

X線 μ CTを用いたジルコン中のU, Thの三次元測定

山田国見*・小木曾哲**・上杉健太郎***

3D measurement of U and Th distribution in zircon using the X-ray μ CT method.

Kunimi Yamada* , Tetsu Kogiso* and Kentaro Uesugi***

* 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency.

** 京都大学大学院人間・環境学研究科, Graduate school of Human and Environmental Studies, Kyoto University.

*** (財) 高輝度光科学研究センター, Japan Synchrotron Radiation Research Institute.

はじめに

(U-Th)/He法は特にアパタイトを用いると最も閉鎖温度の低い熱年代法となるため、急速に普及した。一方、やや高い閉鎖温度が得られるジルコンは、アパタイトよりもU, Th濃度が高いことや機械的強度に優れることなど、年代測定にあたって有利な特徴を示す。ただし、通常、(U-Th)/He法においては結晶中のU, Th濃度が均一であることが求められ、ジルコンはこれについてしばしば不均一を示すことが最大の短所と言える。また、分析に用いる結晶は自形であることが求められるため、より信頼性の高い(U-Th)/He年代を得るためには非破壊で結晶中のU, Th濃度分布を得る手法が必要である。

このような目的から、現在、筆者らは大型放射光施設SPring-8に設置された高空間分解能のX線 μ CT装置を利用し、差分処理により三次元のU, Th濃度分布を得るための研究を行なっている。本報ではその原理と現状について紹介する。

原理・装置

(U-Th)/He法における結晶中のU, Th濃度分布と年代補正については拙稿参照(山田, 2010)。CT (Computed Tomography)は医療用のCTスキャンや地震波トモグラフィー同様、多数の1次元・2次元情報から3次元情報を構築する技術である。本報で用いたのはSPring-8のビームライン20XUに設置されたX線 μ CT装置(図1)であり、 0.1° 刻みで 180° の撮影を行い、得られた1800枚の画像から3次元情報を構築した。分解能は $0.5\mu\text{m}/\text{pixel}$ である。

X線撮影で得られる情報、すなわちX線透過率は、基本的にX線のエネルギー(波長)の増加に伴い増大する(透過しやすくなる)。ただしその

変化は常に一方的ではなく、X線のエネルギーが元素ごとに特徴的な吸収エネルギー(吸収端)を超過する際に透過率が大きく減少する(図2)。したがって、目的元素の吸収端の直前直後のエネルギーを持つX線で2枚の撮影を行い、両者の差を取ると、目的元素の濃集部ではX線透過率が大きく変化し、非濃集部ではX線透過率はほとんど変化しない。1つの結晶につき、UとThの吸収端上下で合計4枚の撮影を行えば、結晶中のU, Th濃度分布を非破壊で測定できる可能性がある(図3)。

試料と結果

分析には、比較的U濃度が高く、分布が不均一であることが多い、土岐花崗岩から分離したジルコンを用いた。結晶はアセトンで薄めたクリスタルボンドで1粒子ずつなるべくc軸と平行になるようにグラスファイバーに固定し、なるべくc軸に沿って回転させ撮影した。結晶は研磨して内部

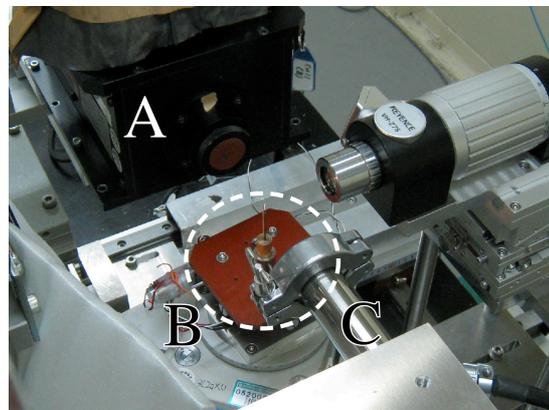


図1. 大型放射光施設SPring-8, ビームライン20XUに設置されたX線 μ CT装置. A: X線受光部. B: 試料回転ステージ. C: X線導入部.

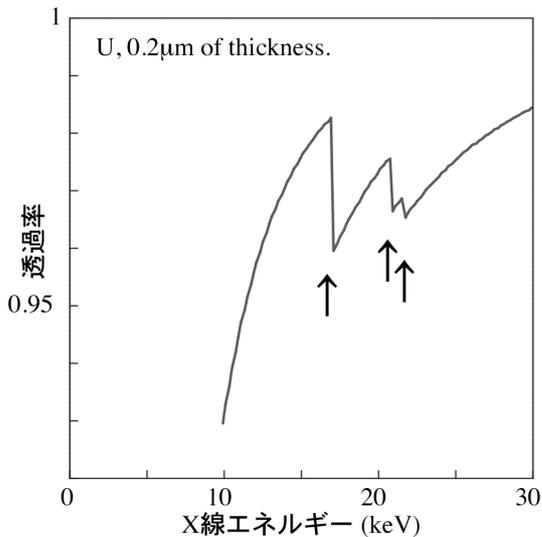


図2. ウランのX線エネルギーと透過率の関係。矢印が吸収端を示す。

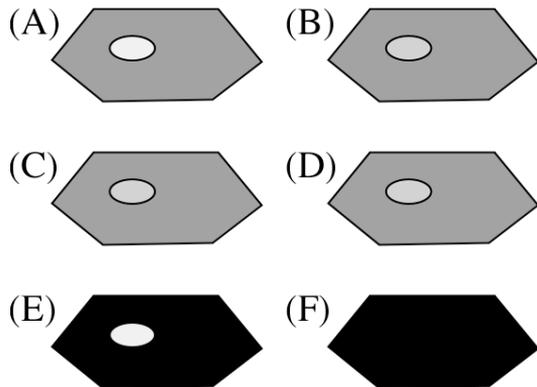


図3. ジルコン中にウランの濃集部がある例。医療用レントゲン写真と同じく、吸収の大きい部位を白く表示する(A-D)。ウランの吸収端より少しだけ高エネルギーで撮影するとウランが強く吸収され(A)、少しだけ低エネルギーで撮影するとあまり吸収されない(C)。ウランやジルコン中の主要元素の吸収端と関係ないエネルギーで撮影すると、エネルギーを多少変化させても吸収率はほとんど変化しない(B, D)。AとC、BとDの差分を取ると、吸収率が大きく変わった部分だけが強い信号を示す(E, F)。

面を露出させたもの、そうでないもの、透明性が低いもの、高いもの、インクルージョンを含むもの、含まないもの等、多様なものを10粒子分析した。その結果、2つの粒子からはUあるいはThの濃集部と思われるX線透過率の変化を検出した(図4)。それ以外の結晶からは顕著な変化

は見られなかった。もともと、現状のX線 μ CT装置によるU, Thの検出下限は500ppmよりも高いと考えられており、変化が見られなかった結晶もU, Thが均一に分布しているとは限らず、顕著な濃集部を持たないものと解釈すべきと考えられる。

まとめ

今回、一部ではあるが濃集部が認められたことで、(U-Th)/He年代に好適な結晶を選別するところまではいかないにしても、不適な結晶を除外することは可能であることが明らかになった。今後、濃集部と変化のなかった部分のU, Th濃度測定を行い、現状のX線 μ CT装置によるU, Thの検出下限を明らかにするとともに、変化の見られなかった結晶の(U-Th)/He年代を測定して結晶中のU, Th濃度分布に起因する年代のばらつきを検討する。

文献

山田国見 (2010), 三重県多気地域領家花崗岩中のシュードタキライトの(U-Th)/He年代測定. 月刊地球364, 30-39.
 Henke et al. (1993), X-ray interactions: photoabsorption, scattering, transmission, and reflection at $E=50-30000$ eV, $Z=1-92$. Atomic Data and Nuclear Data Tables 54, 181-342.

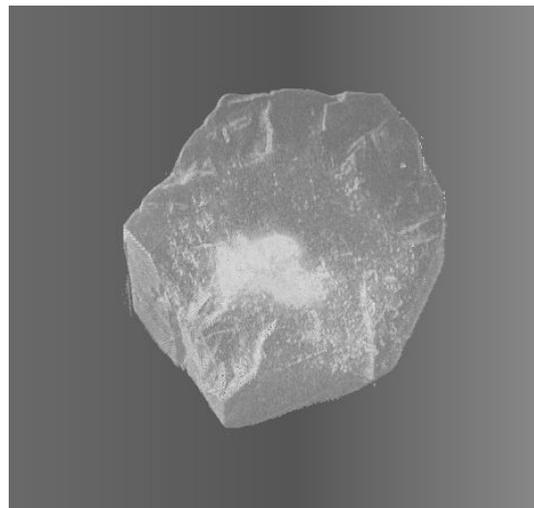


図4. 実際に得られた差分像。見やすくするために差分後に灰色を加えてあり、白い部分がウランの濃集部、灰色がウランの検出されなかった部分となる。研磨した内部面にウラン濃集部が露出していることがわかる。