

惑星探査における K-Ar 年代のその場測定法の開発

長 勇一郎¹、三浦 弥生¹、橘 省吾¹、杉田 精司²

¹東大・理、²東大・新領域

1. 惑星探査におけるその場年代測定の意義

惑星科学において、天体表層の年代を知ることは極めて重要である。しかし月以外の天体では、既知の場所の試料について絶対年代測定が行われた例はない。火星の場合も、月のクレーター年代学と小惑星の軌道力学計算に基づき推定された絶対年代が提案されているが、10 億年規模の不定性があり得るのが現状である[1]。そのため、クレーター年代が明瞭な地点に着陸してクレーター年代のアンカーとなるべき試料を測定し、絶対年代を 10%~20%の相対精度で測定することができれば、火星の表層進化の理解に非常に大きな貢献となることが期待される。

2. K-Ar 年代測定法

本研究では、⁴⁰K (半減期 12.5 億年) が ⁴⁰Ar に放射壊変する K-Ar 系列を用いて、惑星探査のその場年代計測を行うことを目指す。年代計測手法には他にも幾つかの種類があるが、K-Ar 法は岩石中に K が比較的多く存在していることや、Ar が希ガスであるため岩石内での存在度が低いことなどから、Sm-Nd 法や U-Pb 法など他の手法と比較して、惑星探査における技術的実現性が高いと考えられる。実際、惑星探査において K-Ar 年代をその場測定する試みは NASA の MSL、ESA の Beagle2 において計画されてきた[2, 3]。しかしこれまでの提案には、(1)Ar 抽出用の炉を必要とし、試料重量計測はカメラで体積計測をして行うなどシステム構成が複雑であること、(2)K 分析と Ar 分析を別々の試料で行うため、試料の不均質に起因する年代誤差を生じ得ること、(3)全岩分析によるモデル年代推定法であるため、大気混入などの過剰 ⁴⁰Ar 評価が難しいこと、などの問題があった。

3. LIBS-QMS システムを用いた年代測定法

そこで本研究では、試料にレーザー光を照射して、K の定量に Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)を、Ar の定量に四重極型質量分析(QMS)を用い、これらを組み合わせて K と Ar の比を求める手法を提案する (Fig. 1)。この手法には、(1) 炉や重量計測装置のないシンプルな構成が達成可能であること、(2)K の分析点と Ar の放出点在同一であり、試料中の両者の分布の不均一による年代測定誤差の影響を受けないこと、(3)レーザービームを使ったスポット分析によって一つの試料から K 濃度の異なる複数のデータ点を取り、アイソクロンを引くことが可能なこと、といった強みがある。本手法実現の鍵は、K 量を従来のような相対濃度ではなく絶対量として定量することと、測定可能な Ar 量をレーザー照射により抽出することにある。後者については、放射壊変由来でない ⁴⁰Ar (大気起源や惑星内部起源など) の影響を評価するため、⁴⁰Ar よりも数桁存在度が低い ³⁶Ar 量をモニター出来ることがポイントになる。

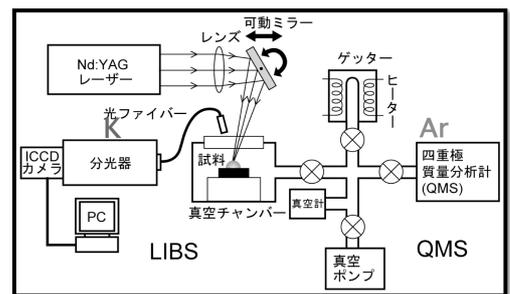


Fig. 1 本研究で提案する LIBS-QMS システムの概念図。

4. 実験結果

4-1 K 定量実験

K の定量のために、0.01~5wt%の K 濃度を持った試料にレーザーを照射し発光スペクトルを取得した(Fig. 2)。従来の研究では、発光強度の低下する高真空中で S/N 良く K の輝線を測定することは技術的に困難であったが、カメラレンズを用いた集光光学系の構築などを通じてこれを実現した。K 濃度と輝線強度との関係をとると Fig. 3 が得られ、高真空下の LIBS においても K 濃度の検量線は比較的良く定義できることが分かった。現在、この相対値の検量線を元にして K の絶対量を求める手法を構築している。

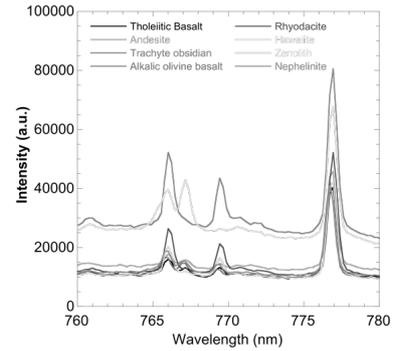


Fig. 2 K の発光輝線(766, 769nm)。

4-2 Ar 定量実験

Ar 定量に関しては、既存の希ガス分析装置を用いて検出限界を明らかにし、年代計測に必要な装置の性能や目的量の Ar 放出に必要なレーザーの照射回数を見積もることを目的として実験を行った。そのために先ず、天然試料の 10000 倍の ^{40}Ar (10^{-1} cc/g STP)を含む試料を作製し、これに Nd:YAG パルスレーザーを照射することで Ar を抽出した。その結果、 ^{40}Ar が 10^{-8} cc/pulse, ^{36}Ar が 10^{-11} cc/pulse 放出され、放出量はレーザーパルス数に概ね線形であった(Fig. 4)。ただし現在のところ、 ^{36}Ar についてはレーザーパルス数 (Ar 抽出量) が少ないとブランク補正が大きく定量誤差も大きい。ブランクマススペクトルから、質量数 36 では炭化水素が主なブランク源であることが分かっている。一方、質量数 40 のブランクは 2×10^{-10} cc 程度で、装置に残存する地球大気起源の Ar である。これらのことから、火星上で ^{36}Ar を計測するためには (放射壊変由来でない ^{40}Ar の影響を評価するために必要)、現状では最低でも 10000 パルスの照射が必要であり、現実的なパルス照射数 1000 回と比較し一桁程度の開きがある。従って、火星探査を念頭に置いた Ar 定量のためには、レーザーによる Ar 放出量の増大と、QMS の感度向上・ブランクの低減による一桁~二桁程度の Ar 検出限界の引き下げが出来れば良いということが分かった。

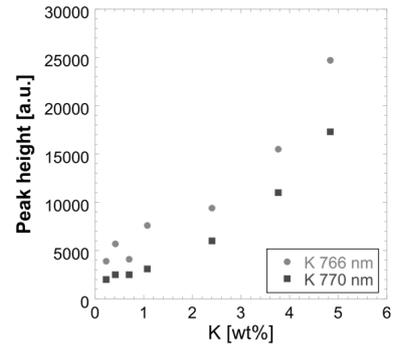


Fig. 3 相対濃度と K 輝線強度。

5. 新システムの構築

以上の結果をもとにして、本研究ではさらに、これまで別々に用いられてきた LIBS と QMS 測定を一つの真空ラインで実行可能な、年代計測に特化した新システムを設計・製作した(Fig. 5)。この新装置では SEM(二次電子増倍管)の利用による QMS の 3 桁程度の感度向上、排気ポンプからのオイルの逆流防止による炭化水素由来ブランクの低減、更にレーザーエネルギーの向上による Ar 放出量増大および K 輝線強度増大などの改良がなされている。現在、この装置を用いて実験を進めている。

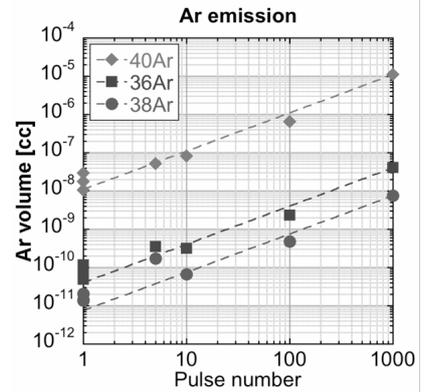


Fig. 4 放出された Ar の量。

References

- [1] Doran et al. (2004) *Space Sci. Rev.* [2] Swindle et al. (2003) *LPSC abstract*
 [3] Talboys et al. (2009) *Planet Space Sci.*, [4] Bogard (2008) *LPSC abstract*

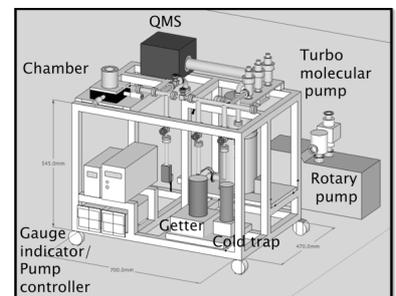


Fig. 5 本研究で構築する新システムの概念図。