

資 料

553.495 : 550.8=82=956

ウ ラ ン 探 査 法*

V. G. Melkov & L. Ch. Pukhalskii

小 西 善 治 訳

第 1 章

ウランとその性質

ウランは、稀有金属であるという観念が、深くしみこんでいるが、天然においては、この元素は相当広範囲に分布している。ウランの稀有性は、高度に濃集しているものにまれに出会するという意味を表わしているにすぎない。ウラン鉱床は、その含量についても、また量的にみても、ウランよりも一層少量が地殻上に分布する他の化学元素の鉱床に比較して著しく劣っている。

Vinogradov の最近のデータによれば、ウランは $2.6 \cdot 10^{-4}$ 、砒素は $2 \cdot 10^{-4}$ 、モリブデンは $1.7 \cdot 10^{-4}$ 、アンチモンは $3 \cdot 10^{-5}$ 、金は $\approx 10^{-7}$ 、銀は $2 \cdot 10^{-5}$ 、白金は $5 \cdot 10^{-7}$ 、水銀は $6 \cdot 10^{-6}$ 、臭素は $1.8 \cdot 10^{-4}$ である。

岩石中におけるウランの含有量は、その鉱物組成によつて異なる。Vinogradov によれば平均値は以下のものである。

球隕石の珪酸塩相	$1 \cdot 10^{-5}$
超塩基性岩石(ダニ橄欖岩・橄欖岩)	$3 \cdot 10^{-6}$
塩基性岩石(玄武岩・ハンレキ・ノーライト 輝緑岩)	$3 \cdot 10^{-5}$
中性岩石(花崗閃緑岩・安山岩)	$1.3 \cdot 10^{-4}$
酸性岩石(花崗岩・石英粗面岩・流紋岩)	$3.5 \cdot 10^{-4}$
堆積岩(粘土・頁岩)	$3.2 \cdot 10^{-4}$

E. Rabinovich のデータによれば、海水中のウランの含有量は $0.36 \cdot 10^{-6}$ — $2.3 \cdot 10^{-6}$ g/l である。その含有量は塩分に正比例する。

ウラン(U)元素は、周期律表の最後の位置を占め、原子番号 92 である。天然では、あらゆる原子番号の大きな元素は出会しない。この種の元素類は、人工的方法によつて求められるであろう。

かつては、ウランは、メンデレーエフ周期律表の VI 族に入れられていた。現在では、他のアクチニド元素(トリウム・プロトアクチニウム、すべての超ウラン元素)とともに、III 族(ランタニド・アクチニド亜族)に属している。

天然ウランでは、ウランは、3 同位元素 U^{238} (UI), U^{234} (UII), U^{235} (アクチ・ウラン) からなっている。

人工的方法一様々な核反応の産物として一によつて、短寿命のウランの同位元素が多数求められている。長寿命のウラン同位元素以外に、同位元素の原物質としては、トリウム・アクチニウムおよびプロトアクチニウムがあげられる。E. Rabinovich は、“ウラン化学”中で、質量数 228 から 239 にわたる 8 個の人工同位元素を述べている。ウランの同位元素は、アルファ、ベータ線を出して自壊変する性質をもっている。この問題は VI 章で詳細に述べ

* Melkov, V. G., L. Ch. Pukhalskii: Поиски месторождений урана, Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва, 1957

第1表 天然ウランにおける様々な同位元素の含有量とその半減期

質量数	半減期	天然ウランにおける含有量 (%)
238 (UI)	$4.51 \cdot 10^9$ 年	99.28
235 (AcU)	$8.91 \cdot 10^8$ "	0.714
234 (UII)	$2.35 \cdot 10^5$ "	0.0054

る。

ウラン同位元素の半減期および天然ウランの含有量は著しく異なっている(第1表)。

U^{238} と U^{234} 同位元素は、1つの放射性系列 ($4n+2$) に含まれる。このことは放射平衡がすべての鉱石中ですでに成立し、同位元素比が一定で、その半減期比が等しいことと関連性をもっている。最近の研究によれば、 U^{238} と U^{235} 同位元素の平衡比は、138 に相当するが、 U^{235} と U^{234} 比は141.5である。このデータを基にして U^{238} と U^{234} の比を求めることができる。この値は19527 にあたるであろう。 U^{238} が放射性壊変を起すと新元素・イオニウム・ラジウム・ラドン等が逐次生成され、最後に安定産物 Pb^{206} が生じる。鉛には Pb^{206} 以外にさ

第2表 天然鉛における様々な同位元素の含有量

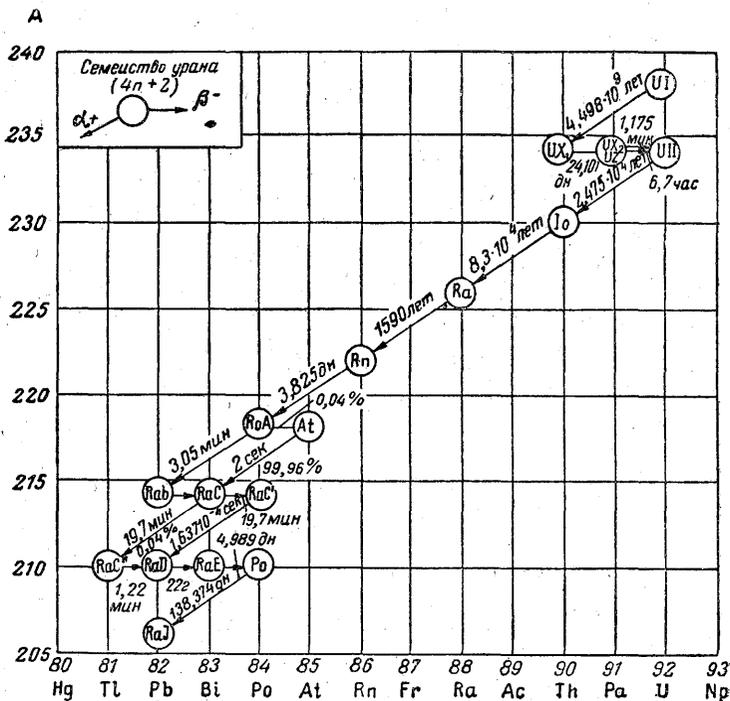
鉛同位元素	含有量 (%)
Pb^{208}	52.32
Pb^{207}	21.11
Pb^{206}	25.15
Pb^{204}	1.37

らに他の同位元素を含んでいる。すなわち U^{235} の壊変によつて生じる Pb^{207} 、トリウムの壊変産物 Pb^{208} と非放射性同位元素 Pb^{204} である(第2表)。

鉛の放射性同位元素と、ウランおよび非放射性鉛との相関関係は、鉱物および岩石の絶対的地質年代を決定する可能性を与える。この方法は、実際面に広く使用されている。

ウランとラジウムとの放射平衡過程では、 $Ra : U =$

$0.34 \cdot 10^{-6}$ の平衡関係が成立する。



第1図 ウラン族 (バリノフ・1955)

純粋な金属ウランは、大きな密度(約 19.050 g/cm³)をもっているのが特色である。その色調は銀灰色である。高温の下では、金属ウランは錬りも引張りも可能である。この種の金属ウランは、冷間加工も行える。

ウランには3変態(相)が区分されている。斜方晶系の α 相は640°まで安定で、 β 相(結晶構造は確認されていない)640~760°の範囲で安定、立方晶系の γ 相は760°から熔融点までの範囲内で安定である。

ウラン原子は、楕円形に近い型態をもち、短径 1.4 Å, 長径 1.65 Å である。ウランの原子量は 238.07, 比重は 18.69 である。精錬された金属ウランの平均硬度は、ブリネルの 200~220° である。抗張試験による強さの限界は、試料の熱間処理状態によつて異なるが、35 から 110 kg/mm² の変動を示す。

純粋金属ウランの熔融温度は、1133° である。ウランの電気伝導率は、鉄の電気伝導率の $\frac{1}{2}$ 以下であつて、 $4 \cdot 10^{-4}(\text{om cm})^{-1}$ にあたる。ウランの熱伝導率は、約 $70 \cdot 10^{-3}$ カロリー cm⁻¹ sec⁻¹ grad⁻¹ である。ウランは弱常磁性である。

ウランは(化学的)放射能の強さが大きく、天然では自然ウランには出会しない。ウランは、ほとんどすべての非金属類と容易に反応し、空気中では迅速に酸化し、100°の温度の下では水に分解する。天然の条件では、ウランの硫化物(初成鉱物)は知られていない。ウランは水銀・錫・銅・鉛・アルミニウム・ビスマス・鉄・ニッケル・マンガン・コバルト・亜鉛およびベリリウムとともに金属間化合物を形成する。ウランのおもな化学的特性は、強烈な還元能力である。この性質はとくに酸性水溶液中で明瞭に認められる。

天然のウランでは4価と6価の型のものが知られている。人工的には、2価、3価、5価のウランが求められている。

Gold Schmit のデータによれば、U⁴⁺ のイオン半径は 1.05 Å であるが、U⁶⁺ のイオン半径は 0.8 Å である。Zachariasen は、若干低い値を与えている。Zachariasen のデータによると U⁴⁺ のイオン半径は 0.89 Å である。第3表にはウランのイオン半径(1.05 Å)に近い、ダイメシヨンのイオンがあげられている。

4価のウランと上述元素とのイオン半径の近似性は、ウランの高度の同質異像の生成を容易にしている。ウランの大きなイオン半径は、高原子価と結び付いてウランに両性性質を附与し、ウランは、酸性媒質中では弱塩基性として、アルカリ媒質中では弱酸性として挙動する。

ウランは酸素と化合して酸化物、UO₂, U₃O₈, UO₃ を生成する。UO₂ 酸化物は、立方晶系をなし、その色調は、暗褐色または黒色である。その化合物はつねに黒色、肉桂色または緑色を示す。U⁴⁺ は、容易に酸化して U⁶⁺ になる、U₃O₈ は6方晶系をもち、暗緑色を呈する。UO₃ は非晶質であつて、その色調は黄色・オレンジ色または肉桂色である。天然では無水の UO₃ に普通出会しない。Uは酸とともにウラニール塩(UO₂)²⁺ をつくるが、水によつて帯黄色のウラニールの加水分解産物が生ずる。アルカリが作用すると、UO₃ は錯アニオン(UO₄)²⁻ と (U₂O₇)²⁻ を生じる。後者は、カチオンとともに黄色および帯赤・オレンジ色のウラン酸塩および2ウラン酸塩を生ずる。U⁶⁺ は、容易に U⁴⁺ に還元される。

天然のウラン化合物は、ある種のウラニール・硫酸塩だけが水で溶解する。炭酸塩・磷酸塩・砒酸塩・バナジウム酸塩・ウラン酸塩、ウランの水和物は弱酸中에서도可溶性である。ウラン珪酸塩も酸に溶解するが、珪素の骨組は保存される。

多くのウラン塩はアルカリ、特にソーダ溶液に溶解する。

第3表 イオン半径の近い元素のイオン

元 素	イオン半径
Th ⁴⁺	1.10
Y ³⁺	1.06
Ca ²⁺	1.06
Pa ³⁺	0.93
TR (La から Lu にわたる)	0.99
Mn ²⁺	0.91

第2章

ウラン鉱物

一般的考察と決定方法

V. N. Vernadskii は、本世紀の始めに天然のウラン化合物問題を研究し、次のように述べている。「すでに10種の様々な鉱物類が知られている。しかし現実に存在する鉱物のほんの僅かの部分にすぎないことは確かである。こゝに輝かしい鉱物学的発見の広大な沃野がある。」この言葉は、こんにちに至るまでその意味を失っていない。

最近までウランの新鉱床が発見されるたびに、ウランの新鉱物種が出現している。最近の5年間の間に約35種の新ウラン鉱物類が発見されている。それまで固有ウラン鉱物としては、約60種が知られていた。現在固有ウラン鉱物および混和物の形でウランを含むもの(疑問のあるものを含めて)の総数はすでに150種以上に及んでいる。

このようにウランの新鉱物種の発見に成功しているにもかかわらず、重要な鉱物系については、構造、成因、共生関係、若干の物理的ならびに化学的性質が依然として正確に確認されていない。重要なある種の鉱物種(ウラン酸塩類、水酸化物類、酸化物類等)の化学的構造については最終的に決定されるに至っていない。鉱物の特性、例えば磷灰石・ウラン石・Uranotilの光学的性質および瀝青ウランの記載鉱物学的性質には、しばしば矛盾撞著する特性があげられている。文献中にみられる数鉱物種の報告には、列挙にとどまっているものがある(Roetzerfordin uranomolybdate)。異なる時代に発見されたある種の鉱物類は、同一に取り扱われている(dakeite と schroekingerite, iogannite と jilpinit)。ウラン鉱物の全系列の物理学的、化学的、地質学および結晶学的特性の研究が充分進んでいないことは、ウラン鉱物の系統付と分類とに反映している。ウラン鉱物類には、共通の分類法が全然なく、著者によつては異なる種および群に入れられている(例えば、水酸化物、閃ウラン鉱等)。

このようなウラン鉱物の研究現況は、主としてこの種問題の新しいこととウラン鉱物の研究に関連性のある幾多の困難とによるものである。この困難は次のように要約される。

- (1) 多数のウラン鉱物が比較的稀有であること。
- (2) ウラン鉱物が少量存在すること。
- (3) 鉱物粒および単鉱物の集合体の大きさが顕微鏡で認められる程度の大きさであること。
- (4) 多数のウラン鉱物類の、性質および外部指標の多くが比較的単一であること(光沢、色調、集合体の性質、硬度、比重、光学的特性等)。
- (5) ウラン鉱物が他のウラン鉱物および非ウラン鉱物としばしば密雑していること。
- (6) 多くのウラン鉱物の化学的組成が複雑、かつ変化に富むこと、ウラン鉱物が metamict 的転移をなし、鉱物の生成が放射性崩壊過程によつて連続的に完成するために、鉱物の組成と構造とが複雑であること。

ウラン鉱物を研究して決定するためには、一般に知られている鉱物学的方法以外に、放射線計測分析(Radiometric), 放射線(透過)写真法および発光分析法を使用する。後者は、ウランおよびその化合物(鉱物)の2つの著しい質を利用することを根拠においている。この方法は、ある種のウラン鉱物類の放射能と力価とを直接利用することにあるが、小球(例えば弗化ナトリウム)を酸化焰で熔融し註1)、紫外線で照射すると、ウラン鉱物は、例外なく、螢光を発する発光性質によるものである。

非ウラン鉱物類中には、螢光または発光を発する小球および特有の放射能を示すような鉱物

註1) 基体を針金の耳に詰めて、熔融後に求められる小球(bead, 数 mm 大)、螢光分析を行う以前に、弗化ナトリウム(熔融温度 992°)または低熔融(700°)混合物(NaF+K₂CO₃+Na₂CO₃)を50 mg 以下とつて秤量し、基体をつくる。小球を準備するために基体として使用される物質は、熔融後螢光を発しないものを選ぶ。したがつてウラン鉱物を小球に熔融する(活性化)に先き立つて、基体に紫外線をあてて、螢光を発しないことを確かしておく。

類(トリウム鉱物・ラジウム・カリを含む鉱物)が知られている。しかし上述の2つの性質、発光と放射能の組合せは、ウラン鉱物だけにみられる特性となっている。例外としては、ニオブおよび若干の稀土類を含むきわめて僅かな数のトリウム鉱物類があげられる。

鉱物の放射能および発光(発光)を利用するならば、鉱物中のウランおよび試料中の鉱物の含有量が、きわめて低い($n \cdot 10^{-4}\%$)際でも、迅速、かつ簡単に確認される。このようなウランの含量は、実験室ばかりでなく、野外においても明らかにされる。したがってウラン試料中におけるウランの存在データか、またはウランを含む鉱物類を明らかにするデータかいずれかのデータを求めるためには、まず第一にこの2つの性質を利用すべきである。

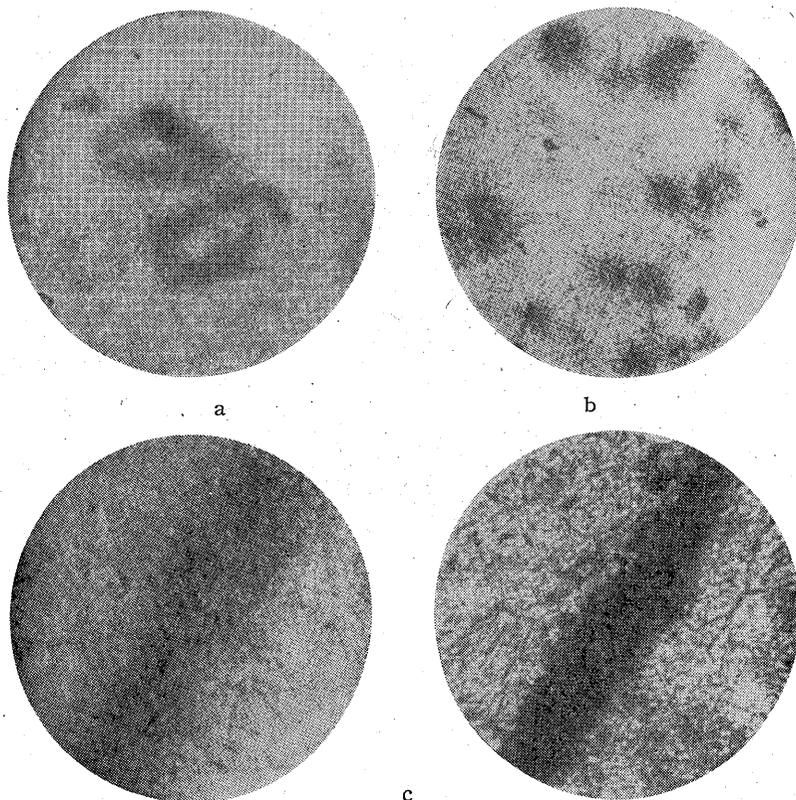
放射線計測分析法および放射線写真法：

これらの方法は第5章で詳しく述べる。ここでは後章で必要となる若干の問題のみをあげておく。

放射性崩壊が起ると、周知のようにアルファ・ベータ粒子が放出されるとともに、ガンマ線が放出される。アルファ粒子は、対応装置、とくにアルファ検電器(アルファの放射線計測法)によつて簡単に明らかにされる。そのほかにアルファ粒子の飛跡は、粒子の出現後に現われる厚い写真乳剤層の黒化現象を利用して記録にとり、算出される(微放射線写真法)。

ベータ粒子およびガンマ線もまたガス・シンチレーション・カウンターと組合されたようなベータ検出装置とガンマ線、放射計測によつて明らかにされている(放射計測ガンマ・ベータ法)。

そのほかにガンマ線は、黒化現象の出現後に明らかにできるが、その強度は、放射性物質と

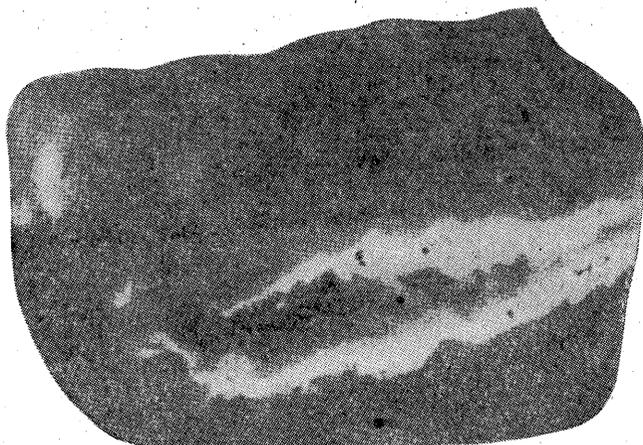


第2図 黒色粉状ウランを含む岩石薄片の放射線写真図(ネガタイプ)、露出時間4晝夜

- a) 黒色粉状の mesh 構造, $\times 60$
- b) 黒色粉状ウランの斑点状析出 $\times 115$
- c) (左)粉状ウランの微細脈, (右)同一細脈の薄片の顕微鏡写真



a



b

第3図 放射写真図(ポジタイプ)
a) 斑点, b) 黒色粉状ウラン細脈, 露出時間 数時間

接触する乾板の乳剤層またはフィルムの黒化の度合によつて確認できる(放射写真図, マクロ写真図法, 第3図参照)。

放射線写真法は、鋭敏な感度を示す。この方法によれば、放射性物質の存在を相当な精度で迅速に確認できるとともに、試料、切羽(鉱山)および露頭のウラン含量を直接決定できる。種類の放射線計測方法を組合せて使用するならば、多くの場合ウランとトリウムとの定量識別決定を行うことが可能となる。

放射線写真法によれば、試料(研磨後あるいは小粒中)中における放射性鉱物の分布と析出型が正確に確かめられるとともに、この種物質の含有量を大体知ることができ、ウランとトリウ

ムとの区別も可能となる。しかしマイクロ放射線計測写真法では結果が得られるためには数日を要するからこの種の分析を行うのには、固定設備(条件)が必要とされる。

螢光(発光)分析法:

本分析法は、露頭・坑道ならびに固定設備条件のもとで、分離形態および規模が迅速、かつ簡単に明らかにできるとともに、探鉱にとつてきわめて重要なウランの2次鉱物(酸化帯)の分布特性を確かめることができる。

そのほかにこの種の分析法によれば、任意の鉱物および溶液中におけるウランの有無を、迅速、かつ簡単に確かめられる。さらに鉱物類の鑑定目的に充分その精度で、ウランの含量を評量できる(小粒(Pearl)発光分析法)。最後に上述の分析法は、鉱物粒のそのままの状態をかき乱さずに、またウランを試料から分離しないで鉱物種を確認できる(スペクトル・螢光分析法)。

螢光分析法の基盤となるものは、上述の螢光現象を利用することにある。螢光または冷い(cold)発光は、すべての物質に固有な性質でない。この種の発光現象は、物質がエネルギー励起の影響を受けると発生する。このように励起を起さずものとしては、光(量)子、陰極線、圧力等があげられる。螢光(発光)は、励起エネルギーの種類によつて、それぞれ光子(による)螢光、陰極線(による)螢光、圧電気による螢光に区分される。ウラン鉱物を明らかにして決定するためには、(非可視)紫外線(200~400 m μ)で励起される発光または螢光現象が普通利用される。

ウラン鉱物の発光は、紫外線の長い波長(200~300 m μ)、短い波長(300~400 m μ)、(可視部)近紫外線の照射によつて励起される。しかしウラン探査にとつてきわめて重要な含ウラニール玉滴石(hyalite)のようなある種の低品位ウラン鉱物(ウランの含量10%以下)は、短い波長の紫外線を照射して始めて螢光を発する。

ウラン鉱物および(ウランが活性化された)熔融球の発光は、(励起)照射を停止すると実際上たちまちみえなくなる。例えば willemite・石膏およびある種の炭酸塩類にみられるような後発光現象、または燐光は、ウラン鉱物には認められない。著しい燐光現象を欠くことは、ウラン鉱物と非ウラン鉱物とを区別する1つの指標となる。燐光測定器が存在しない場合には、紫外線の照射を迅速に中止するか、あるいは試料を通る紫外線を遮断すると燐光が認められる。鉱物学的目的のために利用される発光現象は、色調と光度によつて肉眼で決定される。発光ウラン鉱物は、光度差により、主として淡青緑色・緑黄色・黄色の螢光を発する。このような指標の様々な組合せによつて、ウラン鉱物を小鉱物群に区分される。第4図(印刷省略)では、ウラン鉱物が光度によつて大きな鉱物群に分けられ、さらにこのウラン群を発光の色調によつて細分されている。これ以外に非発光性鉱物とはまだ確かめられていないような発光特性とが区分される。変化する発光特性をもつ鉱物類は、指示性質の既知変動にそれぞれ対応するいくつかの鉱物群が存在することを示している。

色調、その光度および(とくに)発光の客観的な特性としては、周知のようにスペクトルがあげられる。しかしウラン鉱物を実際的に取り扱う際には、発光スペクトルはこの目的に利用されていない。この場合には、ウラン鉱物と非ウラン鉱物とを区別するためと発光鉱物種を知るためとに利用されている。

第1の場合には、発光スペクトルは、大多数の発光ウラン鉱物類が、普通の温度条件の下では帯構造(青色・淡青色・緑色・黄色およびオレンジの3から7の色帯)で特色付けられることに基づいている。

第2の場合は、おのおのの鉱物類には、量、光度および帯スペクトルの分布状態(線、構造)に若干の差異があることによつている。例外は uranopilite と beta-uranopilite とである。この種の鉱物では、普通の温度条件での発光スペクトルの線構造がほとんど区別できない。

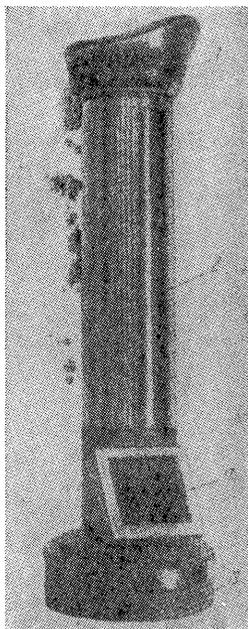
日常の鉱物学的研究では、スペクトルの性質は直視式の簡単な携帯分光器によつて確認されている。鉱物種の鑑定は、この種の分光器を使用して、被検鉱物の発光スペクトルと標準鉱物

の発光スペクトルとを肉眼で比較して行っている。帯スペクトルが完全に一致する場合は、鉱物種の同定を意味している。

紫外線照射によつて発生する Photo luminescence 現象は、ウランがウラニールの錯陽イオン (UO_2^{2+}) の型で含まれているウラン化合物だけにみられる固有の現象である。したがつて上述の弗化ソーダと U^{4+} , $U^{4+}+U^{6+}$ および他の形態でウランを含む非発光ウラン鉱物の熔融物とを決定する課題の1つは、ウランをこの種の陽イオンの型態に変えることである。この課題の解決は、ウランに対して酸化作用を及ぼす性質をもつ、弱酸中(2~5%)に任意の鉱物を溶解させると求められる。4価と6価のウランを同時に含む非発光性ウランは、酸化性質をもたない弱酸—6価のウランが溶解するためにこの種酸を使用する—例えば錯酸、正リン酸等で溶解させると発光化合物が形成される。

非ウラン鉱物のこの種特性は、露頭におけるウランの抽出にも使用される。この目的のためには、ウラン鉱物を含む鉱石の表面に、稀酸の塵状滴(酸の噴霧化)を散布する。次いで稀酸を蒸発させると、ウラン鉱物の表面には、短い波長の紫外線で発光し、かつウラン化合物に特徴的な発光スペクトルをもつ被膜が形成される。

紫外線照射で発光するウラン化合物の能力に影響を及ぼすものは、陰イオン、他の陽イオンおよび水の量である。他の条件が等しい場合には、ウランの弗化物、リン酸塩類、ヒ酸塩類、炭酸塩類、硫酸塩類、硫酸塩—炭酸塩類はきわめて鮮明に発光する。ウラニールの珪酸塩類とバナジン酸塩類とは弱い発光を示す。 Cu^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Bi^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} , Co^{2+} のような陽イオンは、含ウラニール鉱物の発光を完全に消し、弗化ソーダの熔融球の活性化ウランの光度が、ウラニールの濃度によつて多少とも弱くなる。熔融球中のこの種陽イオン(発光消衰剤)の濃度が増加すると、発光輝度の消衰効果が増大し、各消衰鉱物に対して濃度が一定の場合—鉱物が存在するために非発光鉱物中におけるその含有量よりも、比較にならないほど消衰鉱物の含有量が大きい場合—には、熔融球の発光は完全に消される(異質鉱物の混合による消衰)。



第5図 ポケット型

Ruminascope PKL

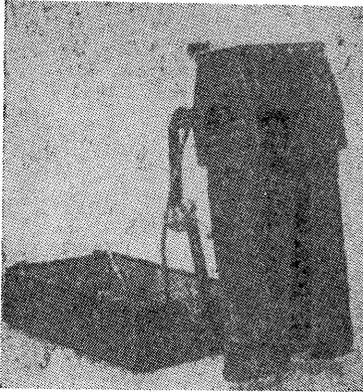
1. 接眼鏡, 2. 発光管,
- a. 紫外線が透過する透光口
- 過器, 3. ゴム製リング

Trögerite [$(UO_2)_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$], そのリン酸塩, バナジン酸塩のような類縁化合物は、上述の発光の要請条件を満たすようであるが、それにもかゝらず発光しないことに留意すべきである。

天然では鉱物の発光は、暗所においてのみ認められる。したがつて暗夜および坑道では、発光は、紫外線照射によつて認められる。日射下でウラン鉱物の発光現象をみるためには、携帯用ポケット型の測光器がすゝめられている。この測光器は全重量 150 g であつて、接眼鏡 1, 照明管 2, a light-filter, (紫外線のみを通す filter) および微孔質ゴム類でつくられたリング 3 からなつている。

測光器を使用する場合には、試料面にゴム製リングの基底面を押しつけ、測光器の内部では、光線が light-filter 中のみを透過するようにする。次で測光器と試料とを紫外線の光源(太陽燈, 石英水銀マーク燈)に向け、light-filter が光の透過方向に垂直の位置にくるようにする。このようにすれば、試料中で発光する物質が接眼鏡を通じて観察される。試料の全表面をみるためには、上述の条件を遵守しながら、測光器を徐々に移動させることが必要である。

暗室で作業するために、種々の発光分析燈が利用されている。運搬が便利な分析燈は、Lium-1 型の分析燈である。本燈は case に入れられた石英水銀バーナー・PKL 式と同一の light-filter,



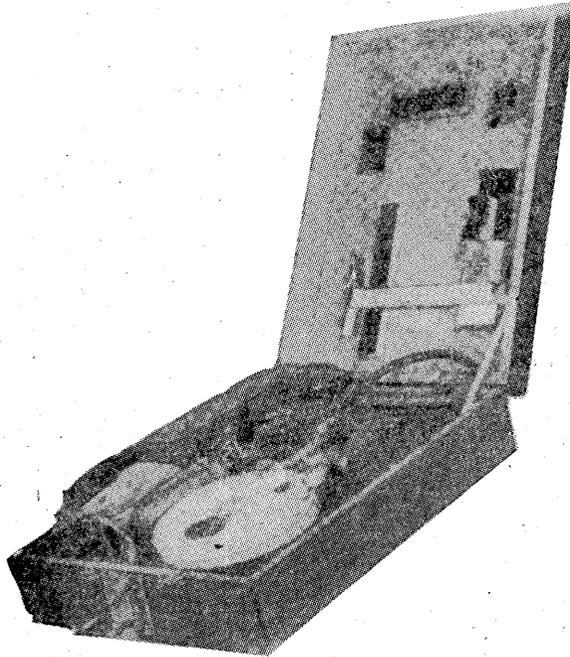
第6図 発光分析器 Lium

1. 石英水銀バーナー PLK-4 型の外套,
下部には透光口過器がある。
2. Choking
coil
3. ケース
4. supporter (携帯
用)

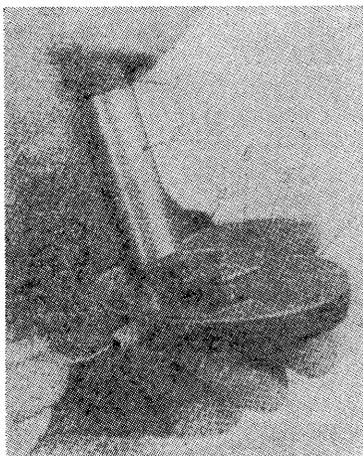
小 case 3 中に固定された choking coil 2 からなっている。バーナーには, choking coiling を通じて(普通の回路から)交流が印荷されるようになっている(127 または 220 ボルト)。バーナーと case は, 取りはずし自在の supporter に取り付けられる。したがってこの型の分析器は上述の case の中にすべて入れて, 移動, 運搬ができる。

坑内および天然の暗所で作業するには, 野外用測光器, “Polius” と野外用蛍光灯が使用される。

熔融球を準備してその発光を研究するためには(熔融球発光法)携帯用熔融球, 発光器具箱 P.P.L. が用いられる。この種の測定器具箱は, 次のような器具のセットからなっている。熔融物および鉍物を細かく磨りつぶすのに用いられる乳ばち, 熔融物細粉および鉍物細粉の秤量 spoon, 定量の熔融物質のタブレットをつくるタブレット器械, 電球ならびに supporter 付の半田用パイプ, タブレットの融解と球状形態で求められた定量の鉍物を熔融するのに用いられるバーナー, そのほかに Mch-1 型発光ウラン測定器がある。この発光ウラン測定器は, ウランの含有量が既知の標準熔融球のセットの発光強度と熔融球の発光強度とを比較してウランの含量が求められる。したがって強度の比較によれば, 求められた熔融球のウランの半定量的含量の決定が行われる。ウランの含有量が低く(0.05%以下), 消光元素が著しく多量に存在しない場合には, 熔融球の発光輝度は, そのなかに含まれるウランの濃度に実際上正比例する。熔融球中におけるウラン濃度が一層高い場合には, 熔融物の(発)蛍光の光度は, ウランの濃度の増加に比して緩慢に強まってくる。濃度が約0.1~0.2%(最小限界)濃度から始まって, ウランの濃度の増加に伴って熔融球の発光輝度は弱まってくる(濃度消費効果)。



第7図 野外用閃光分析セット



第8図 野外用閃光分析器の作動状態を示す

- 1) 接眼鏡, 2) a) 透光口過器, 発光管
- 3) 標準試料入れ case, case の下部に取り付けられている fly wheel の旋回運動によって標準試料が回転するようになっている。
- 4) 試料挿入管, 5) 6) 試料スケールの観測孔

熔融物にあわせるようにする。このようにして、輝度が被検熔融物の発(螢)光度に最も近いものを求める。次で選ばれた標準熔融物の位置を変えないようにしてから、標準熔融物の移動と同期的に移動する測定器の目盛を、T15孔を通して読み取り、被分析鉱物のウラン含有量を求める。測定器の目盛は、熔融物重量と被検鉱物の定量重量との比が100:1(例えば熔融物が50mgの場合には鉱物の細粉は0.5mgの割合になる)の場合のみ利用できるようになっている。このような熔融球の鉱物物質の稀釈が、鉱物中に含まれる消光元素の及ぼす熔融球の発光影響を減少させるから、熔融物と定量の鉱物との上述の重量比を保つことがすゝめられている。“z”6測孔を通してみられる測定器の目盛によれば、溶液中におけるウランの含有量(重量%)が求められる。目盛は操作を3回繰り返す一被検溶液への熔融球の浸没(immer-sion)→冷却→熔融一ように刻まれている。

熔融球、発光分析を完遂するには数分間を要する。

きわめて微細な分離ウラン 鉱物の発光現象は、プレパラート照射用の紫外線燈、例えば Nium-1 を利用して顕微鏡下で研究される。さらに被検微粒鉱物の発光スペクルは、接眼レンズに取付けられた直視ポケット分光器によって観察できる。

ウラン 鉱物決定の標式的様式:

ウラン 鉱物を決定するためには、現在一般に用いられている方法を利用するとともに、最も簡単に、安価に、迅速に、かつ正確に課題を解決することを考慮に入れて、それぞれの分析方法を組合すことが必要である。

考えられ得る分析法の組合せとしては、微量定量分析法と、X線解析または分光器との組合せがあげられよう。最初の分析法は、原子番号の近い化学元素群の微量濃縮物を定量する方法であるが、この化学元素群の決定は、第2または第3の分析等によって完成される。

現在のところでは、なんらかの型で厳密にきめられた分析法組合せ順位をすゝめることは難しい。これは分析順位が分析課題によって決められるとともに、被検鉱物の型態、大きさおよび鉱物の組合せによっても左右されるからである。任意の実際の問題を解決する際に、指針となる最も有望なみちは、ウラン 鉱物学の現状と課題に関する明確な概念、既知鉱物の性質に関する知識、ウランおよびウラン化合物を形成する他の元素の化学に関する充分な知識である。このほかにウラン 鉱物の研究および鑑定の方法およびその様式は絶えず完成しつゝあるとともに、新しいものが同時に生まれつゝあることを理解しておくことが必要である。さらに科

この場合には、熔融物の色調は、日光の照射で変わる。すなわち白色から濃オレンジ色(ときには帯灰オレンジ色)となる。濃度消費現象を伴うような熔融球におけるウランの含量を決定するためには、熔融球を乳ばちで粉碎し、細粉0.5mgを秤量して取つて新熔融球をつくることがすゝめられている。熔融後に求められたウラン含量の決定結果には、新稀釈値を乗ずることが必要である。

Mch-1 ウラン測定器(第8図)は、ポケット型発光測定器とは次の点で異なっている。この型では、ゴム製リングの代りに、浅い円筒状のCasing³⁾が取り付けられ、その中に標準熔融物球が入れられ、Casingは、外面のパイロット車輪(標準試料Casingの下部にある)で回転する円盤に取付けられている。

白金線の耳に埋められた被検熔融球は、標準試料Casingの内部に熔融物挿入用小パイプを通して入れて1標準熔融物と並列におく。次に被検熔融物に対してパイロット、車輪を回転させながら、逐次他の標準

学のこの領域におけるあらゆる新しい研究に留意するとともに、この新しい研究(発見)を自己の研究に応用することが必要である。例えば、電気透析・磁気分析法・超音波法・紫外線・赤外線顕微鏡法は、現在発展の緒についている。

放射性物質—含ウラン物質—が試料中に存在することを確かめるのには、放射測定ならびに発光分析法を適用し、まず第一に試料のガンマ線測定と紫外線“照射”とを行うことが必要であることはすでに述べた。これらの測定法は、ウラン鉱物の存在を確認し、およその含量ウランの存在形態、大きさおよび分布に関するデータを求めるためばかりでなく、それぞれの分析(解析)法をチェックするためにも必要である。例えば試料表面に附着する少量の含ウラン玉滴石(UO_2^{2+})は、放射計法では実際上明らかにされるが、発光法によれば、判然と認められる。反対に、非発光性ウラン鉱物が試料中に含まれている際には、その存在は放射計法で摘出されるが、単なる紫外線照射では、無駄な労力に終る。しかし放射線の測定後に、“疑わしい”鉱物粒または分離物を熔融球・発光法で研究すれば、鉱物中に含まれているウランは、直ちに明らかにすることができる。

試料の放射線測定研究によれば、上述以外に一連の有用なデータが求められる。理想的な場合には、あらゆる放射測定法の結果が類似しているはずである。いま分析が正しく行われたとするならば、その結果の本質的な喰い違いは、次のような現象の存在を裏付けている。

1. 放射能は逡減し、数日を経ると、試料の放射能は実際上消失する。このような現象は、試料中に寿命の短い放射線か、ラジウムエマネーション(ラドン)かトリウムエマネーション(トロン)かいずれかのみが存在することを意味している。

2. 試料の、アルファ測定値と、その試料から求められた細粉のデータとの著しい喰い違いは、放射性物質が試料中に不規則に分布しているとき起る。試料の測定値が著しく高い場合には、放射性物質が試料の表面上に主として配列していることが推定される。

3. 地質学的には、きわめて新期の含ウラン生成物—坑道壁の皮殻、皮膜、坑道にみられるウランの2次結晶鉱物—は、一層古期の放射平衡^{註2)}物質と異なつて、とくにアルファ線とガンマ線との値が著しく低いのが特色となつている。

4. 2次過程—放射平衡がウランの放射性元素の側(ウランが相対的に運び出されること)へ移ることによつて起る—の作用を蒙つている鉱床の発達地域から採取された試料は、アルファ線値に比してガンマ線の値が不相応に高いのが特色となつている。

定量的放射線測定データまたは放射線写真データの差により、一方では発光データ、または他方では化学的データにみられる相違を利用すれば、物質の放射平衡のもとでのトリウムの存在およびその量とトリウムを含まない場合の放射平衡転移とが推定できる。

とくに研磨物質が微粒・細粒構造を示す場合には、放射性鉱物の分布と形態とは、放射線写真法によつて明確に明らかにされる。含ウラン鉱物が明らかとなり、その大きさと分離形態とが決定されると、そのなかに存在する原子価が定められる。次いで任意の方法(相互制禦法 mutual control method^{註3)}によつて、ウラン鉱物中に存在する残余の化学元素を確認すべきである。すなわち鉱物およびその混合物質を決定し、その鉱物を一定の(狭い範囲)鉱物群—化合物群(酸化物、水酸化物、雲母状物質、珪酸塩類、硫酸塩類、ニオブ酸塩等)に入れるべき

註2) ウラン鉱物には、母元素—ウラン以外に、その全誘導系列—イオニウム・ラジウム・ラドン等を含むとともに非放射性性メンバー、放射性崩壊の産物として相次いで逐次的に形成される鉛—(Pb^{206})—が存在する。時間の経過に伴つて化学的平衡を乱す、ある種の2次の過程の作用を受けなくなつたウラン鉱物では、いわゆる放射性平衡と呼ばれる動力学的平衡が放射性元素間に成立する。このような現象は、単位時間内に崩壊によつて生成するある種の放射性元素の原子数(増加)が、単位時間内に母物質から発生する同一元素の原子数(減少)に等しいことを意味している。このようにして放射性平衡が成立すると、放射性崩壊産物は、ウランの原子数の減少と鉛—ウランの放射性系列の最終メンバーの原子数の増加となる。放射平衡のもとでは、放射性系列の名メンバーとウランとの重量比は一定の値を示す。とくにラジウムとウランとの比は $3.4 \cdot 10^{-7}$ に等しい。平衡状態よりの偏倚の度合は一定の平衡状態に対応する値を100にとつて普通パーセントで表わされる。本章では、放射平衡状態のウラン鉱物とは、ラジウムとウランとの比が100%、すなわち $3.4 \cdot 10^{-7}$ に対応することを意味している。ラジウムとウランとの放射性平衡は、百万年を経て成立する。したがつて50万年では、平衡の度合は99.04%、10万年では59.76%である。

註3) 相互制禦法とは発光スペクトル分析法、レントゲン解析、質量分析を意味する。

である。

ある場合には、ウラン鉱物の外部指標(結晶像、集合体の形態、色調、硬度、光沢)およびその光学的性質と発光性質とを利用して決定できる場合がある。

ときには、鉱物種は、発光特質のみによりあるいは光学的特性と外部特性とを組合して確認できることがある。例えばウラン鉱物がたまねぎ色、エメラルド色、ときには灰緑色を呈する場合には、主要組成成分として銅を含むことを特に示すものである。この種鉱物は若干知られている。ウラン鉱物の同定は、光学的性質のみにより可能な場合がある。50%以上のウランを含む鉱物の黒色は、4価と6価のウランが共存するウラン酸化物の固有の色調である。

特にあまり研究されていない鉱物に対しては、あらゆる場合を通じて、微量化学分析か半微量化学分析を行い、どの鉱物群に鉱物を入れるべきかを検討するとともに、鉱物種の鑑定(同定)精度を確かめることが必要である。同定精度を検討することは、すでに述べたように、一連のウラン鉱物がきわめて近似した外観と光学的性質とをもっている点からみて重要である。それ以外に、既知鉱物にきわめて類似した新鉱物を発見するチャンスが充分ありうる。

まず第一に鉱物の陰イオンを決定すべきである。多くの場合陰イオンの決定には、綿密に選ばれた鉱物の定量(数ミリグラム)について行われる。まず鉱物試料を小試験皿(試験管の切り底)に入れ、鉱物が最初に水、次で稀釈塩酸(20%)、硝酸に逐次に溶解する状態をルッペによつて注意深く観察する。完全に溶解するのをまつて、塩酸、硝酸溶液を研究すると、ウラン化合物の特性に関してきわめて重要な結論が求められる。

1. 秤量試料が水に充分溶解するならば、その試料は、硫酸塩(jahannite)か、硫酸塩類、炭酸塩(schröckingeriteの変種)類か、複雑な炭酸塩類(swartzite, andersonite)である。
2. 硝酸または塩酸に溶解する際に、多数の起泡が発生するならば、炭酸塩類または硫酸塩類、炭酸塩類が存在することを示している。
3. 同一塩酸に溶解した際に、塩素の起泡が発生するとともに、塩化鉛の微白色結晶一溶液を加熱すると溶解する一が形成されるならば、単純なウランの水酸化物と複雑なウランの水酸化物とが共存することを物語っている。
4. 試料を塩酸で処理した際に、ゼリー状物質が残るならば、珪酸塩の存在が問題となつてくる。
5. 強酸が鉱物の溶解によつて暗赤色に着色する場合には、その鉱物がバナジウム酸に属していることを裏付けている。
6. 硝酸を作用させる際に低級の酸化窒素の起泡が発生するならば、鉱物はある種の水酸化物類かまたは4価ウランに富む酸化物類に入れられる。
7. 最後に定量の硝酸で処理した際に、硝酸溶液を加熱しても、鉱物が溶解しないかあるいは部分的に溶解する場合には、チタン酸塩類、チタン、ニオブ酸塩類、チタン・タンタルニオブ酸塩類、ジルコン珪酸塩類およびウランを含むある種の炭酸物質の存在を明確に示すものである。

鉱物の塩酸溶液の研究は、次の様式によつて行われる。

1) 第一に決定すべき問題は、溶解鉱物が亜ヒ酸塩であるかを定めることにある。このために鉱物の塩酸溶液を入れた試験皿を、あらかじめ強硝酸銀溶液で湿められた濾紙片上に立てる。次でこの試験皿に金属亜鉛片を投入し、小漏斗で覆う。漏斗の末端は濾紙または綿を必ず詰めておく。紙が黒化すれば溶液中にヒ素の存在を示すものである。このような現象が起るのは次の原因によるものである。すなわち遊離亜鉛と(溶液中に存在する) $(AsO_4)^{3-}$ イオンをもつ塩酸溶液の水素との間に、相互作用が働くと生成される重い気体状、水素化ヒ素形態のヒ素が無色の硝酸銀を金属銀に還元するから、濾紙は黒色に着色するのである。

2) ヒ素が重い気体状水素化ヒ素の形態で完全に追い出されるか、またはヒ素が鉱物中に存在しないことが確認されてから、 $(PO_4)^{3-}$ イオンの決定を行う。ヒ素が除去されていることは、硝酸銀溶液で湿められた新しい濾紙片の黒化テストで確かめられる。こゝで、ヒ素が試料

皿から追い出されるのは、試料皿が栓(コルク)を詰めた上述の漏斗で覆われている条件の下でのみ可能であることを強調しておこう。

塩酸溶液中の $(\text{PO}_4)^{3-}$ を決定するためには、まず非反応金属亜鉛を抽出する。次に溶液を蒸発し、乾燥残分を硝酸に溶解させ、求められた溶液に硝酸で強酸性にされたモリブデン酸アンモニウム(水に可溶性)を数滴入れる。この場合直ちに沈澱が起るか、低温度で加熱すると結晶質の黄色沈澱物が生じるならば、 $(\text{PO}_4)^{3-}$ イオンが被検鉱物に存在することを示している。

3) 黄色沈澱物を濾液がなくなるまで濾過除去するか、あるいは濾過過程で沈澱物がなくなつたことが確認されてから、溶液中の $(\text{SO}_4)^{2-}$ イオンが決定される。まず決定するために、水に可溶性の塩化バリウムを溶液に添加する。この場合白色の結晶質沈澱物が生じるならば、 $(\text{SO}_4)^{2-}$ イオンが鉱物中に存在することを示すものである。

上述の実験で、プラスの結果が得られない場合は次の原因によるものである。すなわち(1) 実験作業が不十分に行われたか、(2) 鉱物を構成する化学元素の組合せおよびその量的比が不都合(unfavorable)か、(3) 研究対象の鉱物が上述型と異なるウラン化合型(例えば、ハロゲン化物、モリブデン酸塩等)からなる場合である。したがって鉱物実験を繰り返すとともに、他の実験法でチェックすべきである。

陽イオンの決定は、微化学反応を利用するか、あるいはスペクトル解析によれば可能である。そのほかに、こゝでたまねぎ色、エメラルド、緑色、ときには灰緑色を呈するウラン鉱物には、銅が共存していることを想起すべきである。淡青緑色、灰緑色の鉱物は、4価のウラン鉱物に認められる。

ウラン鉱物の決定についてはさらに次の点を強調しておこう。実験にあたっては、新鉱物が発見される可能性のあることを常に念頭においておくべきである。これは、(1) 一連のウラン鉱物の性質と化学的組成が可変性(rarible)であるために、正確に確認されないこと、(2) ウラン鉱物の行われる反応が、一方ではウランと、他方では鉄・マンガン・モリブデン・チタン・バナジウム・水素・硫化水素等との間で行われる酸化還元反応を妨害するからである。

鉱物学徒には次のような課題がしばしば課せられる。すなわちこのような課題は、コロイド系(粘土・石炭・泥質形態の炭酸塩質岩石)で代表される天然の生成物中に含まれる金属の結合形態とその分布の特性および物質組成の研究である。この種の生成物は、種々の変成過程(沈積変質作用、広域変成作用、接触変成作用、熱水変質作用等)で著しく変質するとともに、様々な型で擾乱作用を蒙つて破碎されている。したがってこのような場合には、鉱物学的研究の対象は、微分散質粒子となり、その大きさは、分子および原子の大きさに近くなっている。

このような生成物の研究に対しては、特殊の方法が必要である。特殊解析法中のある種の研究方法(X線写真法、マイクロ放射線写真法、電子顕微鏡法、超遠心器法、電気透析法等)はすでに用いられているが、他の特殊解析法は研究段階にある。後者には、とくに様々な溶媒(有機酸、鉱酸と有機酸、アルカリ等)の組合せ方法である。この方法は、溶媒で処理した後で、熔融発光解析法が微量定量方法かを行つて、留分、濾液、沈澱物等に含まれているウランのバランスを求めめる方法である。

ウラン鉱物と化合物とを研究する場合には、その生成条件の解明に留意することがなによりも必要である。生成条件が解明された場合のみ、発見されたウラン鉱床の探鉱的意義が正しく評価できるからである。二次ウラン鉱物は、實際上、酸化帯の種々の部分における生成条件と安定度とに対応して分布している。したがってこの種の鉱物類により、あるいはその中の数種の鉱物—あらゆる場合を通じていえる—によつて、鉱物の発見箇所から初成鉱石までの距離をほぼ推定できる。

次に実例をあげておこう。1 ウラン硫酸塩—zippelite—は、pitchblend 類(sinter 状に存在するもの)かあるいは粉状黒色ウラン上に直接生成されているが、他のウラン硫酸塩—uranopilite—はこの種鉱物の賦存範囲外に生成される。鉄のウラノリン酸塩—bassetite—は、膠結帯(Cementation zone)の酸化部分に存在する破碎瀝青ウラン鉱の近くに生成されるが、カル

シウムのウランリン酸塩—リン灰ウラン石は、膠結帯を著しく離れた Iron cap 帯に主として存在する。燐灰ウランのこのような(空間内における)配列状態は、地下水の循環通路と関連性をもっている。含ウラン玉滴石は、酸化帯の地表近い部分に生成され、初成ウラン鉱物の存在位置から著しく離れた箇所分布している。したがって玉滴石が発見されると、ウランで汚染された (contaminated) 地域が推定できる。このような発見は、しばしば地表面ではまったく認められないウラン鉱脈の潜頭を発見する端緒となつている。

次に初成鉱物類から閃ウラン鉱をとりあげて述べよう。閃ウラン鉱の巨晶はペグマタイト鉱脈中にまれに会い、この種鉱脈中に不規則に分布している。したがってペグマタイト鉱脈中で閃ウラン鉱の巨晶が発見されても、閃ウラン鉱石からなる稼行価値ある鉱床として評価できない(現代の要請条件による場合)。

このような簡単な記載では、天然で出会うウランの多様な賦存状態も、また鉱物学的研究で確かに出会う可能性のある多様な現象も、把持できない。迅速、正確、かつ低コストでウラン鉱物を決定することは、ある程度創造である。すなわち(ウラン)鉱物物質の新しい研究方法を作り上げ、古い研究法を完成するとともにこの種の研究にあつては(ウラン)物質に関する一層深く、かつ完全な知識の導入を計つてこそ始めて迅速、正確、かつ低コストの解析方法を生み出すことができるのである。

ウラン鉱物の一般的特徴

既知の天然ウラン化合物の化学的組成にみられる特徴的特性としては、(1) 酸素が常に存在すること、(2) 硫化化合物とハロゲン化合物^{註4)}を欠くこと、(3) 窒素(硝酸塩類)、タングステン(ウオルフラム酸塩類)、クロム(クロム酸塩類)、ゲルマニウム(ゲルマニウム酸塩類—錫(スズ酸塩類)、セレン(セレン酸塩類)、テルル(テルル酸塩類)、白金族との化合物が存在しないことである。native 状態のウランは知られていない。

ウラン鉱物に多くみられる特徴的特性は、ウラン組成中に水または水酸基がほとんど不変的に存在することである。天然に産するウラン化合物が生成される場合に、ウランはその組成中に6価形態か、あるいは4価形態かで含まれているかあるいは他の形態のものと共に存在している。

6価のウランで形成されている鉱物では、ウランは単純な錯陽イオン(UO_2^{2+})の形態で主として存在するが、ときには錯陰イオン($U_2O_7^{2-}$ 等)の形態のものにも出会う。多くの場合、ウランは、他種の陰イオン(CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , AsO_4^{3-} 等)と複雑な錯塩を生成することが考えられる。

天然の条件では、4価のウランのみを含み、6価のウランを全く含まないような鉱物類は、ほとんどみられない。このような状態は次のように解釈されている。ウランの放射性崩壊が起ると、ウランと結合していた酸素が遊離され、遊離酸素の一部—完全には行われないが—は、4価のウランを6価のウランに酸化するのに消費される。したがって地質学的にきわめて新しい時代に生成されたウラン鉱物〔新鮮沈澱物(freshly precipitation)〕には、6価のウランを全然含んでいない。ウラン鉱物には、時間の経過とともに、ウランの総含量の進行性減少(progressive decrease)と6価ウランの含量の相対的増加とが起る。このような現象は、ウラン鉱物の化学的分析の際にそれぞれの含量の形態でつねに明らかにされている。

さらに考慮に入れておくべき現象は、放射性崩壊が様々な化学元素とその同位元素との混和によつて鉱物の化学的組成を多様化するとともに、鉱物の状態変化を誘導することである。4価のウラン鉱物では、この種のウランが主要な役割を演ずる(陽イオン)。鉱物中における4価と6価とのウランの初期の量的相関関係—生成時にはウランは両原子価の形態で鉱物組成中に含まれる—は多様である。この相関関係は、時間の経過に伴ない放射性崩壊(上述のように)によつて6価ウランに有利(増加)に変わつてゆく。様々な原子価のウランで構成されている鉱物

註4) ハロゲン化合物、とくに非素はある種のウラン鉱物中に混合物(admixture)としてのみ知られている。

の構造は以下で述べる(ウラン酸化物)。

ウラン鉱物は、鉱物組成に含まれているウランの量(含量)とその役割によつて固有のウラン鉱物類と含ウラン鉱物類とに区別できる。

含ウラン鉱物は、さらに低品位ウラン鉱と変(含)量ウラン鉱とに区別される。変(含)量ウラン鉱は、ウランが固溶体形態か類質同像形態かあるいは本来のウラン化合物のきわめて微細な機械的混和物か、または収着状態かいずれかの形態で存在するために生じる。

時間断面—放射性崩壊—からみてもまた外界条件の影響下においても、ウランが鉱物に入り込む形態およびその形態の量的相互関係が多様性と可変性を示すから、ウラン鉱物を合理的に体系づけることは困難である。一般には、「ウラン鉱物は化学的組成によつて分類されている。各鉱物種は、陰イオン、例えば、硫酸塩類、炭酸塩類、珪酸塩類等に分けられている。各鉱物種内の鉱物の区分は様々な指標によつて行われている。このような分類様式は、確かに最も簡潔な分類様式である。

しかし(1)ウラン鉱物の成因に本質的な相違が存在すること、(2)様々な原子価のウラン鉱物の実際上における利用率が異なること、(3)様々な原子価のウランの化学と地球化学とが根本的に異なっていることからみて、実際的目的のためには、ウラン鉱物をその中に含まれているウランの原子価によつて3種に区分するのが便利である。

1. 4価ウランから主としてなる鉱物類：著しい例外を除いて、現在この種鉱物類は、ウランの採取にとつては、僅かな価値をもっている。この種の鉱物類は、トリウム・チタン・ハフニウム・ジルコン・タンタル・ニオブ・稀土類のソースである。

2. 4価と6価のウランが共存する鉱物類：この種の鉱物類は、高品位ウラン鉱石の主要成分である。

3. 6価ウランからなる鉱物類：この種の鉱物類は、ウランの工業的抽出にしばしば利用されている。この種鉱物類の発見は、初成の非酸化ウラン鉱石の探鉱を容易にする。

ウラン鉱物のこのような区分は、鉱物の一連の諸性質(多くの物理的性質、分離形態、破碎特性等)にみられる主要差にきわめてよく合致している。しかしこのような区分による場合には、とくに最初の2鉱物種に関しては、条件要素を含んでいる。4価ウランを含むあらゆる鉱物に対してそのなかに含まれている6価ウランの存在原因を突きとめることができない。さらにウランは、鉱物の初成構造を乱す2次過程の結果として特異な自動酸化(放射性崩壊)が行われて生成されたものか、あるいは天水成富化作用性酸化か、内成酸化(endogenetic酸化)かいずれかの影響の下で、まずある量が生成され、最後に初成鉱物中にこの型で入り込んだものかどうか明らかでない。そのほかにある鉱物種は、化学的組成によれば、1鉱物種のメンバーであるが、性質系からみれば、他鉱物種に入れるのが妥当な場合がある。完全にまたは限定的に同質異像で特色付けられる鉱物系列を、それぞれの鉱物種に入れる場合には、ある種の条件をもうけることが自然に必要となってくる。

このようにウラン鉱物を体系づける際に、前提におかれる若干の条件は、様々な鉱物群の現代の実際の意味によく合致し、成因的特性を反映していることが認められる。鉱物種のおもなものは、ウランの濃縮のペグマタイト階梯、気成階梯、熱水階梯を経るマグマの晶出から始まって、(酸化帯における)初成鉱物の酸化に終るウランの生成過程—主要な傾向はウランの分散である—と賦存状態とを左右する地質学的条件に対応して分布している。鉱物生成の主要過程(天然の)系列ではIおよびIII種の鉱物は、一般に端位置を占め、II種の鉱物は中間の位置にある(第9図参照)。

第1種鉱物類は、ウランを含む鉱物類としては、主要な鉱物にみなすことができるであろう。ウランの含量は、一般に高くなく、痕跡から数%にわたり、鉱物によつては、15~30%までの若干の含量差がある。個々の場合(ある種のチタン酸塩類、珪酸塩類、水酸化物、リン酸塩類)には、ウランの含量が40~45%以上になることがある。この種の鉱物は、固有ウラン鉱に入れることができるであろう。この種鉱物の大多数は、化学的組成がきわめて複雑で、かつ

変化過程	内 成 成 因				地上作用成因		内成成因
	マグマ性	ペグマタイト性	気成性	熱水性	膠沈積性	酸化帯	熱水性
U比の変化過程の主要傾向	濃 縮				分 散		
鉱物の相対量	Th Th Th Th				Th 分散		Th
I族 (U ⁴⁺ Th)	Th Th Th Th				膠結帯		Th
II族 (U ⁴⁺ U ⁶⁺ Th)	Th Th Th Th				沈 積		Th
III族 (UO ₂ ²⁺)							Th

第9図 成因による種々鉱物種の量的分布を示す

不定で特色づけられるとともに、広範囲にわたって類質同像現象（化学元素の全類質同像団 (group) が同時に存在する）が認められる。さらに metamict 状態もしばしばみられる。この種に属するある種鉱物は、様々な状態で存在する固溶体で代表されそうである。

第1種鉱物の化学的組成が複雑なのは、生成時における化学的組成の複雑さによるばかりでなく、多くの場合様々な過程—内成過程を含む—の影響の下で鉱物が二次的に蒙る変化によるものである。水は主として水酸化物の形態で鉱物中に含まれている。水分子の存在は、2次過程と関連性のある変化を受ける鉱物にとって大きな意味をもっている。大多数の鉱物の化学式は、しばしば確認されていないが、配向(水分)特性を帯びている。

第1種の固有ウラン鉱物は陽イオンと陰イオンとが鉱物組成にはいつている状態によつて次のように区分される。ウラン珪酸塩類、ウラン・トリウム珪酸塩類、ウラン・チタン・鉄およびトリウムの複雑な酸化物類(ウラン・鉄・トリウムチタン酸塩)、ウラン磷酸塩類・含ウラン鉱物は次のように区分されている。チタン・タンタル・ニオブ・稀土およびトリウムの複雑な酸化物類、稀土・トリウムチタン酸塩・チタン・タンタル・ニオブ、および稀土の複雑な酸化物類、チタン・タンタルニオブ酸塩類・ニオブタンタル酸塩類、ジルコン珪酸塩類、稀土珪酸塩類、稀土リン酸塩類。ウラン鉱物(固有)ならびに含ウラン鉱物にとつて特徴的な現象は、ほとんど不変的にトリウムを含んでいることである。しかしウラン鉱物にあつては、ウランとトリウムとの量的関係は、ウラン増加とトリウムの増加(純粹のトリウム変種となつているものがある)の側へ変わる。しかし(含)ウラン鉱物にあつては、規則通りに、トリウムの含量はウランより高い。實際上第1種の鉱物にはトリウムが常に存在するから、ウラントリウム鉱物と名付けられる完全な権利がある。ウランはこの種鉱物の組成に主として U⁴⁺ 陽イオンの形態で含まれていることが推定される。

第1種鉱物のそれぞれの組成中には、次の補イオンが含まれていることが指摘されている。補イオンとしては、弗素・水酸化基・ホウ素・燐・炭素・鉄・ワナジウム・クロム、すなわち補陽イオンとしては、ナトリウム・カリ・カルシウム・スカンジウム・マンガン・ストロンチウム・バリウム・鉛・錫である。

この種のウラン鉱物類は主としてペグマタイト鉱脈を形成するが、そのなかのある種は、英雲岩中にだけ出会う。さらにある種のもの、アルカリ火成岩と関連性をもつ熱水鉱脈中に分布するか、あるいは火成岩、結晶片岩等に共生鉱物として出現する。ウランは、様々な大きさ(きわめて微細なものからまれには横断面数デシメートルに達するものがある)の鉱染状物質 (impregnation) の形態で主として産する。結晶形はときには、正八面体状卓状をなすが、立方体または錐形はまれである。ときにはウランは、非晶質、離状構造の不規則な輪廓を示す単体

分離物質を形成する。この種の鉱物の大部分は、酸に対して難溶性か不溶性かであるから、地表帯(酸化帯)で発生する機械的、化学的作用の要因に対して安定である。したがってこの種ウラン鉱物は砂および砂岩中でしばしば出会う。ある種鉱物は、稼行に耐える砂鉱床を形成していることがある(モナザイト等)。多数の第1種鉱物は次のような特性をもっている。比重(4~6)が高く、硬度(5~6)差が小さく、タール状、脂肪状、亜金属光沢をもち、暗色(黒色、褐黒色、暗褐色、暗緑色、ときには赤色)の色調を示し、紫外線の直射下では発光しない。特徴的な劈開は認められない。

上述の諸特性と著しく異なつた性質をもつ(第1種)鉱物類は、4価ウランだけを陽イオンの形態で含む鉱物種である。この種の鉱物種には、含水リン酸塩(lermontovite)および4価ウランの水酸化物(jachymovite)が属している。この種鉱物種は、硬度が低く、化学的に不安定な性質をもっている。したがってこの種鉱物は膠結帯に分布している。そのほかにlermontoviteは、コロイド形態、葡萄状(botryoidal)集合体を形成し、灰緑色を呈している(第10図参照)。

鉱床は、モナザイトを除いて若干の鉱物類(betafite wiikite davidite およびおそらくはbrannirite mendeleevite, pyrochore)から形成されているが、量的には限られている。第1種鉱物の大多数は、稼行価値をもっていない。

第2種鉱物類は、中間の位置を占め、第1級の鉱物類のように、しばしばトリウムをそれぞれ含んでいる(ウラントリウム鉱物類)。しかし多くのものは、事実上トリウムを含まないのが特色となつている(固有ウラン鉱物類)。

トリウムが濃縮している変種は、ベグマタイト鉱脈および気成鉱体中で出会う。トリウムを少量含むか、あるいはまったく含まない鉱物類は、しばしばベグマタイト中に生成されているが、主として熱水性鉱脈、堆積岩、熱水鉱床の膠結帯に分布している。

第2種鉱物類は主として次のような特性をもっている。色調—煤黒色・黒色・暗灰色・まれには暗褐色、硬度1から5~6、比重4~9、介殻状御口、タール状または不透明光沢、特徴的な劈開は認められない。紫外線200~400 m μ では発光しない。この種鉱物類は、立方体、正八面体、斜方12面体の単結晶形、密集塊をなして産するが、sinter状、コロイド状、緻密な粉状集合体のものにも出会う。酸にはきわめて可溶性であつて、そのうえ硝酸では低級硝酸化窒素の起泡を惹起して溶解する。地表近い地帯では、機械的、化学的要因に対して不安定である。したがって酸化帯の上部および砂鉱床でこの種鉱物類に出会うことはまれである。

この種鉱物類の酸化帯、初成(分布)地帯では、鉱物類が普通破碎されているので、6価ウランを含む様々な2次鉱物類が生成されている。地表近くの酸化作用に対して一層安定な変種は、トリウムが濃縮している鉱物類である。固有ウラン鉱物類は、酸化作用から保護(例えば珪化変種)されているか、または酸化過程の活性度が弱い場合(例えば寒空風化(frost erosion)の条件)には、砂鉱床中で出会う。

第2種鉱物類中には、固有ウラン鉱物、酸化物、珪酸塩類、モリブデン酸塩が知られている。この種には、実際上含ウラン層で代表されるいわゆるウランの有機化合物が属するようである。この種の鉱物類では、ウランは收着状態で存在するか、金属有機錯塩類を生成するか、あるいは主として酸化物の機械的混合形態をなして出現する。ある種のウラン有機化合物は6価形態のみをなして存在する。

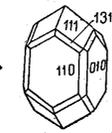
含ウラン鉱物類は、膠結帯で生成される銅の硫化物および鉄、マンガン水酸化物類であつて、ウランの過酸化化合物、下級酸化物の微細な機械的混和物を伴うものが属する。

この種の鉱物類の化学的組成は、かなり複雑で、かつ可変性である。珪酸塩中で最も普通にみられる成分は、SiO₂以外にUO₂、UO₃、ThO₂、PbO、TR、H₂Oである。しかし諸成分の量的相関関係は著しい変動を示す。例えばすでに述べたように、きわめて多量のトリウムと少量のウランを含む変種(<20%)と、高含量のウランとトリウムを事実においてほとんど含まない変種(0から11.5%)とが知られている。含トリウム変種では、トリウム含量の減少に従つ

I. 4価鉱物類

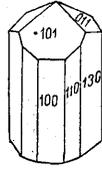
ウラン鉱物類

珪酸塩類
ウラン(U⁴⁺)トリウム



a

水酸化物
ウラン(U⁴⁺)



b

リン酸塩類
ウラン(U⁴⁺)



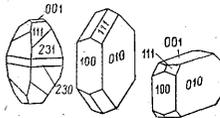
c

含ウラン鉱物類

複雑なタンタルニオブ, チタン酸塩



d

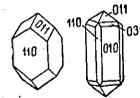


e



f

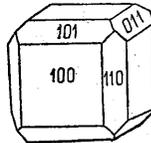
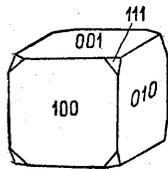
稀土リン酸塩類



g

II. 4価+6価ウラン鉱物類

閃ウラン鉱

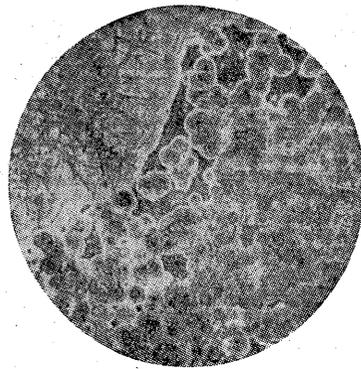


h

ウラン価



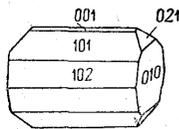
i



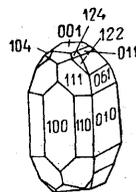
j

III. 6価ウラン鉱物類

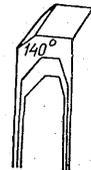
ウラン水酸化物



k



l



m

るウランの存在形態(錯陽イオンが錯陰イオン)は正確に知られていない。ある人々は、多くの鉱物中では U^{6+} が対応陰イオンとともに錯陰イオンを形成すると考えている。

この種鉱物における他種の陽イオンとしては、 H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} , $Bi_2O(OH)_2^{2+}$ が確認されている。混和状態で多量にみられる陽イオンは、 Be^{2+} , Sr^{2+} , Ni^{2+} である。6価ウランと Li^+ , NH_4^+ , Co^{3+} , Zn^{2+} , Ag^+ , Be^{2+} , Sr^{2+} , Ni^{2+} との天然の化合物は、発見される可能性が充分ある。事実上の無水鉱物としては、あまり研究されていないウラニール炭酸塩類—retzerfordin—の1種のみがあげられる。

第3種の鉱物類には規則通りにすべてトリウムを含まない。トリウムは、普通ある種の初成ウラントリウム鉱物類の仮置換によつて生成された複雑な組成の2次生成物中にだけみられる。

ウラン鉱物は、組成中に入る陰イオンに対応して2, 3種に分類されている。ウラン水酸化物とウラン酸塩類, ウラニール珪酸塩類, ウラニール炭酸塩類, ウラニール硫酸塩類, ウラニール硫酸塩, 炭酸塩類, ウラニールヒ酸塩類, ウラニールリン酸塩類, ウラニールバナジン酸塩類, ウラニールモリブデン酸塩類である。

第3種の鉱物種のおもなものは、鮮明な淡色が特色となつている。黄色および種々の色合を示し、比較的まれにはオレンジ色および赤色(鉛および部分的にビスマスを含む鉱物類)を呈し、ほとんどみられないが、緑色(銅を含む鉱物種)を呈する場合がある。この種鉱物類は、すべて鉱酸に可溶性であるが、ウランイオンが鉱酸で完全に分解して溶液に移動することがある。ある種の鉱物種(硫酸塩系列)は水にも溶解する。

最初の2群および部分的には第3群の最大特徴は、sinter 状ウラン, uraninite および4価ウランを含む、若干の他種初成鉱物類の仮置換によつて生成された微晶質、あるいは潜晶質の(多種金属)多相集合体をなして出現することである。

まれに会合するこの種鉱物の単結晶は、一般に小さく(数ミリメートルまで)、卓状、柱状、錐状をなすがまれには葉片状を示すことがある。最初の第2群の鉱物類は、脂肪状光沢、タール状光沢、金剛光沢、まれには玻璃状光沢をもち、硬度3~5、比重5~7である。紫外線(200~400 $m\mu$)照射では、若干の鉱物類は発光するが、一般的には発光度が弱い。この種鉱物類は sinter 状ウラン, uranite および他種鉱物類の内因的(地質)作用性および地表作用性破壊によつて生成される。

第3種鉱物種の残余の鉱物群は、様々な割れ目および空所の内壁にそう酸化帯に、主として生成され、ときには、母岩(周辺岩石)の脆弱な部分に“鉱染状”に分布している。

この種の鉱物種の特徴は、皮殻, sinter, 皮膜, 微結晶構造または微細結晶構造の小 druse, 葉片状, 鱗片状, 針状, block 状, 毛状の晶質集合で産出することである。単結晶の大きさは一般に数ミリメートルであるが、まれには1 cm(横断面)に達するものがある。鉱物の光沢は、玻璃状、まれには真珠光沢を示し、硬度2~3である。比重は2~4であるが、鉛、ビスマスおよび重い陽イオンを含む鉱物では、5~5.5に達することがある。多くのこの種鉱物は、充分に発達した劈開面をもち、紫外線を照射(200~400 $m\mu$)すると美しい螢光を発する。

この種のウラン鉱物および含ウラン鉱物の発見は、ウラン鉱石の(探鉱上の)インジケータとなる。ときにはこの種のウラン鉱物(ある種のリン酸塩類, バナジン酸塩類, 水酸化物および珪酸塩類)は、稼行対象になる鉱石を形成することがある。さらにこの種の鉱物類は、多くの場合、深所に初成鉱物が存在する直接のインジケータになつている。

ウラン鉱物, 含ウラン鉱物, ウラントリウム鉱物および含ラジウム鉱物は、第4表にかゝげられている。鉱物種は上述のように原子価によつて分類されている。

ここにあげた鉱物種の列挙の順位は、おもな被統合鉱物種の生成条件の一般的な特性に対応している。第I種の鉱物種は、主として初成のマグマ成鉱物類、およびベグマタイト鉱物類であつて、熱水性鉱物類はほとんどみられない。第2種は、初成熱鉱物類であつて、まれにはベグマタイト鉱物類を含むが、部分的には2次鉱物も存在する。第3種は主として内因的地質作

第4表 放射性鉱物(ウラン・トリウム・ラジウム)

I 4 価ウランを主要成分とする鉱物類(主としてトリウムを含むウラン鉱物類)

A. ウラン (U⁴⁺) 鉱物類

1. ウラン (U⁴⁺)・チタン・鉄の複雑な酸化物(ウラン・鉄・トリウムのチタン酸塩類)

Lodochnikite Brannerite* Davidite

2. ウラン (U⁴⁺) とトリウム珪酸塩類, ウラン (U⁴⁺) 珪酸塩類
(トロン珪酸塩類とウラン珪酸塩類)

Thorite Uranotorite Enalite
Mackintoshite Ferriuranothorite Hydrothorite
Maitlandite Ferrithorite Nicolayite
Coffinite Thorogumite Pilbarite

3. ウラン水酸化物 (U⁴⁺)

Jantinite

4. ウラン・リン酸塩類 (U⁴⁺)

Lermontorite

B. 含ウラン (U⁴⁺) 鉱物類

1. チタン・希土・トリウムの複雑な酸化物(希土・トリウムのチタン酸塩類)

Delorenzite Ittrokrazite
Ufertite Smirnovite

2. チタン・タンタル・ニオブ・希土の複雑な酸化物(タンタルニオブ酸塩類, ニオブタンタル酸塩類, チタンタンタルニオブ酸塩類)

正方晶系

Fergusonite

斜方晶系:

Euxenite (Lindokite) Viikite * Plumoloniobite
Polycrase Proirite Toddite Obruchevite
(Eshynite) Hielmite Ishikawaite
Blomstrandine Samarskite (カルシウム, Samarskite) Ampangabeite
Chlopinite Phytinofite Ittrotantalite

立方体:

Pyrochlor-microlite Hatchettolite Betafite (Samiresite bro-
(Jalmaite) Mendelewinite (Elsvortite) mstrandite)

3. ジルコン珪酸塩類(ジルコン珪酸塩類)

Naegite Zirtolite Albite
Yamaguchilite Malakon

4. チタン珪酸塩類(チタン珪酸塩類)

Rinkolite Lovchorrite Sphen

5. 希土珪酸塩類

Orthite (Allanite) Talenite

6. 希土リン酸塩類

Xenotime Monazite

II 4 価 + 6 価ウランを主成分とする鉱物類(ウラン鉱物類, トリウムを含むウラン鉱物類, ウランを含むトリウム鉱物類)

A. ウラン鉱物類 (U⁴⁺+U⁶⁺)

1. ウラン (U⁴⁺+U⁶⁺) とトリウムとの酸化物, ウラン酸化物 (U⁴⁺+U⁶⁺)

Thorianite 系列:

Thorianite Uranotorianite Aldanite

Uraninite 系列:

Bröggerite Nivenite
Kleveite Uraninite*

Sinter 状ウラン*

残留黒色粉状ウラン*

再成粉状黒色ウラン*

2. ウラン珪酸塩類 ($U^{4+}+U^{6+}$)

Nenadkewite*

3. モリブデン酸塩類 ($U^{4+}+U^{6+}$)

Uranomolybdate Moluranite

B. 含ウラン鉱物類 ($U^{4+}+U^{6+}$)

1. 有機化合物

Tucholite Carburan

2. 銅硫化物

ウラン ($U^{4+}+U^{6+}$) Chalcosine

3. 鉄・マンガン水酸化物

ウラン ($U^{4+}+U^{6+}$) 褐鉄鉱

ウラン ($U^{4+}+U^{6+}$) 硬マンガン鉱

III 6価ウラン鉱物類(主としてトリウムを含まないウラン鉱物類)

A. ウラン ($UO_2^{2+}+UO_3^{2+}$) 鉱物類

1. ウラン (UO_2^{2+}) の水酸化物類, Uranate ($U_2O_7^{2-}$)

単純水産化物:

Pb-Beckerelite 鉱物X Parascapite

Beckerelite Epijantinite Scapite

Billietite

複雑な水産化物類と Uranite:

Fourmarierite 鉱物Y Uranospherite

Vandendrischeite Curite Vandendrischeite

Richetite Masuyite Clarkeite

2. ウラン珪酸塩類 (UO_2^{2+})

標準珪酸塩類:

Sklodowskite B-Uranotil* Usigite

Uranophan Cuprosklodovskite Orlite*

主珪酸塩類と正珪酸塩類:

Soddyite Kazolite* Gummitte*

3. ウランの硫酸塩類 (UO_2^{2+})

単純硫酸塩類:

Zippeite B-Uranopilite

Uraconite Uranopilite

複雑な硫酸塩類:

Medjidite Uranochalcite

Johannite Voglianite

4. ウラン硫酸塩-炭酸塩類 (UO_2^{2+})

Schrekingerite

5. ウラン炭酸塩類 (UO_2^{2+})

単純炭酸塩類:

Rutherfordin Studtite Uranotalite

Sharpite Diderichite Plumbouranotalite

複雑な炭酸塩類:

Phoglite Rabbittite

Andersonite Beyllite

Swartzite

6. ウランヒ酸塩類 (UO_2^{2+})

N-Uranospinite Meta Zeunerite Walpurgite

Novacekite Zeunerite 混合雲母状ウラン

Uranospinite Troegerite

Kalerite

7. ウランリン酸塩類 (UO_2^{2+})

N-Autunite Wassetite Dewindtite

Na-Autunite Metatorbernite Dumontite

資 料

- | | | | |
|----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | Si Saleeite | Torbernite | Parsonsite |
| | Autunite | Uranocircite | Sabugalite |
| | Uranospatite | Pyrzewalskite | Phosphuranilite |
| | Britzceite | Renardite | |
| 8. | ウランバナジン酸塩類 (UO_2^{2+}) | | |
| | Carnotite | Meta Tyuyamunite | Uvanite |
| | Tyuyamunite | Ferghanite | Rauvite |
| | | | Sengierite |
| 9. | ウランモリブテン酸塩類 (UO_2^{2+}) | | |
| | Iriginite | | |
| | | B. 含ウラン (UO_2^{2+}) 鉱物類 | |
| 1. | 鉄・珪素・水酸化物類 | | |
| | UO_2^{2+} 褐鉄鉱 | UO_2^{2+} 玉滴石 | |
| | UO_2^{2+} Opal | UO_2^{2+} Chalcidon | |
| 2. | カルシウム炭酸塩類 | | |
| | UO_2^{2+} 方解石 | | |
| 3. | Hydroalumosilicate | | |
| | UO_2^{2+} Palgorskite | | |
| | UO_2^{2+} Allophan | | |
| IV | 含ラジウム鉱物類 | | |
| 1. | 水酸化物類 | | |
| | 褐鉄鉱 | | |
| 2. | 炭酸塩類 | | |
| | Radiocalcite | Cerussite | |
| 3. | 硫酸塩類 | | |
| | 北投石 | | |
| 4. | モリブテン酸塩類 | | |
| | Wulfenite | | |
| 5. | リン酸塩類 | | |
| | Pyromorphite | Biruza | |
| 6. | ハロゲン化物 | | |
| | 含ラジオ螢石 | | |
| 7. | 珪酸塩類 | | |
| | Chrysocolla | | |

* 練行価値をもつウラン鉱物類の区分

用および地表作用によつて生成された2次鉱物類で代表される。

各鉱物種はさらに亜種—ウラン鉱物 (註5) と含ウラン鉱物 (註6) に分けられる。このような分類は、現在の実際の意味によくマッチしている。鉱物類の各亜種は、化学的化合物型によつて系統づけているが、化学的化合物は、鉱物種の列挙に用いたと同一原則、すなわち生成条件によつて配例されている。したがつてある種の鉱物群の生成条件とそれぞれの主要鉱物種の生成条件との間にみられる喰い違いが排除できる。2次地表作用による鉱物類は、その生成順位に大体対応して配例されている。

初成鉱物の上述の列挙順位は、ある程度、洗積輪廻におけるウランの挙動にも対応している。I種鉱物類および若干のII種鉱物類だけは、濃縮して砂鉱床を形成するがII種鉱物類は堆積物の洗積過程、洗積変質過程および部分的には変成作用過程において生成される。

結論として以下のことを指摘しておこう。例外的には初成ウラントリウム鉱物を媒介として生成される鉱物類は、初成鉱物類と共存していることである。この現象は便利である。すなわちこのような2次鉱物類は本質的にみて実際の興味の対象とならないが、初成鉱物類とともにほとんどあらゆる場合を通じて出会する。そのほかに鉱物類の記載には、主要な性質のみをあげている。実際の意味をもたない第I種鉱物類は最も簡単に記載されている。銅の含ウラン

註5) この亜種には、ときには対応ウラン鉱物の類質同像の形態で出現する含ウラントリウム鉱物が含まれることがある。

註6) この亜種には多くの場合、現在練行価値をもつていないが、多量のウランを含む鉱物が入れている。

第5表 複雑なウラン (U⁴⁺)・チタン鉄酸化物

鉱物種	化学式晶系産出状態	色調と色調の特性	光沢	硬度 比重	透明度
Sodochnikite	2(U・Th)O ₂ ・3UO ₃ ・14TiO ₂ 晶系? Metamict	黒色・褐色・肉桂色を帯びた黒色	タール光沢	5~6 5.88	?
Brannerite	(U, Ca, Fe, Y, Th) ₃ Ti ₅ O ₁₅ 正方? 斜方? Metamict	帯褐色黄色断口面黒色	亜金属光沢からタール状光沢	4.5 4.50~5.43	半透明帯黒褐色の光を僅か透す
Davidite (U-Ilmenite)	(Fe, Ce, U) (Ti, Fe, V, Cr) ₃ (O, Oh) ₇ 3方 Metamict	黒色	亜金属光沢	5~6 4.7?	不透明

(U⁴⁺+U⁶⁺) 硫化物および鉄、マンガンの水酸化物類(II種)は、第III種の含ウラン U₂²⁺ 鉱物類とともにとりあげられている。

ウラン鉱物

(トリウムを含む主ウラン鉱物類)

A. ウラン (U⁴⁺) 鉱物類

1. ウラン(U⁴⁺)・チタン・鉄・トリウムの複雑な酸化物類(ウラン・鉄・トリウムのチタン酸塩類)

この鉱物群は、仮りに3鉱物種—lodo chnikite, brannerite, davidite (第5表) が入れられている。この種鉱物類は、充分に詳しく研究されていない。例えば一部の研究者は、davidite が独立の鉱物種を代表することに疑問をもっている。これらの研究者は、この鉱物中におけるウランの本質が明らかでない点からみて、この種鉱物を含ウランチタン鉄鉱とみなそうとしている。しかしウランが微細な機械的混和物の型でこの種鉱物中に存在することは、一般に認められている。

Lodochnikite は(結晶)面の発達が著しく不良な結晶質物質(結晶形は知られていない)の形態で小鉱脈をなして産出し、黄鉄鉱、赤鉄鉱、重晶石と共生する。鉱脈の生成は、アルカリ火成岩と関連性をもっている。この種は現在実際の価値をもっていない。

Davidite も、見掛上ナトリウム、アルカリマグマの誘導体—おそらくペグマタイト気成階梯—と関連性をもっている。davidite は、鉱脈中に結晶状態および粒状形態で出会し、黒雲母、金紅石、チタン鉄鉱、赤鉄鉱、石英等と共存している。ときには分散結晶(dispersed crystal)の形態をなして、主として柱石化作用を受けた地帯に発達する方解石レンズ中にみられる。davidite 鉱床はその規模が著しく大きく、ウランとチタンとが採掘されている。

brannerite は、主として鉱染状をなして花崗岩質ペグマタイト、曹長岩脈、アブライト脈中で出会する。ときには、砂・変成砂岩および古期変成礫岩中にも産出することがある。この場合には、きわめて微粒の形態で膠結帯中に分布し、硫化物類、uraninite thucholite と共存し、しばしば自然金を伴うことがある。

礫岩中に産する brannerite の相対的生成条件については、見解の相違がある。ある研究者は、熱水性と考えているが、他の研究者は、ウランによつて濃縮された堆積岩層が変成作用を受けて生成されたものと主張している。brannerite は、ウラン(チタン)資源として、この種鉱物に富む礫岩層から採取できるようである。

brannerite の結晶は柱状で、塩酸には溶けない。熱濃硫酸および硫酸とフッ化水素酸との混合溶液中では分解する。

2. トリウムとウラン (U⁴⁺) の珪酸塩類, ウラン (U⁴⁺) 珪酸塩類

(トロ珪酸塩類とウラン珪酸塩類)

(ウラン・鉄・トリウムのチタン酸塩類)

屈折率	含有量 (%)								
	UO ₂	UO ₃	ThO ₂	TiO ₂	CaO	ΣTR 酸化物	FeO	Fe ₂ O ₃	H ₂ O
>2.1	16.45	35.41	3.96	45.05	なし	痕 跡	?	0.25	0.04
≈2.3	10.30 以下	33.5	4.1	32~39	2.9	3.9	2.9	—	2.0
?	2.2	5~9.6	0.13	52~54	0.25~1.5	4.6 以下	16~17	13~18	1.2~1.5

この種鈳物類の成分は、複雑でかつ不定である。鈳物類の研究はほとんど行われていない状態であつて、一般には、様々な規模の鈳染状態でペグマタイト中に分布する。さらに本鈳物類は、出現頻度が劣るが、greisen 脈および熱水性鈳脈中にも産出する。後者の場合には、石英、重晶石、炭酸塩類、まれには螢石および硫化物と共存している。鈳物類は、砂および sinter 状ウラン (coffinite) に出会する堆積岩中でも知られている。

本鈳物類は、化学的組成からみれば、トリウム珪酸塩類 (ThSiO₄) の主類縁化合物である。したがつて化学的には、鈳物類は、Th(SiO₄)_{1-x}(OH)_{4x} から U(SiO₄)_{1-x}(OH)_{4x} にわたる連続化合物系列で代表され、化合物系列は、そのなかに含まれているトリウムが、カルシウム・鉛・鉄で同時置換され複雑化されている。鈳物類が破壊されている場合には、H₂O が出現し、4価ウランの部分酸化が完全酸化かによつて生成された6価ウランが存在するので、その組成はさらに複雑となる。

トリウムが鉄で置換される場合には、本質的に“鉄系”(uranothorite—ferriuranothorite—ferrithorite) からなる化合物系列 (Fe₂O₃ が痕跡から 14% にわたる) が形成される。

酸化カルシウムの含量は 6% 以下であるが、酸化鉛の含量は 8% である。pilbarite の場合には PbO は 17.26% に達する。

トリウムとウランとの珪酸塩の主特性は、第 6 表にあげられている。この表中には、特性と無関係に文献中に記載されている鈳物種がかまげられてある。上述鈳物群における鈳物種の合理的区分は、研究が充分でないのできわめて難しい。

最も新鮮な、かつ非変質鈳物類は、thorite, uranothorite, mackintoshite, maitlandite, coffinite と考えるべきである。残余の鈳物類は、様々な形態の分解産物であつて、その組成は複雑で、かつ不定である。

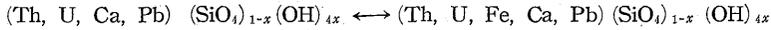
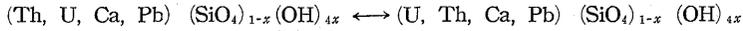
ウラン・トリウム珪酸塩類の特性は、集合体が散点状に分布していることである。鈳染状集合体は、正方状、柱状か双錐状の良結晶の集合体および潜晶質、ガラス質、および土状の析出物質で代表される。トリウム・ウラン珪酸塩類の非変質変種は、黒色が特色となつているが、変質産物は、帯褐色、帯褐、オレンジ色、オレンジ黄色、および淡黄色を呈している。

鈳物類の比重は 4~5.6 であつて、その光沢は、ガラス状光沢からタール状光沢にわたつている。

ウラン・トリウム珪酸塩類は、coffinite および thorite (トリウム鈳石) を除いては、現在実際の価値をもつていない。coffinite および thorite については、多量に濃縮し、地質物体 (geological body) 中に大規模に鈳染—幾分等分布状に一しているのが知られている。(このような現象は、とくに熱水鈳脈中でみられる。) さらにこの種の鈳物類は漂砂鈳床中にも存在している。coffinite は、sinter 状ウランの随伴鈳物として採取されている。

固有黒色ウラン鈳物とトリウム・ウラン珪酸塩類とは、正方—柱状晶形または玻璃質構造に

第6表 ウラン・トリウムの珪酸塩類, ウラン珪酸塩
一般式



変成産物

化学式		(Th,U,Ca,Pb) (SiO ₄) _{1-x} (OH) _{4x}	(SiO ₄) _{1-x} (OH) _{4x} ↔ (U,Th,Ca,Pb)	U (SiO ₄) _{1-x} (OH) _{4x}	
Th : U		≈70	3~2	≈0.75	≪0.5(?)
鉱物類		thorite	mackinto shite	maitlandite	coffinite
含有量 (%)	UO ₂	?	20~26	≈35.5	46.37~68.29
	UO ₃	1.13	?	?	
	ThO ₂	71.6	51~58	25~26	
	PbO	0.88	3.7	7.9~6	
	CaO	1.6	1.6	1.2~6	
	Fe ₂ O ₃ (FeO)	0.31	(1.1)	(0.2~1.6)	
	ΣTR	?	>2	0.35	
	SiO ₂	17.5	13.9	14.6~16.2	5.20~8.50
	H ₂ O	6.14	5.2~5.6	≈13	
結晶形		正方晶系		潜晶質	正方
結晶状態		柱状両錐形		?	微結晶質
集合体		ヘグマタイト鉱脈に鉱染する			緻密な土状
劈開		不完全 (110)	?	?	?
硬度		4.5~5	5.6	4	?
比重		4.4~4.8	5.45	4.31~4.45	do 5.1
色調		黒色			
光沢		ハリ光沢,			
透明度		不			
屈折率		1.80	1.77	?	?
HCl に対する溶解性			しば溶解	flake	
破砕産物			torogummite hydrothorite に転移	nikolarite pilbarite に転移	?

よって区別されている。

帯褐色, オレンジ黄色および黄色変種は, 類似色調の固有ウラン鉱物とトリウムの高含量とによって区別されている。トリウムの高含量は, 放射能測定結果(著しい高い値を示す)と熔融球, 発光分析(低い値)値との著しい不一致によって決定される。そのほかには, 両者は, 晶形または仮像および塩酸に対する難溶性によっても識別される。

3. ウランの水酸化物類 (U⁴⁺)

この種鉱物類としては, 1種 janthinite 2UO₂ · 7H₂O が知られている。janthinite は, 帯すみれ色, すみれ色, 黒色を呈し, 晶系は, 斜方晶系に属し, 微細な展伸状, 針状, 結晶をなして産出する。本鉱物は, 他種ウラン鉱物類, とくに sinter 状ウランの仮像を形成している。

(トロン珪酸塩類, ウラン珪酸塩類)

Thorite \leftrightarrow (Th, U, Fe, Ca, Pb) (SiO ₂) _{1-x} (OH) _{4x}			mackintoshite の変成産物			maitlandite の変成物	
≈ 3	> 3	≥ 3 (?)	≈ 2	≈ 2	≈ 20	≈ 0.7	≈ 1.5
uruns thorite	ferri urano thorite	ferri thorite	torogummit	enalite	hydrothorite	nikolaite	pilbarite
7.7~10 9.5	} 9.0	} 3.0	22.5~25	22.5	≈ 3.0	37.33	≈ 27.0
46~52			?	?			
1~1.7	0.69		2.16	≈ 2.0	1.25	7.8	17.26
1.4~4.4	1.05		0.41	≈ 0.9	1.65	1.62	0.57
0.75~6.6	14	13	0.85	≈ 1.0	?	?	0.20
1.4~1.7	3.3		7.0	?	1.0	≈ 0.5	≈ 0.7
17~19.6	15.8	12.6	13.08	12.3	15.8	15.3	12.7
9~11	2.0	9.5	10	≈ 11.9	≈ 18.0	12.3	≈ 8
晶 系		潜 晶 質	正 方 晶 系		潜 晶 質		
柱 状 両 錐 系			柱 状		—	—	—
砂中に粒状・ヘグマタイト鉱脈に散点状に存在する							
			緻 密		土 状	ハリ状	土 状
なし	?	?	?	?	—	—	—
4.5~5	4	?	4	?	1~2	3.5	2.5~3
3.94~4.44	?	?	4.43~4.57	4.873	?	4.13	4.4~4.7
黒色, 帯黒褐色			黒灰色	オレンジ黄色	褐黄色	鮮黄色	カナリア黄色
タール光沢			?	?	?	ハリ光沢, タール光沢	
透 明			透 明				
1.71	?	?	?	1.68	1.638	1.617	1.73~1.76
ゼリー状となる			可 溶 性				
?	?	?	torogummitに転移す	?	?	pilbarite hydrothoriteに転移	hydrothoriteに転移

劈開は(100)または(001)に完全であつて、硬度2~3、比重は不明?、透明、亜金属光沢を示す。光学恒数は $N_p=1.674$, $N_m=1.90$, $N_g=1.92$ である。紫外線(200~400 mμ)で発光しない。

beckelite, scupite, devindite, anglesite, fourmarierite とともに産する。本鉱物の生成は熱水作用と関連性がある。

4. ウラン磷酸塩類 (U⁴⁺)

この種鉱物群中には、鉱物種としては1種 lermontiwite (U, Ca₂ Tr)₃ (PO₄)₄ · 6 H₂O のみが知られている。

本鉱物は、放射線状および同心帯状構造を示す細扁球体(spheroid)からなる葡萄状(botryoi-

dal) 集合体を形成しているが、ときには、放射線束に集まる繊細な針状体からなる細粒状集合体をなして産出することがある。脆弱な集合体であつて、一寸押すとたちまち飛散して針状物質になる。比重 4.50, 色調、灰緑色, 透明, 鈍い光沢を呈するが、断面面では絹糸光沢を示す。屈折率, N_p 約 1.70, N_g 約 1.726, 紫外線 (200~400 $m\mu$) では発光しない。酸にはよく溶ける。UO₂ の含量は 51.42 % である。

本鉱物は、含硫化物、モリブテン鉱脈の膠結帯に Mo⁴⁺+Mo⁶⁺ の水和硫酸塩のコロイド状皮殻を覆つて産出する。酸化帯ではきわめて不安定な鉱物である。本鉱物は科学的に興味もたれている。

B. 含ウラン 鉱物類

1. チタン・稀土・トリウムの複雑な酸化物類 (稀土・トリウムのチタン酸塩類)

この種鉱物類は、花崗岩およびペグマタイト脈中に独立の斑晶状をなして一般に出会えるから、現在採行価値をもっていない。この種の散点状鉱物は不規則な形態および、結晶をなしている。結晶質のものは、展伸状、卓状、タール光沢、介殻断面が特色となつてゐる。熱硫酸およびフッ化水素酸中においても、また硫酸水素ナトリウムで熔融しても溶け難い。

smirnowite (thorutite) は、そのほかに、Druss の形態で巨分離物を形成する。個々の結晶は長さ 1~2 cm である。まれには、この種鉱物は単鉱物細脈の形態で出会することがある。

2. チタン・タンタル・ニオブ・稀土の複雑な酸化物

(タンタル・ニオブ酸塩類, ニオブ・タンタル酸塩類, チタン, タンタルニオブ酸塩類)

チタン・タンタルニオブ酸塩類にはしばしば metamict 状態で分布するきわめて複雑な、不確定の可変性成分の鉱物類が多量に包含される (第 8 表参照)。多数のこの種鉱物の化学式は、依然として正確に確認されていない。ごく最近においても、この種鉱物類の系統化が試みられたが、提案された分類法の長所と短所を批判することは、依然として難しい状態にある。

この群に属する全鉱物類は、既知の条件にしたがつてしばしば 3 化合物型、すなわち ABX₃、一正方晶系—AB₂X₆—斜方晶系—A₂B₂X₆—立方体—とに区分されている。

鉱物類はチタン・タンタルルニオブ酸塩類 (タンタルニオブ酸塩類, ニオブタンタル酸塩類, チタンニオブ酸塩類) に属し、その色調は、黒色、帯褐黒色、褐色ときには帯褐黄色、帯オレンジ緑色を呈し、硬度 5~6, タール状、脂状、亜金属、金属、玻璃状光沢を示す。fergusonite および lindokite は、玻璃光沢、ellswortite および priorite 群の鉱物類は、金剛光沢を示

第 7 表 チタン・稀土類・トリウムの複雑な酸化物

鉱物	化学式結晶形	色調	硬度	比重	含有量 (%)						
					UO ₂	UO ₃	ThO ₂	ΣTR 酸化 物粒	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	H ₂ O
delorenzite	2FeTiO ₃ · U (TiO ₃) ₂ 2Y ₂ (TiO ₃) ₃ · 7 (TiO) TiO ₃	黒色	5.5 ~6	4.7	9.87	?		≈15	4.25	66	?
ufertite	斜方形 Metamict 20FeO · 8Fe ₂ O ₃ · 4TR ₂ O ₃ · UO ₂ · 74TiO ₂	帯褐 黒色	6~7	4.33	2.61	?	0.16	11.58	≈25	59.1	?
ittrocrasite	結晶系 Metamict (Y, Th, U, Ca) ₂ (Ti, Fe, W) ₄ O ₁ (?)	黒色	5.5 ~6	4.8	≈2	0.7	≈9	≈29	≈1.5	≈50	≈5
smirovite	斜方形 2[(Th, U, Ca) ₂ Ti ₃ O ₆] · H ₂ O 結晶形? Metamict	黒色 暗肉 桂色	5~6	5.82	1.43	0.14	54.1	痕跡	痕跡	36.1	?

す。見掛上変種(鉍物)群系列を代表している wiikite, ellsworthite, dojalmaite, mikrorite のような鉍物類は、色調がきわめて変わり易く、ときには同種分離物質中にあつても、色調を異にしている。

この種鉍物類の特徴は、規則通りに介殻断口をもち、平均比重(4~6.5, まれには3~4)が高い。立方系の結晶をなす鉍物類は、一般に正八面体, まれには、立方体を示す。斜方系の結晶をなす鉍物類は、卓状, 柱状, まれには双錐(fergusonite)状を示す。

鉍物の含量は、広範囲の変動を示し、その変動範囲は, mendeleyeite, ellsworthite, betafite (blomstrandite, samiresite) samarskite, ishikawaite, ampangabeite では20%に達するが、ときには20%以上~30%以下のものがある。しかしこの種鉍物類の大多数は、現在のところ稼行価値(ウランの抽出)をもっていない。好ましい地質条件—鉍脈等の盤肌のねばにそつて集積している場合—の下では, betafite, wiikite ときには ellivortite, mendeleyeite pyroclor が少量採取されている。

全チタン・タンタロニオブ酸塩類は、主としてペグマタイト中に様々な大きさの巨結晶形態で産出する。samarskite では、120 kg の結晶が知られている。

3. ジルコン・珪酸塩類(ジルコン珪酸塩類)

ジルコン珪酸塩類(第9表)では、ウランは、ジルコンの様々な変種中に含まれている。ジルコン鉍物類の性質は、一般に、四面柱状体か双錐体, 高硬度等が特色となつている。ある著者のデータによれば、ジルコン中におけるウランの含量の増加に伴ない、ジルコンのある種の性質が変わつてくると述べている。すなわちジルコンの透明度が低くなり、屈折率, 複屈折率が低下し、色調は、オレンジ色, 赤色となり、最後に帯褐灰色に変わる(malakon)。この種のジルコンの外観は、風化生成物を想起させる。

ジルコン酸化物類は、花崗岩, ペグマタイトおよび砂鉍床中で出会する。この種鉍物のウランの性質は明らかでない。現在のところ zirconolite の若干の標本に関するデータがあるだけである。このデータによると、ウランは, uraninite の微細な包有物の形態で存在することが確認されている。

4. チタン・珪酸塩類(チタン珪酸塩類)

この鉍物類におけるウランの含量は0.1を超えないが、トリウム(1.5%以下)はヤム高く、きわめて複雑な化学的組成をもっている。その組成には、チタン, 珪素以外に多量の稀土類, カルシウムおよびフッ素(第10表)がみられる。

ときにはウランが榍石中に多量に含まれ、その色調が褐色に変つていることがある。多くの場合榍石には、ウランが uranite の微細な機械的混和物の形態および化学的混和物の形態で存在することが確認されている。

rinkolite (単斜晶系) はペグマタイト中で出会する。含ウラン lovchorrite (rinkolite のガラス質または潜晶質変種)は、エジル石, 斜長石脈および霞石閃長岩中に産出する。榍石は、ペグマタイト, 火成岩, 接触変質岩石および砂鉍床中で確認されている。

5. 稀土類の珪酸塩類

稀土類珪酸塩類のウランの含量は、痕跡から1%以下であるが、TiO₂の含量は痕跡から6%(thorortite)である。ウランがこの種の鉍物類に存在する場合には、放射能が僅か認められる。鉍物類は、ペグマタイトおよび砂鉍床中に巨結晶の形態で出会する。

orthite は、それ以外に花崗岩, 花崗片麻岩, 閃緑岩, ハンレキ岩, 斜長岩中に共生鉍物として産出する。orthite の結晶は、卓状, 針状であつて、その大きさは1 mm から数10 cm にわたる。しかし massive の状態で産出するものも知られている。両鉍物の劈開の発達度は弱い。

第8表 チタン・タンタル・ニオブ稀土類・タンタルニオブ・ニオブタンタル・

鉱物種	化学式	色調	硬度
正方系 (普通 metamict) ABX_4 ; A=Y, Er, Ce, U, Th, Sb, Bi...; B=Nb, Ta,			
ferrugsonite	(Y,Er,Ce,U) (Nb,Ta,Ti)O ₄	帯褐黑色	5.5~6.5
斜方系 (普通 metamict) AB_2X_6 ; A=TR Y, Er, Ce, La, Gd, Sm), U, Th, Ca..			
euxenite	(Y, Ce, Ca, U, Th) (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆	黒色, 帯黒褐色, オリブ緑色	5.5~7
lindokite	Ca-Th-ewxenite; (CaO 5%)		6.5
polycras	(Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) ₂ O ₆		5.5~7
priorite	(Y, Fr, Ca, U, Th) (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆	帯褐黑色	5.5~6
eschynite	(Ce, Ca, Fe, Th) (Nb, Ti) ₂ O ₆		
blomstrandite	(Y, Fr, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) ₂ O ₆		
chlopinite	(Y, U, Th) (Nb, Ta, Ti, Fe) ₂ O ₆ (?)	黒色	5~6
biikit	(Y, U, Fe, Ca) (Na, Ta, Ti, Si) ₂ (O, OH) ₆ (?)	黒色, 帯黒褐色 オリブ緑色 灰色	5.5
toddite	U-columbite (Fe, Mn, U) (Nb, Ta) ₂ O ₆	タール黒色, 潜晶質	6.5
hielmite	含水 niobotantalite Y, Fe, U, Ca	黒色	5
samaskite	(Y, Er, Ce, U, Th, Fe) ₄ [(Nb,Ta) ₂ O ₇] ₃	黒色	5.6
calichesamaskite	Ca-samaraskite (CaO=4.76~7.56%)	黒色	6.5
fitingophite	Fe-samaraskite (FeO=23.21%)	黒色, 潜晶質	5.5~6
plumbo niobite	niobate Y, Gd, Sm, U, Pb, Fe	帯褐黑色	5~5.5
ishikawaite	(U, Fe, Y, Er, Ce) (Nb, Ta) ₂ O ₇ (?)	黒色	5~6
ampangbeite	(Y,Er,U,Ca,Th) ₂ (Nb,Ta,Fe,Ti) ₇ O ₁₈ (?)	淡褐色, 黒褐色, 赤褐色	4~4.5
ittrotantalite	(Fe, Y, U, Ca...) ₄ [(Ta, Nb) ₂ O ₇] ₃	黒色	5
立方体 (普通 metamict) $A_2B_2X_6$; (F, OH, O) A=Na, Ca, U, Th, Y, Ce, Pb, Fe			
pyrochlor	(Na,Ca,U...) ₂ (Nb,Ti...) ₂ O ₆ (F,OH)	暗褐色, 赤褐色, 断 口黒色	5~6
microlite	(Na,Ca,U...) ₂ (Ta,Ti...) ₂ O ₆ (F,OH)	黄色, 緑色, 暗褐色	5.5
galmaite	U-mikrolite	褐色, 褐黑色	5.5
hatchettine	(Ca, U, Fe) ₂ (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆ (O, OH)	帯緑色, 淡褐色	5
mendeleyevite	(U, Ca, Fe) ₂ (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆ (O,OH)	暗灰色	4.5
ellsworthite			
betafite	(U, Ca, Th, Y, Ce) (Nb, Ta, Ti) ₃ O ₉ · nH ₂ O (?)	褐緑色, 黒色	4
samiresite	(U, Pb, Ce) (Nb, Ta, Ti) ₃ O ₉ · nH ₂ O (?)	帯緑, 帯黄色	?
blomstrandite	(U, Ca, Fe, Ce) (Nb, Ta, Ti) ₃ O ₉ · nH ₂ O (?)	黒色, 黒褐色	5.5~6
obruchevite	3Na ₂ O · 4(Ca,Fe)O · 3Y ₂ O ₃ · (U,Th)O ₂ · 5(Ta,Nb) ₂ O ₅ · 2H ₂ O	淡肉桂色	?

資 料

チタンタンタルニオブ酸塩の複雑な酸化物

比 重	劈 開	光 沢	含 有 量 (%)			
			UO ₂	UO ₃	ThO ₂	ΣTR 酸化物類
Ti.....						
5.5~5.8	きわめて低度の発達を示す	ハリ状, 半金属光沢	2~6	1.5	0.3~4.9	35~42
.....B=Ti, Nb, Ta, Fe, Zr, Sn.....						
4.6~5.4	なし	半金属光沢 ハリ状, タール状	5.6~14.7	0.2~9	1.8~4.6	16~28.5
			0.67	0.04	4.95	23
			7.7	4.3~13.8	6.5	11~31
4.99	なし	ダイヤモンド光沢 脂状光沢	0.5~1.75	2.14	0.6~2.5	25
			なし	なし	17	?
			1.2~5.3	3.38~5.06	1.46~7.82	35
5.24	—	半金属光沢	8.12	?	2.2	17.65
3.27~4.69		タール状光沢	0.25~10	0.5~11.24	0.5~3.6	3~33.5
5.04	なし	金属光沢	8.7	2.4	0.47	4
5.26~5.82	なし	半金属光沢	4.51	?	?	29
5.6~5.8	きわめて低度の発達を示す	ハリ状光沢 タール "	4.5~20.2	?	0.65~2.0	18
4.5~4.7	?	?	9.0	1.67	35	14
5.53	?	半金属光沢	≈9.0	?	?	8
4.80	?	タール状 "	13.6	?	0.07	14.5
6.2~6.4	?	"	20~24.3	0.35	2	9
3.35~4.9	?	ハリ状光沢, 脂状	12~19.4	?	1.5~2.5	0.6~7.6
5.43~5.92	きわめて低度の発達を示す	半金属光沢	1.6~4.5	—	0.7~0.8	19.5
.....,B=Nb, Ta, Ti.....						
4.1~5.4	平均(111)	ハリ状, 脂状	4.6~5.7	—	5.0	5~7
5.4~6.4	不完全	タール状	4.2	0.5~0.7	?	0.5~0.8
5.75	?	脂状	2.2	9.4	?	?
4.4~4.5	?	脂状	5.7~11.4	4.5~5.5	0.4~0.5	0.7~1.1
4.7	なし	半金属光沢	6.13~25	13.5	0.3	0.9
3.7		ダイヤモンド光沢	1.5~8.5	10.7~20.5	0.1	0.2
5~3.7		脂状	?	10~28.6	痕跡~1.3	0.6~6.0
5.24	?	?	?	21.2	?	0.2
4~4.2	?	?	?	18~23.7	?	3.0
3.96~4.80	?	脂状, ダイヤモンド光沢	5.98	なし	0.80	19.27

第9表 ジルコン珪酸塩類

鉱物種	化学式	色調	硬度	比重	含有量 (%)			
					UO ₂	ThO ₂	H ₂ O	ΣTR (酸化物)
naegite	(Zr, Hf, Th, U) SiO ₄ (?)	黒色, 緑色	7.5	4.09	2.7	5.0	2.77	10.0
yamaguchi- lite	(Zr, Hf, U) SiO ₄ (?)	黒緑色, 褐色	6	4.11	5	0.07	2.89	16.0
zirntolite	(Zr, U) SiO ₄ · nH ₂ O	褐黒色, 黄褐色	<6	4.10	2.0	0.08~ 0.7	16.0	7.0
malakon		褐色, 灰色	<6	3.9~ 4.7	2.0	1.0	1.84	?
albite		赤褐色	5.5	3.5	2.0	7.0	8.84	6.0

第 10 表

鉱物種	化学式	色調	硬度	比重	含有量 (%)		
					U ₃ O ₈	ThO ₂	ΣTR (酸化物)
rinkolite	10CaSiO ₃ · Ce(TiO ₃) ₃ · 3CaF ₂	黄緑色	5	3.4	0.08~ 0.23	0.2~ 0.6	12~ 21.2
lovichorrite		黄褐色, 緑黄色	5	3.35	0.03~ 0.25	0.4~ 1.23	
sphen	CaSiTiO ₃ 単斜晶系	黄, 褐, 緑色	5~5.5	3.4~ 3.5	?	?	?

6. 稀土類のリン酸塩類

この種鉱物類としては、無水リン酸塩鉱物、モナザイトと xenotim との2種類が知られている。これらの鉱物類は、ペグマタイト鉱脈、花崗岩、片麻岩およびアルプス式鉱脈中に巨結晶をなして産出するが、砂鉱床を形成していることもある。稼行価値のあるものは、モナザイトの砂床であつて、現在主としてトリウムおよび稀土類が採取されている。

xenotim の結晶はジルコンに類似し、モナザイトの結晶は一般的に単調な卓状をなし、劈開は完全である。光沢はタール状から玻璃光沢にわたる。モナザイトは H₂SO₄ および 塩に溶けるが、xenotim は発煙硫酸にのみ溶ける。

上述のリン酸塩以外に、リン灰土およびリン灰土組成が類縁または近似 (石化魚類の外皮、骨格遺片) の物質にみられる他種の分離形態が知られている。その中には様々な機械的混合物質—石英、炭酸塩類、有機物質、炭素質物質、粘土質粒子、黄鉄鉱—および現在最終的には決定されていない混合物質も含まれている。後者にはウラン・稀土・スカンジウム・モリブデン等の存在が指摘されている。リン灰土が形成される場合には、ウランはその組成中にはいる腐蝕酸に類縁の有機物質と関連性がある。この種のリン酸塩類組成の物質中におけるウランの含量は、変動を示し、0.1%に達するが、ときには0.1%以上になる場合もありうる。この種リン酸塩類が堆積岩層に大規模に集積している場合には、地層それ自体がウラン鉱石となる。

含ウランリン酸リン灰土類および他種の類縁物質は、放射能以外に、フッ化ナトリウムの熔融球を発光させる性質をもっているから、ウランを含まないリン灰土類と区別できない。