

超高波長分解能惑星分光観測を可能にする中間赤外レーザーヘテロダイン分光システムの開発

Heterodyne infrared spectroscopy for ultra high-spectral resolution observations of planetary atmosphere

中川 広務^{1*}, 青木 翔平¹, 笠羽 康正¹, 村田 功¹, 岡野 章一¹

Hiroumi Nakagawa^{1*}, Shohei Aoki¹, Yasumasa Kasaba¹, Isao Murata¹, Shoichi Okano¹

¹ 東北大学・理

¹Tohoku University

中間赤外線域は、分子の振動・回転遷移に伴う強い吸収線が豊富に存在し、地球を含む惑星大気研究、例えば地球の大気汚染物質や温室効果気体など微量大気の生成・消滅・循環の理解、希薄な惑星大気の組成や構造、その時間変動の把握にと、非常に重要な分光観測領域として位置づけられてきた。特に、惑星・天体大気を地上から観測する場合、同一波長域に重なる地球大気の強力な吸収成分との分離のために非常に高い波長分解能が必要となる ($>1E5$)。この領域での分光手段として、「分散素子分光」および「フーリエ分光 (FTIR)」が主流であるが、双方とも高波長分解能を求めると装置が巨大なものとなり、現況大型望遠鏡に搭載されている装置 (例えば、TEXES/IRTF) でも $1E5$ 程度が限界である。

既存装置の波長分解能を圧倒的に凌駕し、高感度・小型化を実現可能とする唯一の方法が赤外レーザーヘテロダイン分光方式である。本方式による分光システムを用いて、NASA/GFSC およびドイツ・ケルン大学の2グループで惑星観測が実施されており、既存装置よりも一桁以上高い波長分解能 ($1E7-8$) は、惑星大気微量成分の検出のみならず、圧力ブロードニングによる高度分布の導出、ドップラーシフトによる大気運動の直接検出など、他方式では不可能だった観測を可能とし、独創的な成果を挙げている [Sonnabend et al., 2008; Kostuik et al., 1983]。我々東北大学でも 1980 年代より本方式を地球大気微量成分研究に採用し成果を挙げてきたが [Taguchi et al., 1990]、2007 年末より量子カスケードレーザー (QCL) を用いた分光器の再開発に着手し、本格的に惑星観測への応用に動き出した。現在、東北大ハワイ大惑星専用望遠鏡 PLANETS への常設・惑星大気の常時モニタを目指し、開発を進めている。

本発表では、(i) PLANETS 搭載用小型赤外ヘテロダイン分光システムの開発状況と性能評価結果、(ii) QCL と炭酸ガスレーザーとの干渉実験結果、そして (iii) 外部共振器開発状況 について報告する。

我々の受信機は 8-12 μm の波長域に対応しており、9.6 μm および 10.3 μm の DFB 型 QCL、8.0 μm の FP 型 QCL の局発光が運用可能な状態にある (いずれも浜松ホトニクス社製)。後者は FP 型 QCL と外部共振器を組み合わせる事で、通常の波長可変領域を 100 倍以上広げる事を想定し、複数分子種の同時観測を目指す。QCL はペルチェ冷却ヘッドに搭載され、常温駆動が可能である。波長分解能は波長安定化装置 Diplexer 等を組み込む事で $1E7$ を達成目標とし、帯域はデジタル分光器 (アジレント社製) の制約上 1GHz となる (10 km/s at $10 \mu\text{m}$)。感度は、先行研究より量子雑音限界の 2-3 倍程度まで高められる事が期待されるが、現在は定在波や外部ノイズの除去・RF 改修によりシステム雑音の軽減に努めている。これらの達成により、地球型惑星 (火星・金星など) 大気のダイナミクスや重要微量分子の素過程理解に貢献する。

キーワード: ヘテロダイン, 分光, 赤外, 量子カスケードレーザー

Keywords: heterodyne, spectroscopy, infrared, quantum-cascade laser