

特集：東濃地域の地球化学

東濃ウラン鉱床及びその周辺の地球化学

笹尾英嗣*・水野 崇*

Geochemistry of the Tono uranium deposit and surrounding area

Eiji Sasao* and Takashi Mizuno*

* (独) 日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門, Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency.

はじめに

使用済核燃料を再処理することによって発生する高レベル放射性廃棄物(再処理しない場合には、使用済核燃料が高レベル放射性廃棄物になる)の処分には、地下深部の安定した地層中に埋設する「地層処分」が日本を含めて国際的に最も好ましいと考えられている。我が国においては地下300mより深い地層中に処分することとされており、そのためには深地層に関するデータや知見を蓄積していくことが重要である。国内の地層処分の研究開発は動力炉・核燃料開発事業団(動燃事業団)および核燃料サイクル開発機構(サイクル機構)を中核として進められてきた。現在は日本原子力研究開発機構(原子力機構)を中心として、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発などが進められている。

岐阜県南東部の東濃ウラン鉱床を中心とした地域では、地下深部の地質環境の性質やそこで起こっている現象を科学的に解明していくことを目的とした研究が行われてきた。その成果は既に多くの論文や技術資料として公表されており、本論ではそれらに基づいて東濃ウラン鉱床の中で最大の鉱量を有する月吉鉱床の特徴を、地球化学の観点から紹介する。

月吉鉱床の概要

月吉鉱床は東京の西方約230kmに位置する(図1)。本鉱床ではこれまでに500孔以上のボーリン



図1. 東濃地域の主要ウラン鉱床分布図

グに加え、1970年代初頭に探鉱のための坑道が開削されており、鉱床の性質が比較的詳細に把握されている。なお、月吉鉱床は経済性に乏しいため、探鉱活動は行われていない。

月吉鉱床は地表下約150mに位置し、延長約3.5km、幅500mで、鉱化帯の厚さは数mである。鉱量は約2,600トンUで、品位は平均0.05%である。ウラン鉱化は中新統瑞浪層群土岐夾炭層の亜炭に富む岩石で認められ、白亜紀後期の土岐花崗岩との不整合の直上数10m以内に多く、基盤花崗岩上のチャンネル構造に沿って分布する(動燃事業団, 1994)。

月吉鉱床では一次鉱物としてコフィン石($U(SiO)_{1-x}(OH)_{4x}$)とピッチブレンド($(U,Th)O_2$)

が、二次鉱物としてジッペ石やアンダーソン石、リン灰ウラン石などが同定されている（動燃事業団，1994）。しかしながら、月吉鉱床では一次鉱物は少量認められているのみであり、ウランの大部分は粘土鉱物、黄鉄鉱、黒雲母や炭質物などに取着、沈殿あるいは共沈していると考えられる（サイクル機構，1999）。

ウラン鉱床の成因としては、花崗岩上部の風化帯から酸化的な地下水によってウランが溶脱され、その地下水が堆積岩中で還元的になることによってウランが沈殿したと一般的に考えられている。

月吉鉱床周辺の地下水の地球化学

月吉鉱床の周辺には主に Na-Ca-HCO₃ 型および Ca-HCO₃ 型の地下水が分布し、東部から南部にかけての地下水の流出域では Na-Cl 型の地下水が認められる。このうち、Na-Ca-HCO₃ 型および Ca-HCO₃ 型地下水は水素・酸素同位体から天水起源と考えられる。地下水の化学組成は、堆積岩で

は浅部から深部に向かって Ca-HCO₃ 型から Na-HCO₃ 型に変化する。水質形成に寄与する主要な反応としては、方解石の溶解と地下水-粘土鉱物間のイオン交換反応が挙げられている（サイクル機構，2002）。月吉鉱床が胚胎する堆積岩深部における地下水の滞留年代は1万数千年と考えられている（サイクル機構，1999）。また、Na-Cl 型地下水の起源は化石海水である可能性が挙げられ、Na-Ca-HCO₃ 型～Ca-HCO₃ 型地下水との混合による水質形成過程が考えられている（サイクル機構，2004）。

月吉鉱床の地球化学的特徴

月吉鉱床では大部分のウランは約1千万年間にわたって保存されてきたと考えられている（サイクル機構，1999）。しかし、ウラン系列核種である ²³⁸U、²³⁴U および ²³⁰Th の比 (²³⁴U/²³⁸U-²³⁰Th/²³⁸U) から見ると、これらの間では必ずしも放射平衡が成立している訳ではなく、過去100万年以内にウ

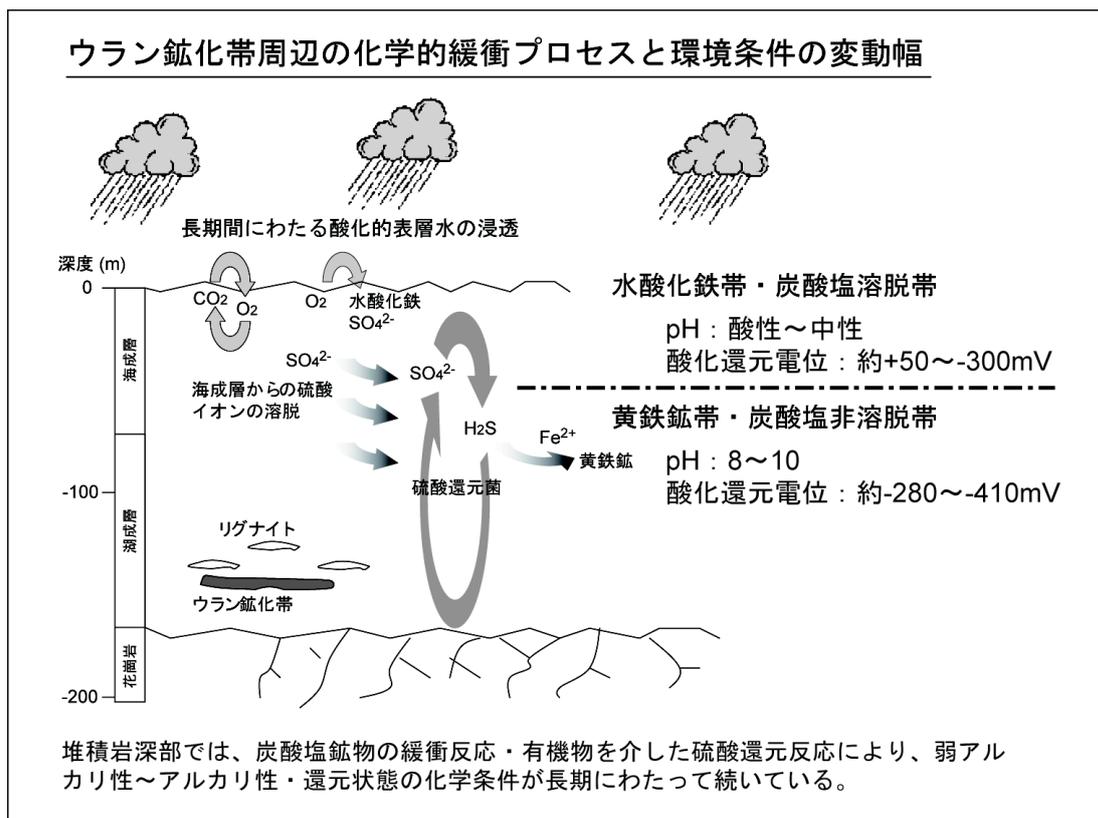


図2. ウラン鉱化帯周辺で見られる酸化還元プロセス（サイクル機構，2003）

ランが移行していると考えられる。月吉鉱床での3本のボーリングを対象とした調査から、鉱床中部と東部ではウランの濃集が、西部では溶脱が認められる(笹尾ほか, 2006)。また、鉱床西部で掘削されたボーリングコアでは、ウラン含有量が比較的低い岩石で $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ はほぼ1でウランの移行が認められないのに対し、ウラン含有量が高い岩石で $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ は1よりも小さく、ウランの濃集が比較的最近(数十万年以内)にも生じていることが認められている(Nohara et al., 1992)。これらは局所的にはウランが移行している可能性を示している。しかし、鉱床内でのウランの移行を示すのか、鉱床へウランが濃集しているのかあるいは鉱床からウランが溶脱しているのか、などは明らかではなく、このような現象を引き起こす地球化学条件も解明されていない(笹尾ほか, 2006)。

月吉鉱床周辺の酸化還元緩衝能力

月吉鉱床が長期間にわたって保持されてきた主要因として、還元環境の保持が挙げられる。現在の地下水の酸化還元電位(Eh)は鉱化帯周囲では約-300 mVと測定されており(サイクル機構, 1999)、硫酸イオンと硫化水素イオン間の酸化還元反応が平衡状態に達している時の平衡電位とほぼ同等である。また、堆積岩中では硫酸還元菌が認められており、硫黄同位体比や水-岩石-微生物の培養実験の結果から、ウラン鉱床が存在する深度では地層中の有機物を介した硫酸還元菌による硫酸還元とそれに続く硫化鉱物の沈殿が還元状態の形成に関与する主要な酸化還元反応であると考えられ

ている(図2; サイクル機構, 2003, 2004)。

文献

- 動燃事業団, 1994, 日本のウラン資源. 動燃事業団技術資料, PNC TN7420 94-006.
- サイクル機構, 1999, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ- 分冊1 わが国の地質環境. サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-021.
- サイクル機構, 2002, 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発-平成13年度報告-. サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2002-003.
- サイクル機構, 2003, 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発-平成14年度報告-. サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2003-004.
- サイクル機構, 2004, 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発-平成15年度報告-. サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2004-007.
- Nohara, T., Ochiai, Y., Seo, T. and Yoshida, H., 1992, Uranium-series disequilibrium studies in the Tono uranium deposit, Japan. *Radiochimica Acta*, 58/59, 409-413.
- 笹尾英嗣・岩月輝希・天野由記, 2006, 東濃ウラン鉱床でのナチュラルアナログ研究からみた古水理地質研究の役割. *資源地質*, 56, 125-132.
- (第2次取りまとめ報告書および年度報告は原子力機構地層処分研究開発部門のホームページ <http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html> で閲覧することができる)