

## ベントナイトの熱年代学

山田浩史\*・長谷部徳子\*\*・福士圭介\*\*・田村明弘\*\*\*・檀原徹\*\*\*\*・岩野英樹\*\*\*\*

### Thermochronology of bentonite

Hiroshi Yamada\*, Noriko Hasebe\*\*, Keisuke Fukushi\*\*, Akihiro Tamura\*\*\*,  
Tohru Danhara\*\*\*\* and Hideki Iwano\*\*\*\*

\* 金沢大学大学院自然科学研究科, Grad. School of Natural Sci. and Tec., Kanazawa Univ.

\*\* 金沢大学環日本海域環境研究センター, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa Univ.

\*\*\* 金沢大学フロンティアサイエンス機構, Frontier Science Organization, Kanazawa Univ.

\*\*\*\* 株式会社京都フィッション・トラック, Kyoto Fission-track Co., Ltd.

#### はじめに

ベントナイトとは粘土鉱物スメクタイトを主成分とし、止水性、膨潤性、陽イオン交換性などの性質を持つ岩石である。高レベル放射性廃棄物の地層処分において、炭素鋼オーバーパックの周囲をベントナイトで覆う方法が提案されている。このときのベントナイトには、緩衝材に必要な性能を長期に渡って維持することが期待されている。しかし、時間経過に伴って炭素鋼から生じる含鉄溶液がベントナイトを変質させ、期待されている性質を失わせる可能性があるため、鉄-ベントナイト相互作用の解明が急務とされている。本研究は、天然で溶存鉄とベントナイトが反応している場所を対象とし、アパタイトフィッショントラック (FT) 法を用いることによりベントナイトの変質に要した期間・温度、及びベントナイトの原岩の噴出、ベントナイトの生成などのプロセスを議論することを目的として行った。

#### 試料と分析方法

試料は露天掘りベントナイト鉱山である川崎鉱山、白崎鉱山の二箇所採取した。川崎鉱山は宮城県に位置し、この地域の地質は下位から大森層、作並層 (13~15Ma, 微化石年代)、遠刈田層 (13Ma, K-Ar年代) が分布している (大概ほか, 1986)。川崎鉱山のベントナイトは作並層に挟まれる厚い凝灰岩層が続成作用を受けて生成したと考えられる (Takagi et al., 2005)。白崎鉱山は新潟県に位置し、この地域の地質は下位から鹿瀬層 (17.8±1.6Ma, FT年代)、津川層 (16.1±4.6Ma, FT年代)、天満層が分布している (鈴木ほか, 1986)。白崎鉱山のベントナイトは津川層に挟まれる凝灰岩層がおそらく熱水変質を受けて生成したものである。

ベントナイト鉱床中には鉄を含む熱水溶液が析出することによって生成した緑色熱水脈が散在し、熱水脈周辺のベントナイトは鉄による変質を被っている (Fukushi et al., 2010)。それぞれの鉱山で採取した試料は緑色脈と変質ベントナイトを含む試料 (KW1, SR1)、弱変質ベントナイト (KW2, SR2)、未変質ベントナイト (KW3, SR3)、ベントナイト層中に含まれる凝灰岩 (KW4, SR4) である。

アパタイトについてはトラック長測定、FT年代決定を行なった。また、ジルコンの分析も KW2, SR2を除く試料について行い、FT年代 (ZFT年代)、<sup>238</sup>U-<sup>206</sup>Pb年代を算出した。なお質量分析にはLA-ICP-MSを用いた。さらに川崎鉱山の試料のアパタイトについてはLA-ICP-MSを用いたFT年代 (LA-AFT年代) を算出した後に、中性子照射を行い別にFT年代 (NE-FT年代) を算出した。

#### 結果と議論

白崎鉱山の試料についてはアパタイト含有量が非常に少なく、詳細な議論を行うことが出来ないため、以降では主に川崎鉱山の試料から得られた結果を用いて議論を行う。

川崎鉱山ではベントナイト試料のLA-AFT年代がジルコンFT年代、U-Pb年代、原岩試料のLA-AFT年代よりも古いことが分かる。しかし、LA-AFT年代に誤差を含めてZFT、U-Pb年代と比較すると誤差の範囲内で一致するため、ベントナイト試料のLA-AFT年代が明らかに古くなっているとは言い切れない。またNE-AFT年代はZFT、U-Pb年代と良く一致した。これはLA-ICP-MSによる低濃度<sup>238</sup>Uの定量もしくは、LA-ICP-MSを用いたFT年代の算出過程における

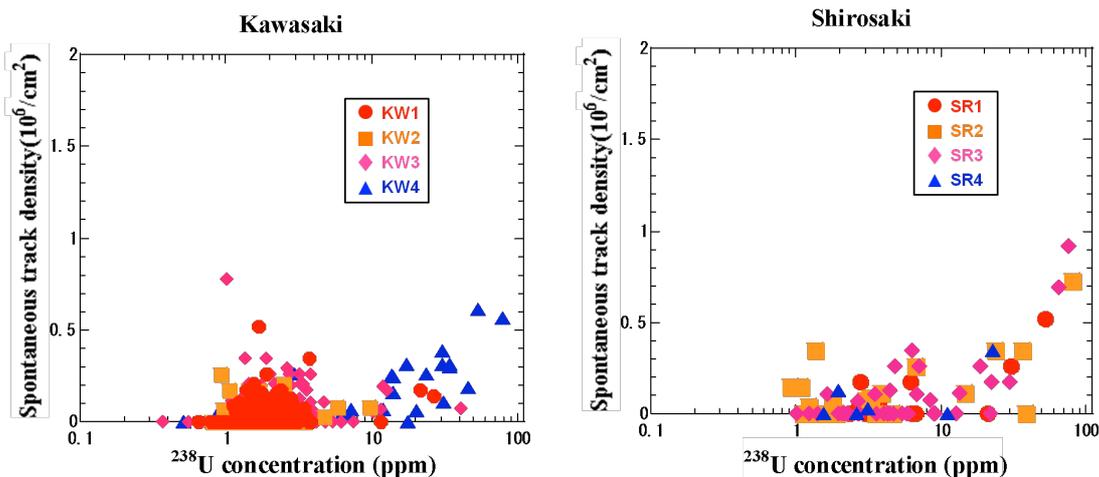


図1. アパタイトの $^{238}\text{U}$ 濃度分布図. 煩雑さを避けるためにエラーバーは示されていない.

不確定さに起因してLA-AFT年代が古くなったことを意味している可能性がある.

またKW4のみ各ジルコン粒子のU-Pb年代にばらつきが見られた. これはKW4のみにおいて異質の岩石の混入, つまり異起源粒子の混入が起きたために, KW4だけが他の原岩部分とは異なる組成となりベントナイト化せずに原岩試料として残ったことを示唆する. つまり, 異起源岩石の混入がベントナイト生成を妨げる要因である可能性がある. しかし, 白崎鉱山の原岩試料ではこのような傾向は見られなかったため, 異起源岩石の混入がベントナイト生成を妨げる唯一の要因ではないと考えられる.

図1から川崎鉱山ではベントナイト試料のアパタイトの $^{238}\text{U}$ 濃度は原岩のものよりも低いことが分かる. このことから, 川崎鉱山ではベントナイト生成時にアパタイトからの $^{238}\text{U}$ の拡散, もしくは元々存在したアパタイトが溶解し, その後 $^{238}\text{U}$ 濃度の低い新たなアパタイトの生成が起きた可能性があると考えられる. しかし, Cherniak (2005)ではアパタイトからのUの拡散には数百万年間, 約 $900^{\circ}\text{C}$ の熱を受ける必要があるとされるため, アパタイトからの $^{238}\text{U}$ の拡散が起きたとは考えにくい. 一方で, 川崎鉱山のアパタイトの誘導トラックの分布を得た結果, ベントナイト試料のアパタイトの誘導トラックが粒子のリムに濃集していた. Cherniak et al.(1991), Knutson et al. (1985), Ronsbo (2008)の先行研究を考慮すると, この誘導トラックの分布はアパタイトの累帯構造を示しており, ベントナイト試料と原岩試料に含まれるアパタイトの生成プロセスが異なっていたことを示唆している可能性が高いため, 新

たなアパタイトの生成を支持していると考えられる. 以上のことから, 川崎鉱山ではベントナイト生成の際にアパタイトが新たに生成された可能性が高いと言える. しかし, 図1において白崎鉱山のアパタイトの $^{238}\text{U}$ 濃度に試料間での差異は見られないため, アパタイトの生成は川崎鉱山でのみ起きたプロセスであるといえる.

川崎鉱山のベントナイト試料で得られたアパタイトのトラック長分布 (図2) ではトラック長の短縮が認められた. Fukushi et al. (2010) によって熱水脈に接した変質ベントナイトの受けた熱は $100^{\circ}\text{C}$ 以下と示されていることを考慮すると, Laslet et al. (1987) におけるアレーニウスプロットから, ベントナイト変質時の加熱期間は100万年もしくはそれよりも長い期間であることが示唆される. しかしながらトラック長データ数が少ないため, 追加的な分析によって今後更なる評価を行うことが必要である.

## 謝辞

試料採取には川崎鉱業株式会社, 関ベン鉱業株式会社に協力して頂いた. また, 原子力環境整備促進・資金管理センターに資金援助していただいた.

## 文献

- Cherniak, D.J., Lanford, W.A., Ryerson, F.F., 1991. Lead diffusion in apatite and zircon using ion implantation and Rutherford Backscattering techniques. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 1663-1673.
- Cherniak, D.J., 2005. Uranium and

manganese diffusion in apatite. *Chemical Geology*, 219, 297-308.

Fukushi, K., Sugiura, T., Morishita, T., Takahashi, Y., Hasebe, N., Ito, H. 2010. Iron-bentonite interactions in the Kawasaki bentonite deposit, Zao area, Japan. *Applied Geochemistry*, 25, 1120-1132.

Knutson, C., Peacor, D.R., Kelly, W., 1985. Luminescence, color and fission track zoning in apatite crystals of the Panasqueira tin-tungsten deposit, Beira-Baixa, Portugal. *American Mineralogist*, 70, 829-837.

Laslett, G.M., Green, P.F., Duddy, I.R., Gleadow, A.J.W., 1987. Thermal annealing of fission tracks in apatite 2. A quantitative analysis. *Chemical Geology*,

65, 1-13.

Ronsbo, J.G., 2008. Apatite in the ilimaussaq alkaline complex: occurrence, zonation and compositional variation. *Lithos*, 106, 71-82.

Takagi, T., Koh, S. M., Song, M. S., Itoh, M. and Mogi, K., 2005, *Geology and properties of the Kawasaki and Dobuyama bentonite deposits of Zao region in northeastern Japan*. *Clay Minerals*, 40, 333-350.

大槻憲四郎, 齊藤常正, 吉田武義, 1986, 新生代東北本州弧地質資料集 (北村 信編) . 第3巻, その3, 島弧横断ルートNo.24.

鈴木敬治, 吉村尚久, 島津光夫, 岡田尚武, 1986, 新生代東北本州弧地質資料集 (北村 信編) . 第3巻, その6, 島弧横断ルートNo.27.

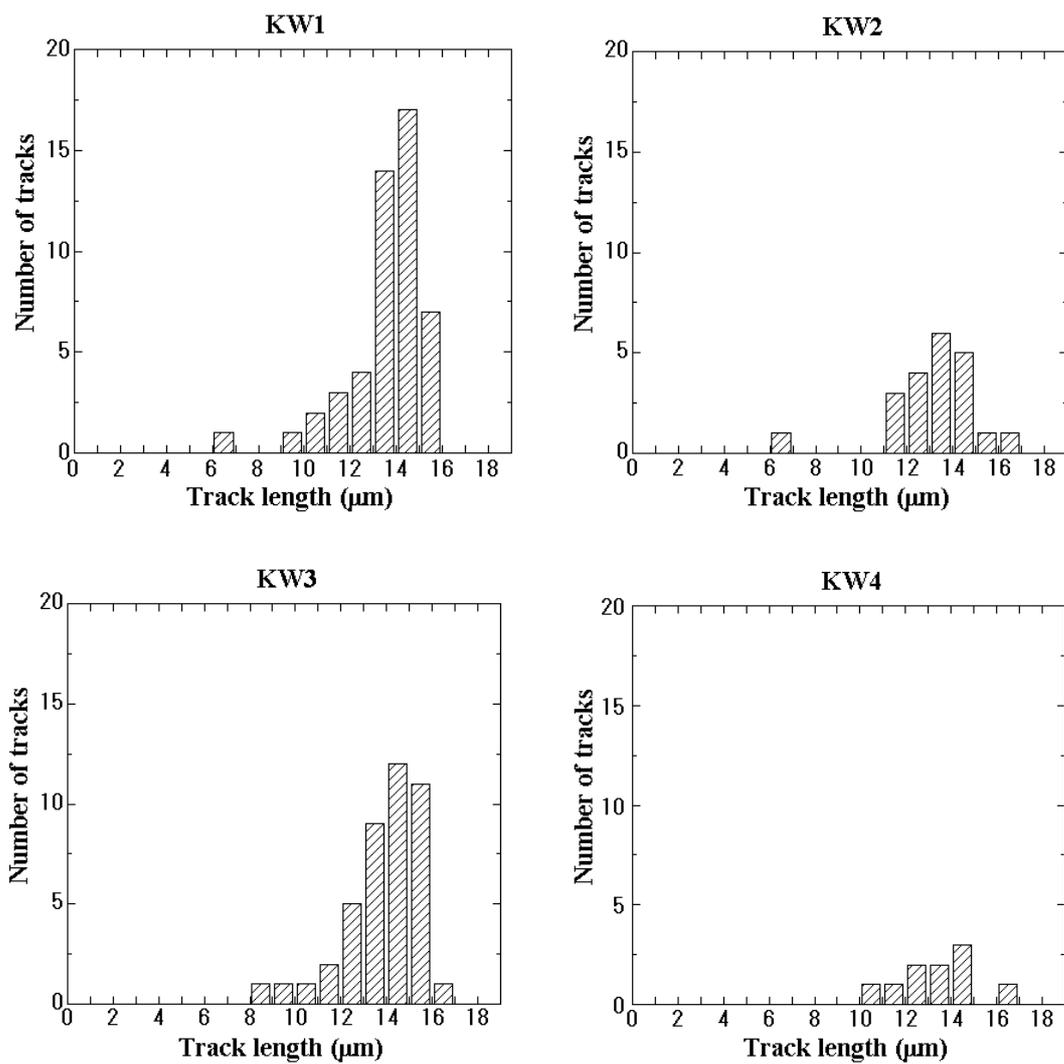


図2. アパタイトのトラック長の分布.