

ひすい輝石中の転位による色の不均一性とひずみ硬化

The heterogeneity of color and the strain-hardening induced by the dislocations in jadeite

石田 直哉[1]; 木股 三善[2]; 滝沢 茂[3]; 興野 純[4]

Naoya Ishida[1]; Mitsuyoshi Kimata[2]; Shigeru Takizawa[3]; Atsushi Kyono[4]

[1] 筑波大・自然; [2] 筑波大・地球; [3] 筑波大・地球; [4] 筑波大・VBL

[1] Division of Geoscience, Univ. of Tsukuba; [2] Institute of Geoscience, University of Tsukuba; [3] Inst. Geosc. Univ. of Tsukuba; [4] VBL, Univ. of Tsukuba

【はじめに】ひすい輝石の着色原因については、Rossman(1974)の分光分析以来、多くの研究がなされてきた(e.g. Shinno and Oba, 1993; Harder, 1995)。これらの研究における共通の発色要因としては、ひすい輝石の色が、Fe や Cr、Ti などの微量元素によると説明されてきた。しかし、いずれの研究も、使用された試料は不均一に着色した塊状ひすい輝石を使用しており、その色の不均一性が生じる原因まで注目した研究はなされていない。

また、近年ひすい輝石中で、オンファス輝石に変化した 500nm の微小領域が発見された(Wu et al., 2002)。ひすい輝石とオンファス輝石では硬度が異なり、ひすい輝石はモース硬度 6.5 から 7 で、オンファス輝石のモース硬度は 5 から 6 である(e.g. Roberts, 1990)。また、オンファス輝石は、その化学組成から、ひすい輝石の微量元素 Ca, Mg, Fe が濃集したものと見なせる。そのため、オンファス輝石はひすい輝石よりも色が濃いことが推測できる。本研究の目的は、ひすい輝石中でオンファス輝石の分布を示す組織から、オンファス輝石がどのように形成されたのか、またオンファス輝石の分布がひすい輝石の色の分布に対応するのかを明らかにし、ひすい輝石の色の不均一性が生じる原因を解明する。そして、ひすい輝石中のオンファス輝石が示す硬度特性を、その微細組織から考察する。

【実験と結果】試料は新潟県糸魚川市小滝産の塊状ひすい輝石を使用した。本試料の色は、白色から青色の不均一な分布を示す。白色部と青色部に対し、粉末X線回折を行ったところ、白色部はひすい輝石と方沸石、青色部はひすい輝石とオンファス輝石と方沸石から構成されることが分かった。薄片下では、白色部は等粒状組織を形成しており、EPMA と顕微ラマン分光分析の結果から、粒子はひすい輝石、粒間は方沸石からなることが分かった。青色部は、粒子としての形状が見られなく、オンファス輝石からなる樹枝状組織を形成していた。また、面分析の結果として、等粒状組織は樹枝状組織に対し、Fe や Ca が明らかに濃集していることが確認できた。

樹枝状組織は光学顕微鏡では明瞭な組織として観察できなかったため、TEM を用いてその微細組織を観察した。観察は加速電圧 100kV の条件で、等粒状組織の微細組織と樹枝状組織で行った。その結果、等粒状組織では刃状転位、らせん転位が散在していたのに対し、樹枝状組織では、転位がもつれ合っているセル構造が卓越していた。セル構造は、金属ではひずみ硬化の過程で観察できる組織であるため、樹枝状組織でひずみ硬化が生じている可能性がある。そこで、等粒状組織と樹枝状組織に対し、ビッカース硬度を測定した。測定条件は過重 300g、過重保持時間 15 秒で行った。その結果、白色部はビッカース硬度 845 から 1029 を示し、これはモース硬度に換算して、6.5 から 7 であった。青色部はビッカース硬度 668 から 820、モース硬度 6 から 6.5 に対応した。

【考察】 Fe, Ti, Ca, Mg などのひすい輝石の微量元素は、青色部の樹枝状組織に濃集しており、この樹枝状組織はオンファス輝石から構成されると考えられる。そのため、塊状ひすい輝石の色の分布は、不均一になると考えられる。微量元素の濃集が、転位が密集したセル構造で生じていることを考慮すると、ひすい輝石中で偏析が起きたことが推定できる。

また、樹枝状組織はオンファス輝石から構成されていると考えられるため、そのモース硬度は 5 から 6 と推定できるが、測定結果としてはそれよりも高く、モース硬度 6 から 6.5 であった。しかし、等粒状組織はこれまで知られているひすい輝石のモース硬度 6.5 から 7 を示し、等粒状組織では硬度は高くなっていなかった。このことから、樹枝状組織と等粒状組織の違いであるセル構造が関係していると考えられる。ひすい輝石は地下で蛇紋岩帯に捕獲され上昇して産出するとされているが、上昇時には蛇紋岩によって圧延のような作用が生じると推測できる。圧延は金属ではひずみ硬化を引き起こす一つの手段であることが知られている。従って、ひすい輝石の産状とセル構造の存在から、樹枝状組織ではひずみ硬化が生じていると考えられる。

【結論】 ひすい輝石の白色部は、ひすい輝石と、方沸石から構成されており、等粒状組織を形成している。青色部は、オンファス輝石からなる樹枝状組織からなる。オンファス輝石は、均一なひすい輝石中の微量元素が、偏析によって転位の密集した樹枝状組織に濃集し、樹枝状組織で、ひすい輝石が Ca, Mg, Fe と複合イオン置換を起こした結果として形成される。このとき、微量元素は不均一に濃集するため、ひすい輝石の色の分布は不均一になる。樹枝状組織では、オンファス輝石にひずみ硬化が生じ、本来のモース硬度 5~6 から 6~6.5 へと上昇している。