

惑星探査用中間赤外高分散分光計システムの基礎開発

橋本 明 [1]; 笠羽 康正 [2]; 中川 広務 [3]; 村田 功 [4]; 岡野 章一 [5]; 坂野井 健 [6]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地球物理; [4] 東北大・環境; [5] 東北大・理; [6] 東北大・理

Development of Laser Heterodyne Infrared Spectrometer for atmospheric studies of the planets

Akira Hashimoto[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Hiromu Nakagawa[3]; Isao Murata[4]; Shoichi Okano[5]; Takeshi Sakanoi[6]

[1] Dept. Geophysics, Tohoku University; [2] Tohoku Univ.; [3] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [5] PPARC, Tohoku Univ.; [6] PPARC, Grad. School of Sci., Tohoku Univ.

The infrared heterodyne spectroscopy is the most sensitive and highest resolution spectroscopy in the middle infrared region, and has been expected to be a useful method of remote sensing of minor constituents in the atmospheres of planets.

To detect trace gases and derive wind velocities, it is important that the sensitivity and resolution of spectrometer is high. Laser heterodyne system has higher sensitivity and resolution than the other spectrometer. In the laser heterodyne system, the sensitivity rises by the high power laser and the resolution rises by the high wavelength stability. And it is important that the wavelength of local oscillator is tunable. So, utilization of the quantum cascade laser as a local oscillator is a great advantage for heterodyne system because of their wide operating wave-number region and high power.

Over the past 20 years infrared laser heterodyne spectroscopy has been developed by our group in Tohoku University. The purpose of this study is to establish the technique of remote sensing of planetary atmosphere by the tunable heterodyne infrared spectrometer using a quantum-cascade laser. Now, we finished the test of wavelength stability and wavelength identification. And we are setting up the light axis to get beat. We will develop the wide broadband heterodyne system and advance S/N and wavelength stability. In this lecture, I will report present situation of this development and future view.

波長 3 ~ 20 μm の「中間赤外域」は、多数の分子振動・回転バンドからなる情報を含み、惑星大気の「微量ガス検出」「温度場導出」「風速場導出」等を可能とする。例えば、近年火星で存在を示唆されているメタン [e.g., Formisano et al., 2004] は、地質学的反応による起源が現在最も有力とされているが、この議論を更に進めるには地域依存性・季節変動を観測する必要がある。このような微量ガスを検出するには、高分解能の観測装置を用いる必要があるが、現状では感度・分解能不足から地上観測で火星メタンを検出した事例は未だない。

我々はこのような未解明な問題へ自力開発の観測装置で迫るため、2007年秋から「レーザーヘテロダイン分光システム」の新規開発を進めつつある。本システムは、非常に高い分解能を実現できる上に、十分強力なレーザー光源（局部発振器に相当）が存在すれば量子雑音限界の観測が可能のため、高感度・高分解能を同時に達成できる。また、FTIR や ESSHELL 分光器と異なり、原理的に波長分解能が大きさに依らないため、高感度・高分解能を維持した上でコンパクトにすることが原理的に可能で、将来的に衛星搭載の可能な高分解能分光システムとしても期待できる。世界では、他に米国・ドイツの2グループでヘテロダイン分光システムの開発が行われているのみである [e.g., Kostiuik et al., 2001; Sonnabend et al., 2005, 2006; Fast et al., 2006]。米国グループでは、火星・金星における風速場の導出に成功しており [e.g., Sonnabend et al., 2006, 2008]、Planet-C、将来火星探査等への支援を念頭に、2010年までには我々も実観測に入りたいと考えている。

本グループでは、東北大学で過去に行ってきた半導体レーザーを用いた「赤外ヘテロダイン分光システム」を基盤とし、近年実用化された浜松ホトニクス製の 7.6 μm 帯の量子カスケードレーザーを光源としたシステム構築に取り組んでいる。現在、レーザーの波長安定性や波長同定を測定し終え、レーザー光と信号光とのビート信号をとるため、光軸調整を行っている。これには双方の光軸を精密に重複せざる必要があるが、我々は2つのピンホール（直径 1.6mm）および赤外線カメラを援用することでこの光軸の調整手法を確立しつつある。ミキシングに成功しビート信号を取り出した後には、ヘテロダイン分光システムの広帯域化を図るため、(1) 光起電力型検出器 (~100MHz) から広帯域量子井戸型検出器 (~1GHz) への変換による広帯域化、(2) レーザー (10.4 μm 帯) の導入によるマルチビーム化、(3) 波長安定性を向上させるため、2つの光を重ね合わせる機構として「ファブリ・ペロー・ダイプレクサ (FPD)」の導入、等を検討する。FPD を用いたヘテロダイン光学システムは、米国のグループにより確立されている技術であり、 $\sim 10^7$ の非常に高い波長安定性を得ることができる。更に、我々の使用しているビームスプリッターと比較して、効率よく2つの光を重ね合わせることが可能であり、S/N を向上できるなどの利点がある。また、(4) 将来の小型化およびミキシング光路の単純化を企図して赤外線光ファイバの導入、(5) 高速 A/D を基礎とする高分解能デジタル分光器の導入も行っていく予定である。

道のりは険しいが、現在、我々は本ヘテロダイン分光システムによる太陽・月を光源とした地球大気微量成分の検出を年度内の到達目標としている。本講演では、この開発の現状および将来展望を報告する。