

モロッコのウラン鉱床

高島 清 (鉱床部)
Kiyoshi TAKASHIMA

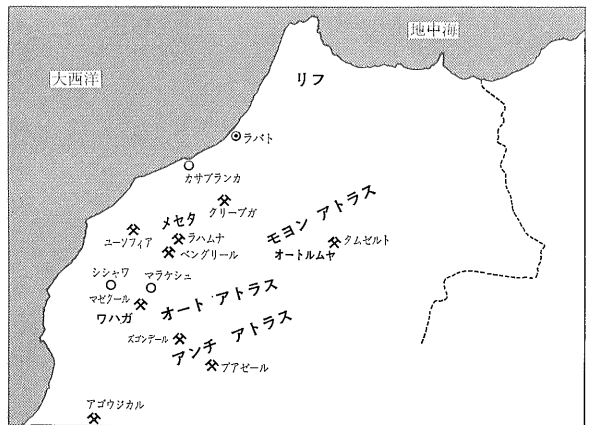
モロッコにおけるウラン鉱床探査は 石油資源のない我が国同様に非常に熱心で ハッサンⅡ世国王以下 国をあげての体制であたり その熱の入れ方は驚くほどである。

毎年のように 米国あるいはフランスなどから専門家を招待して レクチュアやシンポジウムなどを行ってモロッコの地質学者や探鉱に従事する技術者の啓蒙につとめている。 つい最近もフランス Nancy 鉱山学校の J. C. SAMAMA 教授による ウラン鉱化作用における酸化還元条件に関する理論の講習会を開いたり また鉱山エネルギー大臣主催の モロッコ-フランスのウラン開発シンポジウムを開催したりしている。

モロッコは現在 西サハラ問題に関して アルジェリア モーリタニアなどと対立し 例のポリサリオ戦線なるゲリラ組織と戦闘を行っており 国内事情もからみこの戦闘をやめられないのがこの現状である。

この一方 エネルギー不足の問題になやんでおり 化石燃料に関しては我が国と同様に産出がないといっても良いほど少なく オイルシエールも技術的な問題が多くまだ開発の緒についたばかりと言う状況でその上石炭の産出も少なく 化石燃料では貧困国と言っても差支えないようである。

従って 我が国と同じように 水力 地熱のほかには原子力という次期エネルギーの開発に力を入れているわけ



である。

つい先日行われた モロッコ フランス専門家によるシンポジウムでは ウラン資源として次期に大きな期待をもたれている燐鉱石中のウランの回収技術 ならびにウランの個品位 小鉱床の開発などについて種々の話題が提供されたが モロッコとして最も注目しているのは燐鉱石中のウラン回収である。 衆知の如くモロッコの燐鉱石は その埋蔵量において世界の半分以上を保有しているとも考えられ もしこれらの燐鉱石中のウランが経済的に回収されるようになれば 一挙にウラン産出国の一つとして浮上することは間違いないと思われるから

第1表 北米における燐酸工程からのウラン回収工場

会社工場	ウラン生産能力 T.U/年	燐酸生産能力 T.P ₂ O ₅ /年	生産開始
GRACE Bareow	110	330,000	76年2月
FARMLAND Ind. Pierre	165	500,000	78年末
FREEPORT Uncle Sam	265	750,000	78年末
GARDINIER Tampa	175	510,000	79年6月
IMC New wales	290	840,000	79年10月
CENTRAL FARMES Ind. Plant city	485	1,315,000	80年1月
AGRICO Donald Sorville	—	400,000	計画中
WESTERN COOPERATIVE FERTILIZER Ltd. Calgary	38	160,000	80年開始 予定

フランス Uranium PUK 資料より

である。

このシンポジウムのスピーチで モロッコ鉱山エネルギー大臣のムササディ氏は 1984年から磷酸工場からの副産物として 年間200tのUO₃を回収すると述べ 1987年には550 t /年とし 2000年には2000 t /年のUO₃を生産する計画のあることを強調している。

実際に現在 米国における磷酸工場では 第1表のごとくウランの回収が行われ 1500 t /年 程度の生産をみている。

モロッコのウラン探査作業の経緯

モロッコのウラン鉱床に関する調査は フランス植民地時代から一部行われていたが 本格的な調査は第二次世界大戦後で 1946年後半から1947年にフランス原子力委員会 (C. E. A.) の技術者によって初期の調査が行われている。

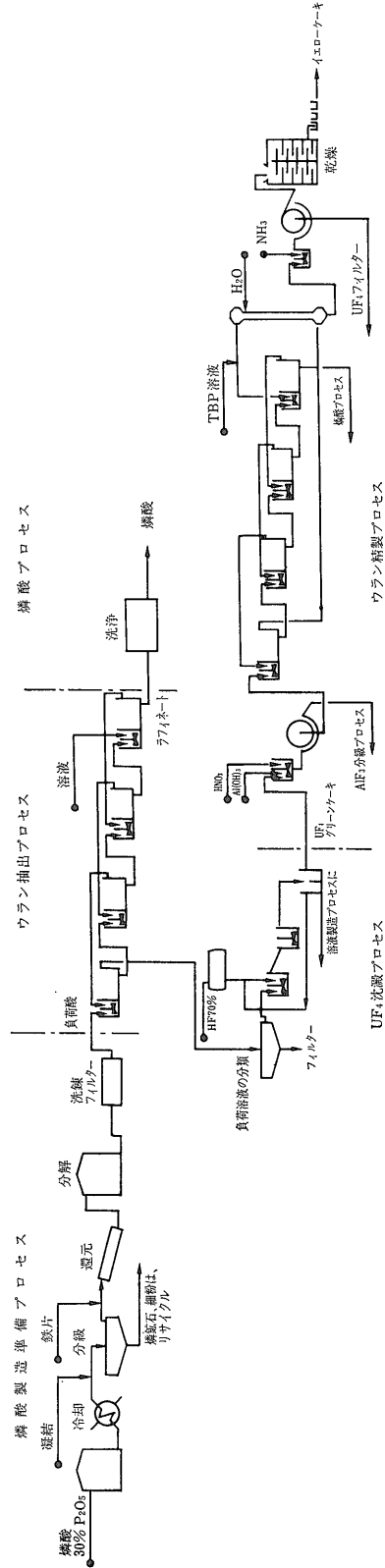
その後の主な探鉱活動を列記すると次のようである。

- 1951—1953年 モロッコ地質調査所専門家による調査
- 1953—1956年 SOMAER※による調査
 - この結果得られた鉱量
 - アゼグル (Azgour) : 41, 653 t 0. 88%U₃O₈
 - 抽出実験
 - 5, 018 t 6. 71%U₃O₈
 - //
 - 1, 116 t 1%U₃O₈
 - 25 t 1. 7% //
- ブアゼール (BouAzzer) 17, 500 t 0. 2% //
- ラハムナ (Rehamna) 40 t 0. 5% //
- アムラル (Amelal) 60 t 0. 235% //
- 1956—1971年 資源調査投資公社 (B. R. P. M)
 - D. M. G. Eによる調査
- 1971—1973年 B. R. P. M, U. N. D. Pによるアンチアトラス (Anti Atlas) 地区の調査
- 1973—1974年 国際原子力機関 (IAEA) 専門家による調査
 - この結果にもとづき次の地域の探鉱が要望されている。
 - 1) 花崗岩中の鉱化作用
 - 2) 堆積型の鉱床

1), 2) 以外に とくに磷酸中のウラン鉱床 カンプリア系アカディア統とオールドビス系の砂岩中のウランおよびタムゼルト (Tam ezert) のカーボナタイト中の異常について調査を進めることを勧告している。 1975年以降は 日本 モロッコの政府間ベース協力調査が始まり

1975—1978年 アンチアトラス
1979—1981年 オートムルヤ (Haute Moulouya) の地域について 鉱化作用に対する三段階方式による精密調査が行われた。

調査結果については 多数の異常を発見しているにも拘わらず 品位が低く 経済性にのらないものが多い点で 結果は満足するものではなかったが技術外交的な面で モロッコ側に与えた影響は大きく 非常に感謝され このため次期プロジェクトとして現



第1図 磷酸工場におけるウラン回収工程の一例

※モロッコと米国とのコンソジウム

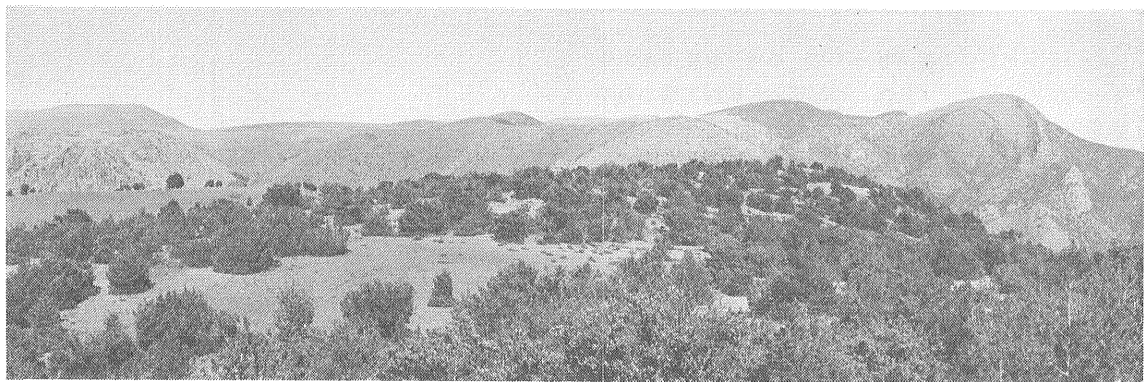


写真1—① アゼゲール鉱山付近の峠から主要調査地区西方の山岳地帯き望む

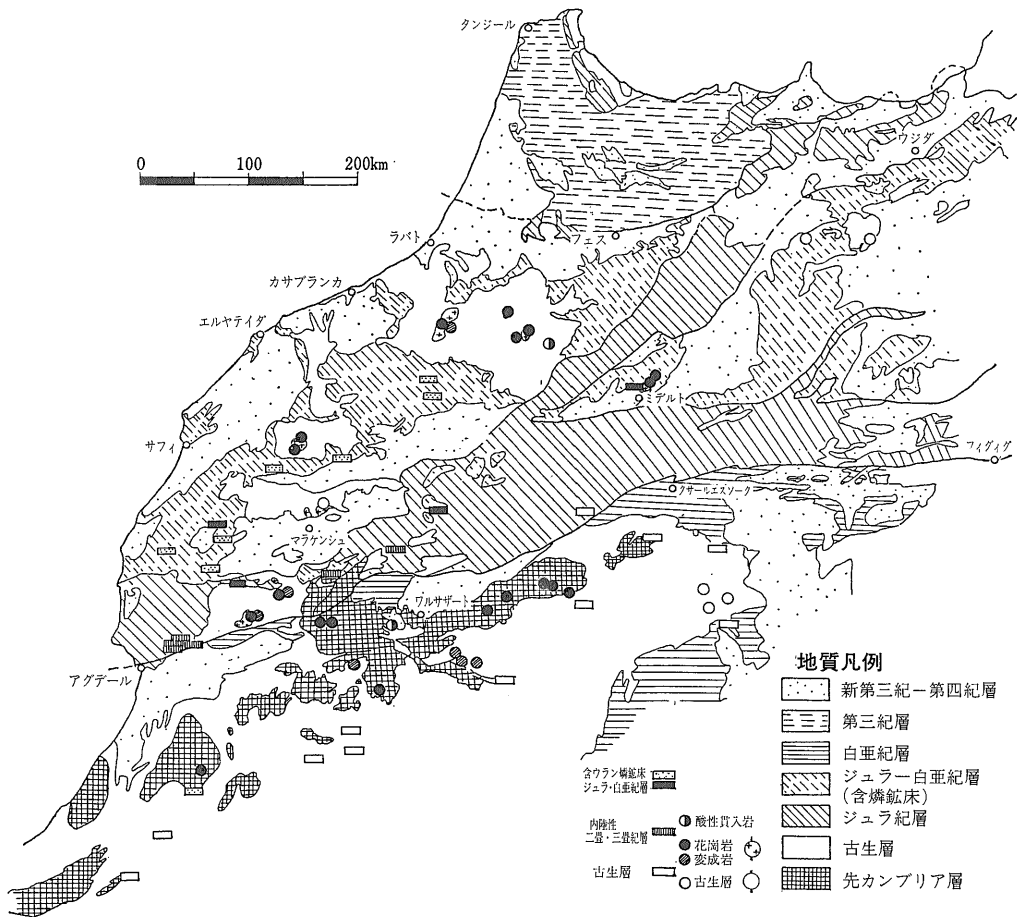
在最も有望視されているワハガ(Waffaga)鉱化帯を含むオートアトラス(Haut Atlas)西部地区の協力調査が要望されている。

北西縁に沿って ほぼNEE—SWW方向の帯状分布で地中海沿岸沿いに連続する先カンブリア代から中生代 中生代および第三紀以降の若い地層までの分布する地中海沿岸帯が発達している。

モロッコの地質構造とウラン鉱化帯

モロッコの地質を望見すると 西アフリカクラトンの

この中で先カンブリア代からの地層の複雑な構造帯の



第2図 モロッコの主要ウラン鉱微地

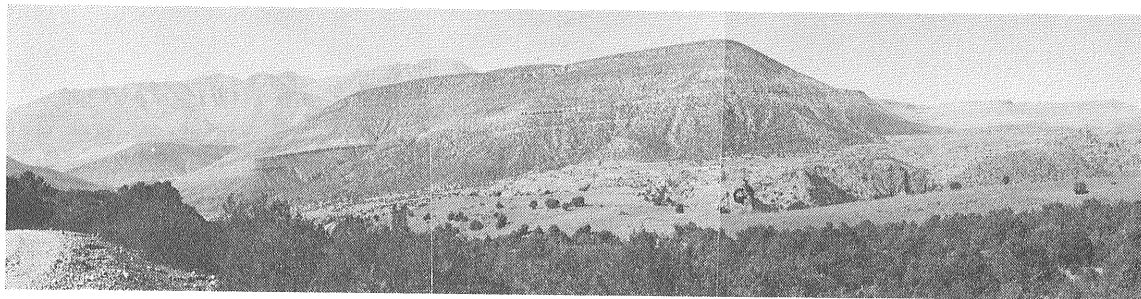


写真1—② アゼグール鉱山は手前の樹林の谷間にある。◎は花崗岩体。 背後の山脈は3800—4000m級のオートアトラス

発達にみられるように NEE—SWW方向を主軸とする構造断層帯や褶曲帯が存在するが 一方ではクラトンの上部に緩傾斜で分布する古生代以降の地層 また オートアトラス北部 メセタ地域にみられるような中生代の地層の変動の少ない水平的な堆積盆の分布 さらに北部地中海沿岸の若いアルプス型造山帯までが知られている。

モロッコの地質構造の軸をつくった中生代以降の構造運動でオートアトラス帯と この北部の地中海沿岸帯が形成されているが 前者の山岳帯には 標高4,000m以上の高峯もあり モロッコ北部をサハラ砂漠の熱砂風から護ると共に 大西洋からの湿潤な空気により降雨・降雪をもたらす 農牧業に対する豊かな恵みを与えていることもみのがせない。

既に モロッコの地質構造帯の 1)アンチアトラス帯 2)アトラス帯 3)リフ帯 については述べたが これらの中でのウラン鉱物の発見された地域 ならびに放射能異常帯は 先カンブリア代の地層から第三紀の地層に至るまでの広い範囲に及んでいる。

ウラン鉱物の発見は 先カンブリア代の花崗岩や変成岩中にも知られているが 一方これらの地層中にみられる銅 鉛亜鉛 コバルト タングステン モリブデン鉱床などの中にも知られている。 また古生代ヘルシニア期の花崗岩類やその周辺地域にも 多くの放射能異常が知られており その一部では探鉱が行われている。 しかし 最も興味もたれているのは (I)古生代中期以前のオルドビス紀 シルル紀 デボン紀の泥質源変成岩中の異常帯 (II)中生代三疊紀～白亜紀の内陸性赤色砂岩頁岩層 および(III)中生代～始新世の含ウラン燐鉱層である。 このほかに 先カンブリア代 ヘルシニア期の花崗岩パソリスの風化表面堆積物の中や裂隙中に カラパス型ウラン鉱微と変えられるものが 各所に報告されており 褐鉄鉱汚染やノジュール状の珪質褐鉄鉱塊に時として $0.2\mu\text{R}/\text{h} \sim 2\mu\text{R}/\text{h}$ と高い値を示すものが発見されている。 しかし 現在までの調査では鉱量的な情

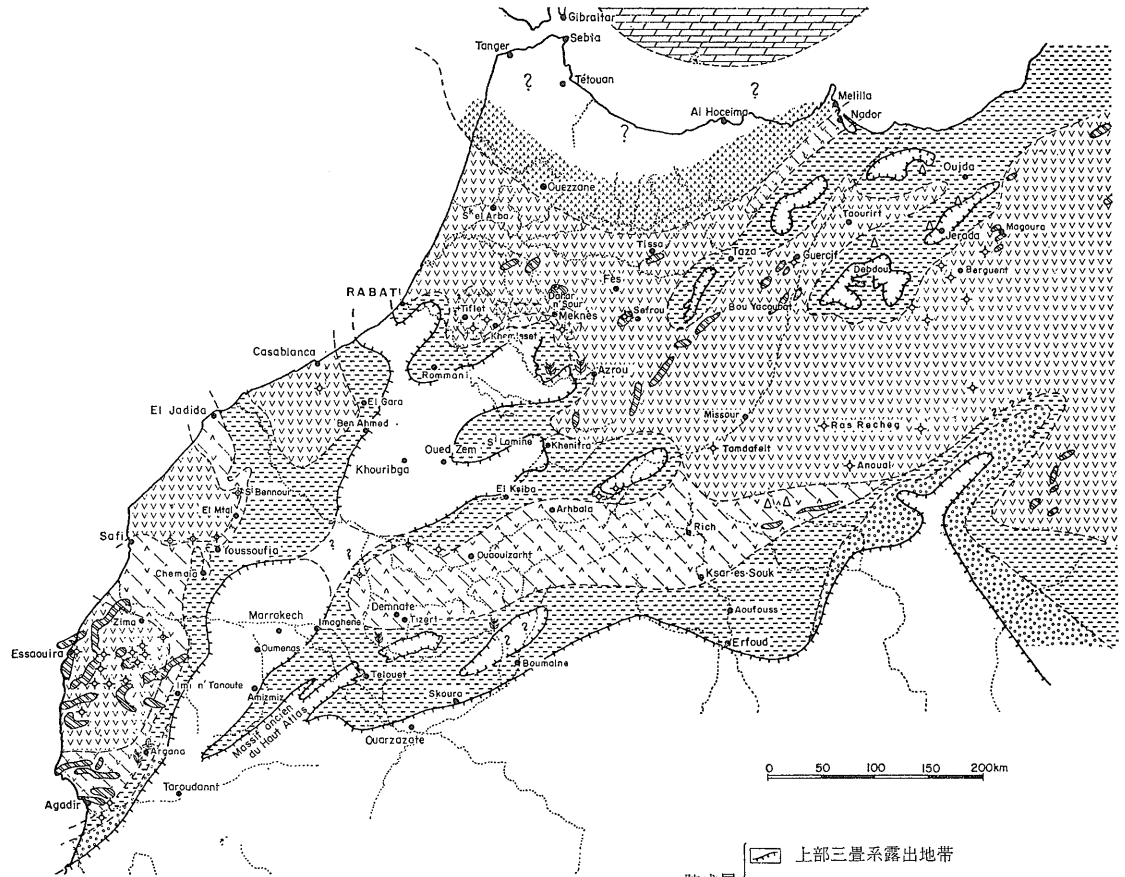
報を得るまでには至っていない。

また 先カンブリア代またはヘルシニア期の酸性貫入岩体に関係すると思われる鉱化作用にともないウラン鉱物の発見されている場合が2～3あり その中にモロッコでは比較的珍しい接触交代型の鉱床と考えられているアゼグール鉱山がある。 古生代の石灰岩とヘルシニア期の花崗岩との接触部に形成されたスカルン帯中にあるモリブデン鉱(主として灰重石) タングステン鉱 黄銅鉱 ベリル鉱物などを含む多金属鉱床中に 一部高異常帯が知られ 1950年の SOMAREM 調査では鉱体中の割れ目に胚胎する高異常鉱石からピッチブレンドを発見している。

1979年 この周辺の花崗岩体を含めて広域的調査を実施し 数ヶ所で $800 \sim 5,000\text{c}/\text{s}$ の異常帯を発見しているが坑内については休山中のためあまり詳しい調査はされていない。

その他ブアゼール鉱山のコバルト鉱床にもよって Brannerite を主とするウラン鉱が SOMAREM の調査で知られている。 コバルト鉱脈は5～7条が構造断層帯中に貫入し緑泥石化した石英閃緑岩中およびその周辺の変成岩中に胚胎し 若干の黄銅鉱 硫化鉱物は蛇紋岩体の周辺に濃集している。 1976年 ソ連専門家による調査では Brannerite-Coffinite-Nasturaneなどの鉱化作用がブアゼール東部など5地区の異常帯中で確認され これらのウラン鉱物は 断層帯の多くの割れ目に発見され 閃緑岩 流紋岩 安山岩などの非常に緑泥石化した岩石中に分布し コバルト鉱物より後からの低温-中温熱水鉱化作用で形成されたものであろうとしている。

また 同じ南アンチアトラス帯に分布するズゴンデル(Zgonder)の銀鉱山地域では ウランの鉱化作用が弱い広域変成をうけた砂岩源片岩中に発見されており これらは NS-EWの割目の交点付近で発達している。 そ



第3図 モロッコの上三畳系の模式的岩相図(Saliran, Dresnay, 1972による)

してこれらの鉱化部から採取した鉱石から地表部近くで Uranospinide Zeunerite また旧坑内の地表下50mのレベルでは Hydronasturane, Hydrocoffinite が同定されている。

何れにしても このような硫化鉱物をともなう鉱脈型鉱化作用に関係して多くのウラン示徴が知られているがウラン鉱床として十分に稼行されるものは未だ発見されていない。

次に すでにふれたモロッコで注目され 最も重点的に探鉱が行われている3つの形式の鉱化作用について やや詳しく述べてみよう。

1) 古生代中期の堆積岩 変成岩中のウラン鉱化作用

この時代は 先カンブリア代から ヘルシニア期の花崗岩パソリスの活動期までの相当長い地質時代に亘っているの で 特にとどの時代と限定するわけには行かないが アンチアトラス地域のアゴウジカル(Agoujgal) 鉱山周辺のように インフラカンブリア系のアルコーズ質あるい

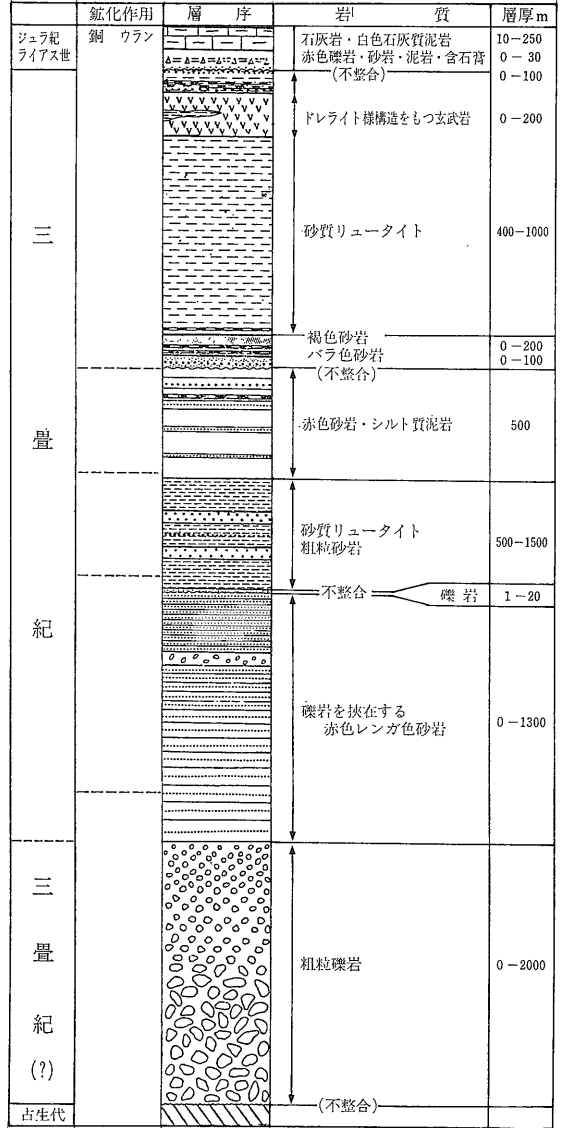
- 上部三畳系露出地帯
- 陸成層
 - 砂岩—礫岩相
- 中間層
 - 赤色泥質岩相(リュートタイト)
- 海成層
 - 混合塩相(硬石膏, 石膏, リュートタイトを伴う岩塩)
 - 純塩相(岩塩)+カリ塩
 - 硫化物相(硬石膏+石膏)
 - 炭酸塩相(アルプス型ドロマイト)
- 動物化石
- 植物化石
- 玄武岩中の石灰質礫堆積物

はドロマイト質の砂岩層中に 銅鉱物にともなって ウラン鉱徴が発見され そのウラン富鉱部の分析では 0.9~1.5%の値を示しているものもある。 これらの基盤は ケルドース (Kerdous) 地塊の花崗岩基盤上につれており イトニ (Itni) 地域の先カンブリア代の花崗岩上にある砂岩層中の異常と同じようなタイプのものと考えられている。 ただ イトニ地域の場合は 先カンブリア代古期の花崗岩基盤上にインフラカンブリア系のアドウドニアン砂岩礫岩層が不整合につれており この層準に放射能値の高いところが多数発見されている。

何れも基盤岩層中の黄褐色縞状層中に 高い異常値が示され 花崗岩中のウラン成分が濃集沈澱したものと推定される。

以上のほかに特殊な形態のものに 古生代カンブリア紀以降ヘルシニア期花崗岩体貫入以前の堆積岩層中に発見されている異常帯がある。 現在 民間探鉱会社が探鉱しているエジンガ地区のオルドビス紀角閃石雲母石墨などの層準をとまなう珪質の黒緑色片岩層中の放射能異常が知られている。 地表部では褐鉄鉱焼けをした部分が レンズ状に黒緑色片岩中に分布しているが ある層準の石英片岩層準の上位に異常が点在している。 露頭試料ならびに一部の短い試錐から得られた試料分析結果では数ヶ所で 0.24%U内外の値を示したほかは 0.01~0.15%Uのバラツキがあり 一定しない。 オルドビス紀の地層中のある一定層準にあったものが 花崗岩貫入に関係する熱水作用により 特定層準に濃集したものが あるいは花崗岩中からのウランが 移動して特定層準に濃集したものが明らかではない。 しかしこの花崗岩体中の周縁にはウランのほかに トリウム カリウムなどの異常値が知られ また タングステン モリブデンのほかに僅かではあるが 銅鉱物などを含有する石英脈の存在から 花崗岩貫入時の鉱化作用との関係が指摘されているものの詳細な研究は行われていない。 この近くには 東部に分布するウルメス (Oulmes) 花崗岩体の裂罅系から湧出する鉱泉は 微量のラドン性放射能を示すものがあることが知られている。 モロッコで市販されているソーダを含有する自然水 (Natural water) の“ウルメス”はこの付近の鉱泉水に炭酸を含有させたものであり これはウイスキーなどのソーダ水としても珍重されている。

そのほか ヘルシニア期の花崗岩体の貫入しているマラケッシュ北東部でも ビゼー統(下部石英系上部) ナムール統(上部石英系下部)などの砂岩 泥質海成層が 広範囲に分布しているが これらの地層は塩基性(一部酸性)火山活動をともない さらにこれらに関連すると思われる層状 レンズ状磁硫鉄鉱床を胚胎している。 一般的に広域変成作用をうけているが これらの地層上にナッペとして逆転して被覆してきている。 デボン紀 シルル紀 オルドビス紀などの砂岩 泥質岩に由来し 黒色石英片岩を主とする岩層中の雲母片岩 石英片岩などの中に異常が認められている。 ただこれらの地層中でも断層 裂罅などの発達により露頭部で 褐鉄鉱石英などの皮殻が発達している部分が異常に高く 1000~4000c/sをも示すのは二次的な濃集によるものと考えられ その



第4図 TIXERONT (1973) によるアルガナ地区地質柱状図

ウラン供給源の追跡が急務とされている。

その他の地域についても 同じような地質環境でウラン鉱徴の分布するところもあるが 現在までの調査では未だ十分なデータを得るまでには至っていない。 モロッコで 現在最も有望と思われるのは ヘルシニア期以降の堆積岩中に胚胎する鉱徴で 次にこれらについて述べる。

II) 中生代古~中期堆積岩中の鉱化作用

中生代三疊系からジュラ系 白亜系の分布はオートアトラス褶曲山脈を軸として 南アンチアトラス中西部地

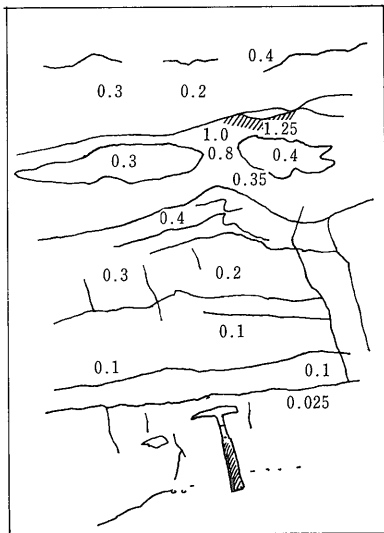


写真2
ワハガウラン鉱床放射能異常部
(数字は Aloka によるmr/Hr
の値)

域 モヨンアトラス (Moyon Atlas) ならびにメセタ (Meseta) 帯などの北部地域に広い範囲に及んでいる。

第2表 コロラドとワハガ鉱床との比較 P. Potherat(1979)による

区 分	コロラド	ワハガ
地質時代	ジュラ紀 (Chinle) 三疊紀 (Morisson)	白亜紀前期
構成岩石	(河成砂岩 湖成粘土岩)	デルタ様河成砂岩頁岩
上位岩石	海岸成砂岩	石灰岩-マール
関連岩石	粘土岩-エバポライト	エバポライト
共存する火山性供給物質	変質砂岩20% (凝灰岩)	流紋岩礫-8面体石英粒 カオリン
鉱化チャンネル	デルタ様河成原ラグーン	デルタ デルタ様河成原
鉱化堆積の時期	チャンネルが被覆される直前	チャンネルが被覆される直前
鉱体規模	200m~1000m	250m×50m×1~2m
変質	鉄の分解による脱色	二次的富鉱化(熱水性)
ウラン鉱物	Uraninite-Coffinite	Carrotite (?)
共生鉱物元素	V-Cu	Cu

その分布範囲は第3図に示す。

これらの中生代堆積岩層中の代表的なウラン鉱徴の一例としてワハガの鉱徴がある。

ワハガの鉱徴については 1977年地質調査によって B. R. P. M の地質関係者により発見されてから一部坑道探鉱を行うなど最も良く探鉱され 規模は小さいが 北米のコロラド型鉱床に 鉱化作用 鉱石などが非常に良く類似し P. POTHERAT により簡単な対比が行われている

鉱化作用は 白亜紀下部内陸性赤色砂岩泥岩中の含有機物 炭質物を含む脱色帯中に認められる。ウラン鉱化作用が行われた当時の古気候は 熱帯乾燥性であり 氾濫原またデルタ様の流域に発達する くし状また樹枝状の小河川中の酸化還元環境の交錯する中で その酸化前線に沿って沈澱濃集したものと考えられ ウランは炭

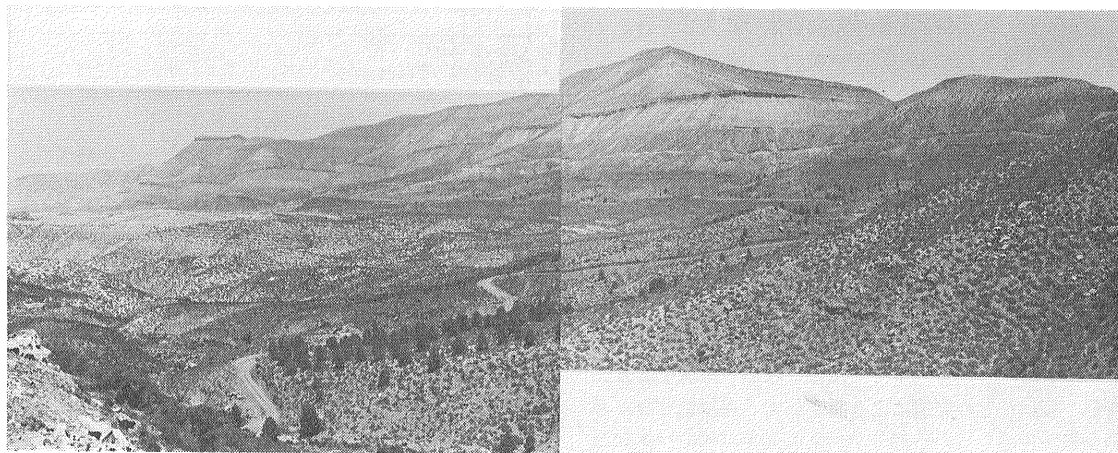
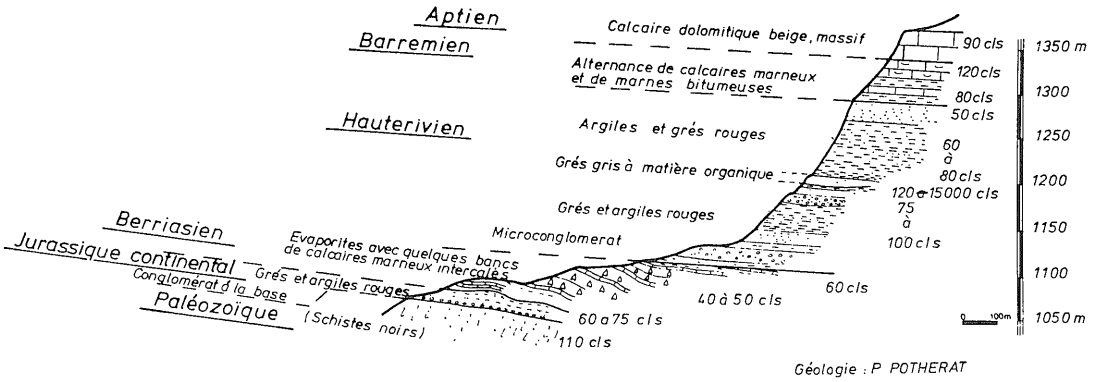


写真3 ワハガ鉱床周辺の赤色堆積岩層の分布地域の様相写真右側端が現在の坑道探鉱地点(山の影で見えない)

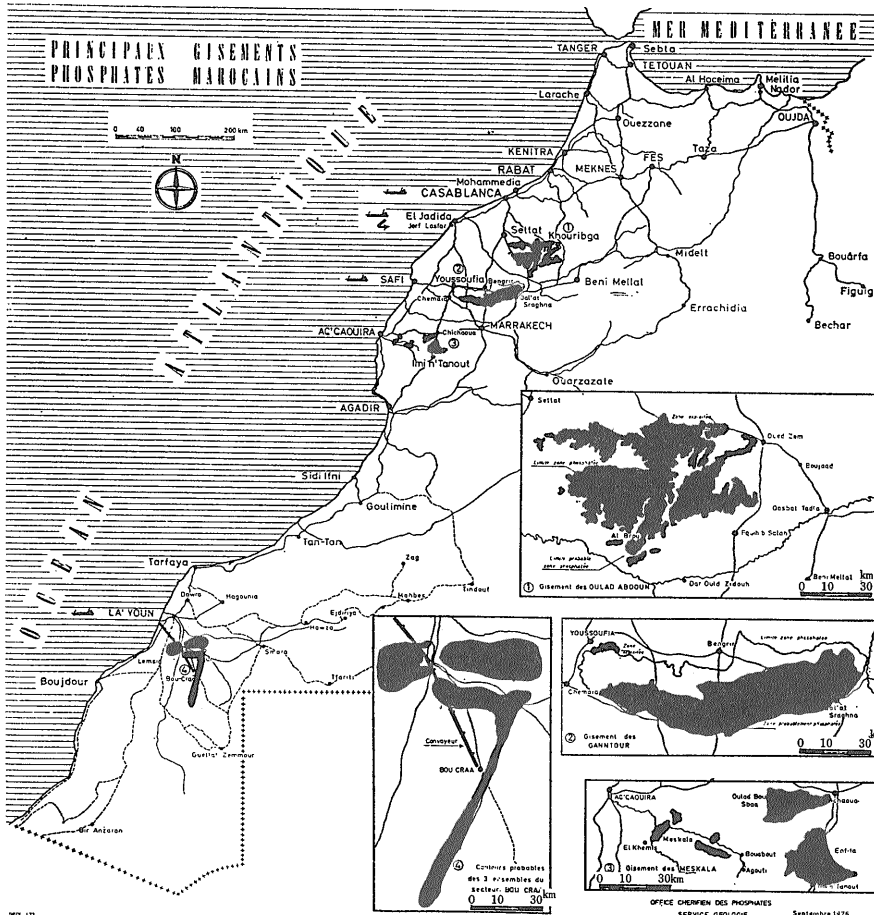


Géologie : P. POTHERAT

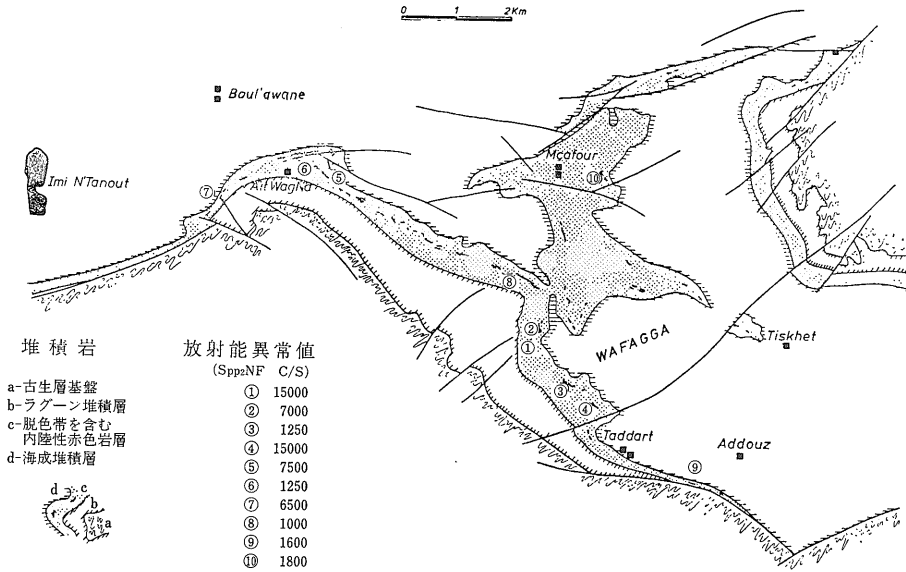
第5図 POTHERAT (1979)によるワハガ地区のウラン鉱床層準模式図
放射能測定値はフランス製シンチレーションカウンター-SPP2NFによるものである。

質物 有機物の分布する層に 濃集する傾向のあることが知られている。特に 内陸性赤色堆積岩中の酸性水によって脱色された層の中の 有機物 褐鉄鉱(硫化鉄鉱

から変質)などの多い部分で 高品位を示し 有機物の中には植物の小枝なども認められ また 微量の黄鉄鉱スポットも散点している。最近の坑道探鉱からの坑内地



第8図 モロッコ燐鉱床分布地域



第6図
ワハガ地区の放射能異常値POT HERAT (1979) による

質図によれば“ロール状鉱体”の形態を示す部分も知られ 小型のコロラド型ウラン鉱床と考えられている。

今後の探鉱に関しては B. R. P. M は このワハガ鉱床胚胎層準を 東方アゼゴール花崗岩体を含めて東部に追跡することを本年度から計画し 日本側に政府間ベースの協力調査を要請している。

また この種の堆積岩層はオートアトラスを軸として北側に広く分布し これらの中にも部分的に異常の発見されているところも多く 興味のもたれる対象地域である。

III) 中生代～始新世含ウラン燐鉱層

中生代ジュラ紀末から白亜紀 一部始新世に亘る地質時代の地層中に モロッコ中央部から西部大西洋海岸に亘る地域に数多くの燐鉱層が分布している。

その代表的鉱床は カサブランカ南東方グリーブガ南方の ユーソフィアベンギリール 更に南方のシシヤワと サハラ西部ボクラの4 地区に知られており これらの燐鉱床には 70—230PPMU が含有されていることが報告されている。 フランス Uranium PUK 技術者の報告によれば モロッコの燐鉱石埋蔵量は 世界全体 180 億トン中の55%を占めるともいわれており これら鉱石中の含有ウランも比較的高いとされている。

知られている世界の海成燐鉱層中のUポテンシャルでは モロッコを含めたアフリカ全体で 850 万トンが想定され これは 現在稼行されているものを含めた燐鉱床以外のウラン鉱床中の Uポテンシャル 650—1,480

万トン※に匹敵し 次代ウラン資源として最も注目すべきものといえる。

米国では 既に1976年から 燐酸製造プロセス中にウラン回収プロセスを繰込み ウラン回収をはじめ 1980 年度にはウラン1500トン/年を生産しているが モロッコでも 米国の回収技術を受け入れ 前に述べた鉱山エネルギー大臣のスピーチで強調されたような計画をもっている。

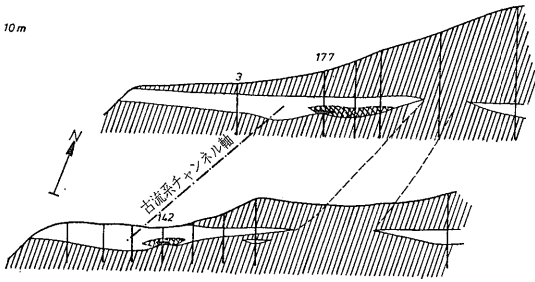
一般的にみて モロッコの海成ペレット型燐鉱層は 中生代後期 特に白亜紀から始新世に至る海進性入江状の地向斜性あるいは沈降性プラットフォームに形成されたもので 広範囲の分布域を示している。

ウラン分析値は 現在最も多く燐鉱石を産出しているクーリブガ付近のもので 平均0.014%と報告されているが 動物骨 貝殻 生物遺骸片の多いペレット型燐鉱層部分のみをとれば 0.022% さらに骨片部分のみをとれば0.08%以上の値を示している。

現在 筆者の担当しているラハムナ地区のウラン探査区域に近い ベンギリール 東部の燐鉱層地域では 石灰岩—マール層 燐鉱層との累層中で 燐鉱層中のペレット型燐鉱層部分の測定値は SPP2NF※※の測定値で 1000~2000c/sを示し分析値は0.023%Uを示した。 これらの鉱層は何れも骨片孔質の燐鉱で 上位に石灰質燐鉱層やチャート ノジュールなどのガサガサの堆積層なので堆積後の含ウラン溶液の循環によることも考えられている。

※ OECDレポート1978年12月(自由世界のみ)

※※ フランス製シンチレーションカウンター

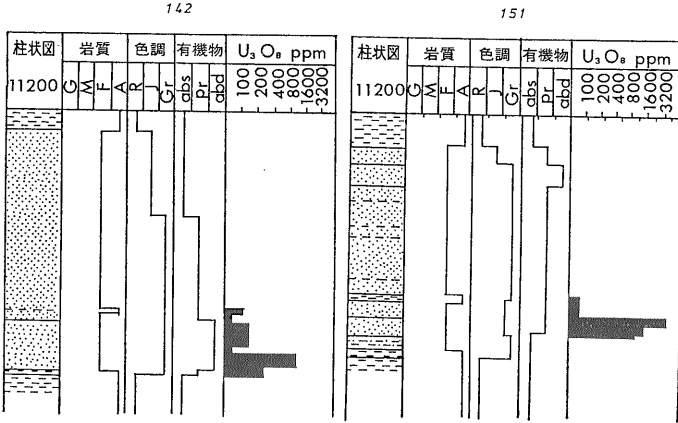


凡例

- 赤色頁岩砂岩層
- 灰色砂岩層
- 高放射能部
- 中放射能部

第7図

ワハガ鉱床断面図と柱状図
B. R. P. M. (1979) レポート
より



岩質

- G: 粗粒砂岩
- M: 中粒砂岩
- F: 細粒砂岩
- A: 頁岩およびマール

色調

- R: 赤色
- J: 黄色
- Gr: 灰色

有機物

- abs: 含有せず
- pr: 普通
- abd: 多量

成因的な検討は別にしても モロッコの場合ウラン燐鉱床は ウランの次代供給源として脚光をあびることは間違いないものと思われる。

最後に興味ある他のウランの濃集例をあげておく。モロッコ中央部 チマヒディトに発見されているオイルシェールは 上記燐鉱層と同じく 中部白亜紀の海成石灰質層中に挟まれる弱含油質泥灰岩層で オイルシェール開発プロジェクトとして BRPMが米国の会社と開

発計画を進めている。現在のところ 100億トン(741/t)と品位はあまり高くないが 産油のほとんどないモロッコとしては重要なエネルギー資源として考えられているが このオイルシェール中の一部に試錐コアの分析から 部分的に0.1~0.3%のウラン含有を示すところが発見されており興味もたれている。但し 試錐コアは 深度153m内外の位置からのものであり 今後の調査が要望されるところである。

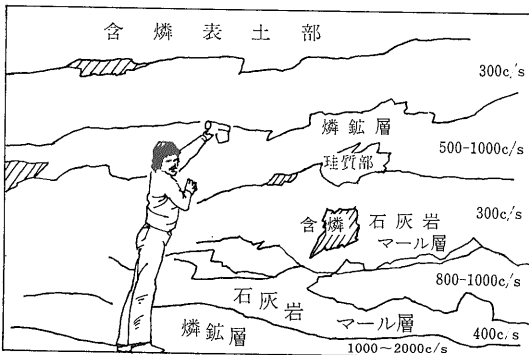


写真4 ベングリエル 燐鉱床