

## 中間赤外ヘテロダイン分光観測による金星中間圏の風速・温度鉛直分布導出

# 高見 康介 [1]; 中川 広務 [1]; 佐川 英夫 [2]; Krause Pia[3]; 青木 翔平 [4]; 笠羽 康正 [5]; 村田 功 [6]; 渡部 重十 [7]; 田口 真 [8]; 今村 剛 [9]; 佐藤 毅彦 [10]; 黒田 剛史 [11]; 寺田 直樹 [12]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 京都産業大学; [3] University of Cologne; [4] IAPS-INAF, Italy; [5] 東北大・理; [6] 東北大院・環境; [7] 北大・理・宇宙; [8] 立教大・理・物理; [9] 東京大学; [10] 宇宙研; [11] NICT; [12] 東北大・理・地物

### The wind and temperature profiles in Venusian mesosphere using mid-IR heterodyne spectrometer

# Kosuke Takami[1]; Hiromu Nakagawa[1]; Hideo Sagawa[2]; Pia Krause[3]; Shohei Aoki[4]; Yasumasa Kasaba[5]; Isao Murata[6]; Shigeto Watanabe[7]; Makoto Taguchi[8]; Takeshi Imamura[9]; Takehiko Satoh[10]; Takeshi Kuroda[11]; Naoki Terada[12]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Kyoto Sangyo University; [3] University of Cologne; [4] IAPS-INAF, Italy; [5] Tohoku Univ.; [6] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [7] CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [8] Rikkyo Univ.; [9] The University of Tokyo; [10] ISAS, JAXA; [11] NICT; [12] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.

The atmosphere on Venus has thick sulfuric acid clouds which cover the planet at altitudes between ~50 and ~70 km. The retrograde superrotating zonal (RSZ) wind reaches the velocity over 100 m/s around the cloud top altitude. In the lower thermosphere above 110 km, there exists subsolar-to-antisolar (SS-AS) flow generated by large temperature difference between dayside and nightside. Mesosphere in the altitude of 70-90 km is considered as the transition region of atmospheric dynamics from RSZ wind to SS-AS flow. And temperature in mesosphere is disturbed by given momentum with breaking atmospheric waves raised from the lower atmosphere. Venusian mesosphere has complicated dynamics and thermal structure.

Previous ground-based heterodyne observations in submillimeter (sub-mm) and middle infrared (mid-IR) wavelength ranges provide information of wind and temperature in mesosphere. Observations in sub-mm sense atmospheric properties in the altitude of 80-105 km [e.g., Clancy et al., 2008]. However, the sub-mm observations, particularly those using single-dish radio telescopes, often suffer from relatively low spatial resolution. While, mid-IR heterodyne instruments can achieve diffraction-limit so that we can observe high spatial resolution of 3 arcsec with 60 cm diameter small telescope [Nakagawa et al., 2016]. Their resolution obtained latitudinal and local time (LT) dependency of wind and temperature. They decreased with latitude from 240 K to 150 K in temperature [Sonnabend et al., 2010] and from 160 m/s to 40 m/s in wind [Sornig et al., 2008]. In this study, we obtain the vertical profiles of wind and temperature in mesosphere and discuss latitudinal and LT dependency and the mechanism.

In order to obtain wind and temperature profiles, we need to achieve high spectral resolution  $10^{6-7}$  so that we can spectrally resolve CO<sub>2</sub> absorption spectra at 10μm band [Stangier et al., 2015; Nakagawa et al., 2016]. The vertical profiles are retrieved by forward and inverse calculations using Advanced Model for Atmospheric TeraHertz Radiation Analysis and Simulation (AMATERASU) [Baron et al., 2008]. Nakagawa et al. (2016) showed the sensitivity of mid-IR heterodyne technique to the mesospheric wind and temperature in the altitude range of 75-90 km and 65-90 km, respectively.

In this study, we develop the retrieval method for mesospheric vertical profiles of wind and temperature from observations and estimate the accuracy and validity. The observations on 5th September 2015 using Mid-Infrared LASer Heterodyne Instrument (MILAH) were derived wind and temperature profiles with 5 km of altitudinal step and sensitivities in the altitude of 80-95 km and 70-100 km, respectively. The temperature profile showed inversion region above 90 km and agree with one of sub-mm [Clancy et al., 2012] and SOIR loaded on Venus Express [Mahieux et al., 2012]. The wind profile show two maximum points equal to 70 m/s at line of sight at 77 and 87 km and divided wind directions into westward and eastward. The wind profiles in this altitude range were derived for the first time with remote sensing. The results are compared with in situ observations of Pioneer Venus probes and simulations for Venus atmosphere VGCM to validate this method. In addition, we apply this method to observation data set in 2011 and 2012 using heterodyne instruments developed by NASA and Cologne University to estimation for latitudinal and LT dependency. Furthermore, we can also compare with dynamic variations at the cloud obtained imaging observations in infrared and ultra violet (IR2 [Satoh et al., 2016], LIR [Fukuhara et al., 2011], UVI) and radio occultation [Imamura et al., 2011] load on Venus orbiter Akatsuki to discuss relation between lower atmospheric activities and mesospheric wind and temperature.

金星大気の大規模な特徴として、高度約 50-70km の厚い硫酸雲、そしてその雲頂付近におけるスーパーローテーションと呼ばれる速さ 100m/s 以上の東西風が挙げられる。一方、高度 110km 以上に位置する熱圏下層では、昼と夜の温度差によって生じる昼夜間対流が支配的である。両者に挟まれた高度 70-110km に位置する中間圏は、異なる惑星スケールの大規模風速場が遷移する高度域に当たる。下層大気から上昇してくる大気波動が碎破することによって大気に運動量が受け渡され、風速場や温度構造が大きく変化する複雑な領域である。中間圏・下部熱圏における温度場、そして特に風速場の直接観測は過去の観測例が限られており、これまで大気波動や背景場に与えるその効果を観測的に明らかにすることができなかった。

過去の観測例では、サブミリ波・中間赤外領域のヘテロダイン分光観測により、中間圏の風速と温度が報告している。例えばサブミリ波の観測から、高度 80-105km の温度・風速が導出されている [e.g., Clancy et al., 2008] が、この波長域の観測では、単一鏡を利用した場合に空間分解能が 10 秒角前後となり惑星ディスクを十分に空間分解できない。一方で、

中間赤外では、口径 60 cm の望遠鏡を利用して金星のディスクに対して 3 秒角 [Nakagawa et al., 2016] で観測が行える。この空間分解により、風速と温度の緯度変化をとらえることが可能であり、低緯度から高緯度間で温度は 240K から 150K [Sonnabend et al., 2010]、風速は 160m/s から 40m/s [Sornig et al., 2008] におよぶ大きな空間非一様性が存在することが確認されている。本研究では、中間赤外ヘテロダイナミック分光による中間圏の風速、温度鉛直分布の取得によって、その時空間変動とその要因について明らかにすることを旨とする。

中間圏の風速、温度の鉛直分布は、波長 10 $\mu$ m 帯の CO<sub>2</sub> 吸収スペクトルを解析することで得られる。波長分解能 10<sup>6-7</sup> を有する中間赤外ヘテロダイナミック分光器で吸収線を分解することにより、吸収線の圧力幅がり情報をもとに、気温・風速の鉛直分布を導出することが可能である [Stangier et al., 2015; Nakagawa et al., 2016]。放射伝達および反転解析モデルには、Advanced Model for Atmospheric TeraHertz Radiation Analysis and Simulation (AMATERASU) [Baron et al., 2008] を利用する。Nakagawa et al. (2016) では、同手法より風速が 75-90km、温度が 65-90km の高度範囲で求められることをモデルスペクトルを用いて検証した。

本研究では、実際に得られた金星観測データを用いて、中間圏の風速・温度鉛直分布の導出手法とその精度・妥当性の検証結果を報告する。マウイ島・ハレアカラ山頂の 60cm 望遠鏡に実装された東北大開発の赤外ヘテロダイナミック分光器 Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument (MILAH) を用いて、2015 年 9 月 5 日に観測を行った。その結果、鉛直分解能 5km で風速・温度がそれぞれ高度 80-95km、70-100km に感度があることが確認された。温度分布では、高度 90km の上方で温度逆転層がみられ、サブミリ波観測 [Clancy et al., 2012] や Venus Express に搭載の SOIR の結果 [Mahieux et al., 2012] と一致する。風速鉛直分布では、高度 77km と 87km 付近でそれぞれ西向き、東向きに視線方向 70m/s の風が流れていると推定した。この高度領域の風速についてリモートセンシングによる鉛直分布の導出はこれが初となり、パイオニアビーナスプローブのその場観測結果や金星大気 VGCM 結果との比較によって、その妥当性を議論する。本研究では、2011、2012 年に NASA・ドイツで開発された同ヘテロダイナミック装置で取得された金星観測データにも我々のリトリーバル手法を適用し鉛直分布を求め、時空間変動について検証を行う。また、金星探査機あかつき搭載の赤外・紫外撮像観測 (IR2[Satoh et al., 2016]、LIR[Fukuhara et al., 2011]、UVI) や電波掩蔽 [Imamura et al., 2011] によって得られる金星雲層の大気変動と比較することによって、中間圏風速・温度の時空間変動と下層大気活動との関係性を明らかにしていく。