

K-Ar 法を用いた月・火星着陸探査用その場年代計測装置 Development of an in-situ K-Ar dating instrument for landing planetary missions

長 勇一郎^{1*}, 杉田 精司², 三浦 弥生³, 亀田 真吾⁴, 諸田 智克⁵, 吉岡 和夫⁴, 岡崎 隆司⁶, 並木 則行⁷, 荒井 朋子⁷, 小林 正規⁷, 石橋 高⁷, 大野 宗祐⁷, 千秋 博紀⁷, 和田 浩二⁷, 橘 省吾¹

CHO, Yuichiro^{1*}, SUGITA, Seiji², MIURA, Yayoi N.³, KAMEDA, Shingo⁴, MOROTA, Tomokatsu⁵, YOSHIOKA, Kazuo⁴, OKAZAKI, Ryuji⁶, NAMIKI, Noriyuki⁷, ARAI, Tomoko⁷, KOBAYASHI, Masanori⁷, ISHIBASHI, Ko⁷, OHNO, Sohshuke⁷, SENSU, Hiroki⁷, WADA, Koji⁷, TACHIBANA, Shogo¹

¹ 東京大学地球惑星科学専攻, ² 東京大学複雑理工学専攻, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 立教大学理学部, ⁵ 名古屋大学大学院環境学研究科, ⁶ 九州大学大学院理学研究院, ⁷ 千葉工業大学惑星探査研究センター

¹Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, ²Department of Complexity Science and Engineering, Graduate School of Frontier Science, The University, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ⁴Department of Science, Rikkyo University, ⁵Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ⁶Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁷Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

惑星全体の歴史を理解する上で不可欠な観測量でありながら、周回機からのリモートセンシングでは得ることができない観測量に、地質形成年代がある。本発表で提案するその場年代計測は、世界のどの国も天体表面上で実施した実績は持っておらず、開発途上の技術である。また、日本国内には開発を進めている研究グループは存在しない。そこで我々は、その場 K-Ar 計測装置の基礎特性の解明から取り組み、日本の独自技術としてその場年代計測装置を開発する基盤を作りたいと考えている。

例えば火星においては、表面のどの地点でも絶対年代が計測されたことが無く、月の年代学関数をベースに、重力効果や衝突天体の軌道要素・衝突確率の違いからの解析的研究にもとづいてクレーター年代学関数を推定しているに過ぎない。そのため火星の絶対年代には大きいところで 10 億年にも上る不定性があり、火星の内部進化や地質活動、気候進化の定量的な議論の遅れの原因となっている。そこで火星着陸機・ローバにおいては、火星表面上に残る溶岩流の形成年代を決定し、既存の相対クレーター年代と組み合わせることによって、火星の絶対年代スケールを獲得することが最大目標となる。

近い将来に実現が望まれる月面からの試料回収探査機への搭載も重要な候補である。既に絶対年代データが得られている月においても、アポロ計画で得られたクレーター生成率のデータに大きな疑問が投げかけられているのが現状である。アポロで地球にもたらされた岩石試料の大半は、天体衝突による衝撃変成を激しく受けた本来の固化年代の情報を失ってしまった試料であった。このような衝撃変成を受けてしまった岩石を持ち帰ってしまったのでは、月面試料回収探査としては成功とは言いにくい。本提案のような固化年代のその場計測が実現すれば、形成以降、比較的最近に同位体時計のリセットを経験した岩石かどうかの判別ができるようになるため、本当に必要な試料を惑星表面上で選別するための指標となり、月試料回収探査計画の科学的価値を飛躍的に向上させることになる。

本手法では、真空容器に採取した岩石にパルスレーザーを照射してプラズマを生成し、放射される K 輝線の LIBS(レーザー誘起絶縁破壊分光法)計測と、同時に放出される Ar ガスの QMS(四重極質量分析計)計測を組み合わせることで K-Ar 年代を算出する(LIBS-QMS 法)。装置は試料を導入する真空チャンバー、レーザー、レーザー照射位置移動機構、鉱物観察用 CCD カメラ、分光器、QMS、ガスを精製するゲッター、真空ポンプおよび要素同士を連結する真空ラインから構成される(但し、大気のない月探査では真空ポンプが不要となるためリソースは大きく節約できる)。本手法の最大の特徴は、レーザーによるスポット分析($\sim 100 \mu\text{m}$)を利用して 1 つの岩石サンプルに対して複数の鉱物の計測を行うことが可能なため、アイソクロン法による計測が可能となるところにある。これは従来の提案法(全岩分析)では不可能であった、年代計測の精度と確度を圧倒的に向上できるメリットを持つ。

これまでの実験から、K-Ar 年代その場計測装置を確立するためには以下の三点を解決することが鍵になると考えられる。(1)マトリックス効果に由来する K 定量性の悪さ、(2)K・Ar の検出限界($K=1000 \text{ ppm}$, $^{40}\text{Ar}\sim 10^{-11} \text{ cc}$, $^{36}\text{Ar}\sim 2\times 10^{-11} \text{ cc}$)の引き下げ、および(3)サンプルハンドリング機構、小型軽量化等の工学的課題、である。(1)については近年のスペクトル解析手法の発達によって、この効果を取り除くことが出来るようになりつつある。また K 輝線の絶対強度を用いる古典的な検量線法によっても 15%程度の精度で K 量の計測が可能であることが示されており(長ら, 2011, 連合大会)、K 定量に特化したスペクトル解析手法を導入することで更に高精度の定量が可能になる公算は高い。(2)に対しては、既存の装置を改良して直径 40 mm の集光レンズをプラズマ発光部から 100 mm という至近距離に設置して集光効率を向上させるとともに、検出器の感度特性、光ファイバーの透過率、分光器のスリット幅などを検討し直してハード面の感度向上を図った。予備的な結果では、一般的な CCD 検出器を搭載した商用ベースの小型分光器($\sim 500 \text{ g}$)によっても、約 4000 ppm の K_2O を持つ火成岩試料に対して良い S/N で K 発光輝線を検出できることが確認されており、一桁程度の検出限界引き下げも達成可能でありそうだという感触を得ている。一方の Ar の検出限界は、レーザー条件(エネルギー、ビームプロファイル)の最適化や、排気システムのオイルフリー化による QMS のブランクレベルの低減、および真空ライン

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS23-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 17:15-18:30

の小型化による感度の向上が必要で、既に実験を開始している。(3)に関しては、サンプル採取・導入機構や装置の小型化を業者を交えながら検討することとしている。2012年度中には年代計測法の確立、2013年度中には小型部品を用いたBBMの製作を行う予定である。

キーワード: その場年代計測, カリウム・アルゴン法, 惑星着陸探査

Keywords: In-situ dating, K-Ar dating, Landing mission, LIBS-QMS