

中間赤外域における超高分解能分光装置 レーザヘテロダイン分光

中川 広務 [1]; 青木 翔平 [1]; 黒田 壮大 [1]; 笠羽 康正 [2]; 村田 功 [3]; 岡野 章一 [4]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大院・環境; [4] 東北大・理・PPARC

Ultra-high spectral resolution observations of planetary atmospheres using the mid-infrared laser heterodyne technique

Hiromu Nakagawa[1]; Shohei Aoki[1]; Morihiko Kuroda[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Isao Murata[3]; Shoichi Okano[4]
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.

High-resolution spectroscopy is a versatile tool to study planetary atmospheres. In the mid-infrared wavelength regime the highest possible spectral resolution is provided by applying heterodyne techniques. At high spectral resolution observations of fully resolved molecular features are possible allowing retrieval of many physical parameters from single lines. In addition, due to the fact that many of the observed species are abundant also in the terrestrial atmosphere, high-resolution measurements allow to peak through the telluric features and lead to less ambiguity than low-resolution data. The highest possible direct detection instrument to date provides a spectral resolution of 10^5 . This study will present a detailed description of the Tohoku-based receiver, Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument (MiLaHi), the heterodyne spectrometer for application to astronomy and atmospheric offering access to the 7-11 μm wavelength region at a resolution of up to 10^7 and a bandwidth of 1 GHz. The heterodyne spectroscopy has been developed by Tohoku university to observe the minor constituents in the terrestrial atmosphere from 1980s [Taguchi et al., 1990]. With a wide-band detector, the quantum-cascade (QC) lasers and CO_2 gas laser were recently applied to observe the tiny planetary atmosphere. Our heterodyne spectroscopy is specially designed for the dedicated telescope, PLANETS (2012-) at the Haleakala mountain in Hawaii for continuous monitoring of the planetary atmosphere. The currently performance achieved at 10.3 μm yields a system noise temperature of below 4000 K or NEP of $2.24 \text{ W/Hz}^{1/2}$ at 3MHz resolution. A system noise temperature of 4000 K leads to a minimal detectable brightness temperature difference of 50mK within 10min at 1.5 MHz bandwidth. This corresponds to a minimum flux difference of 0.64 ergs/($\text{cm}^2\text{cm}^{-1}\text{sr}$) for extended source. Here, an example of the terrestrial CO_2 absorption spectrum is shown. To validate the wavelength stability, the gas-cell spectra are also shown here. We also report the variations of the emission spectra of the DFB-QCL, and FP-QCL, which provide us very wide tuneability (5cm^{-1} , and 20cm^{-1}) to operate the heterodyne system. Using these lasers, many interesting scientific problems have been targeted and more will be addressed in the future in the wale of the technological advances of the instrumentation described in this study. Since a telescope dedicated to observation of planets does not exist yet, it is expected the PLANETS telescope and MiLaHi will become a unique facility for continuous monitoring of planetary atmosphere with ultra high spectral resolution.

高い波長分解能を有する分光観測は惑星大気研究にとって非常に多才かつユニークな観測手段である。特に芳醇な分子種の情報を有する中間赤外域において、最も波長分解能の高い分光手段としてヘテロダイン分光技術がある。高波長分解能で観測すれば、分子線を完全に分解することができ、それによって様々な物理情報を獲得することができる。さらに、ほとんどの観測される分子種は同様に地球大気中に存在することから、高波長分解能は地球大気と対象との分離を可能とし、観測の妥当性・精度を向上させることができる。現在、回折格子等を用いた直接観測において世界で最も高い波長分解能は 10^5 程度であり、高精度な観測をするにはまだ不十分である。東北大では 1980 年代より赤外ヘテロダイン分光技術開発を積極的に進め、地球大気微量大気成分研究を成功裏に収めてきた [Taguchi et al., 1990]。我々は、近年になって発展の目覚ましい量子カスケードレーザそして 0.4W にも達する大出力 CO_2 ガスレーザを本装置に適用することにより、ヘテロダイン技術の惑星観測への転用を目指し開発を進めてきた。特に東北大 - ハワイ大が進めている惑星専用望遠鏡 PLANETS に実装し常時惑星をモニタすることを目指した設計となっている。本発表では、東北大で開発された中間赤外レーザヘテロダイン分光装置 (MiLaHi) の性能や現状について報告する。対象は 7-11 ミクロンの波長域であり、帯域は 1GHz、波長分解能は目標であった 10^7 に達する。10.3 ミクロンにおけるシステム雑音レベルも目標であった 4000K を下回り、惑星観測には十分である。これは波長分解能 1.5MHz において 10 分積分時に検出限界が輝度温度 50mK に達することを意味する。本発表では、得られた地球大気二酸化炭素吸収スペクトル・ガスセルスペクトルを示す他、幅広い観測波長域を達成するのに必要不可欠な量子カスケードレーザの評価試験結果についても報告する。常温駆動タイプの DFB 量子カスケードレーザを用いて 5cm^{-1} の波長範囲を達成出来た他、同じく常温駆動タイプの FP 量子カスケードレーザを用いて 20cm^{-1} という幅広い波長範囲での発振を確認できている。これらは本ヘテロダイン分光装置を、より多くの分子種を観測可能にし、様々な当該未解明問題へアプローチ可能にするため重要である。今回ご報告する超高分解能分光装置が専用望遠鏡に実装され惑星を常時モニタできれば、他に類をみない独自性の強いファシリティになることが期待できる。