

# 世界のウラン資源

浜地 忠男

わが国のウラン資源に対する組織的探査は 1954年から開始され 翌1955年11月には地質調査所カーボン調査班により岡山—鳥取県境の露頭が発見された。 1956年には原子燃料公社が設立されて同地区の探鉱が急速に行なわれた結果 現在では約2,000トンのウランの埋蔵量が確認された。 世界のウラン資源については 数年前の地質ニュースで紹介されたが 現在では事情も大きく変った。 これらについて紹介しよう。

## はじめに

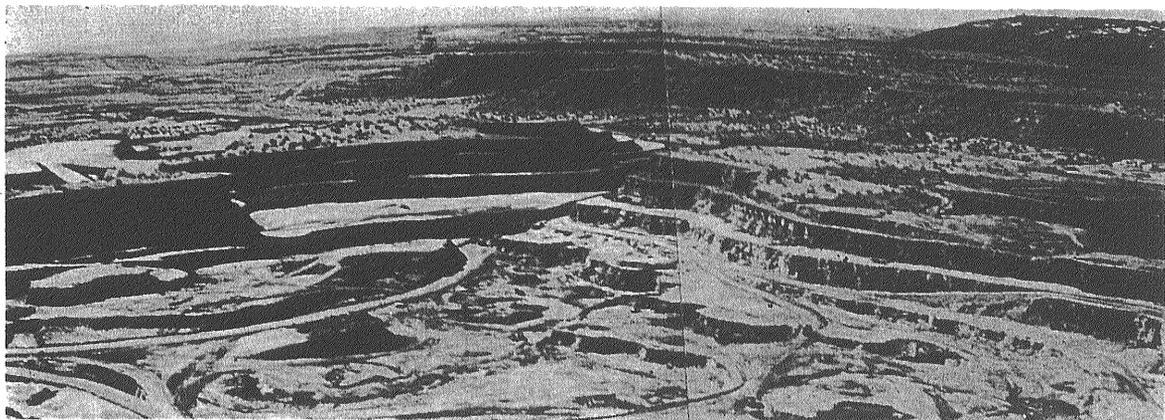
10年前までは不足と考えられていた世界のウラン資源も1940年代の後半から活発に行なわれた探査の結果 続々と新鉱床が発見され 埋蔵量も加速度的に増大するとともに 生産量も1959年にはピークに達し 約43,000トン  $U_3O_8$  となった (以下トンはすべてショートトンをあらわす。メートルトンへの換算は0.91をかける)。 産産圏を入れて50,000トン位 ~ そして少なくとも1953年まではウランの生産に主役を果たした 熱水鉱脈ウラン鉱床は脇役的存在となり いわゆる堆積型鉱床が重要になった

ウランの主要生産国となったカナダでは 1959年にはウランの生産額は3億2,000万ドルに達して全鉱産物のトップを占め 2位のニッケルの2億7,000万ドルを大きく引き離れた。 また ウラン鉱床の探査および採掘がすすむと共に詳しい鉱床の記載が多数公表され—例えば世界の代表的な学術雑誌である “Economic Geology” には1954年以来 110編以上の論文が公表された—ウランがどのようにして濃集してウラン鉱床を形成したかという鉱床成因論も発展し とくに先カンブリア紀の

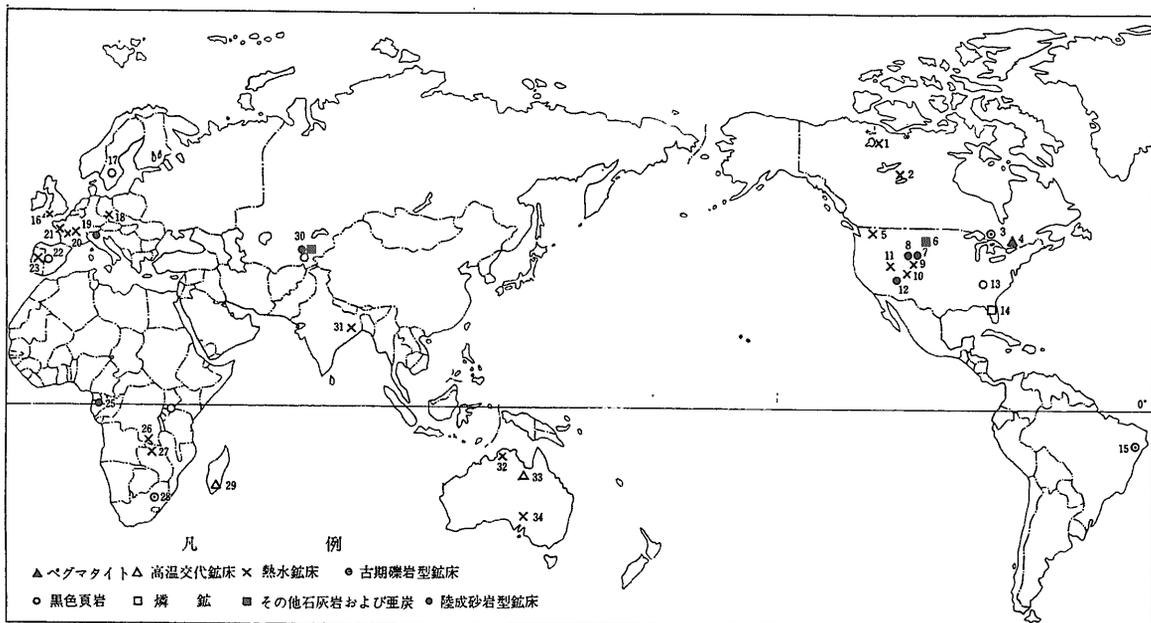
礫岩層中のものや コロラド高原の陸成堆積岩中のものはその規模も大きく 色々の成因説が発表された。

## ウラン鉱業の歴史

18世紀末に ドイツの化学者クラプロート (M.H. Klaproth) は 古くから多数の鉱山が採掘されていたエルツゲビルゲ (Erzgebirge) 地方で その前から “Pechblend” と呼ばれていた鉱物から 酸化ウランを分離して新元素と考えた。 これがウランの歴史のはじまりである。 19世紀の後半には窯業用着色剤に使用され とくに1898年にキュリー (Curie) 夫妻によりエルツゲビルゲのチェコ側にある ヨアヒムスタール (Joachimsthal) 産のピッチブレンド (pitchblende) から ラジウムの分離に成功した後は ラジウムが医療用として重視されたので ウラン鉱はさらに経済的価値を持つようになった。 第2次大戦当時からウランの核分裂エネルギーが兵器として取り上げられ 軍需用としての価値を持つようになったことは 湯川秀樹博士の「中性子理論」 世界唯一の原爆被災国日本とともに私どもに直結した問題であった。 さらに1950年代になり このエネルギーは発電用



世界一のウラン鉱床の露天掘 アメリカ合衆国ニューメキシコ州の国道66号線の Laguna 北方8マイルの Laguna インディアン保護地の北部にある Jack Pile 鉱山 鉱床は モリソン層 (ジュラ紀) の Jack Pile 砂岩中に2枚あって 水平に横たわり 400m×2000mの広がりを持ち 各々は 厚さ最大15m 平均6mを持つ この写真は北方のメサの上から南方を写したもので 三段の剝土作業 (30m) の下が鉱体である



第1図 世界のウラン 鉱床 分布 図

1. Port Radium 2. Beaverlodge 3. Blind River 4. Bancroft 5. Midnite 鉱山 6. Dakota Plane 7. Black Hills 8. Wyoming 9. Schwarzwald 鉱山 10. Los Ochos 鉱山 11. Marysvale 12. Colorado Plateau 13. Tennessee 14. Central Florida 15. Jacobina 16. Cornwall 17. Southern Sweden 18. Joachimsthal 19. Forez 20. Limousin 21. Vendée 22. Caceres-Salamanca 23. Urgeriça 24. Eastern and Central Alps 25. Mounana 26. Shinkolobwe 27. Nkana 鉱山 28. Witwatersrand 29. Fort Dauphin 30. Ferghana 31. Jaduguda 32. Ram Jungle 33. Mary Kathleen 34. Radium Hill

や船舶推進用の平和利用が 積極的に研究されるようになった。

### 19 世紀 後半

チェコスロバキア (旧ボヘミア) は ガラスや陶磁器工業が発達しており ヨアヒムスタールではすでに16世紀から銀の採掘が広く行なわれていた。ウランは19世紀後半から窯業用の着色剤として使用されるようになったその頃ポルトガルのウルゲリサ (Urgeriça) 鉱山から二次ウラン鉱物が採掘され その産額はヨアヒムスタールについて2位であった。一方イギリスの南西端にあるデボン (Devon) およびコーンウォール (Cornwall) 地方ではすでに1450年頃から錫 銅および鉛の鉱山が多数開発されていたが デボンのキングスウッド (Kingswood) 鉱山 コーンウォールのサウス・テラス (South Terras) 鉱山とウィール・トレンウィス (Trenwith) 鉱山から 1878年~1909年間に数千トンの中品位ピッチブレンド鉱石を産出し 世界第3位に数えられた。アメリカ合衆国ではコロラド (Colorado) 州デンバー (Denver) 西方のセントラル・シティー (Central City) 付近の金銀を採掘していたウッド (Wood) 鉱山と カーク (Kirk) 鉱山から比較的高品位のピッチブレンド鉱石が コーンウォールとほぼ同時期に数百トン出鉱された

### 20 世紀 初め— 2 次 大 戦

1898年のラジウムの発見後はウラン中に含まれている微量のラジウム—放射平衡にあるウラン中にはウラン 1g に対して  $3.38 \times 10^{-7}g$  のラジウムが含まれている—を求めするためにウラン鉱が探鉱され採掘された。ヨアヒムスタールでは 引き続いてラジウムを入手するためにウラン鉱が採掘されて 1935年までにはラジウムの産出量は 100g となった。恐らく1930年代も毎年3~4gのラジウムを産出したものと思われるので 金属ウランとして1940年頃までには 400トンに近い量が採掘されたものと推定される。ところが 1899年にはコロラド州のユラバン鉱物帯 (Uravan Mineral Belt) ですでにカルノー石 ( $K_2(UO_2)_2(V_2O_8) \cdot 3H_2O$ ) が モリソン (Morrison) 層 (ジュラ紀) の砂岩中で発見されていたので 1910年からラジウムを目的に採掘され 1914年には88トンのウランと22gのラジウムを生産し翌1915年には47,000トンの鉱石を採掘して 20トンのウラン 627トンのバナジウム 6gのラジウムを回収して世界第1の産地となった。同じ頃すでに1893年にウランを含有することが発見されていたスウェーデンのアルム頁岩 (Alum Shale) の高品位の部分が1909年に採掘された。またオーストラリアのラジウム・ヒル (Radium Hill) では 1906年から1915年まで300mg 以上の

ラジウムを産出した。ソ連中央アジアのフェルガーナ (Ferghana) では 1908~1913年に 2.39g のラジウムを産出した。

ところが 1915年にコンゴのカタンガ (Katanga) で高品位のウラン鉱を含むシンコロベ (Shinkolobwe) 鉱床が発見されて 1923年に出鉱するようになると事情が変わった。それまでミリグラム当り110~115ドルしていたラジウムは 70ドルに下落して コロラド高原の産出量はへり ほとんどの鉱山が閉鎖されて1935年には約1トンのウランと 400mgのラジウムを生産したにすぎなかった。しかしコロラド高原のウランは その前に世界一の産出量を示していたので 1930年代の後半に世界中に頒布されていたラジウムの半分——600g (約1,800トンのウランに相当) がこの地方から供給されたものと言われている。

シンコロベ鉱山は1923年にはラジウムを20g 産出したが 年々60g 内外を産し1933年には合計322.7g のラジウム (約1,000トンのウランに相当) を産出した。ところがシンコロベによるラジウム市場の独占形態は 1930年にカナダの北西地方 (Northwest Territories) のグレート・ベアー (Great Bear) 湖のポート・ラジウム (Port Radium) でウラン鉱が発見され エルドラド (Eldorado) 鉱山が開発されるとともに崩れ去った。1935年にはエルドラド鉱山は161トンのピッチブレンドを産出して5g のラジウム 17トンのウランを回収したそして両鉱山の経営者は 協定を結んで世界市場をコンゴ6 カナダ4 の割合に分割して 第2次大戦までの状態が続いた。ラジウムを目的にウラン鉱が採掘された期間を通じて世界中で金属ウランとして 4,000~5,000トンは採掘されたものと想像され 後半で主役を演じたのはシンコロベとエルドラド鉱山であった。

## 第2次大戦～現在

第2次大戦の途中からウランの核分裂エネルギーを兵器として利用することが研究され そのためにはウランを大量に確保することが必要となった。1942年にはエルドラド鉱山に初歩的なミル (mill) (ウラン鉱石に化

産 地 別	産 出 量 (含有U量)
シンコロベ(コ ン ゴ)	600t
ポートルジウム(カ ナ ダ)	450
コロラド高原(アメリカ合衆国)	27
ヨアヒミスタール(チェコスロバキア)	8
エルツゲビルゲ(ド イ ツ)	8
ウルゲリサ(ポルトガル)	3
計	1,090t

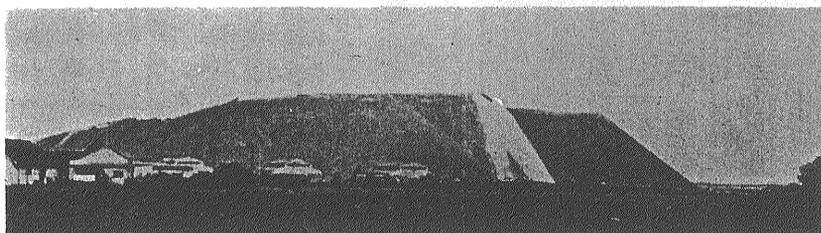
第1表  
1942年のウラン鉱産額

学処理を行なって純度の高いウラン化合物 すなわち化学精鉱を製造する粗精錬場) が建設された。全世界の生産量は 第1表のように約1,000トンとなった。

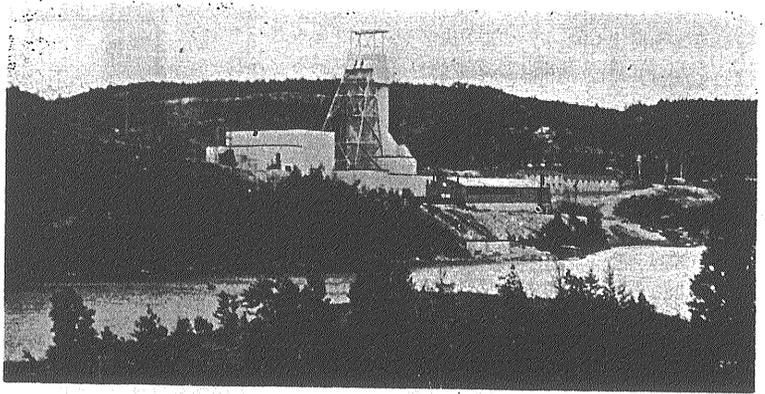
第2次大戦が終っても軍需用としてのウラン鉱床の探査は 世界中で必死で行なわれた。

南アフリカ共和国は 金鉱の産地として古くから有名で その主産地はトランスバール (Transvaal) 州のヨハネスブルグ (Johannesburg) から オレンジ自由州 (Orange Free State) の中央部に広がる 25,000平方km に及ぶ地域に広く発達する 先カンブリア紀の礫岩層中の鉱床である。この地域はウイトウォースランド (Witwatersrand) あるいは Rand 地方と呼ばれ金は1886年に発見され直ちに開発されたが これがイギリスとボーア人の間の南アフリカ戦争 (1899~1902年) の一つの原因となったほど巨大な鉱床で最も深い坑道は 地下2,400mにも及び 現在まで100億ドル (3兆6000億円) 以上の金が掘り出され 現在でも自由世界の産金量の70%以上を占めている。この含金礫岩層に閃ウラン鉱が含まれていることは 1923年に発見されていたので 1944年にはアメリカ合衆国の調査団が派遣された。1946年には南アフリカ政府にウラン研究委員会が発足して 低品位のウラン鉱からウランを抽出する方法が研究され 1952年8月に最初のミルがヨハネスブルグ市の西方約300kmのクルーゲルスドルフ (Krugersdorp) に完成してウラン精鉱を生産した。50数年以上も採掘された金鉱の廃滓は ウラン鉱の元鉱となり 最盛時には23のミルで 年間1,000万トン以上の元鉱を処理して 1959年にはイエローケーク (化学精鉱) を約6,500トン  $U_3O_8$  産出した。

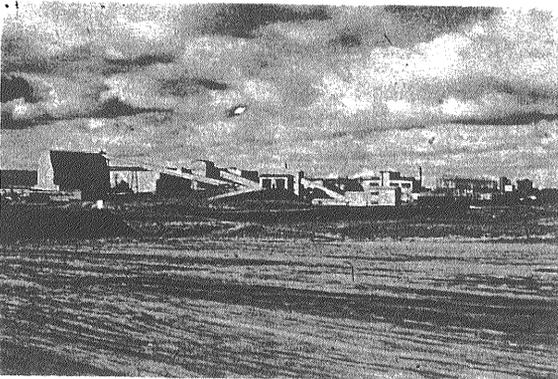
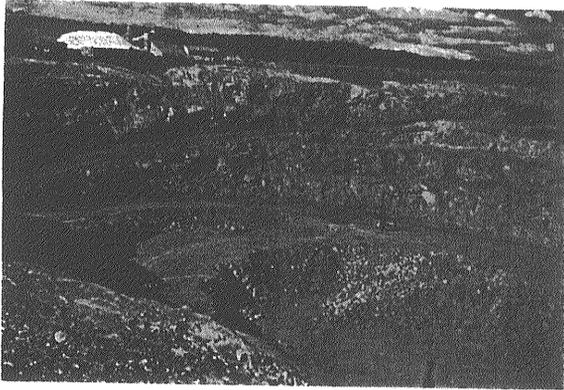
白いボタ山 南アフリカ共和国の Witwatersrand地方の金のスライムは半世紀以上にわたり積みあげられており世界のウラン資源の重要な部分を占めている (NHK提供)



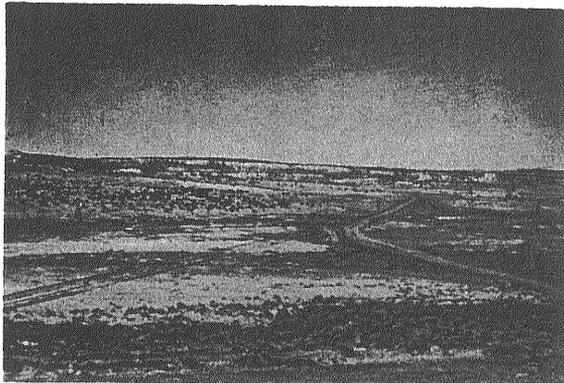
カナダ オンタリオ州 Blind River 地区の北部鉱床帯にある Consolidated Dennison社の Quirke 湖にのぞむ堅坑 地下100~200mで厚さ数mの先カンブリア紀の含ウラン礫岩を採掘 同社は1日6,000トン処理のミルを所有していたがカナダのウラン鉱業縮少のプログラムにしたがい1964年7月に休山



カナダ サスカチワン州 Beaverlodge 地区にある Gunnar 鉱山の露天掘 先カンブリア紀の閃長石化岩の角礫化された部分に賦存する熱水鉱床で鉱体は 不規則なパイプ状 露天掘の径は300m 深さ数10m すりばち状 最盛期には1日2,000トンの粗鉱を採掘 1963年に休山



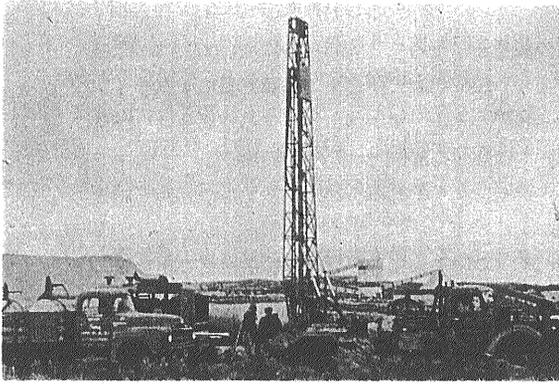
アメリカ ニューメキシコ州 Grants 西方 Bluewater にあるアナコンダ会社のミル 処理能力は1日3,000トン Jack Pile 鉱山のを鉱石処理する



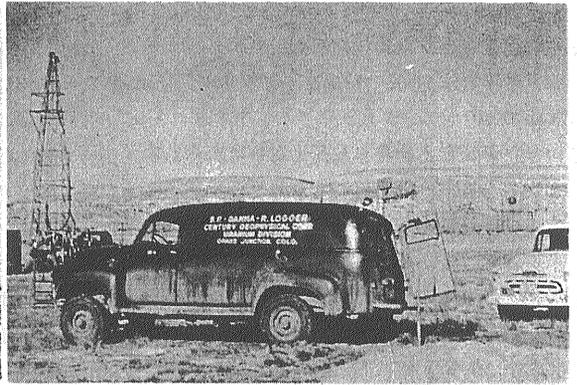
アメリカ ニューメキシコ州 Ambrosia Lake 地区 Grants 北方約30km Jack Pile 鉱山の北西約60kmにある 一つの地区として ウラン埋蔵量 生産量ともに合衆国第1である 鉱床はモリソン層(ジュラ紀)の Westwater 砂岩中に賦存する

カナダでは ポートラジウムのエルドラド鉱山は その後もウランを生産し 1952年まではカナダで唯一のウラン鉱山であった。しかしすでに1935年にニコルソン(Nicholson) 鉱山からピッチブレンドの存在がわかってきたサスカチワン(Saskatchewan) 州のビーバーロッジ(Beaverlodge) 湖地区では 大戦中から徹底的に探鉱が行なわれた。その結果1946年には現在のエルドラド鉱山(Eldorado Mining and Refining, Ltd.—政府所有公社)の露頭が発見され 1953年4月には500トン/日処理のミルが開始されるようになった。同地区ではさらにガンナー(Gunnar) 鉱山も1955年にミルが完成し最盛期の1959年には6つの鉱山が稼行され 同地区のミルの処理能力は4,750トン/日となった。

ところが ニッケルの産地として有名なオンタリオ(Ontario) 州のサッドベリ(Sudbury) 西方約150kmのヒューロン湖の北岸で 1948年頃から放射能のある試料が出たという情報があった。すでにこの地区の地質図はカナダ地質調査所で公開されており その中のブラインド・リバー(Blind River) 地区は そのころウラン資源として注目されていた南アフリカの鉱床と地質状況が類似していたので 同地区が探査の対象にとり上げられて1953年に放射能異常を示す露頭が発見された。多数の鉱区が設定されて 500平方マイルという比較的狭い地区に延べ深度240kmに及ぶ試錐探鉱が実施された結果金は含まないがトリウムを含む先カンブリア紀の巨大な礫岩型鉱床が発見された。ちょうどウラン鉱ブームの最盛期に当たっていたとはいえ 発見後数年にして30数万トン  $U_3O_8$  の埋蔵量を確保し 1959年には11のミルで33,000トン/日の処理能力を持ち 全世界の生産量の約30%を占めるに至ったのは 鉱山業の歴史においてその例を見ないであろう。カナダでは他にオンタリオ州のバンクロフト(Bancroft) 地区でペグマタイト性の鉱床が開発された。



ウラン鉱の探査 アメリカ合衆国のウラン鉱床地帯では 高原で水が少ないので 試錐車と給水車がベアとなって 能率的に試錐を行なう 1957年の試錐孔の延べは 実に2,800kmに及んだ



検層車 試錐作業が終わると 直ちに検層車の出動となり 放射能自然電位 比抵抗が 自記記録装置により 記録紙にえがかれ 試錐コアとともに 地層対比 鉱床の層準の対比に重要な役割りを果たす

アメリカ合衆国では 1948年までは わずかにコロラド高原の含カルノー石砂岩(ジュラ紀)とセントラル・シティー周辺の含ピッチブレンド鉱脈しかウラン鉱の産出は知られていなかった。1947年にはコロラド州ライフル(Rifle)に最初のミルが完成して 12月に初めてイエローケーキが出荷された。1949年にはユタ州ソルトレイク(Salt Lake)市南方のマリズバール(Marysville)で熱水性鉱脈鉱床が発見されるとともに “black ore” と呼ばれる閃ウラン鉱やコフィン石を含む真黒な鉱石が含カルノー石砂岩の深部で発見され またニューメキシコ州グランツ(Grants)の北方ではモリソン層の下位にあるトディルト(Todilto)石灰岩(ジュラ紀)中からウラノフェーンが発見された。この2つの発見は非常に重要な意味を持つもので 前者の発見はカルノー石を含む露頭は 深部では非酸化鉱床になることを意味し 後者の発見は ウラン鉱床がモリソン層以外の地層にも分布することを意味した。したがってウラン鉱床の露頭の奥には 無数の試錐探査が行なわれるとともにコロラド高原のモリソン層以外の地層 あるいはワイオミング(Wyoming)や南ダコタ(South Dakota)州の平原にまで探査の目が向けられるようになった。1950年はグランツの東方で ジャック・パイル(Jack Pile)鉱山の露頭がモリソン層中で発見されるとともに トディルト石灰岩のさらに北方のモリソン層中にも 露頭が発見され これがエムブロージャ湖(Ambrosia Lake)地区の大鉱床発見の糸口となった。

1951年にはユタ州でチンリー(Chinle)層(三疊紀)から銅-ウラン鉱床が発見され ワイオミングや南ダコタ州からもカルノー石を含む露頭が発見された。

1952年には ユタ州ビッグ・インディアン・ウォッシュ(Big Indian Wash)でチンリー層のモス・バック(Moss

Back)砂岩層から今までに知られていないほどの10mの厚さを持つ大きい鉱床が発見された。また フロリダ(Florida)州の燐鉱から副産物としてウランが回収され始めた。この年アメリカ合衆国では200以上の鉱山で5,000人以上が働き 政府および民間業者がウラン探査のために実施した試錐深度は延べ600km近く 産出量も1,000トン  $U_3O_8$  前後となり ウラン鉱業もようやく鉱業界の一分野を占めるようになった。

1953年には鉱山も525となり チャールス・ステーションの経営するビッグ・インディアン・ウォッシュのミ・ビダ(Mi Vida)鉱山は実に240万ドルの鉱石を出鉱した また ジャック・パイルの鉱石と トディルト石灰岩中のウランを処理するために アナコンダ銅鉱山会社(Anaconda Copper Mining Co.)はグランツの近くに3,000トン/日処理という当時のアメリカの最大のミルを9月に完成した。また ワイオミング州のガス・ヒル(Gass Hill)地区で 第三紀始新世のウインド・リバー(Wind River)層中にも露頭が発見され これは後にコロラド高原を除いた地方の最大のウラン鉱床に発展した

1959年には埋蔵量は約24万トン  $U_3O_8$  となり 生産量は1960年にピークに達して18,000トン  $U_3O_8$  弱を生産した。この年には1,000以上の鉱山と25のミルが稼行してミルの鉱石処理能力は約22,500トン/日(内グランツ地区に5つのミルで10,275トン/日)に達し 約3億ドルの生産額となった。もちろんこれだけの急速なウラン鉱業の発展には莫大なドルが投入された。たとえば試錐探鉱がそのピークに達した1957年には 試錐孔の延べ深度は約2,800kmに達し 1948年~58年間の試錐孔の延べは実に13,000kmに及んだ。

コロラド高原のような砂岩中の鉱床はテキサス(Texas)ワシントン(Washington)およびカリフォルニア(California)の各州でも発見された。一方鉱脈

型の鉱床も多数発見されたが マリズベール コロラド州ガニソン(Gunnison)地区 シュワルツワルダー(Schwarzwalder) 鉱山 ワシントン州ミッドナイト (Midnite) 鉱山などが新しく発見された大きい鉱床である。しかし これらの規模は堆積岩中のものに比べると全く小さく 全体を合わせても10,000トン  $U_3O_8$  位の埋蔵量しかない。

1953年当時は1,500トン  $U_3O_8$  以上の鉱量を持つものはわずか2鉱山 300~500トン  $U_3O_8$  のものが15~20あったが 現在では2,000トン  $U_3O_8$  以上の鉱山が相当多い。アメリカのウラン鉱業は政府の保護政策にたすけられ カナダや南アフリカ共和国のように急激な衰えはないが 1970年には現在の半分の生産量しか予定されていないので 大鉱山のみが生き残るであろう。

**オーストラリアでは** 南オーストラリア (South Australia) 州のラジウム・ヒルが1942年頃から再び探鉱され デービッド鉱 (Davidite) (鉄 稀土 チタンの酸化鉱物 ウラン約8%を含む) という難溶性鉱物がウラン鉱物であるにもかかわらず 1951年までには重要な鉱山となり1957年には225トンの精鉱を出した。一方1949年には北部地方 (Northern Territory) のダーウィン (Darwin) の近くでラム・ジャングル (Rum Jungle) 鉱床が発見され 1954年7月にはミルが完成した。同じ年にクイーンズランド (Queensland) 州の北西部でメリー・キャスリーン (Mary Kathleen) が発見されて探鉱が進められた結果 1958年には品位0.1%  $U_3O_8$  600

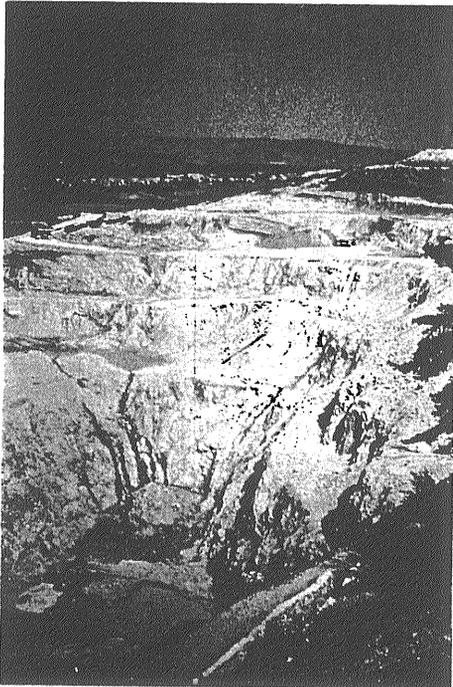
万トンの鉱量を得たので 同年10月には1,000トン/日のミルが完成し1962年末の閉山までに契約量の4,500トン  $U_3O_8$  を産出した。オーストラリアの産出量は 1961年にピークに達し1,500トン  $U_3O_8$  を出した。現在ではラム・ジャングルの鉱石が唯一つのミルの元鉱である

**フランス** の中央山塊と呼ばれる山岳地帯の北東端にあるオータン (Autun) の花崗岩中の割れ目に燐灰ウラン鉱 (Autunite) が産することは約100年前から知られていた。1945年以降探査が行なわれ 現在では破砕帯に伴う単純な鉱物組み合わせを示す熱水鉱脈型鉱床がリムザン (Limousin) フォレーズ (Forez) およびバンデー (Vendée) の3地区で採掘され 3つのミルが年間約120万トン以上の鉱石を処理し 千数百トン  $U_3O_8$  を生産している。また サン・ピエール (St. Pierre) のような第三紀漸新世の地層中にもウラン鉱床が発見された。フランス全体で約5万トン  $U_3O_8$  の埋蔵量を確保したが その内の95%は鉱脈型の鉱床に由来する。

**アフリカのガボン共和国** (旧フランス領赤道アフリカ) では 1956年に先カンブリア紀の砂岩 礫岩層中にコロラド高原の鉱床と類似した鉱床が発見され その規模も探査が進むとともに増大し 1961年から年間11万トンの粗鉱を処理するミルが操業を開始し 約320トンのウランを産出した。そして将来フランスの生産量の $\frac{1}{4}$ を分担するものと期待されている。また 有名な北ローデシアの銅鉱床地帯にも閃ウラン鉱が広く産出することがわかり その内のヌカーナ (Nkana) 鉱山の一部ではウラン鉱が採掘され 1957~59年には約100トン  $U_3O_8$  を産出した。

**南アメリカでは** アルゼンチンが堆積型および鉱脈型のウラン鉱床を多数発見し 1956~1961年に約220トン  $U_3O_8$  を産出した。

**ヨーロッパでは** スウェーデンがアルム頁岩からウランを抽出するミルを完成し 1956年から毎年10トン  $U_3O_8$ 内外の精鉱を出し イタリアではアルプスで二疊紀の結晶片岩や砂岩中に豊富なウラン鉱床を発見した。ポルトガルでは ウルゲリサ鉱山はついに1962年には閉山となって長い歴史をおわり スペインはマドリード (Madrid) 西方ポルトガルとの国境に近いカセレス (Caceres) およびサラマンカ (Salamanca) 地方で豊富なウラン鉱床を発見して 約5,700トン  $U_3O_8$  の鉱量を確保し 1959年から60トン  $U_3O_8$  を年間に産出している。フィンランドでは北カレリアで高品位の鉱床を発見し



フランスの著名な Limouzat 鉱山の露天掘の南東端フランス中央山塊東部にある熱水鉱床で 1952年に発見 鉱量は数千トン  $U_3O_8$  といわれ 1日に1,000トンの粗鉱を採掘 (関根良弘氏提供)

1959年から毎年約30トン  $U_3O_8$  相当量を処理のためスウェーデンに送っている。

**アジアでは** 日本のほかではインドが探査を積極的に行ない、すでに1916年に砒銅ウラン鉱の産出が知られていた。ビハール(Bihar)州のジャドグーダ(Jaduguda)で約9,000トン  $U_3O_8$  の埋蔵量を確保してソ連技術者の援助により開発された。

**ソ連でも** 探査は盛大に行なわれ、主としてフェルガーナ盆地から1960年頃には年間数千トン  $U_3O_8$  以上を生産したものと推定されている。

以上のようにウラン鉱業はウランが核エネルギー資源として利用されるようになったここ20年位の間に急激な発展をとげた。そしてラジウム時代と核エネルギー時代の前半を通じてその供給源となった4大産地—コンゴのシンコロベ、カナダのポート・ラジウム、チェコスロバキアのヨアヒムスタール、ポルトガルのウルグリーサーはすべてその生産を中止してしまった。

## 鉱石

ウラン鉱石として価値があるかどうかは色々の条件に左右される。採掘に耐えるだけの品位と鉱量は別として、鉱石からイエローケーキを製造するのに好都合な鉱物の組み合わせが、鉱石の価値を左右する。

### 規格

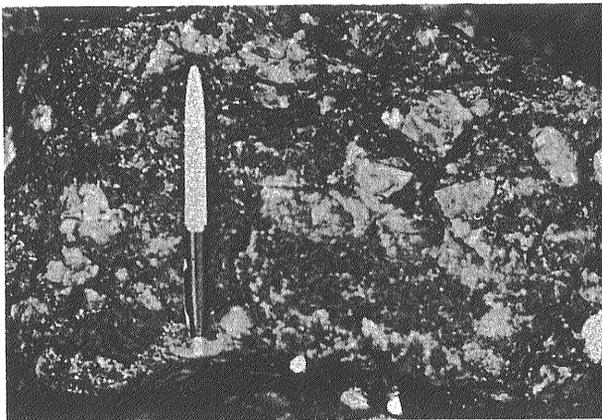
ミルでは普通硫酸か炭酸アルカリ液を用いてウランを溶液中に浸出して、これから

- 1) 直接ウランを化学的に沈澱させる方法
- 2) イオン交換樹脂による方法
- 3) 有機溶媒による方法

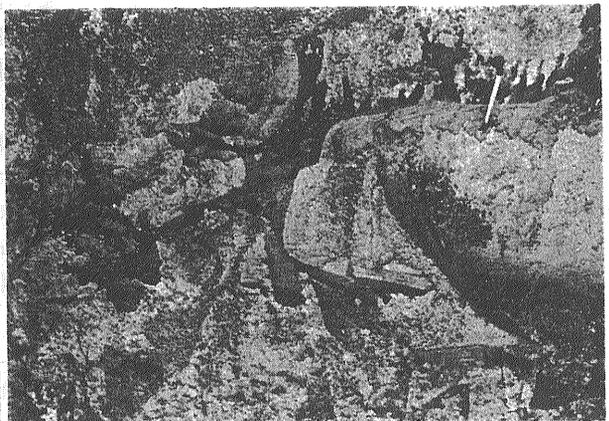
などでウランを回収する。したがってウラン鉱石から容易にウランが浸出することが必須な条件となる。

ウラン鉱物には4価と6価のウランを含むものが多数ある。一般に4価のウランを副成分として含むニオブ・タンタル 稀土類 チタン トリウムなどの酸化物、複酸化物、炭酸塩、磷酸塩、珪酸塩は難溶性でウラン鉱石としての価値は例外を除いてはほとんどない。これらはウランよりむしろトリウム 稀土類 ニオブ・タンタル資源として利用され、モナズ石  $(Ce, Th)(P, Si)O_4$  コルンブ石  $[(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6]$  はこれに属する。これに対して4価のウランを含むものでも、酸化物や含水塩類はウランが容易に浸出されるので、重要な鉱石鉱物となる。閃ウラン鉱  $(U, Th)O_2$  コフィン石  $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$  人形石  $U_{1-x}Ca_{1-x}R_{2x}(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  はこれに属し、これらを含むウラン鉱石は非酸化鉱石と呼ばれる。一方、6価のウランを含む鉱物は、4価のウランを含む鉱物が露頭で酸化されて生成し、水酸化物、硫酸塩、磷酸塩、バナジウム酸塩などを形成し、酸や炭酸塩液に容易に溶け、特殊なものは水にさえ溶ける。燐灰ウラン石  $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2O$  やカルノー石  $K_2(UO_2)_2(V_2O_8) \cdot 3H_2O$  などがこれに属し、これらを含む鉱石は酸化鉱石と呼ばれる。

ウランは鉱物を作るほかに、たとえば粘土類や褐鉄鉱に吸着されたり、有機物と結合してウラン有機酸を形成するが、場合によってはウランの浸出は容易ではない。また、かつてウランを回収したフロリダの燐鉱では、ウランは燐灰石  $Ca_5(PO_4)_3F$  のカルシウムを置換した4価の形で入り、鉱物が完全に溶解しなければウランも回収されない。ウラン鉱石として利用されるものの中に含まれている鉱物を第2表に示す。資源的に重要なものは閃ウラン鉱、ブランネル石、コフィン石、カルノー石の順序である。



カナダ Blind River 地区の鉱石。白い部分は石英の円礫。先カンブリア紀の堅い密な礫岩で、主要ウラン鉱物はブランネル石である。



砂岩型の鉱石。黒い非酸化鉱は一部ロールしており、右上よりやや左下へ黒い部分が不規則に酸化されている。これは地下水のために酸化された“Leaching front”で、上部はツヤムン石やカルノー石からなる酸化鉱を形成する。

第2表 ウラン鉱石中の主要ウラン鉱物

鉱物名	晶系	化学組成	% U	色	光沢	劈開	硬度	比重	備考
閃ウラン鉱 Uraninite	等軸	(U, Th) O <sub>2</sub>	88.4	黒	亜金属	—	5.5~6	7.5~9.7	高温交代 熱水 堆積性鉱床中の主要ウラン鉱物 ピッチブレンドPitchblendはコロフォーム状のもの
ウラン・方トリウム石 Uranothorianite	等軸	(Th, U) O <sub>2</sub>	15	黒	亜金属	—	5~7	9+	高温交代鉱床中 とくにマダガスカルFort Dauphin では この鉱物のみが採掘され カナダのBan croft地区でも他の鉱物とともに採掘されている
コフィン石 Coffinite	正方	U (S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · x (OH) <sub>2x</sub>	71.5	黒	土 状 ↓ 金 剛	—	5~6	5.1	熱水 砂岩型鉱床 とくにコロラド高原では閃ウ ラン鉱とともに主要なウラン鉱物
人形石 Ningyosite	斜方	U <sub>1-x</sub> Ca <sub>x</sub> 1-x R <sub>2x</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 1~2 H <sub>2</sub> O	約40	褐 緑 ↓ 黒					日本の人形時にもみ産出 同鉱床の主要ウラン鉱 物
ブランネル石 Brannerite	三斜	(U, Ca, Th, Y) Ti <sub>2</sub> O <sub>6</sub> F	43.7	黒 ↓ 黄 褐	ガラス ↓ 樹 脂	—	4.5~5.5	4.2~5.4	カナダのブライド・リバー地区の主要ウラン鉱 物
デービッド鉱 Davidite	六方	(Fe, U, Ca, Zr, Th, R) (Ti, F, + <sup>3</sup> V, Cr) <sub>2</sub> (O, OH) <sub>7</sub>	8.3	黒 ↓ 灰 黒	ガラス ↓ 亜金属	—	6	4.5	高温熱水鉱床 オーストラリアのラジウム・ヒル で採掘された
燐灰ウラン石 Autunite	正方	Ca (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	50.1	淡 黄 ↓ 硫 黄	ガラス	001	2~2.5	3.1	すべての型のウラン鉱床の露頭部 アメリカのワ シントン州 Day Break鉱山では この鉱物のみ が約60t 出鉱された
カルノー石 Carnotite	単斜	K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) (V <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) · 3 H <sub>2</sub> O	52.8	鮮 緑 ↓ 黄 緑	土 状	001		4.7	砂岩型鉱床の露頭部にはほとんど常に産出し 主 要な鉱石鉱物となる
ツヤムン石 Tyuyamunite	斜方	Ca (UO <sub>2</sub> ) (V <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) · 5~ 8.5 H <sub>2</sub> O	48.5	黄 ↓ 淡 黄	土 状 ↓ 亜金属	001	2	3.3~3.6	フランセビル石はアフリカのガボン共和国のウ ラン鉱床の主要ウラン鉱物
フランセビル石 Francevillite	斜方	Ba (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (V <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) · 5H <sub>2</sub> O	48.2	黄		001	3	4.6	
ウラノフェーン Uranophane	単斜	Ca (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 5 H <sub>2</sub> O	55.6	黄 ↓ 黄 緑	土 状 ↓ ガラス	001	2.5	3.8	アメリカ ニューメキシコ州のグランツ付近のト ディルト石灰岩中の主要鉱物 他の型の鉱床の露 頭部にも産出する

次に問題となるのは 鉱石中に含まれる他の鉱物である熱水型鉱床はしばしば多量の硫化鉱物を伴い 手選 比重選鉱 浮選などでこれらを除去した後ウランの浸出が行なわれる。

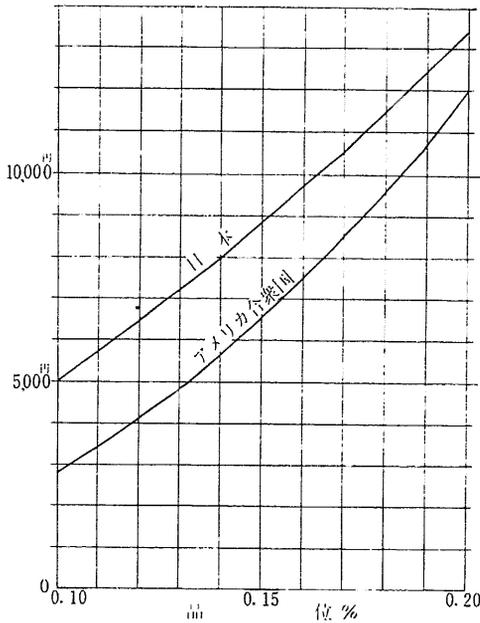
現在盛大に稼行されている鉱床は ウィトウォーターランド鉱床中の金を除き 熱水型鉱床でさえ単純な鉱物組み合わせのものがおもに採掘されているので 採掘された鉱石は 物理的処理法によるウラン鉱物の濃集の過程を経ないで そのままミルの元鉱となる。 浸出液として酸を使用するか 炭酸塩を使用するかは 鉱石中に石膏 黄鉄鉱などを含む場合には前者 方解石を含む場合には後者というように鉱石の鉱物組成に都合の良い方法が取られる。 酸処理後にはイオン交換樹脂法によるウランの回収が全生産量の70%以上を占めている。 浸出液中のポロン コパルト 銅 珪素は樹脂法による除去が不完全で 不純物となってウランとともに回収される。 また粘土鉱物も液中に浮遊して化学作用を妨害するので これらの元素や粘土鉱物を多量に含む鉱石は望ましくない。 また製錬過程において有害なトリウム パナジウム モリブデンや 原子燃料として使用する場合に中性子を吸収するポロン カドミウム リシウムなど

が含まれる場合は 鉱石としての価値を低下させる。

## 価 格

ウラン鉱の価格は粗鉱価格とイエローケーキの価格と2種類あって 前者は鉱山とミルとの間の取り引きに後者はそれ以外の取り引きに使われる。 粗鉱価格は各国の実情に応じて各国の政府が決定するが 取り引きされる鉱石中のウラン含有量は 最低0.1% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> でこれが基礎価格となっている。 アメリカ合衆国と日本の場合の価格を第2図に示す。 アメリカの場合 鉱山開発手当初期生産報償金(最初出鉱した5トン U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>に相当する鉱石)運搬手当 品位割増金(0.21% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)のボーナスが基礎価格に付けられしかも品位がよいほど割高となったため ウラン鉱石は相当高い価格で取り引きされた。 日本では取り引きされた例はない。

イエローケーキの価格も アメリカ合衆国1955~56年の初期には増産奨励から相当に高く 精鉱中に含まれるU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 1ポンド当り10~12ドルで買い上げられた。 しかし1961年には平均8.31ドル 1963年には7.85ドルとなった。 そしてアメリカ原子力委員会は カナダの精鉱に対しては 9.77ドル 南アフリカ共和国の精鉱に対



第2図 ウラン鉱の価格

しては 11.29 ドルの高価格で買い受けた。これらの価格は以前の買上契約にしたがっており 1970年頃には 5~6 ドルで取引される。わが国が南アフリカ共和国と 1962 年に買鉱契約した時には ダーバン (Durban) 港 FOB で 3.65 ドルであった。

### 生産原価

ウラン鉱石の原価はその質にもよるが 鉱床の大きさ形 深さなどの採掘条件に左右される。イエローケーキ中の  $U_3O_8$  1 ポンド当りの総原価は 南アフリカ共和国のバール・リーフス (Vaal Reefs) 鉱山では 3.87 ドルという低さである。ここの粗鉱品位は 0.03%  $U_3O_8$  という低さにもかかわらず 金を回収した後のスライムがミルの元鉱となるので採鉱費が 0 のためである。これに対して同地区のランドフォンタイン (Randfontein) 鉱山では ウランは 0.05%  $U_3O_8$  含まれているにもかかわらず ウランを目的に採掘するため 8.77 ドルの採鉱費がかかり 総原価は 11.21 ドルとなる。カナダのガンナー鉱山は品位は 0.18  $U_3O_8$  で 大きい露天採掘を行なっているが ここでは総原価は 5.02 ドルである。コロラド高原では一般に品位も良く 0.27%  $U_3O_8$  の粗鉱品位を持つホームステーク・セイピン・パートナーズ (Homestake-Sapin Partners) では 総原価は 4.66 ドルである

### ウラン鉱床の分類

現在ウラン鉱石が採掘されている鉱床およびかつて採行された主要な鉱床は 次のように分類される。

- (1) マグマ性鉱床
  - 1 ペグマタイト鉱床
  - 2 高温交代鉱床
  - 3 熱水鉱床
- (2) 堆積性鉱床
  - 1 古期礫岩型鉱床
  - 2 陸成砂岩型鉱床
  - 3 化学沈澱鉱床
    - a 黑色頁岩
    - b 燐 鉱
  - 4 その他

第3表に これらに属する主要な鉱床を 簡単に説明してある。ペグマタイトに属する鉱床では カナダのバンクcroft地区の鉱床がもっとも規模が大きく また相当量のウランを採掘した。ただこの地区の鉱床の一部には 輝石-磁鉄鉱岩に胚胎され 高温交代鉱床型に入るものもある。ソ連では一部この型の鉱床からもウランを産出しているものと推定される。

高温交代鉱床では 2 鉱山しか重要なものはない。ほかにはモロッコのアズグル (Azegour) やニュージャージー (New Jersey) 州ドーバー (Dover) 地方の鉄鉱床やニュー・メキシコ州のプリンス (Prince) 鉱山でウランの産出は知られているが 稼行価値はない。

熱水鉱床 のうち ラジウム・ヒルとジャドグーダとは深熱水鉱床で ラジウム・ヒルに似たものは南アフリカのモザンビーク (Mosambique) で知られている。

ラム・ジャングルと北ローデシアの銅鉱帯はあるいは中熱水性鉱床に属するかもしれないが 先カンブリア紀の粘土質岩 (時に炭質) に産出することが特徴である。あるいはマンスフェルド (Masfeld) 型の鉱床で その後の変成作用のために現在では成因が漠然となったものかもしれない。類型はインドのマルガ・ウダイサガル・ウムラ (Marga-Udaisagar-Umra Belt) の先カンブリア紀の銅-ウラン鉱床 北ノルウェーのカンブリア紀の石墨-雲母片岩や ユーゴスラビアの瀝青質片岩中にも見られる。シンコロベ ポート・ラジウム ヨアヒムスタールは 古くから中熱水鉱床のタイプで 複雑な鉱化作用により特徴づけられる。それ以下のものは単純な鉱物の組み合わせにより特徴づけられる浅熱水性鉱床である。

堆積性鉱床は 水成岩の一つの層にレンズ状 層状

第 3 表 世界の主要ウラン鉱床

分類	鉱山または地区	地質および鉱床	鉱物	鉱化の時代	規模	備考
マ グ マ 熱 水 性 鉱 床	Bancroft Ontario, Canada	先カンブリア紀の石榴石-珪線石片麻岩 柱石片麻岩 閃長片麻岩の前二者を貫ぬくpegmatite 一部は高温交代鉱床	閃ウラン鉱・ウラン方トリウム石・ウラントール石・シルトライト・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・磁鉄鉱	先カンブリア (始生代)	8,000 t	●1959年 4鉱山 3ミル
	Fort Dauphin Madagascar	先カンブリア紀の結晶片岩と これに含まれる輝岩 輝岩中および輝岩中のレンズまたは不規則状の結晶質石灰岩中にフロゴパイトと共にポケット状に分布	ウラン方トリウム石	先カンブリア (始生代)	平均ウラン 0.1-0.6% 数百~数千 tの鉱体が多数。	●輝岩の分布は 巾30~40km 長さ150kmの間にある ●1957-64 約640 t
	Mary Kathleen Queensland, Australia	先カンブリア紀の石灰質岩 珪岩 黒雲母片岩 鉱床は石灰岩と角レキ岩との境に近いところにいちじるしく石榴石化された部分に胚胎	閃ウラン鉱・褐礫石・ステルウエル石・磁硫鉄鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱 Ni-Co 鉱物他	先カンブリア (原生代)	12,000 t	●1954 発見 ●1962 採掘中止 4,500 t 出鉱
	Radium Hill South Aust., Australia	先カンブリア紀の片麻岩類が場所により花崗岩化される 他に花崗岩類および塩基性岩 鉱床は片麻岩の破砕帯に伴う多数の雁行脈	デービッド鉱 チタン鉄鉱・赤鉄鉱・磁鉄鉱	先カンブリア (始生代)	200-300 t の精鉱	●1906 発見 ●1915 までRaのため採掘 ●1951 採掘開始 ●1954 閉山
	Jaduguda Bihar, India	先カンブリア紀の雲母片岩 千板岩 含鉄珪岩 凝灰岩 レキ岩 レキ岩および燐灰石-電気石-磁鉄鉱中の破砕帯	閃ウラン鉱 黄銅鉱・磁鉄鉱	先カンブリア (始生代)	9,000 t	●1916 砒銅ウラン石発見 ●1951 発見
	Rum Jungle Northern Territory, Australia	先カンブリア紀の石墨-石英片岩 ドロマイト 石灰岩 珪岩 泥岩 石墨-石英片岩中の破砕帯中に鉱染状	閃ウラン鉱 黄銅鉱・黄鉄鉱 Ni-Co 鉱物他多数	先カンブリア (原生代)	5,400 t	●1951 発見 ●1953-63 採掘完了 ●1963 330 t 産出
	Rhodesian Copper Belt, Rhodesia	先カンブリア紀のLoan 統の最下部が古い片麻岩 花崗岩の上の 頁岩が銅 コバルトを含み この中にウランは鉱染状に分布	閃ウラン鉱 黄銅鉱・斑銅鉱・黄鉄鉱 Ni-Co 鉱物	先カンブリア (原生代)		●1950頃 発見 ●1952 Nkana 鉱山の 一部で富鉱帯発見 ●1957-59 100 t 生産
	Shin kolobwe Katanga, Congo	先カンブリア紀の變成堆積岩-苦灰岩 苦灰質珪岩-よりなる 無数の割目や破砕帯に分布する鉱床	ピッチブレンド 黄銅鉱・輝着鉛鉱 Ni-Co 鉱物	先カンブリア (原生代)	23,000 t	●1915 発見 ●1921 開発 ●1961 休山?
	Port Radium Northwestern Territories, Canada	先カンブリア紀の變成堆積岩および花崗岩類 變成堆積岩中の鉱脈 鉱染状鉱床 時に幅10m以上	ピッチブレンド 黄銅鉱・銀・輝着鉛鉱 Ni-Co 鉱物・方鉛鉱・赤鉄鉱	先カンブリア (始生代)	10,000 t	●1931 発見 ●1960 閉山
	Joachimsthal, Czechoslovakia	先カンブリア紀の結晶片岩と粘板岩と これらを通ぬく花崗岩 鉱脈は主として前者に胚胎する2方向の鉱脈群	ピッチブレンド 銀・Ni-Co 鉱物・方鉛鉱・閃亜鉛鉱	二 疊 紀		●18世紀末 ピッチブレンド発見 ●1950年代中頃 閉山
	Beaverlodge Saskatchewan, Canada	先カンブリア紀の珪質粘土岩 珪岩 苦灰岩質石灰岩とこれらの變成したものおよびアラスカイト 破砕帯中の鉱脈または鉱染鉱床	ピッチブレンド・ツコ石 赤鉄鉱・黄鉄鉱	先カンブリア (始生代?)	21,000 t	●1946 発見 ●1953 採掘開始 ●1959 6鉱山 3ミル
	Massif Central France	ヘルシアン片岩および花崗岩類 花崗岩類は黒雲母花崗岩 白粒岩などで アプライトなどの岩脈に貫ぬかれる 断層 割目 破砕帯中の鉱染 網状鉱床	ピッチブレンド 黄鉄鉱・白鉄鉱・赤鉄鉱	二 疊 紀	50,000 t	●1948 発見 Forez, Vendée, Limousin の3地区 3ミル
	Marvsuale Utah, U.S.A.	漸新世の流紋岩とこれを貫ぬく石英モンソニ岩および花崗岩 鉱床は石英モンソニ岩 一部花崗岩中の鉱脈	ピッチブレンド 黄鉄鉱・輝水鉛鉱・ジョーディサイト	第 三 紀 漸新-中新世		●1949 発見 既採掘量 2,000~3,000 t
	Schwarzwald Colorado, U.S.A.	先カンブリア紀の含石榴石片麻岩および片岩 破砕帯に胚胎する鉱脈	ピッチブレンド 黄鉄鉱・黄銅鉱	白堊紀末~第三紀初	10,000 t	●1954 発見 稼行中
	Los Chcos Colorado, U.S.A.	先カンブリア紀の片麻岩類とジュラ紀モリソソ層との間の断層そう鉱脈 モリソソ層中に層理に沿う交代鉱床	閃ウラン鉱 黄鉄鉱・白鉄鉱	第三紀初		●1954 発見 稼行中
	Midnite Washington, U.S.A.	先カンブリア紀の變成堆積岩と白堊紀の石英モンソニ岩との接触部にそう幅10mの破砕帯にそう鉱染 網状鉱床	閃ウラン鉱 黄鉄鉱	白 堊 紀		●1954 発見 ●1957 採掘開始 稼行中

分類	鉱山または地区	地質および鉱床	鉱物	鉱化の時代	規模	備考
古 期 礫 岩 型	Witwatersrand South Africa	先カンブリア紀始生代の変成岩類の上に 4,000~5,000mの原生代の砂岩 礫岩、熔岩など 鉱床は基底レキ岩や層間の礫岩中	閃ウラン鉱・ツコ石・モナズ石 自然金・黄鉄鉱・黄銅鉱	先カンブリア代 (原生代)	400,000 t	●1886 金発見 ●1923 閃ウラン鉱発見 ●1952 最初のミル完成 ●1963 13ミル
	Blind River Ontario, Canada	先カンブリア紀始生代の緑色岩 花崗岩の上に 千数百mの厚さの原生代の堆積岩 鉱床は不整合面から 100m以内の礫岩層	ブランネル石・閃ウラン鉱・ツコ石・モナズ石・ジルコン・黄鉄鉱・黄銅鉱・磁硫鉄鉱	先カンブリア紀 (原生代)	380,000 t	●1953 発見 ●1955 最初のミル完成 ●1959 11ミル ●1964 2ミル
陸 成 砂 岩 型	Mounana Gabon	先カンブリア紀原生代のはほとんど変成されていない砂岩 礫岩中の層状鉱床	閃ウラン鉱・ブランセル石 黄銅鉱・黄鉄鉱		10,000 t	●1956 発見 ●1961 ミル完成 ●1962 500 t
	Colorado Plateau U.S.A.	主として三疊紀ナニリー層 ジュラ紀モリソン層砂岩 礫岩中のレンズ状あるいは層状鉱床	コフィン石・閃ウラン鉱・ツヤムン石・カルノー石 黄鉄鉱・黄銅鉱		300,000 t (合衆国の砂岩型鉱床全部)	●1899 発見 ●1947 最初のミル完成 ●1963 12ミル
	Gas Hill Wyoming, U.S.A.	第三紀始新世のウインド・リバー層の砂岩 礫岩中のレンズ状 あるいは層状鉱床	閃ウラン鉱・コフィン石・カルノー石・ツヤムン石 黄鉄鉱・イルセマン鉱			●1953 発見 ●1960 19の露天堀
	Black Hills S. Dakota, U.S.A.	下部白堊紀の砂岩中のレンズ状あるいは層状鉱床	閃ウラン鉱・コフィン石 カルノー石・ツヤムン石			●1951 発見 ●1963 3鉱山 1ミル
	Central and Eastern Alps Italy	二疊~石炭紀の砂漠成砂岩 礫岩層中の層状鉱床 また これよりやや前の火山堆積物の基底礫岩中の鉱床	ビッチブレンド・メタツヤムン石 黄鉄鉱・黄銅鉱		6,600 t	●Val Gardena 他 ●他に西アルプスには結晶片岩中に3,000 t
黒 色 頁 岩 床	Tennessee U.S.A.	デボン紀の瀝青質頁岩(Chattanooga Shale) 下部のGossaway 部層の最上位の厚さ 1.5mが最もウランの含有量が高く 0.008%	黄鉄鉱	デボン紀	6,000,000t (0.006% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	●1942年より組織的な試験探査 未採掘
	South Sweden Sweden	カンブリア紀の瀝青質頁岩 (Alum Shale) Billigen-Folbygden 地方では 500平方kmの面積・厚さ 3 mにウランの多い部分が分布	黄鉄鉱	カンブリア紀	1,000,000t (0.038% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	●1909 ラジウムの採掘 0.5tU <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 採掘 ●1956より毎年10 t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
燐 鉱	Central Florida Florida, U.S.A.	北西・中央フロリダに分布するHawthon層 (中新世)とこの上に分布するBone Valley層 (鮮新世) 後者が礫質燐鉱を形成する	含ウラン燐灰石	鮮新世	600,000 t (0.01~0.02% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	●1988 採掘開始 ●1952 ウラン回収開始 最高年間 400 t 年間1,400万tの燐鉱採掘
そ の 他	Grants New Mexico, U.S.A.	ジュラ紀の層状 不純な灰色のトイルト石灰岩中の割目 層理に入る鉱床 全体として鉱床はレンズ状 ポケット状	閃ウラン鉱・ツヤムン石・ウランフェーン			●1949 発見 ●採掘中 ●石灰中にはWyoming Montana州境 2 鉱山
	Ferghana Basin U.S.S.R.	粗粒の赤紫または褐紫色の石炭紀の石灰岩 この走向にそいバライト脈が発達 これと 石灰岩の洞穴にそいウランを含む部分が見られる	ツヤムン石			●1908 採掘開始 1908~13 約100t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 採掘
	Dakota Plain N. and S. Dakota, U.S.A.	晩新世のFort Union 層中の塊~粉状亜炭	ウラン有機酸・燐灰ウラン 黄鉄鉱・白鉄鉱			●ウランを抽出するための試験中 最大の鉱体でも 1 鉱体 100t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ●数百 t 試験採掘

注： 規模：既採掘量を合わせた鉱床の大きさを示す U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>で示し 計算基準はショートトンのため ここではショートトンと見なして良い

分類：本文参照

鉱物の項のうちアンダーラインを付したものは主要鉱石鉱物

に分布するもので 古期礫岩型鉍床は 先カンブリア紀の原生代の中の基底礫岩や 層間不整合に分布する礫岩中に胚胎する巨大な鉍床で 礫岩は三角州や海岸線の近くに堆積したものとされ 鉍床の生成に対する意見も種々雑多であるが 漂砂鉍床の可能性が最も多い。 同様なものはブラジルのハコピナ (Jacobina) にもある。

**陸成砂岩型鉍床**は 陸水成あるいは陸上成の砂岩や礫岩中にレンズ状または層状に分布するもので 一般にはウランのほかにバナジンの濃集によって特徴づけられる。 また炭質物も普通に産し時代も先カンブリア紀 古生代から新第三紀に及ぶ。 その地理的分布も広く ほとんど世界中に産出する。 成因については後からの地下水によるウランの濃集 および沈澱による可能性が多い。

**化学沈澱鉍床**は 母岩の堆積時あるいは続成作用によりウランが濃集したと考えられるいわゆる同時生成鉍床で 層状に大規模に分布するが ウランとしての品位はきわめて低くそのままではウラン資源とはなり得ない。 ドイツのマンズフェルトの含銅粘板岩中に含まれる微量のウランも同様なものである。 アルム頁岩はノルウェー エストニア レーニングラード地方に広く分布しており またソ連のフェルガーナ盆地の南部や シベリアにも同じ時代の含ウラン頁岩の存在が知られている。

その他としたもののうち 石灰岩中のものは鉍物はバナジンを含むものが多く 成因的には(2)―2と全く類似のものである。 亜炭中のウランはやはり(2)―2に似た

濃集過程により形成されたものである。

## 埋 蔵 量 お よ び 生 産 量

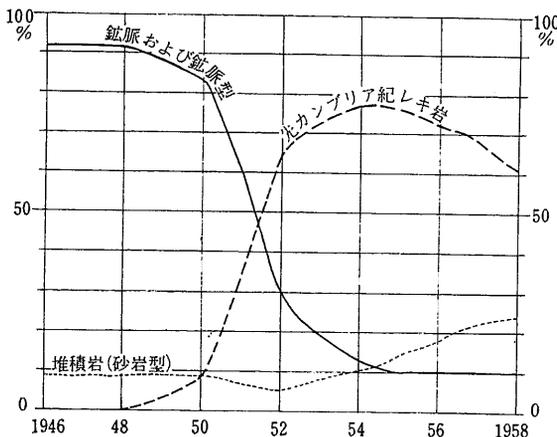
### 埋 蔵 量

1957年までには 現在知られている重要な鉍床にすべて発見されている。 その当時の自由世界のウラン埋蔵量は J. C. Johnson 氏によると 1955年の50万トン $U_3O_8$ に対して 約3倍の150万トン $U_3O_8$ と推定された。 その内訳を第4表に示す。 この場合の埋蔵量は その中に含まれているウランが 1ポンド $U_3O_8$ 当りの生産原価が10ドル以下で稼行対象となるものである。 彼はさらに0.005~0.01%のウランを含み 生産原価がポンド当り30ドルないし60ドルとなるような低品位鉍である。 チャタヌーグ頁岩中の総ウラン量を600万トン 礫鉍中のウランを60万トンとし このような低品位鉍中のウランは全世界を合わせると2,000万トンに達するものと推定した。 Johnson 氏の考えた数字は それ以後約22万トン $U_3O_8$ を採掘し その割にその後の探鉱が活発でないことを考慮に入ると やや減少しているものと推定される。

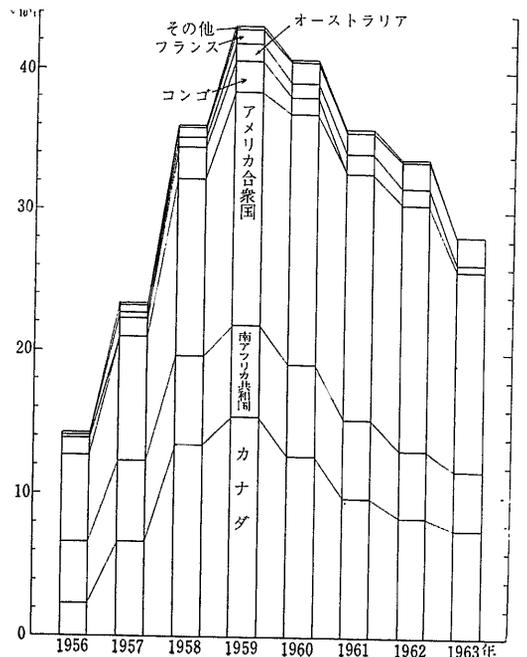
次に R. D. Nininger氏が 1958年に考えたウラン鉍床の型式別のウラン埋蔵量の変化は第3図のとおりである。 これからわかることは1951年頃までは 資源的に最も重要であった熱水鉍床が 堆積性鉍床の多量の発見とともにすっかり落ちてしまったことである。 堆積性鉍床のうち先カンブリア紀礫岩型の鉍床が現在でも依然として圧倒的に埋蔵量が多いが 陸成砂岩型鉍床は地質時代の

国 別	$U_3O_8$ t
南アフリカ共和国	400,000
カナダ	400,000
アメリカ合衆国	220,000
フランス	50,000
その他	~10,000
計	1,500,000

←  
第4表  
1957年の世界の埋蔵量



第3図 非共産圏のウラン埋蔵量の地質学的な分布 (R.B. Nininger: Geologic distribution of nuclear raw materials) (第2回原子力平和利用会議報 V 2 P 9 1958)



第4図 1956~1963年ウラン精鉍国別生産量 (1954年は1~2万トンと推定される) (ショートトン) (1956~61は Minerals year book から $U_3O_8$ ) (1962~63 Enrichment of Uranium)

国名	1956~1963	1964~1970	計
アメリカ合衆国	110,476	71,250	181,726
カナダ	76,422	16,841	93,263
南アフリカ共和国	43,364	14,600	57,964
フランス	9,173	14,000	23,173
オーストラリア	5,652	2,744	8,396
コンゴ	8,400	?	8,400
その他	590	?	590
計	254,077	119,435	373,512

如何を問わず世界中に分布しているので 今後の新しい発見はこの型の鉱床に期待されるであろう。

生産量

自由世界の1956年以降の生産量は 第4図のとおりで 1959年にピークに達し43,000トン  $U_3O_8$  を産出した。

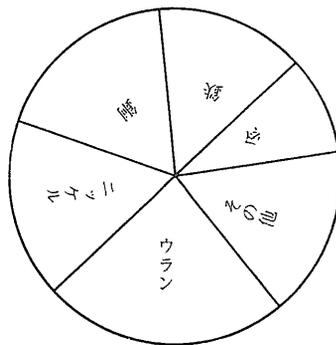
この年にはカナダと南アフリカ共和国の生産量はそれぞれピークに達した。 第5図はカナダにおけるウラン鉱業がいかに重要な地位を占めたかを示すもので 燃料を除く鉱産物の第1位となった。 また 南アフリカ共和国でもウランの輸出額は4,930万ポンド(497億円)に達し ダイヤモンドの1,555万ポンド(157億円)をはるかに引き離し 金の2億4,000万ポンド(2,420億円)に次いで第2位となった。 また共產圏諸国の生産量は1961年には5,000~10,000トンと推定されている。

1956年~63年の採掘量は25万4,000トン  $U_3O_8$  で 統計資料のないその前の採掘量との合計は28万トン  $U_3O_8$  位と推定される。

第4図からわかるようにウラン鉱生産量は 1959年をピークとして下降しており アメリカ合衆国 カナダ 南アフリカ共和国の生産予定量は 1970年には1万トン  $U_3O_8$  足らずとなる予定で その時には合衆国が7,750トン  $U_3O_8$  とその大半を占めることになっている。 そして第5表でわかるように その時まで自由世界で採掘されるウラン鉱の量は約40万トン  $U_3O_8$  に達するであろう。 その時までには陸成砂岩型ウラン鉱床から採掘された量が最も多く 新しい発見でもない限り 先カンブリア紀の礫岩中のウラン鉱床が1970年以降の主要資源となる。

1970年以降のウラン鉱業はどんなになるであろうか? アメリカ合衆国原子力委員会では 石油 石炭のような化石燃料は 安価な電力源として使用されるところから 2060年には すっかり使い尽され 低品位なものもその後100年位の埋蔵量しかなく 化石燃料は動力源として よりむしろ炭素を利用した化学工業用として使用されるべきだという見解を述べている。 現在ではアメリカ合

第5図 カナダの鉱産物生産額(1959年)



衆国の原子力発電はkW当り 安く見積もっても3.56円で 日本に建設した場合には立地条件の差から最低4.50円と見積もられ 新鋭の火力発電所の方が安い。 しかし1970年までに完成される各国の原子力発電所はkW当り2円前後といわれ ここ数年間で世界中で 600万kW以上の発電が予定されている。

また 世界最初の原子力商船 アメリカのサバンナ号(12,220トン)は 去る6月8日ニューヨークを出港 大西洋横断の処女航海の途につき 西独のオットーハン号(15,000トン)が 6月13日に進水し 処女航海は1967年に予定され 原子力商船も世界的に発展する状況にある。

1970年以降はどの位のウランが必要であろうか? アメリカ合衆国は自由世界で1970~80年のウランの消費量を金属ウランとして約25万メートルトンと推定し ユーラトム(Euratom)も1970年には8千~1万メートルトン 1980年には3万5,000~5万メートルトンが発電用に消費されて 1970年には  $U_3O_8$  1ポンド当り8~10ドル以下で 採掘可能な鉱床の量はたったの 32万メートルトンしか自由世界に残っていないと予想している。

現在では豊富にあるウラン鉱資源も今後の新しい埋蔵量の獲得が無ければ 1970年には不足資源となり1980年頃の世界エネルギー事情は深刻な状態となる。

(筆者は鉱床部核原料資源課)

参考文献

- (1) R.D. Nininger: Minerals for atomic energy, D. Van Nostrand Co. Inc., 1954
- (2) E. Wm. Heinrich: Mineralogy and geology of radioactive raw materials, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1958
- (3) United Nations: Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, v. 6, 1956. および v. 2, 1958
- (4) International Geological Congress: Genetic problems of uranium and thorium deposits, p. 1-164, 1960
- (5) ウラン・トリウム鉱物研究委員会: ウラン その資源と鉱物 朝倉書店 1961 ほか Minerals Year Book, The Mining Journal, The Engineering and Mining Journal など