

[22027]

即発ガンマ線分析装置を用いた隕石の元素組成に関する研究 Elemental abundances for meteorites by using prompt gamma-ray analysis

白井直樹^{#,A)}, 海老原実典^{A)}, 普川太貴^{A)},
Naoki Shirai^{#,A)}, Minori Ebihara^{A)}, Daiki Fukawa^{A)}
^{A)} Faculty of Science, Kanagawa University

Abstract

Evaluation of Cr and Co abundances for geological rock samples was performed by analyzing chemical reagent samples for Sm and Gd. Peaks at 749.09 keV for Cr and 277.161 keV for Co are spectrally affected by Sm and/or Gd. It is hard to determine Cr and Co abundances for most of geological samples except for dunite. Fourteen elements abundances (B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Sm, Gd) of Northwest Africa (NWA) 10962 were determined by using prompt gamma-ray analysis. Based on elemental ratios, NWA 10962 belongs to HED meteorites. Nickel abundance for NWA 10962 falls in the range of howardite, implying that the metal phase of NWA 10962 extraneous origin.

Keyword: Prompt gamma-ray analysis, elemental abundances, HED meteorite, NWA 10962

1. はじめに

隕石や地球の岩石の元素組成は、太陽系や惑星の形成、母天体での火成活動や進化過程を明らかにするために必要な情報である。地球の岩石に比べて、隕石試料は、分析に用いることのできる量に限りがある。そのため、より多くの元素が高感度・高精度で定量可能な分析法が好まれる。このような要求に応えられる分析法は放射化分析法である。放射化分析法の中で、即発ガンマ線分析法は、機器中性子放射化分析法に比べて、中性子フラックスが低い。従って、適当な冷却時間により照射した試料の放射能は天然のバックグラウンドと同程度になり、管理区域外に持ち出すことができ、即発ガンマ線分析法で使用した試料を異なる分析手法にて分析することが可能である^[1]。

即発ガンマ線分析法では、P を除く主要元素と微量元素 (Cr, Co, Ni, Sm, Gd など)の定量が可能である。さらに、他の分析手法 (例えば、ICP-MS など) では高確度な定量値を得ることが難しい、H, B, S, Cl などでも定量することができる。岩石試料中の Cr や Co は、隕石衝突の痕跡を調べるために使われる元素であるが、即発ガンマ線分析法によって求められた岩石試料の Cr や Co 値の評価はこれまでにあまり行われていない。中性子捕獲断面積が大きい Sm や Gd は、隕石試料に比べて、岩石試料中に多く含まれる。そのため、岩石試料中の Cr や Co 濃度を求める時、Sm や Gd からスペクトル干渉をより受けやすい^[2]。本研究では、Cr や Co 濃度が異なる標準岩石試料を用いて、即発ガンマ線分析法で得られる Cr と Co の値の評価を行うことを目的とした。その後、鉱物・岩石学的に HED 隕石に分類されている Northwest Africa 10962 の元素組成を求め、他の HED 隕石の元素組成と比べることで、この隕石の化学的特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 実験

2.1 試料

本研究で分析に用いた標準岩石試料は、日本地質調査所で作成された JB-1b, JB-2, JB-3, JA-2, JH-1, JP-1 と米国地質調査所で作成された AGV-2, BCR-2, BHVO-2, BIR-1a, DNC-1a, DTS-2b, GSP-2, W-2a を用いた。これらの岩石試料よりも Cr と Co 濃度が高く、Sm と Gd 濃度が低い Allende 隕石も分析に用いた。Sm と Gd からのスペクトル干渉を調べるために、それぞれの標準溶液をろ紙に滴下し、それを試料とした。Cr と Co の定量のために、それぞれの金属箔を試料とした。NWA 10962 は溶融皮膜がない部分を選択して、それを試料とした。それぞれの試料を四フッ化エチレン六フッ化プロピレンフィルム袋に入れた。

2.2 照射

照射は、日本原子力研究開発機構 3 号炉 (JRR-3) 実験ホール内の即発ガンマ線分析装置を用い、約 2 時間中性子照射しながら即発ガンマ線を測定した。

3. 結果と考察

3.1 Cr

Cr の定量には 749.09 keV ピークを用いた。この Cr の 749 keV ピークに Sm と Gd からのスペクトル干渉を受けていることを確認した。439.40 keV の Sm ピークと 181.931 keV の Gd ピークを用いて、Sm と Gd からのスペクトル干渉の補正を行なった。カンラン岩である JP-1 と DTS-2b は、Sm の 439.40 keV ピークと Gd の 181.931 keV ピークが検出されなかったため、スペクトル干渉の補正は行っていない。他の標準岩石試料では、749.09 keV の Cr ピークは検出されなかった。Allende 隕石では、Sm と Gd のスペクトル干渉の寄与は、それぞれ 0.5% と 1.2% であった。JP-1, DTS-2b, Allende 隕石の Cr の値は、それぞれの文献値と良い一致を示した。

[22027]

3.2 Co

Coの定量には、一番強度が良い277.161 keVのピークを用いた。このピークには、Gdのスペクトル干渉を受けていることを確認した。Crの749 keVピークと同じように、JP-1とDTS-2bには、Gdからのスペクトル干渉の補正は行なっていない。Co濃度が50ppm以上である岩石試料(JH-1とDNC-1a)でのGdからのスペクトル干渉の寄与率は、50%程度であった。統計誤差は、30%程度だが、JH-1とDNC-1aの分析値は、文献値と一致した。他の試料では70%以上であった。Allende隕石において、Gdからのスペクトル干渉の寄与は1.5%程度であり、得られたCoの値は、文献値と良い一致を示した。

3.3 NWA 10962

即発ガンマ線分析法により、14元素(B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Sm, Gd)定量することができた。NWA 10962のMg/(Mg+Fe)比とCr濃度、Fe/Mn比とNa/Al比から、NWA 10962はHED隕石に分類されることがわかった。また、NWA 10962のMg/(Mg+Fe)比とTi濃度は、集積岩ユークライト隕石の値の範囲内であった。

NWA 10962は主に斜長石と輝石を含み、約1%金属相を含む。金属相を多くユークライト隕石は、EET 92023やCamel Dongaには、金属相が多く含まれていると報告されている^[3,4]。EET 92023の金属相は、衝突物質由来であり、Camel Dongaの金属相は、母天体上での還元反応によるものと考えられている。NWA 10962のNi濃度(139 ppm)は、EET 92023(1190 ppm)よりも低く、Camel Donga(<40 ppm)よりも高い。NWA 10962のNiの値は、ホルダイト隕石の範囲内である。Ni濃度から、NWA 10962の金属相の由来を決定することができないが、白金族元素濃度を求めることにより、NWA 10962の金属相の形成過程を明らかにすることができる。

参考文献

- [1] M. Ebihara and Y. Oura, Chemical characterization of the extraterrestrial material returned by future space mission: an application of nuclear activation methods, *Adv. Space Res.*, 34, 2305-2310, 2004.
- [2] M. P. Failey et al., Neutron-capture prompt gamma-ray activation analysis for multielement determination in complex samples, *Anal. Chem.*, 51, 2209-2221, 1979.
- [3] A. Yamaguchi et al., Petrogenesis of the EET 92023 achondrite and implications for early impact events. *Meteorit. Planet. Sci.*, 52, 709-721, 2017
- [4] H. Palme et al., Camel Donga: a eucrite with high metal content. *Meteoritics*, 23, 49-57, 1988.