

カソ - ドルミネッセンスによる長石の放射線損傷の評価

Evaluation of radiation damage effect on feldspar using cathodoluminescence method

鹿山 雅裕 [1]; 西戸 裕嗣 [1]; 豊田 新 [2]; 小室 光世 [3]; 蜷川 清隆 [4]

Masahiro Kayama[1]; Hirotsugu Nishido[1]; Shin Toyoda[2]; Kosei Komuro[3]; Kiyotaka Ninagawa[4]

[1] 岡山理大自然研; [2] 岡山理大・理・応物; [3] 筑波大・生命環境; [4] 岡山理大・理・応用物理

[1] Res. Inst. Nat. Sci., Okayama Univ. Sci.; [2] Dept. Appl. Phys., Okayama Univ. Sci.; [3] Life Environment. Sci., Univ. Tsukuba; [4] Applied Phys. Okayama Univ. of Science

ウランやトリウムなどの放射性各種を含む鉱物は、それと接する鉱物に放射線ハ口を生じさせることはよく知られている。カソドルミネッセンス (Cathodoluminescence : CL) は、主として物質に含まれる不純物元素の存在や結晶構造の乱れ (構造欠陥、転移など) を鋭敏に検出することができるため、石英については放射線損傷によるハ口を評価する手段として CL の活用がなされている。CL により検出できる放射線損傷を CL ハ口と呼ぶ。長石は希元素鉱物を包有することが多く、放射線損傷による変色域を肉眼で認めることができる場合がある。しかしながら、このような放射線損傷を CL により調べられたことはない。したがって、本研究では自然界における 線の損傷効果を検証するため、長石結晶に $^4\text{He}^+$ イオンを照射して生じた CL ハ口を CL 分光法ならびにラマン分光法により検討した。

測定には、Eifel, Germany 産のサニディン ($\text{Or}_{90}\text{Ab}_{10}$) 単結晶を用いた。偏光顕微鏡下ならびに SEM、BSE および CL 像において非常に均質な試料である。日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所イオン照射研究施設のダンデム加速器を用いて $^4\text{He}^+$ イオンを照射した。照射条件はエネルギー 4 MeV、ビーム電流 300 nA、照射領域 20×20 mm とし、線量は 1.231×10^{-4} C/cm² (No.6) および 7.388×10^{-4} C/cm² (No.10) とした。照射エネルギーは ^{238}U 核種による線を模擬している。CL スペクトル測定には、走査型電子顕微鏡 (JEOL:5410LV) に回折格子型分光器 (Oxford:Mono CL2) を組み込んだ SEM-CL を用いた。得られた CL スペクトルは、標準光源を用い感度補正を行った。高分解能の CL 画像撮影には MiniCL (Gatan 社製) を用いた。いずれも加速電圧 15kV、照射電流 1.0 nA の条件で行った。ラマンスペクトル測定には Thermo Electron 社製 Almega を用い、Nd : YAG レーザー (波長 532 nm) を励起光とした。

CL 像観察 (Panchromatic) の結果、 $^4\text{He}^+$ イオンを照射した試料 No.6 および No.10 とともに、試料表面から垂直方向 15 μm 付近まで帯状の微弱な発光領域 (CL ハ口) が認められた。ハ口幅は、アルカリ長石中における ^{238}U 壊変により放射される 線粒子の飛程と一致する。No.6 および No.10 とともに試料表面から内部に向かって発光強度は指数関数的に減少し、試料表面から約 15 μm の位置で最も低い。同様の現象が SEM-CL による CL 強度のライン分析 (Panchromatic) からも認められた。この発光強度分布は、Bragg's curve とよく一致し、荷電粒子の侵入に伴う比電離のエネルギー消失過程を反映している。各試料に対して CL スペクトル測定を行った結果、共通して 400 nm および 700 nm 付近をピーク波長とスペクトルピークが認められた。前者は Al-O⁻-Al 構造欠陥に帰属され、サニディンなどの高温条件下において産出した長石において一般的に認められる発光中心である。後者は TO_4 四面体の T 席に位置する Fe^{3+} に起因する。各ピークの CL 強度は、CL 像および Panchromatic CL 線分析結果と対応できる。CL 像において発光が微弱な領域ほど、青および赤色領域に認められるスペクトルのピーク強度は低い。照射線量の高い No.10 の方が青および赤色発光ともに強度は低い。No.10 の試料に対して、試料表面からコンフォ - カルにラマンスペクトル測定を行った。各測定点とも 480、520、760 および 1130 cm^{-1} 付近にラマンピークが認められた。これらは Si-O および Al-O 原子振動に帰属される。各ピークの強度は試料表面から内部に向かって減少し、約 15 μm で最小となる。以上の結果から、 $^4\text{He}^+$ イオンの照射によりサニディンの結晶構造、特にそれを構成する TO_4 四面体ネットワークの結合の一部が破断し、それに伴い Al-O⁻-Al 構造欠陥は解消され、さらに配位子との結合が切れた Fe^{3+} はアクチベーターとして働かなくなったと推察される。また、各発光中心に起因する発光 CL 強度は照射線量と正の相関関係を有することから、CL による放射線量計測への応用が期待される。