

赤外レーザーヘテロダイナ分光システムによる高分散分光観測：開発状況と地球大気試験観測

中川 広務 [1]; 青木 翔平 [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・環境; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気

Ultra high spectral resolution observations of planetary atmospheres using tuneable heterodyne infrared spectrometer

Hiromu Nakagawa[1]; Shohei Aoki[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Isao Murata[3]; Shoichi Okano[4]
[1] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [4] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

With increased knowledge on our neighbor planets Mars and Venus, based on recent aggressive explorations by the US and Europe, our image on them is changing significantly. In particular, Mars is called a frozen water planet. It is almost certain that Mars once had duration with warm and wet climate. It still conserves a large amount of water ice under the surface. The question Why and when did they diverge? is essential for their environments which potentially could create and keep the life or not.

Many molecules in planetary atmospheres show transitions in the mid infrared (3~20 μm) region. Thus, high-resolution spectroscopy in this region is significantly indispensable to study planetary atmospheres. Infrared heterodyne spectroscopy has proven to be a powerful tool for astrophysical studies. To achieve highest spectral resolution and sensitivity as well as compact instrumentation heterodyne systems are advantageous over direct-detection methods. Our group in Tohoku University has developed own heterodyne system for infrared spectrometer for Earth's atmosphere over the past 20 years.

The failure of earlier attempts to build tunable systems using tunable diode lasers was due mostly to insufficient laser power. Recently, quantum cascade lasers (QCLs) offer sufficient optical output power of several milliwatts to guarantee an efficient heterodyning process and high system sensitivity. The use of QCLs in our system led to a breakthrough giving the heterodyne infrared spectrometer for planetary atmosphere.

We report experiments evaluating the feasibility of QCLs at mid-infrared wavelengths for use as local oscillator (LO) in a heterodyne receiver. Performance tests with the QCL provided by Hamamatsu Photonics (operating at 7.7 μm), and QCL provided by Maxion Technologies (operating at 10.6 μm in room temperature) were evaluated.

Here we also describe the tests in the laboratory of the back-end spectrometer, a FFT spectrometer provided by Acqiris with a bandwidth of 1 GHz. An overview of the science addressable with the heterodyne spectrometer will be given as well as a brief introduction and instrumentation.

地球型惑星である火星・金星は、地球と似た過程で形成された兄弟星であると考えられているが、近年の観測によりその環境は地球とは大きく異なる事が報告され、大気のダイナミクスや組成の違いが注目されている。地球型惑星の進化を解明することは、生命を維持しうる惑星環境の形成条件を理解する上で重要である。それには、大気ダイナミクスの鍵を握る「速度場・温度場」、および大気変動の鍵を握る「大気微量成分」の高精度捕捉が重要である。

波長3~20 μm の「中間赤外域」は、惑星大気の主成分および微量成分を含む多くの分子振動・回転バンドが重なる。これらの分子吸収スペクトルの位置・ライン幅・強度比から、各成分の存在量・速度場・温度場・高度分布の導出が可能となる。しかしこれらの導出にはライン分解のための「高分散分光能力」が必要である。我々のグループでは、最新赤外線レーザー技術による中間赤外高分散分光システムによる新たな地上観測の実現を図る。

小型・高感度・高分散で分光観測を実現できる有力方式として、東北大グループが1990年代から開発してきた「レーザーヘテロダイナ分光」技術がある(e.g., Fukunishi et al., Applied Optics, 29, 2722, 1990)。本システムは、他システムでは達成不可能な究極の波長分解能 10^7 -8が、高感度(量子雑音限界)で達成できる。しかしこれまで適切な光源がなく、開発は中絶のやむなきに至っていた。

本研究では、近年開発が急速に進む大出力の「量子カスケード半導体レーザー」をこの「ヘテロダイナ分光システム」へ適用し、惑星大気観測用システムの開発に着手した。局部発信器に量子カスケードレーザー(中心波長:7.7 μm , 10.6 μm)を用いて出力を数十mWまで改善することで、微弱な惑星大気の観測を可能とした。分光部では、これまで用いていた音響光学システムに代わり、高分解能デジタル分光器を導入することで分光部の簡易化と広帯域化を実現させた。本講演では、浜松ホトニクス製およびMaxionテクノロジー製レーザー、そしてAcqiris製デジタル分光器の評価試験結果を示す。

また、これまでに波長安定性や波長同定測定、レーザー光と信号光とのビート信号をとるための光軸調整についての基礎実験を実施し、基本的なシステム構築に成功している。液体窒素冷却型から常温駆動型へ変わりつつあるレーザー自身の評価とともに、太陽・月を光源とした地球大気試験観測を実施し、地球大気の高分散スペクトルの取得を目指す。開発進捗状況ならびに地球大気試験観測の初期結果についてもご報告する。今後、検出器の広帯域化、S/N向上・波長安定化のためのダイプレクサ機構の導入、光軸調整緩和のためのファイバオプティクスの導入、小型化・軽量化等の課題に取り組み、次期探査周回機搭載への展開を念頭に置いた高分散分光器として開発を推進していく。