人形峠鉱山の探査の現況

特にノンコアボーリングによる堆積型ウラン鉱床の探査について

Report of Recent Prospecting at the Ningyo-Toge Mine

正 会 員 佐 藤 源 郎*

Genrō SATO

東 郷 文 雄**

Fumio TOGO

中 村 穎 三***

Kinzō NAKAMURA

久 保 恭 輔****

Kyosuke KUBO

1. 位置および地質鉱床の概要

人形峠鉱山は鳥取県倉吉市と岡山県津山市とを結ぶ県道沿いの県境である人形峠（海拔730m）にある（第1図参照，岡山県苫田郡上宍原村）。この鉱床は昭和30年11月工業技術院地質調査所のカーボン班によつて発見され，この地を人形峠と呼んで鉱床調査が開始されたが，昭和31年原子燃料公社発足以来鉱床精査および試錐と坑道による探査が進展し，現在までに前者は13,500m余，後者は6,200m余が掘進され，この結果，発見地点を含む峠地区鉱床の全貌がほぼ把握され，更にこの鉱床は予想外に広面積にわたり，断続延長していることがわかつて来た。付近の地質は主として，黒雲母花崗岩および閃雲花崗岩からなる基盤上に不整合に新第三系の礫岩，砂岩，泥岩および砂岩泥岩の互層が覆い，さらに上位には火山碎屑岩層，安山岩，玄武岩類の熔岩流などが重なっている。これらの新第三系の成層面はほぼ水平で，厚い所では数百mにおよんでいる。

安山岩類が被覆する地帯はかなり峻険な地形であるが，堆積岩が露出する地域は，緩い起伏の高原で，草原や湿地になっていることがある。

ウラン鉱床は，これらの新第三系の主として基底部の礫岩，アルコーズ砂岩あるいは凝灰質砂岩中に胚胎しほぼ水平な層状鉱床の形状をなしている。ウラン鉱物とし

ては主に人形石

および磷灰ウラ

ン鉱が認められ

るが，このほか

鉱床には黄鉄

鉱，白鉄鉱およ

び炭質物の破片

も見られる（第

2図は人形峠付

近の模式柱状図

である）。

最近の調査で

同様な地質構造

が人形峠付近か

ら，東方へ約20

km および北方

へ約15km 両方

向にわたって拡

がっていること

が分り，トレン

チ作業の進展と

共に各所に新露

頭が発見されつ

つある。

すなわちこの

堆積型鉱床は人

形峠地区では西

から東へ峠，夜

次，赤和瀬，中

津河，恩原，辰

己峠の各地区に

分離して存在す

るが，これらを

一括して人形峠

鉱山と呼び，公

社出張所がおい

てある。峠の北

方の新発見地に

峠地区
(清水山の東側面)

辰己峠附近

第2図 人形峠付近模式柱状図

第1図 人形峠倉吉地域地質概念図

* 原子燃料公社理事 探鉱部長

** 原子燃料公社地質課長

*** 試錐課長

**** 人形峠鉱山地質係長

おいては、北から東郷、平谷、余戸、三徳、神の倉の各地区に賦存し、これらを公社倉吉出張所が管轄している。

現在坑道探鉱が一応終了しているのは峠地区の大部と夜次地区だけで、他はトレンチ乃至試錐の段階にある現況であるが、本文では現在までの探鉱の成果と、人形峠堆積型鉱床の特殊性を利用した試錐による探査の方法について述べる。

2. 探査部門の内容

人形峠出張所は人形峠にあつて、総員36名、内探査関係は第1表の通りである。

第 1 表

		人員	主要機械台数
技術課	探鉱係	6	D.C.P.-1.....2 SU-P ₄ W.....4 D.C.P.-3.....6 D.C.P.-5.....10
	試錐係	5	T.D.H.-1(利根).....2 L.S.D. (〃).....1 PE (鉱研).....1
	坑道係	4	コンプレッサー100HP.....2 〃 75HP.....1 〃 60HP.....1 ブルドーザー 9.5t.....1 ローダー(太空)600型.....1

3. 探査の方法と成果

3.1 地質鉱床精査によつて判明した探鉱指針

組織的調査は昭和31年9月から行われ、花崗岩を覆う堆積層の基底の不整合面の追跡から始められた。地質概査によつて花崗岩類を新第三系が覆うことが分れば、直ちに綿密なトレンチによつて不整合面を追跡し、放射能異常の検出や露頭サンプルの分析によつてウラン品位を調べる。

人形峠付近から始つた地質鉱床精査は次第に東方および北方に広げられ、各所に鉱床の露頭をつかみ、また地質概査では前述のように広い地域にわたつて、鉱床賦存の可能性を認めるに至つた。

地質鉱床調査で判明したことおよび探鉱の指針としては

① 人形峠付近では、花崗岩類(他の基盤岩例えば古生層などの場合については、なお検討を要する)を覆う堆積層の分布する地域は、一応その不整合面上に鉱床賦存の可能性がある。従つてこの地域で、地質概査の結果上述のような地質構造の所が見出されれば、これを鉱床精査の候補地とする。

② 現在までに発見されたウラン鉱床の富鉱部は、すべて花崗岩不整合面の凹みや、チャンネルに胚胎されている。この地域は、含ウラン新第三紀層の堆積後に、その堆積構造やその下の不整合面の形状を著しく乱すよう

な地殻変動を蒙つた形跡がないから、現在の不整合面の形状は、堆積当時の基盤岩表面の原地形とほとんどかわつていないと考えることができる。このことは米国コロラド高原の堆積型ウラン鉱床に見られるチャンネル構造の「鉱石支配」(ore control)の現象が、この人形峠鉱床にも存在することを意味する。従つて、鉱床の高品位部を探査するためには、コロラド高原におけると同様に不整合面の凹所を探し求める探査を推進する。

③ ウラン鉱床を胚胎する堆積層は、一般にアルコーズ砂岩、礫岩、凝灰質砂岩などであるが、岩質、層理、化石などから見て、海成のものではなく、浅い淡水中に堆積したものか、あるいは花崗岩の準平原化の途上で、余り水の作用を受けずに堆積したものの様相を示している。従つて外海でなく、内陸盆地内の堆積層に注目する。

以上の外に鉱床の成因を解明することが、探鉱の手掛りとして重要なことであるから、今後の探鉱作業に伴うフィールドデータの蓄積整備により、その解明を進めてゆく。

3.2 物理・化学探鉱と適応性

人形峠付近の鉱床について、昭和32年度から化学探鉱を試験的に実施した結果、この種の鉱床に対しては、かなり有効であることが判明した。方法は、ウランを直接検出する直接法として蛍光法を主とし、さらに簡易なペーパークロマトグラフを併用している。また間接法として、錒鉛について行うが、この利用価値については、さらにテストを重ねて検討すべき問題が残されている。

物理探査法のうち、電気探鉱は、花崗岩と上位の堆積岩との境界すなわち、不整合面の追跡に比抵抗法を利用することができる。

基盤花崗岩が新第三系の厚い異層下に深く潜在して、その不整合面の状況が推察し難いような地区に対して、地震探鉱を行つて、不整合面の凹凸の大勢を把握するテストを行つている。不整合面下の花崗岩が一般に風化していて、上位の堆積層、特にアルコーズと物理的性質が類似するため、弾性波のグラフから正確な不整合面の位置を判じ難い場合があるが、不整合面のすべての位置を求めるには、有効であろうと考えている。

従来のいわゆる物理探鉱以外に、ウラン探査の独特な方法として盛んに放射能測定が行われている。これは野外での露頭発見に最も有効な方法であるばかりでなく、放射能異常の強度からウラン品位を推定することも、ある条件下では可能であつて、後述の試錐孔内検層、坑内調査、室内での鉱石研究などすべての調査研究に利用されている。

放射能測定器を使用する場合知つておくべきことは、自然計数、質量効果、距離の影響、遮蔽効果などである。

一般にシンチレーションカウンタはγ線を、ガイガ

ーカウンターは β 線を測定するもので、それぞれの用途に適宜使用される。またガイガーカウンターはアルミニウム板などを用いて、 γ 線によつて放出される電子を測定することもできる。探査の最初の手掛りを掴むためには、僅かな放射能異常をも見逃さないから、この場合には、シンチレーション・カウンターを使用せねばならない。

3.3 試錐探鉱と着鉱率

試錐探鉱は人形峠型鉱床において、最も重点がおかれるべき探査法であり、今後一層の推進が要請されているが、33年度末までの総延長13,500m余の年度別、地区別の孔数と延長ならびに着鉱率を第2表に示した。

着鉱率は500cpm以上のものを着鉱とし、 $\frac{\text{着鉱孔数}}{\text{全孔数}}$ (地区別)で示す。試錐方法などは後述する。

3.4 坑道探鉱の概況

坑道探鉱は峠地区において、31年末、積雪を前にして突貫工事が開始されて以来、今春までの総延長は峠、夜次、赤和瀬3地区合計6,500mもをこえた(第3表参照)。

探鉱坑道は、一般には100m間隔の基盤目状の水平沿層坑道であるが不整合面の起伏に伴つて、必ずしも鉱層に沿うことができない場合があり、掘上り(下り)の必要が生じる。加背は1.5(中幅)×1.8m(高さ)で、掘上り(下り)は1.2×1.5mである。坑道勾配は150分の1である。

4. ノンコアーボーリングと放射能検層

4.1 試錐の方法および岩芯採取と放射能検層

鉱床精査の結果、露頭の状況、放射能強度、ウラン鉱物の認定、基盤花崗岩の状態などが判明すれば、鉱床の

延びが予想される地区に試錐地点を設定し、試錐探鉱に移る。試錐は普通回転式試錐で、硬質の熔岩や花崗岩の一部にはダイヤモンドボーリングを用いる。一般に安山岩熔岩とその下位の堆積岩中では、空洞、亀裂、崩壊が多く、泥水あるいはケーシングを使用することが多い。後述の錐孔内の放射能検層を行うため、最終孔径は45mm以上にしている。

試錐間隔は、鉱床の有無、その大きさ、かぶりの深さなどで異なるが、鉱床およびその周辺部では一般に数十m～百数十mの間隔の網目状に行う。

米国コロラド高原で盛んに行われているような、圧縮空気駆動の衝撃式ドリル法は、人形峠付近では、地層の含水率が高いため、錐粉の排除に支障を来し成功していない。

探鉱の初期には、岩芯採取に関して非常な苦心が払われたが、鉱体はほとんどの場合、膠結度の弱い礫岩、アルコーズ砂岩でダブルコアチューブを使用しても、ある

第3図 シンチレーション検層器

第2表

年度別		31	32	33	果 計	着 鉱 率 %
峠	孔 数	4	18	20	42	
	延 長(m)	178.00	910.50	1,165.13	2,253.63	20.4
夜 次	孔 数	0	40	~	40	
	延 長(m)	0	1,050.60	0	1,050.60	55
赤 和 瀬	孔 数	~	15	~	15	
	延 長(m)	0	588.90	0	588.90	6.6
中 津 河	孔 数	~	23	48	71	
	延 長(m)	0	1,340.00	5,080.80	6,420.80	23.1
恩 原	孔 数	~	~	44	44	
	延 長(m)	0	0	3,251.69	3,251.69	13.6
果 計	孔 数	4	96	112	212	
	延 長(m)	178.00	3,890.00	9,497.62	13,565.62	

第3表

年度別	延 長			
	立 入 (m)	沿 層 (m)	掘 上(下) (m)	総 延 長 (m)
31	0	500	0	500
32	0	2,674.7	104.5	2,779.2
33	300.6	2,945.4	0	3,246.0
果 計	300.6	6,120.1	104.5	6,525.2

第4図

放射能検層曲線の一例

いは送水を止めて押込む方法を行つても、岩芯採取は極めて困難である。

従つてウラン鉱床が基底アルコーズ砂岩中であつて、その直下の基盤が風化した軟質花崗岩であるような場合は、不整合面の判定は、スライムのみに頼るため、正確でないおそれがある。

岩芯採取の代りに、幸いなことには、ウラン鉱床ではその放射能を利用して、放射能検層を行い、鉱床の放射能を測定して、鉱床の価値を判断することができる(第3図、第4図)。

放射能検層は、錐孔内で地層の放射能強度を測定することであるが、この測定では普通の野外の場合と違つて測定対象の幾何学的形態が一定しているため、品位と計数値との関係がある程度一義的に決まつてくる。また γ 線の測定であるから、比較的広い範囲の平均値を得ることができる。4.2に述べるように人形峠付近のような堆積型鉱床の場合、検層曲線から、ウラン品位および鉱層の厚さを比較的正確に測定することができる。

岩芯の場合は、採取が不完全であり、岩芯となる部分は、孔径に左右され、検層の場合より資料になる範囲が狭いことなどの理由から、品位および鉱層の厚さの測定については、放射能検層より不確実である。

一般には、ある鉱床について1乃至数孔のオールコアリングによつて、地質状況および放射能の起源としてのウランを掴んでおけば、あとは放射能検層を行うためのノンコアボーリングで充分であり、困難なオールコアリングを行わないことにより、掘進能率を高め、さらに試験経費を軽減することができるのである。

4.2 放射能検層値とウラン品位および鉱層の厚さ

検層値とウラン品位との関係は、鉱石鉱物中の放射性元素の種類、放射非平衡、さらに鉱床の二次的変化などで異なるから、各鉱床により、また一鉱床内でも酸化帯と不変帯とで、品位対計数値は違つてくる。これを定める最もよい方法として、一鉱床内の地質鉱床的に同一条件下にある部分の鉱石を用いて、自然の鉱層の形状に似

たテストホールを作り、実際の分析品位と計数値との関係を求めることである(第5図)。

品位は検層曲線のピークで示されるが、鉱層の厚さが測定に使用するプローブの長さに対し、比較的薄い場合は、ピークは実際の品位に対応するものより下がるからこのような場合は別に補正を要する。第5図作成に使用したSU-P4W(G.M. 管の長さ15cm)検層器では層厚約60cm以下では補正を要することになる。検層曲線から鉱層の厚さを求めるには、一般に検層曲線のピークの $\frac{1}{2}$ の高さにおける曲線の幅を求めればよい(半価層厚)。

この場合もプローブの長さと比較してある程度薄い層厚のものは、厚く出るから、別に補正を要する。

以上のようにして、検層曲線から、各鉱層毎に品位および層厚を求めることができる。

テストホールを利用して、種々の品位、層厚を作つて実験した結果、以上の方法で行う測定はほぼ正確でありまた実際に試験地点の検層結果と、坑道探鉱によるその地点の検層結果とを比較すると、品位、層厚はほぼ一致していることがたしかめられている。

ここで前述のように鉱床の二次的変化、例えば部分的にラヂウムを多量に含有するなどという地質鉱床の変化による誤算には、常に注意する必要がある。検層の時に、例えば放射能のエネルギー分析などが完全に行われるならば、さらに正確に鉱床の状況を知ることができよう。

4.3 試験結果に基づく予想鉱量の概算

試験探鉱のみで鉱量を云々することは不可能に近いが水平堆積型ウラン鉱床の場合、試験孔数ある程度多くし、さらに放射能検層により品位、層厚がかなり正確に把握できれば、ウラン鉱量を概算して、鉱床の規模の見当をつけることも可能である。

予想鉱量の概算は次の順序で行う。

- ① 既試験孔の試験および検層の結果から、各孔毎に鉱層の品位と厚さを測定算出する。
- ② 各試験孔によつて三角網目状の鉱劃を設ける(第6図)。
- ③ 各試験孔について、各鉱層の厚さを合計して層厚とし、そのおのおのの品位を層厚によつて加重平均して、平均品位を算出する。
- ④ 各鉱劃について、鉱劃をつくる3本の試験孔の層厚を平均して、平均層厚を算出し、鉱劃面積との積から鉱量(m^3)を出し、比重を掛て鉱量(t)を算出する。
- ⑤ 各鉱劃の品位は、鉱劃を囲む3本の試験孔の品位を、その層厚によつて加重平均する。
- ⑥ 全体の平均品位は、各鉱劃の品位を、その鉱劃の鉱量によつて加重平均して算出する。

以上の順序で鉱量の概算を行うことができるが、品位

第5図

検層器数値対酸化ウラン品位

検層器 SU-P4W
(フントン G.M.T.
但し、脈幅
60cm 以上の場合)

第6図 中津河鉱床の試錐探鉱による鉛画図

第7図 夜次坑内サンプリング個数と誤差
(一方向における例)

の変化が、等品位曲線あるいは等放射能曲線などで明瞭に表現されるような場合は、各品位別に鉱量計算を行うこともできよう。

このようにして得られた鉱量は、品位層厚のばらつきの度合、それに対応した試錐孔数の多少などによって、その精度が異なってくる。

人形峠鉱山の夜次地区の坑内サンプリングの資料を基にして、サンプリング個数を逐次減じた場合、その誤差が如何程増加するかを実際に当つて計算すると、第7図の如くなる。品位層厚のばらつきの度合とサンプル個数が問題になることがわかる。

一般に、ある鉱がりを持つ同一鉱床に対して行われた試錐データについて、その誤差を検討する場合は、統計学的に計算するのが便利である。ただしこれには、試錐によつて得られたデータ(この場合品位×層厚)は、その鉱床全体の Random Sample であることが必要である。

実際にはほぼ等間隔に網目状に行われた試錐の場合、各孔がある等面積部分の代表標本として考えられる。

第6図の中津河鉱床の試錐資料はこの条件から見れば少しく不適當であるが、算出された鉱量の誤差の度合を見るため、一応統計学的に計算して見ると次のようになる。

この鉱床内に行われた試錐孔16孔について、品位×層厚の平均値と標

準偏差とを求める。

$$\bar{x} \approx 0.093 \quad \text{平均値}$$

$$S \approx 0.076 \quad \text{標準偏差}$$

小標本集団は t -分布の理論で扱われるから、鉱床全体の品位×層厚の真の平均値 m は95%の信頼限界をもつて次式で推定される。

$$\bar{x} - \frac{t_{0.05} \times S}{\sqrt{n-1}} \leq m \leq \bar{x} + \frac{t_{0.05} \times S}{\sqrt{n-1}}$$

これを計算すると

$$0.093 - 0.039 \leq m \leq 0.093 + 0.039$$

従つて相対誤差は

$$\text{相対誤差} = \frac{0.039}{0.093} \approx 0.42 \quad 42\%$$

90%の信頼限界では相対誤差は28%となる。また90%信頼限界で相対誤差を20%にするためには、いずれの試錐を行えばよいかは、

$$n \geq 50 t_{0.1} \left(\frac{S}{\bar{x}} \right)^2 + 1 \approx 28$$

既掘孔が16孔であるから、鉱床全体にわたつて12孔増す必要がある。

また等品位曲線などによつて、鉱床がいくつかの部分に分けられるならば、その部分内のみで検討すれば、必要部分の精度のみ高めることもできよう。

いずれにしても、試錐データによるこのような型の鉱床評価の精度は、鉱床自体の品位、層厚の変化と、試錐孔数とが関係するから、各鉱床別に検討する必要がある。すなわち試錐経費(深度、m当り経費など)鉱床の規模、品位、鉱量、他の鉱床と比較しての探鉱の緩急度、坑道探鉱との関連性などを充分考慮して、どの程度に試錐探鉱を行うかを定める要がある。

4.4 試錐探鉱の一例(中津河鉱床)

第8図 試錐探鉱による中津河鉱床の推定本体図

代表例として人形峠地区中津河鈇床をあげるが、この鈇床は安山岩熔岩台地の下に潜在する潜頭鈇床である。

第8図はこの鈇床について、昭和32,33両年度にわたって行つた試錐探鈇の結果の推定立体図である。

鈇床は花崗岩基盤の不整合面の上の幅300乃至400m(南北)、長さ約800m(東西)の細長い凹み内に1~数mの厚さで分布している。品位については等放射能線が示すように、基盤岩の凹みの中央部が高品位で周辺に向つて基盤岩が高まる程その品位が低くなつていく。

鈇床は不整合面直上のアルコーズ砂岩、凝灰質砂岩などに胚胎する。これらの堆積層は凹地の中央部で最も厚く約20mであるが、周辺部の基盤岩の高い部分では欠出し上位の安山岩熔岩が直接基盤岩に接する。現在この鈇床の西方の山麓から、延長1,300m 予定の水平探鈇坑道がこの鈇床に向つて掘進されている。

5. 鈇量計算と操業との関連性

坑道探鈇の進歩に伴ない、初のウラン鈇開発に備えて種々の技術的な新しい問題が慎重に検討され、解明されつつある。その一環として、この鈇石からイエローケーキを作るいわゆる粗製鈇については、最近その試験の段

階に入つた所である。

従つて、探鈇による獲得鈇量と操業規模との関連性については、34年度以降の問題として考慮されつつある段階であつて、採掘も粗製鈇もまだ操業に入つてはいない。

6. 探鈇余地と今後の方針

人形峠付近の鈇床の探鈇の余地と今後の方針としては

① 人形峠鈇床の延長は、山陰地方の花崗岩類を基盤とする広大な地域に望みを持つことができるから、従来の資料を基にして、より能率のよい手段で、探鈇の速度を逐次早くすることに努める。

② 特に大鈇床は潜在鈇床である場合があるから、こうした潜在鈇床の探査に総合的な探査の方法を確立する。

③ 鈇床成因に関しても、地質鈇床学的研究に加えて地化学的検討などを行つて解明し、さらに多くの探鈇の手掛りをつかむ。

④ 一般にウラン探鈇の技術のレベルアップに努め、品位、鈇量などをより正確に、より早く把握する。

試錐孔内の放射能検層

試錐孔口(A)よりプローブを孔内に挿入して孔底まで下す。次に巻取ハンドル(B)を廻して毎分1~2mの速さでプローブを巻き上げる。ケーブル(C)は巻取装置(D)に巻き取られる。プロー

ブがある地層を通過する時、その地層の放射能強度は、放射能測定器(E)の目盛に表われると同時に、自動記録装置(F)によりグラフ上に記録される。以上の関係は検層模式図に示す通りである。

現在、放射能測定器には、ガイガー型とシンチレーション型の2種類がある。プローブの大きさは長さ約60cm、径約2.5cmである。写真右上のG、Hは試錐機の一部である。(原子燃料公社提供)

検層の実況

検層模式図