

岩手県松尾硫黄鉱山坑内水調査報告

中村 久由* 安藤 武* 尾上 孝* 米谷 宏**

Résumé

On the Mine Water in Matsuo Sulphur Mine, Iwate Prefecture

by

Hisayoshi Nakamura, Takeshi Andō, Takashi Onoe & Hiroshi Kometani

Mine water in the Matsuo Sulphur Mine can be classified into two kinds; a) very acidic one exuded from cracks of ore body; b) lower acidic one issued from caves (called "Gama" at the mine) which are found around ore body. The former may be produced by continuous oxidation of iron sulphide, while the latter is regarded as a vadose water which filling up the altered zone, and issued through the soften parts as a selective path.

It seems to be a good counter-measure for the control of the mine water, that the very acidic water is thrown away in the underground water through the boring holes, after the separation of the water into a, b kinds.

要 旨

松尾硫黄鉱山の坑内水は次の2種類に分たれる。すなわち、鉱体の裂隙から滲出する強酸性のものと、鉱体を取囲む変質軟化部中に分布する通称「ガマ」という空洞から湧出し、地表水に似た比較的酸性度の低いものである。前者は硫化鉄の連続的な酸化作用によつて生成されるのに対して、後者は松尾硫黄—硫化鉄鉱体の生成に関連した変質帯を満し、軟化部と撰択的な通路として湧出する循環水である。

したがつて、坑内水対策としては、坑内においてこの両者を分離し、強酸性滲出水を地下水化するものが、中和作業の能率を高める上からいつて効果的な方法であると言える。

1. ま え が き

金属鉱山の中でも、とくに硫黄・硫化鉄鉱山の坑内水は、ほとんど例外なく高い酸度によつて特徴づけられ、著量の遊離硫酸および硫酸鉄など可溶性塩類を含んでいる。したがつて、この排水を混じた附近の河川は著しく汚濁され、流域の土地生産・風致などに与える影響はこれまでしばしば注目されていたのであるが、最近、とくに主要河川の総合開発に関連して、ほかの鉱害問題とともに、硫黄・硫化鉄鉱山における坑内水の適切な処理

が大きくとりあげられるに至つた。

岩手県松尾鉱山は、わが国の硫黄生産高において約40%、硫化鉄において約30%を占めているが、出水量においても22~25m³/min、pH1.5~1.6という強酸性かつ多量の坑内水によつて知られており、鉱山自体の今後の開発面ばかりでなく、混濁された下流河川すなわち北上川の風致・開発といふ面においても、その解決策に大きな関心が払われている。

筆者等は昭和25年夏以来、同鉱山の坑内水および附近地表水の調査を行つたが、本報告は既報の結果にその後の資料を加え、松尾鉱山坑内水の諸性質および対策についての概要を述べたものである。

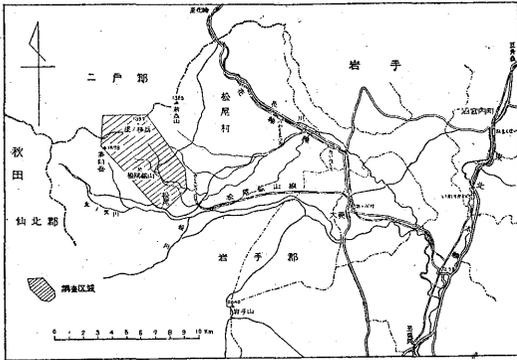
調査に当つて、同鉱山元山伊藤探鉱部長および佐々木探査課長からは終始御教示と御便宜をいただいた。また調査期間中、御協力を願つた探査課藤田勇雄氏初め、探鉱課・探査課・坑内係の職員諸氏ならびに水質分析に御便宜をいただいた加藤水課長初め同課諸氏に対しては深謝の意を表するものである。また、同鉱山を含む一帯の地質について「八幡平」地質図幅調査中の本所地質部河野義礼・上村不二雄両技官の資料を参照した。なお東北大学理学部学生石井康夫氏より種々の資料をいただいた。あわせて感謝申上げる次第である。

2. 位置および交通

松尾鉱山は岩手県岩手郡松尾村にあつて、盛岡市の西

* 地質部

** 技術部



第1図 位置交通図

北方に当り、花輪線大更駅より分岐する鉱山鉄道によって屋敷台に至り、ここから鉱山元山まで約4kmはバスの便がある(第1図)。

3. 現況および調査目的

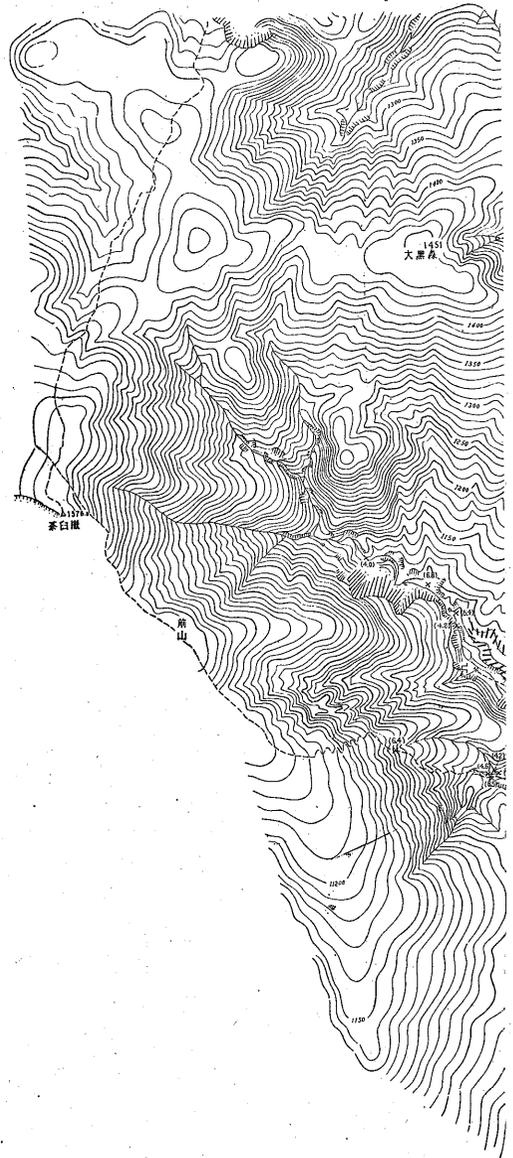
鉱山元山の所在する海拔870mを基準としてこの地並を100mとし、現在76m坑より172m坑に至る9段階の各地並より出水する坑内水は、主として76m坑より延長2,100mの3m坑(排水を兼ねた下部開発坑道)を経て坑外二又川川岸に導かれ、ここから約2.5km下流の屋敷台において石灰乳を添加して赤川に放流する。しかし、この排水量は22~25m³/minという多量であるため、現在の設備そのほかの関係から十分中和されるに至らず、処理前後のpHは1.6→2.0程度である。

前記排水坑以外に硫黄製錬灰捨場そのほかより滲出する湧水がある。その水量は坑内排水に比べると著しく少量であるが、(0.5~1.0m³/min) pH0.1以下という強酸性である。将来この滲出水を地下水化する計画をたてているが、ほとんど無処理に近い状態で赤川に放流している。

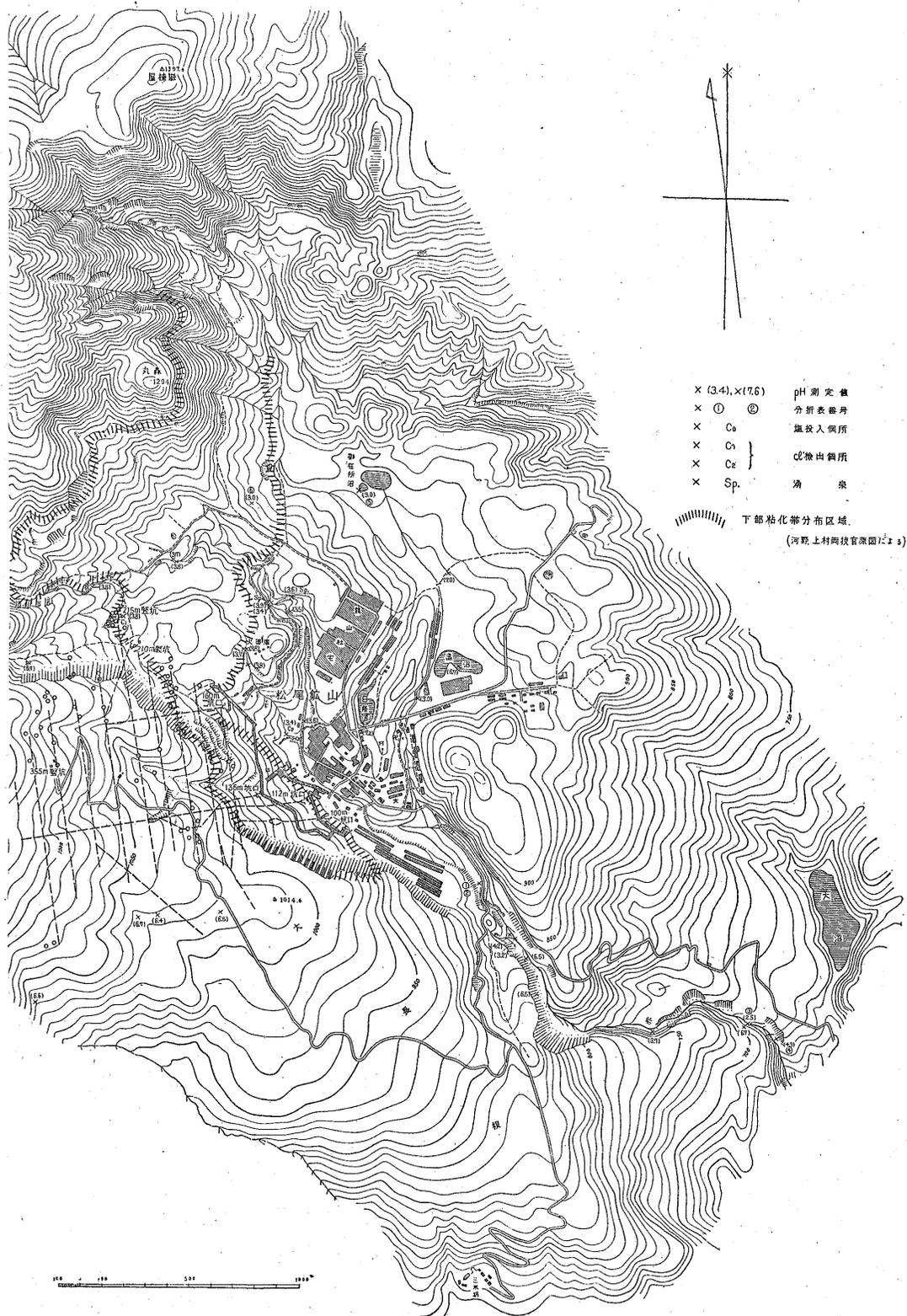
坑内排水および製錬灰捨場よりの滲出水を混入した赤川は、北上川に合流してさらにこれを汚濁し、支流による稀釈あるいは中和によつて、やうやく正常の河水に復帰するのは、昭和25年1月鉱水課の調査によると、東北本線日詰附近であるといわれている。

以上の事柄から河川の汚濁によつて、農業そのほか土地生産に与える影響の少なからざることは察するに難くない。鉱山自体においても、河川の切換えなどの処置により極力灌漑用水には鉱害水の混入を避けているが、北上川の風致問題さらに、鉱山自体の鉱体下部ならびに新鉱体開発計画に当つて、その対策に腐心している状態である。

坑内水の対策としては、次の2方法が考えられる。す



なわら、排水処理と滲透水の防止とである。前者を消極的とすれば後者は積極的な方法であらう。従来までの化学的な処理方法は、施設そのほかの面ですでに限界に達している状態であるから、地下水化などの方法によらない限り適切な方法はないと考えられる。一方、滲透機構が明らかになれば、その防止によつて出水量を減じ、したがって処理方法も効果をあげることになり、予期した効果を望むことができるであらう。しかし、このいずれの方法によるかという判断は、坑内水の諸性質・賦存状態・地下水の滲入機構などに関連があり、まず基礎的な調査の上になつて即応した方法を取りあげることが必要



第 2 図 松 尾 鉱 山 附 近 地 形 図

であると考えられる。

以上の観点から筆者等は、坑内水および地表水の諸性質についての基礎調査を行い、松尾鉦山坑内水の賦存状態を求めることに主眼を置いた。

4. 地形・地質および鉱床概説

この項目の詳細は、本所河野義礼・上林不二雄両技官による「八幡平」地質図幅説明書にゆずり、ここではその概貌を示すだけに留めておく(第2図)。

この地域は、東北日本脊梁山地の1部を占める八幡平および茶臼岳の東南麓に位置する火山地帯で、北上川の1支流赤川はこの附近に源を發して東南に流れ、鉦山東側は盆地状の地形を呈する。この盆地は西北—東南の方向に延長1,500m、幅500mあり、このうちに北より赤川・御在所沼・島沼・日陰沼等の小湖沼および湿地帯がある。鉦山の北側は、ほぼ東西方向に小起伏をもつ低地で、その南、北方は、急崖で囲まれている。

上記の鉦山北方の地形は、大長根の熔岩台地丘陵をほぼ東西に走る急崖の存在により、一見断層運動によって支配されたような感を与えるが、火山活動に伴う地形の変化あるいは崩壊地形であると考える。

前記の盆地状地形は、ほとんど黑色複輝石安山岩よりなり、大長根の熔岩台地を構成する含橄欖石複輝石安山岩とともに、鉦化作用をうけた形跡はなく鉦体およびその母岩を被覆している。

鉦床の母岩と考えられる岩層は、集塊岩あるいは角礫凝灰岩、凝灰岩および安山岩熔岩よりなり、坑内ではこの中に一部亜炭様物質を夾在しているが、鉦化作用が著しいためこれら沈積岩状岩層の相互関係あるいは基底岩との関係は明らかではない。

坑内の地質および鉦床については、故加藤教授はじめ最近では早瀬氏の研究報告が発表されている。しかしとくに出水と関連しての報告はない。

なお、新鉦体については、ボーリングによって概略の形態を掴み得ただけでその詳細は不明である。

断層運動は、坑内においてきわめて少数しか知られていない。しかもそれらはほとんど落差1mたらずの小規模のものであるから、この実例を無視してまでも上記の地形を支配するほどの断層運動を考えることはきわめて

困難である。

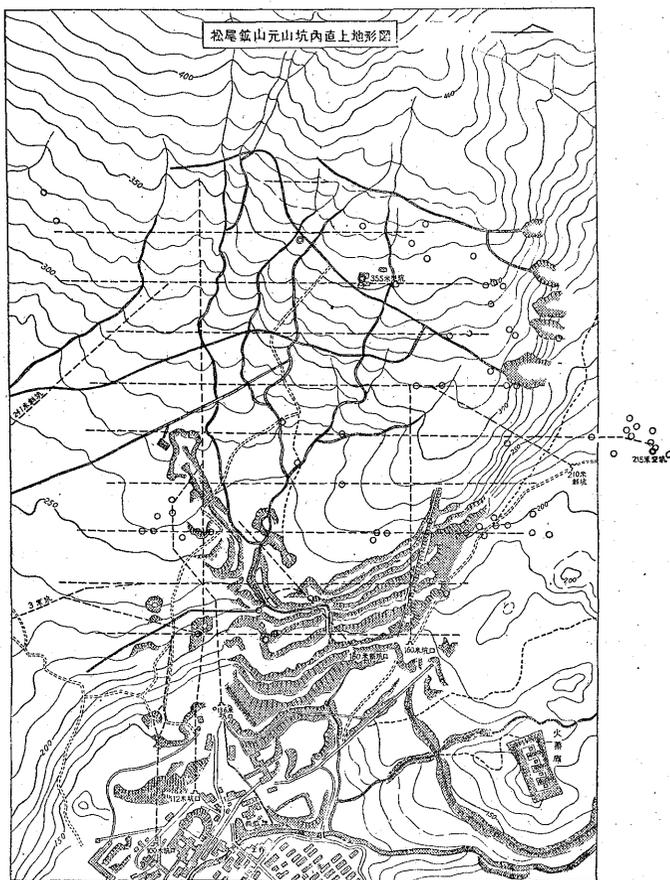
5. 坑内水

5.1 出水状況

3m坑より最上部172m坑に至る10段階の地並において、主要な出水個所の分布を示すと第2図および第3図の通りである。このうち172m坑はほとんど乾燥状態であり、わずかに坑壁に水滴の附着する程度である。このうち最上部の172m坑と、下底に近い76m坑および最下底の3m坑を除く7地並(160m坑—88m坑)の西側は、坑内火災による密閉区域、また中央部は、陥没による密閉区域となっているため、これらの区域における出水個所そのほかの状況は明らかでない。しかし、坑道の排水路における水量をみると、出水量はあまり多くない。

坑内の出水状況は、その性質によつて次のように大別される。

a. 主として天盤から滴下する程度のもので、ほとんど鉦体内の小裂隙に沿つて滲出している。量においては



第3図 松尾鉦山元山坑内直上地形図 (1:15,000)

岩手県松尾硫黄鉱山坑内水調査報告 (中村久由・安藤 武・尾上 孝・米谷 宏)

きわめて少量であるが、一方、その酸度は例外なく高く後述のように全排水の pH を考慮に入れる場合、一応注目すべき性質のものである。

b. 裂罅、間隙から出水するもので、量的に多い地点はほとんど鉱体の周辺に沿う部分からである。その状況はあるいは土平(側壁)、あるいは踏前、天盤というように、同じ地並でも流出する水の面の高さに何等一定の関係がない。

c. いわゆる「ガマ」から出水するものである。「ガマ」というのは、鉱体の一部が軟化し、それが水に洗い流されて空洞となつた個所の通称であるが、注目すべきことは大量の出水はこの「ガマ」から流出することである。

d. 坑内探鉱試錐孔あるいは鑿岩機孔坑から流出するものである。これは裂罅からのものか、あるいはガマのものか個々については明らかでないが、相当量出水する個所もあり、これらもほぼ鉱体周辺部に当るようである。

e. 以上のほかに少数ではあるが、層面とみなされるものに沿つて滴下あるいは流出する個所がある。

以上の出水状況と水質・水量などの諸性質を併せて、坑内水は便宜的に湧出水と滲出水とに分けて考えることができる。もちろん両者を判然と区別することは困難で

あるが、概略の性質を示すと前者はほぼ $0.01\text{m}^3/\text{min}$ 以上の水量をもち pH 2.2~3.0 の範囲内にあつて、おもに鉱体周辺部から湧出するものである。これに対して後者は鉱体内の小裂罅あるいは間隙に沿つて滲出し、天盤から滴下する程度のものであるが、その酸度はきわめて高く pH 0.1 以下を示している。

上記の出水状況から知られるように、出水に関係ある裂罅、間隙の大部分は規模が小さく、またその大きさと出水量とは無関係のようである。これらの裂罅は、勿論鉱体生成後の運動によるものであらうが、坑内における断層運動がほとんど認められないことを思いあわせるといわゆる断層破碎帯と関連するような性質のものではないと考えられる。

なお総括的に、坑内における出水個所の分布を大別すると次の通りである。

- 1) 鉱体北側より東側にかけて分布するもの
- 2) 鉱体西側の数点
- 3) 鉱体南側の数点
- 4) 鉱体内のもの

5. 2 水温・水質および出水量

前記出水個所における水温・水質は第1表に示す通りである。水温は最高 35.8°C から最低 9°C にわたり、

第 1 表 坑内水および地表水分析表 昭和 25 年 9~10 月 松尾鉱山鉱水課分析

番号	出水並に試料採取個所		温度(°C)	pH	Fe(g/L)	Al(g/L)	SO ₄ (g/L)	備 考
1	3m坑	斜坑より手前100m	10.6°C	3.0	0.4494	0.2420	0.9530	クラツク
2		35m	13.1					〃
3		20m	13.0	7.1	0.2673	0.1114	0.2086	〃
4		10m	19.6	6.6	0.0171	0.0107	0.5477	〃
5	76m坑	1N引立	15.8	2.1	0.2031	0.0671	1.2662	試錐孔より流出 H ₂ S 臭
6		1N4号E引立	15.6	2.0~2.1	0.2874	0.0838	1.7295	層面?より流出 H ₂ S 臭
7		1N1~2号間	16.0					クラツク
8		1N4号1探	15.5	2.0	0.2499	0.0598	1.4814	坑底より湧出
9		1N3号3探	35.8	0.1~0.2	2.3055	0.2851	6.9832	天盤サク岩機孔より
10		1N6号5探附近	(19.0)					1N4号4探より奥へ行けず ()は昭24. 探鉱課测温
11		1N6号4探	(17.0)					
12		1S0~1号間	(16.8)	0.2	0.7735	0.1124	3.9681	天盤の小ガマより流出 滴下および崩落岩石下より 流出
13		2N立入7号						崩落岩石下より流出
14		〃 〃 8号E引立						坑底より流出
15		〃 〃 9号						坑底より少量湧出
16		2S立入引立	12.0					天盤近くのサク岩機孔より
17		2S2号5探						ガマより
18		2S立入4号W引立	9.8					サク岩機孔より
19		2S1号5探南側		0.15	1.5130	0.4246	4.1389	流出
20		3N0~1号中間	14.0	2.1	0.3356	0.0622	1.5090	流出
21		3N9号W引立						滴下

地質調査所月報 (第4巻 第8号)

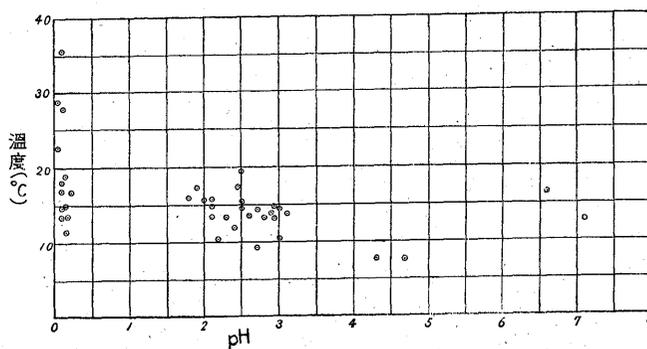
番号	出水並に試料採取個所	温度(°C)	pH	Fe(g/L)	Al(g/L)	SO ₄ (g/L)	備考
22	3N10号	20.3					クラック(N75W75S)
23	3N11号E引立	19.0	0.15	1.2121	0.4703	4.8681	粹より流下
24	3N11号10m北	18.2	0.1	1.7974	0.5908	7.4770	クラック(N40W⊥)
25	3N12号	18.2	0.1	2.1728	0.8025	6.3231	" (N60W⊥)
26	3N12号5m西	17.5					同上クラック延長
27	3S2号W引立	16.0	0.15	0.8418	0.2473	4.7438	ガマより流出
28	3S2号2探附近	17.4					小ガマ中のクラックより
29	3S3号W引立	10.5	2.2	0.0999	0.0447	0.5716	試錐孔より
30	3S引立	9.5	2.7 (2.9)	0.0312 (0.0284)	0.0379 (0.0257)	0.2490 (0.2129)	クラック, 試錐孔, ガマ等 より ()も同一個所
31	3S2号W10m北側		0.1	1.2741	0.2897	8.5106	クラック
32	4N6号70m附近		<0.1	2.4174	0.5045	14.6048	"
33	5N5号		<0.1	4.3854	2.1773	21.9691	"
34	88m坑 1N立入2号	26.0					
35	2N15号E	14.5	2.7~2.8	0.0375	0.0416	0.2704	ガマより流出 H ₂ S 臭
36	2N17号W	14.3					クラック
37	2N4号	21.5					滴下
38	3N19号W	14.8	2.5	0.0656	0.0213	0.5074	天盤のクラックより滴下
39	" W引立						試錐孔より
40	3N18号W引立	15.0					ガマ(坑底)より
41	" W1探附近	14.5					" (天盤)
42	3N17~18号間東側	14.5	3.0	0.0281	0.0163	0.3407	クラック(N30E?)
43	3N17号17m東	15.0					" (坑壁北側)
44	3N17号20m西	15.0	2.1	0.1381	0.0528	0.9370	" (NS)
45	3N16号	15.5	2.5	0.0650	0.0260	0.4452	" (N20W)より流出
46	4N15号5m東	19.0					" (EW)より滴下
47	5N19号E東立	15.6	2.1	0.2560	0.0658	1.4616	ガマ
48	100m坑 2N14号4探	20.0					天盤のクラック(N40W)より 滴下
49	" 2探	28.0	0.1	1.8543	0.0640	12.9079	" (N30E) "
50	3N20号2探	14.0	3.1	0.0401	0.0106	0.3292	クラック(試料)および坑底 より
51	3N20~21号間東側	14.0					坑底より湧出
52	3N引立	14.0	2.9	0.0437	0.0278	0.3313	ガマ
53	4N20号	16.5					天盤より滴下
54	5N9号	17.5	1.9	0.2031	0.0295	1.2797	"
55	112m坑 5N9号4探	19.0					天盤クラック(N40W)より 滴下
56	5N24~25号間	16.0	2.1	0.3015	0.0371	1.3896	天盤(ガマ)より流出
57	5N引立	14.8	2.9	0.0466	0.0257	0.3518	ガマ 215m 堅坑下
58	" 5m南	13.8	2.6	0.0967	0.0147	0.4822	ガマ?
59	5N25号E	14.0	2.9~3.0	0.0455	0.0212	0.3218	試錐孔より
60	5N27号W引立	15.0	2.9	0.0569	0.1154	0.5860	
61	5N27号斜坑(124m坑へ)	14.5	2.4	0.0593	0.0611	0.4498	クラック(EW)
62	6N15号	17.8	0.1	1.1035	0.2387	5.4614	天盤クラック(N80W)より 流出
63	7N引立	16.0					
64	7N16~17号間	16.0	1.8~1.9	0.4380	0.0651	0.8600	
65	124m坑 5N引立	13.5	2.9	0.0431	0.0257	0.3049	クラック(N20W)
66	5N28号W引立	13.5	2.8	0.0437	0.0606	0.3790	" (EW)
67	5N27号W引立						ガマ N ₂ ガス

岩手県松尾硫黄鉱山坑内水調査報告 (中村久由・安藤 武・尾上 孝・米谷 宏)

番号	出水並に試料採取箇所	(温度°C)	pH	Fe(g/L)	Al(g/L)	SO ₄ (g/L)	備 考
68	5N26号2探	北側14.5					北側鉱石積の下から湧出
69	5N18号5探	南側14.2					南側クラック(EW)
		13.2					天盤より滴下
70	6N引立	13.5	0.1	0.7803	0.0834	3.5200	クラック(N60W)より
71	6N18号2探附近	14.8	0.1	0.8653	0.0906	3.5171	天盤のクラック(N60W)より
72	136m坑 坑口より約 40m	8.0	4.7	0.0002	0.0002	0.0366	天盤より(雫張り)
73	6N13~14号間	13.5	0.15	1.3721	0.1825	3.3389	ガマ(天盤)
74	7N15号E	22.0					滯水
75	7N18号W引立	13.5	2.1	0.2562	0.0242	1.2403	ガマ
76	7N引立および19号W	14.5					ガマ
77	8N引立附近	13.0	2.1~2.2	0.2048	0.0234	1.0827	クラック(N40E)
78	8N18~19号間	13.5	2.3	0.1281	0.0349	0.6625	〃
79	8N17号50mW	13.5	2.3~2.4	0.1231	0.0270	0.6341	〃 (N40E)
80	8N13号4探	13.5	2.3	0.0267	0.0174	0.4518	天盤より流下
81	8N12号	15.0	0.15	1.2059	0.0360	3.6167	〃 〃 (雫張り)
82	8N10号E	20.5					〃 クラックより
83	148m坑 6N19~20号間	11.5	0.15	1.5401	0.4614	4.2774	坑壁クラック(N60W)
84	〃 〃		2.4	0.1103		0.6119	同上 昭 24 分析
85	7N22号20mE	13.5					試錐孔より
86	8N18~19号間	13.4					坑壁クラック(N40W)
87	8N19号	13.4	2.3	0.1437	0.0374	0.7827	クラック(N50~60W)
88	9N10号W	9.5	2.9	0.0853	0.0164	0.3469	〃 (N40W)
89	9N14号W1探	12.2	2.4	0.0781	0.0097	0.3850	〃 (N50W)
90	160m坑 6N15~16号間		2.5	0.0750	0.0206	0.3037	東側留枠の間より H ₂ S 臭
91	8N10号		<0.1	11.8462	0.5506	50.5652	クラック(N70W)より滴下
92	8N14号3探		0.2	0.5936	0.7572	3.8302	〃
93	9S9号北		3.0	0.0256	0.0334	0.1333	
94	9S立入10号W		3.0	0.0085	0.0025	0.0665	
	地 表 水						
1	赤川製錬ズリ捨場下透過水	22.8	<0.1	4.0325	0.9673	13.6240	流出口
2	〃	28.8	<0.1	9.0284	1.8938	27.9636	滯水
3	赤川中流河水	19.5	2.5	0.5701	0.0981	2.0353	
4	〃 下流左岸湧水	8.8	4.3	0.0004	0.0361	0.0751	
5	赤沼	17.3	3.0	0.0114	0.0632	0.3527	
6	褐鉄鉱よりの湧水	15.0	3.0	0.0114	0.0285	0.3397	赤沼北方

液性は 1, 2 の例外を除き pH 3.0 より低くもつとも著しいのは pH 0.1 以下のものもある。出水量は直接測定不能の箇所が多いため排水路に集水された適当な場所で流速と断面積の測定から算出し、測定可能のところは、既知容積の容器を用いて測定した。その結果は第 2 表の通りである。

以上の水温・水質・出水量が互にどのような関係にあるかということ考察する手掛りとして、第 4 図に水温 - pH 関係図を示した。この図をみると、温度の低い水は比較的



第 4 図 pH- 温度 関係図

第2表 出水量測定表 () は分析試料採取時の測定値

番号	測定個所	出水量 (m ³ /min)	水温(°C)	pH	備考	
I	76m坑	1N4号W3探鉞	3.050	15.5		附近出水総計
II		1N4号東立入	0.510	15.5	(2.0~2.1)	水穴, 土平
III		1N引立	0.170	15.8	(2.1)	クラックからの出水総計
IV		2N立入3~4号間	0.120	22.0		附近滴水総計
V		2S立入4号W	0.250	12.8		踏え
VI		2S1号5探南側	0.006	15.2	(0.15)	水穴, (天盤)
VII		3N7~8号間	0.349	19.5		8号以北滴水総量
VIII		3S2号W引立	0.320	16.0	(0.15)	ガマ
IX		3S2号W10m	0.005	17.4	(0.1)	水穴
X		3S3号W	0.292	16.5(10.5)	(2.2)	水穴
XI		3S引立	0.318	(9.5)	(2.8)	水穴(2本計)
XII	88m坑	2N15号E	0.990	14.5(14.5)	(2.7~2.8)	水穴(ガマ)
XIII		3N19号W	0.00004	15.0(14.8)	(2.5)	水穴
XIV		3N18号W	0.001	14.5		水穴(2本計)
XV	100m坑	3N17~18号間	3.600	14.5		18号以北出水総計
XVI		3N20~21号間	0.672	14.0		水穴(2本計)
XVII		3N20号W2探	2.928	14.5(14.0)	(3.1)	探鉞跡より出水量計
XVIII	112m坑	5N0~1号間	9.673	15.3		以北集水量計
XIX		5N25号	1.890	14.0(14.0)	(2.9~3.0)	25号以東よりの総計
XX		5N26号	6.224	14.3		5N引立及び124m坑よりの一部計
XXI		5N22~23号	6.663	14.5		5N引立附近よりの総計
XXII		6N4号3探附近	0.384	19.5		西側密閉区域より
XXIII		6N10号2探	0.864	16.0		7N引立及び124m坑よりの一部計
XXIV	124m坑	5N引立	0.014	13.8(13.5)	(2.9)	天盤の水穴
XXV		5N引立より5m手前	0.021	13.5		東側土平の水穴
XXVI		5N26~27号間	0.120	14.3		5N立入, 5N27.28号よりの一部計
XXVII		6N17~18号間	0.223	15.2		6N引立及び18号東と西より
XXVIII	136m坑	7N18~19号間	0.137	14.0(13.5)		7N引立附近よりの総計
XXIX		8N17号引立	0.014	13.5		天盤のガマ
XXX		8N引立	0.02	13.3(13.0)	(2.1~2.2)	引立の水穴
XXXI		8N15~16号間	1.026	13.5		8N引立附近よりの総計
XXXII	148m坑	7N19~20号	0.18	13.8		引立よりの総計
XXXIII		7N引立	0.02	13.3		天盤の水穴
XXXIV		8N18~19号間	0.483	13.3(13.4)	(2.3)	8N引立附近よりの総計
XXXV		9N10号10mW	0.51	9.5(9.5)	(2.9)	水穴(天盤)

pHが高い。出水量もほぼ温度と逆の関係(出水量の多い個所では一般に低温)を有するようであるから、坑内水は一般に次のような傾向を示していると考えられる。すなわち、出水量の多い個所での液性はpH 2.9~3.0で、坑内においてもつとも酸度が低く、水温は9.0~13.0°Cという低温の範囲内にあるということである。これに対して滲出水は、水量においてもちろん少量であるが、一般に比較的高い温度を示している。

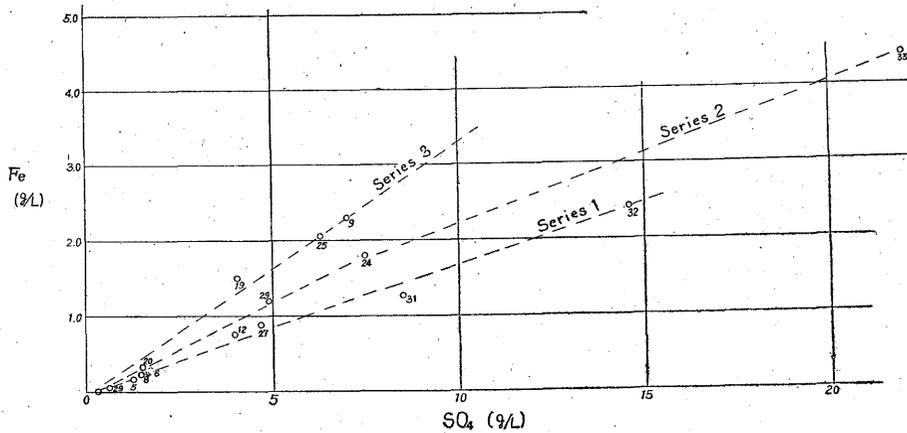
一方第1表の分析表から解るように、坑内水の水質は

成分含有量において、比較的变化が多い。この理由を推察する1方法として、硫酸根(SO₄²⁻)に対する全鉄(Fe)含有量の関係を求めた。第5図(a)・(b)・(c)および第3表がそれであつて、これらの図および表から、坑内水は一般に次のような相関関係を有していると考えられる。すなわち著しく強酸性の水が前記pH 2.9~3.0の水によって稀釈された状態を示しているということである。

さて、いわゆる鉍毒水的主要成分は遊離硫酸(H₂SO₄)

第3表 循環水とみなされる湧出水

場 所	temp	pH	SO ₄	Fe	Al		
76m坑 3S引立	9.5	2.7	0.25	0.03	0.04		
	(//)	2.9	0.21	0.03	0.03		
88m坑 3N17~18号間	14.5	3.0	0.34	0.03	0.02		
	2N15号E	14.5	2.7~2.8	0.27	0.04	0.04	
100m坑 3N引立	14.0	2.9	0.33	0.04	0.03		
	3N20号2探	14.0	3.1	0.33	0.04	0.01	
112m坑 5N25号E	14.0	2.9~3.0	0.32	0.05	0.02		
	5N引立	14.8	2.9	0.35	0.05	0.03	
124m坑 5N引立	13.5	2.9	0.30	0.04	0.03		
	5N28号W引立	13.5	2.8	0.38	0.04	0.06	
136m坑 8N13号4探	13.5	2.3	0.45	0.03	0.02		
148m坑 9N14号W	12.2	2.4	0.39	0.08	0.01		
	9N10号W	9.5	2.9	0.35	0.08	0.02	
160m坑 6N15~16号間		2.5	0.31	0.08	0.02		
その他 (比較的酸度低きもの)							
136m坑 坑口より40m	8.0	4.7	0.04	0.0002	0.0002		
160m坑 9S9号		3.0	0.13	0.03	0.03		
	9S立入10号W		3.0	0.07	0.009	0.003	
地 表 水							
赤 沼 北	Limoniteよりの湧水		15.0	3.0	0.34	0.08	0.02
赤 沼			17.3	3.0	0.35	0.01	0.06



第5図 a
76m坑 (a)
Series 1

番号	場 所	温 度	pH	SO ₄	Fe	Al
29	3S3号W引立	10.5	2.2	0.57	0.10	0.04
5	1N引立	15.8	2.1	1.27	0.20	0.07
8	1N4号1探	15.8	2.0	1.48	0.25	0.06
6	1N4号E引立	15.6	2.0~2.1	1.73	0.29	0.08
12	1S0~1号間	16.8	0.2	3.97	0.77	0.11
27	3S2号引立	16.0	0.15	4.74	0.84	0.25
31	3S2号引立ノ手前		0.1	8.51	1.27	0.29
32	4N6号70m		<0.1	14.60	2.42	0.50

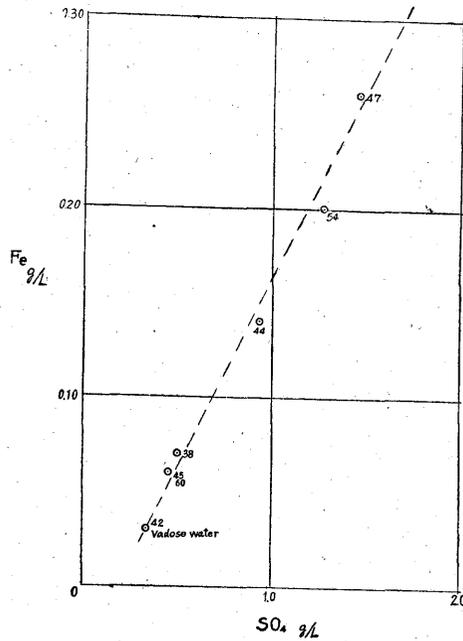
地質調査所月報 (第4卷 第8号)

Series 2

番号	場所	温度	pH	SO ₄	Fe	Al
20	3N0~1号間	14.0	2.1	1.51	0.34	0.06
23	3N11号E	19.0	0.15	4.87	1.21	0.47
24	3N11号10mN	18.2	0.1	7.48	1.80	0.59
33	5N5号		<0.1	22.00	4.39	2.15

Series 3

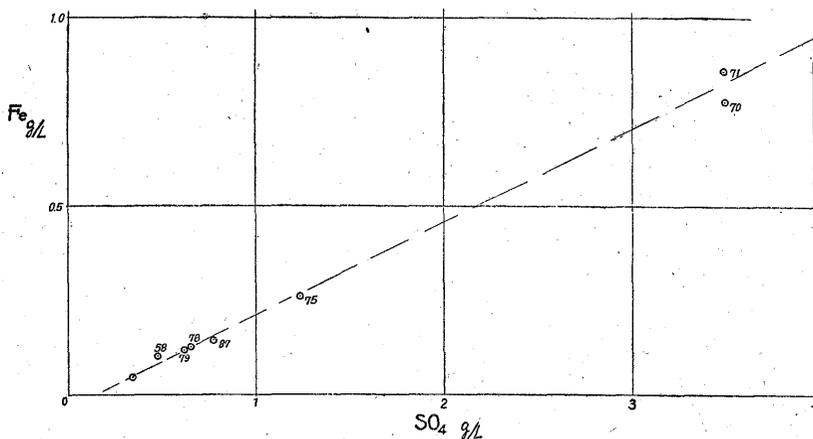
番号	場所	温度	pH	SO ₄	Fe	Al
19	2S立入1号5探		0.15	4.14	1.51	0.42
25	3N12号	18.2	0.1	6.32	2.17	0.80
9	1N3号3探	35.8	0.1	6.98	2.30	0.29



第5図 b

88m坑~100m坑 (b)

番号	場所	Temp	pH	SO ₄	Fe	Al
42	88m 3N17~18号間	14.5	3.0	0.34	0.03	0.02
45	" 3N16番	15.5	2.5	0.45	0.06	0.03
60	112m 5N27号斜坑	14.5	2.4	0.45	0.06	0.06
38	88m 3N19号W	14.8	2.4	0.51	0.07	0.02
44	" 3N17号W20m	15.0	2.1	0.94	0.14	0.05
54	100m 5N9号	17.5	1.9	1.28	0.20	0.03
47	88m 5N9号E	15.6	2.1	1.46	0.26	0.07
49	100m 2N14号2探	28.0	0.1	12.91	1.85	0.06

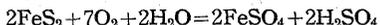


第 5 図 c

112m~148m坑 (c)

番号	場	所	Temp	pH	SO ₄	Fe	AI
58	112m	5N引立5m手前	13.8	2.6	0.48	0.10	0.02
79	136"	8N17号W	13.5	2.3~2.4	6.63	0.12	0.03
78	136"	8N18~19号間	13.5	2.3	0.66	0.13	0.03
87	148"	8N19号	13.4	2.3	0.78	0.14	0.04
75	136"	7N18号引立	13.5	2.1	1.24	0.26	0.02
70	124"	6N引立	13.5	0.1	3.52	0.78	0.08
71	124"	6N18号2探	14.8	0.1	3.52	0.86	0.09

および硫酸鉄 (FeSO₄) であるが、その生成に関連して硫化鉄 (白鉄鉱の状態とくに不安定) の酸化についての基本的な化学式は次の通りである。



この反応式に関連して坑内水の特性の 1 つは、窒素 (N₂) を溶存していることである。

硫化鉄の酸化は、空気中の酸素 (O₂) に基くものであるから、酸素の消費によつて窒素を遊離することは察するに難くない。すなわち、一般に地表水は空気を飽和状態で溶解しているので、地下水として漸次地中に深く滲透する間に、その中の酸素が硫化鉄の酸化のために消費されると、遊離した窒素は滲透した深さ(すなわち水圧)に応じて水中に圧入された状態で溶存してると考えられる。したがって、このような状態で溶存している窒素ガス (坑内での概測によると約 10cc/L) は、湧出と同時に水から分離し、時には、「ガン」などの空洞を充填している場合がある。

参考までに、夜沼 (鉱山西方約 3 km, 縦山西麓の湖沼) から導いた飲料用水 (pH 6.9) について、酸素の飽和溶存量の定量から求めた結果を示すと次の通りである。

酸素の飽和溶存量 10.12mg/L O₂

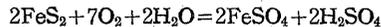
同上の標準状態における容積 7.08cc/L O₂

同上における窒素溶存量 (常温の水に

溶解する空気の組成から換算) 13.2cc/L N₂

したがって空気量 20.3cc/L air

この数値を利用して、基本化学式から各成分の量を求めると次の通りである。



酸素の供給量を 10.12mg/L とすると

$$\text{FeSO}_4 : 10.12 \times 303.6 / 244 \approx 13.7\text{mg/L}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : 10.12 \times 196 / 244 \approx 8.9\text{mg/L}$$

したがって Fe : 13.72 × 55.8 / 147.8 ≈ 5.2mg/L

$$\text{SO}_4^{2-} : (13.72 \times 92 / 147.8)$$

$$+ (8.87 + 92 / 94) \approx 17.2\text{mg/L}$$

以上の計算値を、いわゆる湧出水と比較すると、成分と含有量としてはもつとも稀薄な pH 2.9~3.0 のものでも、Fe 30mg/L 以上、SO₄²⁻ は数 100mg/L 以上の含量を示している。このように Fe、SO₄²⁻ の含量が、計算値より増大した値を示すのは、酸素の供給と消費とがある程度地表近くで連続的に行われるため、地表水が硫酸鉄 (FeSO₄) と遊離硫酸 (H₂SO₄) とを生成しつつ、地

中に滲透する結果によるものと考えられる。

5.3 滲出水

前項までの説明で、坑内水成分含有量の多様性は、成分稀薄な多量の湧出水が強酸性の滲出水を稀釈する結果によるものであり、滲出水中の遊離硫酸および硫酸鉄などの鉄害成分は、硫化鉄の酸化によつて導かれることを明らかにした。したがつて坑内水の悪化にもつとも影響を与える滲出水の性質について、まず吟味してみる必要がある。

滲出水の大部分は鉄体内の間隙・小裂隙より滴下する程度のものである。少なくとも鉄体は緻密な硫黄・硫化鉄よりなり、容易に地下水の滲透および流動を許すほど空隙あるいは間隙に富むとは考えられないが、鉄体周辺の地下水はきわめて徐々に、これらの裂隙あるいは層面に沿つて滲潤しているものと考えられる。とくに坑道の開鑿により鉄体内部の面積が広がると、滲出水は空気と接触し、その結果酸化作用が連続的に行われ、既述の基本化学式の反応により、著しく悪化して行くものと考えられる。また前記反応に伴い酸化熱の発生もまた当然考えられるが、事実坑内においても、現在 35.8°C あるいは 28°C という温度を有する出水個所がある。この附近は坑内温度も高いのであるが、厳密には、出水温度の高低とは一致しない。したがつて、水質、局所的な高温範囲および水温と気温との位置的な相違などの諸点から鉄体内の異常温度は滲出水の存在により、湿潤状態で発生した二次的な酸化熱の影響によるものである。

なお滲出水については、以上のほかに、現在密閉されている陥没区域の存在も考慮する必要がある。陥没の原因については、今後の調査を必要とするが(陥没区域の直上が大長根の熔岩台地の一部を占めている)、この区域内では、排水されずに貯溜された滲出水が時間の経過に伴つて酸化作用が進み、このため発熱によつて温度を高め「ガス」を発生して強酸性化していることが探鉄課の調査によつて知られている。この強酸性貯溜水が陥没に伴ふ裂隙あるいは既存の間隙・層面より逸脱することも当然考えられるところである。下部坑道に比較的多量の強酸性の水が裂隙あるいは鑿孔から流出していることは、陥没による貯溜性滲出水の影響によるものと推定される。

5.4 粘化帯と湧出水

既述のように、出水状況からみて、一般に水量の多い個所は、主として鉄体周辺部に位置しており、通称「ガマ」と呼ばれる空洞からはとくに多量の出水を認めることができる。そしていわゆる坑内水の主体がこの種の湧出水であることもまた、滲出水との成分相互関係から説

明を与えた。

さて、坑内水の主体をなす湧出水ともつとも密接な関係をもつのは、前述の通り「ガマ」である。

「ガマ」は一般に鉄体周辺(下部では鉄体内)に発達する粘化帯と関連がある。この粘化帯は水の動きによつて、そのまま押流されずに残留している場合もあるが、全般的にみると鉄体周辺部に沿つて分布し、かつその多くがいわゆる「ガマ」となり、多量の成分稀薄な水を伴っていることから推察して、いわゆる「ガマ」が撰択的な循環水の通路としての役割を果しているといえる。すなわち、出水地点のある個所ではこの軟質物の押し出しによつて、天盤近くまで坑道が埋もれており、その出水量も多く、pH も 2.9~3.0 というほど地表水の水質(後述)に近い性質を示していることが認められる。

このように、循環水の通路にあたる粘化帯は、一般に多孔質の珪質あるいは粘土質からなる。このうち珪質のものについて、その含水試験および化学成分を示すと次の通りである。

a. 含水試験

	重量比	容量比
岩石成分	54.7%	約31%
水分	45.3%	69%

備考 1) 試験は約 5gr の塊状試料について、飽和状態まで水を吸収させて行つたものである。

2) 試料採取個所

b. 化学成分

SiO ₂	94.16%
Al ₂ O ₃	0.74
Fe ₂ O ₃	1.37
TiO ₂	2.56
MgO	tr
CaO	tr
Ig. loss	0.96
-H ₂ O	0.22
	100.01

備考 Fe₂O₃ は FeS₂ を含む全鉄量

分析者 安藤 武

粘化帯は上記のような珪質のものばかりではなく、ある部分ではいわゆる粘土質の場合もある。また一般に、少なからず硫化鉄が鉄染し、局部的に硫化鉄鉄質の部分がある。

次に、見掛上黒色粘土化の部分と、その周囲の堅硬部についての部分分析を示すと、次の通りである。

第 4 表 分 析 表 / 昭和 27 年 3 月分析 化学課 米谷 宏

採 水 位 置	pH	SO ₄	Fe	Al	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
3m坑引立	2.9	455.0	30.0	18.0	64.4	11.8	23	5	52
136m坑8N18号W	2.3	747.3	126.0	32.8	28.6	9.2			
“ 7N引立, 20号附近	2.1	1821.3	411.9	35.0	12.1	13.5			
112m坑5N25号E	2.7	323.0	31.5	24.4	33.5	10.9			
“ 5N4号	0.3	39770.0	6322.5	397.7	90.0	61.2	73	26	100
88m坑3N20号E	2.7	366.0	37.8	15.9	37.0	7.0	29	7	40
76m坑3N引立	2.5	525.0	74.1	20.2	40.8	5.7			
“ 3N9号	0.7	16641.0	3147.3	473.5	31.2	8.7			
“ 3S3号引立	2.5	246.9	26.6	5.8	0.8	8.7			
3m坑斜坑傍	5.7	880.0	69.0	10.6	214.0	76.9			
“ 通洞総排水 (坑口)	1.8	2517.6	417.0	96.5	46.4	12.2			
製錬場ブリ捨場滲出水	1.7	25282.5	7170.0	1458.3	123.0	37.1			

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃
粘土質	48.02%	21.98%
堅硬部	3.63%	45.30%

備考 1) Fe₂O₃ は FeS₂ を含む全鉄量
2) 試料採取個所

分析者 安 藤 武

この両者を比較すると、粘土質の部分に対して堅硬部はほとんど硫化鉄鉱に近い成分を示している。したがってこのような粘化帯の生成は、単に強酸性滲出水による二次的な浸潤酸化の結果ではなく、むしろ松尾鉱山の硫黄—硫化鉄鉱床の生成と密接な関連を有するものと考えられる。すなわち、種々の鉱化作用によつて緻密な鉱体の生成した末期に、酸性熱水がその周辺に移動逸脱した過程において、その通路に当る部分に現在の粘土帯が生成されたと考えられるのである。

以上のように、鉱床生成と関連し、はゞ鉱床の周辺に分布する粘化帯が、その含水性から知られるように、一種の貯水帯を形成し、松尾鉱山坑内出水に影響を与えていることは、容易に推察することができるのである。

6. 地 表 水

地表水の流量・水質などは季節的に相当変化するようであるが、調査期間は湧水期であつたため、主としてその期間における調査事項について説明する。

水質そのほかは、第1表および第2図に示した。

地表水の pH は最低 3.0 から最高 7.0 である。もちろん製錬灰捨場から滲出する強酸性浸透水と、それを混じた赤川の pH は、ほかの流水に比べると異常な値を示すので、これについては後で述べることにする。

赤川の pH は上流において 4.0、旧坑附近では 3.6 を

示している。この酸性化の原因は変質帯の露出に伴い、硫化鉄の酸化によるものと思われるが、中には変質帯を通過する伏流の混じていることも当然考えられる。

赤川の流量は季節によつて異り、湧水期には上流の大部分が伏流し、秋の降雨期に至つて正常な流水状態に復帰する。この傾向は赤川を含む鉱体北部の低地帯においても認められる。なお、北側の山麓に湧出する湧泉の pH は 3.0 前後で、(第1表)、部分的に褐鉄鉱の下を通路とし、硫化水素 (H₂S) を溶存している。

赤沼はこの北側の湧水によつて涵養され、現在も周囲に褐鉄鉱を沈澱生成しているが、隣接する御在所沼より水位が 1.5m も高いことから判断すると、湖底からも同性質の酸性水が相当量湧出しているものと思われる。御在所沼は、赤沼の流入によるものであるが、これに対して日陰沼は pH 7.0 を示している。したがつて、日陰沼は、この酸性水の影響をほとんどうけず、周辺の浅所地下水あるいは地表水によつて涵養されているものと思はれる。

赤川下流では流入する支流ないし湧水の pH は、大部分 7.0 前後であつて、大長根の新期熔岩あるいはそのほかの非変質帯より湧出している。

以上の結果から、地表水は変質帯を通過して流出するものと、非変質帯を通過するものとに分かれ、その区別はある程度 pH の上に表われているとみることが出来る(第2図)。そして分析表から明らかなように、鉱山周辺の変質帯に伴う湧水および川水の水質・成分含有量が、坑内における多量の湧出水とほとんど同じであることは注目に値する。

坑外におけるもつとも著しい鉱害は、製錬灰捨場より滲出する滲透水である。pH と化学成分は表に示す通り

である。湧出量は測定困難のため明らかでないが、0.5~1.0m³/min 程度である。しかし坑内における同じように量的に少ないこの透透水が、赤川に著しい影響を与えているため、鉦山ではこの透透水を地下水化する計画をたて、現在注入試験を行つている。

7. 坑内水の賦存状態

以上で、坑内水および地表水の諸性質を述べたのであるが、これらの調査結果を総括して、松尾鉦山坑内水の賦存状態を考察してみることにする。

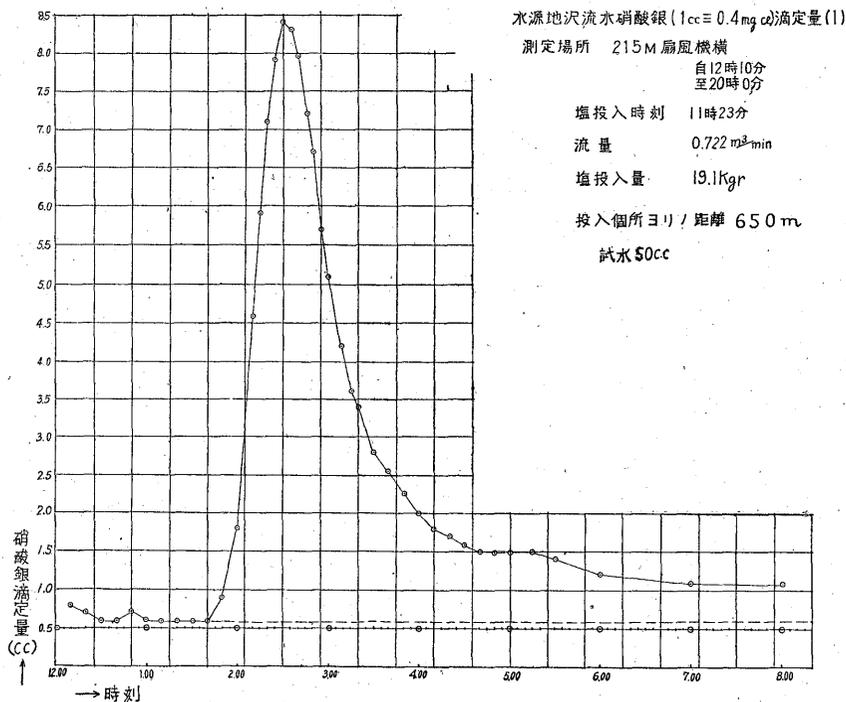
坑内水の主体すなわち湧出水は、その成分含有量において変質帯に伴う湧水ないし地表水とほとんど同じ程度であり、後述の例外を除いては、非変質帯に伴う pH の高い湧水の性質を認めることができない。したがつて、鉦体周辺の変質帯は、地表から透過した地下水によつて飽和されていると考えられる。この状態で坑道が開鑿され、とくに鉦体周辺の含水粘化帯に達すると、地下水の一部はこの低圧部から流出するが、すでに水路となつている部分はいはゆる「ガマ」となり、空洞を残していると考えられる。鉦体そのものはほとんど不透透性であるから、裂隙・間隙を充す水量はきわめて少量であろうが、一たび坑道の開鑿により空気に接すると、酸化作用が進行して鉦害成分の増加をきたし、前記の地下水に混

入して、水質の多様性を呈するに至る。

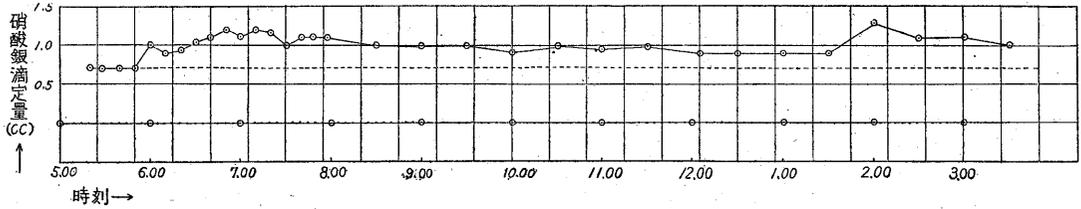
また一般的な傾向として、坑道開鑿が下部に進むと、上部坑の粘化帯から流出していた坑内水が漸次消失することから判断すると、変質帯を充す地下水の水面は、下部坑における抜水によつて後退するものと思われる。この現象に関連して、かつて前記低地帯内の湿地帯(現在215m 扇風機所在地附近)が現在よりはるかに湿潤状態を呈していたといわれている。これは少なくとも往時の地下水面が、現在より相当高かつたことを示していたと考えられる。したがつて、このような地下水面の低下は坑道開鑿に伴う出水の影響が地表にまでおよぼしているものと考えられる。

一方、3m 坑より 76m 坑に至る下部開発斜坑昇り口降近の出水地域は、鉦体下部の変朽安山岩中の裂隙よりの湧水であるが、pH 5.8~7.0 という坑内では例外の値を示し、水酸化鉄の厚い沈澱が認められる。しかし、その pH より推察すると、強酸性滲出水が pH 3.0 の地下水で稀釈されたとは考えられない。したがつて変朽安山岩中の地下水は、ほとんど非変質帯のそれと同性質の液性・水質を有し、粘化帯に伴う地下水とはまったくおもむきを異にしていると結論づけることができる。

最後に、地表水もしくは地下水がどの程度実際滲透し、坑内水として流出するかという問題が対象となる訳



第 6 図



第 7 図 水源増沢流水硝酸銀 (1cc≒0.4mgcl) 滴定量 (2)
 測定場所 沢入口 自17時20分至3時30分 塩投入時刻 11時23分
 塩投入量 前と同じ 流 量 1.154m³/min
 投入個所より距離 1750m 試 水 50cc

であるが、その予備実験として、前記低地帯中の小沢 (現在坑内用水水源) に塩を投じて、水流に応じた移動速度の変化を測定した。これは地表水が透過し坑内水として現われるのを、適当な色素などの指示物を用いて坑内で捕捉する場合、投入する指示薬の量とその移動速度の概算を知る目的で行ったものである。

この結果は、第 6・7 図に示す通りであるが、 Cl^- の検出は、試水をアルカリで中和し、のち、硝酸銀溶液で滴定した。この結果より推定される事柄として次の諸点を挙げる事ができる。

- a. 比較的流量の少ない場合 (0.7~1.0m³/min) でも流速に変化の多いところでは、投入個所より近距離にもかかわらず (約 1.8km)、指示物の分散の度合いが著しい。
- b. 地表水のような水の動き、すなわち過流の場合では、粒子の動きは予想以上に緩慢である。
- c. 分散の度合いは地下水のような整流の場合には、地表水よりあまり著しくないとしても、流量および流速を考えにいれると、坑内で検出しようためには、相当量の指示物を直接流動する地下水中に瞬時に投入するような方法をとらねば、効果を望みえない。

以上のほか、投入個所の検討も必要とするので実際に地表水と地下水との関係をこのような方法で捕捉することは非常に困難であると考えられる。

8. 現段階における坑内水対策

冒頭でも述べたように、基本的な坑内水対策としては滲透水の阻止に主眼をおく積極的な方法と、排水の処理に重点をおく消極的な方法とに分かれるが、鉱体周辺の地下水賦存状態についての考察結果から判断すると、変質帯に滲透する地表水を阻止し、坑内出水量を減少させることはまず困難であると考えられる。したがって、現段階における坑内水対策として次の事項を提案したい。

8.1 坑内における強酸性滲出水と循環水との分離

坑内水水質の多様性はほぼ地表水に近い循環水と、強酸性滲出水との混合によることを別項において説明し

た。その結果から当然考えられることは、この強酸の混合割合をより少なくすることである。強酸性滲出水の出水状況から判断してこの操作は可能と思われるので、たとえ全出水量に著しい減少が現われなくても、現在と同じ石灰使用量により、化学的な排水処理の効果を相当高めることが期待できる。

8.2 坑内外強酸性滲出水の地下水化

製錬灰捨場からの滲透水は局所的に地下水化することもつとも効果的であると考えられる。また、3m 坑排水もできうる限り地下水化することの望ましいことは当然である。

一方、坑内で分離した強酸性滲出水も、その処理方法の1つとして最短距離で坑外に導き、地下水化することも一案である。

なお、地下水化のほかに、砂礫質の地層に排水を投入して中和させる方法も考慮すべきであろう。

以上のほか、疎水坑道の開鑿により坑内水の滲出を阻止する方法は、地下川のような場合、あるいは特定の地層を流動するような場合には、ある程度効果を望むことができるであろうが、本地域の地下水のように変質帯を充填しているような場合には、坑道面積を非常に広くしなければ、ほとんど効果的な結果を期待することが困難であると考えられる。したがって、将来滲透防止というよりも、深部に抜水坑道を開鑿し、全般的な水位面を低下させる方法を吟味してみる必要があると考えられる。

9. 結 論

1 松尾鉱山の坑内水は出水状況によって、鉱体周辺に分布する粘化帯中の「ガマ」から湧出するものと、鉱体内の小裂隙・間隙から滴下する滲出水とに大別される。

2 前者は、出水多量で pH 2.5~3.0 であるのに対して、後者は pH 0.1 以下の場合も少なくなく、両者の混合によって、水質の多様性が示されている。滲出水の強酸性化は、坑道の開鑿により硫化鉄の酸化が増大することに原因している。

3 湧出水を伴う粘土化帯は、鉱床生成と密接な関連を有し、循環水の選択的な通路としての役割を果している。

4 地表水のうち変質帯に伴う湧水と、不変質帯に伴う湧水とは、液性によつて比較的明瞭に区別され、前者は pH 3.0 前後、後者はほとんど pH 7.0 前後を示している。そして前者の性質は、坑内水の主体をなす湧出水の性質とほとんど一致している。

5 上記の諸性質より、松尾鉱山の坑内水は、鉱山周辺の変質帯を充す地下水によつて涵養され、非変質帯中の地下水とはほとんど関係がない。

6 現段階における坑内水対策としては

- a) 坑内における循環水と強酸性滲出水との分離
- b) 坑内外強酸性滲出(透)水の地下水化

がもつとも効果的であると考える。

(昭和26年3月調査)