

赤外レーザーヘテロダイン分光器による金星火星中間圏風速場温度場観測

中川 広務 [1]; ソニグ マニュエラ [2]; ゾンナベンド ギドー [2]; 笠羽 康正 [3]; 青木 翔平 [1]; 村田 功 [4]; 岡野 章一 [5]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] ケルン大学; [3] 東北大・理; [4] 東北大院・環境; [5] 東北大・理・PPARC

High resolution wind and temperature Measurements in the upper atmosphere of Venus and Mars using infrared heterodyne spectroscopy

Hiromu Nakagawa[1]; Manuela Sornig[2]; Guido Sonnabend[2]; Yasumasa Kasaba[3]; Shohei Aoki[1]; Isao Murata[4];
Shoichi Okano[5]
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Universität zu Köln; [3] Tohoku Univ.; [4] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [5] PPARC, Tohoku Univ.

<http://pat.gp.tohoku.ac.jp>

The laser heterodyne spectroscopy is the most sensitive and highest resolution spectroscopy (10^7 - 8) in the middle infrared region (7-13 μm) [Sonnabend et al., 2006], and has been expected to be a powerful method for atmospheric studies. Fully resolved molecular features provided by applying heterodyne techniques are possible allowing retrieval of many physical parameters from single lines. Our group in Tohoku University has developed over the past 20 years, and the terrestrial minor constituents and their vertical profiles could be obtained [Taguchi et al., 1990].

Our infrared laser heterodyne spectroscopy is now equipped with quantum cascade lasers (QCLs) which offer sufficient optical output power of several milliwatts to guarantee an efficient heterodyne process and high system sensitivity. Utilization of the QCL as a local oscillator is a great advantage because of its wide operating wavenumber tunability at a room temperature, small size, and high power output.

The performance of the laser heterodyne spectroscopy was carefully evaluated by the experimental studies. The control of the laser temperature is in the range of -40 ~50 K with a stability of 0.01 K. This laser heterodyne spectroscopy can obtain solar absorption spectra of terrestrial ozone ($\sim 1140 \text{ cm}^{-1}$), and gas-cell absorption spectra of ethane ($\sim 1140 \text{ cm}^{-1}$) with a wavenumber scanning over $\sim 0.6 \text{ cm}^{-1}$ and a spectra resolution of 0.0013 cm^{-1} (20MHz). The signal-to-noise ratio of the spectrum is 20 ~50.

This presentation will also present the wind measurements in the atmospheres of Venus in the period from 07 Aug to 22 Aug 2010 at the McMath-Pierce telescope. An elegant method to measure winds at the middle atmosphere is by observing non-LTE emission features of CO₂ at 10 μm wavelength with the extremely high spectral resolution heterodyne spectroscopy. From line frequency (Doppler-)shifts, velocities of the observed gas can be directly deduced. The used infrared heterodyne instrument THIS (Tuneable Infrared Heterodyne Spectrometer) has been developed at the I.Physikalisches Institut at the University of the Cologne. The addressed altitude region around 110 km is within the so far not very well understood transition zone between the two dominate atmospheric features in Venus upper atmosphere. Below 90 km the atmosphere of Venus is dominated by the zonal super-rotation, above 120 km the subsolar-to-antisolar flow is the main bias. Observing at various positions enables us to draw conclusions regarding both features. It is carried out in coordination with other ground-based observation, and VEX. It will also be a preparation run for joint observations with the Japanese Akatsuki mission which will arrive at Venus by the end of 2010.

中間赤外域 (7-14 μm 帯) の広いスペクトル範囲にはさまざまな分子の吸収線が含まれ、そこでは惑星大気の変動・循環・進化の研究、例えば地球大気の大気汚染物質や温室効果気体の追跡を高い感度で行うことができる。惑星大気を地上から観測する場合、地球大気の強い吸収を分離するために高い波長分解能分光が必要不可欠になってくる。さらに、その高度分布の導出やドップラー効果による大気運動の検出には、吸収線一本一本を分解する必要がでてくるため、さらに高い波長分解能力を要する。

赤外レーザーヘテロダイン技術は、中間赤外分光計の中で最も波長分解能の高い手法であり、本装置でしか成し得ない波長分解能 (10^7 - 8) による吸収スペクトル取得は、対象の物理パラメータを導出する上で非常に強力な手法となる。我々東北大学では1980年代からこの開発に取り組んでおり、地球大気微量成分の観測とその高度分布の導出に成功してきた [Taguchi et al., 1990]。

これまで惑星観測への展開に取り組んできたが、これまで用いられてきた半導体レーザーでは発振強度が弱く (数十 μW)、より高い S/N を要する惑星用として展開が困難であった。しかし、2000年代中盤に実用化された量子カスケードレーザーを本装置の局発光源に応用することにより、数 mW オーダーの大出力化に成功し、この隘路を打開することができた。また、極低温冷却を要しないことから小型化へと期待が寄せられている。現在、システム性能評価が主に室内実験によって進められている。局発光源の温度制御範囲は-40度から50度まで、0.01Kの精度で制御可能である。このレーザーを用いて、太陽を光源とした地球大気オゾンのヘテロダイン試験観測が実施され、吸収スペクトルを取得することができた (S/N=20~50程度)。黒体炉を光源とした室内実験においても、C₂H₄ ガスセル吸収スペクトルの取得に成功し、今後 S/N 向上が課題であり、東北大学観測所における金星試験観測への到達が今年度末の目標となる。

本装置開発は国内外でも、NASA/GFSC、ケルン大、東北大、オックスフォード大においてのみ進められており、共同で開発・観測を進めつつある。本発表では、今夏本格開始されるケルン大との共同研究の一端である、2010年8月7日から22日まで MacMath-Pierce 望遠鏡で実施される金星中間圏風速観測についても報告する。中間圏の風速観測は、波

長 10 μ m 帯の CO₂ non-LTE emission を非常に高い波長分解能で観測することにより得られ、そのドップラー効果から大気成分の風速を直接的に導出することが可能となる。使用される赤外レーザーヘテロダイン分光器 (THIS) は、ケルン大のグループにより開発されたものである。高度 110km の中間圏は金星上層大気における代表的な二つの大気循環の遷移領域でもあり、非常に重要な一方で観測が乏しく未解明な点が多い。高度 90km 以下では東西方向のスーパーローテーションが支配的であり、高度 120km 以上では昼夜間対流が主要成分となる。赤外域で得られる高い空間分解による全球マッピングは、これら二つの振る舞いを理解するのに重要である。本観測は、他地上観測ならびに Venus Express との連携に基づいた一端を担うものであり、2010 年末に金星到着予定の日本金星探査衛星あかつきとの共同観測も念頭においたものである。