

地下水によるウラン鉱床の生成

動力炉・核燃料開発事業団，東海事業所 広野 修一郎

(昭和49年8月30日受理)

Formation of Uranium ore Deposits from Groundwater

Shuichiro HIRONO

Tokai Works, PNC

本邦の堆積型ウラン鉱床は，花こう岩類を基盤として堆積した第三紀層中に見出されたものが資源的にもっとも重要である。

堆積型ウラン鉱床の生成に必要としたウランは，主として花こう岩類から地下水によって溶出されたウランが考えられ，この地下水中のウランが，温度，圧力（主として地下水中に溶解している CO_2 の分圧），pH，Eh や共存イオンなどの変化によって沈殿し，または吸着，共沈や置換などの作用で，ある特定な部分や鉱物中にウランが濃集されたと推定される。

これら種々の要因のうち，とくに吸着は，本邦主要ウラン鉱床生成に重要な役割を果たしたと考えられるので，ここでは主として吸着作用について東濃鉱山を例にあげて述べる。

岐阜県土岐市の東濃鉱山，月吉鉱床は花こう岩上のチャンネルに沿う鉱床で，ウランは沸石に吸着されている。

この沸石へのウラン吸着に関する実験では，ウランの溶液の pH 4~8.5 で最大ウラン吸着

表-1. ウラン鉱化帯と不毛帯との比較

胚 胎 層		ウラン鉱化帯	不 毛 帯
色		礫 岩	礫 岩
		茶 褐 色	青~青灰色
ウ ラ ン 含 有 量	最 高 値	0.55	0.017
	平 均 値	0.093	0.006
沸 石 量	最 高 値	77	<1
	平 均 値	26	<1
イ オ ウ 量	最 高 値	1.33	0.081
	平 均 値	0.314	0.024
モンモリロン石量	最 高 値	23	31
	平 均 値	9	20

単位；%

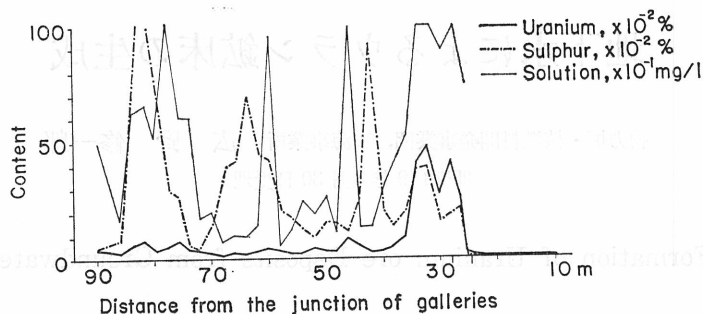


図-1 調査坑北延 10~90 m 右壁でのウラン溶液濃度およびウラン，イオウ量

率を有し，ウラン分布係数 (kd) は約 700，最大ウラン吸着量は 0.9~1% である。

また調査坑からの採取鉱石によって，ウラン鉱化帯と不毛帯とでは，鉱物学的，化学的にかなり異っていることがわかった (表-1 参照)。

坑内での調査と鉱石試料の分析から，ウラン，イオウ，沸石，モンモリロン石の分布状態をしらべた。それらの結果のうち，沸石量とウラン量とから，沸石中に含まれるウラン含有量がわかるので，沸石中にそれだけのウランを吸着させるに必要な地下水中のウラン濃度は，先に述べた実験結果のうちの等温ウラン吸着曲線から求めることができる。図-1 は，このようにして求めたウラン濃度 (図中の solution) と共に鉱石中のウランおよびイオウ量を示す。

イオウの多い部分では，イオウは主として黄鉄鉱 (FeS_2) として存在しているが，イオウの一部は石こう ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) として少量ながらかなり普遍的に分布している。

また，沸石にウランを吸着させたウラン溶液の濃度は一様ではなくて，部分的に約 10 mg/l というかなり高濃度のウラン溶液であることを示している。そして低濃度の部分でも約 0.5 mg/l のウラン溶液によってウランが沸石に吸着されたことを示しているが，このようなウラン濃度は一般に地下水に含まれていると考えられるウラン濃度 (後述) に較べれば，著しく高い濃度であって，ウランを含む地下水から，かなり低いウラン分布係数をもつ沸石にウランが一度の吸着作用で固定され現在のウラン鉱床 (平均 0.1%-U) を形成したとは，全く考えられない。

これらのことから，次のようにウラン鉱床の成因を推定することができる。

すなわち，まず地下水が沸石帯中に浸透し流れるとき，地下水に微量に含まれているウランは沸石によって吸着される。しかし，沸石帯中に図-1 に示すように部分的に存在する黄鉄鉱の酸化によって硫酸が生じ，それによって沸石に吸着されたウランが溶出され，地下水中のウラン含有量よりも濃度の高いウラン溶液が生成される。この溶液は沸石帯を移動することによって岩石中の Ca と硫酸とが反応し，石こうなどを沈殿するが，それらの反応によって pH が上昇し，その結果 pH が 4 以上になると，前に示した pH とウラン吸着率との関係で，ウランは再び沸石に吸着される。この溶液中のウラン含有量は地下水よりも高濃度なのでウラン吸着量は，地下水からの吸着量よりも多くなる。そして，長い年月の間のこの繰返しによって，現在のウラン鉱床が生成されたと考えられる。

このような吸着の繰返しによるウランの濃縮は，単は沸石だけでなく，本邦の主要ウラン鉱床生成に重要な役割を果たしたと考えられる炭質物とウランとの関係についても云えること

表-2. 東濃、御嵩地区、地下水中のウラン量

		Zone		
		granite	contact	palaeozoic
Number of samples		203	130	22
Uranium content, ppb	average	0.089	0.026	0.009
	median	0.01	0.01	0.00
	maximum	10.0	1.82	0.09
	minimum	0.00	0.00	0.00

である。

炭質物は、一般に炭化度の低いものほど、よくウランを吸着し、たとえば炭化度がもっとも低い石炭の一種であるピートでは、ウラン溶液の pH 3.5~8.5 で最大のウラン吸着率を有し、ウラン分布係数は約 4000~6000、最大ウラン吸着量は 2~3% である (札幌産ピートによる実験結果)。

たとえば、東濃鉱山調査坑で少量ながら産出する炭質物に含まれるウランは 7.29 パーセントと高い含有量を示すものがあり、ウラン鉱物はコフィン石 ($USiO_4$) である。これは炭質物に吸着されたウランが、炭質物中に微細な結晶としてほぼ一様に分布する黄鉄鉱の酸化によって産じた硫酸によって溶出され、溶出されるや否や溶液中の珪酸と共にコフィン石を生じ炭質物中に微細な結晶として分布する。炭質物はその後、またウランを吸着するというような繰返し沸石の場合と同様に炭質物でもおこなわれ、その結果、現在みられるような高品位のウラン鉱石が生成されたものと推定される。

このほかにウランを吸着している鉱物として、モンモリロン石、褐鉄鉱、緑泥石などが見出されている。

このようなウラン鉱床生成を考える上において、もっとも重要な役割を果すものはウランを含んだ地下水であるが、地下水中のウランの大部分は、花こう岩から溶出したウランであると考えられている。

ウラン鉱床周辺、とくにウラン量の多い温泉水または海水 (約 3.4 ppb) などはかなり多くウランを含むが、これを例外として考えると、表-2 に示すように地下水中のウラン量は、花こう岩地域に多く、古生代の地域では少ない。平均では 10 倍、最高値では 100 倍程度ウラン量は花こう岩地域に多いが、花こう岩地域の最高値でも 10 ppb 程度のウラン量であり、また坂巻が花こう岩を貫く新幹線の六甲トンネル内で採取した地下水中のウラン量の最高値も同じく 10 ppb 程度である。したがってウラン鉱床を形成する含ウラン地下水中のウラン量は、それらより多いとしても、著しく相違するウラン量ではないであろう。

このようなウラン濃度の地下水からウラン鉱床が生成されるとき、一度の鉱化作用 (主として吸着作用) で鉱床が生成されると考えるのは困難で、ウランを濃縮する作用の繰返しによってウランが濃縮し、ウラン量が増大していった、現在のようなウラン鉱床が生成されたと考えられる。