

フランスの核原料資源のすう勢

山 田 正 春

私は1960年度 フランス政府給費技術協力招待生として 同年12月初旬かの地に渡り同国原子力庁主催の核原料資源に関する研究会に出席する機会を得た。そして同会の後半には ホントゥネーオーローズ (Fontenay-aux-Roses) 研究所をはじめ各支所・駐在所をめぐって探査から研究にわたる多方面の業務について また同国内の地質鉱床をつぶさに観察することができた。フランスの鉱床は わが国にくらべきわめて特徴的で 地質条件に規制されて興味ある産状を示す。従来からフランスの地質鉱床とくにウラン鉱床については、すでに地質ニュース No. 16 No. 63 No. 68 等で発表されたところであるが、国際的にみても核原料資源に対する考え方は、当時とはかなり変ってきたといえる。したがって本稿では、フランスにおける探査作業の歴史、地質鉱床の特性およびフランスの原子力政策の一環として、核原料資源がいかなるすう勢にあるか、また世界的な核原料資源の概観、原子力発電を例にとって、世界の原子力産業の将来の見通しなどを、フランス C. E. A. (Commissariat A l'Énergie Atomique: 原子力委) の資料をもとにして述べてみよう。

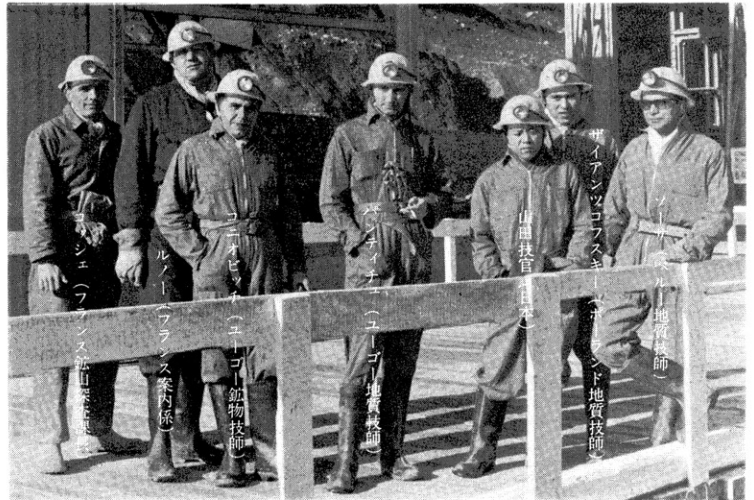
探 査 の 歴 史

フランスはいまや原子力部門において、アメリカ・ソ連・イギリスにつぐ有力な位置を占めるに至っている。1898年 キュリー夫人がラジウムを発見して以来第2次大戦前 (1938年) までこの部門に関する研究が継続された。1945年終戦とともに9つの局からなる原子力庁が発足し、核原料資源の探査部門である D. R. E. M. (Direction des Recherches et Exploitations Minières) も活動を開始した。1946年にはアフリカ地区等の探査もはじめられた。その後、探査開発作業の進展と共に D. R. E. M. の規模も拡大され、現在その在籍者は、80名の技師 (Ingénieur) と 130名の 技手 (Prospécteur) を含めて、総員 4,000名に達している。

第2次大戦中原子力に関しては何もなかった同国が、戦後5年にして全く独力でしかもほとんど本国において原料から一貫して原子力部門を完成し、さらに以後着々と発展していることは、フランスの誇りでありまたそれだけの意義がある訳である。

1945年 D. R. E. M. の発足当時は、わが国においてそうであったように、探査の進め方について明確な方針を立てがたく、かなりの困難を伴ったようである。そして、最初にはペグマタイト鉱床について、ついでアメリカのコロラド地区やアフリカのコンゴ地区、およびカナダのグレートベアー地区等の鉱床のような堆積岩中の鉱床を求めて堆積岩地区の探査を、さらにチエコスロバキアのヨヒモフ (Jochymov: 旧ヨアヒムシュタル) 地区のような熱水性鉱床を求めて花崗岩地帯を主とする地区等、外国の例を参考にして探査を進めていった。

なお、探査の進め方および方法は、きわめて合理的で



Les Bois noir-Limouzat 鉱山 堅坑前で各国の技術者たち

すぐれたものであるが その細部については すでに地質ニュース No. 68 に述べられているので省略する。

つきに 探査の経過について述べてみよう。

1. ペグマタイト 鉱床

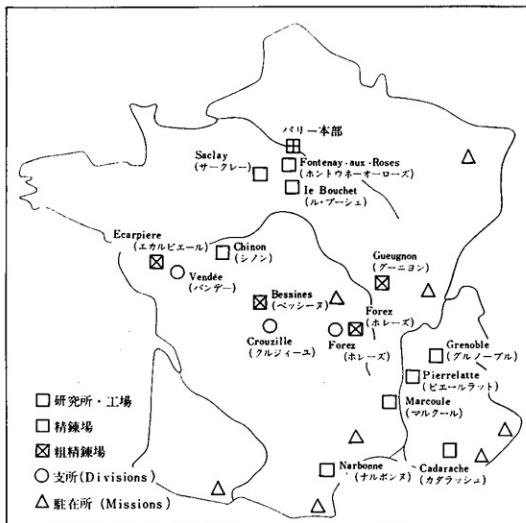
フランスには 下部石炭紀の花崗岩類が エルシニア帯 (Chaîne Hercynienne) の構造にそって分布するが これより新しい花崗岩類は 1部の地区を除いてほとんどない この花崗岩類のうち 中央山地の両雲母花崗岩中には とくにリムーザン (Limousin: リモージュ周辺地区) に多数のペグマタイトがある。 これらのペグマタイトはリムーザン地区の窯業原料として 17世紀ごろから使用されているものであるが 調査の結果はほとんど成果がなかった。

2. 堆積性 鉱床

フランス全土の新旧ほとんどの堆積岩地帯について調査をおこない パリー堆積盆地では 基盤の花崗岩まで 900m の試錐をおこなった。 これらの調査結果 いくらかの鉱床および異常地を発見した。 しかし 現在フランス本国では この種鉱床で稼行されているものはない。

3. 熱水性 鉱床

燐灰ウラン鉱 (Autunite) の語源として知られる オータン (Autun) 付近の燐灰ウラン鉱等の二次鉱物の起源の初生鉱床を求めて エルシニアン帯の花崗岩類について探査を行なった。 そして D. R. E. M. が発足してから 3年目の1948年秋に リモージュ (Limoge) の北方

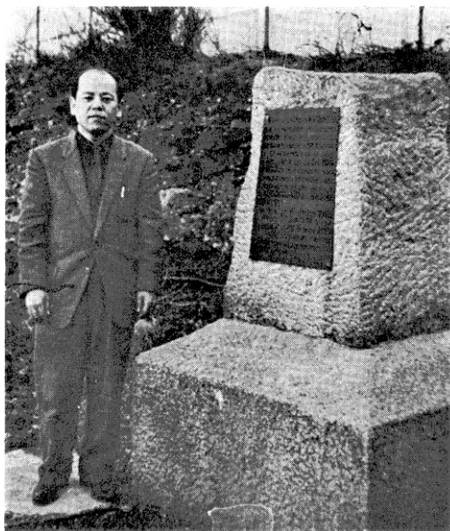


第 1 図 フランス本国の原子力関係機関配置図 (フランス C. E. A. 1960 版から)

約20kmの アンリエット (Henriette) において 両雲母花崗岩中に胚胎する 3条の含ピッチブレンド鉱脈 (走向N15°~30°W) を発見した。 そして1950年から本格的に採掘をはじめ 鉱脈の延長を追って探鉱をつづけた末 さらに多くの鉱脈を発見し 深さ 330m まで採掘した。 1957年までに 150 トンのウランウムを産出して閉鎖された。 さらに Henriette 付近で多くの優勢な鉱床をつづきと発見して クルジュー (Crouzille) 支所が開設された。 また 1954年には ビシー (Vichy) 東南部のホレーズ (Forez) 地区で フランス最大の レ・ボア・ノアールーリムーザ (Les Bois Noirs-Limouzat) の鉱床が発見された。 さらに ブルターニュ (Bretagne) のバンデー (Vendée) 地区では 1951年から1954年にかけて数多くの鉱床が発見された。

これらの鉱床の概略は後述するが かくて クルジュー (Crouzille) ホレーズ (Forez) および バンデー (Vendée) に Division (支所) が設けられ おのおの粗精錬場(酸化ウランまで)が併設された。 この粗精錬場の精製物は パリー郊外の ル・ブーシェ (le Bouchet) 精錬場に運んで金属ウランを精製しているが 近時出鉱量の増大にかんがみ 1959年から年産 1,000 トン U の第 2 の精錬工場が南フランスの ナルボンヌ (Narbonne) に建設されており 一部はすでに稼働している。

なお支所以外の探鉱地には ミッション (Mission) の組織があつて 少数の技術者によって 主として探鉱作



← Crouzille 支所管内の Enriette 鉱山は 1948年11月フランスで最初に発見された花崗岩中のピッチブレンド鉱脈で今は廃山となっているが 堅坑跡にこの記念碑が立っている 人物は山田技官



ブルジョー 鉱山の露天掘り

業が行なわれている。

また フランスでは国有鉱区が多く C. E. A. は国有鉱区のみについて探査開発を行ない 民間の鉱区については全く探査開発を行わず 産出鉱石を規定の価格で買上げるのみである。さらに政府機関の中でも核原料資源の探査開発を行なうのは D. R. E. M. のみで B. R. G. M. (Bureau de Recherches Géologique et Minières : 地質鉱山研究所) 等は全く関与しない。

民間企業による探査開発

フランスの基幹産業は 国営のものが多いが原子力部門もまたしかりである。1945年 D. R. E. M. の発足と共に 放射能異常発見地帯には ミッション (Mission) が設けられ幾多の業績をあげてきたが Mission の発展とともに その周辺の探鉱を目ざして民間企業も盛んになってきている。現在では 全産出量の1/4 (約1,000トン/年のU) に達し 約1,000人が働いている。

現在のおもな民間企業には

- C. F. M. U. ……Forez 地区
- S. C. U. M. M. R. A. ……中央山地
- S. I. M. U. R. A. ……Bretagne 地区

の3社があるが その他前述した粗精錬場も民間(S. I. M. O. 社 : Société Industrielle des Minerais de l'Ouest) に属するものが多い。

フランス連合体における探査開発

フランス連合体のなかでも ギアナをはじめとして アフリカ・マダガスカル等で探査が行なわれ その結果 アフリカ・マダガスカルにおいて多くの鉱床および異常地を発見した。アフリカ・マダガスカルの探査開発をつかさどる本部は マルセイユにおかれている。

アフリカでは 1946年以来広範囲にわたって 空中探査・自動車探査等を行なった結果 ガボン (Gabon) のムーナナ (Mounana) 鉱床 ニジェリア (Nigère) のアガード (Agades) 鉱床等を発見した。とくに Mounana の鉱床は 平均品位4%Uにおよぶ優勢な鉱床で 鉱石は中部フランスの グーニョン (Gueugnon) の粗精錬場に運ばれている。マダガスカルでは 主としてペグマタイトのウラノトリアナイトを産し 現在 ル・ブーシェ (le Bouchet) 精錬場で ウランとトリウムの分離が行なわれている。

フランスの地質鉱床の特性

ここでは 同国の地質鉱床の細部にわたる記述は省略しその特徴的な問題のみについて述べる。



ブルジョー 地区でのボーリング (ワゴンドリル)



ブルジョー 鉱山露天掘り 積み込み場 パワーシベルとダンプカー (25t 積み)

フランスの地質構造の特徴は 概略的にいって イギリスのコンウォール地区から プルターニューリムーザン中央山地を経て 北東方ボヘミア地区につづく エルシニアン帯 (Chaîne Hercynienne) と その南位のピレネーアルプスにつづくアルプス造山帯によって特徴づけられ 火成岩類 (先カンブリア紀から第3紀まで) はすべてこの帯のみに分布し とくに エルシニアン帯に卓越するが その他の地域は すべて堆積岩からなりパリ野 ボルドー平野では 大きなベーズン構造をなす。

エルシニアン帯には これにやや先立つ下部石炭紀の花崗岩類が多く分布するが これより新期の花崗岩類はほとんどない。フランスの火成鉱床のほとんどはこの花崗岩類に関係あるもので 中央山地等ではこのうち主として両雲母花崗岩中におおむね劣勢な 錫石・重石・金・銀・銅・鉛・亜鉛・黄鉄鉱・蒼鉛・重晶石・螢石等を産する。ウランのみはきわめて優勢な鉱脈ないし塊状鉱床をなして エルシニアン帯の主として前述の3地区に胚胎する。第3紀の火山岩類は とくに 中央山地に広く分布するが 鉱床は全くない。

その他の鉱床は 石炭紀および二疊紀層中に胚胎する石炭鉱床 主としてジュラ紀層中に胚胎する鉄鉱床がある。さらに非金属鉱床では 熱水性鉱床はほとんどなく 現地風化ないし堆積性の鉱床のみで ポーキサイト・岩塩・カリ塩・カオリン等があり また金属鉱床に伴う重晶石・螢石鉱床がある。さらに ピレネーに近

い ラック (Lacq) では 第3紀層中に大規模な天然ガス鉱床が発見され 重要なエネルギー資源となっているが この鉱床には硫黄をかなり含有するので 従来硫黄資源の貧弱であった同国にとっては 貴重な資源となっている。

ウ ラ ン 鉱 床

フランスのウラン鉱床および異常地を 熱水性鉱床と堆積性鉱床に分けて 以下にその概略をのべる。

1. 熱 水 性 鉱 床

この型の鉱床は ピッチブレンドを主とするウラン鉱物を多く含有する低温型熱水性鉱床で 鉱脈および塊状鉱床があるが その特徴は随伴鉱物が非常に少ないこと 鉱床の規模が優勢で中には傾斜延長 400 mにおよぶものがあること 常に赤鉄鉱化作用を伴い 石英・カルセドニー・螢石 (中には方解石)等を特徴的に伴うこと等であろう。この鉱床は すべて下部石炭紀の花崗岩類 (このうち 花崗岩・白雲母花崗岩とくに両雲母花崗岩中)のみに産し その他の花崗岩類や周辺の片麻岩・結晶片岩中に胚胎する場合はきわめてまれである。

これらの地質時代は

花 崗 岩 類……………下部石炭紀

エルシニアン造構運動……上部石炭紀
(破砕帯の形成)

鉱 化 作 用……………三疊～ジュラ紀

とされているが これは1953年に A. Demay の年代測



ブ ジ ョ ー 製 700HP ダ ン プ カ ー (100t 積 み)



ブ ル ジ ョ ー 鉱 山 の 整 坑

のみを伴う

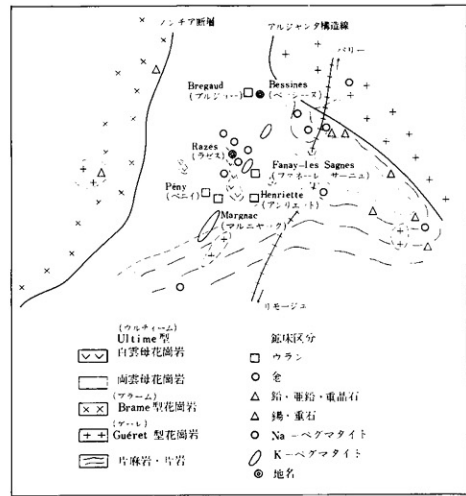
4. 二次変質

鉱床は N30°~45°W の走向を有し NEに60°~90°傾斜する破砕帯に 走向延長1.5km(石英脈の延長は7km) 傾斜延長400m以上 幅平均2.5m というきわめて優質な鉱脈で 平均品位0.8‰であるが 部分的には長径100m 短径100m 幅20m 平均品位1~1.4‰の塊状鉱床を伴う。 現在まで -200m 水準まで採掘され -280m 水準の採掘準備中である。 現在までの産出量は600~900トンUで 残存鉱量は約5,000トンUを見込み付属精錬場の能力(第3表)からみて 今後20年間の鉱量を確保している。 また Grury の鉱床は バンデー(Vendée) 地区と同じく石英・螢石を伴う特徴があり ラシヨー(Lachaux) 地区は 1950~1956年に 25トンの金属ウランを産して閉鎖した。

Division de Vendée (バンデー支所)

この地区は 1950年から探査がはじめられ 1951年に支所となった。

本地区の鉱床は モルターニュ(Mortagne)型白雲母花崗岩中に胚胎する不規則な塊状鉱床および細脈集合の鉱床で 本地区に存在する3つの断層系のうち とくに岩体北縁の断層に幾分の規制をうける。 これらの鉱床は典型的な低温型の鉱床で 少量の黄鉄鉱・石英・カルセドニーおよび螢石を伴う鉱染状のピッチブレンドであるが 常に赤鉄鉱化作用を伴う。 この地区の鉱床には l'Ecarpière la Chapelle-Largeau la Commanderie



第2図 Crouzille 地区地質鉱床図

la Dorgissière la Gabrielle la Chardon 等があり また Parthenay の探鉱地がある。

エカルピエール(l'Ecarpière) 鉱山付近には粗精錬場があり 本地区産鉱石(平均品位0.9‰)および ブルターニュ(Bretagne) 半島の民間鉱山の鉱石(平均品位4‰)を精錬しているが 地区全体で月産20トンUの産出がある。本地区の鉱床は Forez および Crouzille 地区の鉱床に比して幾分の相違があるが代表的な l'Ecarpière の鉱床の規模は 走向延長2km 傾斜延長205m 以上で膨縮いちじるしく 平均品位は1‰Uである。

2. 堆積性鉱床

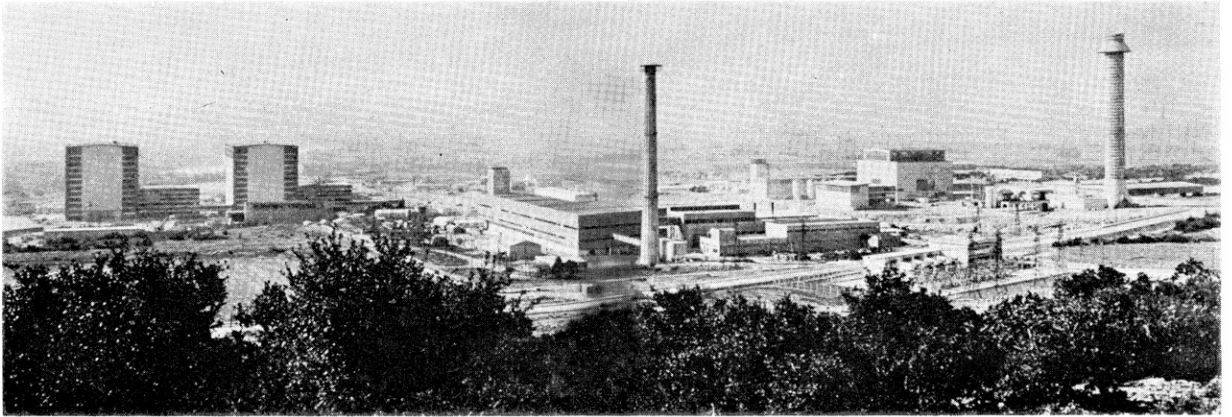
フランスでは 先カンブリア紀から第4紀に至るまで量および品位は別として 多くのウランの産地がある。しかし このうち重要なものは内陸盆地堆積層中のもので 本土ではとくに2畳紀層中および第3紀層中のもの



ファネー鉱山の脱衣室 着がえの衣類は天井につるし部屋を有効に使う



Vendée 地区 La Chapelle Largeau 鉱山露天掘り 遠方は堅坑 ここは "Dedet" 鍾(走向EW 走向延長1km 傾斜60°S)と "Ecole" 鍾(走向NS 走向延長600m 傾斜60°W)の交点で いずれも傾斜延長400m 鍾幅0.5~1m 平均品位1‰Uの鉱床である 人物の左は Leblanc 技手で 1950年にフランス最大の Bois-Noirs- Limouzat 鉱山の鉱床を発見した 現在は Vendée 支所勤務 右は Durand 技師



Marcoule にあるフランス原爆製造工場（フランスC.E.A. 1960年版から）

が重要で 北東部の ボージュ (Vosges) 南部のエロー (Hérault) 等では 2 疊紀層中に 中部の レ・グレイズィュー (Les Grézieux) 等では 第 3 紀層中に胚胎するものであるが その他種々のものがある。しかし いずれも現在は採掘されていない。

これらのうち代表的な産地として 2 疊紀層中のものでは 南仏の Hérault の 鈳床 第 3 紀層中のものでは Forez 支所に属する Grézieux-le-Formental の 鈳床について その概略をのべる。

I' Hérault の 鈳床 (第 4 図)

この 鈳床は南仏 モンペリエ (Montpellier) の北西バスで約 1 時間の ロデーブ (Lodève) 地区に位置するこの地区はフランスで最初に石油の探査が行なわれた所で 苦灰質石灰岩を主とする先カンブリア紀・カンブリア紀の基盤の上に南に 30° 前後の傾斜で石炭紀層・2 疊紀層が広く分布し さらに 3 疊紀以後の地層および新期の玄武岩がある。2 疊紀層は 下部 (オーチュニアン: Autunien) は灰～黒色の泥土岩 (Pélite grises ou noire) 礫岩・片岩・頁岩等からなり 上部 (サクソニアン: Saxonien) は砂岩および赤褐色の泥土岩 (Pélite rouge) からなる。鈳床は Autunien と Saxonien の境界に近い主として Autunien 中に胚胎するが 一部 Saxonien 中にも存在する。この地区の 鈳床は 1957 年に自動車探査によって発見されたが 産状は炭質物または瀝青質物質に富む厚さ 0.1～2 m の部分に濃集する傾向があり とくに富鈳部には特殊な断層 (Faille de tassement) が存在する。また 一部に外観は網状～脈状を呈し 高

品位のピッチブレンドおよび二次鈳物を含有し さらに銅鈳物 硫砒鉄鈳を伴い あたかも熱水成のような産状を呈するものもある。しかし 今までの研究結果では いずれも熱水成とは考えがたいとされている。いずれにしても 鈳床の産状およびウランの起源については きわめて興味ある問題であるが 今までのところでは堆積成と考えられており そして とくに特殊な断層に関連して この断層の 3～5 条存在するある範囲の瀝青質物・炭質物に富むある層準に濃集したものであろう。ウラン鈳物は ピッチブレンド・ジュネライト・オーチュナイト等で 部分的に品位 1～5‰におよぶ。

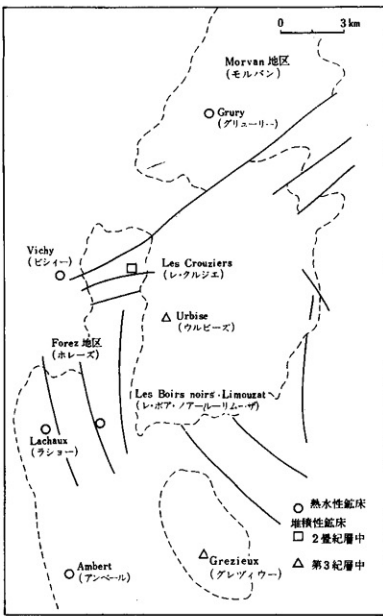
現在までの探査の結果 主鈳床である マダラリィー (Mas d'Alary) 地区では 坑道探鈳を行なって 鈳量 558 トン U が確認されているが 採掘は行なっていない。

Grézieux-le-Formental の 鈳床 (第 2 図)

1958 年に Lachaux の地球化学探鈳班 (この研究所はパリーの鈳物研究部の直屬) によって 中央山地一帯の花崗岩上に分布する第 3 紀層の地球化学調査が行なわれたが その結果 同年末に 3 つの異常地が発見された。

この異常地について 1959～1960 年にわたって種々の調査 とくに化学探鈳 (水および表土) および試錐が行なわれた。その結果 鈳床は “Formental” と呼ばれる緑色砂岩中に胚胎する品位 1～0.2‰U の 鈳床であることが判明し さらにパリー本部の鈳物研究部で研究の結果 次のことが明らかとなった。

(1) この第 3 紀層は 中新世～漸新世であろう



第3図
Forez 地区 鉱床
位置図

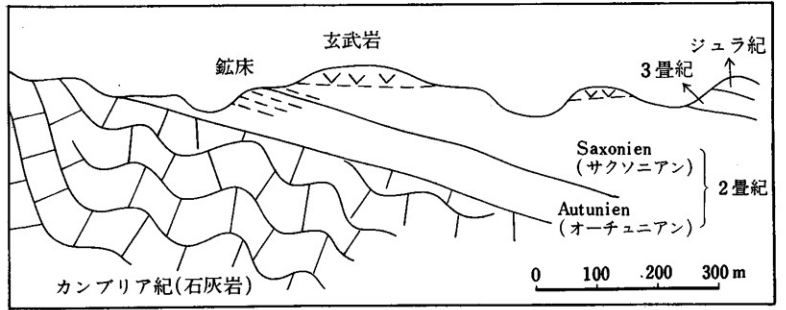
- (2) 鉱床は燐灰ウラン鉱を主とし 新らしい時代の生成にかかわるものであろう
- (3) 砂岩中には石膏およびイライトがある
- (4) 微量成分として Sr Li V B がある
- (5) 本地域の侵蝕は 300m におよぶ

等で 成因については熱水成とは考えがたく 周辺の花崗岩中に胚胎する数個の鉱脈型ウラン鉱床に起源を求めそれらが岩層化して同時堆積したものとの成因を考えている。 現在 この地区の4カ所にわたって探査が行なわれているが Grézieux および Grézieux à Mérieux 地区のみの 850m の範囲の鉱量は 約80トンUと考えられ 平均品位は0.34%である。 なお アフリカの代表的なムーナナ(Mounana) 鉱床は 先カンブリア～オールドヴィシアン紀層中に その層理に平行して 胚胎する平均品位4%の鉱床で フランスヴィリット (Franceville) および コフフィニト (Coffinite) を主とする

この鉱床は現在までのところ 堆積成と考えられている。

以上に鉱床の概略について述べたが つぎに核原料資源に関するフランスおよび世界のすう勢 さらに原子力発電に例をとって原子力産業の動向等について述べる

なお 資料はすべてフランス C. E. A. のものである。



第4図 I' Hérault 地区地質鉱床模式断面図

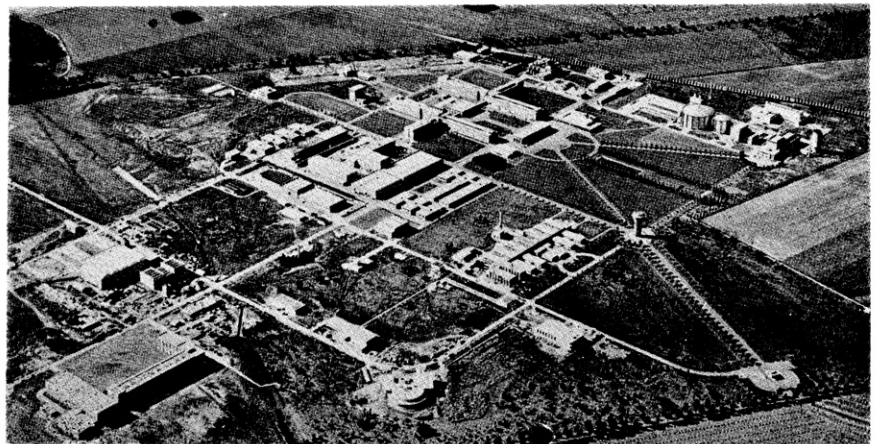
鉱 量

D. R. E. M. の発足以来 鋭意探鉱作業を行なって本国内において優秀な数多くの鉱床を発見したことは前述したが 本国内の各地の鉱量は 次の通りである。

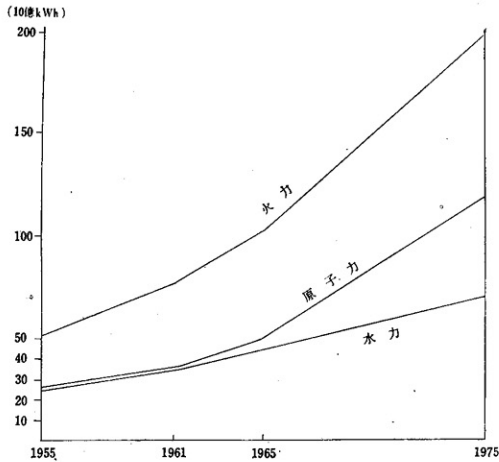
第1表 フランスの地区別鉱量

地 区 名	鉱量トン U	品 位 % U
ブルターニュ	1,000	> 3
パンデー	2,900	> 1.5
クルジュー	9,000	> 2.5
南部中央山地	5,000	> 3
北部ホレーズ	4,500	> 3
北部ペーズン	500	> 1.5
ボージュ	1,500	> 1.5
総 計	24,000~30,000	

ひるがえって世界各国(西欧側)の鉱量は 第2表の通りでカナダ アメリカが主要国であるが 一部共産圏諸国については あるていどの正確さを持った推定である。 なお カナダ等の鉱量が かって発表されたものより小さいのは 価格の低下から採算圏内の鉱量が小さくなったため さらに価格の低下があれば その鉱量も小さくなるわけである。



フランス原子力委員会所属のサークレール研究所本部(1946年創設)
(フランス C. E. A. 1960年版から)



第5図
フランス国内の発電力の比較

第4表 フランスの生産量

年 度	生産量トンU
1958	500
1959	800
1960	1,100
1961	1,300
1962	1,600 予定

第5表 世界の生産量 (西欧圏)

国名	1959 トンU	1963 トンU	1967 トンU
アメリカ	14,000	13,500	10,000~12,000
カナダ	11,500	6,000	1,000~2,000
南ア	4,750	4,000	2,000
フランス	820	1,600	1,600
オーストラリア	720	750	500
その他の計	1,000	500~1,000	500~1,000
総 計	32,770	25,600	17,000~18,000

はさらに増大するであろう。現在のところ生産可能な最大限度は 10万トンUと考えられている。

第2表 世界各國の鉱量

国 名	鉱量トンU	国 名	鉱量トンU	国 名	鉱量トンU
カナダ	300,000	イタリア	3,850(?)	チェコスロバキア	1,000(?)
南ア	250,000	スペイン	1,450	ポーランド	200(?)
アメリカ	185,000	日本	1,000	ユーゴスラビア	200~1,000(?)
フランス	30,000	アルゼンチン	550		
オーストラリア	8,500	ブラジル	450		
ポルトガル	4,200(?)	西ドイツ	100以下		

注：(?) 印は疑問のあるもの

一方世界の動向は アメリカ・カナダ・南ア等の生産が漸減の傾向にある。

原子力発電の見とおし
(第5図)

原子力産業の当面の最大の目標は 従来の火力・水力による発電にかわる原子力発電で 主要国ではすでに企業化の傾向にあるといえる。

フランスにおいても プルターニュ地区に本格的な原子力発電所の建設が進められている。次に世界各国の現状および将来の見とおしを表示するが わが国が西欧圏の中でも重要な位置を占めていることは注目に値するそして 1985年には総計20万~30万MWにおよぶものと推定されている。

粗精錬場の稼働状況

前述のように フランスの各支所には付属粗精錬場があるが アフリカ産鉱石は グーニオン (Gueugnon) へ マダガスカル産は ルブーシェ (le Bouchet) に送られる。そして これらの粗精製物は le Bouchet および ナルボンヌ (Narbonne) の精錬場で金属ウランとする。したがって le Bouchet では マダガスカル産鉱石のウランとトリウムの分離と 金属ウランの精錬とを行なっているわけである。

次に 各粗精錬場の稼働状況を表示する。

第3表 粗精錬場の稼働状況

名 称		処 理 能 力 tU/年	生 産 量 tU/年	内	
工 場 名	地 区 名			C.E.A.	民 間
エカルピェール	バンデー	300	270	220	50
ベッシーヌ	クルジューユ	800	580	330	250
ホレーズ	ホレーズ	330	300	300	—
小 計		1,430	1,150	850	300
グーニオン	ガボン	400	380	—	380
ブーシェ	マダガスカル	50	50	30	20
総 計		1,880	1,580	880	700

生産状況

つぎに生産量についてみると フランスでは一連の原子力産業の発展に応じて 年ごとにその生産量は上昇しているが 今後 原子力発電の本格化とともに 生産量

第6表 各国の原子力発電一覽 単位: MW(メガワット)

年 別	イギリス	仏	西独	アメリカ	日 本	カナダ	その他	総 計
1960	660	140	600	—	—	300	1,400	
1966	3,800	4,300	3,000	600	200	300	12,200	
1971	8,000	12,500	8,000	3,000	1,000	800	32,300	

む す び

以上にフランスおよび世界のすう勢についてのべた。いずれにしろ 近い将来 石油・石炭にかわる新しいエネルギー源として原子力が台頭し あらゆる産業に重要な役割を果すであろうことは 衆人の認める所であるが 原子力が将来 人類の福祉のためによりよき貢献をするであろうことを願い かつ信じてこの分野での発展を期待してやまない次第である。

(筆者は鉱床部 非金属課)