

ユーザーベネフィット

- ◆ 元素マッピングによる物理・化学的な情報から、造岩鉱物の変成過程が解析できます。
- ◆ 宝飾品に使われている鉱物の、宝石鑑定に用いる情報を得ることができます。

■はじめに

岩石中に含まれている鉱物は、その岩石が形成されたときの物理・化学的情報を記録しています。更に、岩石の形成後に受けた変成の過程を元素の分布や構造として残していることも知られています。

また、鉱物は宝飾品や庭石などの観賞用としても使用されています。組成分析により、宝石中の元素の分布を調べたり、微量元素の分析を行ったりすることができ、宝石の鑑定や産地の判別等に使用することができます。

岩石や鉱物の元素の二次元的な分布を調べるにはEPMAが有用です。ここでは、電子線マイクロアナライザEPMA™ (EPMA-1720HT) を用いて、市販されている緑れん石を含むとされる石（以下、緑れん石を含む石）の元素マッピングを行いました。また、相解析により岩石中の鉱物を同定し、その分布を可視化することができました。

■緑れん石を含む石の元素マッピング

緑れん石 (Epidote) は、 $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$  の化学組成を持ちます。また、天然の緑れん石は、Alと $\text{Fe}^{3+}$ が置換することで斜うれん石 (Clinzoisite,  $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ ) とピスタサイト (Pistacite,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ ) の間の組成を取ります。緑色片岩 (green-schist)、緑れん石角閃岩、藍閃石片岩といった比較的低温で変成を受けた変成岩中に広く産出し、特に緑色片岩は石材や庭石の材料として利用されていることで知られています。

今回は、緑れん石を含む石について、前処理として樹脂中に包埋後、研磨およびカーボン蒸着を行いました。EPMAによる広域のマッピング分析の結果を図1に示します。濃度は各元素の酸化物の重量%として求めました。この結果から、いくつかの鉱物内には特定の元素の濃集や不均一性が見られたり、周縁部に向かって化学組成が変化したりする構造が見られました。

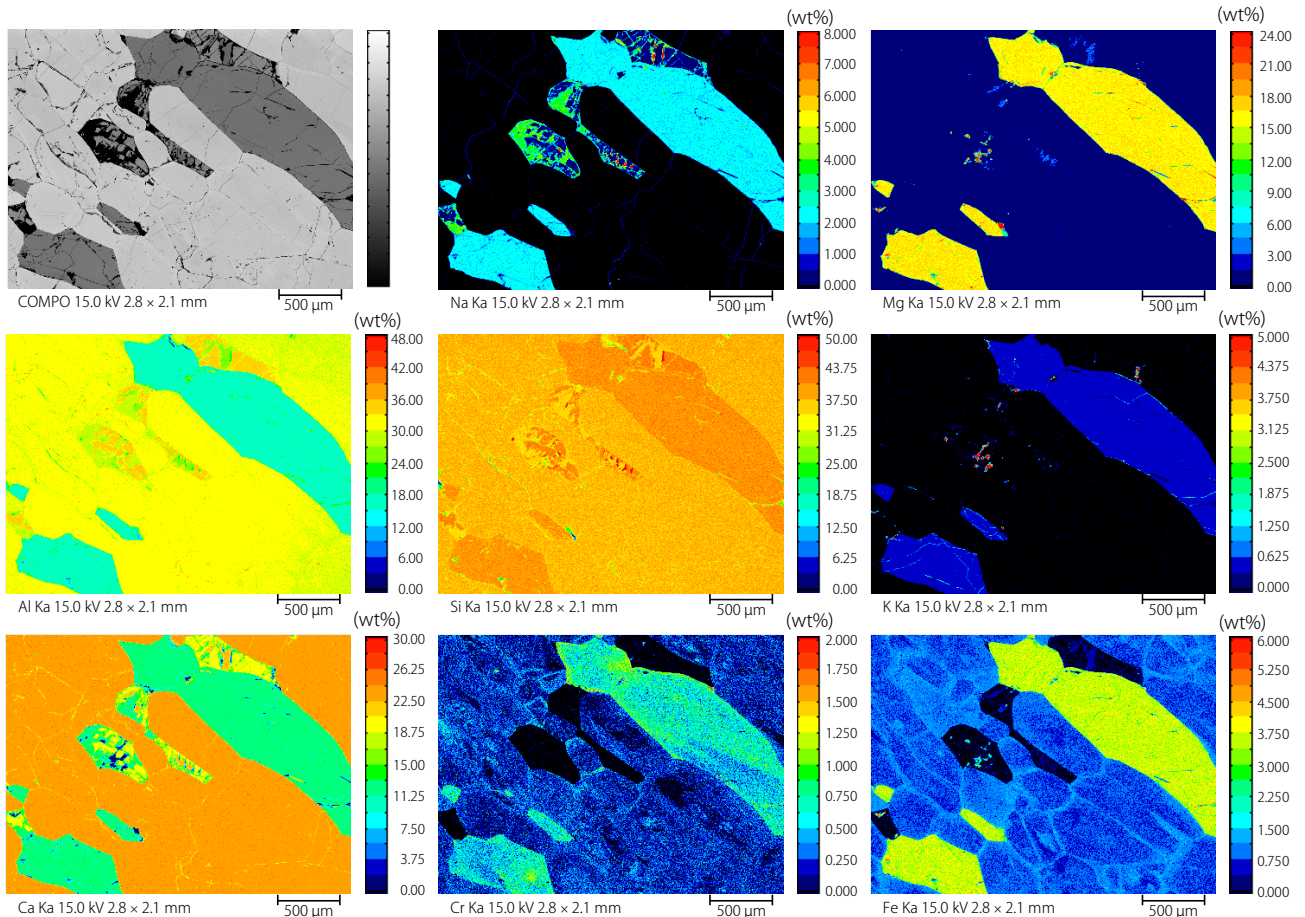


図1 緑れん石を含む石の広域の元素マッピング

## ■ 相解析

岩石の元素マッピングの結果から、相解析を行いました。2元素または3元素を選択して作成した散布図を図2に示します。元素は酸化物の重量%の濃度を使用しました。

それぞれの散布図にクラスターが確認できました。FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の2元散布図からは緑れん石 (Epidote)、CaO-MgO-FeOの3元散布図からは普通角閃石 (Hornblende)、K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaOの3元散布図からは斜長石 (Plagioclase) とカリ長石 (K-feldspar)、として分類することができました。また、斜長石についてはクラスター内に更にCa-rich成分のクラスターが存在しました。この結果から得られた相図を図3に示します。これらの元素マッピングと相解析の結果から、緑れん石はそれぞれの結晶の中心部ではFeが少なく、境界部または結晶の外縁部ではFeの濃度が高くなっていることがわかりました。さらに、斜長石は内部でよりCa-richな成分が混在していることがわかりました。このように相解析を行うことで簡単に岩石中の鉱物の分布を可視化することができます。

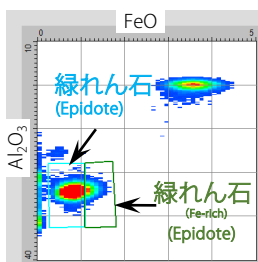


図 2-1 FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の2元散布図

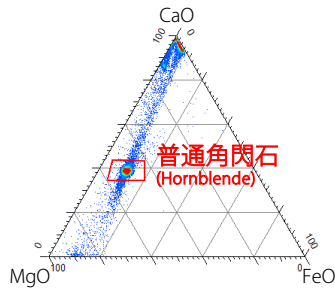


図 2-2 CaO-MgO-FeOの3元散布図

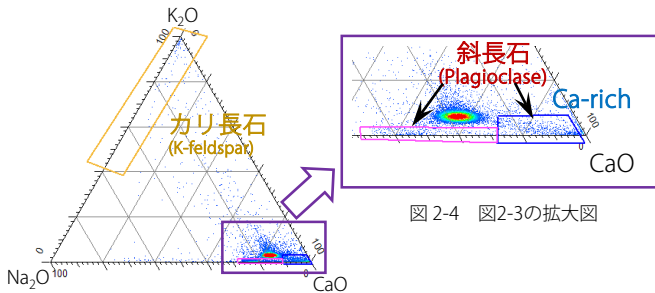


図 2-3 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaOの3元散布図

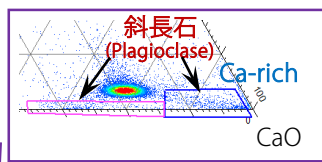


図 2-4 図2-3の拡大図

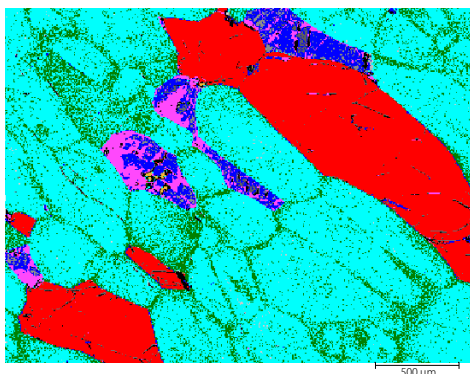


図 3 相図

## ■ 緑れん石と普通角閃石のFeおよび微量Cr マッピング

緑れん石を含む石に存在する、緑れん石と普通角閃石のFeとCrに注目し、マッピング分析を行いました。濃度は、先ほどと同様に各元素の酸化物の重量%として求めました。結果を図4に示します。緑れん石におけるFeは結晶の周縁部および境界部分で濃度が高く、CrはFeが少ない場所および境界部に濃度が高い部分が存在しています。また、普通角閃石におけるFeはほぼ均一に分布しており、Crは比較的大きい結晶では不均一で中心部分の濃度が高くなっていることがわかりました。一方、一部の破片状になっている普通角閃石においては周縁部および境界部分でCrが濃度が高くなっていました。

緑れん石は変成岩の中に産出し、また変成温度が高いほどFe<sup>3+</sup>量が増加することが知られており、変成を受ける過程においては結晶の境界や周縁部で反応が進んだと考えられます。また普通角閃石は変成岩で生じる際に何かしらのCrの多い物質を取り込んだり、境界部にCrが多いものはCrの多い成分に接触したりしたことが推察されます。

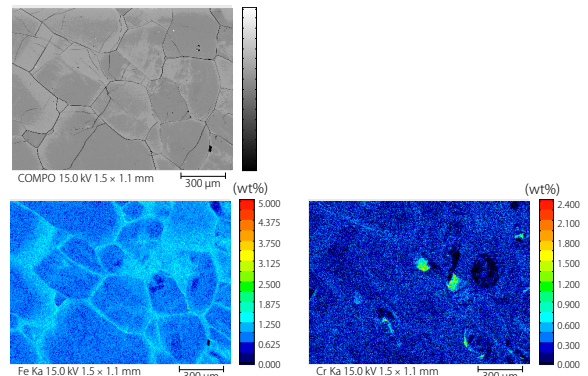


図 4-1 緑れん石の詳細元素マッピング

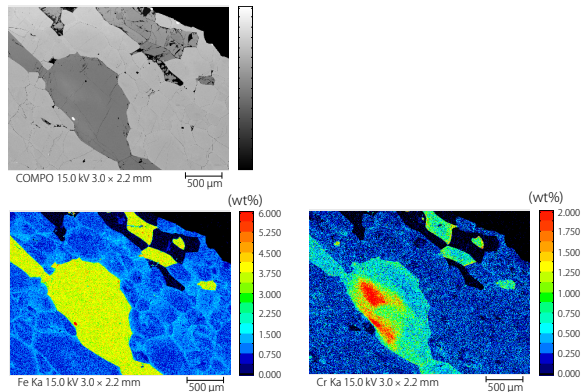


図 4-2 普通角閃石の詳細元素マッピング

## ■ まとめ

岩石における元素マッピングにより、含有する鉱物の結晶成長や変成における物理・化学過程を明らかにすることができます。また、元素マッピングと相解析を組み合わせることにより、鉱物の同定が可能です。このことから宝飾品における宝石や貴石の判定や産地判別を行うことも可能です。

### <参考文献>

黒田吉益・諏訪兼位：偏光顕微鏡と岩石鉱物（第2版）、共立出版（1983）  
 都城秋穂・久城育夫：岩石学Ⅰ偏光顕微鏡と造岩鉱物、共立出版（1972）

EPMAは、株式会社 島津製作所の日本およびその他の国における商標です。

**株式会社 島津製作所**

分析計測事業部  
 グローバルアプリケーション開発センター

01-00107-JP 初版発行：2021年 3月

島津コールセンター ☎ 0120-131691

本文中に記載されている会社名および製品名は、各社の商標および登録商標です。本文中では「TM」、「®」を明記していない場合があります。

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。

改訂版は会員制サイト Solutions Navigator で閲覧できます。  
<https://solutions.shimadzu.co.jp/solnavi/solnavi.htm>  
 閲覧には、会員制情報サービス Shim-Solutions Club にご登録ください。  
<https://solutions.shimadzu.co.jp/>

© Shimadzu Corporation, 2021