坑内水中のバクテリアならびにその 鉱山学的利用に関する研究 (第1報)*

正 会 員 伊 藤 一 郎^{*1)} 八 木 正 一^{*4)}
正 会 員 若 園 吉 一^{*2)} 香 月 裕 彦^{*5)}
近 藤 正 義^{*3)}

Studies on the Special Bacteria in Mine Water and their Utilization for Mining Operations (I)

Ichiro ITO, Yoshikazu WAKAZONO,
Masayoshi KONDO, Shoichi YAGI and Hirohiko KATSUKI

In this paper we report the results of some laboratory experiments which were carried out as the parts of the fundamental¹⁾ researches related to the above title. The important results obtained in these experiments were as follows:

- (1) A special bacterium known as a kind of *Ferrobacillus ferrooxidans* was certified to exist in the mine water from Kosaka mine.
- (2) The lixiviation of iron and copper in the leaching water was supposed to be fairly indebted to the oxidizing action exerted by the special bacteria on the sulphide ores.

1. 緒 言

われわれは数年前より浸出を応用した低品位銅鉱、あるいは坑内の残銅鉱の回収について基礎的に研究を続けてきている²⁾。これらの研究において今までに得られた実験結果を、例えば小坂鉱業所などで得られている現場の操業成績などと比較検討してみると、単なる化学反応のみでは説明できないような現象がかなり多いように思われていた。しかるにたまたま1958年の *Engineering and Mining Journal*³⁾ にバクテリアによる低品位鉱の浸出についての記事が掲載されていたので、この問題に非常な興味を覚え、上記の研究と平行して新たにこの研究にとりかかった次第である。

本報においては、同和鉱業株式会社小坂鉱業所の坑内水および鉱石を対象として行った基礎的研究のうちで、バクテリアの培養試験およびバクテリアを利用した鉱石の浸出試験の結果について報告する。

2. バクテリアの培養試験

2.1 序 言

1956年、Leathen, Kinsell, Braley の報告⁴⁾ によれば、坑内水のようなかなり強酸性の溶液中に棲息し得る

特殊のバクテリアについての発見の経緯は次の通りである。すなわち、1947年に Colmer および Hinkle は、土壌の中などに存在していて硫黄を酸化する機能をもつ *Thiobacillus thiooxidans* と同じと思われるバクテリアと、さらにもう一種第1鉄を第2鉄に酸化するバクテリアが坑内水中にも存在していることを初めて発見した。次いで1950年には、Colmer, Temple, Hinkle などが第1鉄を第2鉄に酸化し、さらにチオ硫酸塩を硫酸に酸化する新しいバクテリアを発見し、これを *Thiobacillus ferrooxidans* と名付けた。1953年には、Leathen, McIntyre および Braley によって、Bradenville 鉱山の廃水中に自栄養のバクテリアが存在することが明らかにされ、そのバクテリアの一つが硫酸第1鉄を第2鉄に酸化することを確認した後、彼らはこれを *Ferrobacillus ferrooxidans* と命名した。

また別に、Bergey の記載⁵⁾ によれば、*Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus ferrooxidans* はいずれも $0.5 \sim 1.0 \mu$, *Ferrobacillus ferrooxidans* は $0.6 \sim 1.0 \times 1.0 \sim 1.6 \mu$ の大きさの桿菌であつて、いずれもグラム陰性であるとともに運動性を有し、形態的にはよく似ているが *T. thiooxidans* は硫黄を、*T. ferrooxidans* は硫酸第1鉄とチオ硫酸塩を、*F. ferrooxidans* は硫酸第1鉄をそれぞれ酸化するという機能の点で異なっていると述べている。

さてわれわれが今回の実験において対象とした小坂鉱業所の坑内水については、バクテリアの存否すら明らか

* 昭和35年4月10日受理

*1) 工博 京都大学教授 鉱山学教室 *2) 工博 京都大学助教授 鉱山学教室 *3) 理博 大阪市水道局水質試験所長、大阪工業大学講師

*4) 大阪市水道局水質試験所員 *5) 理博 京都大学助教授 理学部化学教室

でなく、したがってどのようなバクテリアを対象として試験を始めるべきかに迷ったのであるが、とり敢えず第1鉄を第2鉄に酸化するバクテリアが含まれているものと予想して、まずこの種のバクテリアの存在について検討することから始めることとした。

2.2 試料水

試料水としては、小坂鉱業所の五坑道および四坑道から採取した坑内水と堀割滲透水（露天掘採掘跡に堆積したズリに撒水されたものの滲透水）を用いた。試料到着時においては、いずれの試料水も透明で、坑内水は青味を、堀割滲透水は黄味を帯びていた。小坂鉱業所において実施されたこれらの試料水についての水質試験結果は、第1表に示した通りである。

第1表 試料水水質試験結果（小坂鉱業所報告）（昭和33年10月）

試料水	含 有 量 (g/l)											pH
	Cu	Zn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C.SO ₃	F.SO ₃	Fe ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	
四坑道坑内水	0.408	0.132	1.941	1.210	0.341	0.048	0.029	5.104	0.889	1.069	0.872	1.90
五坑道坑内水	0.463	0.127	2.078	1.640	0.529	0.030	0.013	5.441	1.020	1.571	0.507	1.65
堀割滲透水	0.053	0.061	0.375	0.400	0.073	0.030	0.015	1.346	0.079	0.010	0.365	2.55

〔備考〕 C.SO₃ は SO₄ 塩、F.SO₃ は H₂SO₄ として含まれている SO₃ である。

これらの結果によれば、試料水の pH 値は 1.65~2.55 の強酸性を示しており、溶存している Cu は 53~463 ppm, Zn は 61~132ppm, Fe は 375~2,078ppm といずれも極めて多い。一般にこのような環境のもとでは普通の微生物は存在し得ないものと思われる。

2.3 培養試験

この種のバクテリアの培養に関してはなおその方法が確立されていないために、まず次の (1) に述べるように、井水中の鉄バクテリアを培養する方法に準じて試験を行い、バクテリアの存在を確かめた後、さらに *Ferrobacillus ferrooxidans* の培養液²⁾、*Thiobacillus thio-parus* の培養液²⁾で試験を行い、その結果を検討するという方法を選んだ。

(1) 鉄粉とペプトンを加え炭酸ガスを通じる培養²⁾

写真1 フラスコ中に生じた鉄塩の沈澱物

100ccの試料水を三角フラスコに入れ、鉄粉約0.5gおよび濃厚液にしたペプトン0.05gをいずれも滅菌して加え、一定量の炭酸ガスを通じた後、20℃の恒温器で培養試験を行った。その結果、各試料水とも約24時間で液面に細かい気泡が発生し、2~3日後には気泡は褐色化してきて鉄の沈澱が付着してきたことを示すと同時に、フラスコ底部にも褐色の沈澱が認められた

(写真1)。このような培養によって生じた沈澱物は、その後の定性試験によつて鉄を多量に含むものであることを確認することができた。

また培養中の液から検鏡試料をとり、位相差顕微鏡により検鏡したところ、それぞれの試料中にはいずれも運動性を持った小型の桿菌を認めることができたので、さらに沈澱物を塩酸で処理して鉄を除き検鏡した結果、写

第2表 炭酸ガス、ペプトン、鉄粉培養における pH 値の変化（昭和33年10月18日~11月12日）

試料水	月 日				
	10.18	10.27	11.8	11.12	
四坑道坑内水	2.0*	1.8	2.5	2.7	2.8
五坑道坑内水	2.0*	-	3.0	-	-
堀割滲透水	1.9*	1.9	3.3	2.8	2.7

〔注〕 * は原水のまま、他のものは培養中のものである。

(a) 培養によって生じた鉄塩の沈澱物

(b) バクテリアの集落

真2に示すような集落をなした無数の桿菌を認めることができた。これらの桿菌は $0.5 \sim 1.0 \times 1.0 \sim 2.0 \mu$ の大きさを持ち、またグラム陰性である。（芽胞をつくらない菌にはグラム陰性のものが多い。）

室温（約 18°C ）で測定した培養液の pH 値の変化は第2表の通りである。

以上の培養試験によつて生じた鉄の沈澱がバクテリアの作用によつたものであることをさらに確かめるために、滅菌した四坑道坑内水と堀割滲透水を対照試料（無菌試料）として同様に培養してみたが、これらの無菌試料の場合には鉄の沈澱は認められなかつた。

（2） *Ferrobacillus ferrooxidans* の培養液による培養⁶⁾

Leathen, McIntyre, Braley によつて示されている *Ferrobacillus ferrooxidans* の培養液は第3表に示した通りである。

第3表 *Ferrobacillus ferrooxidans* の培養液

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$0.15 g	KCl.....0.05 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$0.50 g	K_2HPO_40.05 g
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$0.01 g	蒸溜水.....1,000cc

高圧滅菌器により 15 lb. の圧のもとで15分間滅菌したものを原培養液とする。別に $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ の 10% 溶液をつくり、滅菌減菌したのち、原培養液 100cc に対し 1cc の割合で加える。

そこでこの培養液 100cc をとり、これに各試料水を 5cc ずつ加え、 20°C の恒温下で培養試験を行つた。その結果、各試料とも 2~3 日で褐色の沈澱を生じ始め、また pH 値も第4表に示すように次第に低下してきた。

第4表 *Ferrobacillus ferrooxidans* の培養液による培養中の pH 値の変化

（昭和33年11月8日~27日）

試料水	月 日	11.8	11.12	11.20	11.27
四坑道坑内水		3.5	3.3	2.9	2.7
五坑道坑内水		4.1	3.1	2.8	2.7
堀割滲透水		3.8	3.7	3.5	2.9
無菌(五坑道坑内水)		4.2	-	-	3.9

これに対して、試料水を加えない無菌の培養液を対照試料として行つた実験においては、pH 値の低下は認められたがその変化が緩慢であり、また鉄の沈澱はほとんど生じなかつた。

（3） *Thiobacillus thioeparus* の培養液による培養⁶⁾

Thiobacillus ferrooxidans に相当するバクテリアが

第5表 *Thiobacillus thioeparus* の培養液

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$10.0 g	K_2HPO_42.0 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$0.1 g	CaCl_20.1 g
NH_4Cl0.1 g	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$0.02 g
MnSO_40.02 g	蒸溜水1,000cc

〔注〕 上記の培養液で 2~3 日、 30°C で培養した場合に硫黄が液面に生成すれば *Thiobacillus thioeparus* が存在しているものと判定される。

存在するかどうかを確かめるために、このバクテリアとよく似た生理機能をもつ *Thiobacillus thioeparus* の培養液（第5表）で培養試験を行つた。すなわち、培養液 100cc に各試験水 5cc を加え、 20°C の恒温下で培養したが、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の酸化による硫黄の生成は各試料水とも認められず、pH 値も低下しなかつた。なおこの培養液のはじめの pH 値は 7.4 である。

2.4 培養試験結果の考察

培養試験（1）において述べたように、滅菌した試料水中では鉄の沈澱が生じないで、滅菌しない試料水を含む培養液中にのみ鉄の沈澱を生じたことは、これらの沈澱の生成が位相差顕微鏡下に認められたバクテリアの働きによるものと考えてよいものと思う。また培養試験（2）においても無菌の対照試料と比較して有菌と考えられる場合においてのみ鉄の沈澱を生成し、pH 値の低下を示したことは、明らかにバクテリアの作用によるものと思われる。さらにこの場合は *Ferrobacillus ferrooxidans* に適した培養液にて培養したものであるから、これらの働きをなしたバクテリアは *Ferrobacillus ferrooxidans* に属するものであると考えられるが、今のところ純粋培養の方法が確定していないから断定するまでには至っていない。つぎに培養試験（3）の結果では硫黄の生成が認められなかつたが、これは使用した培養液の pH 値が 7.4 であり試料水の pH 値に比べて非常に高かつたことなどより考え合わせて、あるいはこの培養液が適当でなかつたものとも考えられる。したがって今回の培養試験（3）の結果のみからは *Thiobacillus ferrooxidans* の存否は明らかではない。

以上を要するに、われわれは今回の培養試験の結果から、小坂鉱業所の坑内水中には *Ferrobacillus ferrooxidans* と思われるバクテリアが存在し、このバクテリアは運動性のある $0.5 \sim 1.0 \times 1.0 \sim 2.0 \mu$ の大きさの桿菌であつて、一般の微生物が存在できないような酸性水溶液中においても棲息することができ、しかも第1鉄を第2鉄に酸化する機能をもつものであることなどを確かめることができた。

3. バクテリアによる鉱石の浸出試験 （基礎実験 1）

3.1 序 言

以上の培養試験によつて坑内水中にバクテリアが存在していることを確認することができたので、このようなバクテリアが鉱石からの銅や鉄の浸出に対してどのような影響を及ぼすかを検討するために、次のような基礎実験を行つた。

なお一般にバクテリアの繁殖には酸素、窒素、炭酸ガス、磷酸などを必要とするものであるから、今回の実験

第6表 鉱石分析結果 (昭和33年10月8日 小坂鉱業所)

試料	成分	含有量 (%)									
		Cu	Fe	Pb	Zn	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaSO ₄	CaO	MgO
黒黄珪	黒鉱	10.3	5.57	1.26	4.46	14.35	2.81	0.29	60.04	0.13	0.11
	黄鉱	1.70	38.31	0.03	0.81	44.62	11.14	1.89	0.49	0.13	0.05
珪	珪	0.25	8.41	0.02	0.10	9.46	73.96	2.40	2.00	0.13	0.04

においては、鉱石、培養液、バクテリアという組合せに、さらに空気、炭酸ガスを充分に供給したいわゆる通気培養の方法によって、バクテリアの作用を調べることとした。

3・2 試料

試料として用いた鉱石は小坂鉱業所より提供された黒鉱、黄鉱、珪鉱であつて、これらをいずれも100mesh以下の粉末にして実験に供した。小坂鉱業所より送付されてきたこれらの鉱石の分析結果は第6表に示した通りである。

実験に用いたバクテリアは2・2に述べた掘割滲透水中に棲息していたものについて、第3表に示した培養液中において10日毎に植えつぎつぎ保存して来たものであつて、このバクテリアを含む試料を接種試料とした。

また今回の実験に使用した培養液は第7表に示したが、これは第3表の培養液にさらに0.05gのMnSO₄を加えたものである。

第7表 鉱石の浸出試験に使用した培養液

第1液		第2液	
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.15 g	FeSO ₄ ・7H ₂ O	10 g
KCl	0.05 g	蒸溜水	1,000cc
MgSO ₄ ・7H ₂ O	0.5 g	第1液1,000ccに対し第2液10ccを加えて培養液とする。	
K ₂ HPO ₄	0.05 g		
Ca(NO ₃) ₂	0.01 g		
MnSO ₄	0.05 g		
蒸溜水	1,000cc		

3・3 実験方法

500ccの二つの三角フラスコにそれぞれ海砂(Sea sand) 100gと鉱石粉末20gを入れ、第7表の培養液200ccを加えて高压釜で殺菌する(130°C, 30分)。ただし硫酸鉄溶液は別個に限界汚過を行つて加えた。その後一方

B : 黒鉱着菌試料 Y : 黄鉱着菌試料 S : 珪鉱着菌試料
 BB : 黒鉱無菌試料 YB : 黄鉱無菌試料 SB : 珪鉱無菌試料

第1図 通気培養浸出装置

には上記のバクテリアを含む接種試料2ccを加えて着菌試料とし、他方には接種試料を2分間煮沸して滅菌したもの2ccを加えてこれを対照試料(無菌)とする。

このようにして黒鉱、黄鉱、珪鉱それぞれについて合計6個の試料を作り、この6個のフラスコを第1図のように連結して空気、炭酸ガスを送りつつ通気培養を行つた。

実験中のフラスコはすべて恒温器(27°C 暗黒)中に保管し、7~14日ごとに測定を行つた。測定に際しては、それぞれのフラスコの中から培養液2ccを試料として取出し、遠心分離器により不溶物を遠沈させた後、上澄液1ccを正確にメスフラスコにとり、これをさらに100ccに稀釈したものについて銅、鉄の定量を行つた。上澄液の残りはベックマン型pHメーターによるpH測定にあてた。定量分析は日立製光電光度計を用いて比色分析によつて行つた。すなわち、銅イオンの定量は酸性でジチゾン(Diphenyl thiocarbazon)と銅とのケト錯塩(赤紫色)を四塩化炭素層に移し、過剰のジチゾン(緑色)との混色を波長510mμで測定するいわゆるジチゾン法によつた⁸⁾。また鉄イオンの定量は、まず試料中のFe⁺⁺⁺を塩酸ヒドロキシルアミンでFe⁺⁺に還元し、つぎにジピリジル(α-α'-Dipyridyl)を加え、これがFe⁺⁺と反応して呈する赤色を波長520mμで測定し、全鉄量を求める方法をとつた⁹⁾。

3・4 実験結果およびその考察

各試料についてのpH測定値および銅イオン、鉄イオンの分析値は第8表、第9表および第10表に示した通りで、さらにこれらを各試料鉱石ごとにとりまとめて図示

第8表 鉱石の浸出試験におけるpH値の変化

(昭和34年9月2日~11月10日)

経過日数	黒 鉱		黄 鉱		珪 鉱	
	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料
0	3.69	3.75	2.78	2.72	3.46	3.47
7	3.47	4.18	2.60	2.94	2.55	3.25
14	3.39	4.49	2.34	3.30	2.73	3.68
23	2.95	5.10	1.83	2.95	2.20	3.30
33	2.94	5.62	2.36	2.83	2.44	2.70
43	3.60	5.95	1.45	3.00	1.90	3.35
55	2.90	-	1.53	2.73	2.09	2.20
69	2.20	-	1.32	2.50	1.58	3.03

第9表 鉱石の浸出試験における銅イオンの変化

(単位: ppm, 昭和34年9月2日~11月10日)

経過日数	黒 鉱		黄 鉱		珪 鉱	
	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料
0	50	59	91	91	10	21
7	286	40	132	86	6	0
14	400	16	186	70	24	5
23	708	26	212	124	48	17
33	1,140	13	287	152	68	15
43	2,025	6	308	156	81	29
55	2,780	-	384	148	89	36
69	2,880	-	396	178	118	57

第2図 黒鉱の浸出試験における浸出量、pH値と経過日数との関係

第3図 黄鉱の浸出試験における浸出量、pH値と経過日数との関係

第4図 珪鉱の浸出試験における浸出量、pH値と経過日数との関係

第10表 鉱石の浸出試験における鉄イオンの変化

(単位: ppm, 昭和34年9月2日~11月10日)

試料 経過日数	黒 鉱		黄 鉱		珪 鉱	
	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料	着菌試料	対照試料
0	210	265	510	525	475	350
7	280	365	480	500	345	435
14	50	150	770	720	520	450
23	110	80	1,740	625	750	470
33	55	18	3,288	630	945	485
43	54	10	5,600	660	1,540	510
55	70	-	6,750	680	3,150	530
69	80	-	7,100	680	3,300	560

すれば第2図、第3図および第4図のようになる。

これらの表および図から明らかなように、日数の経過に伴って各鉱石の pH 値は、着菌試料ではいずれも低下しているのに対し、対照試料では余り低下せず、むしろ黒鉱の対照試料においては上昇している。

つぎに各鉱石ごとに溶存イオンの状態を考察してみよう。まず黒鉱について培養液中に浸出した銅イオン量を調べると、対照試料では日数を経ても増加せず却って減少の傾向を示しているが、着菌試料では最初の間は日とともにほぼ同じ浸出速度で増加し、その後徐々に浸出量も減少する傾向を示している。これらの関係をさらに量的にみみると、実験開始後43日目においては最初の溶存量の約57倍、同じ日の対照試料と比較すると約330倍の量に増加している。また鉄イオン量については、着菌、対照いずれの試料の場合も日数を経るにしたがつて減少してゆく傾向を示したが、これは可溶性鉄塩が酸化によつて不溶性となり沈澱するためと考えられる。

つぎに黄鉱の場合については、銅イオン量は69日後に最初の量の約4倍に増加しているが、同じ日の対照試料と比較すれば約2倍に増加しているにすぎず、その差はあまり顕著ではない。しかし鉄イオンにおいては着菌試

料の増加量は著しく、69日後には最初の量の約14倍、同じ日の対照試料に比較して約10倍に達しており、その差は極めて大きい。なおこの場合の鉄イオン量の増加の程度が、黒鉱の場合の銅イオン量の増加の程度より遙かに少ないのは、前述のように可溶性鉄塩の酸化による沈澱がその一因として影響しているものと考えられる。

また珪鉱においても、その程度は黒鉱、黄鉱に比べればやや劣るとはいえ、銅、鉄の溶存イオン量については他の鉱石の場合と同様の傾向を認めることができる。

以上に本実験の結果から、各鉱石試料に対する溶存銅または鉄イオン量と経過日数との関係を、着菌試料および対照試料について比較しつつ検討したが、同一条件のもとに行つた実験において、着菌試料および対照試料によつて上述のような著しい差が認められたことは、バクテリアの存否以外にその原因が考えられず、したがつてこれらの差異はバクテリアの作用の影響によつて現われたものと解釈してよいものとする。なお本実験中各測定ごとに採取した培養液について検鏡調査したところ、着菌試料では常に多数のバクテリアの存在を認めることができたが、対照試料の場合は認められなかったことを付言しておく。

しかしながら、このようなバクテリアを取扱う実験は現在の段階においては、先に述べたようにバクテリアを純粋に培養することが困難な上に、バクテリアの数を一

第11表 黒鉱に対する第2回浸出試験結果

(単位: ppm, 昭和35年2月12日~4月11日)

経過日数	pH	銅イオン	鉄イオン
0	5.01	390	45
10	4.25	243	0
26	3.90	480	2
35	3.67	598	0
49	3.05	700	8

定にすることも不可能であるから、バクテリアに関する条件を完全に揃えることは難かしい。したがってこれらの条件のいかんによつて pH 値、銅および鉄の浸出量にも影響を及ぼすことになる。たとえば本実験を行った際の黒鉱の69日目の培養液(B) 2cc を接種試料として、黒鉱について別に培養した場合(他の条件は全く同一)には第11表のような結果が得られた。これを第2図に記入すれば■印で示したようになり、バクテリアによる銅の浸出は日数の経過とともに増加し、前実験と同じ傾向を示しているが、浸出量そのものは必ずしも一致していない。

このように、銅や鉄の浸出量は、他の条件は一定にしても、バクテリアの状態によつて影響を受けるものであることを注意しなければならない。

つぎに溶存イオン量と pH 値との関係を調べてみると、銅、鉄いずれの浸出においても、pH2.0 付近を境にして、その前後において浸出速度にかなりの差が認められることに気付く。すなわち着菌試料においては、最初の pH3.0 前後より日を経るにしたがつてその値は低下してくるが、pH2.0 付近の値になるまでは銅および鉄の浸出量はそれぞれ特定の速度で増加しており、pH の値が 2.0 付近よりさらに低下するに至つて、その浸出速度が緩慢となつてくる。このような傾向は、バクテリアの生存あるいは繁殖に及ぼす pH の影響という見地から極めて興味ある事柄であり、またこのようなバクテリアの有効な利用という点においても重要な関係をもつてくるので、目下詳細な実験を行つて検討中である。

4. 結 言

以上今回の実験によつて得られた結果から、試料として用いた小坂鉱業所の坑内水中には、第1鉄を第2鉄に酸化する *Ferrobacillus ferrooxidans* と考えられるバクテリアが存在し、しかもこのバクテリアは黒鉱、黄鉱、珪鉱などの鉱石からの銅、鉄の浸出に際して極めて効果的な働きをなすものであることを明らかにすることができた。

なお今回は同和鉱業株式会社小坂鉱業所の坑内水と鉱石を対象として研究を行ったが、逐次他の鉱山の坑内水や鉱石についても研究してゆきたいと考えている。

最後に本研究の実験に際して熱心に協力された上村哲夫君に、また試料の提供その他について好意ある協力を与えられた同和鉱業株式会社に対し厚く御礼申上げる。さらに本研究の一部は昭和34年度文部省科学研究費(総会研究)の援助によつたことを記し、併せて感謝する。

文 献

- 1) 伊藤一郎・若園吉一・伊藤福夫：水曜会誌，14巻，1号，昭和34年12月，11～14頁
- 2) 伊藤一郎・若園吉一・伊藤福夫：水曜会誌，14巻，2号，昭和35年3月，64～67頁
- 3) S. R. Zimmerly・D. G. Wilson・J. D. Prater：Engineering and Mining Journal, Vol. 159, June, 1958, pp. 89～91
- 4) W. W. Leathen・N. A. Kinsel・S. A. Braley：Journal of Bacteriology, Vol. 72, 1956, pp. 700～704.
- 5) R. S. Breed・E. G. D. Murray・N. R. Smith：Bergey's manual determinative bacteriology, 7th ed. (1957).
- 6) The American Public Health Association and the American Water Works Association：Standard methods for the examination of water, sewage, and industrial waters. 10th ed. (1955).
- 7) 近藤正義・八木正一：大阪市水道局水質試験所報告，第9集(昭和31年)，第10集(昭和33年)
- 8) 重松恒信：分析化学講座3，比色分析法Ⅱ，昭和31年，104頁
- 9) 武藤義一：比色分析法，昭和34年，159頁

新 刊 紹 介

非 金 属 鉱 物 鉱 床 の 地 質

R. L. Bates ; Geology of the Industrial Rocks and Minerals, 1960, Happer & Brothers, New York.

著者は現在 Ohio 州立大学の地質学の教授であるが、New Mexico 鉱山大学、Rutgers 大学にいた事もあり、また曾て Texaco Inc. (石油会社)、New Mexico Bureau of Mines の地質技師として鉱産資源の開発に従事した経験もある。

在米国においては非金属鉱物についてその利用面を中心として述べた著書は種々あるが、その鉱床について地質学的な立場より産状成因を主眼にして記載した本は少ない。この見地より著者は米国内に産する主な非金属鉱物として13種の岩石と20種あまりの鉱物についてその地質

的産状、成因を中心にして説明している。但し説明は米国内の鉱床に限られている。

あげられている種類は岩石として花崗岩、玄武岩および輝緑岩、浮石、真珠岩、粘板岩、大理石、砂礫、砂岩、粘土、石灰岩および苦灰岩、燐鉱石、石膏、岩塩等であり、鉱物としては霞石(nepheline)、霞石閃長岩(nepheline syenite)、ペグマタイト鉱物(水晶、長石、雲母、リシア雲母、緑柱石)、石英、螢石、重晶石、菱苦土鉱、石墨、石棉、滑石、蛭石、ダイヤモンド、珪藻土、硫黄、水晶石、石棉、珪灰石、柘榴石、藍

晶石(kyanite)、研磨材、葉蠟石(pyrophyllite)、tripoli 等である。

個々の鉱物または岩石に関する記載の順序は命名、銘柄、利用法、物理的性質、化学的性質、産状、米国内における鉱床の地質、採掘法、処理法、探鉱法、鉱床の開発法、採掘法等の順であるが、米国内の鉱床の説明が特に精しい、なお夫々の章末に数多くの文献を挙げてあるのは便宜である。

本書はさきに本邦の地質調査所で刊行した日本鉱産誌Ⅱ主として化学工業原料、肥料原料となる鉱石、Ⅲ主として窯業原料となる鉱石、Ⅳ物理的特性を利用する鉱物、Ⅶ土木建築材料等諸篇の米国版ともいえる著書で、米国内における非金属鉱床の地質、非金属鉱床の鉱業を知る上に利用価値が高いものと思われる。総頁441頁、価格10\$。(今井秀喜)