世界のウラン資源概観

佐藤 源 郎*

Uranium and Thorium Resources in the World

By

Motoo SATO

(Abstract)

Uranium and thorium are found in a variety of rocks and in widely different formations, but the important primary uranium deposits have been found along the belts of "Shield" composed of ancient pre-Cambrian crystalline rocks. Examples are Great Bear Lake veins and Beaverlodge deposits in Canada, Shinkolobwe veins in Belgian Congo and Rum Jungle deposits in Australia.

The next important deposits exist in the areas called "Massif" of old crystalline rocks which are known in western Europe, such as French "Massif Central" including La Crouzille veins, Bohemian Massif including Joachimsthal veins and Portuguese-Spanish "Meseta" including Urgei-riga, vein deposits. Besides these the widespread areas of permeable sediments stand out as the most productive. Most excellent examples are horizontally stratified formations of Colorado Plateau in the United States.

The most productive thorium deposits would include the peninsula of India, the hinterland behind the coastal areas of Brazil and the piedmont of the Carolinas in the United States.

1. 序

ウラン元素は地殻中に広く分布しており、ほとんどすべての岩石中にごく微量ながら含まれている。また天然水や海水中にも僅かはいつている。その程度は次の通りである。

地殻中の平均 0.0003 %

すなわち 岩石 1t 中 平均 3g

海水 1,000t 中 平均 1g

他の元素の分布状況と比較してみると

金・白金・銀・水銀等よりも多い

錫・砒素・水鉛等と同程度

鉛の $\frac{1}{6}$

亜鉛・タンゲステンの $\frac{1}{10}$

銅の $\frac{1}{30}$

このようにウランは微量ながらほとんどあらゆる岩石・地層のなかに含有されているが、さりとて1カ所に集中して、ウラン資源として開発の対象となるような所

は決してどこにでもみいだされるものではない。豊富なウラン資源としてウランが集中している地域は、集中するのに都合のよい地質学的条件を具備している所である。このような好ましい地質環境は、決して地球上に普遍的に存在してはいない。したがってウラン資源として世界の国々を単位として考えれば、世界的には偏在していることとなり、第2次大戦以降この偏在性が関心の的となり、世界の列強が争って自分の圏内にウラン資源の発見を追求しているゆえんがこゝにある。

2. 世界的資源地域の地学的特徴

1) 楯状地 Shield 世界で最も大きなウラン資源に富む地域を見渡してみると、それらは楯状地 Shield と呼ばれている特徴ある地域にほとんど皆含まれてしまうという著しい事実が気がつく。

楯状地とは地図でみる場合、楯の形を思わせる広大な古い陸地で、先カンブリア紀の最古の変成岩類からなり、過去には何回となく断層・褶曲・造山運動あるいは火成岩の貫入作用など激しい地殻変動を蒙つたが、その後長い間陸上にあつて安定な平衡状態をつづけてき

* 地質調査所鉱床部長
地学雑誌, Vol. 65, No. 1 (699), 1956

た。したがって地形は準平原化されているから、多少の起伏のあることもあるが、大体低平であり、時に残丘 (Monadnock) がみられるような地貌を呈している。

楕状地の代表はカナダ・南アフリカ等であるが、前者においては特にその辺縁部に沿ってグレート・ベア湖 Great Bear Lake のポート・レーディウム Port Radium, レーク・アサバスカ湖 Lake Athabasca のビーヴァーロッジ Beaverlodge, ガナー Gunnar, 南カナダのブラインド・リヴァー Blind River 等の巨大な鉱床のほか、大小多数のウラン鉱床の賦存が知られており、また後者においては長年の間世界一の生産鉱山ベルギー領コンゴのシンコロベ Shinkolobwe から北ロデシアにかゝる地帯、ならびに南アフリカ連邦ウィットウォーターランド Witwatersrand の含ウラン金礫岩層の巨大な資源地帯を擁している。すなわち後述の世界の Big Four のうち3国までがこの2つの楕状地のなかに包含される。

このほかオーストラリア楕状地には近年の発見・開発にかゝるラム・ジャングル Rum Jungle, レーディウム・ヒル Radium Hill のような巨大な資源があつて今後の増産が予期されており、その他の楕状地も未調査ながらウラン資源の賦存に最も好ましい地域であると考えられている。

2) 山塊 Massif 楕状地に次いで好ましい地帯構造は山塊または山岳地域である。大体は楕状地と似てはいるが、比較的面積が小さく、地質時代は若い。構成地質は花崗岩および片麻岩等の結晶質岩石である。

Massif の代表的なものは戦前世界1位の資源地だったヨアヒムスタール Joachimsthal を含むボヘミア山塊、世界2位だったウルゼイリサ Urgeiriça を含むスペイン台地、戦後驚異的な新発見・新開発が行われたフランスの中央山塊 Massif Central, イギリスのコーンウォール Cornwall 鉱山地帯やフランスブルターニュ半島の新資源ヴァンデ Vandée を含むイギリス高地、ユーゴスラビアからブルガリアにかゝるロドーベ Rhodope 山塊等があげられる。

後に述べる世界第1級および第2級の重要資源地帯はほとんど例外なく、この Shield と Massif の地学的特徴地域に包含される。

3) 結晶質岩類からなる他の山地 アメリカ合衆国原子力委員会のナイニンガー Nininger 氏はその著書のなかで次のように述べている。「楕状地および山塊のほかに、花崗岩や変成岩から構成されている次の3つの山岳地域は、一般的にいつてウランの鉱化作用に好ましい地質環境にある」。このような地域は現在3つ考えられる。

(a) 東アフリカ高地 マダガスカル島の異常にウラン

鉱物の多いペグマタイト地域とボルトガル領モザンビークのデーヴィッド石鉱床地域が含まれる。

(b) 中央アフリカ高地 この地域は調査がすこぶる不十分であるが、いくつかのウラン資源の兆候がキャッチされている。

(c) 日本—朝鮮—南満洲高地 ナイニンガー氏の著書から引用すれば、「日本の東京以南の本州側から北九州にかけ、さらに朝鮮から南満洲にわたつて、初成ウラン鉱床の賦存に都合のよさそうな結晶質岩石類の山岳地が形成されている。しかしこの地域の所々では既知のウランは無数のペグマタイト中に限られて存在している」。

ところが最近行われたウラン資源調査の結果、この地域内の鳥取・岡山両県下において日本で初めての鉱脈型と若い水成岩中のウラン鉱床が、小さいながら新しく発見され、目下探査が続けられている。

以上のように現在知られているウラン資源のうち、特に重要なもののほとんど全部が、地質学的に基だ特徴のある地域に限られて賦存していることは争われない事実であり、今後もこのような地域に大きな新資源の発見が期待される。

またこのような結晶片岩・片麻岩・花崗岩等の古い結晶質岩からなる楕状地や山塊のほかに、いま1つの地学的特徴が認められる。それは世界の主要な山系であるが、山系を構成する岩石は楕状地や山塊のように定つたものではなく多種多様である。

ウラン等原子力原料鉱物資源の存在の望みのある大山系の代表的なものとして、一番明らかなものは北アメリカ脊梁山系である。この山系は世界最大の山脈であり、金・銀・銅・水鉛・鉛・亜鉛等一般地下資源について豊富な埋蔵地であるが、ウラン資源に関しても基だ注目すべき重要地帯であることが、特に最近の調査結果でクローズアップされてきた。そこで合衆国については、もとも楕状地や山塊に恵まれなかつた代りに、この脊梁山系の一部をなすロッキー山脈や、コロラド高原において鉱脈型や水平堆積層中の大きなウラン資源が発見されるという幸運に恵まれてきたのである。特にコロラド高原水平堆積層中のカーノタイト鉱床に連なつて、その母体である閃ウラン鉱床の大きな資源が多数発見されてきたことから、合衆国はそのお蔭で一躍第1級の『持てる国』Big Four の仲間入りができたとみられる。

南アメリカ脊梁山系については未だ調査が進んでおらないゆえもあつて、北アメリカ山系ほど著しい資源地帯にはなっていない。しかしいろいろな点で北アメリカ山系の南部と類似の点があり、将来ウラン・トリウムを含む一般金属鉱物資源地域に発展することが期待される。特にアンデス山脈のペルー側・チリー側およびアルゼン

チン側は一応有望とみられ、現在いくつかの小産地が報告されている。

3. ウラン資源の鉱床タイプ

世界の代表的なウラン資源地域の地学的特徴は既述の通りであるが、その特徴なり、賦存条件といったようなことがらは地帯構造上の問題を含み、広面積を単位とする大地域的のものである。そこでここではウラン資源賦存の問題点を、鉱床賦存地の母岩の種類、変質作用、地質構造、微細な構造支配 (Structural control) 等狭い意味での地質環境にしばって考えてみると、世界各地の調

査が進むにつれて、その地質環境の幅は著しく広がってきたことがうかがえる。換言すれば以前はウラン鉱床はきわめて限られた特定の地質環境にのみ賦存すると考えられていたのが、最近では多種多様の岩石や地層中に、またいろいろなタイプの鉱床中に、あるいは他の金属に伴なわれ、あるいはほとんど全く単独に賦存していることが知られてきている。

現在世界各国が競って調査を進めているが、一番手広く積極的に調査を行つているのはアメリカ合衆国である。その地質調査所のページ L. Page 氏の 1955 年ジュネーブ会議の資料によれば、合衆国では超塩基性岩・高

第1表. 1. ウ ラ ン 鉱 物

鉱 物 名		化 学 組 成	含 有 量 (%)	
			U ₃ O ₈	ThO ₂
酸化鉱物				
閃ウラン鉱	Uraninite	UO ₂ ・UO ₃	50~85	
(変種) 瀝青ウラン鉱	Pitchblende	UO ₂ ・UO ₃	50~80	
含水酸化鉱物				
ゴム石	Gummite	UO ₃ ・nH ₂ O	40~80	~20
ベッケレル鉱	Becquerelite	2UO ₃ ・3H ₂ O	80	
複酸塩鉱物				
ブランネル鉱	Brannerite	(U,Ca,Fe,Th,Y) ₃ Ti ₅ O ₆	~40	~14
デーヴィッド鉱	Davidite	(Fe,Ce,U) (Ti,Fe,V,Cr) ₃ (O,OH) ₇	7~10	
含水珪酸塩鉱物				
ウラノフェン	Uranophane	CaO・2UO ₃ ・2SiO ₂ ・6H ₂ O	65	
β ウラノチル	β-Uranotile	CaO・2UO ₃ ・2SiO ₂ ・6H ₂ O	60	
スクロドフスカ鉱	Sklodowskite	MgO・2UO ₃ ・2SiO ₂ ・7H ₂ O	65	
含水燐酸塩鉱物				
燐灰ウラン鉱	Autunite	CaO・2UO ₃ ・P ₂ O ₅ ・8H ₂ O	60	
燐銅ウラン鉱	Torbernite	CuO・2UO ₃ ・P ₂ O ₅ ・8H ₂ O	60	
含水砒酸塩・ヴァナジン酸塩鉱物				
砒銅ウラン鉱	Zeunerite	CuO・2UO ₃ ・As ₂ O ₅ ・8H ₂ O	50	
カルノー石	Carnotite	K ₂ O・2UO ₃ ・V ₂ O ₅ ・3H ₂ O	50~55	
チューヤムン石	Tyuyamunite	CuO・2UO ₃ ・V ₂ O ₅ ・8H ₂ O	48~55	
含水硫酸塩鉱物				
ジッペ鉱	Zippeite	2UO ₃ ・SO ₃ ・nH ₂ O	70	
ウラノスピライト	Uranospinitite	CaO・2UO ₃ ・As ₂ O ₅ ・nH ₂ O	50	
ヨハン鉱	Johannite	CuO・2UO ₃ ・2SO ₃ ・7H ₂ O	55	
炭酸塩鉱物				
シュレッキングエル鉱	Schroëckingerite	3CuO・Na ₂ O・UO ₃ ・CO ₂ ・SO ₃ F・10H ₂ O	30	
有機化合物				
ウラン有機複合体(テュコライト)	Thucholite	含ウラン炭化水素少量のトリウム その他の稀元素との混合物	2~ 8	

2. トリウム鉱物

鉱 物 名		化 学 組 成	含 有 量 (%)	
			ThO ₂	U ₃ O ₈
酸化鉱物 方トリウム鉱	Thorianite	ThO ₂	50~90	~33
複酸化鉱物				
イットロクラサイト	Yttrocrasite	(Y,Th,U,Ca) ₂ (Ti,Fe,W) ₄ O	~ 8	~ 3
ジルケル鉱	Zirkelite	(Fe,Th,U,Ca) ₂ (Ti,Zr)O ₅	~20	~14
ベタフオ石	Betafite	(U,Ca)(Nb,Ta,Ti) ₃ Op. nH ₂ O		15~27
コーゼン石	Euxenite	(Y,Ce,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	~4.5	~20
フェルグソン石	Fergusonite	(Y,Er,Ce,Fe)(Nb,Ta,Ti)O ₄	~ 3	~ 8
石川石	Ishikawaite	(U,Fe,RE)(Nb,Ta)O ₄		~21
ポリクレーヌ	Polycrase	(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) ₂ O ₆	~ 5	6~14
パイロクロア	Pyrochlore	(Na,Ca) ₂ (Nb,Ta) ₂ O ₆ (O,OH,F)	~ 5	10~15
サマルスキー石	Samarskite	(Y,Ce,U,Ca,Fe,Pb,Th)(Nb,Ta,Ti,Sn) ₂ O ₆	~ 4	9~21
ジルコン	Zircon	ZrSiO ₄	~ 5	~ 3
褐簾石	Allanite	(Ca,Ce,Th) ₂ (Al,Fe,Mg) ₃ Si ₃ O ₁₂ COH	~ 5	~ 1
苗木石	Naegite	ZrSiO ₄	~ 5	~ 3
珪酸塩鉱物 トール石	Thorite	Th(SiO ₄)	35~80	~25
含水珪酸塩鉱物 トロゴム石	Thorogummite	(Th,U)SiO ₄ ·6H ₂ O	~40	~24
無水磷酸塩鉱物				
モナズ石	Monazite	(Ce,Y,La,Th)PO ₄	1~15	~ 1
ゼノタイム	Xenotime	Y(PO ₄)+Th	2~ 5	3~ 4

原型玄武岩および若干の海成沈積岩以外の、ほとんどすべてのおもな地質環境のなかにウランの存在が確認されてきた。多種類の火成岩・鉱脈・陸成碎屑岩・亜炭・石炭・土瀝青質物・海成の黒色頁岩・燐鉱等のなかにウランがある程度まで集中して賦存している。

このことは全世界を通じてもいえることであり、例えば接触鉱床のタイプのものにはウランは伴わないとされていたのが、1952年に初めて仏領モロッコの銅・水鉛・タングステンの接触交代鉱床中に相当な瀝青ウラン鉱が発見された。つまり母岩岩石の種類や鉱床の種類についての条件・制約は次第に緩和される情勢にあるといえよう。

なお、またいずれの地域にしても最近発見された鉱床について注目される事実には、含有ウラン鉱物が到底肉眼鑑定の対象になり得ないほど微粒である場合が目立つて多いことである。発見当時世間の話題をにぎわしたカナダのビーヴァーロッジのガンナー Gunnar の鉱染鉱床や、南カナダのブラインド・リヴァー Blind River および南

アフリカ連邦ウィットウォーターズランド Witwatersrand の礫岩層中のウラン鉱床、北オーストラリアのラム・ジャングル Rum Jungle の鉱染鉱床、イタリーの沿海アルプスの瀝青ウラン鉱脈等いずれもこの例で、ガイガー・カウンターやシンチレーション・カウンター等放射能測定器がなければ、いつまでも気付かれなかつたであろう代物である。顕微鏡的存在のウランが今後も続々発見されるであろうが、それと平行してウラン鉱床のタイプも増えていくことであろう。

次にウラン鉱床タイプの取り纏めを試みるが、こゝにとり上げた対象は、現在すでに資源として活用されているか、または開発価値が大体認められる程度のもを選んだ。資料不足のゆえもあつて、改訂を要する面も少なくないと思われるが、一応の取り纏めのつもりである。

1. 火成岩に関係ある鉱床

1) 酸性貫入岩体に関係ある鉱床

(1) 銀・コバルト・ニッケル・蒼鉛鉱脈(中熱水性)
——瀝青ウラン鉱

- シンコロベ Shinkolobwe 鉱山 (ベルギー領
コンゴ), ヨアヒムスタール Joachimsthal 鉱山
(チェコスロヴァキア), ポート・レーディウム
Port Radium [Eldorado] 鉱山 (カナダ)
- (2) 黄鉄鉱・方鉛鉱・石英脈(中熱水性)——瀝青ウ
ラン鉱
ウルゼイリサ Urgeirisa 鉱山 (ポルトガル),
ラ・クルージュ La Crouzille 鉱山(フランス),
ラシヨール Lachaux 鉱山(フランス), メリースヴ
ェール Marysval 鉱山(アメリカ合衆国), クネ
オ Cuneo 地域(イタリア)
- (3) 銀・鉛・亜鉛脈(中熱水性)——瀝青ウラン鉱
フロント・レンジ Front Range 地域 (アメリ
カ合衆国, Corral, Caribou 鉱山など), ケール
ダレン Coeur d'Alene 地域 (アメリカ合衆国,
Sunshine 鉱山など)
- (4) 錫・タングステン・コバルト・ニッケル・銅鉱
脈(深熱水性)——瀝青ウラン鉱
コーンウォール Cornwall 地域 (イギリス,
South Terras 鉱山など)
- (5) 鉱染鉱床——閃ウラン鉱・瀝青ウラン鉱・ブ
ランネル石
ガナー Gunnar 鉱山 (カナダ), ラム・ジャン
グル Rum Jungle 鉱山 (オーストラリア), 北ロ
デシア North Rhodesia 層状銅鉱床地帯 (南ア
フリカ)
- (6) 接触鉱床——瀝青ウラン鉱
アゼグール Azegour 鉱山 (仏領モロッコ), ス
ポケーン Spokane 鉱山 (アメリカ合衆国)
- 2) ベグマタイト質石英脈——デーヴィッド石
レーディウム・ヒル Radium Hill 鉱山 (オース
トラリア), テテ Tete 鉱山 (南アフリカ ポルトガ
ル領モザンビーク)
- 3) ベグマタイト脈または塊——閃ウラン鉱・サマル
スキー石・フェルグソン石・ユーゼン石・ベタホ石・
モナズ石・コロンブ石等
マダガスカル Madagascar 島 (Ambatofotsy 鉱
山等), バンクロフト Bancroft 鉱山 (カナダ), ブ
ラック・ヒル Black Hill 地域 (アメリカ合衆国)
2. 水成岩 (堆積岩) に関係ある鉱床
- 1) 海成堆積鉱床 (同時性 Syngenetic)
- (1) 黒色瀝青質頁岩
(含油アラム頁岩 Alum Shale 中のウラン鉱床)
カルントルプ Kvarntorp 鉱山・ビルンゲン
Billingen 地域 (スウェーデン)
- (2) 燐灰鉱
フロリダ Florida 州 (アメリカ合衆国)
- 2) コロラド高原水平層中の鉱床——閃ウラン鉱・カ
ルノー石・チュヤームン鉱・ウラノフェーンなど
(1) 土瀝青質砂岩 (シナルンプ Shinarump 層)——
デルタ Delta 鉱山など
(2) 砂岩・礫岩 (チンリー Chinle 層)——ミ・ヴィ
ーダ Mi Vida 鉱山, ハッピージャック Happy
Jack 鉱山など
(3) 砂岩 (モリソン Morrison 層)——ジャックパ
イル Jackpile 鉱山など
(4) 石灰岩 (トディルト Todilto 層)——ヘイスタ
ック Haystack 鉱山など
- 3) フェルガナ型石灰岩中の 2 次成鉱床——チュヤ
ームン鉱・カルノー石
チュヤームン Tyuya Muyun 地域, (フェル
ガナ Ferghana, ソ連)
- 4) 亜炭中の 2 次成鉱床
ダコタ Dakota 州・ワイオミング Wyoming 州
(アメリカ合衆国)
- 5) 漂砂鉱床——ベタフォ石・サマルスキー石・フェ
ルグソン石・ユーゼン石・トール石・モナズ石・ゼ
ノタイム・ジルコンなど
トラヴァンコア Travancore (インド), ケープ
フリオ Cape Frio (ブラジル)
- 6) 古期漂砂源と熱水源との組合せ(?)——閃ウラン
鉱・ブランネル石
ウィットウォーターランド Witwatersrand 地域
(南アフリカ連邦), ブラインド・リヴァー Blind
River 地域 (カナダ)

4. ウラン資源を持てる国々

終戦後 1948 年頃までは、世界の大きなウラン資源の
賦存についての知識は僅か 2 つの地域のみに限られてい
た。すなわちアフリカのベルギー領コンゴとカナダ北部
の 2 つである。これは 1942 年の世界のウラン 鉱産出量
の統計的数字のうえにも明瞭に表われている。

国別ウラン 鉱産出量 (U_3O_8 換算) (1942 年)

ベルギー領コンゴ	700 t
カナダ	525 t
アメリカ合衆国	32 t
チェコスロヴァキア	10 t
ドイツ	9 t
ポルトガル	4 t
計	1,280 t

ただしこのほかにソ連圏のもの、その他若干の
産出があるが数字不詳。

しかるに7年後の1955年までに甚だしく変化して持てる国々が急激に増加してきた。ベルギー領コンゴとカナダの世界最大の Big Two は Big Three となり、さらにこんにちでは Big Four に増加した。すなわち前2者に南アフリカ連邦とアメリカ合衆国の2者が迫つてきて世界第1級の持てる国は4カ国となつた。

第1級の4者につづく国々として、積極的に行われた資源探査の苦心が効を奏し、第2級のクラスにはいつたとみなされるものは、オーストラリア・フランス・ポルトガルの3カ国である。

第2表 最近10年間に発見された経済価値の大きなウラン資源

1945—[南ア]	トランスヴァール・オレンヂフリー州 Witwatersrand 金鉱地帯の副産ウラン鉱
1947—[北米]	ユタ州 White Canyon (Happy Jack 鉱山)
1948—[カナダ]	ビーヴァーロッジ地域 (Ace 鉱山等)
1948—[フランス]	中央山塊 La Crouzille 鉱床
1949—[北米]	ニューメキシコ州 Todilto 石灰岩中の鉱床 (Haystack 鉱山)
1949—[北米]	ユタ州 Marysvale 鉱山
1949—[フランス]	中央山塊 Lachaux 鉱床
1949—[オーストラリア]	北濠 Rum Jungle 地域
1950—[北米]	ニューメキシコ州 Jackpile 鉱床
1950—[北米]	アリゾナ州 Monument No. 2 鉱山
1952—[カナダ]	ビーヴァーロッジ湖 Gunnar 鉱床
1952—[北米]	ユタ州 Lisbon Valley (Mi Vida 鉱山)
1952—[北米]	ユタ州 San Rafael Swell (Delta 鉱山)
1953—[カナダ]	ヒューロン湖 Blind River 地域
1954—[北米]	ワイオミング州 Wind River, 南ダコタ州 Black Hills 両地域の閃ウラン鉱床

以上の状況は第2表に挙げられた世界各地の大きな資源発見の最近の歴史が最も雄弁に物語るであろう。すなわち世界的に重要な発見15のうちアメリカ合衆国はその半ば以上を占め、カナダが3、フランスが2を占めている。

次のクラスとして資源探査の中途または試掘の段階にあつて、未だ大きな資源を把握したとはいえないが、若干量の鉱石を産出した国々は、イタリー・スウェーデン・スペイン・西ドイツ・アルゼンチン・マダガスカル・モザンビークの7カ国であり、また最近新鉱床を発見したと伝えられるものは、ペルー・ボリビア・チリー・ブラジルの南米4カ国である。

また逆にウラン資源を若干もつていたが、こんにちではすでに掘尽してしまった、国内には掘れるウラン資源

はもはや残っていないと見切りをつけて採掘をやめてしまったものにイギリス本国がある。

ソ連圏の国々のウラン資源の獲得、開発事情は明らかではないが、ソ連本国はいうまでもなく世界の持てる国であろうから、これを含めて前述の世界の Big Four は Big Five と呼ぶべきかも知れない。ソ連国内のウラン資源として明らかなものは、西南隅、アフガニスタンとの国境に近いトルキスタンのフェルガナ (Ferghana) 鉱床地域である。チュヤ・ムユン Tyuya Muyun を中心とした石灰岩地帯の主要な破砕帯に限つて、チュヤ・ムン石やカルノー石からなる鉱床が広く発達している。近年ウラル山脈地帯の金属鉱床に伴うウランの発見が伝えられ、またレニングラード地方一帯の黒色頁岩や、国内各地のベグマタイトの開発までも行われているといわれている。チェコスロヴァキアのヨアヒムスタール (Jochimsthal, 現在名 Jachymov) 鉱山はかつての世界一の鉱床の貫録を残しているし、東ドイツでは、この鉱床を含む金属鉱床地帯であるエルツ山脈 Erzgebirge の延長方面を極力探査の結果、若干の新資源を発見したようである。しかし残念なことには、信頼すべき資料がそろわないため、自由諸国の系列に加えて比較することができない。

5. カナダおよびアメリカ合衆国の資源開発近況

(1) カナダ

1930年の初夏、未だ一面に白皚々の北辺の地グレート・ベア湖 Great Bear Lake の空の上から探査の眼を光らせていた一代の鉱業家ラ・ビン La Bine 氏の眼底を僅かにかすめた色とりどりの小露頭、こゝが現在ラ・ビン La Bine 岬と呼ばれ、ポート・レーディウム Port Radium が築かれ、当のラ・ビン氏が夢想だになかった原子力資源の世界的な大中心地の扉が開かれたのである。この早期発見のお蔭で、カナダは世界の Big Two にはいつたが、引続き熱心な国内探査の結果、特にこの2~3年間に巨大な新資源の発見が続き、即急開発が行われて、世界の Big Four のなかでも1, 2を争う地位を保っている。結果としてウランの鉱産額も急ピッチに上つて1957年末までには年産1億ドルに達する見込であり、おそらく全金属鉱産額中で4~5位を占めることになろうといわれている。

カナダのウラン鉱床はその90%までが前述したカナダ楕状地 Canadian Shield 内に位置している。しかもその辺縁部に沿つて大小の鉱床が断続して並んでいる。このうち最も最近の発見、開発にかゝるガナー Gunnar 鉱床とブラインド・リバー Blind River 地域の資源につ

第1図 世界のウラン・トリウム資源の分布図 (Nininger 氏1954に基づく)

いて概述する。

Gunnar は Beaverlodge の鈾床地域の西南端にあり、鈾床は著しい破碎構造をもつた花崗片麻岩中の鈾染鈾床で、無数の細かな割れ目に沿い、微粒瀝青ウラン鈾とウラノフェンが広範囲にわたって鈾染されている。品位は高くないが大量処理の対象となりうるし、また Port Radium 鈾山に較べれば南カナダまで 1,000 km も近いという利点が買われ、即急開発に着手、1955 年夏にはすでに日産処理 1,250 t の選鈾製錬所の運転が開始された。この新鈾山が登場したので、Beaverlodge 地域は、日産処理量総計 2,000 t に達し、世界一とまでいかなくとも世界有数の大きな産地となつた。

ブラインド・リヴァー Blind River 地域はきわめて最近の 1953 年の発見にかゝる。鈾床は先カンブリア紀の変質礫岩中の膠結部に閃ウラン鈾・ブランネル石が含まれているものである。この礫岩層の水平分布はすこぶる広大で、ウラン鈾床も断続しながらよく追跡することができる。品位は 0.09~0.11% U_3O_8 で鈾脈鈾床などに較べて低いが 3 億トンという莫大な埋蔵が、理想的の南カナダ工業地帯に近く賦存するという、カナダにとっては待望の天然条件が高く評価され、前述の Gunnar 鈾区にも勝る即急開発の対象にとり上げられた。すなわちその一部プロント Pronto に日産処理 1,000 t のプラントが建ち、鈾床発見から 27 カ月目の 1955 年 8 月には早くも選鈾製錬が始まつた。さらに隣接の Nordic, Quirke, Denison 等の鈾床中心地にもプラント建設が進行中と報ぜられており、これらが一齊に動き始めたら世界でも 1, 2 を争うウラン鈾業地域になるであろうといわれている。南アフリカ連邦をして一躍世界の Big Four 仲間入りをさせたトランスヴァール・オレンジフリー両州にまたがるウィトウォーターランド Witwatersrand 地域も、地質状況は Blind River とよく似ており、規模はさらに大きい。そしてもともとすでに開発の進んでいる世界有数の金鈾地帯であるから、ウラン品位はさらに低くとも、金の副産物として扱う。このような有利な条件から思い切った貧鈾大量処理が直ちに実施に移された。すなわちアメリカの大学研究室で標本室内から 1945 年発見され、慎重な実地調査を経た後 1952 年 11 月には早くも大きな生産をあげ、たちまち main producer になつたのである。

なお Blind River 地域のウラン鈾床の成因については、すこぶる興味のある問題として、砂鈾成因説と熱水性成因説とに分れて活潑に議論されているが、両説のいずれか 1 つでは十分に説明しきれない点があり、最近では結局両方の成因を兼ね合せた combination 説が有力になりつつあると報ぜられている。

カナダでのいま 1 つの動向は、Blind River や、世界的ニッケル鈾床地帯のサッドベリー Sudbury にも近いバンクロフト Bancroft 地域においてペグマタイト鈾床が、経済的見地から開発価値が認められて稼行が開始されたことである。ペグマタイト鈾床は多種類のウランやトリウムの鈾物を含んでいるが、採掘の対象としてみる場合、貧鈾にすぎることが多く、世界でもウランを目標に稼行している例はマダガスカル位なものであり、アメリカ合衆国で盛んに稼行しているのはむしろベリリウムを目標としているものが多い（ノルウェー・スペインでは試掘程度、ソ連圏では相当積極的に開発されているという情報がある）。このゆえに Bancroft ペグマタイト鈾床の本格的開発はすこぶる有意義であり、世界全体としては将来は貧鈾・難溶性鈾の処理・活用の方角に進む趨勢にあることを思い、特にペグマタイトの多い日本としては大きな関心をもつべきものであろう。

(2) アメリカ合衆国

前章に述べたように最近の数年間に世界一持てる国 Big Four の仲間にはいつたのが、南アフリカ連邦とアメリカ合衆国の 2 国であり、南アフリカについては世界的大金鈾地帯が、そのまゝウラン資源地域としてプラスされた幸運が、その因つて来つたゆえんであるが、しからばアメリカ合衆国の事情はどうであろうか？

1942 年の産額が当時の the Big Two とは桁違いの少量であつたことは既述の通りであり、さらに最近 10 年間の大きな経済価値のあるウラン資源発見 15 のうち、半ば以上がアメリカ合衆国内で発見されたことも前述した。戦前合衆国内のウラン鈾山の数には 15 にすぎず、しかも大部分がコロラド高原の入口グランド・ジャンクションの町に近い地区で、カルノー石を小規模に掘つていた小鈾山であつたが、1941 年の国内生産は U_3O_8 換算 11 t であつた。1953 年末には全国で 600 鈾山に急増し、1954 年末には 900 に達した。そのうち 600 はコロラド高原上にある。そしてたゞ鈾山の数が増しただけでなく、開発の対象となる資源の規模の大きなものが次々と発見されてきた。すなわち初めは埋蔵量がせいぜい 1~2 万 t 程度の小鈾床しか知られていなかったのが、最近では 10 万 t 台、50 万 t 以上のものがみいだされてきた。最大のものは数百万 t 級と報ぜられている。

現在合衆国内での代表資源となつているものの鈾床タイプは水平堆積層と鈾脈の 2 型である。鈾脈鈾床については合衆国は恵まれていない。他の国々でのウラン資源は大部分が鈾脈鈾床をなしているのに、合衆国ではウラン資源はもつぱらカルノー石を産する水平堆積層の形でのみ知られていた。金属鈾脈中に瀝青ウラン鈾の存在が初めて明らかにされたのは、1945 年フロントンジ

Front Range の Sunshine 鉱山であり、地下1,100 フィートという深部坑道であつた。この最初の例に引続きいくつかの小さな金属鉱山においても産出が知られてきたが、いずれもきわめて少量にすぎず、しかも現在なお生産を続けているのはその一部にすぎない。

合衆国としてはカルノー石以外の、世界並みの瀝青ウラン鉱石を痛切に求めた事情は察するに難くない。原子力委員会発足の翌々年の1948年から国家的組織的調査 systematic survey が開始されたが、その翌年1949年初の功績としてメリスヴェール Marysville 鉱脈が発見された。

メリスヴェール鉱山は、コロラド高原の西北のはずれ、Salt Lake City の南160哩、Richfield の南10哩ユーター州の火山岩類からなる山岳地帯に位置する。鉱床は第三紀の火山碎屑岩類中に貫入した石英モンゾニ岩-花崗岩-岩体中の裂隙充填鉱脈で、主要脈2条がある。螢石を含み、かつて螢石鉱山として稼行されたことがあるが、ウランとしては新鉱山であり、特に瀝青ウラン鉱を産する本格的鉱脈第1号として非常に関心が寄せられ、特別な探鉱助成の方策がとられたほどである。現在も国家の計画生産の対象となっており、堅実な操業を続けている。

水平堆積層中の鉱床すなわち従来のカルノー石タイプはコロラド高原が代表産地で、カルノー石は1898年の昔からすでに産出が知られていた。戦時中から戦後にかけてカルノー石鉱床は、ウランおよびヴァナヂウムの資源として重要視されたが、需要度の格段に高いウランのことであるから、カルノー石よりは瀝青ウラン鉱や閃ウラン鉱のような純粋なウラン鉱物からなる鉱石が強く痛切に要請されていた。この鉱石は鉱脈鉱床に産出するのが普通で、コンゴとグレート・ベア湖の地域の鉱脈からは多量の産出があり、一方合衆国内では瀝青ウラン鉱の産出はほとんどなく、発見後も微々たる時代が続いた。このゆえに瀝青ウラン鉱の輸入は第2次大戦前後から、きわめて重要な国家施策の1つであつた。こゝで国外からの輸入数字を求めてみると、次のようなものがある。

1939~1942年輸入状況

	コンゴ産	カナダ産	計 (価格)
鉱石	1,463 t	8 t	1,471 t (約300万ドル)
半製品(酸化物および塩)	778 t	444 t	1,222 t (約300万ドル)

1945年終戦前後の合衆国国内新聞報道によれば

(a) コンゴ産鉱石

	数量(t)	価格(万ドル)	仕向先
1945	9,769	190	アメリカ合衆国
1946	3,654	533	アメリカ合衆国
	2,569	425	イギリス 本国

(b) 北カナダ産鉱石

大部分が	アメリカ合衆国向け
残少量が	イギリス本国向け

終戦直後の上述数字以後は信頼できる統計数字が得られないから不明であるが、多量の輸入を続けていることは疑いない。

ところで一方従来カルノー石の産出地であつたコロラド高原では非常な変化が起つた。

水平堆積層のウラン鉱石はカルノー石またはこれに類似の2次鉱物のみを含むとみなされていたが、1951年にカルノー鉱を採掘中の一鉱山から掘出された「鉛のような色をした鉛のように重いみなれない鉱石」が端緒となり、カルノー石の前身は閃ウラン鉱であり、カルノー石は閃ウラン鉱の2次酸化残物(oxidized remnants)であることが判明した。この発見は従来のカルノー石鉱床の syngenetic 成因を根本から覆して、epigenetic とした重大事項であるとともに、今後水平層中のカルノー石鉱床を奥の方に掘進していけば、次第に待望の閃ウラン鉱鉱石が得られる見通しが明らかになつてきた。また一方従来のカルノー石鉱床の賦存する層準は Morrison 層のみと考えられていたが、その後調査が進むにしたがい、現在では下は石炭紀 Pennsylvanian の Hermosa formation から、上は第三紀 Pliocene の Bidahochi formation に至るまでの厚層中の37以上の層序学的単位層が、ウラン鉱化作用を帯び、そのうちの18からは平均 U_3O_8 0.1%以上の鉱石1,000t以上を産出することが知られてきた。

しかし量的に最も多産するのはやはり Morrison 層と、新発見の三疊紀の Chinle 砂岩層および Shinarump 礫岩層である。この三疊紀層に閃ウラン鉱を含むウランの大鉱床が賦存するという発見は1952年であるが、これは鉱床地質学的にすこぶる重要な発見であるとともに、合衆国のウラン鉱業からも甚だ重大な事項であり、同時にまた uraninite-pitchblende 系の優秀鉱石の不足を嘆いていた合衆国として、前項カルノー石関係の好転も含めて資源確保の国家的自信を齎した重大な意義をもつ。すなわちコロラド高原はウラン宝庫となり、また同種地層の高原外への延長地域にも新発見が続いている。こんちに合衆国の5大鉱山にあげられるものを列挙すると次のようであり、すべてがコロラド高原上のものである。なお500~1,000t/dの選鉱製錬場が現在11運転されているが、そのうちの10までが高原上に位置する。

さらに4カ所に増設計画中である。

1. Jack Pile up. Jura—Morrison 層
2. Mi Vida (Steen) Trias—Chinle 層
3. Delta (Pick) Trias—Shinarump 層
4. Happy Jack Trias—Shinarump 層
5. Haystack up. Jura—Todilto 層
(Morrison の上位)

参考文献

- 1) Kerr, P. F.: The natural occurrence of uranium and thorium, Conference paper for the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Aug., 1955
- 2) Nininger, R. D.: Minerals for atomic energy, New York, D. Van Nostrand Co., Inc., 1954
- 3) Faul, H.: Nuclear geology, a symposium on nuclear phenomena in the earth sciences, New York, John Wiley and Sons, Inc., 1954
- 4) Bain, G. W.: Geology of the fissionable materials, Econ. Geol., 1950
- 5) Everhart, D. L. and Wright, R. J.: The geologic character of typical pitchblende veins, Econ. Geol., 1953
- 6) Nininger, R. D.: Hunting uranium around the world, National Geograph. Mag., Oct., 1954
- 7) Nininger, R. D.: Uranium (Review), Eng. Min. Jour., Feb., 1955
- 8) Royen, W. and Bowels, O.: The mineral resources of the world, Atlas of the world's resources Vol. II: New York, Prentice-Hall, Inc., 1952
- 9) Thoreau, J. and de Terdonck, R. du Trieu: Le gite d'uranium de Shinkolobwe-Kasolo (Katanga), Extrait des mem. publies par l'Institut. Colonial Belge, tome 1, fasc. 8, Bruxelles, 1933, (Abstract: Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 46, 1935)
- 10) Lang, A. H.: Canadian deposits of uranium and thorium, Geol. Survey Canada Paper 51-10, 1951
- 11) Reinecke, L.: Origin of the Witwatersrand system, Trans. Geol. Soc. South Africa, Vol. 33, 1931
- 12) Anonymous: Uranium soars to prominence in South Africa's gold fields: Eng. Min. Jour., Vol. 154, 1953
- 13) Davidson, C. F. The gold-uranium ores of the Witwatersrand: Min. Mag., v. 88, 1954
- 14) Frasor, J. A.: Crackingstone, Saskatchewan, Dept. Mines and Tech. Surveys, Geol. Survey Canada, 1954
- 15) Frasor, J. A. and Robinson, S. C.: Preliminary description of the geology and mineralogy of the Gunnar-deposit, Saskatchewan, Candian Mining Journal, Vol. 75, 1954
- 16) Kerr, P. F., Brophy, G. P., Dahl, H. M., Green J. and Woolard, L. E.: Alteration and uranium mineralization, Marysville, Utah, Geol. Soc. Am. Memoir, 1955
- 17) Rasor, C. A.: Uraninite from the Grey Dawn mine., San Juan County, Utah, Science, v. 116, 1952
- 18) Wright, J. R.: Ore controls in sandstone uranium deposits of the Colorado Plateau, Econ. Geol., Vol. 50, 1955
- 19) Rosenzweig, A., Gruner J. W. and Gardner L.: Widespread occurrence and character of uraninite from the Triassic and Jurassic sediments of the Colorado Plateau, Econ. Geol., Vol. 49, 1954
- 20) Satterly, J. and Hewitt, D. F.: Some radioactive mineral occurrences in the Bancroft area, Ontario Dept. Mines, Geol. Cir. No. 2, 1955
- 21) Page, L. R.: Uranium in pegmatites: Econ. Geol. Vol. 45, 1950
- 22) R. Zückert: Die Paragenesen von Gediegen Silber und Wismut mit Kobalt-Nickel-Kiesen und der Uranopechblende zu Skt. Joachimsthal in Bohem, Preuss. Geol. Landesanstalt, Mitteilungen der Abt. für Gesteins —, Erz —, Kohle — und Salz-Untersuchungen, Heft p. 69~132, 1926, (Abstract: Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 46, 1935)
- 23) Roubault, M.: La recherche et l'exploitation des minerais d'uranium en France et dans l'Union Francaise, Societe des Ingenieurs Civils de France, 1952
- 24) Ippolito, F. e Nicotera, P.: Contributo alla conoscenza del giacimento uranifero del Monte Besimauada, Estratto dai Rendiconti della societa Mineralogica Italiana, Anno IX, 1953
- 25) Ippolito, F.: Il giacimento a pechblende e solfuri di Rio-Freddo-Peveragno,

- Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, Bollettino della Societa Geologica Italiana, Vol. LXXIII, 1954
- 26) Ippolito, F.: Stato attuale delle prospezioni per uranio e torio in Italia, l'Industria Mineralia, Agosto 1955
- 27) 原子力平和利用国際会議資料, ジュネーブ, 1955
- (1) McKelvy, V. E., Everhart, D. L. and Garrels R. M.: Summary of hypotheses of genesis of uranium deposits (U.S.A.)
- (2) Davidson, C. F.: The radioactive mineral resources of Great Britain.
- (U.K.)
- (3) Svenke, E.: The occurrence of uranium and thorium in Sweden (Sweden)
- (4) Ippolito, F.: Present state of uranium surveys in Italy (Italy)
- (5) Cavaca, R.: Uranium prospection in Portugal (Portugal)
- 28) 原子力平和利用会議 Session 6 B, 8月10日議事録(各国別)
- 29) 佐藤源郎: 原子力平和的利用海外調査団報告, 第IV部, 鉍床探査および開発, 工業技術院, 1955