

栃木県足尾鉾山放射能探査報告

佐野 澄一*

Radiometric Survey at the Ashio Mine, Tochigi Prefecture

By

Shun'ichi Sano

Abstract

Radiometric survey with carborne scintillation counter was carried out at the Ashio mine and its neighbourhood. The Ashio mine, Tochigi prefecture is one of the largest copper mine in Japan, and its ore deposits comprise two different types; copper lodes in the rhyolite mass and massive copper deposits.

On the ground surface, usual carborne survey was carried out near the adits of mine. The kind of carborne surveyings was also carried out with scintillation counter, utilizing mine truck line. The speed of the truck was about 4 km per hour. The observation of minute variation of radiation intensity relating to the vein of the deposit was difficult, because the recording system of scintillation counter used in this survey has relatively long time constant. However, the decrease of radiation intensity was noticed at both veins.

1. 緒 言

昭和30年度核原料物質探査事業として、広地域における放射能強度分布を、迅速に測定する各種の方法に関する研究調査を物理探査部において実施してきたが、その一環として昭和31年3月栃木県上都賀郡足尾鉾山およびその附近において鉾山およびその周辺における能率的な放射能探査の方法に関する研究調査を実施した。

鉾山における放射能探査の方法として、(1)鉾山およびその周辺の地表における放射能測定、(2)坑道内における放射能測定、(3)試錐孔内における放射能測定、(4)選鉾場、貯鉾場あるいは製錬所における粗鉾・精鉾・廃石等の放射能測定等が考えられる。今回は調査期間が短かつたため、鉾山附近における自動車探査(カー・ボーン探査)と坑道内における坑車を利用する探査(以下坑車放射能探査ないし坑車探査と称する)とを実施した。

坑車探査は昭和30年8月佐藤光之助・小島整志・小尾中丸によつて静岡県土肥郡清越鉾山において最初に試みられ、とくに著しい放射能強度の異常を発見しなかつ

たけれども、放射能強度と地質・鉾床との間に興味ある関係が存在することがみいだされた。しかし放射能鉾物鉾床以外の鉾床に関連する放射能強度の変化は、放射能測定の誤差に比較して大きくないので、このような変化を測定するためには測定の方法に充分注意する必要がある。今回の調査ではこのような問題に関する検討も行った。

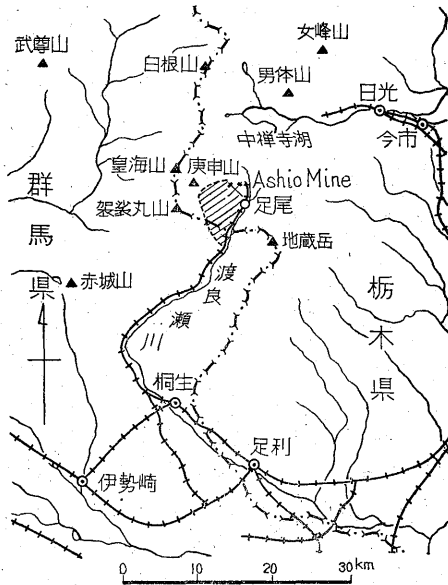
本調査には筆者のほか、氏家明・小林創・土居啓司・松本信一が参加した。調査に際し多大の援助・協力を与えられた古河鉾業株式会社竹内英雄氏、同社足尾鉾業所地質鉾床課長草薙忠明氏ならびに課員各位に対し厚く御礼申上げる次第である。

2. 位置および交通

調査地域は栃木県上都賀郡足尾町・群馬県勢多郡東村にわたり、群馬県桐生市から国有鉄道足尾線により約40 km、2時間で現地に到着する。古河鉾業株式会社足尾鉾業所に対する最寄駅は通洞である。

足尾線には並行して自動車道路があり、さらに足尾町から日光町に至る自動車道路も開設されているが、冬期には積雪のため交通不能となる場合がある。

* 物理探査部



第1図 位置図
Locality of Ashio Mine

3. 地質、鉱床および採鉱

3.1 地質

本地域はおもに渡良瀬川右岸の秩父古生層を貫ぬく花崗閃緑岩および流紋岩からなり、また河岸段丘が局部的に発達している。第2図として地質図を示した²⁾。以下、探査に直接関連のある岩石について簡単に記述する。

秩父古生層は砂岩・粘板岩およびチャート等からなり、NE—SWに至る一般走向を有し、NW またはSEに

かなり、急傾斜しているが、チャート層は局部的に著しい擾乱を呈し、褶曲構造を呈している。古生層が沢入花崗閃緑岩と接するところでは、接触変成作用によりホルンフェルスを生じている。

沢入花崗閃緑岩は先新第三紀に古生層を貫ぬいて進入したもので、粗粒で斑状構造がきわめて顕著である。岩相は周辺部へ向かって粗粒なものから、より細粒なものへと移行する傾向がある。

足尾流紋岩は新第三紀に古生層を貫ぬいて噴出した漏斗状噴出岩体であつて、周囲の山塊から分離して高く聳立している。周辺部には貫入角礫岩体を形成している。本岩は古生層の諸岩石、沢入花崗閃緑岩およびホルンフェルスなどを補獲し、とくに古生層との接触部に多くみられる。本岩体はしばしば角礫質流紋岩岩脈を伴ない、主として古生層の角礫を含む。

河岸段丘砂礫層は火山灰・浮石・古生層の諸岩石・花崗閃緑岩・石英斑岩・安山岩等の礫からなる。

3.2 足尾鉱山の鉱床および採鉱

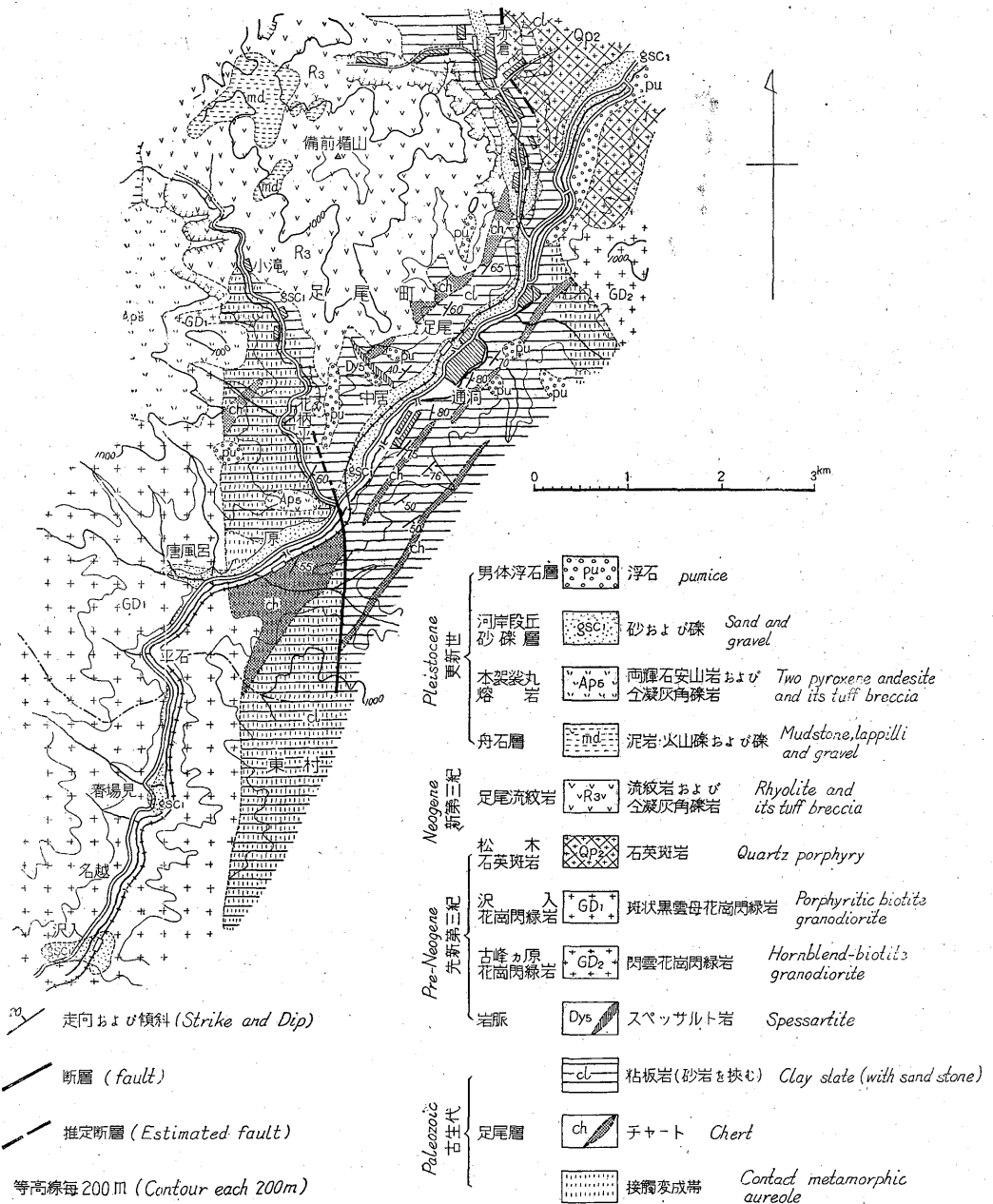
足尾鉱山の鉱床は熱水性石英銅鉱脈ならびにいわゆる河鹿鉱床と呼ばれる塊状または鉱染状銅鉱床からなり、足尾流紋岩および古生層のチャートを母岩とする。

鉱脈は主として足尾流紋岩中に走向 N 60° E および N 80° W の2系統の脈群として発達している。鉱脈は上部においては多数に分岐しているが、下部においては相集つて比較的小数の幹脈となる傾向がある。鉱脈は主として石英・黄銅鉱および黄鉄鉱からなり、脈幅数 10 cm、鍾幅 10 cm 程度である。主要な鉱脈を第1表に示した。

本鉱山には通洞、本山および小瀧の3主要坑道があり、

第1表 足尾鉱山の主要鉱脈

	走 向 (°)	傾 斜 (°)	既 知 走向延長 (m)	既 知 傾斜延長 (m)	平 均 鍾 幅 (cm)	平 均 銅品位 (%)
横 間 歩 鍾	N55E	NW75	2,090	820	16	1.8
二 番 //	// 55 //	// 83	250	65	6	1.7
四 番 //	// 52 //	SE80	45	65	8	2.1
開 盛 //	// 55 //	// 80	913	660	10	1.8
新 盛 //	// 80 //	S 50	1,400	790	12	1.5
永 盛 //	// 65 //	SW75	591	688	10	1.5
神 保 //	// 55 //	NW80	1,200	624	5	1.5
栄 盛 //	// 50 //	// 75	360	570	4	2.0
光 盛 //	// 48 //	SE75	714	900	10	1.8
蛭 子 //	// 65 //	// 80	412	654	7	1.5
蛭 子 奥 //	// 60 //	NW60	430	392	5	1.5
大 盛 三 号 //	// 80W	SW50	330	550	4	1.7



第2図 足尾鉾山附近地質図
Geologic Map at the Ashio Mine and its Neighbourhood

本山と小滝とは同一坑準で海拔約 690 m、通洞坑は海拔約 600 m である。本山と小滝とを結ぶ大坑道を基準として約 30 m の間隔で、上部に 20 段、下部に 12 段の坑準があり、これらの坑道は 14 本の堅坑および斜坑によって縦横に連絡している。露頭部から既知最下底までの垂直距離は約 800 m に達している。

採鉱法はすべてシェリンケージ法およびストーピング法を採用し、鉱脈は垂直距離約 30 m ごとの錘押坑道と坑井間隔約 30 m ごとの区劃を設けている。採鉱後の充填は坑内の廃石で行っている。切羽や坑道の支柱は木材を用いるが、主要電車坑道はコンクリート支柱を用い、ところによりコンクリートで巻いて固めてある。通洞坑準の主要運搬坑道は電車を通し、採掘された鉱石はすべてこれらの坑道を経て通洞選鉱場へ搬出される。坑道総延長は 1,000 km を超える。

4. 自動車放射能探査

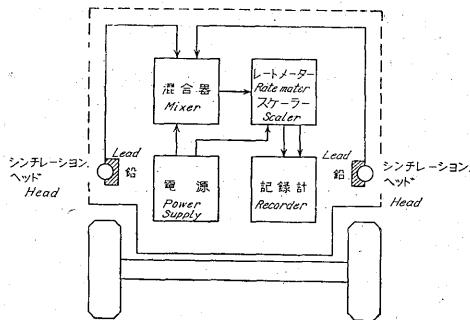
4.1 自動車探査の測定区域

自動車探査は足尾町通洞から渡良瀬川に沿い東村沢入に至る道路延長約 8.5 km および庚申山登山道入口（足尾町中居一原間）から庚申山川沿い小滝に至る道路延長約 3.5 km において実施した。

4.2 自動車探査の測定方法

放射能探鉱器（シンチレーション・カウンタ）は岡山県南部地域および鳥取県中部地域における空中放射能探査に使用したのと同じで³⁾、測定方法は鳥取県中部地域における自動車探査の場合とはほぼ同様である。

NaI(Tl) 結晶（直径 1.5"、×厚さ 1.5"）をもつ 2 つのシンチレーション・ヘッドを自動車の両側に置き、それぞれ自動車の内側に面する部分を厚さ約 2 cm の鉛で覆い、2 つのシンチレーション・ヘッドの出力を混合して放射能強度を測定した（第 3 図）。記録計によって、



第3図 自動車探査の際のシンチレーション・ヘッドの配置
Configuration of Scintillation heads
in the case of Car borne Surveying

1,000 counts ごとに 1 つの信号を記録し、記録紙の送り速度は 60 mm/min とした。記録紙上の信号の間隔、すなわち 1,000 counts に要する時間から放射能強度を求めた。

自動車の走行速度は 10 km/hr 前後であつた。走行距離は自動車に附属する距離計に基づいて約 0.5 km ごとに記録紙に信号を入れ、距離の基準とした。したがって既知の距離を走行する時間が求められるので、信号を入れた地点間の平均速度が求められる。また明瞭な目標、おもに橋を通過するときに記録紙に信号を入れ、同時に自動車の距離計に指示される距離を読取った。前述の距離の基準地点の間を等速度で走行したとすれば、記録紙上の信号の位置によつても目標の距離を求めることができる。

また、岩石の露出状況は測定結果の解釈上重要であると考えられるので、道路の切割や新鮮な岩石の露出等を通過するときにも記録紙上に信号を入れた。こゝではほとんど草木に覆われていない風化による土砂を含む岩石の露出をすべて露出と称する、また石垣は一種の人為的な露出と考えられるので、石垣を通過するときにも記録紙上に信号を入れた。露出や石垣を通過するときには自動車の距離計の読みをとらなかつた。

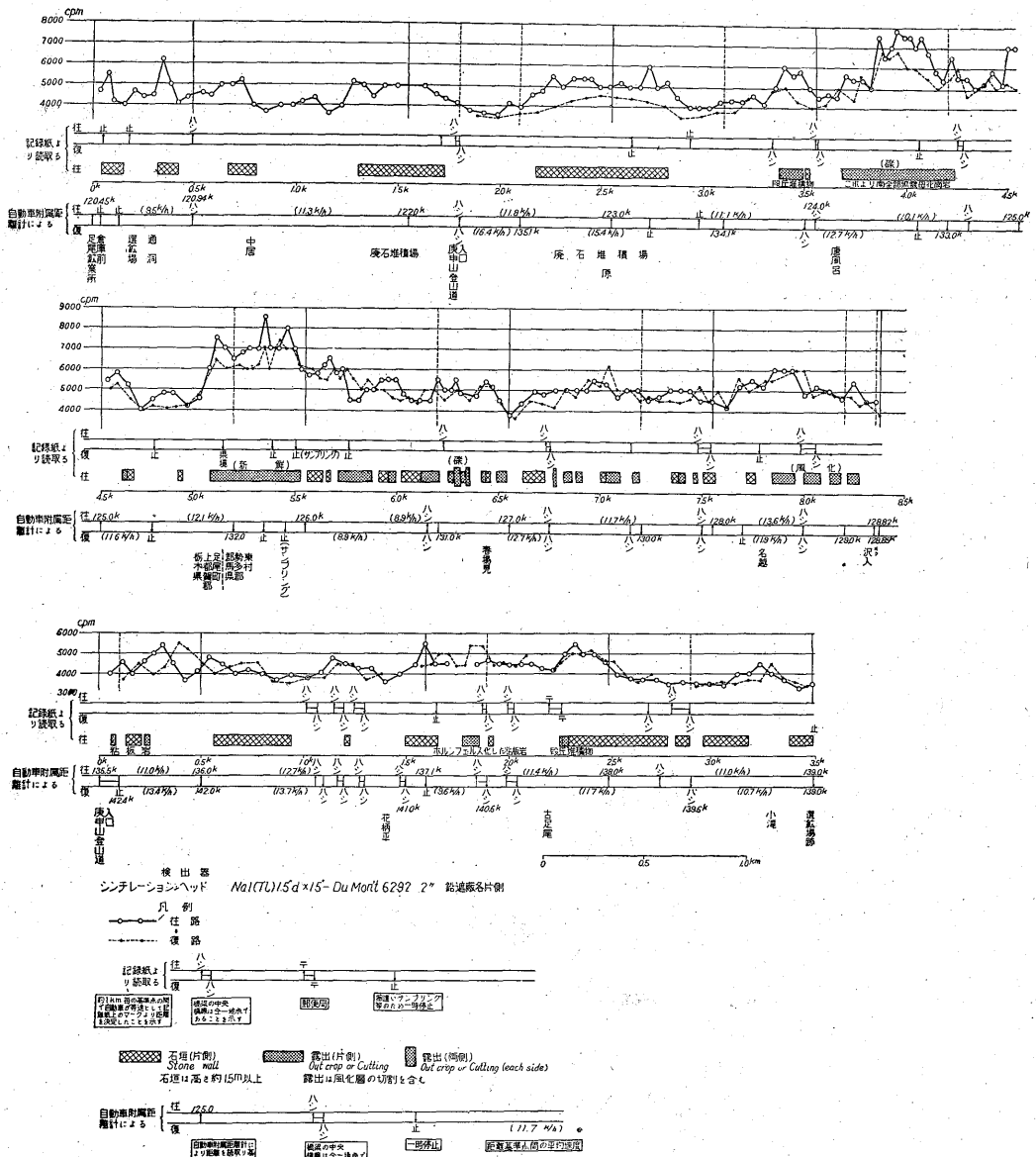
4.3 自動車探査の測定結果

測定結果は第 4 図に示した。横軸は距離に比例するようにとつた。記録紙の送りは自動車の進行と連動していないので、約 0.5 km 間隔の距離基準地点の間で自動車が等速度で進行したと仮定して、記録紙に自記された放射能強度を配分した。橋などの目標物の距離は前述のようにして 2 つの方法で決定され、それらの差異は距離決定の誤差、とくに等速度で進行したという仮定による誤差を示していると考えられる。第 4 図に示した結果によると、この誤差は最大 80 m に達することもあるが、平均 30 m 程度である。往復 2 回の作業における目標の位置の相違は距離計の読取り、目標の確認等、位置を標定する動作における誤差、往復の自動車の径路の多少の相違による誤差、および距離計自身の誤差などによると考えられる。

露出および石垣の位置は往路のみ記録した。沢入花崗閃緑岩が分布する地域では石垣はおもに同種の岩石からなり、秩父古生層が分布する地域では石垣はおもに足尾流紋岩からなり、沢入花崗閃緑岩からなると思われるものもある。

第 4 図には往復 2 回にわたつて測定した放射能強度を示した。往復による強度の差異には位置決定の誤差が含まれている。記録された強度の放射線の統計的変動によ

栃木県足尾鉾山放射能探査報告（佐野俊一）



第4図 足尾鉾山附近自動車放射能探査結果（昭和31和3月24日探査）

The Result of Car borne Survey in the Neighbourhood of the Ashio Mine.

る誤差は確率誤差で $\pm 2.13\%$ (危険率5%のとき $\pm 6.19\%$) である。記録紙の送り速度の変動による誤差は検討していない。また記録紙上に示された1,000 counts ほどの信号の間隔の読取りの誤差を $\pm 0.2 \text{ mm}$ とすると、読取りによる誤差は最高 $\pm 4\%$ 程度である。このほか測定される放射能強度は(1)地形、(2)地形に対する自動車の相対的位置、(3)自動車の速度などによつて異なる。しかし昭和30年度他地域において実施された自動車探査の結果によると、自動車で測定された放射能強度によつて道路附近に分布する岩石の放射能強度を直接比較することができる。

さて、沢入花崗閃緑岩の露出の一部において比較的高い放射能強度が記録されたが、他地域の花崗岩質岩石で測定された値に較べてとくに大きくない。比較的大きい値を示す露出の一つは古生層に接する部分で、上部は完

全に表土化し、下部は大きな礫を含んでいる。他の露出は栃木・群馬両県境附近の新鮮な露出である。

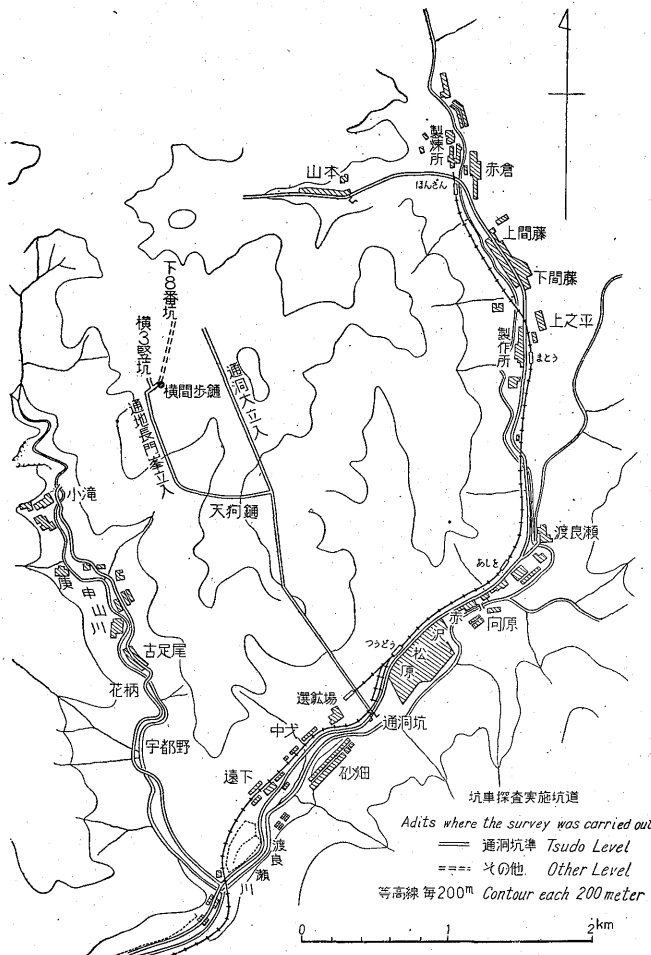
古生層が分布する地域では石垣が多いため各地層の放射能強度を充分記録することができなかった。この地域で記録された放射能強度はほとんど変化なく、比較的低い値を示している。

今回の自動車探査では放射能強度の異常増加は認められなかった。また測定範囲がせまく、鉾山の近くでは道路附近の露出がよくなかつたので、鉾山に関係があると思われる放射能強度の変化は認められなかった。

5. 坑車放射能探査

5.1 坑車探査の測定区域

探査を実施した坑道は通洞坑準にある通洞大立入・天狗鉈押・通地長門峯立入等の現在電車を通している運

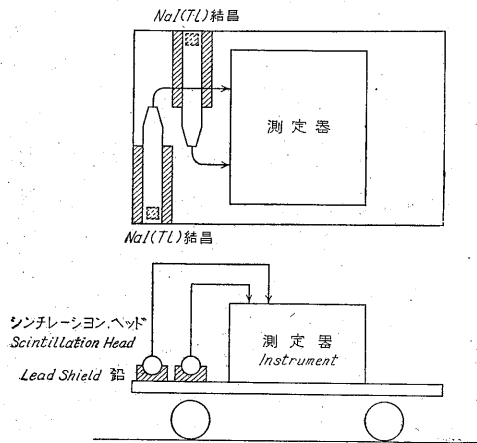


第5図 足尾鉾山坑車探査測線図
Topographic Map of the Ashio Mine

搬坑道と、通洞坑準から約 180 m 下にある下 8 番立入とであつて、測定した坑道距離は通洞坑準において延長約 4.5 km, 下 8 番立入において延長約 0.5 km, 総計約 5.0 km である。これらの坑道は横間歩鍾・新盛鍾・栄盛間・光盛間等の主要鉾脈を横断する。

5. 2 坑車探車の方法

自動車探査の場合と同じ放射能探鉾器を器材運搬用の台車に乗せて坑道内の測定を行つた。シンチレーション・ヘッドは第 6 図に示すように配置し、天盤および左右の坑壁からの放射線によく感じ、踏前からの放射線を遮蔽



第 6 図 坑車探査の際のシンチレーション・ヘッドの配置
Configuration of Scintillation head in the case of Truck borne Surveying in adits of mine

するようにした。自動車探査の場合と同様に記録紙を 60 mm/min の速度で送り、1,000 counts ごとの信号を記録した。下 8 番立入ではこのほかに記録紙を 120 mm/min の速度で送り、100 counts ごとの信号を入れる方法によつて測定を行つた。後の場合には 1 つの測定を行う時間が短縮されるから、放射能強度の微細な変化を記録することができる。

探鉾器をのせた台車に観測員 1 名が乗つて測定器を操作し、他の観測員は人車に乗つて位置の標定・坑道の状況の観察などを行つた。電車坑道では台車および人車を電気機関車により牽引し、電車を通さない坑道（下 8 番立入）では台車のみを人力で押して動かした。坑車の速度は電車の場合平均約 5 km/hr, 手押の場合約 3 km/hr であつた。

位置を決定するために運搬坑道の分岐点、採掘坑道等を通るごとに記録紙上に信号を入れた。これらの目標間の距離は 3,000 分の 1 坑道図から読取つた。したがつて目標間を坑車が等速度で進行したとすると坑車の平均速

度が求められる。坑道の状況としてはとくにコンクリート壁およびコンクリート支柱の有無に注目した。

5. 3 坑車探車の測定結果

記録紙上に 1,000 counts ごとの信号を入れた場合の測定結果を第 7 図に示した。したがつて位置を標定した地点（坑道）間で坑車が等速度で進行したと仮定して、放射能強度の測定値を配分した。同様にしてコンクリート壁・コンクリート支柱群・石垣等の位置を図示した。番号を附けた位置は位置を標定した地点である。位置決定の誤差は検討できなかつたが、自動車探査の場合に比較して速度がおそく、目標が明瞭である場合が多いので、自動車探査の場合より小さいと思われる。

坑道の状況は往路の場合のみ記録した。地質分類は足尾鉾業所から提供された資料¹⁾に基づいて決定した。したがつて第 3 節および第 4 節に引用した 5 万分の 1 足尾地質図幅による分類との関係は第 2 表に示すようになると思われる。

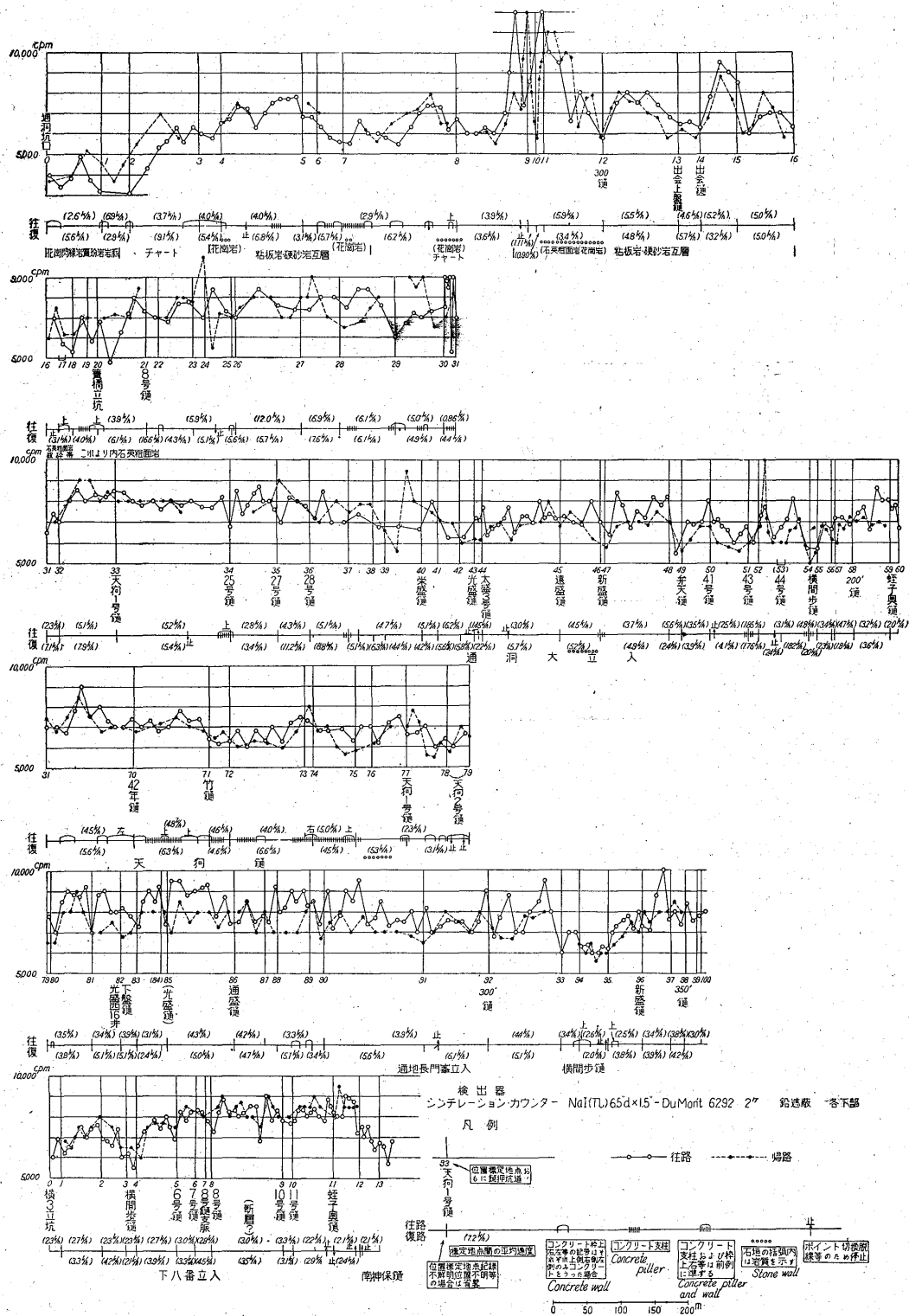
第 2 表

足尾鉾山地質図……………	5 万分の 1 足尾地質図幅
(足尾鉾業所地質鉾床課)	
石英粗面岩……………	足尾流紋岩
花崗閃緑岩質斑岩岩脈…………	スベツサルト岩岩脈?
粘板岩硬砂岩互層……………	粘板岩 (砂岩を挟む)
チャート……………	チャート

自動車探査の場合と同様に、往復 2 回の測定による放射能強度を図示した。古生層のなかで粘板岩・硬砂岩互層がチャートと接触する部分において比較的高い放射能強度が認められた。

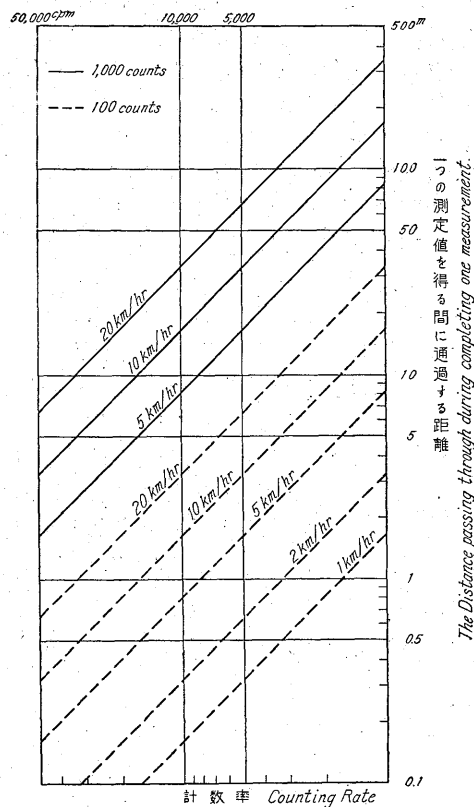
坑車探査による放射能強度は坑道の大きさ・坑道断面に対する坑車の相対的位置・坑車の速度等の影響を受けると考えられる。しかし自動車探査において隧道を通過する場合と同様であつて、坑道の大きさや坑道に対する坑車の位置によつてあまり変化しないで、自動車探査で同じ岩石の露出のよい場所を通過する場合の強度の約 2 倍の値が記録されると考えてきしつかえないようである。したがつて古生層の一部において示された比較的高い放射能強度は沢入花崗閃緑岩に対して同程度ないしそれ以下であると思われる。この附近には花崗岩質岩石の石垣が散在しているが、石垣は片側だけに存在し、高さ数 10 cm にすぎず、またこの附近の強度変化は石垣の位置や粗材の種類とは関係がないように思われるので、石垣は放射能強度に大きな影響を与えていないと考えられる。

往復 2 回の測定における放射能強度の相違は、自動車探査の場合に比較して大きいように思われる。第 8 図に示すように、一つの測定値を得る間に坑車は約 10~15 m 進行し、この距離の間の放射能強度の平均値が測定



第7図 足尾鉾山坑車放射能探査結果 (昭和31年3月24日、25日探査)

The Result of Truck borne Survey in the adit of the Ashio Mine



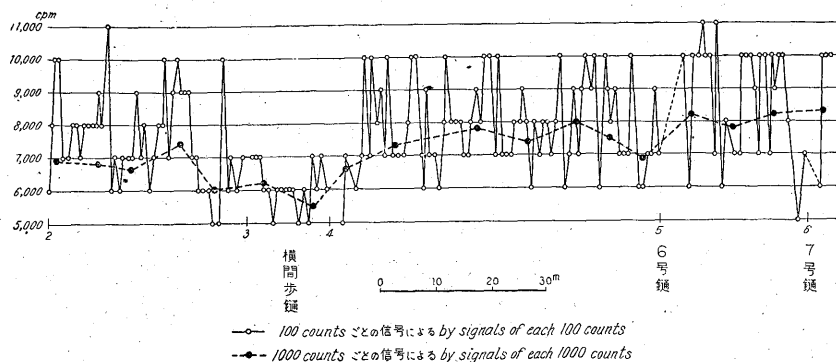
第8図 1つの測定値を得る間に通過する距離と計数率および速度との関係

The Relation between counting rate and the distance completing one measurement

されるので、この距離に比較して短い区間で実際の放射能強度の変化があると正確な強度が記録されない。坑車探査における往復の測定値の相違はおもにこのような原因に基づくものと考えられる。自動車探査においてはおもに岩石の放射能強度の変化の測定を目的としているが、坑車探査ではより微細な変化を示すと考えられる鉾床の存在による放射能強度の変化を測定することを目的としている。したがって自動車探査と同一の基準で測定を行うことはできないと考えられる。

下8番立入で 100 counts ごとの信号の間隔から放射能強度を求めた結果の一部を第9図に示した。1,000 counts ごとの信号の間隔から求めたものに比較して微細な変化に追随しているように思われる。この場合1つの測定値を求める間に坑車が通過する距離は約0.5~1.0 mである。100 counts ごとの信号の間隔から放射能強度を求める場合の放射線の統計的変動による誤差は、確率誤差で $\pm 6.75\%$ （危険率5%で $\pm 19.6\%$ ）である。信号の間隔の読取り誤差を ± 0.2 mm とすると、それによる測定値の誤差は $\pm 15\sim 20\%$ である。これらの誤差を小さくするためには大型のシンチレーション・ヘッドを用い、適当な時定数のレートメーターを使用することが望ましい。一方坑車探査では検出器と坑壁とが密接していない場合が多く、このため微細な変化が平均化されて充分観測されない場合もある。したがって細い鉾脈による放射能強度の変化を測定することはかなりの困難であると考えられる。

第7図によると優勢な鉾脈の位置では放射能強度の減少が認められる。すべての鉾脈の位置で放射能強度の減少が必ずしも認められないのは測定方式の時定数が長い（応答速度が遅い）ことのほか、これらの鉾脈のほとんどが採掘されたあとで廃石が充填されていることも影響しているかも知れない。また、放射能強度の異常増加と



第9図 下8番坑坑車探査結果

The Result of Truck borne Survey in the "Shita-Hachiban" adit

考えられる変化は認められなかった。かりに20,000cpm以上を強度異常と考えると、1,000 counts ごとの信号を用いてこれ以上の強度の測定する間に坑車の通過する距離は4 m以下である。したがって上述の異常に対する基準によると今回の測定方式は、やゝ不充分であると考えられるが、経済的価値が認められる程度の放射能鉱物の鉱脈の露出はみいだされなかったと考えてさしつかえないと思われる。

6. 結 語

栃木県足尾鉱山およびその附近において自動車放射能探査および坑車放射能探査を実施した。

いずれの場合も放射能強度の異常増加は認められなかったが、坑車探査において優勢な鍾の位置で放射能強度が減少する傾向がみいだされた。

しかし現在使用している測定器は時定数が比較的長いので、3~5 km/hr. の速度で移動しながら測定すると数10cm 程度の細い鉱脈による放射能強度の変化を確実に

に測定することが困難である。したがって、現在よりも時定数の速い装置を用いるか坑車の速度を遅くしなければならない。

一方測定器を坑車に載せると検出器(ヘッド)が必ずしも坑壁に密接しないので、細い鉱脈による変化が充分観測できない場合がある。

したがってこれらの条件と坑車探査が迅速な測定を目的としていることを考慮して坑車探査における測定方式を決定するべきである。(昭和31年3月調査)

文 献

- 1) 足尾鉱業所地質鉱床課：足尾銅山断面図
- 2) 地質調査所：5万分の1地質図幅足尾 河田清雄・大沢禮調査，1955
- 3) 佐藤光之助・岩崎章二・佐野浚一：岡山県南部地域および鳥取県中部地域空中放射能探査報告，地質調査所月報，Vol. 7, No. 10, 1956