

月極域探査へ向けた水分子レーザー同位体測定装置の開発

¹新述隆太, ¹山中千博, ²橋爪光, ¹村山純

¹大阪大学 大学院理学研究科

²茨城大学 大学院理学研究科

Development of Laser Isotope Analyser for Lunar water at Polar Region

¹Ryuta NIINOBE, ¹Chihiro YAMANAKA, ²Kou HASHIZUME, ¹Jun MURAYAMA

¹Osaka University Graduate School of Science

²Ibaraki University College of Science

Abstract:

In recent years, the existence of Lunar water in polar region has been positively suggested by remote sensing surveys. However the origin and abundance of Lunar water are not clear. This problem will be solved only by in situ observation on Lunar surface. Optical analysis method is advantageous for space mission, because the system should be constructed in light weight. This method uses a small difference of absorption line specific to each isotope. Then, Isotope ratio is determined from each absorption strength. We built a TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) system in laboratory, and try to design a suitable model for space mission.

1. 研究背景

近年リモートセンシング技術の発達などにより月極域には一定量の水が存在することが示唆されているが^{[1], [2]}、その存在量や起源は定かではなく、サンプルリターンによる地球水の汚染を考えると、月面でのその場観測によってのみこの問題は解決する。

一般に質量分析計を用いた同位体分析法では、水分子同位体を測定する際に生じる同重体を質量分離するために非常に高い質量分解能を要するので、大型の質量分析計が必要となり、宇宙機搭載が困難である。この点において光学分析法は軽量に攻勢されるので有利である。分子ごとによって吸収波長がわずかに異なることを利用し、測定物質の数密度決定や同位体分析を行う手法であり、地上では半導体レーザーを用いた光学分析計が微量水分計測用や同位体測定用しても広く

普及している。本研究では、宇宙機搭載用としてさらにダウンサイズすることを目的としている。

2. 月面水の起源と同位体比

本研究では、水の持つ同位体に注目し、月面上での水の挙動を解明することを目指している。月面において、太陽風・微小隕石・彗星あるいは月岩石が水の起源となりうると考えられており、それら各起源の水素同位体、酸素同位体組成はそれぞれ異なる値を持つことが知られている。

同位体組成比は、何らかの化学的・物理的プロセスによって変化する。そのような効果のことを同位体分別効果と呼び、特に同位体種の質量の差に起因する効果を質量依存同位体分別効果と呼ぶ。

安定水素同位体は D と H の 2 種類のみで、質量が軽く質量同位体分別効果が大きい。そのため測定には 10% 程度の精度でおおよその起源を識

別できると考えられている。

酸素の同位体には ^{16}O と ^{17}O 、 ^{18}O の三種が存在しそれぞれの δ 値(標準海水からの偏差)をとることで質量分別と起源の違いを区別することができる(図 1 参照)。彗星起源を区別するためには 10%、コンドライト隕石の起源を区別するためには 1%の精度が要求される。

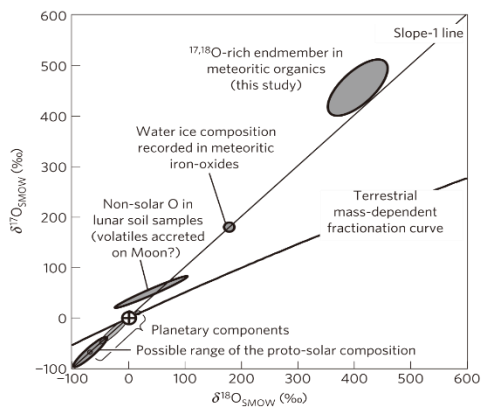


図 1 太陽系の O 同位体組成^[3]

3. 光学分析装置

分子種が基底状態から励起状態に遷移する際、光子エネルギーを吸収し回転や振動の状態が変化する。同位体吸収線にレーザー波長を合わせれば、その吸収から同位体比を決定できる。

今回のような測定対象物質が微量なときは光路長を伸ばす必要があり、そこで候補に挙がるものが TDLAS と CRDS と呼ばれる光学分析法である。

TDLAS は対象気体の入ったセル内でレーザーを多重反射させ、吸収前と吸収後の強度比から吸収スペクトルを得る手法で、振動に強く実際に宇宙機に搭載された実績^[4]を持つ。

CRDS ではセル内でレーザーを共振させ、直後にレーザーを遮断することで得られる減衰波形から吸収物質の存在量を観測する手法である。光路長が数 km に及ぶため微量な物質に対して非常に有効である。また小型化しやすいという点からも宇宙機に適している。

4. 実験

本稿では筆者が行っている TDLAS の研究について述べる。波長 $2.7\ \mu\text{m}$ の DFB レーザーを用い、図 2 のように光路を組んだ。

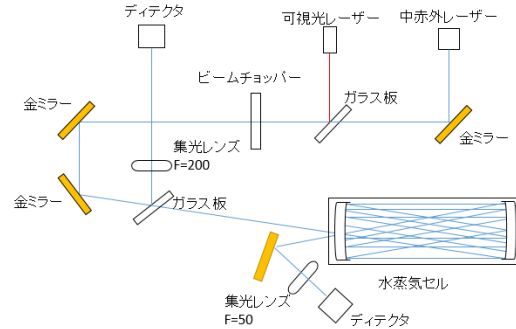


図 2 実験装置配置図

入射前と後の強度比を、波長を変化させながら計測する。セル外の水蒸気の影響を受けるため、セル内の圧力が 500Pa のときと水蒸気を含むときの強度の比をとり、吸収スペクトルを得た。(図 3 参照)

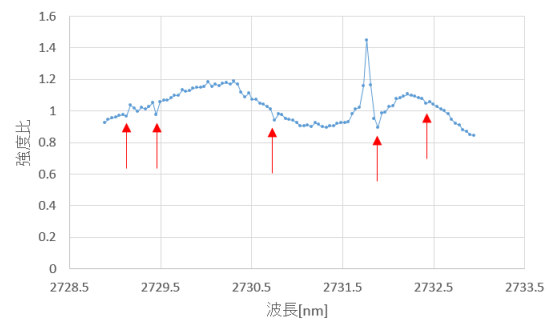


図 3 水蒸気による吸収スペクトル。矢印はデータベースのものとは一致する吸収線。

得られた結果を用いて宇宙機搭載用のための設計指針を明らかにしていく予定である。

参考文献

- [1] M. T. Zuber et al., (2012) nature **486**, 378-381.
- [2] J. Haruyama et al., (2008) Science **322**, 5903.
- [3] K. Hashizume et al., (2005) nature **434**, 619-622.
- [4] L.A.Leshin et al., (2010) Science **341**, 6153.