

## 相模湖町の簡易水道の水質異常について

小沢 清, 平野富雄, 小鷹滋郎, 大木靖衛

神奈川県温泉研究所\*

Sulfuric Acid Pollution of Stream Water in Sagamiko Town,  
Kanagawa Prefecture

by

Kiyoshi OZAWA, Tomio HIRANO, Shigeo ODAKA and Yasue ŌKI

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

A pH of a stream water for drinking use in Sagamiko Town has been decreased down to 4.4 from 7.0 by sulfuric acid produced oxidation of pyrite contained in the black shale of the Kobotoke Group (Upper Cretaceous) which is composed of alternation of black shale and sandstone. A dam constructed in the upper part of the stream to prevent the landslide has been filled up with a large amount of black shale fragments. As surface water saturated with oxygen passes through this deposit, sulfuric acid has been produced from pyrite contained in the black shale by the bacterial oxidation. Alunogen found on the surface of the black shale was deposited by the reaction with sulfuric acid and rock forming minerals and clays.

### まえがき

昭和48年11月7日付で神奈川県津久井保健所より当所に、津久井郡相模湖町奥畑部落の簡易水道水の水質悪化の原因調査が依頼された。水質悪化は昭和48年8月からおこり、水道水の水素イオン濃度(pH)が急に4.4に低下し、飲料に適さなくなったとのことであった。

\*神奈川県箱根町湯本 997 〒250-03  
神奈川県温泉研究所報告 第7巻, 第3号, 145—152, 1976

奥畑部落は神奈川県の水ガメである相模湖東方約1kmの相模川右岸に位置し(図1), 戸数は37戸, 人口は172人である(昭和50年1月現在)。簡易水道水源として部落の後背地である標高約400mの嵐山とそのつづきの山(以後嵐山連山とよぶ)から流れる沢の水が利用されている。嵐山連山は初め昭和41年頃某観光会社の手によってゴルフ場として開発が始まった。その後ゴルフ場建設途中でこの観光会社は倒産し, 現在は三井物産の手によりレクリエーション施設ピクニックランドとして再開発され, 昭和47年10月から開園されている。

当所の調査に先立ち, 神奈川県衛生研究所が水質を分析したが現地調査を行なわなかったため原因は究明されなかった。当所は昭和48年11月9日に水源付近の現地調査を行ない, 回答した。その後昭和50年12月18日に再調査を行なった。この報告はこの2回の調査結果をまとめ, 水質汚染の多様性と硫酸塩鉱物の成因に関して考察を加えたものである。

## 謝 辞

本調査を行なうにあたり次の方々にお世話になった。前津久井保健所八田金太郎衛生課長(現大和保健所), 赤堀正光技師, 二見育三技師, 佐藤信二技師, 相模湖町建設課井草浩環境整備係長, 奥畑簡易水道組合長榎木辰雄氏には現地の案内, 各種資料の提供, 談話を聞かせて頂いた。厚く御礼申し

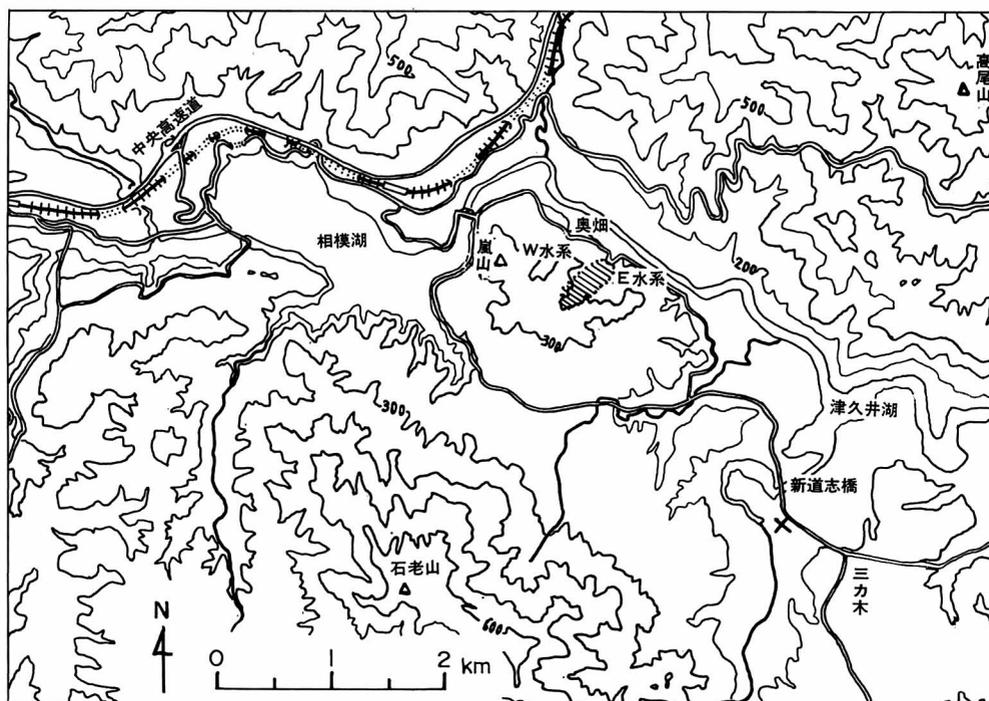


図1 調査地域案内図

斜線部分が調査地域(E水系), ×印はアルノーゲンが見出されている場所

あげる。

本調査は神奈川県温泉研究所の温泉等研究調査費で行なった。

### 水道水系と水質悪化について

奥畑部落の簡易水道水源は部落の南に位置する嵐山連山から北東方向に流下する長さ約1 kmの2本の沢である(図1)。便宜上、西側の沢をW水系、東側の沢をE水系と呼ぶ。嵐山連山が初めにゴルフ場として開発された昭和41年頃、E水系の奥に堰堤が築かれ、そこに山を削った土石が埋められた。

図2に奥畑簡易水道系統図を示す。水量は昭和48年8月13日の採水可能量を示す(津久井保健所調査)。E水系は本流(図2の第2水源)と支流(第1, 第3水源)の水を合わせて取水している。取水方法は沢に堰を設けて、そこからパイプで貯水槽に集める方式である。

水道水のpHは毎月定期的に調査されている。表1に経年変化を示す(津久井保健所資料)。試料は2つある配水池から交互に採水している。この表からpHの低下は昭和48年8月以前にもしばしばあり、すでに昭和46年1月から始まっていることが分る。関係者の話によれば昭和45年にもpH低下があったとのことである。E水系の第2水源は他の水源で水量が不足する時のみ利用される。この視点で表1をみるとpHの低下する時期は第2水源が利用される渇水期の冬と水需要の増加する夏である。これから第2水源のpH低下が原因であると予想され、事実第2水源のpHが低いことは津久井保健所の調査により明らかになっている。したがって、何故第2水源のみがpH低下をおこしたのかそのメカニズムを探るためにどの地点から水質が悪化しているか、汚物や薬品などによるものなのかを明らかにする必要がある。

### 地質について

調査地域付近の地層は厚さ数1,000 mといわれる中生代白亜紀の小仏層群とそれをおおう厚さ4~5 mの関東ローム層からなる。小仏層群の岩相は黒色頁岩と砂岩の互層で北側は砂岩、南側は黒色頁岩が優勢である。黒色頁岩は千枚岩化している部分もある。走向傾斜はおおよそN70W70Nである。

黒色頁岩は還元性の静かな水域で生成されたと考えられている。黒色を呈

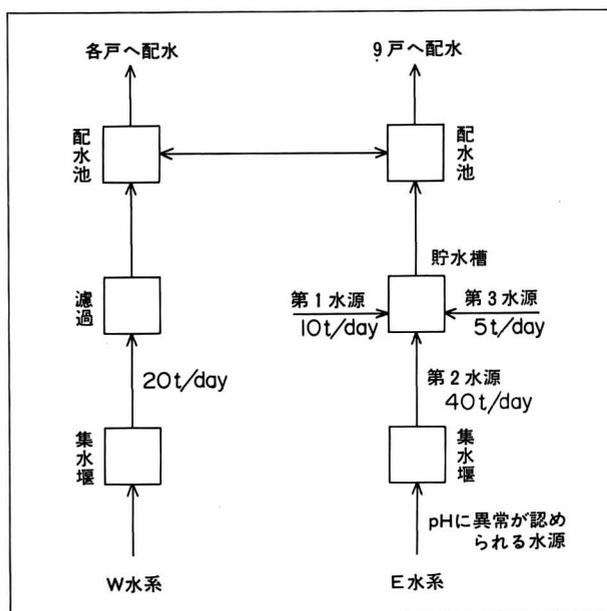


図2 奥畑簡易水道系統図

するのは炭質物である。黒色頁岩中には黄鉄鉱  $\text{FeS}_2$  の小さな結晶が見られる。また沢の入口の露頭（図3のA）には硫酸塩鉱物（アルノーゲン）が生成していた。この硫酸塩鉱物の成因について今度の水質調査で示唆を得たので後に述べる。

アルノーゲン  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  は“神奈川県地学のガイド”によれば本調査地域から遠くない新道志橋近くの小さな滝下の露頭（図1の×地点）にも見出されている。

### 水質調査

E水系の水源水のpH低下がどこから生じているかを調べるために8カ所で採水し、水質分析を行った。図3に採水位置を示す。表2は分析結果である。これからpH低下はNo.2の地点で始まっている。No.1は支流のNo.6（第1水源）、No.7（第3水源）と共に溶存物質の少ない良好な水で飲料に適している。

No.2とNo.3の間には高さ約10mの堰堤があり、堰堤内部はピクニックランドを造成する時に崩された小仏層群の黒色頁岩や砂岩の土石で埋まっている。No.2はこの土石だまりの表面を流れる

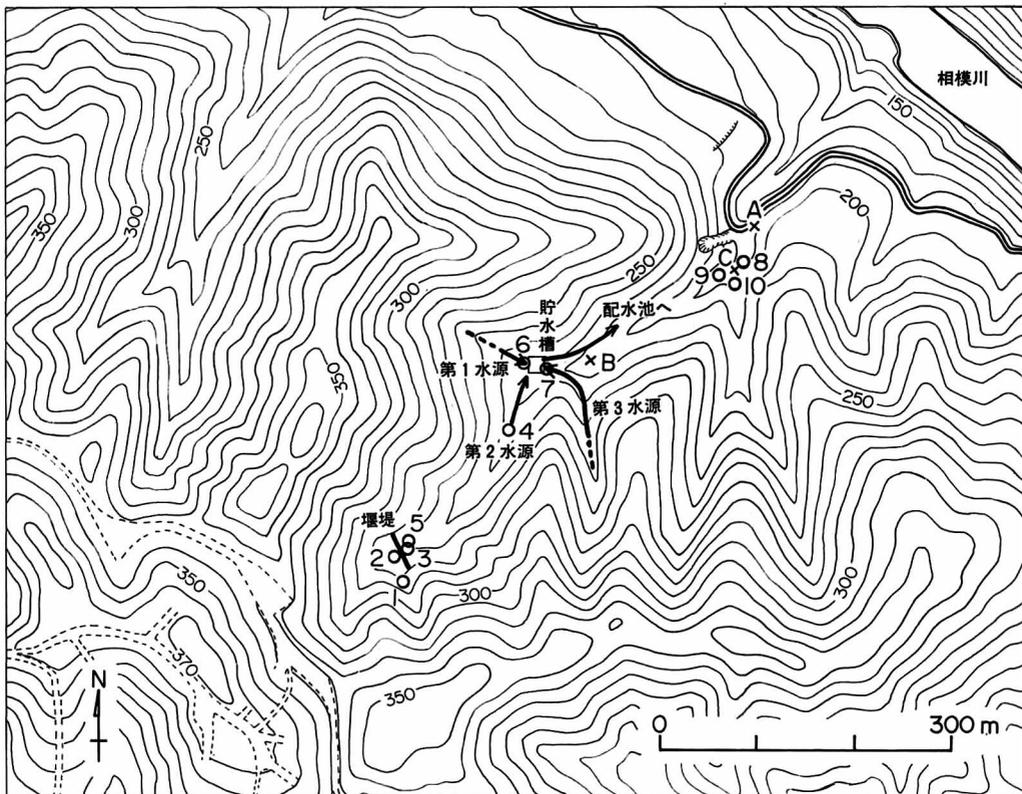


図3 採水位置図  
数字は試料番号で表2に同じ

水で、No. 3 は堰堤下部の水吐口から流出する水である。No. 1 の流水がこの土石だまりの表面を流れてゆぐだけで pH は低下し、溶存成分が増加してゆく。堰堤下部の水吐口からは多量の地下水が流出している。この水は堰堤より上流の山地から浸み出した地下水が土石だまりの中を流れてきたものである。この水はより酸性であり、溶存成分が増加し、硫酸イオンが異常に多い。硫酸イオンが多いのは土石だまりの中で硫酸が生成されたからである。硫酸が生じれば pH は低下する。これが第2水源の pH 低下の原因である。何故土石だまりの中で硫酸が生成されたのか、その“からくり”を究明する必要がある。この酸性の水はこの沢のこれより下流部の水質を支配している。No. 3 から No. 4 への水質変化は No. 3 の水にこの付近の一般的な水質

の水 (No. 1, No. 6, No. 7) がおよそ 2 : 1 の割合で、また No. 4 から No. 8 への水質変化はおよそ 1 : 1 の割合で混合すれば説明される。これらの水質の変化していく様子を図4に示す。

堰堤の水吐口の内部は水酸化第二鉄  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  が沈澱して赤くなっている。No. 3 の水には他のものよりも鉄分が多いことが分析値にも表われている。支流が合流する所 (図3の B, C) では水酸化アルミニウム  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の沈澱がみられる。これは酸性の水に中性の水が加わり pH が上昇したために黒色頁岩中から溶け出したアルミニウムが沈澱したものである。なお、低い pH は現在も続いている。

### 水質悪化の原因

E水系の奥には堰堤があり、小仏層群の黒色頁岩や砂岩の碎石で埋められている。現地での周囲の状況調査、聞き込み調査、水質調査を行なった結果、廃棄物による汚染は考えられない。この土石だまりに流入する水 (No. 1) は正常であり、土石だまりと接触した No. 2, No. 3 の水は pH が低い。土石との接触程度と溶存成分の増加の割合は正の関係にあり、堰堤下部の水吐口から流出する No. 3 の方が No. 2 よりも溶存成分は多く、酸性である。このことから pH 低下の原因はこの土石だまりに隠され

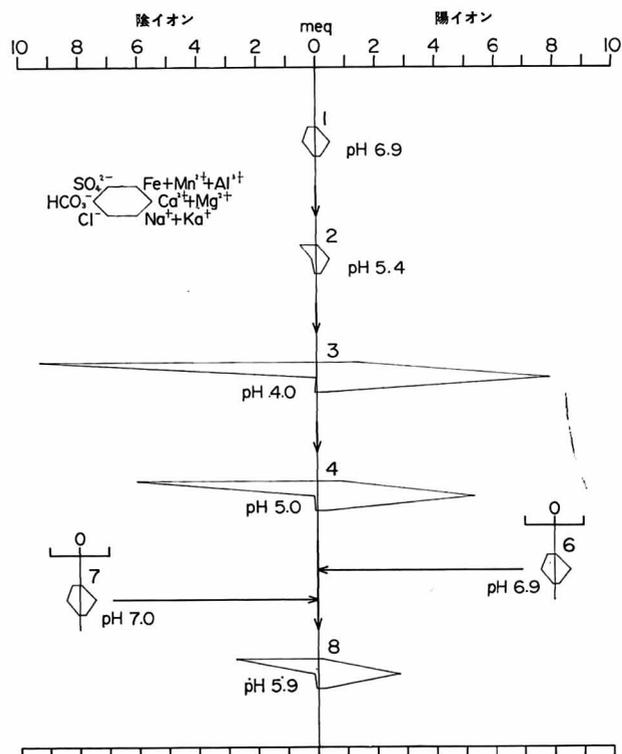


図4 水質パターン

表 1 pH の 経 年 変 化

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
昭和45				7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.3	7.0	7.3	7.3
46	4.6	5.9	7.8	7.5	7.4	7.2	7.1	6.8	6.1	7.2	7.2	7.6
47	7.1	7.3	7.1	7.4	—	6.8	7.2	7.2	6.6	7.3	6.2	6.8
48	6.4	6.4	6.4									

津久井保健所資料

表 2 水 質 分 析 表 (分析値の単位はppm)

試料No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
測定日	1973. 11. 9	1973. 11. 9	1973. 11. 9	1975. 12. 18	1973. 11. 9	1975. 12. 18	1973. 11. 9	1973. 11. 9	1973. 11. 9	1973. 11. 9	1975. 12. 18	1973. 11. 9	
水 温(°C)	11.8		15.2	14.4	13.2	8.7		12.9	11.9		5.3		
pH	6.9	5.4	4.0	3.9	5.0	4.8	4.8	6.9	7.0	5.9	5.0	4.9	7.0
蒸発残留物	62.2	69.0	707.8	415.1	471.6	292.0	n.d.	66.00	70.35	n.d.		232.8	
K <sup>+</sup>	0.30	0.40	1.49	0.93	1.16	0.77	1.74	0.28	0.42	0.74		0.62	
Na <sup>+</sup>	3.99	3.56	7.43	6.88	6.31	6.30	7.61	3.94	4.43	4.78		5.58	
Ca <sup>2+</sup>	5.66	5.02	68.8	38.0	46.8	26.3	73.0	6.81	7.12	26.0		21.1	
Mg <sup>2+</sup>	2.58	2.63	53.9	34.3	35.9	22.5	49.9	2.60	2.32	17.4		18.5	
Mn <sup>2+</sup>	0.006	0.14	7.29		4.52		6.25	0.0	0.0	1.46			
Fe (Total)	0.071	0.080	2.22	3.40	0.442	0.40	0.174	0.025	0.017	0.079		0.07	
Al <sup>3+</sup>	0.14	0.44	9.62		5.88		6.10	0.39	0.41	1.00	0.53		
Cl <sup>-</sup>	2.01	1.98	2.62	1.90	2.37	19.0	2.69	2.57	1.93	2.29		1.90	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12.74	26.52	447.8	256.4	290.4	164.4	406.4	12.0	13.5	130.8		135.7	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25.4	8.46			6.04	3.98	7.85	28.4	29.0	6.65		4.54	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	29.5	26.8	49.4	36.0	42.0	25.6	47.9	26.8	30.9	26.7		20.9	
CO <sub>2</sub>	4.20	12.2				16.7		3.78	4.26	9.67		13.9	

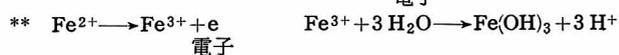
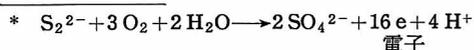
分析者 平野富雄

ていると考えられる。

pH が低いのは硫黄および鉄酸化菌 (チオバチルス, フェロバチルス) によって黒色頁岩中に含まれている黄鉄鉱が酸化されて硫酸がつけられたためである\*。これらの酸化菌の働きが活発になったのは黒色頁岩が砕かれて土石だまりの下部深くまで水や酸素の供給が容易になったからである。これらのバクテリアは比較的酸性の高い環境 (pH 4 以下) で最適な活性を持ち、純粋な化学的酸化は pH 4 以下で急激に遅くなる (Dugan, 1973)。ここで生じた第二鉄イオンは水と反応して水酸化第二鉄 Fe(OH)<sub>2</sub> となって堰堤の水吐口内部に見られるように沈澱している。\*\*一般に泥岩中には酸化アルミニウムが多く含まれている。沢の入口の露頭 (A) でみられた硫酸塩鉱物のアルノーゲンバクテリアの作用によってできた硫酸が黒色頁岩中のアルミニウムを含む長石などの鉱物と反応し、晶出したものである。

このような種々のバクテリアの作用によって水質が変化した例は過去にもあった。

## (1) 三浦郡葉山町での例



電子

昭和43年に葉山町で宅地造成がなされた時、沢の上部を土止めして土砂や草木を埋めた。するとしばらくして沢水に硫化水素臭がするようになった。

## (2) 西丹沢中川温泉での例

昭和47年の集中豪雨により、中川温泉近くにある砂防堰堤が土石で埋まった。その後1カ月程して硫酸イオンが減少して炭酸イオンの増加した水が流出するようになり、現在も続いている（平野未発表）。

## まとめ

(1) 水質悪化の原因はE水系第2水源のpH低下のためである。これは廃棄物によるものではなく、堰堤内部に捨てられた黒色頁岩中の黄鉄鉱がバクテリアの作用によって酸化され、硫酸が生成されたことによる。

(2) 小仏層群の黒色頁岩の表面に晶出しているアルノーゲンはバクテリアの作用によってできた硫酸イオンと黒色頁岩中のアルミニウムを含む長石などの鉱物が反応して生成した。

(3) 産業廃棄物などの有害物質の投棄による河川水や地下水の水質汚染の例は良く知られている。今度の例のように土木工事による残土の単なる埋立でも土質によってはバクテリアの作用によって水質変化を引き起こすことがある。産廃物に限らず一見なんでもないような物質でも投棄した後で生活環境を汚染、破壊し、住民に被害を及ぼすことがある。とくに上水道水源が近くにある場合には住民の生命に直接かかわるので十分な注意が必要である。なお、バクテリアの作用による発熱現象も知られている。

(4) 奥畑の簡易水道水源地付近は“立入禁止”の立札が1枚あるだけで他の水源地に比べて管理が悪いので改善する必要がある。

## 参考文献

Dugan, P. R., 鈴木静夫他訳 (1973), 水質汚染の化学生態学, 東京化学同人.

服部勉 (1972), 大地の微生物, 岩波新書.

加藤武雄 (1970), 蔵王火山周辺河川の水文学的研究, 山形大紀要 (自然科学), Vol. 7, No. 3, 205—273.

牧野泰彦 (1973), 小仏層群の層序学的ならびに堆積学的研究, 地質雑, Vol. 79, No. 4, 299—308.

奥村清編 (1971), 神奈川県地学のガイド, 森重出版.

鈴木孝雄, 平野富雄, 大木靖衛 (1973), アルミニウムの溶解度とその温度変化, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 73—82.

都留信也 (1975), 地球の微生物, 大日本図書.

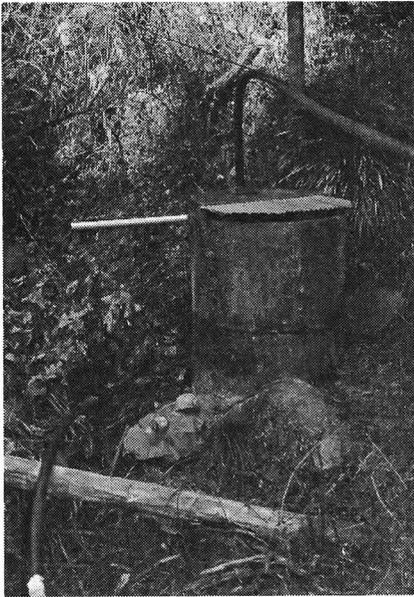


写真1 E水系の貯水槽

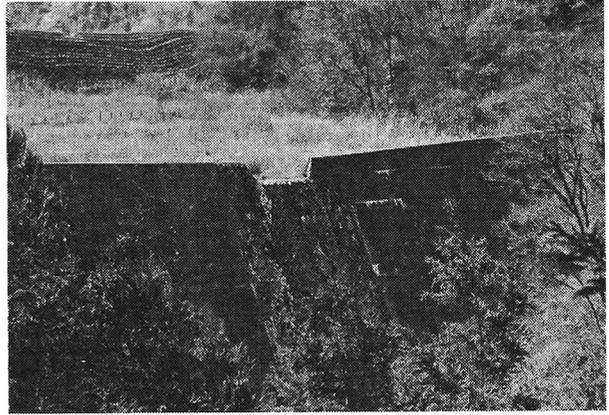


写真2 砂防堰堤



写真3 水源地“立入禁止”立札

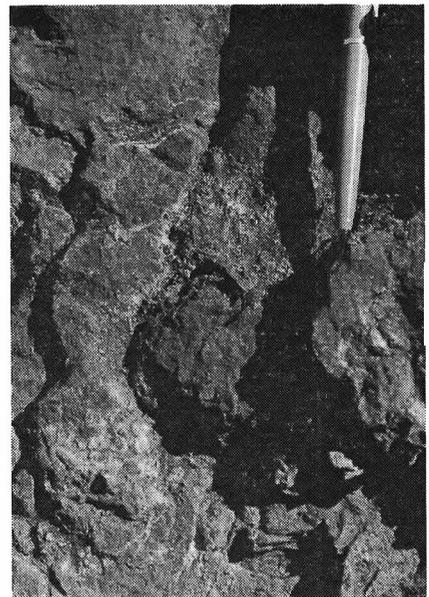


写真4 黒色頁岩の表面に晶出しているアルノーゲン（白い部分）