Atmospheric TeraHertz Radiation Analysis and Simulation (AMATERASU) [Baron et al., 2008] which performs forward (line-by-line radiative transfer and numerical modeling of instrumental characteristics) and inversion calculations.

Venus orbiter Akatsuki which will reinsert to Venus orbit in December of this year will observe the atmospheric circulation to study dynamics globally in the region between the surface and the altitude of 90km using infrared and ultraviolet camera and radio occultation. The orbiter observes constantly temperature distribution near the cloud top (altitude of about 70km) by the middle infrared camera LIR (wavelength range: 7-11micron). Moreover, vertical temperature profile is derived by radio occultation (altitude range: 35-90km) twice in every orbital period (8-9 Earth days). Observation by MILAHI complementarily obtains dynamical information at higher altitude region above them. It provides vertical information of temperature field from the cloud top to mesosphere.

地球型惑星の中間圏は、地表に接し対流する下層大気と宇宙へ散逸しうる上層大気の接続領域である。中間圏の高度は火星で 50-90km、金星で 70-120km とされている。下層から伝搬してくる重力波がこの領域で砕波し、運動量とエネルギーが中間圏の大気に受け渡されることで、風速や温度の擾乱や加熱を引き起こすため、下層大気-上層大気間の結合を理解するのに不可欠な領域である。

本研究では、金星をターゲットとし、この中間圏の風速・温度場の時間変動を継続的な地上赤外線高分散分光観測によって捉える。観測は、ハワイ/ハレアカラ山頂の東北大 60cm 望遠鏡 (T60) に実装された本学開発の赤外レーザーヘテロダイン分光器 MILAHI (Mid-Infrared LASer Heterodyne Instrument) を用いて行う。MILAHI は、空間分解能 $\sim 3.5$  秒角、波長分解能 $\sim 10^7$  を達成可能であることがここまでに実証されており、今夏からの金星観測に着手すべく準備を進めている。

高度 100-120km の温度・風速は、この高度で発光する  $10 \mu\text{m}$  帯の CO<sub>2</sub> 非局所熱力学平衡 (LTE) の放射輝線から求めることができる。この高度からの輝線の線形はドップラー線形となるので、温度はドップラー幅から、風速は輝線のピークのドップラーシフトから直接的に導出される。必要な波長分解能は、 $10^7$  以上であり、この分解能から導出精度は温度・

風速それぞれ± 10K、± 10m/s 程度を達成できる。サブミリ波・ミリ波域でのヘテロダイン分光による CO 観測から風速・温度を導出する先行研究が報告されている [e.g., Clancy et al.,2008] が、観測波長が長いために空間分解能が最も高い場合でも ~15 秒角程度という制約が生じる。この問題は、干渉計を利用した観測によって改善されるが、一方で、干渉計の観測では金星のように大きく広がった面光源の大規模構造のフラックスを観測することは技術的に困難であり、結果として、従来の干渉計観測では視直径が比較的小さい時期の金星観測が主に行なわれている。MILAHIT60 による観測は、こうした先行研究と比較しても、より高い空間分解が可能で、また観測点一箇所あたり積分時間 20 分で必要 S/N を達成できる想定である。なお、MILAHIT と同様の観測装置での先行研究として、同様の性能空間分解能を持つケルン大学の赤外線ヘテロダイン観測器 THIS が挙げられる。2009 年アリゾナ州キットピークでの THIS の観測は、温度・風速誤差それぞれ± 12K、± 8m/s が達成されている [Sonnabend et al.,2010, Sornig et al.,2013]。更に、専有利用が可能な望遠鏡 T60 を利用することで、さらなる連続・長期間の変動追跡の実現を目指す。

また、夜面雲頂上方の高度 70-95km における温度場・風速場は、夜面の 10  $\mu$  m LTE CO<sub>2</sub> 吸収線から導出が可能である。吸収線から気温分布をリトリーブするには吸収線のプロファイルを十分高い精度で観測する必要がある。観測点一箇所あたり積分時間 160 分で必要 S/N を達成できる想定である。解析準備として、放射伝達および反転解析計算モデル AMATERASU [Baron et al., 2008] を用いたデータ解析手法の整備を進めつつある。

今年の 12 月に金星軌道に再投入される金星探査機あかつきは、赤外・紫外カメラ、電波観測により、地表から高度 90km までの大気運動をグローバルに観測し大気循環メカニズムを解明しようとする衛星である。この衛星に搭載されている中間赤外カメラ LIR (観測波長域: 7-11  $\mu$  m) による雲頂付近 (高度:約 70km) の温度分布、軌道周期 (8-9 日) 毎に二回行われる電波掩蔽観測 (高度範囲:35-90km) による温度鉛直プロファイル (高度範囲:35-90km) が定常的に導出される予定である。我々の地上観測はこれらの高度分布情報をさらに上方へ伸ばすため、雲頂から中間圏までの温度場が断続的ではあるが、鉛直方向にカバー可能となりうる。あかつきの観測開始後、我々は MILAHIT で金星の赤道域、中緯度帯、極域の 3 つの領域の昼面、夜面を観測予定である。これにより、昼面ではあかつきによる雲頂温度分布情報を踏まえた中間圏の温度・速度変動の評価、夜面では同じく雲頂温度分布情報を踏まえたより高高度の鉛直温度プロファイル変動の評価を行うことが初めて継続的に可能となる。2016 年からのこの共同支援観測の実現を目指し、手法の確立を進めていく。