

秋田県花岡・小坂鉱山における放射能の測定

佐野 凌一* 室 徑 正義*

Radioactivity Measurement at the Hanaoka and
Kosaka Mines, Akita Prefecture

by

Shun-ichi Sano & Masayoshi Murozumii

Natural gamma radioactivity was measured through the drill holes and in the galleries of the Hanaoka and Kosaka mines. These ore deposits are representative among "Kuroko" (black ore) type deposits, occurring in tuffaceous sediments of Miocene age.

Radioactivity anomalies were detected at the marginal parts of ore bodies and the altered zone of surrounding rocks. These anomalies are mostly due to concentration of uranium, as much as 0.05 percents U_3O_8 , at alteration clays, as pointed out by Shoichiro Hayashi summarizing the studies at several "Kuroko" deposits.

In the present survey, the relative increase of radioactivity was observed at the ferrous manganese zone or the silicious nodule which is characteristics of the upper part of mineralized zone. It is also noticed that the lower part of ore body and the underlying rhyolite is highly radioactive. Natural radioactivity logging through the exploratory drill hole would be, therefore, useful for the prospecting of "Kuroko" type deposit.

要 旨

代表的な黒鉱鉱床である秋田県花岡・小坂両鉱山において、坑外からの試錐孔に対する放射能検層および坑内放射能測定を行ない、鉱体の周辺部および鉱体に接触する凝灰岩の変質部において放射能の増加を認めた。この放射能の増加はおもにウラン系列によるものである。狭義の黒鉱鉱床に放射能異常を伴うことは一般的な現象であつて、この異常は鉱体周辺の粘土にウランが濃集しているためであることは林昇一郎によつて指摘されている。今回の測定では、鉱床の上盤を示準する鉄—マンガ—石英石で特に放射能が相対的に増加すること、および放射能異常は鉱床の上盤ばかりでなく下部の変質流紋岩にも及んでいることが認められた。黒鉱鉱床に伴うウランの起源については定説がないが、鉱床を生成した鉱液中のウランが鉱床生成時またはその直後に再分布したと考えるとよいと思われる。

1. 緒 言

黒鉱に放射能があることは約40年前にすでに注意されているが¹⁾、昭和34年に至り土井和巳²⁾が石見石膏鉱山において石膏粘土の一部にウランによる放射能異常を認めた。林昇一郎¹⁾は昭和35年同鉱山を調査し、研究の結果ラジオ重晶石を含む含ウラン粘土の存在を確認した。林はさらに花岡・朝日・花輪・相内・小坂・上北各鉱山において変質粘土中にウランの濃集を確認した。林は研究の結果を次のように要約している³⁾。

“1. 黒鉱鉱床(狭義)の変質粘土中にはウランが存在する。これに反してごく接近している鉱脈状鉱床に伴う粘土中に少なくとも U_3O_8 0.000% 以下のウランの濃集しか認められていない。すなわち、粘土の生成過程に差があるものと見られる。

2. 母岩が凝灰岩質のものの変質粘土中には粗鉱で U_3O_8 0.1~0.01%, 同じく頁岩質のものは0.01~0.001%で差が認められる。これはまた随伴する金属量の多少とも関係があり、結局火成活動に関連づけて解釈される。

3. ウランは粘土鉱物中に含有されており、ウランの独立鉱物としては認められていない。その含有量は鉱体の中心から外へ向かつての帯状分布を示す粘土種のうち、

* 物理探査部

単位で表示してあるものが多いが、この検層器については250,000 cpm が約1 mr/h に相当する。

坑内測定にもこの検層器を使用した。プローブは短いケーブルで計数率計につないだが、擬似負荷を用いて計数率計への入力を検層用ケーブルをつないだ場合と同じにしたので、総合的な感度は検層に使う場合と同様である。したがって、坑壁に放射性物質が一様に広く(測点の前後約5 m以上) 分布していれば、400 cpm が約1 ppm eUに相当する。しかし、放射能の強い部分が広く分布していることはほとんどないと考えられ、ふつうの岩石にくらべて放射能が強い部分では上の関係は特別な場合についてだけ成立つ極限の関係である。ここで使った検出器は、もともと検層用に作ったもので、細長い円柱型のシンチレータを使い、プローブの先端は重錘をつなぐため厚くなっているので、坑内や地表での測定に適しない。できるだけ坑壁に穴を掘り、プローブの有感部分を穴の中に押しつけるようにして測定を行ない、測点付近の影響がなるべく大きくなるようにした。

このように検層の場合には測定された γ 線強度はほぼ地層の放射能を表わしているが、鉱床のように放射能の変化が激しいと考えられるところでの坑内測定では、ある範囲内での一種の平均をあらわすにすぎない場合が多い。

原子核の壊変すなわち放射線の発生は全く無秩序に起るので、 γ 線強度は常に揺動している。計数率計によって測定された γ 線強度の揺動は、計数率を n 、そして時定数を τ とすると、その振中の50%および95%がそれぞれ約 $\pm 0.67\sqrt{n/2\tau}$ および $\pm 2\sqrt{n/2\tau}$ の範囲に入る。このふらつきが放射線の統計的変動による測定誤差になる。今回の測定では $\tau = 2 \text{ sec}$ であるから、誤差は第1表に示すようになる。

第1表 放射線の統計的変動による誤差

計数率 (cpm)	確率誤差 (揺動の50%がそ の中に入る範囲) (cpm) (%)	危険率5%の誤差 (揺動の95%がそ の中に入る範囲) (cpm) (%)
200	± 83 (41)	± 110 (55)
500	± 130 (26)	± 173 (35)
1,000	± 184 (18)	± 245 (25)
2,000	± 240 (12)	± 346 (17)
5,000	± 412 (8.2)	± 546 (11)
10,000	± 562 (5.6)	± 748 (7.5)
20,000	± 824 (4.1)	± 1,096 (5.5)
50,000	± 1,302 (2.6)	± 1,732 (3.5)

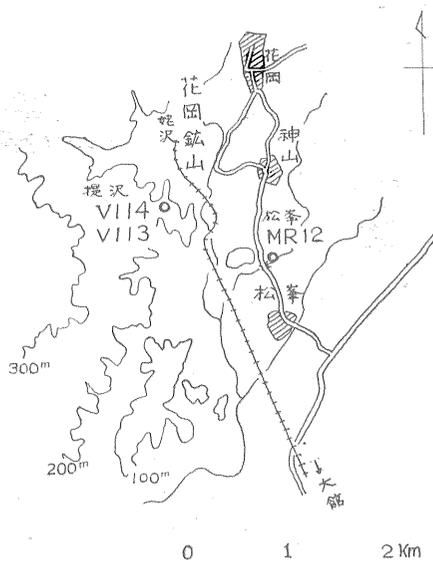
ただし、時定数2 secの計数率計による測定の場合を示す。

幾つかの試錐孔の測定値を比較する場合のように、数日ないしそれ以上の期間にわたって行なわれた測定を比較する場合には、電源電圧や周囲温度の変化による感度の変動を考慮しなければならない。このような変動の範囲は一定の放射線源による計数率をしばしば測定することによって経験的に求められ、この装置では約 $\pm 10\%$ である。

4. 測定結果

4.1 放射能検層

花岡鉱山周辺では松峯地区で1孔、提沢地区で2孔の



第2図 花岡鉱山放射能検層試錐孔位置図
Location of drill holes at Hanaoka mine

検層を行なった。試錐孔の概略の位置を第2図に、試錐孔の概要および検層図を第3図に示す。

松峯地区の試錐孔は鉱床に近く、鉱床を胚胎している粘土化した凝灰岩^{注3)}とその下位の白色変質した流紋岩の放射能は2,000 cpm以上で、変化がはげしく3,000 cpmを越す部分も多くみられる。これらより上位の流紋岩および凝灰岩などは1,000 cpm程度で、第四紀層では300 cpmぐらいの低い放射能を示す部分もみられる。

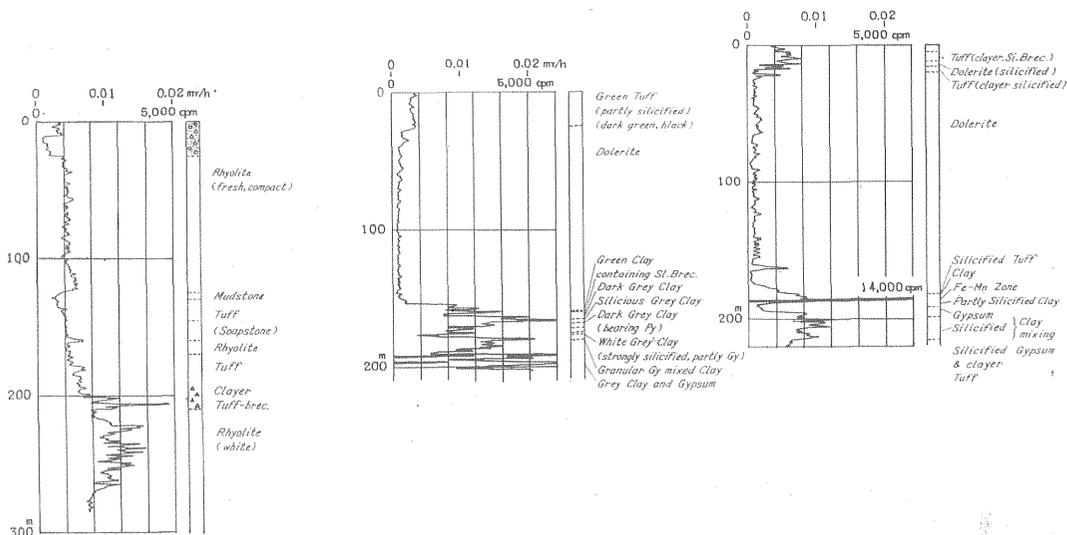
提沢地区の試錐孔はいずれも石膏および石膏-硫化鉱床に当たっていて、鉱床および上盤粘土帯は大部分2,000 cpm以上の放射能を示し、また変化がはげしく、極

注3) 以下凝灰岩、火山礫凝灰岩、および角礫凝灰岩などを一括して凝灰岩とする。

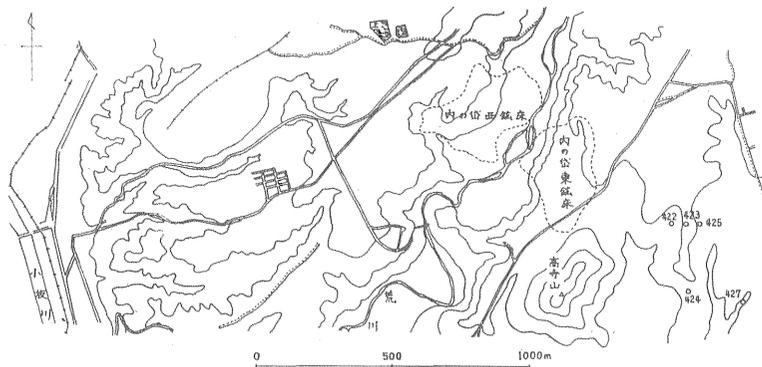
試錐孔名	本基MR12号		
位置	花園採集		
地盤高	65M	測定年月	38 II
掘込(深度)	47M.70	測定深度	285M
孔径		測定器	ND 887-
挿入管	102mm	測定器	TCS-102
	77 = 28.40	測定曲線	天然γ
	83 = 101.30	測定数	2,366
	87 = 355.90	掘上速度	5m/min
水位		記録縮尺	~1/50
泥水比量	1.03		
孔内温度			

試錐孔名	探状V113号		
位置	花園探状		
地盤高	100M	測定年月	38 II
掘込(深度)	262M.00	測定深度	203M
孔径		測定器	ND 887-
挿入管	97mm	測定器	TCS-102
	69 = 173.80	測定曲線	天然γ
	83 = 200.00	測定数	2,366
		掘上速度	5m/min
水位		記録縮尺	~1/50
泥水比量	1/2		
孔内温度			

試錐孔名	探状V114号		
位置	花園探状		
地盤高	118M	測定年月	38 II
掘込(深度)	267M.00	測定深度	220M
孔径		測定器	ND 887-
挿入管	83mm	測定器	TCS-102
	73 = 188.80	測定曲線	天然γ
		測定数	2,366
		掘上速度	5m/min
水位		記録縮尺	~1/50
泥水比量	1.18		
孔内温度			



第3図 花園鉱山放射能検層図
Radioactivity logs at Hanaoka mine



第4図 小坂鉱山試錐孔位置図
Location of drill holes at Kosaka mine

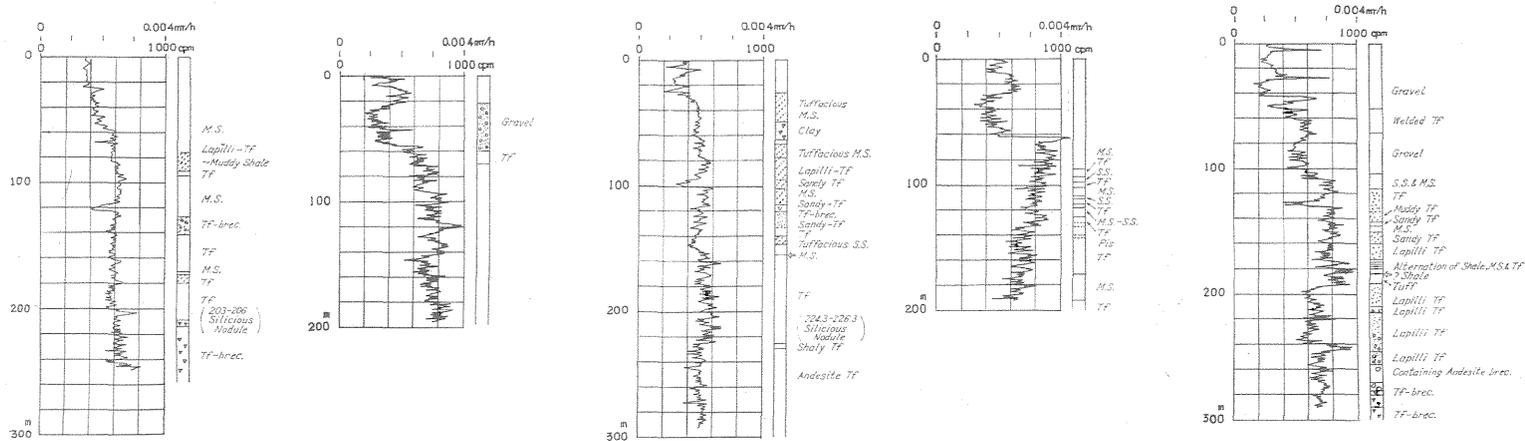
大値は V 113号では9,000 cpm, V 114号では14,000 cpm に達する。後者は鉱床上盤粘土帯の鉄-マンガン帯に対比される。これらより上位の粗粒玄武岩は300 cpm程度の低い放射能を示す。地表に近い一部変質した凝灰岩・粗粒玄武岩の放射能は800~2,000 cpm の範囲で変化している。

このように鉱床周辺で放射能が強く、特に鉱化帯の上

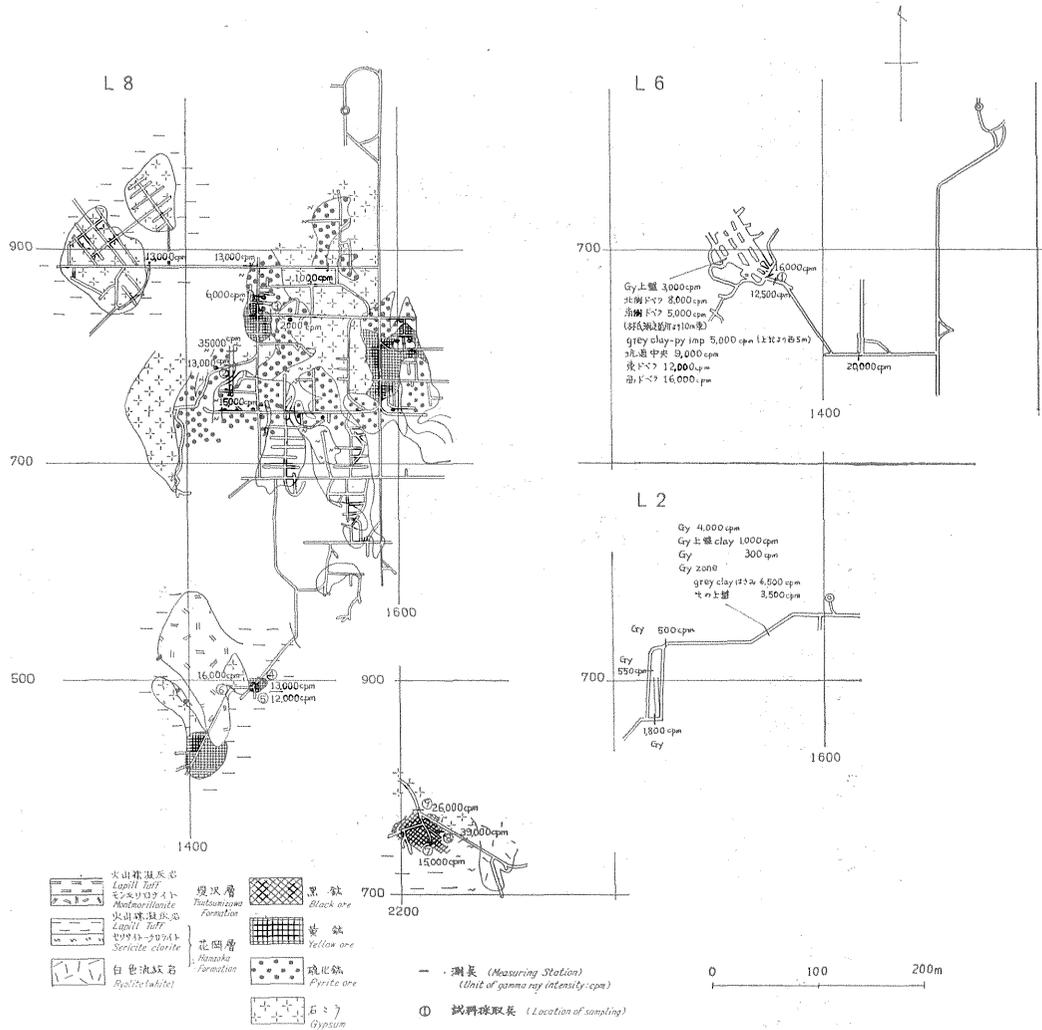
限を指示する鉄-マンガン帯が強いことが注目される。

小坂鉱山では内ノ岱鉱床の南東部の上向地区の5試錐孔において検層を行なった。試錐孔の位置を第4図に、試錐孔の概要および検層図を第5図に示す。これらの試錐孔は鉱床に当たっていないが、近接する試錐孔は鉱床を貫いているということである。検層が行なわれた部分はおもに凝灰岩で、泥岩・砂岩および頁岩などを挟む。

探鉱孔名 上旬422号				探鉱孔名 上旬423号				探鉱孔名 上旬424号				探鉱孔名 上旬425号				探鉱孔名 上旬427号			
位置																			
地盤高	266 ⁴ 01	測定年月	38 Ⅲ	地盤高	280 ⁴ 74	測定年月	38 Ⅲ	地盤高	268 ⁴ 57	測定年月	38 Ⅲ	地盤高	268 ⁴ 46	測定年月	38 Ⅲ	地盤高	256 ⁴ 85	測定年月	38 Ⅲ
掘込深度	318 ⁴ 50	測定深度	206 ⁴	掘込深度	314 ⁴ 00	測定深度	194 ⁴	掘込深度	329 ⁴ 60	測定深度	291 ⁴	掘込深度	338 ⁴ 50	測定深度	194 ⁴	掘込深度	390 ⁴ 60	測定深度	291 ⁴
ビット径	100mm	測定器	ND 851-	ビット径	100mm	測定器	ND 851-	ビット径	100mm	測定器	ND 851-	ビット径	100mm	測定器	ND 851-	ビット径	100mm	測定器	ND 851-
	85	測定曲線	TCS102																
	75	測定曲線	天然γ		85	測定曲線	天然γ		75	測定曲線	天然γ		75	測定曲線	天然γ		75	測定曲線	天然γ
	65	測定曲線	2 sec																
挿入管	97mm	挿入速度	5 m/min	挿入管	83mm	挿入速度	5 m/min	挿入管	97mm	挿入速度	5 m/min	挿入管	97mm	挿入速度	5 m/min	挿入管	97mm	挿入速度	5 m/min
	83	記録時間	~1/20		73	記録時間	~1/20		83	記録時間	~1/20		83	記録時間	~1/20		83	記録時間	~1/20
泥水比重				泥水比重				泥水比重				泥水比重				泥水比重			
孔内温度				孔内温度				孔内温度				孔内温度				孔内温度			



第5図 小坂鉱山放射能検層図
Radioactivity logs at Kosaka mine



第6図 花岡鉱山放射能探索平面図

Radioactivity in the gallery of Hanaoka mine

これらの放射能は500~900cpmで、岩質による変化は認められない。第四紀層の放射能は500cpm以下である。

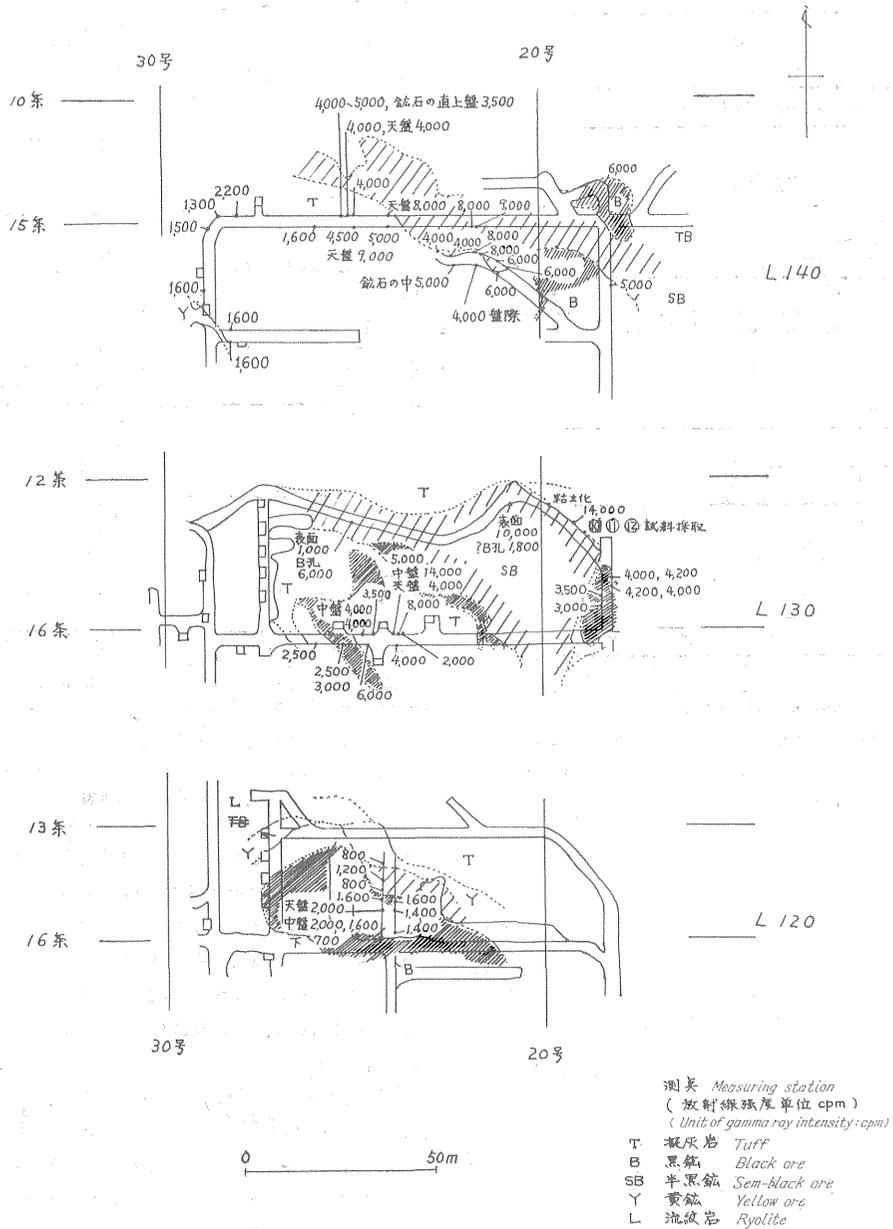
花岡鉱山の松峯地区と異なり近接する鉱床の影響は認められないが、422号および424号孔で鉱化帯の上限を指示する鉄-石英ノジュールにほぼ対応してγ線強度が200cpm近く増加しているように見える。この変化は放射線の統計的変動による誤差の範囲と同じ程度であるが、一応注目される。

4.2 坑内放射能測定

花岡鉱山では姥沢・万代・光明向・太平洋および神山鉱床などで、八番準を主とし、六番準および二番準でも

測定を行なった。測点および測定値を第6図に示す。

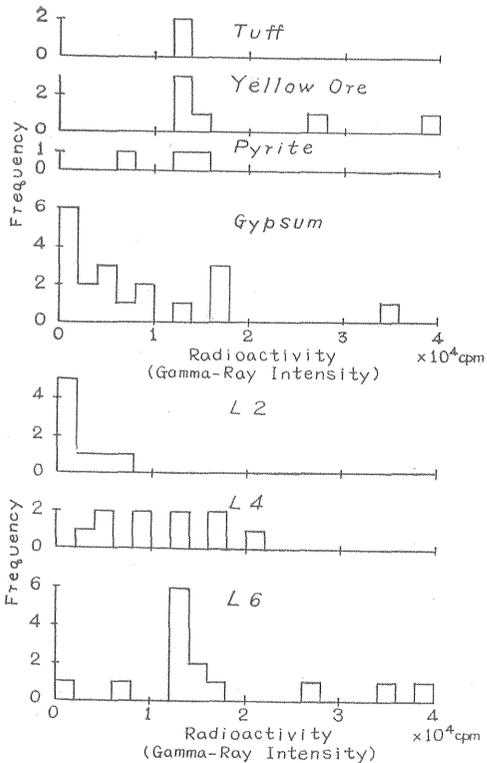
八番準では黄鉄、硫黄鉄、石膏鉄体および凝灰岩変質部について測定が行なわれ、測定値はほとんど10,000cpm以上で、最高は石膏鉄体に近い黄鉄鉄体内で39,000cpmに達する。六番準ではおもに万代鉱床の石膏鉄体とその凝灰岩との接触部で、昭和35年林が放射能異常を認めた箇所の付近で測定が行なわれ、石膏鉄体で3,000cpm以上、凝灰岩との接触部では最高20,000cpmに達する。二番準では昭和立坑と姥沢斜坑との中間付近の石膏鉄体で測定が行なわれたが、放射能は低く最低で300cpm、最高は粘土のはさみの部分で6,500cpmであった。



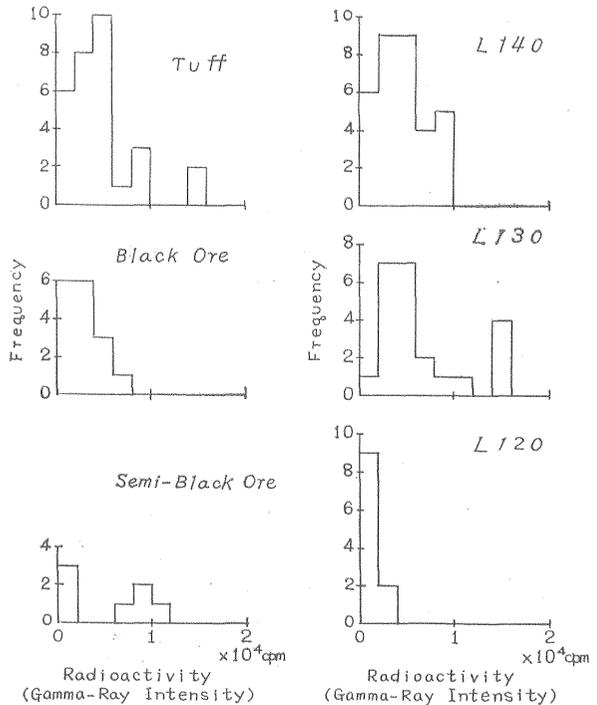
第7図 小坂鉱山放射能探査-平面図
Radioactivity in the gallery of Kosaka mine

小坂鉱山では内ノ袋鉱床の120m, 130m, および140m坑道で凝灰岩と黒鉱・半黒鉱・黄鉱鉱体との接触部およびそれらの鉱体の部分について測定が行なわれた。測定および測定値を第7図に示す。

120 m坑道では黒鉱・半黒鉱鉱体につき測定が行なわれ、700~2,000 cpm という値がえられた。130 m坑道では黒鉱鉱体およびそれらに接触している凝灰岩について測定が行なわれた。鉱体部分の放射能が低く1,000~



第8図 花岡鉱山坑内放射能鉱石別(上)深度別(下)頻度分布
Histograms of radioactivity in the gallery
of Hanaoka mine

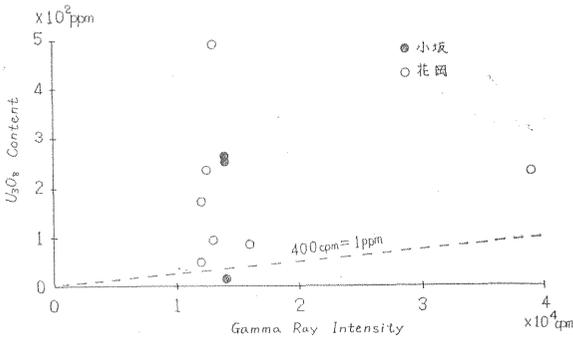


第9図 小坂鉱山坑内放射能鉱石別(左)深度別(右)頻度分布
Histograms of radioactivity in the gallery
of Kosaka mine

10,000 cpm の範囲にあり、凝灰岩部分の方が平均して放射能が高く、2,000~14,000 cpm の範囲にある。140 m 坑道では半黒鉱・黒鉱鉱体およびそれらに接触している凝灰岩について測定が行なわれた。鉱体の部分の放射能は5,000~9,000 cpm の範囲に、凝灰岩の部分のそれは1,300~9,000 cpm の範囲にあり、この地並では平均して鉱体の方が高い。

両鉱山における測定値について鉱石別および深度別の頻度分布を求めると第8、および9図のようになる。これらの測定はかならずしも組織的・系統的に行なわれたものでなく、採掘された坑道では砕が充填されているので、組織的に測点を選ぶことは困難である。また、花岡鉱山の八番準では放射能の強い部分だけが選び出され、無作為に測点が配置されているともいえないように思われる。したがって、これらの頻度分布が真の放射能の分布をあらわすかどうかは疑問である。しかし、これらの分布によつて認められる事柄を述べると、次のようである。

- (1) 鉱石の種類別では放射能の変化はほとんど認められない。
- (2) 花岡鉱山では深度が深いほど放射能が強くと



第10図 花岡・小坂鉱山坑内放射能(γ 線強度)と試料のウラン含有量との関係
Gamma ray intensity in the gallery and U_3O_8 contents of samples at Hanaoka and Kosaka mines

第 2 表

I. 花岡鉱山試料ウラン品位

番号	採取地点	試料	U ₃ O ₈ (chemical) (%)	U ₃ O ₈ (β radiometric) (%)	測点の γ線強度 (cpm)
①	L 6 万代鉱床北壁 (凝灰岩・石膏接触部)	灰黒色含硫化鉱粘土 (粘土はおもに絹雲母)	0.024	0.020	12,500
②	L 7 姥沢斜坑待避所 (硫化鉱・粘土接触部)	同上 (同上)	0.049	0.036	13,000
③	L 8 60m 線付近 (硫化鉱・黄鉱接触部)	同上 (同上)	0.005	0.005	12,000
④	L 8 太平向 (凝灰岩・黄鉱接触部)	同上 (白色スポットあり) (同上)	0.009	0.011	13,000
⑤	同上 (同上)	同上 (同上)	0.017	0.011	12,000
⑥	同上 (石膏・凝灰岩接触部)	同上 (同上)	0.008	0.008	16,000
⑦	L 8 神山 (凝灰岩・珪化帯接触部)	灰黒色粘土・硫化鉱少 (同上)	0.013	0.013	15,000
⑧	同上 (凝灰岩・石膏接触部)	同上 (同上)	0.023	0.022	39,000
⑨	同上 (凝灰岩・珪化体接触部)	絹雲母・石膏少量	0.026	0.022	26,000

II. 小坂鉱山試料ウラン品位

⑩	L130 16条 19号上り口 (黒鉱・凝灰岩接触部)	黒色粘土・硫化鉱の量少 (白色のシマあり 粘土はおもに絹雲母)	0.026	0.020	14,000
	同上 (同上)	同上 (同上)	0.025	0.029	14,000
	同上 (同上)	同上 (同上)	0.001	0.002	14,000

注1) U₃O₈ (chemical) : 蛍光法による。分析: 望月常一

注2) U₃O₈ (β radiometric) : 端窓型 G-M 管により β 放射能を測定し、この放射能がすべて放射平衡にあるウラン系列によるものと仮定して、U. S. A. E. C. 製の標準ウラン鉱石と比較して換算した値

小坂鉱山では深度が浅いほど放射能が強いようである。しかし、これは全く逆の現象ではなく、測定した鉱石の種類と上下関係から考えると、鉱体の周辺部で放射能が強いことを示していると考えられる。(3) 花岡鉱山と小坂鉱山とをくらべると、花岡鉱山の方が放射能が強い部分が多く、その値も大きい。

4.3 試料の放射能

花岡・小坂鉱山で放射能の強い部分の試料を採取し、ウラン含有量および β 放射能を測定した。第2表は測

定結果を示し、試料採取点の位置は、第6および第7図に記入してある。いずれも鉱体同志または鉱体と凝灰岩との接触部の灰黒色粘土でおもに絹雲母からなると見られる。分析結果によると、大部分の試料が酸化ウラン 100 ppm 以上という高品位を示している。採取点における γ 線強度は第10図に示すように分析値と比例しない。品位が高い部分は局所的であることを示している。また、分析値と β 放射能から求めた酸化ウラン当量 (放射能の全部が放射平衡にあるウラン系列によると仮定し

て求めたウラン含有量)とはかなりよく一致し、試料に含まれている放射性元素はほとんどウラン系列であることを示している。しかし、これらの試料はおもに絹雲母を主とする粘土からなるので、当然、放射性元素の一種である⁴⁰Kも含まれている。

花岡鉱山六番準の焼沢斜坑付近で上記とは別に採取した試料のガンマ線エネルギー分布を測定した。天然放射性元素の場合に重要な0.7~0.07 MeVのスペクトルを示すと第11図のようになる。ガンマ線エネルギー分布によって放射性元素の分析を行なうことができるが、他のスペクトル分析法にくらべて分解能が悪く散乱線によるバックグラウンドの影響があるので、天然放射性元素の系列のような多種類の元素を含む試料の定量的な分析は困難である。

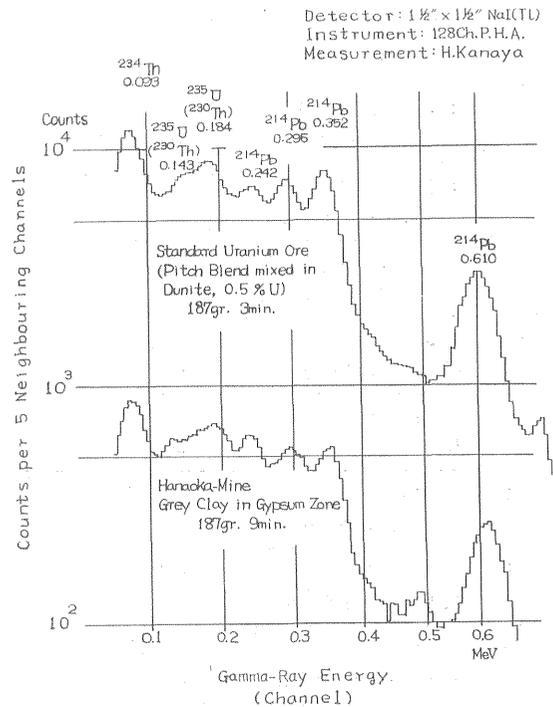
花岡鉱山試料と米国原子力委員会で頒布している標準ウラン鉱石粉末試料とのスペクトルを比較するとほぼ類似の形を示し、花岡鉱山試料中の放射性元素はほとんどウラン系列であることがわかる。しかし、細かい点で相異がみられる。上述のようにカリウムも含まれているが、⁴⁰Kの γ 線エネルギーは1.25 MeVで図に示されている部分よりずっと高いので、この相異は(1)ウラン系列が放射平衡になっていないか、(2)トリウム系列が含まれているのかいずれかまたは両方であることを示している。

5. 要約と結論

代表的な黒鉱鉱床である花岡・小坂両鉱山において放射能検層および坑内放射能測定を行なった。試錐孔および坑内での測定の選定はかならずしも組織的であるといえないので、鉱床およびその周辺の放射能の分布が明らかになつたと断言することはできないが、次のような事柄がみとめられた。

- (1) 今回使用した測定器によると鉱床およびその周辺の岩石の放射能は下記の値を示す。第四紀層は200~800 cpm、粗粒玄武岩は200~500 cpmで放射能が低く、泥岩・砂岩および頁岩は400~900 cpm、上部の新鮮な流紋岩は1,000~1,300 cpm、上部の変質を受けない凝灰岩は600~1,600 cpmである。鉱床から離れていても変質(粘土化・珪化)作用をうけた凝灰岩は放射能の変化がはげしく、600~4,800 cpmの範囲を変動する。鉱床下盤の白色変質を受けた流紋岩についても同様に放射能は4,000~6,000 cpmである。鉱床およびその周辺の変質を受けた凝灰岩の部分では一そう放射能の変化がはげしく、その範囲は300~39,000 cpmにわたっている。
- (2) このように鉱体の周辺部および鉱床に接触する凝

灰岩および流紋岩の変質部分において著しい放射能異常



第11図 花岡鉱山石膏粘土試料ガンマ線スペクトル
Gamma ray energy spectrum of gypsum clay sample from Hanaoka mine

がみられる。特に鉱床の上盤を指示する鉄-マンガン帯や鉄-石英ノジュールで放射能が相対的に増加することが注目される。

(3) このような放射能異常はおもにウラン系列によるものであつて、粘土化したところでは酸化ウラン品位が数百 ppm に達する部分がある。

黒鉱鉱床に伴うウランの起源については定説がないが、放射能異常が鉱床下部および下盤の流紋岩にも及んでいること、最近小坂鉱山の南方の鹿角郡十和田湖町大湯において掘られた古生層に達する試錐孔で放射能検層を行なったところ、古生層の直上の断層破碎帯に硫化鉄を含む黒色の鉄染が認められ、この部分で放射能が増加することなどを考えると、黒鉱鉱床を生成した鉱液中に含まれていたウランが鉱床形成中またはその直後に再分布したことによつてこれらの異常がもたらされたと考えてよいであろう。一方、鉱床が生成されたとき母岩である凝灰岩中のウランが再分布したという考えもある。この問題の解決は今後の研究に待たなければならない。

両鉱山で認められた放射能異常は日本の他の金属鉱山

で発見された異常と比較してかなり顕著なものであるが、試料の分析結果によれば諸外国の稼行ウラン鉱床の平均品位にくらべてはるかに低品位であり、そのうえ品位の変化がはげしいので、ウラン鉱床としての経済的な価値を期待することは困難であると思われる。

本文に述べられた事柄から、黒鉱鉱床の探査のための試錐孔に放射能検層を適用することは有効であると考えられる。しかし、現在の知識の段階ではコアの鑑定の補助的な役割を果す程度であつて、さらに多くの資料によつて放射能と鉱化作用との関係を詳しく調べることが必要である。また、検層によつて鉱床探査の手がかりをうるためには、電気検層あるいは密度検層などと組合せてより多くの情報をうるようにするべきであろう。

(昭和38年2月調査)

文 献

- 1) 林昇一郎：本邦の黒鉱式鉱床に認められる放射能異常について、日本鉱業会誌，Vol. 77，p. 458～462，1961
- 2) 土井和己：ウラン・トリウム委員会報告，1960年2月
- 3) 林昇一郎：手書報告（文献1）の補足
- 4) 浅野五郎：VII-11. 黒鉱鉱床とその探査，鉱山地質ハンドブック，p. 259～263，朝倉書店1962
- 5) 佐野渡一：小型放射能検層器ならびに放射能検層による放射性鉱物鉱床の品位・鉱量の推定と宮城県大内地区における物理検層，地質調査所月報，Vol. 11，p. 337～356，1960
- 6) 佐野渡一：V放射能探鉱第4章現場調査法，物理探鉱（特別号），Vol. 11，No. 4 p. 308～310，1958
- 7) 佐野渡一：IV放射能探鉱，鉱山地質ハンドブック，p. 171～178，朝倉書店，1962
- 8) 林昇一郎・小尾五明：黒鉱式鉱床に伴なうウラン，その1，——島根県石見石膏鉱山地区——，地質調査所月報，Vol. 14，No. 12，p. 13～20，1963