

論文内容の要旨

氏 名 (村 山 純 平)	
論文題名	Isotopic analyses of water vapor and ammonia gas using cavity ring down spectroscopy for planetary exploration (惑星探査のための、キャビティリングダウン分光法を用いた水蒸気およびアンモニアガスの同位体分析)
論文内容の要旨	
本論文では、惑星探査での同位体測定における、CRDS(cavity ring down spectroscopy) と呼ばれる手法の有用性を、測定実験の結果とともに示す。 1、2 章ではまず、月面を含む惑星環境において揮発性元素を測定分析することがいかに重要であるかを議論する。特に月面における H_2O、CO_2、NH_3 といった揮発性分子の供給源や振る舞いを理解することは、人類にとっての長年のテーマであるだけにとどまらず、今後人類が月面に進出した際の足がかりとして非常に重要な情報となりうる。これら揮発性分子を測定・分析し、より深い理解を得るための装置として我々が推し進めているのが、CRDS という手法を用いた装置開発である。CRDS はその構造故に非常に長い光路長を持ち、微量なガス種を検出することに長けている。1 章で触れることになるが、JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency) による探査計画である LUPEX(Lunar Polar Exploration) が 2024 以降にローンチされ、月面に存在する水を CRDS を用いて直接観測し、その同位体測定を行う予定である。CRDS の特徴は、吸光度に置いて 10^{-10} に達する高い感度である。光の多重反射を用いる手法により、15 cm^3 のサンプルセルに含まれた、たった 1 ng の水分子も検出 することができる。更に、限られたスペースの中で長大な光路長を稼ぐことが可能なため、数cmのキャビティで数kmの光路長といった、非常な小型化を実現できる。 3 章では、5 cm のキャビティを採用した小型のCRDS を用いて、水蒸気の同位体測定を行った結果を示す。我々は異なる D/H 比をもつ標準資料を用意し、それらの吸収スペクトル測定を行い、そして Voigt関数によるフィッティングを適用した。結果、既知の値との検量線を得たことに加え、$\delta\text{D} = -980\text{‰}$ の D が非常に枯渇したサンプルの同位体比を、検出限界を大幅に上回る SN 比 7.17 で測定することに成功した。月面に太陽から供給される水素原子はDに枯渇していると考えられており、そういった水の供給源の月面微量水に対する寄与を我々の CRDS で検出することが期待される。 4章では、アンモニア同位体測定のための CRDS を開発した結果をお伝えする。アンモニアは産業的にも非常に重要な資源であり、水素及び窒素の媒体としての役割も期待される分子である。もちろん地球環境においても重要な物質であり、その光学的性質についても長年研究がなされているものの、同位体という観点から見ると情報が 限られている。本研究では、この観点から、CRDS を用いたアンモニア同位体測定の実現を目指した。まず最初に、98 %純度の $^{15}\text{NH}_3$ ガスを用いて実際にスペクトル測定を行い、吸収線を探索した。その結果、$1.5\text{ }\mu\text{m}$ 付近に、同位体測定に適した 3つの $^{15}\text{NH}_3$ 吸収線候補を発見した。そのうちの1つを用い、測定したスペクトルから $\delta^{15}\text{N}$ を算出した上で、時系列測定においてアラン分散を求め、測定のばらつきを検証 した。更に、異なる $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比となるような資料を用意し、検量線測定を行った。検 量線は想定される精度として設定した 100‰ を下回るような良い一致を示し、100%変動時における検量線のずれを約 1‰ に抑えられる結果となった。	