

## 量子カスケードレーザーによる惑星探査用中間赤外高分散分光システムの基礎開発 I

橋本 明 [1]; # 中川 広務 [2]; 笠羽 康正 [3]; 岡野 章一 [4]; 村田 功 [5]; 坂野井 健 [6]; 山崎 敦 [7]; 田口 真 [8]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理; [5] 東北大・環境; [6] 東北大・理; [7] 宇宙科学研究本部; [8] 極地研

### The infrared heterodyne technique using tunable quantum cascade laser for planetary exploration - I

Akira Hashimoto[1]; # Hiromu Nakagawa[2]; Yasumasa Kasaba[3]; Shoichi Okano[4]; Isao Murata[5]; Takeshi Sakanoi[6]; Atsushi Yamazaki[7]; Makoto Taguchi[8]

[1] Dept. Geophysics, Tohoku University; [2] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.; [5] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [6] PPARC, Grad. School of Sci., Tohoku Univ.; [7] ISAS/JAXA; [8] NIPR

<http://stpp1.geophys.tohoku.ac.jp>

Observation of fully resolved molecular transition lines in planetary atmosphere in the mid-IR spectral region (3-20 micrometer) allow the retrieval of physical parameters such as pressure, temperature, molecular abundance, and dynamical properties of the atmosphere (i.e. wind velocities) from single line profiles [Koustiuk, 1994]. Such observations can probe atmospheric regions not otherwise accessible remotely and can provide long-term coverage not possible by spacecraft missions. Mid-IR heterodyne observations have proven to be a valuable tool for planetary astronomy since the 1970s and important results have been achieved on Mars, Venus, Saturn, Jupiter, and Titan [Fast et al., 2006; Goldstein et al., 1991; Kostiuk et al., 1996, 2001]. Due to the small line-width or doppler shift of these emission features, high spectral resolution in the infrared can only be achieved by heterodyne techniques.

The infrared heterodyne technique has been developed for ultrahigh resolution IR spectroscopy of the absorption spectra of trace constituents in the earth's atmosphere since 1990s in Tohoku university, Japan. The spectral resolution of the developed system are 0.0013/cm. This performance is sufficient for retrieving the altitude profile of atmospheric ozone through an inversion method. Accurate measurements of ozone vertical profiles using a tunable diode laser heterodyne spectrometer were performed by Okano et al. [1989]; Taguchi et al. [1990]; Fukunishi et al. [1990]. However, a power of the tunable diode laser is not sufficient for retrieving the planetary signal.

The recent advent of the quantum cascade (QC) laser emitting in the 4-16 micrometer range has greatly increased the availability of tunable laser sources for high-resolution spectroscopic applications in the mid-IR spectral region. The stability ( $10^{-8}$ ) and the intensive power (100 mW) break up the inadequacy of the previous laser, and provide complete solution to observe the planetary components. Recently, Sonnabend et al. [2005] have successfully achieved the important results on Mars using tunable QC laser. Here we report the fundamental development for the infrared heterodyne spectroscopy near 10 micrometer (spectral resolution  $> 10^{-7-8}$ ) which is based on a tunable QC laser as local oscillator in Tohoku university. This cutting-edge progress will be expected to provide a great advance for planetary physics.

本発表は、将来惑星探査において重要な役割を担う「中間赤外線高分散分光システム」の本格開発着手を行うものである。波長 3 ~ 20  $\mu\text{m}$  のいわゆる「中間赤外域」は、多数の分子振動・回転バンドからなる芳醇な情報を有する。惑星科学では「微量ガス検出」「温度場検出」「速度場導出」等において鍵となる情報を提供しうる。高感度（ショット雑音限界）、高分解能（10<sup>-7-8</sup>=数~数十 m/s に相当）の搭載機器を軽量・低電力で実現できれば、惑星研究に大きな飛躍をもたらす。本領域は世界的にも発展途上である。我々は国際的競争力を有する最先端観測技術の開拓、すなわち近年開発が急速に進みつつある「量子カスケードレーザー」を用いた赤外線レーザーヘテロダイン分光システムの基礎開発に挑む。赤外線レーザーヘテロダイン分光システムの開発は、東北大グループによって 1990 年代に開始された。この方式は、「信号源」たる観測対象からの微弱赤外線を「局部発振光源」と混合し、その「光ビート」を高速検出することによって、極めて高分散・高感度分光を行うものである。本システムの鍵を握る最大の要素が「波長安定度の高い、波長変更可能な、強光度の局部発振光源」である。90 年代に利用できた光源には、この点で以下の致命的な問題があった。

1. ガスレーザー（例：CO<sub>2</sub> レーザー） 強度・安定度は十分だが、大型
2. 半導体レーザー 小型・安定だが強度が数十  $\mu\text{W}$ 、S/N 不足

最近、「量子カスケードレーザー」が米国で実用化された。このレーザーは InGaAs/InAlAs 超格子を用いるもので、波長 4 ~ 16  $\mu\text{m}$  において「108 程度の波長安定度、数%の波長変更可能、小型かつ 100mW 以上の強光度」を有しうるもので、ガスレーザー、半導体レーザーがもつ欠点をほぼ解消可能である。米国・ドイツでは、このレーザーを用いた赤外ヘテロダインシステムの開発が開始されている [e.g., Kostiuk et al., 2001; Sonnabend et al., 2005; Fast et al., 2006]。国内では、浜松ホトニクスが上記材料によるレーザー開発に成功し、既に試験出荷を開始しつつある。これと、「赤外線ヘテロダイン技術」の蓄積を既に有する東北大・惑星グループを融合することで世界最高峰の観測技術送達を目指したい。

今年度は以下をステップバイステップで実施し、技術的成立性を確立する。

1. 量子カスケードレーザーの駆動方法の確立

2. 量子カスケードレーザーを光源とした小型 in-situ 微量ガス検出システムの基礎構築
3. 量子カスケードレーザーを光源としたヘテロダインシステムの基礎開発
4. 上記ヘテロダインシステムによる太陽・月を光源とした地球大気の観測システムの基礎開発

これによって、次年度に「地上観測による惑星大気分光」の試験観測を開始できる地点まで到達したい。短期的には、本システムを東北大観測設備（福島県飯舘）、国立天文台石垣島観測所、ハワイ望遠鏡群に展開し、火星・金星等の微量ガス・速度場検出を目指す。中長期的には、小型軽量高分散赤外分光撮像器を開発し、軌道上望遠鏡・惑星周回機・惑星着陸機・エントリーブローブへの展開を目指す。