

資 料

549 : 546. 791

ウ ラ ン 鉱 物

B. I. Gerasimovskii

小 西 善 治 訳

地殻にはウランは $4 \cdot 10^{-4} \%$ (A. E. Fersman), $3 \cdot 10^{-4} \%$ (A. P. Vinogradov) 含まれている。その含有量は広く知られている原子, 例えば銀 ($1 \cdot 10^{-5} \%$), アンチモン ($5 \cdot 10^{-5} \sim 4, 1 \cdot 10^{-5} \%$), 白金 ($2 \cdot 10^{-5} \sim 5 \cdot 10^{-7} \%$), 金 ($5 \cdot 10^{-7} \%$), ビスマス ($1 \cdot 10 \sim 2 \cdot 10^{-5} \%$) よりも著しく高い。

地殻を構成する岩石中におけるウラン含有量は Vinogradov によれば次のようである。

a) 火 成 岩

酸性岩石 (花崗岩・石英粗面岩・流紋岩)	$3, 5 \cdot 10^{-4} \%$
中性岩石 (花崗閃緑岩・安山岩)	$1, 8 \cdot 10^{-4} \%$
塩基性岩石 (玄武岩・ハンレキ岩・輝緑岩)	$3 \cdot 10^{-5} \%$
超塩基性岩石 (ゾン橄欖岩・橄欖石輝岩)	$3 \cdot 10^{-6} \%$

b) 堆 積 岩 類

粘土・頁岩	$3, 2 \cdot 10^{-4} \%$
-------	-------------------------

天然ウランは種々の型で出会う。1) ウラン鉱物 (閃ウラン鉱・瀝青ウラン鉱・燐灰ウラン鉱・銅ウラン鉱・カーノット石)。2) 非ウラン鉱物の結晶格子中に出現し, 格子中のトリウム・ジルコニウム等のような元素を置換して, 類質同像混合物を形成している。3) 分散状態で存在する。

Vernadskii によれば, 地殻のウランの主要塊は分散状態で存在する。Vernadskii は, 火成岩中におけるウランは, 化学的に結合しない形で存在し, 原子の形で分散し, 自由に地殻を構成する物質中に浸透するか, 岩石中の毛水中に溶解していると考えている。

最近, 天然ウランの賦存形態を解明する研究が行われているが, Vernadskii の考え方と比較して, この問題は原則的になんら変わらない。

アメリカの研究者のデータによれば, 火成岩中におけるウランは次の形態で賦存している。(1) ウラン鉱物を形成する。(2) 類質同像の型で造岩鉱物を形成する。(3) カチオン交換の状態で包有されている。(4) 結晶粒の表面に吸着されている。(5) 造岩鉱物の液体包有中に溶存している。(6) 間粒液体中に溶存している。

最近の研究によれば, 火成岩中においてウランの最大含有量を示す鉱物は, 有色随伴鉱物 (accessory mineral) (雲母・角閃石・褐簾石・ジルコン・モナズ石・チタン鉄鉱・燐灰石等) である。さらに岩石の石英・斜長石の部分に, 全ウラン含有量の 30 ~ 70 % が濃縮している。

天然の化合物—鉱物—では, ウランは, 6 価と 4 価のものが知られている。ウランのイオン半径は次のようである。 $U^{4+}=1, 05 \text{ \AA}$ $U^{6+}=0, 79 \text{ \AA}$ 4 価のウランのイオン半径に近いイオン半径をもち, 広範囲に分布している元素は次のようである。 $Th^{4+}=1, 10 \text{ \AA}$, $Zr^{4+}=0, 87 \text{ \AA}$, $La^{3+}=1, 22$ から $Lu^{3+}=0, 99 \text{ \AA}$, $Y^{3+}=1, 06 \text{ \AA}$, $Ca=1, 06 \text{ \AA}$ にわたる稀土類である。4 価の型のウランは地殻中に比較的僅か分布しているから, ウランは, これらの元素鉱物の結晶格子中にしばしば分散し, 元素を置換して同質異像の形で存在する。

U^{6+} イオンの形態の 6 価ウランは自由に存在しないで, ウラニル (UO_2)²⁺ の 錯 2 価カチオンを形成する。他鉱物の結晶格子中にはいつて同質異像混合を生成する能力は, 錯イオンのイオン半径 (UO_2)²⁺ が大きいので小さい。したがって 6 価ウランの分散は制約される。2 次ウラン鉱物が酸化帯の岩石の割れ目および空隙に顕微鏡大の結晶または皮膜 (殻) の型で広く発達しているのは以上の事実を考えに入れば明らかとなるであろう。

ウラン鉱物は, 種々の条件下で地殻に生成される。初成ウラン鉱物は酸性火成岩・ペグマタイト, 特に熱水溶液で

生成された鉱床中に賦存している。ウラン鉱物は堆積岩および変成岩中にもみられる。

地表上にみられる火成源、ペグマタイト源、熱水源および水成源の初成ウラン鉱物は、不安定であつて、特に酸化鉱物族は容易に破壊される(瀝青ウラン鉱・閃ウラン鉱)。ウランの酸化物が破壊されると、黒色ウランは酸化帯中において、種々様々な2次ウラン鉱物が生成される。この種の2次ウラン鉱物類は、硫酸塩・炭酸塩・珪酸塩・磷酸塩・砒酸塩・バナジン酸塩に属し、鮮明な色調をもち、主として種々の色調の黄色、すなわち黄緑色や緑色を示す。

天然に産するウラン化合物の特徴はそのなかに常に酸素が存在することである。したがつて組成中に酸素をもたないウラン鉱物は知られていない。硫黄およびハロゲンの化合物に属するウラン鉱物は天然に産しない。また自然ウラン鉱の状態のウランも発見されていない。

ウランを含む鉱物は多種多様であつて、現在100種以上の鉱物が知られている。ウラン鉱物は、化学的組成からみると、普通酸化物、水酸化物、単純な珪酸塩、複雑な珪酸塩 (uranate)、炭酸塩・硫酸塩・磷酸塩・砒酸塩・バナジン酸塩・モリブテン酸塩・有機化合物・複雑な酸化物 (榴石・タンタル・ニオブ酸塩) である。最後2族の鉱物は、ウラン鉱物に入れられないが、含ウラン鉱物である。

上述の鉱物族の全部が移行対象とならない。しかしこれらの鉱物族は、地表上に露出している鉱床の探査の indicator となる (特に酸化帯に生成されたウラン鉱物)。

天然に産するウラン化合物中で最も興味があるものは、酸化物族の鉱物類である。これらの鉱物類は、黒色の色調を帯び、タール状光沢を示し、高い硬度 (5~7)、高い比重 (6~10) をもっている。その組成は次の一般化学式で表わされる。 $l(U, Th) O_2 \cdot mUO_3 \cdot nPbO$, そのうえウラン鉱物の生成年代が古くなると、その組成中における Pb の量が大きくなる。

酸化物族に属するウラン鉱物は閃ウラン鉱と瀝青ウラン鉱とに分けられる。閃ウラン鉱は等軸晶系の結晶 (立方体、ときには八面体、斜方十二面体を有する)、瀝青ウランは結晶をなして産しないが、緻密な、土壌状葡萄状、Sinter 状集合体を形成している。

閃ウラン鉱石には次の3変種がある。(1) 閃ウラン鉱 $l(U, Th) O_2 \cdot mUO_3 \cdot nPbO$, 普通その組成中に少量のトリウム (2,8% ThO_2 まで) と稀土類 (50% TR_2O_3 以下)。(2) bröggerite, トリウムに富み (7,8~11,4% ThO_2), 稀土類の含有量は 4.5% TR_2O_3 以下である。(3) Cleveite は、稀土類の含有量が高く (TR_2O_3 16% 以下), トリウムの含有量は 3,03~5,75% ThO_2 である。

閃ウラン鉱物の稀土類はイトリウム亜族の稀土類元素で代表される。

閃ウラン鉱, bröggerite および Cleveite 中における鉛の含有量は, 0,4~20,6% PbO にわたり, それぞれ UO_2 (6,15~70,1%まで) および UO_3 (22~60%まで) の含有量に等しい。

閃ウラン鉱のウランは閃ウラン鉱から方トリウム石にわたる連続類質同像系列を形成し、任意の比でトリウムによつて類質同像的に置換されることが最近明らかになっている。ウランに富む方トリウム石の変種は、ウラン方トリウム石 (ThO_2 と UO_2 の比は 1:1) と呼ばれている。aldanite は化学的組成からみると、方トリウム石とウラン方トリウム石との中間位置を占める。

瀝青ウラン鉱物 ($lUO_2 \cdot mUO_3 \cdot nPbO$) は、閃ウラン鉱物とは析出形態ばかりか、化学的組成 (トリウム含有量 1,0% ThO_2 , 稀土類 3% TR_2O_3 以下) によつて区別される。6価および4価ウランの量 (瀝青ウランの鉛の含有量の変動に対応する) は著しい変動を示す (UO_2 40~70%, UO_3 20~53%, PbO 1.5~10% である)。上述の鉱物類に対しては、 UO_2 から UO_3 にわたる天然化合物の連続系列が認められる。そのために瀝青ウラン鉱の化学的組成を示すために V. G. Melkov の提案により酸素係数、すなわち酸素とウランとの原子比が利用されている。

瀝青ウランの一般式は $UO_{2.17} \sim 2.70$ 式で表わすことができるであろう。

瀝青ウランの亜族の鉱物は充分研究されていないので、一般変種に細分されていない。瀝青ウランには1術語、瀝青ウランのみが用いられている。

地質学的文献においては、閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱の記載にあつてしばしば区別しないで、一般的名称、ウランタールまたはウラン・タール状鉱石で記載されている。閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱の一般式にはしばしば正しくない記載がみられる。閃ウラン鉱石には UO_2 式を、瀝青ウラン鉱には U_3O_8 式が与えられている。天然においては、 U_2O 組成をもつ鉱物は確認されていない。閃ウラン鉱中には、4価のウランとともに、しばしば多量の6価のウランを含んでいる。天然の瀝青ウラン鉱物中では、 UO_2 と UO_3 との比は 1:2 (U_3O_8) だけでない。すでに指摘

したように著しく変動を示し、変動範囲は 0.44~5 にわたっている。

閃ウラン鉱と瀝青ウラン鉱とは成因を異にしている。この種鉱物は、ペグマタイト源（主として閃ウラン鉱とその変種）、熱水源（閃ウラン鉱、しばしば瀝青ウラン）、交代源（閃ウラン鉱と瀝青ウラン）・水成源（瀝青ウラン）の鉱床中で確認されている。礫岩中における閃ウラン鉱と瀝青ウラン鉱の成因については明らかではない。

閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱とは、世界における主要なウラン資源であつて、商業的価値ある大鉱床（Shinkolove, ベルギー領コンゴ）、Great bear lake, Athabaska 湖（Witwaterstand, 南アフリカ）ならびに大多数の中、小規模の鉱床（カナダ・メキシコ・北アメリカ・ポルトガル・フランスなど）の主要な鉱石型を形成している。

地表近くに存在するこれらの鉱床の部分（膠結帯および酸化帯）では、閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱は、不安定で破壊されてウランの 2 次鉱物を形成している。

初成鉱物の破碎産物中では、まず最初に黒色粉状ウランと呼ばれているものに注意すべきである。黒色粉状ウランには残留型と再成型とがある。

残留型粉状黒色ウランは閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱が破壊されて主として膠結帯および一部は酸化帯の下部に生成される。この種のウランは、黒色または暗灰色の色調を呈する潜晶質土状塊であつて、研磨できないのが特色である。残留黒色ウラン鉱は、閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱の表面に残つているので識別される（結晶型態の包有物または集合体、不規則な型態の粒子、団塊、皮膜、レンズ、脈状、條線）。閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱と、それから生成された残留黒色ウラン鉱との間に漸移関係が認められる。これらの中間産物の性質は、閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱の性質から黒色ウラン鉱へ漸移する。

残留黒色ウラン鉱の化学的組成 ($U_{2.70} \sim 2.92 mPbO$) は、第一に UO_3 の含有量が高く、 UO_2 の含有量が低いので特徴づけられる。

再成黒色ウラン鉱は、黒色～暗灰色の色調を呈し、潜晶質、土状塊の形態で認められる。この種鉱物は、薄膜、皮膜を生成し、まれには裂罅および岩石の空隙を皮殻状に充填して産出する。本鉱物は、6 価ウランの還元産物（ウラニールの硫酸塩、炭酸塩熔液中に溶存する）として産出する再生黒色ウランの化学組成は研究されていない。しかしその組成中では、6 価ウランが 4 価ウランに対して優勢であることが考えられる。残留黒色ウランと異なつて、再生黒色ウランの鉛の含有量は低い。放射能平衡に対するラジウムの量は常にたりない（50%以下）。

閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱は、風化のアルカリ型、おそらく内成の熱水溶液の影響を蒙つて変質すると、単純型と複雑型とに区分されるウランの水酸化物が生成される。複雑型の水酸化物の組成には、ウランの酸化物以外に他の金属の酸化物が存在する。ある研究者は、複雑型の酸化物をウラン酸塩とみなしている。

単純型の水酸化物には次の鉱物が属している。

Janthinite	$2UO_2 \cdot 7H_2O$
Epilanthinite	$mUO_3 \cdot nH_2O$
Beckelite	$3UO_3 \cdot 5H_2O$
Billietite	Ba を含む becquerelite の変種
鉱物 (X)	$4UO_3 \cdot 7H_2O (?)$
Scupit	$4UO_3 \cdot 9H_2O$
Parascupit	$5UO_3 \cdot 9, 5H_2O$
複雑型ウラン水酸化物（ウラン酸塩）	
Fourmarierite	$PbO \cdot 4UO_3 \cdot 7-8H_2O$
Curite	$2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$
“ ” 鉱物	Curite に近似している
Y 鉱物	
Vandenbrandeite	$CuO \cdot UO_3 \cdot 2H_2O$
Clarkeite	$(Na_2CaPb)(UO_2)^{2+} \cdot (UO_4)_2 \cdot 3H_2O$
Uranosphaerite	$Bi_2O_3 \cdot 2UO_3 \cdot 3H_2O (?)$

Vendendrichetite, richetite, masuyite, 鉛の含水ウラン酸塩 (?)

水酸化物に属する鉱物ではウランは 6 価である。例外としてはウランが 4 価と考えられる Janthinite で代表される。

ウランの水酸化物族の鉱物類が結晶型で出現することはまれである。これらの水酸化物は、閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱の仮像の形態でしばしば出会う。この種現象は、閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱が置換されるために普通生成される。したがって閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱は、水和変種(水瀝青ウラン^{註1})を経て、初めには低含水水酸化物、次いで高含水水酸化物に漸移する。しかしときにはウランの含水珪酸に移行する。ウランの水酸化物は閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱の仮像で特徴づけられるから、仮像の内部には、一般にみられるように、閃ウラン鉱または瀝青ウラン鉱の非変質部分が残存しているが、しばしば水和部分が認められる。

多くの研究者は、ウランの水酸化物中でゴム石を誤って分けている。ゴム石を詳細に研究すると、ゴム石はウランの水酸化物と珪酸塩の混合物、主として Curite と Soddyite の混合物で代表される。

酸化帯では、閃ウラン鉱・瀝青ウラン鉱・黒色ウランおよびウランの水酸化物は破壊されて、珪酸塩・硫酸塩・炭酸塩・硫酸塩-炭酸塩、燐酸塩・砒酸塩およびバナジウム酸塩に属する2次ウラン鉱物が多量に生成される。2次鉱物中におけるウランは4価の状態にある。天然では、この種2次鉱物が、多くの場合酸化帯に長期間存在するのに必要な条件を欠如しているので、2次鉱物は、放射能平衡の乱れ(ラジウムの不足)で特色づけられる。この現象は酸化帯(浸蝕帯)の発達によつて起きる。酸化帯は初期・中期・晩期3階程に区分される。酸化帯では初生鉱が酸化作用を蒙っているばかりか、同時に新たな鉱物が形成されているとともに、数種の元素が運び去られているのが認められる。元素は、初めには主として硫酸塩の型態で、次には炭酸塩の型で運び去られる。

ウランの2次鉱物は、明るい色調(黄色・黄緑色・緑色)を呈し、ウラン鉱床の探査の Indicator となる。一般にこれらの地帯に初成ウラン鉱床が存在するからである。

酸化帯には多数の2次ウラン鉱物が著しく多量に認められ、稼行の対象となつている。この種の鉱物には、例えば珪酸塩(Uranophane, Beta-uranotil kazolite), 硫酸塩-炭酸塩(Schroekingierite), 燐酸塩(autunite torbernite metatorbernite, parsonsite), バナジウム酸塩(Carnotite tyuyamunite), ときには砒酸塩(zeunerite metazeunerite)が属している。

ウランの2次鉱物中で興味があるのは、一般に雲母状ウランの名称で知られているウランの燐酸塩、砒酸塩およびバナジウム酸塩である。雲母状ウランに属する鉱物類は、薄層(ときには卓状)状をなして産出し、面(結晶)(含鉛ウラルル・燐酸塩を除く)と劈開の完全(001)とで特徴づけられる。この種鉱物類の色調は、黄色、まれには緑色(組成中に銅が含まれている鉱物)であつて、他の色調を示すときはきわめてまれである。

雲母状ウランは鉱酸(塩酸、硫酸、硝酸)にはよく熔けるが、水には不溶性である。雲母状ウランに含まれているウランの含有量は、著しい変化を示し、20~77% UO_3 にわたつている。雲母状ウランの放射能平衡は、ウランが含まれているので一般に著しく乱され、まれには60%以上に達することがある。

紫外線(200~400 mmk)を照射すると、雲母状ウランは、緑黄色の閃光を發する。

雲母状ウランは、岩石の空隙および割れ目中に、鉄の水酸化物と共生して、単独の鱗片状、薄層状、卓状集合体をなし、ときには土塊、皮膜、薄膜、皮殻、線(ウランの鱗片状、薄層状、卓状晶出物からなる)を形成しているのが認められる。雲母状ウランが地表面で出会うことはまれであつて、砂鉱床中に出現しないことを考慮に入れるべきである。これは^{註2}、雲母状ウランが脆弱で、機械的作用に対して抵抗力がなく(硬度普通2~3)、そのうえ弱酸性溶液に容易に溶けるからである。

雲母状ウランは化学的組成が多様である。ウランの燐酸塩に属する鉱物は次のようである。

Phosphuranylite $Ca_3(UO_2)_5(PO_4)_4(OH)_4 \cdot 10H_2O$

Salceite $Mg(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$

砒素質 Salceite $Mg(UO_2)_2[(P, As)_2O_4]_2 \cdot nH_2O$

Autunite $Ca(UO_2)_2(PO_4) \cdot 8 \sim 12H_2O$

含水 autunite $H_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$

Metaautunite $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 2, 5 \sim 6H_2O$

含ナトリウム autunite $Na_3(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$

Uranospatite $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$

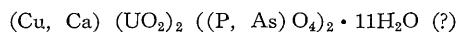
註1) 水瀝青ウラン ($kUO_2 \cdot lUO_3 \cdot mPbO \cdot nH_2O$) は黒色を呈し、微細な碎屑物質として産出する。暗緑色、脆弱、玻璃状光沢。

註2) 地質調査所月報, Vol. 7, No.11, 1956

資 料

Sabugalite	$\text{HAl}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Uranocircite	$\text{Ba}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Bassetite	$\text{Fe}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Torbernite	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
meta-torbernite	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Lermontovite ^{註2)}	$(\text{U}, \text{Ca}_2, \text{TR})_3(\text{PO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	(36, 33 % UO_2 , 14, 53 % UO_3)
Fritzscheit	$\text{Mn}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4, \text{VO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

雲母状ウランの混合型



Prujevalskite	$\text{PbO} \cdot 2\text{UO}_3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O} (?)$
	(55, 05 % UO_3)
Renardite	$\text{Pb}(\text{UO}_2)_4(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Dewinddite	$\text{Pb}_3(\text{UO}_2)_5(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Dumontite	$\text{Pb}_2(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Parsensite	$\text{Pb}_2(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ウランの磷酸塩に属するのは次のようである。

Troegerite	$(\text{UO}_2)_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Abernatiit	$\text{K}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Novacekite	$\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 \cdot (\text{AsO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Uranospinit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
含水 uranospinit	$\text{H}_2(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Zeunerite	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Metazeunerite	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Walpurgite	$\text{UO}_3 \cdot 2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O} (?)$

ウランバナジウム酸塩に属するものは次の通りである。

Ferghanite	$(\text{UO}_2)_3(\text{VO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} (?)$
Uvanite	$(\text{UO}_2)_3\text{V}_6\text{O}_{17} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Carnotite	$\text{K}_2(\text{UO}_2)_3(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Tyuyamunite	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_3(\text{VO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Metatyuyamunite	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3, 5\text{H}_2\text{O}$
Rauvite	$\text{CaO}_2\text{UO}_3 \cdot 6(\text{V}_2\text{O}_5 + \text{V}_2\text{O}_4) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Sengierite	$\text{Cu}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

雲母状ウラン族の全鉱物が天然に広範囲に分布しているものではない。最も広範囲に分布しているのは autunite, torbernite, metatorberite, carnotite, tyuyamunite である。ウラン磷酸塩類は、熱水源鉱床の酸化帯に最も多量に認められる。しかしウランのバナジウム酸塩類は水成源の鉱床の酸化帯を特徴づけ、熱水源鉱床ではきわめてまれに少量認められる。ウランの砒酸塩類中にはしばしば uranospinit, zeunerite および metazeunerite が存在する。ウランの砒酸塩類は、熱水源の酸化帯中で普通認められる。

ある種の雲母状ウランはときには著しく多量に濃集し、稼行対象となることがある。例えば autunite 質鉱石, Torbernite 鉱石, carnotite 鉱石, carnotite—tyuyamunite—の場合である。

雲母状ウランは、初成ウラン鉱床の発達する地域の探査の Indicator として大きな興味をよせられている。

酸化帯に特徴的な他の 2 次ウラン鉱物中で最も興味のあるのはウランの珪酸塩類である。これらの鉱物類は次の鉱物である。

註2) Lermontovite : 4 価ウランの含水磷酸塩、灰緑色を呈し、地下水以下で出会う。酸化帯では不安定である。

Soddyllite	$2\text{UO}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (?)
Sklodowskite (shinkolobite)	$\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 \text{SiO}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Cuprosklodowskite(yakhimowite)	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 \text{SiO}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Uranophane	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Beta-uranophane	$\text{Ca}(\text{UO}_2) \text{Si}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Kasolite	$\text{Pb}(\text{UO}_2) \text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Orlite	$\text{Pb}(\text{UO}_2)_3 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (43, 57 % UO_3)
Drugmansite	(構造式は決定されていない)

ウランの珪酸塩は天然には広範囲に分布し、ときには多量に濃縮して稼げ鉱床を生成することがある。

ウランの珪酸塩は一般に黄色(緑色の cupro-sklodowskite および Sengierite を除く)を呈する。結晶は針状、柱状を示す。本鉱物類は塩酸の稀薄溶液に容易に溶解し、ゼラチン状珪酸塩を生成する。

ウランの珪酸塩は針状結晶、放射状集合体、薄い皮殻あるいは粉状皮膜をなして岩石の空隙および割れ目壁にみられる。ときには本鉱物類は、閃ウラン鉱および瀝青ウランの緻密な仮像および細脈の型で産出する。ウランの珪酸塩はウランの水酸化物と緊密に共生してしばしば発見されている。ときには珪酸塩のウランは、ウランの水酸化物とともに著しく多量に濃集してきわめて興味ある鉱石を形成していることがある。

ウラン珪酸塩は、ペグマタイトおよび熱水鉱床の酸化帯を特徴づけるが、ときには水成鉱床の酸化帯に認められる。ウラン鉱床の酸化帯におけるウラン珪酸塩の分布は、第1に黄鉄鉱と初成鉱石中の硫酸塩の含有量によつて確かめられる。初成鉱石における硫酸塩の高含有量は、ウラン珪酸塩の生成に不都合な酸性型風化で形成される。この場合のウラン珪酸塩は、一般に地表附近にのみ認められる。

ウラン珪酸塩(Soddyllite 等)は、閃ウラン鉱および瀝青ウラン鉱の内因的破砕によつて生成されたことが考えられる。

ウラン珪酸塩には、上述のもの以外に coffinite $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ と Nenadkewite (U^{+4} , Y, Ce, Th) U^{+6} , $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Pb})_3 \cdot (\text{SiO})_2 \cdot (\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ がある。これらの鉱物類は酸化帯に特徴的なものでない。

Coffinite は、正方晶系、黒色、ダイヤモンド光沢をもち、その組成中には UO_2 43, 37~68, 29%, SiO_2 5, 20~8, 50% 含む。本鉱物は、コロラド高原(アメリカ)およびその他の地域の三畳系およびジュラ系中に発達する15以上の初成ウラン鉱床中に認められる。コロラド高原の鉱床中では、Coffinite は、瀝青ウラン、黒色のバナジウム鉱物類、黄鉄鉱、石英および有機物質とともに出会うが、ある鉱床では、瀝青ウランとともに塩基性ウラン鉱物が非酸化鉱石中に出現する。

Nenadkewite は、熱水源の鉱物と考えられている。

天然にみられるウランの硫酸塩および炭酸塩は分布度が低く、この族の鉱物類の大部分はあまり研究されていない。硫酸塩ウランには次の鉱物が属する。

Johannite	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Uranopilite	$(\text{UO}_2)_6 (\text{SO}_4) (\text{OH})_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Beta-uranopilite	$(\text{UO}_2)_6 (\text{SO}_4) (\text{OH})_{10} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Zippeite	$(\text{UO}_2)_2 (\text{SO}_4) (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Uraconite	$(\text{UO}_2)_3 (\text{SO}_4) (\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

そのほか medjditite, uranochalcite, voglianite があるがこの化学的組成は研究されていない。

硫酸塩ウランは、一般には、坑道の壁および坑外の研中に粉状皮膜および露華の型で少量認められる。ウランの硫化物はときには、坑道掘進後数日を経て出現する。硫酸塩ウランの結晶は普通小さく、双眼ルーペまたは顕微鏡でのみ区別できる程度である。硫酸塩の色調は黄色であるが、銅を含むもの(johannite, uranochalcite, voglianite)は緑色である。

硫酸塩ウランは、塩酸に可溶性であるが、水にもある程度溶ける(johannite uranopilite)。

硫酸塩ウランは、瀝青ウランおよび黒色ウラン——しばしば地表上で出会う——に随伴するが、石膏・褐鉄鉱およびジャロソ鉱と共生して産出する。

ウランの炭酸塩には次のものが知られている。

資 料

Diderichite Rhetzerfordite	$(\text{UO}_2)\text{CO}_3$
Sharpite	$(\text{UO}_2)_6(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 6-7\text{H}_2\text{O}$
Vogilite	$\text{Ca}_2\text{Cu}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Uranothalliteまたは (Liebigite)	$\text{Ca}_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Rabbittite	$\text{Ca}_3\text{Mg}_3(\text{UO}_2)_2(\text{CO}_3)_6(\text{OH})_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Andersonite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Shawarzite (Swartzite)	$\text{CaMg}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Beyllite	$\text{Mg}_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Shuilingite および studtite は正確に確かめられていない (化学分析が行われていない)。

炭酸塩ウランは、一般に双眼ルーペか顕微鏡で辛うじて識別されるきわめて微細な結晶からなる露華、皮膜および薄い皮殻状で産出する。色調は、黄色、帯黄緑色、ときには緑色 (shwarzite) を示す。炭酸塩ウランは、起泡 (炭酸) を発して塩酸に容易に溶解するがある種の炭酸塩ウラン (andersonite および schwarzite) は水に溶解する。

炭酸塩ウラン中では、uranothallite (強烈な淡青色の閃光) および schwarzite (強烈な黄緑色の閃光を発する)。

炭酸塩ウランは、瀝青ウランに沿って (炭酸塩類中に) 熱水、水成鉱床の酸化帯に発達している。

硫酸塩・炭酸塩中では、schrekingerite ($\text{Ca}_3\text{Na}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3(\text{SO}_4)\text{Fe}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) のみは詳細に研究され、記載されている。結晶面は雲母に類似している。本鉱物は、鱗片状、粉状集合体をなして産出し、母岩の空隙および割れ目壁に皮膜、薄層、皮殻を形成している。本鉱物の特性は、紫外線の照射下で強烈な淡青色閃光を発し、多量の CO_2 を発して塩酸に溶解することである。本鉱物は、水成、熱水鉱床の酸化帯に認められる。schrekingerite は、石膏・方解石およびときにはジャロソ鉱と共生関係を示す。

Schrekingerite は、ウラン鉱床探査のよい Indicator となる。そのうえに本鉱物は、他の 2 次ウラン鉱物 (酸化帯に特徴的な) よりも、初成ウラン鉱床の発見された箇所から遙かに離れた地点で認められることがある。

上述のウラン鉱物以外には、2 つのウラン鉱物族、すなわちウランのモリブテン酸塩とウランの有機化合物が知られている。この種ウラン鉱物類はあまり研究されていない。

ウランのモリブテン酸塩中では 3 鉱物が確認されている。

Umochoite	$(\text{UO}_2)\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (47.7% U)
Moluranite	$\text{UO}_2 \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 5\text{MoO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (?)
Iriginite	$\text{UO}_3 \cdot 2\text{MoO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

umochoite および moluranite は、黒色、iriginite は黄色を呈する。

有機化合物中では 2 種の鉱物 Tuchoite および carburan が知られ、トリウム・稀土類・ウランを含む炭化水素系で代表される。これらの鉱物は、ウランの酸化物 (閃ウラン鉱と瀝青ウラン) と炭化水素との混合物である。Tuchoite 中のある種の試料では、ウランは、炭化水素中に溶解状態で存在していることが記載されている。

Tucholite または carburan に属する物質は、黒色を呈し、樹脂状光沢を放ち、貝殻状断口をもち、低比重 (1.6~2.0) を示す。本鉱物は、ペグマタイト鉱床、熱水鉱床、witwaterstand (南アフリカ) の含金礫岩層 (ウラン酸化物と金とともに産する) およびカナダの Blind River 地域では brannerite-Pitchblend と共生して出会う。ウランのゴム石が天然に発見される可能性があるが、この問題はこんにちにいたるまで、決定的な解明が与えられていない。

さらに含ウラン鉱物には複雑な酸化物——チタン、およびチタンニオブ、タンタルの型——に属する鉱物群が存在する。この群の鉱物のウラン含有量は著しく異なり 10~ 数 10% にわたる。

チタン酸塩中で最も重要なものは brannerite (U, Y, Th, Ca, Fe) $_3\text{TiO}_5\text{O}_{16}$ と davidite——鉄のチタン酸塩で、ウランおよび稀土類を含む——(Fe, Ce, U) $(\text{Ti, Fe, V, Cr})_3(\text{O, OH})_7$ (?) である。

Brannerite は black river 鉱床で発見されるまでは珍しい鉱物と考えられていた。本鉱物は、花崗岩およびある種のグライゼン化岩石の共生鉱物の 1 つとして知られている。black river 鉱床では brannerite は主要なウラン鉱物である。

最近、組成が brannerite に近似している新鉱物、absite ($2\text{UO}_3 \cdot \text{ThO}_2 \cdot 7\text{TiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) が報告されている (オーストラリア)。absite については化学分析によつて UO_3 31.83%, ThO_2 12.81% (12) が確かめられている。

Davidite は Radium-Hill (南部オーストラリア) の主要な鉱物である。この地帯では Davidite は、金紅石、チタ

ン鉄鉱, 赤鉄鉱, 黒雲母および石英とともに存在する。davideite は Tete(アフリカの Mozambique)でも知られている。

チタン・ニオブ・タンタル族の含ウラン鉱物類はきわめて多数存在する。本鉱物類の特性は次のようである。(1) 黒色または褐黒色, 帯褐色, まれには褐黄色または緑黄色, (2) 樹脂状光沢, まれには亜金属光沢または脂状光沢 (3) 介殻状断面, (4) 高い硬度 (4~6) と高比重 (一般には 4~6 および 5)。本鉱物には, ニオブ・タンタルおよびチタン以外に, 常に稀土類 (ときには多量に含む) を伴ない, しばしばトリウム (その他) が認められる。

ウランを含有するチタン・タンタル・ニオブ中には次の鉱物が区分されている。

(A) ピロクロア (Pyrochlore) 微晶質 (含ウラン変種, hatchettolite 10,80~21%, mendelyevite 19,70~28,90%, elsvortite 18,50~22,00% UO_2+UO_3 を含む)。

(B) fergusonite 状鉱物 1,54~8,16% UO_2+UO_3

(C) yttrantalite 状鉱物 (yttrantalite 1,61~5,60% UO_2 , scikavaite (ychykaavaite) 20~24% UO_2)

(D) Euxenite-Polycrase (Polycrase 4,32~13,77%, euxenite 5,64~14,70% UO_2+UO_3 , chlopinitite 8,12% UO_2)

(E) eschynite-prioprite (Priorite 1,75~5,35% UO_2)

(F) Samarskite 質 (Samarskite 4,62~18,14%, viikite 0,77~19,88% UO_2+UO_3)

(G) Betafite 質 (betafite 9,64~28,80% UO_2+UO_3 , bromstrandinite 18,20%, samiresite 21,20%, ampangabéite 6,72~19,40% UO_2)

上述のチタン・チタンニオブ・タンタル鉱物類はペグマタイト花崗岩質を特徴づけている。本鉱物は, ウラン資源としての独自の価値をもっていないが, 随伴鉱物としては貴重な成分 (component) を形成する。

上述の鉱物以外に, ウラン資源の対象とならないが, トリウム珪酸塩に属するウラン鉱物 (thorite, uranorthorite, hydrothorite, enalite, thorogymmitite, makintoshite, maytlandite, nikolaite, pilbarite), ジルコン珪酸塩 (zirtolite, malakon, alvite, naegite, jamagutilite), 稀土類の珪酸塩 (orthite talenite, rowhandite), 稀土類の磷酸塩 (xenotime, monazite) が存在する。

種々の成因のウラン鉱床の酸化帯および膠結帯中では, 非ウラン鉱物中でしばしばウランが認められている。その含有量は一般にきわめて多く, 0,1%, 1% ときには 10% を含む。ウランを含む非ウラン鉱物中で広範囲に分布するものは蛋白石および鉄の水酸化物であつて, まれにはマンガン水酸化物, 石膏および熱水性方解石等中でも出会う。ウランがこの種の鉱物中に含まれている型については充分明らかにされていない。放射能が上昇する以外には, この種鉱物類のあるものは (特に hyalite 透明な蛋白石の変種), 紫外線の照射で美しい閃光を発する。したがつてこの種の鉱物はウラン探査の Indicator として大きな意味をもっている。

ある種の鉱物類の放射能はウランまたはトリウムばかりか, ラジウムによつて発生する。ラジウム中におけるウランの含有量 (Radiobarite radiofluorite radiocalcite 等) はきわめて低く, $1,10^{-7}$ g/g 以下である。ラジウムを含む鉱物の生成年代は, 大きくなく, 30,000年 (ラジウムの崩壊期数) である (ラジウムによる富化がその生成の瞬間に発生したものとす)。

最後に次のことを指摘しておこう。ウラン鉱物の酸化過程は一般にウラン鉱床の酸化帯からウランを運び出し, ウランの分散を招く。

ペグマタイト性, 熱水性および堆積性ウラン鉱床の酸化帯が形成される際には 4 価のウランを含む鉱物の壊変を同時に伴つて, 6 価ウランを含むウラン鉱物が生成されるが, 6 価ウランのある部分は, 酸化帯を循環する水によつて酸化帯から運び出される。還元条件下で特徴づけられる他の地質環境にあつては, 6 価ウランは 4 価ウランに移り集し, 新鉱床の生成が促進される。

ソ連では, 多くの新しいウラン鉱物が多数発見されているが, そのなかに次のようなものがある。黒色ウラン (残留, 再生ウラン), aldanite (酸化物), hydropitchblend (水酸化物), orlite, nenadkevite (珪酸塩), lermontovite H-autenite, Na-autenite, Prujevalskite (磷酸塩), H-uranospinitite (砒酸塩), 混合組成の雲母状ウラン (磷酸塩, 砒酸塩), ferganite, tjuiamunitite (バナジウム酸塩), moluranite, iriginite (モリブデン酸塩), lodochnikovite, $2(U, Th)_2O_3 \cdot 3UO_3 \cdot 14 TiO_2$, uferite ($20FeO \cdot 9Fe_2O_3 \cdot 4TR_2O_3 \cdot UO_2 \cdot 74TiO_2$ (チタン酸塩) obruchevite ($(Y, U, Na_2) \cdot Ta_2O_6 (OH, F)$, mendyeevite, chlopinitite (チタン・ニオブ・タンタル), carburan (有機化合物) である。

ウ ラ ン 鉱 物

鉱物名称	化学式	色調	結晶	硬度	比重	ウラン含有量		主成因
						UO ₂	UO ₃	
閃ウラン鉱	酸化物 K(U,Th)O ₂ ·lUO ₃ ·mPbO	黒色	立方体	6—7	6.5—10	6—74	16—60	ペグマタイト鉱床, 熱水鉱床 熱水鉱床と水成鉱床
瀝青ウラン	KUO ₂ ·lUO ₃ ·mPbOまたは UO _{2,17-2,70m} PbO	〃	潜晶 (立方体)	5—6,5	5—9	25—59 (73—93%)	22—55 (68—90%)	
黒色ウラン(残留型)	UO _{2,70-2,92} ·mPbO (?)	〃	?	<4	<4,5	5,8—11,9	43—67	
〃〃(再生型)	KUO ₂ ·lUO ₃	〃	?	—	—	—	—	
方トリウム石	(Th·U)O ₂ ·mPbO	〃	立方体	6.5—7,5	8,1—9,7	若干%	50%まで およびそれ以上	種々の成因の鉱床の下部酸化帯膠結帯 (cementation zone) ペグマタイト, 砂鉱床, 置換帯 (metasomatic zone)
Becquerelite	水酸化物 3UO ₃ ·5H ₂ O (?)	褐黄色, こはく黄色	斜方晶系	2—3	5,1—5,2	—	88—90	
Curite	2PbO·5UO ₃ ·4H ₂ O	オレンジ黄色	〃	4—5	7,2—7,3	—	74	熱水鉱床およびペグマタイト鉱床の酸化帯および膠結帯
Uranophane (Uranotil)	珪酸塩 Ca(UO ₂) ₂ SiO ₂ O ₇ ·6H ₂ O	黄色, 帯緑黄色	単斜晶系	2—3	3,81—3,96	—	63—67	
Beta-uranophane	Ca(UO ₂) ₂ Si ₂ O ₇ ·6H ₂ O	レモン黄色, 帯緑黄色	〃	4—5	3,95	—	66—67	ペグマタイト鉱床, 熱水鉱床, 水成鉱床の酸化帯
Kasolite	Pb(UO ₂)SiO ₄ ·H ₂ O	黄色	〃	4,5	6,0—6,5	—	48—50	
Coffinite	U(SiO ₄) _{1-x} (OH) ₄ X	黒色	正方晶系	—	5,1	—	46—68	水成鉱床
Nenadkevite	(U ⁴⁺ , Y, Ce, Th)U ⁶⁺ (Ca, Mg, Pb) (SiO ₄) ₂ (OH) ₆ ·nH ₂ O	〃	?	—	4,16—4,81	22	31	熱水鉱床
Uranopilite	硫酸塩 (UO ₂) ₆ (SO ₄)(OH) ₁₀ ·12H ₂ O	淡黄色, 帯緑黄色調を呈する	?	?	3,9	—	80—81	熱水鉱床と水成鉱床との酸化帯
Zippeite	(UO ₂) ₂ (SO ₄)(OH) ₂ ·4H ₂ O	オレンジ黄色	単斜晶系	3	?	—	68—80	
Uranothallite (Liebigite)	炭酸塩 Ca ₂ (UO ₂)(CO ₃) ₃ ·10H ₂ O	黄緑色	斜方晶系	2,5—3	2,14—2,43	—	35—37	〃

鉱物名称	化学式	色調	結晶	硬度	比重	ウラン含有量		主成因
						UO ₂	UO ₃	
Schroëckingerite	硫酸塩・炭酸塩 Na ₃ Ca ₃ (UO ₂)(CO ₃) ₃ (SO ₄)F ・10H ₂ O	黄色, 帯緑黄色	六方晶系 (?)	2, 5	2, 5	—	30—32	熱水鉱床と水成鉱床との酸化帯
Phosphuranlyite	磷酸塩 Ca ₃ (UO ₂) ₅ (PO ₄) ₄ (OH ₄) ・10H ₂ O	黄色	正方晶系 (?)	3	3, 2	—	72—76	
Autunite	Ca(UO ₂) ₂ (PbO ₄) ₂ ・8H ₂ O	黄色, 帯緑黄色	正方晶系	2—2, 5	3, 0—3, 2	—	55—62	種々の成因の鉱床の酸化帯
Torbernite	Cu(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ・12H ₂ O	緑色, エメラルドグリーン	〃	2—2, 5	3, 2—3, 6	—	57	
Metatorbernite	Cu(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ・8H ₂ O	緑色	〃	2	3, 68	—	56—62	
Parsonsite	Pb(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ・1—2H ₂ O	黄色	単斜晶系	2, 5—3	6, 2	—	32—34	熱水鉱床の酸化帯
Uranospinite	砒酸塩 Ca(UO ₂) ₂ (AsO ₄) ₂ ・8H ₂ O	黄色, 黄緑色	正方晶系	2—3	3, 0—3, 4	—	59	熱水鉱床の酸化帯
Deinerite	Cu(UO ₂)(AsO ₄) ₂ ・12H ₂ O	緑色, エメラルドグリーン	〃	—	3, 2	—	51, 0	
Metazeunerite	Cu(UO ₂) ₂ (AsO ₄) ₂ ・8H ₂ O	〃 〃	〃	2—2, 5	3, 7—3, 8	—	55—56	
Carnotite	バナジウム酸塩 K ₂ (UO)(VO ₄) ₃ H ₂ O	黄色	斜方晶系	2—2, 5	4, 4	—	62—65	水成鉱床の酸化帯
Tyuyamunitite	Ca(UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ・8H ₂ O	〃	〃	1—2	3, 6—4, 3	—	54—65	
Davidite	複雑な酸化物 チタン Tr・U を含む含 Fe 燧石	黒色	?	6(?)	4, 5(?)	Σ 2, 25—9, 8(?)		高温熱水酸性鉱脈と置換帯
Brannerite	(U, Y, Th・Ca, Fe) ₃ ・ Ti ₅ O ₁₆ (?)	〃	正方晶系か 斜方晶系	4, 5	4, 5—5, 4	Σ 44, 0		ペグマタイト・礫岩層, 砂鉱床
Hatchettolite	チタン, ニオブ, タンタル (Ca, Fe, U)(Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆ ・ H ₂ O	酸塩 ABX ₄ 帯黄褐色	立方体	5	4, 4—4, 5	Σ 10, 8—21, 4		

鉱物名称	化学式	色調	結晶	硬度	比重	ウラン含有量		主成因
						UO ₂	UO ₃	
Elsvortite (mendelevite)	(U, Ca, Fe)(Nb, Ti, Ta) ₂ O ₆ · 2H ₂ O	帯黄色, 暗褐色 から黒色	〃	4—4,5	3,6—4,7	Σ 18,5	—28,9	ペグマタイト鉱床
Fergusonite	(Y, Ce, Fe, U)(Nb, Ta) ₄ O ₄ AB ₂ X ₆	褐黒色	正方晶系	5,5—6,5	5,6—5,8	Σ 1,5	—8,2	
Euxenite	(Y, Ce, U, Ca, Fe, Th)(Nb, Ta, Ti, Sn) ₂ O ₆	黒色ときには 帯緑色, 褐色 色調を帯びる	斜方晶系	5,5—6,5	4,6—5,4	Σ 5,64	—14,70	ペグマタイト鉱床
Polycrase	(Y, Ce, Ca, U, Th)(Ti, Nb, Ta) ₂ O ₆		〃	〃	5,5—6,5	4,7—5,1	Σ 4,32	
Samarskite	(Y, Ce, Ca, U, Fe, Th) (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆ AmBnXp	黒色	〃	5—6	5,69	Σ 4,62	—18,14	
Betafite	(U, Cn)(Nb, Ta, Ti) ₃ O ₉ · nH ₂ O	褐緑色～黒色	立方体	4	5	Σ 9,64	—28,80	ペグマタイト鉱床
Ampangabeite	(Y, U, Ca, Th) ₂ (Nb, Ta, Fe, Ti) ₇ O ₁₈ 有機化合物	淡褐色から褐黒 色	斜方晶系	4—4,5	3,8—4,9	Σ 6,72	—19,40	
Thucholite	Th, U, TR と hydrocarbon 混合物	煤黒色, 黒色	?	3,5—4	1,6—2	5,8—39,7		ペグマタイト鉱床, 熱水 鉱床, 礫岩層
Carburan			3	—	1,67	54,2		