

小型質量分析計を用いた同位体測定ミッション：(1)次期月探査に向けてのミッション提案

Isotopic mass analyses on the Moon by small mass spectrometer: (1) A mission proposal for a future lunar exploration

大竹 真紀子[1], 杉原 孝充[2]

Makiko Ohtake[1], Takamitsu Sugihara[1]

[1] NASDA, [2] 宇宙開発事業団

[1] NASDA

我々のグループでは、次期月探査計画におけるミッション候補として、月面上において揮発性元素の同位体測定を行うことにより月の起源と進化を明らかにすることを目的とするミッションの提案を行っている。具体的には、数km～数十km以上の移動が可能な月面ローバにレーザによる加熱機構を持つ小型質量分析計を搭載し、月面の各地点において揮発性元素の同位体測定を行うミッションであり、これまでに検討した質量分析計についてイオン軌道計算より十分な性能を得ている。また本質量分析計のラボラトリモデル設計も終了している。今回の発表ではこの同位体測定ミッションの科学目標を中心に検討状況について紹介する。

現在、月探査についてはルナー-A や SELENE などの計画が進められており、それら計画によってアポロ以降の約30年間の月研究においても未解決であった多くの問題が解明されることが期待されている。しかし、我々のグループでは、さらなる次期月探査計画におけるミッションとして、リモートセンシング計画などでは得られないような月面表層物質の化学的情報、特に同位体情報から、月の起源と進化を明らかにすることのできるミッションの提案を行っている。具体的には、数km～数十km以上の移動が可能な月面ローバに小型質量分析計を搭載し、月面の各地点において揮発性元素の同位体測定を行うミッションを提案しており、これまでに質量分析計のラボラトリモデル設計を終了している。今回の発表ではこの同位体測定ミッションの科学目標を中心に検討状況について紹介する。

月面における揮発性元素測定において大きな成果が期待される科学目標として数々の項目が考えられるが、その中でこれまでに以下の測定の実現可能性について検討を進めてきた。1) 放射年代を用いてクレータの生成年代を実測することによりクレータ年代学の精度を向上させる、また月における最後の火性活動であると推定されている溶岩流年代を測定することにより月の熱史を明らかにする、2) 月岩石中の揮発性元素同位体比測定により、月の生成および進化の過程における脱ガスや蒸発などのメカニズムを解明する、3) 近年の月探査や地上からの観測により月極域に存在するかどうかの議論が続いている氷、および氷中に含まれる物質の同定と同位体比測定によって氷の起源を明らかにする、4) レゴリス中の太陽風付加元素の同位体比測定により太陽風組成を知るとともにその時間変遷についての情報を得る。これらの測定は、これまでのリターンサンプルでは研究に適したサンプルを月面上の広範囲にわたって調査、選別することがなされていない、地上でのコンタミネーションにより正確な値が得られない、などの理由から十分な研究は行われていない。そのため、月面ローバを用いることで目的とする場所に移動し、サンプルを選別しながら月面上において揮発性元素の同位体測定を行うことで飛躍的な成果が得られるものと期待される。しかしながら、地上での場合とは異なり月面上での分析では試料を得る段階で走行距離や極域環境への対策など技術的な制約も生じ、また分析を行う段階においても試料の処理方法を簡略化する必要があるなど様々な制約条件が生じる。それら制約の中で我々は、どのような測定システムを構築し、どのような科学目標を達成するのか、またそのために適した探査地点はどこかについて検討を行ってきた。例えば、3) の氷測定の場合には、氷の化学組成を同定することも重要であることから GC と質量分析計を組み合わせるシステムが有効であると考えている。また、彗星が月面上に存在する氷の起源として最も有力とされていることから、その推定が正しいとするならば氷に含まれるであろう有機物の同位体測定も非常に興味深い。ただし、氷の測定の場合には極域での電力確保の他、どのようにして試料を採集し、質量分析計に運ぶのかなどといった問題点も残されており、これらについては今後の検討が必要である。このような検討の結果、上記1)～4) の探査項目のうち実現可能な項目の観測候補地点と、それぞれの観測地点における探査シナリオを作製したので、その詳細について発表の中で紹介したい。測定システムについては、まず質量分析部について大阪大学の石原盛男、豊田岐聡の両氏と共同で質量分析計の設計を行った。これについては、現在までに Mattauch-Herzog タイプの二重収束型質量分析計を採用することによって限られたリソースの中で十分な性能を達成できる事がイオン軌道計算により確かめられた。また、この設計をもとに本質量分析計の性能を実証するためのポラトリモデル制作を予定しており、ラボラトリモデルの設計についても終了している。今後は、ラボラトリモデルを作製し、質量分析計の性能評価を行っていくとともに、レーザを用いた加熱条件や簡便な不純物除去方法を求める実験からの結果を基にサンプリング部やガスラインなどの設

計に向けての検討を進めていく予定である。

最後に、今回紹介するような機能を持つ同位体測定システムが実現し、地球以外の天体表面において揮発性元素の同位体測定が可能になれば、月だけでなく他の惑星探査においてはサンプルリターンが困難であることからさらに重要なミッションとなり得る事が期待され、そのような意味でも今回のミッションの意義は大きいと考える。