

鳥取・岡山県境人形峠県道切取りに発見されたウラン鉱床について

片山信夫** 丸山修司* 物部長進* 北 卓治* 三堀照夫**

On the Uranium Deposit Found at a Cutting of the Ningyō Pass between
Tottori and Okayama Prefectures

By

Nobuo Katayama, Shūji Maruyama, Sakiyuki Mononobe, Takuji Kita & Teruo Mitsubori

Abstract

At 100~200 m to the northwest of the Ningyō pass, there is a small "trough" on the basement granite, filled with the sediments which are probably of late Miocene or of early Pliocene. They crop out at a cutting, in front of which the carborne surveying team of the Geological Survey of Japan detected a strong anomaly of radioactivity on November 12, 1955. The writers explored the cutting twice in 1956, and came to the conclusion that a sedimentary uranium deposit of both reasonable quality and quantity was expected to extend towards north and northwest from the cutting.

The sediments at the cutting are divided into two formations, the lower of them, the Ningyō-tōge formation, being overlain apparently conformably by the other, the Takashimizu formation. The uranium content of the Ningyō-tōge formation is over 0.01% everywhere at the cutting, while neither the Takashimizu formation nor the basement granite contains uranium exceeding 0.01%. The mean uranium content to the unaltered zone of the Ningyō-tōge formation is estimated to be about 0.05%.

In the writers' report, the feature of the formations, the method of quantitative measurement of beta-radioactivity, the relation between the number of counts of beta-rays per unit uranium content and the secondary alteration of the deposit, and the concentration of uranium in clay and silt fraction are described.

要 旨

人形峠の北西100~200 mの、基底花崗岩の上に、中新世後期または鮮新世初期と思われる盆地堆積物がある。それは道路の崖(切り通し)に露出しており、その崖で地質調査所の自動車放射能探査班が、昭和30年11月12日に強い放射能異常を発見した。筆者らは昭和31年に2回、この露頭を調査した。そして相当な品位と鉱量をもっている水成源のウラン鉱床が、露頭から北方、および北西方向へと拡がっているであろうという結論に達した。

堆積物は2つの累層に分けられる。下部は人形峠層で、上部の高清水層によつて明瞭に不整合により覆われている。人形峠層のウラン含有量は、露頭のどの部分でも0.01%以上あるが、高清水層および花崗岩はどちらも0.01%を超えることがない。人形峠層の不変帯のウランの平均品位は約0.05%と概算される。

この報告では、各層の特徴、β線の定量測定法、単位ウラン量のβ線のcountの数と鉱床の二次変質との関係、および粘土およびシルト中のウランの濃集が記載されている。

1. 緒 言

昭和30年秋に、旧小鴨鉱山を中心とする総合調査の一部として、岩崎章二、佐野浚一、小尾中丸、氏家明および浜地忠男の一行は、附近の自動車放射能調査を行った。その最終日である11月12日午後6時頃、人形峠の約200 m手前で著しい放射能異常を認めた。附近の花崗岩地帯で、一般に7,000 cpm位の所が、ここでは20,000 cpm位に上つたのである。翌日浜地忠男はその地点を調べて、切取りに現われている礫岩を主とする水成岩層が放射能の高いことを確かめた。

浜地忠男から連絡を受けた中沢次郎・高瀬博および丸山修司は、小鴨西方地区を調査中、11月22日人形峠を踏査し、その際高瀬は礫岩中の礫の割れ目に燐灰ウラン石を発見し、一行はさらに礫岩層の上の泥岩層でも、放

* 鉱床部
** 元所員

射能が高いことを確かめた。その採取試料を分析した結果、万分台のウランの含有を認めたので、昭和31年2月の日本鉱山地質学会で、中沢次郎が人形峠水成ウラン鉱床として始めて公表した。

筆者らはこの県道切取りのウラン鉱床露頭を精査し、今後の探査の方針を立てる目的で、次の通りの野外調査を行った。

片山信夫・北卓治・丸山修司
(昭和31年3月21日～30日)

片山信夫・物部長進・三堀照夫
(昭和31年7月31日～8月15日)

なお採取試料の化学分析は関根節郎・望月常一・岡本憲・松田牧子によつて行われた。

また片山は当時東京大学教養学部地学教室の助手、佐藤良昭氏の協力を得て、堆積論の立場からの検討を行った⁹⁾。

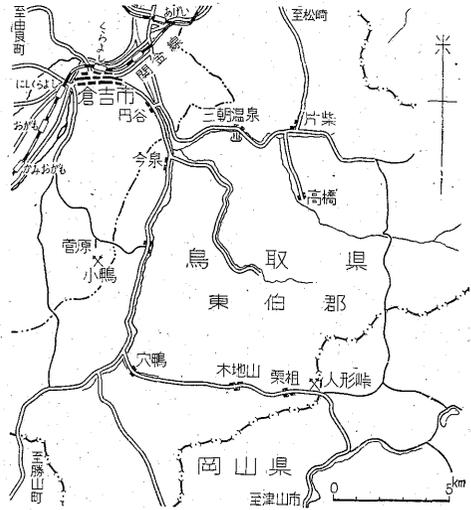
人形峠の現地調査の際いろいろの援助を与えられた鳥取県庁、倉吉市役所、三朝町役場の関係各位、ならびに木地山部落の諸兄姉に厚く感謝する。また分析に御協力いただいた東京都立大学の半谷高久博士に敬意を表する。

2. 位置および交通

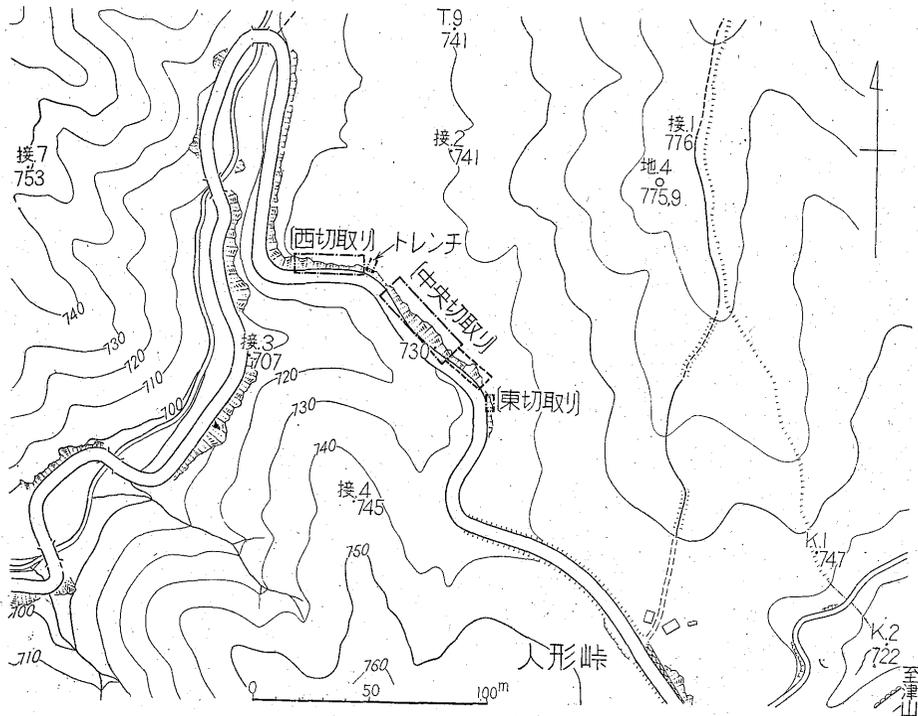
人形峠は鳥取県三朝町と岡山県上斎原村の境界にあつ

て、倉吉市と津山市を結ぶ県道が中国背稜山脈を越える所である。もと無名の峠であつたが、ウラン鉱発見後まもなく報道関係者が、旧道が越えている人形峠にちなんで人形峠と呼んだのが、その後一般に通用するようになった。

人形峠の県道は山陰線の上井駅と津山駅を結ぶ国鉄バスの通路にあたり、同バスによれば、上井から1時間



第1図 人形峠位置図



第2図 人形峠鉱床附近地形図および切取り位置図

半、津山からは2時間に到達する。

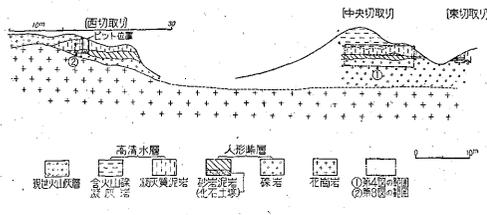
ウラン鉱床が最初に発見された地点は、峠の頂上にある国鉄バス県境駅から、鳥取県側に約200m隔てた所にある切取りであつて、これを中央切取りと呼ぶことにする(第2図参照)。

3. 地形および地質

鳥取・岡山両県の県境は、日本海水系と瀬戸内海水系との分水嶺になつており、人形峠では海拔735m、その北方の清水高原の頂上では975mになつている。鳥取側の斜面は一般に急傾斜で、谷も狭くて深い、岡山側はなだらかな波状地形を呈し、放牧地となつている所もある。問題の県道切取りは竹田川の上流にあたり、海拔約730mである。

附近の基盤は黒雲母・花崗岩からなり、その上に第三紀の火山噴出物がかなり厚く堆積している所もある。また地形のなだらかな所では、大山の噴出物と推定される軽石を混えた火山灰層が、ほとんど現在の地形なりに最上部に堆積している。

中央切取りの附近では花崗岩の上の不整合面が海拔730m附近にまでさがつていて、このくぼみに、礫岩を



第3図 人形峠鉱床地質断面図

主とする薄い堆積層がみられる。これを人形峠層と呼びさらにこの上に、見掛け上、整合に凝灰質の堆積岩層が乗っているのを高清水層と呼ぶことにする。

人形峠層の下半は礫岩層からなり、その厚さは中央切取りでは不整合面が県道地並以下にかくれているので不明であるが、2~3mよりは厚くないようである。中央切取りから西へ約50m隔てた西切取りでは、不整合面が県道の上に現われて西方に向かつて上昇し、人形峠層もこゝで終わっている。東方へは中央切取りから約10m隔てた地点にピットを掘つて礫岩層の続いていることを確認したが、峠ではすでに花崗岩が735m以上の高さまで上がつてきているので、南東方へはあまり広く分布していないらしい。

人形峠層の上半は砂岩および泥岩からなり、その厚さは全体で数10cmである。礫岩層の上の面はかなりでこぼこして、へこんだ部分では粗粒砂岩がかなり厚く堆積している。上部になるほど泥岩が多くなつて、最上

部は葉理の著しい泥岩層になつている。

東ピットではこの泥岩層を欠き、その代りに厚さ20~30cmの化石土壌がみられる。化石土壌は最上部に有機物を多量に含む黒い薄層があり、その下に層理の全くない淡色の部分があり、下方へは砂岩または礫岩に漸移している。

人形峠層の泥岩中には保存のよい木の葉の化石を産する。尾上亨の鑑定によれば、大部分はブナのなかまであつて、中新世末から鮮新世初期にかけての植物群と判断される。おもな種名は次の通りである。

Pinus palaeopeniaphylla TANAI et ONOE, *Picea* sp. "seed", *Pterocarya protorhoifolia* TANAI et ONOE, *Carpinus protojaponica* ENDO, *C. nipponica* ENDO "bractlet", *Fagus palaeocrenata* OKUTSU, *F.* sp., *Quercus protodentata* TANAI et ONOE, *Celtis protobungeana* TANAI et ONOE, *Zelkova Ungerii* (ETTING), *Prunus protossiori* TANAI et ONOE, *Acer subpictum* SAPORTA, *Styrax protoobassia* TANAI et ONOE

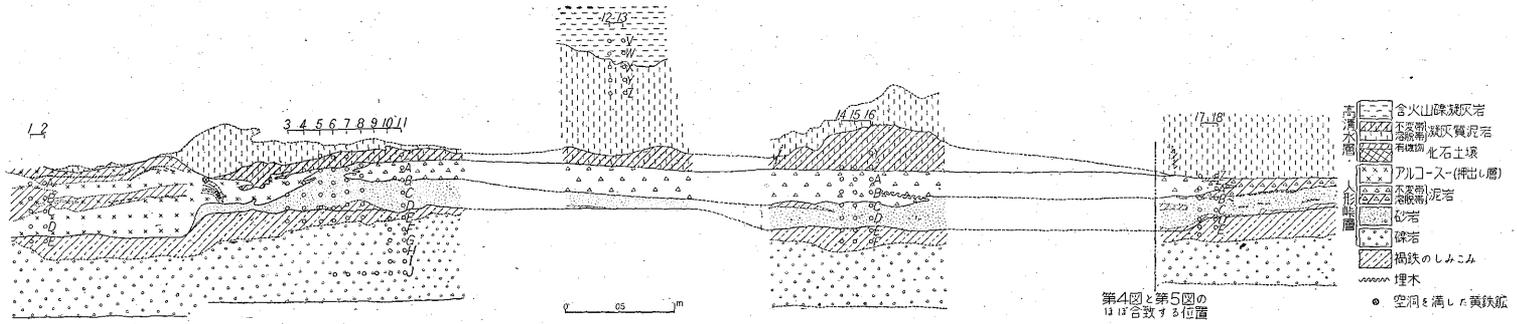
高清水層の下部は、塊状の凝灰質泥岩からなり、その間に砂岩の薄層を挟んでいるが、この砂岩層はこまかく波状に擾乱されており、一部ちぎれている所もある。1~2mほど上になると、安山岩の大きなブロックを含む凝灰岩になる。切取りの背後地を調べてみると、凝灰岩の上にはまたアルコーズ砂岩のある所もあり、高清水層の全体の厚さはかなり大きなものと考えられる。

東ピットでは、前記の化石土壌の上に、高清水層下部の塊状泥岩が直接乗っている。

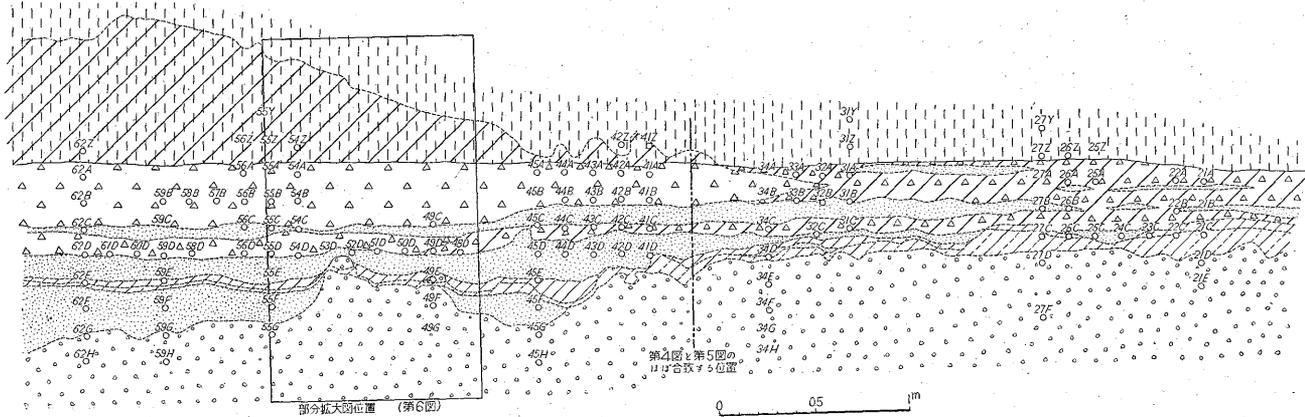
4. 調査方法

第1回の調査では、中央切取りの一部を垂直に切り取つて、詳しいスケッチをとりながら、DC-PI型測定装置⁸⁾を用いて、β線の計数を測定した。測点は径約14cmの円が互いに接するようにして、スケッチの上で重要と思われる箇所をくまなく覆うようにとつた。代表的な測点については、径14cmの円内を、深さ約1cmにえぐり取つて、平均試料を採取し、これについて東京で再度β線計数の室内測定を行い、そのうえで化学分析によりウランを定量した。

第2回の調査では、特にウラン品位の二次的変化を究明する目的で、中央切取りの東部を、水平方向約7mにわたり、垂直に切り取つて、前回同様にスケッチとβ線計数の測定を行つた。なお第1回の経験に基づいて、プローブの先端にフードをつけて測定した結果、分析値との関係を精密に検討することができて、二次的変化の究明に役立った。フードをつけない場合には半影部からのβ線の影響がかなり大きい場合があるので、測定値の解



第4図 人形峠県道中央切取り見取図 (その1)



第5図 人形峠県道中央切取り見取図 (その2)

積が困難になるのである。これらの点についての詳しい吟味は、別に報告する予定である。

第2回の調査の際には、人形峠層の連続性を確かめるために、中央切取りの東方にピットを1本、西切取りに北向きにトレンチを1本掘った。

5. 人形峠層

高清水層および花崗岩中では、ウランの品位が万分台に達する所はなく、一方人形峠では、一部の例外を除いてほとんど全部0.01%以上のウランを含有している。したがって、人形峠層すなわちウラン鉱床、といえる。

5.1 中央切取りにおける人形峠層下部礫岩層(第4~6図)

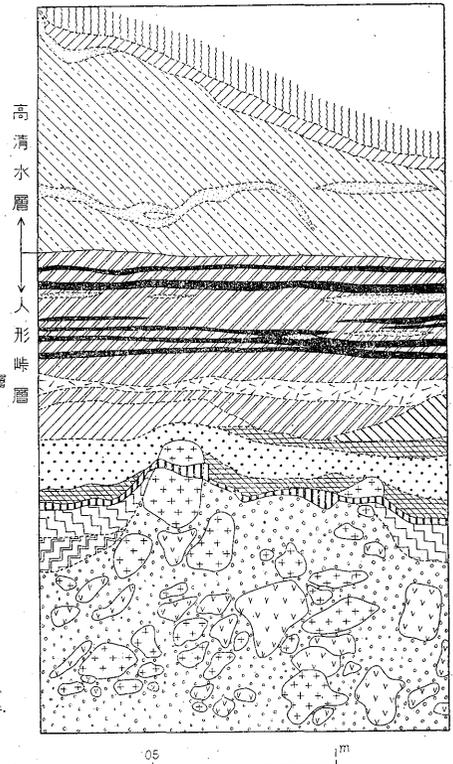
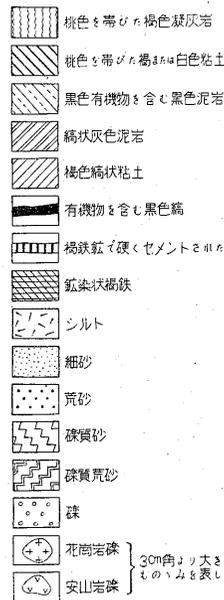
歪角礫状の礫を多量に含み、人頭大のものもまれではない。礫の大きさはきわめて不揃いであるが、マトリックスもまた淘汰度がきわめて低い⁹⁾。礫の種類は花崗岩が多く、花崗斑岩および斜長石英粗面岩がこれに次ぎ、変質した火山岩または凝灰岩もかなり含まれている。マトリックスを構成している鉱物は、大部分が花崗岩系のものである⁹⁾。

中央切取りに現われている礫岩層は、すべて現在の地表附近の循環水の影響を受けているらしく、淡色を呈し、所々に褐鉄鉱のしみがある。特に礫岩層の最上部には褐鉄鉱にかたくセメントされた部分がある。この部分を瀬戸地方の鬼板⁸⁾と比較検討した名古屋工業大学の福尾券一によれば(私信)、礫岩層堆積当時に沈殿した褐鉄鉱ではなく、地下水中から沈殿したものと考えられるそうである。また第6図に明らかなように、この褐鉄鉱にセメントされた面は、花崗岩の一つの礫の割れ目に沿って、続いている部分もあるので、産状から考えても、堆積当時の沈殿物とは考えられない。

礫岩中の礫を割ると、時々割れ目に沿って鱗灰ウラン石の結晶がみいだされる。マトリックスのなかや、礫の表面にはほとんどみいだされないことから、循環水の流動する部分では生成されず、毛細間隙程度の割れ目の間に限って晶出したものである。この鱗灰ウラン石が、最近の地表面が形成されてからの地表附近の循環水の影響で生成されたことは、その年齢が3万数千年位と測定された¹⁰⁾ことでも明らかである。

5.2 中央切取りにおける人形峠層上部砂岩・泥岩層

人形峠層上部層の砂岩や泥岩も、淘汰度がきわめて悪



第6図 人形峠中央切り部分拡大見取図

く、かつ組成鉱物が大部分花崗岩系である点で、下部礫岩のマトリックスと全く同様である。たゞ切取り中央部の上部層では、循環水の影響をほとんど受けていない不変帯が残っている点で、下部礫岩層と著しく異っている。これは不透水層としての泥岩層が、地下水の流動を妨げているためと考えられる。

不変帯での砂岩層は、多少灰緑色を帯びる程度であるが、泥岩層は暗灰色を呈しており、白っぽい溶脱帯と著しい対照を示している。不変帯と溶脱帯との区分は、後述のように放射平衡の吟味からも行うことができるが、色での区分と大体一致する。

不変帯は組成物質の上で2つの大きな特徴をもっている。その1つは硫化鉄であり、他の1つは有機物である。

不変帯の岩石中の重鉱物を調べてみると、所により多量の硫化鉄を含んでおり、最上部の泥岩中では重鉱物中の半ばを占めることもある⁹⁾。泥岩中の硫化鉄は炭のふんのような色と形をした微粒子であるが、砂岩中のものは双眼顕微鏡下で細かい結晶の集合であることがみ分けられるものもある。肉眼で認めうるほどのものはほとんどないが、たゞ1カ所や大きな粒が観察されたのは、第4図に示した通り、現在は溶脱帯と考えられる部分で

あつて、おそらく粒が大きいために残っていたものであろう。

岩泥中に植物の葉の化石を産することはすでに述べたが、そのほかに小さな炭化木や埋れ木も点々と含まれている(第4図)。不変帯では葉の化石も一枚ずつはぎとることができ、はぎとつたものは弾性があつて、黒化はしているが炭化してしまつたわけではなく、腐植化した程度で保存されてきたものと考えられる。溶脱帯ではこのような薄い有機物は抜け去つて、葉の印痕が残つているだけである。

このように保存のよい植物化石を産するにもかかわらず、湖底堆積物に普通みだされる珪藻、その他の微化石は認められなかつた。また東京都立大学の半谷高久に依頼して有機物の含有率を分析した結果は第1表の通りであつて、通常の湖底堆積物が全炭素で $n\%$ 、全窒素で $0. n\%$ を示すのに較べて、著しく低い。これらの結果は、人形峠層上部が堆積した当時の水中に、生物があまり棲息していなかつたことを暗示している。

第1表 人形峠層の有機物含有率

試料	乾燥減量 (%)	total N* (%)	total C (%)	無機性 C** (%)
礫岩マトリックス	1.9	0.002	0.02	0.002
粗粒砂岩	4.5	0.007	0.25	0.000
細粒砂岩	2.0	0.006	0.05	0.004
泥岩(不変帯)	3.4	0.000	0.92	0.008
高清水層泥岩(不変帯)	3.9	0.000	0.94	0.005
同上凝灰岩	6.0	0.000	0.07	0.000

分析：半谷高久(1956年12月)

* キルダール N, 硝酸態のものは含まず

** 炭酸根として存在する炭素

砂岩および泥岩を粒度分析した時に得られる 0.01mm 以下の微粒子の鉱物組成を確かめるために、ノレルコでX線粉末線を調べたが、いずれも石英とカオリンからなることがわかつた。カオリン鉱物については東京工業大学の岩井津一の検討により、カオリナイト(2)型に属し、瀬戸地方の木節粘土中のカオリン鉱物と類似していることがわかつた(私信)。

上部層中では肉眼的なウラン鉱物はほとんどみだされない。泥岩に挟まれた砂岩中に、まれに燐灰ウラン石を含むものがあるのみである。

5.3 人形峠層中の押し出し堆積物

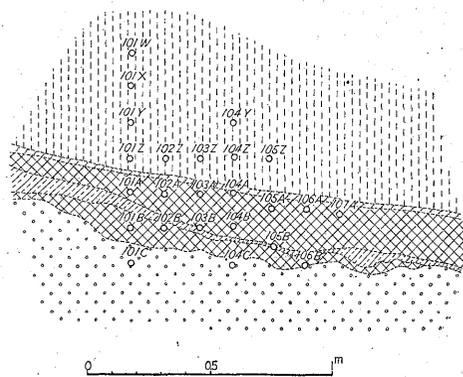
第4図左端に人形峠層上部の層理を切つて、厚さ数 10cm のアルコーズ砂岩が堆積しているのがみられる。全体がほぼ一様な粗粒砂岩であつて、不規則に散点する礫の分布から不明瞭な層理がみられるのみである。淘汰

度はきわめて悪く、その産状と併せ考えて、人形峠層堆積の末期に押し出して、上部層を押しつけて堆積したものと考えられる。

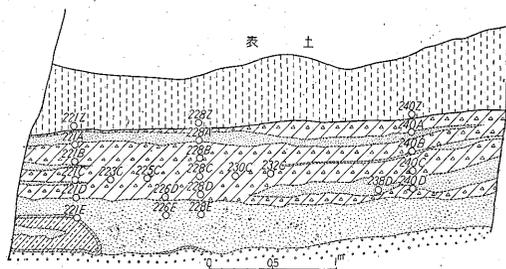
この押し出し堆積層の部分は、後にも述べるように、ほとんどウランの品位が 0.01% 以下である。おそらくこのように一時に多量の碎屑物を堆積するような環境では、ウランの濃集が行われなかつたか、または、泥岩層を含まぬために、地下水の循環が活発で、溶脱が著しく進んだためであろう。

5.4 東切取りピットの人形峠層

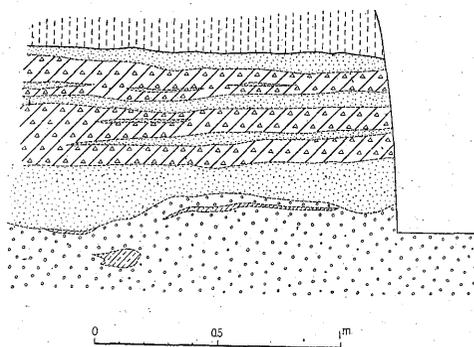
東切取りピットでは、前にも述べた通り人形峠層上部の砂岩・泥岩層を欠き、その代りに化石土壌が現われて



第7図 人形峠東切取りピット北壁見取図



第8図 人形峠西切取り見取図



第9図 人形峠西切取りトレンチ西壁見取図

第2表 1956年3月調査の際の中央切取り count 数およびウラン品位

試料番号 (測線測点)	現場 count 数/5 min*	室内 count 数/5 min**	U品位 (%)	試料番号 (測線測点)	現場 count 数/5 min*	室内 count 数/5 min**	U品位 (%)
1A	80			11Z	420	129	0.004
1B	160			11A	830	423	0.049
1C	380			11B	1,140	746	0.063
1D	510			11C	1,110	506	0.061
1E	720			11D	1,040	543	0.058
2A	190	42	0.001	11E	1,000	435	0.064
2B	220	58	0.001	11F	770	259	0.023
2C	380	160	0.007	11G	420	206	0.017
2D	610	225	0.013	11H	380	193	0.019
2E	650	353	0.025	11I	440	155	0.021
3Z	240	40	0.002	11J	350	286	0.040
3A	290	145	0.015	12V	80		
3B	360	99	0.004	12W	90		
3C	610	443	0.026	12X	160		
3D	820	547	0.070	12Y	140		
3E	690	397	0.032	12Z	220		
4A	250			13V	90	22	0.001
4B	410			13W	70	28	0.001
4C	720			13X	130	26	0.000
4D	780			13Y	200	17	0.001
4E	660			13Z	200	43	0.000
5A	440	161	0.029	14Z	270	85	0.002
5B	510	204	0.019	14A	530	218	0.020
5C	810	471	0.035	14B	780	370	0.030
5D	900	637	0.092	14C	1,200	620	0.085
5E	810	370	0.031	14D	1,130	564	0.067
6Z	350	214	0.029	14E	780	327	0.036
6A	540	232	0.022	14F	630	279	0.031
6B	690	284	0.027	15Z	280		
6C	1,110	598	0.058	15A	590		
6D	1,230	730	0.160	15B	810		
6E	920	341	0.033	15C	40		
6J	410	177	0.025	15D	1,420		
7Z	280			15E	1,030		
7A	530			15F	740		
7B	910			16Y	310	63	0.007
7C	1,250			16Z	320	73	0.008
7D	1,380			16A	640	370	0.019
7E	1,270			16B	760	297	0.028
7J	560			16C	1,150	578	0.057
8Z	570	97	0.005	16D	1,360	624	0.075
8A	800	356	0.036	16E	1,120	403	0.026
8B	1,150	565	0.081	16F	940	272	0.018
8C	1,480	566	0.070	17Z	450	167	0.016
8D	1,830	817	0.120	17A	670	384	0.054
8E	1,060	386	0.044	17B	650	298	0.037
8J	430	288	0.046	17C	950	528	0.060
9Z	690			17D	1,060	911	0.110
9A	970			17E	730	370	0.050
9B	1,080			17F	620	447	0.049
9C	1,180			18Z	400	169	0.017
9D	1,370			18A	560	231	0.030
9E	910			18B	680	247	0.031
9J	360			18C	910	498	0.057
10Z	380	125	0.003	18D	870	959	0.190
10A	890	456	0.061	18E	560	245	0.023
10B	1,060	625	0.097				
10C	1,100	537	0.055				
10D	1,120	581	0.085				
10E	990	378	0.049				
10F	690	426	0.019				
10G	520	347	0.015				
10H	460	198	0.022				
10I	440	325	0.038				
10J	400	348	0.048				

* フードを用いず H=10 cm

** H=5.5 cm

第3表 1956年8月調査の際の count 数およびウラン品位

試料番号*	現場 count 数/5 min**	室内 count 数/5 min***	U 品位 (%)	試料番号*	現場 count 数/5 min**	室内 count 数/5 min***	U 品位 (%)
21A	152	146	0.012	45A	263	224	0.023
21B	420	291	0.016	45B	503	384	0.029
21C	342	329	0.047	45C	746	451	0.047
21D	398	291	0.024	45D	451	312	0.020
21E	243	167	0.014	45E	372	316	0.024
22A	233			45F	274	176	0.010
22B	405			45G	156	154	0.016
22C	444			45H	113	95	0.005
23C	465			48D	784		
24C	506			49C	596	437	0.051
25Z	141			49D	928	580	0.077
25A	306	169	0.008	49E	509	328	0.020
25C	385			49F	369		
26Z	162	96	0.007	49G	265		
26A	273	156	0.009	50D	798		
26B	420	243	0.014	51D	820		
26C	539	450	0.062	52D	861		
27Y	6	35	0.002	53D	968		
27Z	186	123	0.006	54Z	117	59	0.001
27A	313	179	0.016	54A	208		
27B	410	327	0.018	54B	426	283	0.033
27C	487	327	0.032	54C	508		
27D	317	288	0.018	54D	830		
27F	208	163	0.008	55Y	52	45	0.001
31Y	60			55Z	90	48	0.000
31Z	224			55A	215	109	0.005
31A	394			55B	441	232	0.012
31B	685	441	0.040	55C	544	249	0.020
31C	590			55D	839	593	0.064
32A	409	262	0.032	55E	478	223	0.023
32B	571	342	0.033	55F	471	268	0.014
32C	600			55G	306	321	0.023
33A	394			56Z	83	35	0.000
33B	556	417	0.037	56A	184		
34A	475	305	0.046	56B	471	244	0.030
34B	562	349	0.021	56C	548		
34C	593	477	0.061	56D	946		
34D	411	179	0.010	57B	505		
34E	233	136	0.013	58B	489		
34F	126	170	0.014	58D	997	766	0.11
34G	105	64	0.006	59B	498		
41Z	95			59C	610	319	0.033
41A	338			59D	1,068	837	0.13
41B	530			59E	686	388	0.034
41C	628	444	0.043	59F	840		
41D	566			59G	646		
42Z	89	48	0.002	59H	398		
42A	208	244	0.022	60D	1,003	926	0.13
42B	541	258	0.023	61D	1,049		
42C	660	402	0.042	62Z	139	79	0.002
42D	460	290	0.027	62A	309	160	0.012
43A	331			62B	511	264	0.028
43B	560			62C	646	302	0.034
43C	709	379	0.049	62D	993	792	0.11
43D	453			62E	678	374	0.035
44A	318			62F	921	612	0.038
44B	477	283	0.031	62G	840	625	0.027
44C	783	464	0.043	62H	424	172	0.077
44D	565	406	0.041				

* 21~62 は中央切取り, 100 台は東切取りピット, 200 台は西切取りトレンチ
 ** フードあり, H=10 cm
 *** H=5.5 cm

いる。この化石土壌と、その上の高清水層の凝灰質泥岩とが不透水性であるため、第7図の左方にある小さな谷の斜面から浸透した循環水の影響は上下に分割され、下方の礫岩層との境に沿つては、それから沈殿したと考えられる褐鉄鉱でセメントされた部分がある。

東切取りと中央切取りとの間には小さな谷があるために、人形峠層上部の砂岩・泥岩層と、化石土壌との関係を直接観察することはできなかつたが、下部礫岩層は同様であり、上の高清水層との間にも侵食のあとと認められず、しかも上に乗っている高清水層の凝灰質泥岩層の特徴は、両切取りで全く一致しているので、上部層と化石土壌とは同時異相と解釈してよいであろう。すなわち、中央切取り方面が湖底であつたとき、東切取り方面は地表で風化作用にさらされていたものと考えられる。

化石土壌は粒度分析の結果によれば一つの著しい特徴をもっている。それは粒度積算曲線がほぼ直線になることであつて⁹⁾、いろいろな粒度のものが、ほぼ一様な割合いで含まれていることになる。これは淘汰作用を全く受けていないためであろう。

5.5 西切取りの人形峠層

西切取りは地形上周囲よりもかなり高くなつているので、全部溶脱されて白つぽくなつており、礫岩層の上部を初め、所々に褐鉄鉱に汚染された部分がある。中央切取りに較べ、砂岩の割合いがやゝ多くなつているのは、周辺相であるからであろう。

切取りから北方に向かつて、約4mの水平のトレンチを掘つてみたが、第9図に示した通り、人形峠層はほぼ水平に続いていて、北方の山中に向かつてかなり拡がっていることが予想される。

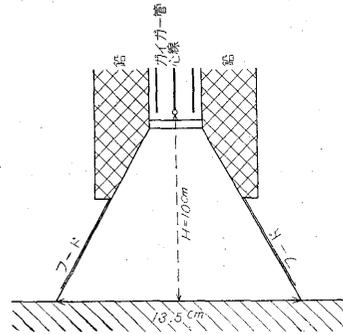
6. ウランの品位

ウランの品位を推定するために現場で DC-P1 型を用いて β 線の計数を測定した測点は、第4, 5, 7, 9図に示してある通りである。それらのうち代表的なものについて、前述の通り平均試料を採取し、室内測定および化学分析を行つた。その結果を第2表および第3表に示す。

6.1 現場での計数測定

現場で DC-P1 型を用いて計数を測定する場合の、プローブと目標物との幾何学的関係は第10図に示した通りである。フードを付けた場合には、距離10cmにある目標物の直径13.5cmの円内からの β 線が測定される。そのほかに目標物の内部および周辺からの γ 線の影響があり、フードを付けない場合には、半影部からの β 線も加わる。

計数は5分ずつ測定し、その測定値から次式によつて



第10図 野外で計数測定の場合のプローブと目標物との関係

自然数および空気の放射能の影響を差し引く。

$${}_{10}C = {}_{10}Tm + N + 0.2\infty Am$$

ただし ${}_{10}C$ は測定したまゝの計数、 ${}_{10}Tm$ は目標のみ由来する計数、 N は自然数、 ∞Am は空気の放射能である⁷⁾。8月の測定の際の中央切取り前における平均値は次の通りであつた。

$$N = 184/5 \text{ min}, \quad \infty Am = 68/5 \text{ min}$$

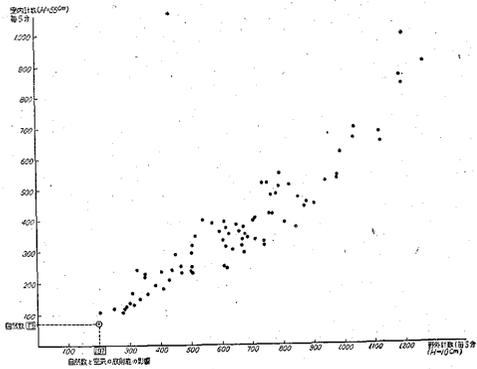
なお測定期間中の三朝町木地山部落における自然数は $N = 94/5 \text{ min}$ であり、中央切取り前では周囲の鉱石からの γ 線の影響で、自然数がかかなり高くなつているが、開放地であるため、空気の放射能はあまり高くなつていない。

第2表および第3表に掲げた現場 count 数は ${}_{10}Tm$ の値である。ただし第2表の値はフードを用いていないので、第3表に較べて少し割高に出ている。また第3表中、西切取りトレンチのものは補正に必要な条件が明確でなかつたために、野外での測定値は掲げてない。

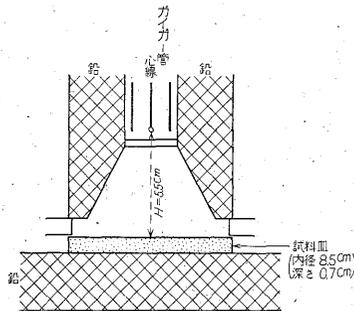
現場 count 数には、上に述べたように、目標の内部および周辺からの γ 線の影響がはいつているので、厳密にはさらにその補正が必要である。これらの詳しい吟味は追つて別に発表したいが、およその傾向としては、この γ 線の影響による計数の増加は、目標からの β 線のみによる計数に比例するものと考えてよいから、現場 count 数がウラン品位推定の根拠として役立つことには変わりはない。実際、8月の調査の際採取した中央切取りの試料について、現場 count 数と室内測定値とを比較してみると、第11図の通りであつて、充分現場での品位推定に役立つことを裏書きしている。

6.2 室内での計数測定

室内で採取試料の計数を測定するには、DC-P1型附属の測定台⁸⁾を使用した。試料はあらかじめ60 mesh以下に粉碎し、内径8.5cm、深さ0.7cmの試料皿に詰めて表面を平らにならし、心線からの距離 $H = 5.5 \text{ cm}$ で測定した。この測定法に関する吟味はすでに片山が別に報



第11図 現場での計数測定値と室内での計数測定値との比較(1956年8月採取の中央切取りの試料)



第12図 室内での計数測定の場合のプロープと試料との関係

告した通りで⁵⁾⁶⁾、十分に信頼しうる再現性ある値が得られる。

計数は5分ずつ測定し、測定値から自然数を引いた値を第2表および第3表に掲げてある。自然数は測定期間を通じて毎5分につき73であった。

6.3 ウランの定量分析

採取試料の化学分析は、次のような方法で行われた(関根節郎による)。

U品位0.05%以上の試料は容量分析法により、その他は蛍光分析法によつて行つた。

容量分析法は試料をKOHで融解し、HClに溶解、蒸発乾涸しHClで処理し口過する。口液にNH₄OHを加えて口過し、沈殿はHClO₄に溶解し、Na₂SO₃で還元し、チオ・アセトアミドを加えて煮沸後口過する。口液は煮沸してH₂Sを除きH₂O₂を加えて酸化した後、ふたたび煮沸して過剰のH₂O₂を除去する。冷後クベロンを加えCHCl₃で抽出する。水層は蒸発乾涸した後HClに溶解して鉛還元器を通して還元しCe(SO₄)₂で滴定してUを定量する。

蛍光分析法は試料をKOHで融解後HNO₃で処理し全量を50ccとする。この5ccを分取し、Al(NO₃)₃・

9H₂O 10gを加えて溶解し、醋酸エチル10ccでUを抽出する。この20ccを白金皿にとり点火して醋酸エチルを燃焼させた後K₂CO₃+Na₂CO₃+NaF 合剤2gを加えて650°Cで5分間融解する。冷後蛍光光度計により556mμのUの蛍光を測定しUを定量する。

6.4 ウラン1%あたりの計数

人形峠層中のカリウムおよびトリウムはいずれも微量であつて、β線の計数に問題となるような影響は与えないので、放射平衡が保たれておれば、計数値はウランの含有率に比例するはずである⁵⁾⁶⁾。理論的に算出したウラン1%当りの計数は、上記のような測定条件の場合には毎5分につき5,550になるが⁵⁾⁶⁾、実際にはγ線の影響が加わるために、これよりも多少大きくなる。その詳細な吟味は他に譲るが、放射平衡にある標準試料を用いて得た結果は、U1%あたり毎5分につき8.4×10³であつた。

人形峠の分析試料について、U1%あたりの計数を求めてみると、不変帯と考えられる部分の試料では一般にほゞ上記の標準試料の値に近い値を示すが、溶脱帯と考えられる部分では一般にそれよりかなり高くなり、最高は切取り東端の地表に近い部分で標準値の2倍強に達する。普通地表附近の循環水に対しては、ウランはその娘元素よりもよく溶解すると考えられるので、溶脱帯ではウランの溶脱が娘たちに先行するものと推定される。そのような場合には当然ウラン1%あたりの計数は高くなるであろう。すなわち地表附近でウラン1%あたりの計数が高くなる場合には、ウランが最近に溶脱されたが、または現に溶脱されつつあるためと解釈して大過ないであろう。

一方U1%あたりの計数が標準値より低く出る試料もある。そのような場合はたいてい周囲よりも品位が高い。もし循環水から最近にウランが沈殿した場合には、当然ウランの品位は上るとともに、ウラン1%あたりの計数は低くなるはずである。ウランの品位がもともと高い所で、娘元素のあるものが特に溶脱されても、同じような結果になるであろうが、前述の通り、普通にはウランの溶脱が先行するものと考えられるので、U1%あたりの計数が標準値より低い場合には、最近にウランの二次富化が行われたためと解釈してよいであろう。

6.5 中央切取りのウラン品位

中央切取りにおけるウラン品位の傾向を明らかにするために、分析試料を適当な群に分けて平均品位を求めた。群を分けるには、次のような規準に合致するものを一つの群としてまとめた。

- 1) 品位がほゞ同じくらいであること。
- 2) U1%あたりの計数がほゞ同じくらいであること。

3) 試料の採集位置が相互にかなり離れている場合には、その間に品位の大きな変動がないことを、現場の計数測定によって確かめられていること。

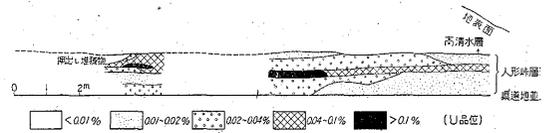
4) 岩相が一致していること。

中央切取り東部の品位検討には8月採取の試料(No. 21~62)を用い、西部の品位検討には3月採取の試料(No. 1~9)を用いた。各群別の試料番号と平均品位、ならびにU1%あたりの平均計数を表示すれば第4表の通りである。

第4表 ウランの平均品位とU1%あたり平均計数

群に属する試料番号	U平均品位(%)	U1%あたり平均計数(×10 ³ /5 min)	帯別
11A, 10A, 8A	0.049	8.4	不変
6A, 6B, 5B	0.023	10.6	//
11B	0.063	12.8	溶脱
10B, 8B	0.089	6.7	富化
11C, 10C, 8C	0.062	8.6	不変
6C, 5C, 3C	0.040	12.6	溶脱
11D, 3D	0.064	8.5	不変
10D, 8D, 6D, 5D	0.114	6.1	富化
11E, 10E	0.057	7.1	//
8E	0.044	8.8	不変?
6E, 5E, 3E	0.032	11.5	溶脱
11F, 10F, 11G, 10G, 11H, 10H	0.019	17.0	//
11I, 10I, 11J, 10J, 8J, 6J	0.037	7.5	富化
27A, 23A, 22A, 21A	0.011	14.8	溶脱
27B, 22B, 21B	0.016	18.0	//
27C, 22C, 21C	0.047	7.5	富化
27D, 27E, 21D, 21F	0.016	14.0	溶脱
32A	0.039	7.3	富化
31B, 32B, 33B, 34B	0.036	10.5	不変
34C	0.061	9.7	//
34D, 34E, 34F, 34G	0.011	12.4	溶脱
42A, 45A	0.023	10.2	不変
42B, 44B, 45B	0.028	10.4	//
41C, 42C, 43C, 44C, 45C, 48D	0.048	9.1	//
42D, 44D, 45D, 45E, 49E	0.026	12.7	溶脱
49D, 50D	0.075	7.5	富化
55A, 62A	0.009	15.0	溶脱
54B, 55B, 56B, 62B	0.026	9.8	不変
49C, 55C, 59C, 62C	0.035	9.3	//
55D, 58D, 59D, 62D	0.114	6.9	富化
55E, 59E, 62E	0.031	10.6	不変
55F, 62F	0.026	16.9	溶脱
55G, 62H	0.020	9.9	不変?

第4表に示した品位を基とし、現場で測定した計数の値、ならびに岩相を考慮に入れて、品位図を作成すると、第13図のようになる。



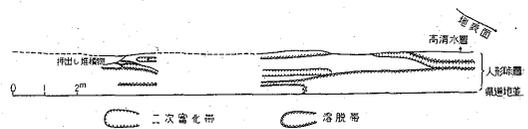
第13図 中央切取りウラン品位図

第13図と第4図および第5図とを対照してみればわかるように、人形峠層上部層の下部に高品位帯があつて、厚さ約14cmの間の平均品位は、東端の地表に近い部分を除くと、U0.08%である。その上の約14cmの間の平均品位はU0.04%であるから、両者を合せての平均品位はU0.06%(厚さ約30cm)となる。

それより上は場所によりかなり平均品位が変動する。また下部礫岩層の品位の変動もかなり不規則である。これらの品位の変動については、次に述べる二次的变化の影響を考慮に入れて解釈しなければならない。

6.6 中央切取りの二次富化帯・溶脱帯・不変帯

第4表の帯別の規準は次のようにとつた。すなわち、U1%あたり計数が $11 \times 10^3/5 \text{ min}$ より大きいものを溶脱帯、 $8 \times 10^3/5 \text{ min}$ より小さいものを二次富化帯とし、両者の中間の値のものを不変帯とした。このように区分すると、岩相から判断した溶脱帯、ならびに不変帯とよく調和する。第14図には、各帯の区分を示した。



第14図 中央切取りの溶脱帯、二次富化帯ならびに不変帯

第14図右上方の溶脱帯は、第5図と対照してみれば、現在の地表面にはほぼ平行した地下水面に関係したものであることが理解できるであろう。それに対し、下部礫岩層中の溶脱帯は、礫岩層中で水が移動しやすいために、上部層の不透水層の下に循環水がまわっているためと考えられる。そのほかに上部層のなかに局部的にみられる溶脱帯は、小さな透水層や割れ目に沿つた循環水によるものであろう。

二次富化帯は溶脱帯の下、および不変帯のなかに割り込んでいる狭い溶脱帯の末端部に多い。第14図右上方の二次富化帯は明らかに現在の自由地下水面の下にできたものである。

二次富化帯のうち、溶脱帯の下にできたものは、一度溶脱作用を受けた部分が二次富化されたり、あるいは地

下水面の動揺に伴なつて、溶脱と富化が交互に行われたりするために、二次富化帯、必ずしも高品位とはなっていない。またある場合には、最近における富化と溶脱の影響が相殺されて、U 1%あたり計数が不変帯に相当する数値を示すものと解釈される例もある(第4表8E, 55G および62H)。

不変帯が直接富化された場合には、硫化鉄がそのまま残留して、品位もU 0.1%以上の高品位になることが多い。

6.7 不変帯の品位

二次的变化は主として地表附近の循環水の影響によるものであるから、少し深い部分ではその影響は少なくなるはずである。したがつて、ウラン鉱床の品位の見当をつけるためには、二次的影響を受けていない場合について検討する必要がある。

人形峠上部層の下部にある高品位帯について、二次富化帯に属する部分を除いて平均品位を求めるとU 0.06%となる。したがつてその上の層を含めた厚さ30cmの層の平均品位はU 0.05%となる。この値は人形峠層上部層の品位を代表するものと考えてよいであろう。

下部礫岩層については、不変帯が観察できないので、中央切取りの露頭からだけでは、不変帯の品位を推定することが困難である。これについては、後述するように、粒度別の品位や、成因的考察に基づいて、予想を立てるほかない。

6.8 西切取りトレンチおよび東切取りピットの品位

西切取りトレンチは完全に溶脱帯のなかにあるので、品位は一般に低い。トレンチでは下部礫岩層にまで達していないが、トレンチの外でDC-P3型を用いて測定した計数から判断すると(第8図参照)、礫岩層直上の上部層砂岩中で品位が最も高く、中央切取りにおける傾向とよく似ている。

東切取りピットの品位は、中央切取りおよび西切取りに較べると、少し様子が違っている。化石土壌の上部だ

けが、異常に品位が高く、平均U 0.2%に達し、この部分のU 1%あたり計数値は毎5分 5.1×10^3 であつて、最近二次富化されたことを示している。その上下ではともに急激に品位が下がっているが、特に上盤の高清水層泥岩は、中央切取りと同様にU 0.01%以下の品位である。U 1%あたりの計数値は、下盤側では中央切取りの溶脱帯の値と同程度であるが、上盤側では 40×10^3 以上の高い値を示し、別の原因で高くなつているものと考えられる。

6.9 粒度別品位

人形峠層の各種岩石を注意深く⁹⁾分級して、粒度別による品位の異同を、β線の計数測定によつて調べた結果は、第5表の通りである。第5表から明らかなように、一般にシルトおよびそれ以下の微粒の部分が高品位で、この部分では、どこをとつてもU 0.05%以上の品位である。特に礫岩のマトリックスでも、シルトおよびそれ以下の微粒子では、U 0.05%以上になつてゐることは、注目に価する。

U 0.05%以上の品位を示す粘土粒の部分について、ノレルコX線回折計数装置を用いて粉末線を検討した結果は、前述の通り、組成鉱物は木節粘土と同様なカオリン鉱物と石英とであることがわかつた。また京都大学の早瀬一によりαトラックの検討が行われたが、αトラックが特に集中する部分はみいだされなかつたので、少なくともコロイド粒子以上の大きさのウラン鉱物は存在しないか、たとえ存在したとしても、含有されるウランのごく一部にすぎないものと考えられる。大部分のウランはおそらくカオリン鉱物に吸着されたような形で存在するものと推定される。

7. 考察と意見

以上の結果に基づいて、人形峠県道切取りに発見されたウラン鉱床の性格、ならびに価値について考察し、今後の開発に対する意見を述べたいと思う。

第5表 人形峠層の各部の粒度別ウラン品位

	粒 度 (mesh)	礫岩のマ トリックス		粗 粒 砂 岩		細 粒 砂 岩		泥 岩	
		計 数*	推定U** (%)	計 数*	推定U** (%)	計 数*	推定U** (%)	計 数*	推定U** (%)
中 砂	32~60	167/5min	0.03						
細 砂	60~115	249	0.04	169/5min	0.03	192/5min	0.03		
微 砂	115~250	230	0.04	199	0.03	278	0.04		
シ ル ト	250 mesh~0.01 mm	418	0.06	461	0.07	585	0.09	330/5min	0.05
微シルト+粘土	<0.01mm	340	0.05	617	0.09	860	0.13	313	0.05

* DC-P1 型測定器使用、H=1cm、試料皿の内径2cm、毎5分測定値から自然数を引いた値

** 放射平衡が保たれてゐたものとして、標準値 U 1%あたりの毎5分計数値 6.6×10^3 から算出した値

7.1 人形峠ウラン鉱床の性格

人形峠ウラン鉱床は、第13図に明らかな通り、人形峠層そのものが鉱床である。下盤の花崗岩および上盤の高清水層には、鉱床が延長している傾向はみられない。しかも不変帯では品位がよく一定していて、微粒子の部分に濃集している点でも全体が同じ傾向を示す。また人形峠層堆積後に熱水作用などの影響があつたような形跡は認められない。

以上の諸点を総合してみると、少なくとも人形峠層上部に関する限り、ウランは地層の堆積と同時に沈殿したものと考えられる。不変帯に単のふんのような硫化鉄や腐植質の植物化石が含まれていることから、還元環境で堆積したことが明らかであるから、ウランの沈殿にも好都合であつたと考えられる。

地表附近の循環水によつてウランが移動しやすいことは一般に認められていることであるが、特に人形峠鉱床の場合は、ウランがカオリン鉱物に吸着されたような形で存在しているらしいので、とくに容易に水の作用を受けるらしく、溶脱帯および二次富化帯が第14図のように認められる。これは鉱床の地表附近のみの状況から軽々しく判断することが危険であることを物語っている。

下部礫岩層については、明瞭な不変帯が観察できなかったため、この部分の鉱床の性格については、今後の研究にまたねばならぬ。とくに東切取りピットのように、上部層を欠いて、化石土壌がそれに代るような場合については、さらに検討が必要である。

7.2 人形峠ウラン鉱床の品位・鉱床量の見込み

人形峠上部層の不変帯については、平均品位U 0.05%の部分の厚さ30 cmは確実に期待することができる。おそらく鉱床全体が不変帯になるような深さでは、この厚さは2倍以上に見込むことができるであろう。

一方簡単な分級により、粗粒部を除去することによつて、品位をU 0.05%以上に上げるような部分を鉱床とするならば、人形峠層全体を鉱床として扱うことができるであろう。

U 0.05%という平均品位は、諸外国のウラン鉱の品位に較べてかなり低いようであるが、人形峠鉱床の場合は品位が比較的一定していて厚さも採掘にちょうど適しているため、鉱量さえ充分ならば、そして適当な処理法さえあれば、決して低すぎることはないと考えられる。

次に人形峠層そのものを鉱床と考えた場合の鉱床量について予想してみよう。人形峠上部層は静かな湖底の堆積物と考えられ、しかも堆積速度が非常に小さかつたことは、泥岩層の細かい葉理からも推察される。したがって厚さは薄いけれども、その堆積にはかなり長い年月を

要したものと考えられ、その間ほとんど変わらぬ環境を保っていたのであるから、その湖の大きさはあまり小さなものであつたとは考えられない。県道に沿つて上部層の認められる範囲は約80 mであるが、西切取りトレンチの状況からも、北方の山中に向かつて水平にかなり続くことが予想される。この湖底堆積層のひろがり、最小100 m四方と見積ることは、決して危険ではないであろう。その場合の予想鉱床量は数万tとなる。

下部礫岩層は、東切取りピットの状況から判断すると、上部層より一層広い分布を示すものと思われる。上部層が存在しないところでも礫岩層がウラン鉱床となつているものとすれば、その鉱床量は上述の予想よりもかなり大きくなるであろう。

7.3 ウラン鉱の処理法

前述の通りの鉱石であるから、一般の選鉱法によつて濃縮しうる可能性は少ない。たゞ分級によつて粗粒子を除去すれば、平均品位U 0.05%以上に揃えることはできるであろう。

したがって人形峠のウラン鉱の処理方針としては、一応U 0.05%に目標を置いて、この品位の鉱石から化学的にウランを抽出することを工夫しなければならない。

人形峠のウラン鉱は、不変帯のものも、二次富化帯のものも、また燐灰ウラン石の部分も、酸には容易に溶けるので、泥漿からの分離さえうまくいけば、酸による抽出法も適用しうる。また筆者らの採取した試料について、東京工業試験所の鈴木篁らにより塩素ガスによる揮発処理法が試験されたが、結果は有望であつた。

化学処理に際して、人形峠層中に炭酸塩鉱物がほとんど含まれていないことは、一つの有利な条件である。

7.4 探鉱方針

以上の考察によつて、この人形峠ウラン鉱床は、その鉱量が充分大きくて、一つの単位鉱山として経営しうる程度に達すれば、現在までに知られた各地のウラン鉱床よりも開発しやすいと思われるので、早急に組織的な探鉱を実施してみる価値がある。

探鉱の方針としては、まず人形峠層の分布を調べることが第一である。県道切取りの状況から判断すると、人形峠層は基盤花崗岩のくぼみに堆積しているが、そのくぼみの底はほぼ平坦であつて、海拔730 m附近にある。また人形峠層自体もほぼ水平の層理を保っている。したがって人形峠層を追跡するためには、峠の附近で花崗岩の上の不整合面が730 m附近に下つたあたりを、詳しく調べる必要がある。人形峠層は全体で3 m前後の厚さであるから、少し表土の厚い所では、トレンチまたはピットを掘つて調べなければ見逃すおそれがある。

人形峠層の延長がみつかつた場合には、その品位を確

かめるために、探鉱坑道を掘らねばならない。地表附近の品位は二次的にかなり変化しているからである。坑道は水平坑道を主として、随時小さな切上り、切下りを試掘すればよい。

附近の地形と地質とから判断すれば、人形峠ウラン鉱床がもし大きなものであれば、県道切り取りから北方および北東方へ続いて、県境尾根の下をくぐり、岡山県側に現われるであろう。もしそのような分布が確かめられれば、県境附近だけで数10万tの鉱床量となり、ウラン鉱山として稼行に値するものとなる。

7.5 外国のウラン鉱床との比較

いままでに知られたウラン鉱床で³⁾、人形峠と似た性質のものは、3種類挙げることができる。(1) 黒色頁岩型、(2) コロラド高原型、(3) Witwatersrand型がそれである。

黒色頁岩中のウランの濃集過程は、人形峠層上部の暗灰色泥岩の場合によく似ていると考えられるが、たゞ前者は海底である点が異なる。また品位についていえば、黒色頁岩ではせいぜいU 0.02%で、一般にはU 0.01%またはそれ以下であるのに、人形峠層の場合は平均U 0.05%に達し、かなり高品位である。

コロラド高原型では、厚い堆積層中を循環する水のなかから、有機物²⁾³⁾の多い部分でウランが還元されて沈殿したり、交代したりしたものと考えられているが、人形峠層の場合は、少なくとも上部層に関しては堆積と同時に生成されたものと解釈される点で異なり、また有機物がウランの濃集に直接関係していない点でも異なる。また鉱床の形態は、コロラド型ではかなり不規則である。

Witwatersrand型はあまり例がなく、南アフリカのWitwatersrandと、カナダのBlind Riverの鉱床がその例である。ともに先カンブリア系の礫岩層で、鉱量は周知の通り非常に大きい。成因については諸説があるが、時代が古くて条件が複雑なために解決されないでいる。人形峠の礫岩層に関する研究によつて、かえつてこれらの有名な鉱床の成因を究明する鍵が得られるのではないかと思われる。

いずれにせよ、人形峠のウラン鉱床は既知のウラン鉱床に対して、かなり特有の性質をもっているのだから、その点でも研究に値するものである。

8. 結 語

以上報告したところの要点は、1956年7月31日、鳥取県三朝温泉において、坪井誠太郎の提唱によつて開催された学術談話会の席上で発表した。また要旨に意見を附けたメモを騰写して、同年8月末に関係方面に配布した。

その後1956年秋に、藤原清丸は、岡山県側をトレン

チによつて探鉱して、鉱床がこの方面に広く連続していることを発見し、試錐班は県境尾根の下部に鉱床が連続していることを確認した。これと平行して原子燃料公社による探鉱も行われ、本報告書執筆の時までには、最初に発見された県道切り取りの露頭から3km以上距てた所まで鉱床の分布が認められた。また1956年の年末から開坑した探鉱坑道によつて、県境地帯の鉱床の鉱況は詳細にわかつてきた。これらの結果はいずれそれぞれの方面で発表されることと思うが、鉱床の性格や品位に関する点では、この報告に記載した内容と矛盾するような事実は現われていないようである。

(昭和31年3月および8月調査)

文 献

- 1) 福尾券一：愛知県瀬戸地方産鬼板中の褐鉄鉱について、鉱物学雑誌，Vol. 2, No. 4, p. 292, 1955
- 2) Gross, E. B.: Mineralogy and Paragenesis of the Uranium Ore, Mi Vida Mine, Utah, Econ. Geol., Vol. 51, No. 7, p. 632, 1956
- 3) International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955: Proceedings of the International Conference on the Peaceful Use of Atomic Energy, Vol. 6, Geology of Uranium and Thorium, New York United Nations, 1956
- 4) Iwai, S.: On the Structural Variations of Some Japanese Kaolinite, Miner. Jour., Vol. 1, p. 233, 1955
- 5) Katayama, N.: The Number of Counts of Beta-Rays Detected by an End-Window Geiger-Muller Counter, Min. Jour., Vol. 1, No. 3, 1954
- 6) Katayama, N.: The Number of Counts of Beta-Rays Detected by an End-Window Geiger-Muller Counter, Min. Jour., Vol. 1, No. 5, p. 303, 1955
- 7) Katayama, N.: Beta-Radioactivity of Air in Galleries, Sci. Pap. Coll. Gen. Ed. Univ. Tōkyō, Vol. 5, No. 2, p. 171, 1955
- 8) 片山信夫・真島鉄柱：坑内室内兼用ベータ線精密測定装置 DC-P1 型、鉱山地質，Vol. 6, No. 21, p. 162, 1956
- 9) Katayama, N. & Sato, Y.: Sedimentary Environment of the Uraniferous Beds of the Ningyō Pass, Sci. Pap. Coll. Gen. Ed. Univ. Tōkyō, Vol. 7, No. 1, 1957
- 10) 相馬徳藏：人形峠の燐灰ウラン石、鉱物学雑誌，Vol. 3, 1957