

## チェレケン半島にみられる現世閃亜鉛鉱生成作用

L. M. Lebedev\*

岸本文男\*\*訳

チェレケン半島における現世の熱水鉱化作用、とくに閃亜鉛鉱の現世鉱化作用の過程を研究した結果について報告する。とくに、閃亜鉛鉱の物理化学的生成条件、その組成・形態・組織の特徴について述べる。

チェレケン沃素・臭素鉱床の開発過程で、上部赤色層（新第三系）の厚い砂・泥層（2,800 m）中に12の帯水層（water-bearing horizon）が発見され、その熱塩水は主要塩成分のほかにPbを0.5~200 mg/l, Cuを0.05~15 mg/l, Znを0.1~8 mg/l, Cdを0.01~8 mg/l, Asを最高1 mg/l、そしてさらに比較的多量のタリウム・リチウム・ルビジウムを含んでいることが明らかとなった。このチェレケン熱水によって1年間に運び出される元素量は、概算した結果によると、Asが6~8 t, Pbが300~360 t, Znが48~50 t, Cuが24~35 t, Cdが18~24 t, Brが1,200 t, Brが7,200 tに達している（LEBEDEV, NIKITINA, 1968）。

本鉱床の多くの探査ピット・試錐孔中には、自然鉛その他多くの金属・非金属鉱物のいちじしい沈殿作用が行なわれている（LEBEDEV, BUGEL'SKII, 1967; LEBEDEV, 1967<sub>1,2</sub>）。

試錐孔から湧出している臭素と沃素を含んだ高濃度の塩化ナトリウム-塩化カルシウム溶液は、パイプで沈殿池に送られる。接近して位置する湧出孔群はチュービングで中間槽と結合させ、その中間槽中に4本、5本ないしそれ以上の湧出孔の湧出溶液を送り、さらにその溶液は大容量のチュービングによって中間槽から工場の沈殿池に送りこまれている。実際にこのような中間槽全部の中で、送られてきた湧出溶液の組成に従って、さまざまな鉱物が沈殿している。塩化ナトリウム-塩化カルシウム-含水炭酸ナトリウム-含水炭酸カルシウム湧水の供給を受けているR-151湧出孔貯水槽中には方解石の厚い皮殻が生成しており、硫化水素に汚染された帯水層が上部を覆っている湧出孔K-10とK-5とU-25の中間貯水槽中には、その貯水槽の壁に多孔質腎臓状集合をなして、黄鉄鉱が沈殿し、湧出孔G-10の中間貯水槽中には褐鉄鉱の皮殻が生成しているなどである。

## 閃亜鉛鉱の生成条件

とくに興味深いのは、亜鉛・鉛その他の金属に富んだR-152, G-18, G-40の各湧出孔の湧水が送りこまれている中間槽（第1図）中における沈殿鉱物であり、U-1号湧出孔の硫化水素を含んだ溶液が送られている中間槽中に生成した鉱物である。筆者がそこでみだしたのは、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、そして方鉛鉱である。

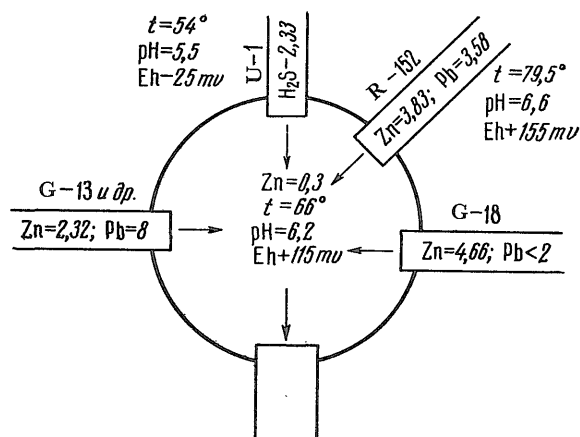
深部の帯水層から送り出された、金属を含有した塩化ナトリウム-塩化カルシウム溶液は、高い温度（74.5~80°C）と特殊な含有ガス組成（窒素、水素、炭化水素ガスに富む）を特徴としている。

チェレケン赤色層上部構造階深部帯水層の熱水を代表する熱塩水の場合の化学組成とガス組成は、第1表に示すとおりである。最上部帯水層におおわれたU-1湧水孔からの熱水溶液は、主要成分からいえば深部帯水層の熱水と實際上差異が認められないが、硫化水素を多量に含んでいることが特徴的である（第2表）。

R-152, G-18, G-13/40の各湧水孔から中間槽に送られている塩水は、平均して3.6 mg/lの

\* ソ連科学アカデミー鉱床地質学・岩石学・鉱物学・地球化学研究所、モスクワ：Л. М. Лебедев, Современные образования сфалерита на полуострове Челекен, Геология рудных месторождений, No.4, 1970.

\*\* 鉱床部



第1図 含金属湧出塩水 (R-152, G-18, G-13などの各湧出孔) と含硫化水素塩水が送られる中間槽の模式図  
金属と硫化水素の含有量は, mg/l 単位

第1表 第10帯水層産熱塩水の化学組成とガス組成 R-152湧水孔

成分	mg/l	mg-equiv/l	equiv%
Na <sup>+</sup>	69,740.6	3,032.2	73.5
Ca <sup>2+</sup>	19,379.0	967.0	23.5
Mg <sup>2+</sup>	1,180.0	97.0	3.0
Fe <sup>2+</sup>	12.0	—	—
総カチオン	90,299.6	2,096.2	100.0
Cl <sup>-</sup>	145,020.0	4,090.0	99.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	278.6	5.8	0.1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.8	0.4	0.01
総アニオン	145,320.6	4,096.2	100.0
微量成分			
Pb	3.58	—	—
Cu	0.83	—	—
Zn	3.83	—	—
As	0.40	—	—
Cd	2.333	—	—
Ge	0.005	—	—
総 鉍 化 物	235,628.44		
pH	5.4		
Eh	+155		
成分	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CO CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub>
容 積 %	1.6—0.0	1.2 0.0 61.6	7.2 28.4

亜鉛を含んでいる。この溶液とU-1湧水孔からの溶液が混じり合うところでは、硫化亜鉛鉍物が激しく沈殿している。その混合場所での水温は66°C、pHは6.20、Ehは+115である。

硫化水素媒体中における鉛はきわめて不活性で、それは当該条件下での鉛の負に電荷した塩化鉛 (おそらく  $PbCl_2^-$ ) が安定であることに原因しているものと思われる (BUGEL'SKII ら, 1969)。含金属熱塩水中の鉛含有量は、中間槽中で含硫化水素熱塩水とそれが混じり合った後には 4.17 mg/l (3本の給水管の場合の平均) から 3.95 mg/l (混合部分で) に変わっている。しかし亜鉛は負に帯電した塩化物鉛の形で挙動するにもかかわらず、この鉛はおそらくきわめて不安定で、硫化水素媒体中でほとんど完全に溶液から分離し、硫化亜鉛の形で沈殿し、溶液中の亜鉛含有量は 3.6 mg/l (3本の給水管の場合の平均) から 0.3 mg/l (混合した部分) に減っている。

第2表 第1帯水層産熱塩水の化学組成とガス組成U-1湧水孔

成分	mg/l	mg-equiv/l	equiv%
Na <sup>+</sup>	73,250.4	3,184.8	75.0
Ca <sup>2+</sup>	19,379.4	967.0	22.0
Mg <sup>2+</sup>	1,763.0	145.0	3.0
総カチオン	94,392.4	4,296.8	100.0
Cl <sup>-</sup>	152,110.0	4,290.0	99.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	153.7	3.2	0.05
HCO <sub>3</sub> <sup>4-</sup>	219.7	3.6	0.05
総アニオン	152,483.4	4,926.8	100.0
微量成分			
Pb	3.60	—	—
Cu	0.90	—	—
Zn	0.19	—	—
As	0.02	—	—
総鉱化物	246,880.49		
H <sub>2</sub> S	4.03		
pH	5.5		
Eh	-85		
成分	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CO	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub>
容積%	2.7 1.3 0.0	7.2 0.0	56.6 32.2

この硫化亜鉛鉱物は中間槽の壁面や底に、またこの塩水溶液にひたされているいろいろな装置の表面に緻密な皮殻、腎臓状集合、魚卵状集合の形で、またゲル状皮膜や非対称性団塊の形で沈殿し、貯留溶液の表面の相の境では岩塩と一緒に中間槽の壁面に多孔質葡萄状集合を形成している。その生成作用の特性は、次のような現象によるものと考えられる。

1. 亜鉛イオンと硫黄イオンの反応、そして反応帯中での微細な ZnS のコロイド粒子の遊離
2. 中間槽中に貯留された塩水溶液全体にわたる懸濁状態で、硫化亜鉛コロイド粒子がその中に分散すること
3. そのコロイド粒子の沈殿、そしてゲル状集合の形成
4. その集合体の固結と再結晶化

#### 中間槽中に生成した閃亜鉛鉱の形態的特徴と組成

すでに指摘したように、塩水溶液表面部の中間槽壁面上には、同溶液中に懸濁していた硫化亜鉛粒子を晶出する際にとり込んだ岩塩の多孔質葡萄状集合が沈殿している。

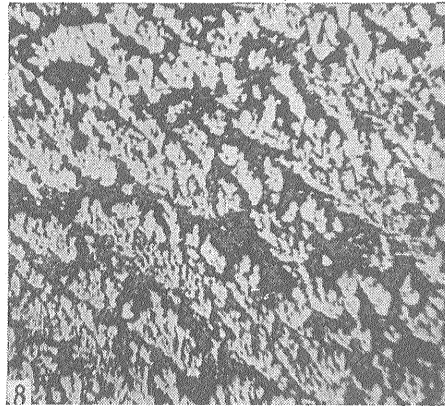
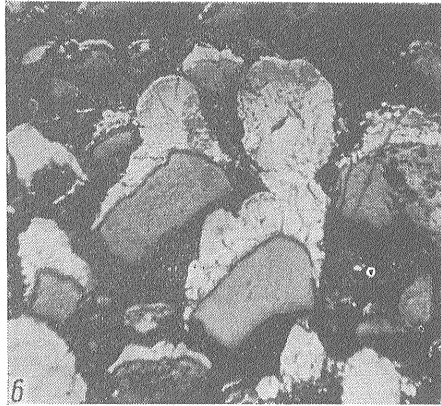
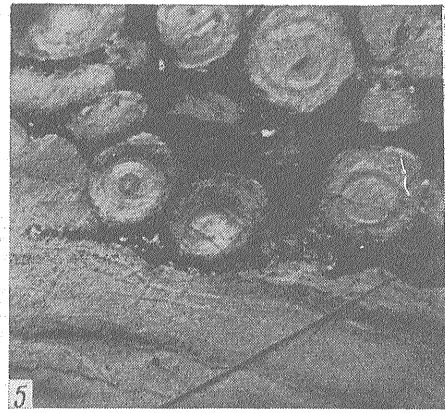
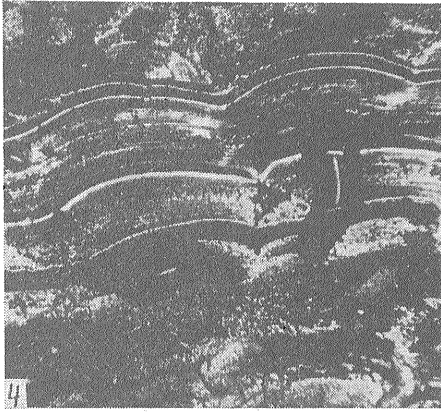
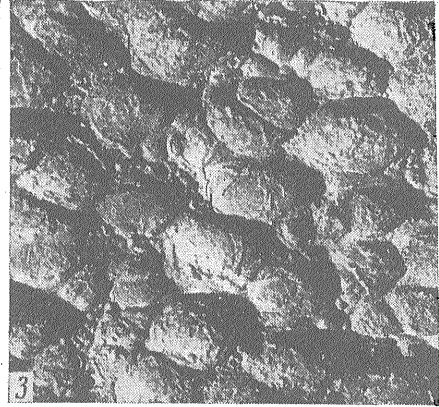
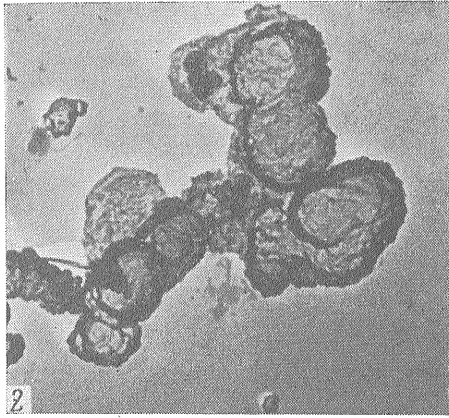
この岩塩-閃亜鉛鉱集合(平均試料)の化学分析結果は、次のとおりである(%)。

SiO <sub>2</sub> — 1.72	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 0.50	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 9.41
MgO — 0.20	CaO — 2.08	Na <sub>2</sub> O — 20.43
K <sub>2</sub> O — 0.16	Zn — 21.70	Pb — 1.50
Cd — 2.14	Cu — 0.03	Cl — 24.36
CO <sub>2</sub> — 0.74	S — 16.09	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> — 4.91
計 — 105.97	-O = Cl — 5.50	総計 — 100.47

(分析は、ソ連科学アカデミー鉱床地質学・鉱物学・地球化学研究所中央化学研究室 Yu. S. NESTEROVA と G. A. ARAPOVA による)

塩水溶液の液面より下の中間槽の壁面上には、ゲル状硫化亜鉛の非対称性腎臓状および鎖状団塊(結核)が存在している。わずかに触れただけで、この生成物は崩れ、中間槽の壁を伝って落ちてしまう。中間槽中におけるきわめて勢よい塩水溶液の動きがゲル状硫化亜鉛団塊の形を全然崩さないにもかかわらず、同じようなことが塩水溶液の急激な水位低下の際にも生じる。

室温で徐々に乾涸した粉末 ZnS ゲルの電子顕微鏡による研究(粒子表面のレプリカ)の結



第2図 硫化亜鉛コロイド球の連鎖状集合粒子面レプリカ  
×24,000

第4図 微気-水泡に富んだ閃亜鉛鉱皮殻の細縞状表面  
灰色—閃亜鉛鉱  
白色—黄鉄鉱  
反射光で撮影 ×40

第6図 砂粒上に一定のオリエンテーションした閃  
亜鉛鉱の付着成長  
反射  
×90

第3図 閃亜鉛鉱皮殻の微腎臓状表面  
×10

第5図 メタコロイド状閃亜鉛鉱の魚卵状集合  
反射  
×46

第8図 皮殻の多孔質帯を構成している樹枝状閃亜  
鉛鉱  
反射  
×90

果は、硫化亜鉛コロイドが典型的な球状および球-腎臓状構造を特徴とすることを示している。その場合、球個体も球の連鎖状集合も認められる (第2図)。

この球の大きさは、 $0.1\mu$  から  $1\mu$  までである。この球は、互いに融合して、より大きな球-連鎖状粒子および不規則球状粒子を形成することもまれでない。

ゲル状硫化亜鉛のデバイーグラムには閃亜鉛鉱の主要ライン、すなわち、 $3.476(3)$ 、 $3.030(8)$ 、 $2.076(3)$ 、 $1.893(9)$ 、 $1.611(8)$ 、 $1.102(8)$ だけが現われることは注目しなくてはならない。このラインは幅が広く、不鮮明気味であって、物質の結晶度が低いことを示している。

閃亜鉛鉱の緻密なものは、主として、明瞭な微腎臓状の表面をもった皮殻であり (第3図)、ときには魚卵状集合を形作っていることもある。閃亜鉛鉱のもっとも厚い (2 cm 前後) 皮殻は中間槽中の水面下に沈んで、含硫化水素水溶液と含金属水溶液の混合帯に直接位置するパネル上に存在している。

この閃亜鉛鉱は、他の鉱物相が混在することに左右されて、帯褐灰色から帯黄灰色までのいろいろな色を呈している。そして、無光沢である。塩酸によく溶ける。

顕微鏡下では、明瞭に皮殻の細縞状コロホーム構造が認められる (第4図)。この縞は、緻密および多孔質閃亜鉛鉱帯と、黄鉄鉱の、まれには方鉛鉱の、濃密鉱染体を含有した閃亜鉛鉱薄層との互層に、またごく薄い単鉱物性黄鉄鉱縞との互層に原因している。この閃亜鉛鉱皮殻中で薄層を形作っている黄鉄鉱の量は、皮殻総体積の  $5\sim 7\%$  から  $10\sim 12\%$  を占める。

閃亜鉛鉱の細縞状集合体中には、豊富にガス包有物が認められることがかなり多い (第4図)。この気泡の大きさは  $0.01\text{mm}$  から  $4\sim 5\text{mm}$  で、その形は多様であり、球状・筒状・亀裂状その他の形を呈している。その中でも、閃亜鉛鉱の縞状集合のその縞に直角にオリエンテーションして、縞を多数の区画に分割した形の亀裂状の平面的な気泡が非常に多い。

この閃亜鉛鉱中に、微細な石英粒の丸くなった形の包有物 (量的にはわずか) が認められる。この石英は風によって中間槽に運びこまれ、とくに砂嵐の時に激しい。閃亜鉛鉱の化学組成の特徴は、第3表に現われている。カドミウム・砒素・タリウムの含有量が非常に高いことを強調しておく必要がある。

半定量分光分析の結果によると、この閃亜鉛鉱中にはさらに Mn が  $0.n\%$ 、Cu と Mo がそれぞれ  $0.00n\%$ 、Ga が  $0.000n\%$  認められる。

第4表に示したのは、緻密質褐色閃亜鉛鉱の場合の各面間隔 (interplanar space) である。

中間槽の底近くの部分やパイプ突出口・プレートの表面に、閃亜鉛鉱のきわめて微細な魚卵状集合体 (oolite) からなる皮殻が存在する。この魚卵状集合体の大きさは  $0.05\text{mm}$  から  $0.2$

第3表 閃亜鉛鉱の緻密質皮殻の化学組成

成分	%	分子量比
Zn	37.56	575
Fe	8.82	158
Cd	2.86	025
Pb	1.48	007
As	1.07	014
Tl	0.40	002
K <sub>2</sub> O	0.24	—
Na <sub>2</sub> O	2.40	—
CaO	0.83	—
MgO	0.36	—
SiO <sub>2</sub>	6.36	—
CO <sub>2</sub>	2.80	—
SO <sub>4</sub>	1.46	—
H <sub>2</sub> O±	3.98	—
S	29.00	905
計	99.64	

第4表 閃亜鉛鉱の面間隔

面番号	l	d	面番号	l	d	面番号	l	d
1	4	3.45	7	9	1.894	13	2	1.216
2	10	3.09	8	4	1.790	14	2	1.151
3	1	2.83	9	9	1.618	15	7P	1.098
4	2	2.73	10	0.5	1.468	16	7	1.045
5	2	2.44	11	1	1.363	17	7	1.034
6	7	2.10	12	4	1.232			

mm, まれには直径 1.5~2 mm に達する魚卵状集合体が, またさらにまれには直径 7~8 mm の魚卵状集合体も認められる。皮殻の比較的ルーズな部分では, 閃亜鉛鉱の魚卵状集合体はかなり整った球状を呈することが特徴で (第5図), また比較的緻密な部分では, 閃亜鉛鉱の魚卵状集合体は可塑性変形の痕跡を伴っている。その際, 皮殻上層部では魚卵状集合体が幾らか多角形的な形を示し, また下層部では魚卵状集合体が緻密化し, 短小鎖状に配列した, いちじるしく平たくなった魚卵状集合系が形作られている。この平たくなった魚卵状集合体は「融合して」, 独特な弓形一りボン状個体を形作っている。幾つかのその弓形中に, 同心累帯の残存組織が存在することもある。1つの弓形が他の弓形と完全に「融合」して, 1体となっていることもまれでない。そして, その結果, 比較的緻密な平行一綫状閃亜鉛鉱集合をなしている。

粘性をなお残している魚卵状集合の続成変質一圧縮による可塑性変形, 相互の「融合」, 平行綫状体への漸移変化一が, 大体において追跡・観察できる。

中間槽中で閃亜鉛鉱がもっとも大量に存在していたのは, その底のところである。硫化亜鉛粒の堆積作用の結果, 中間槽の底部にたまった砂粒の表面に一定のオリエンテーションをもって閃亜鉛鉱が付着成長している (第6図)。ごく少量のコロイド質硫化亜鉛が砂粒の間にしみ込み, それを膠結している。古いものは砂粒と閃亜鉛鉱からなるかなり緻密な集合を作っている。メタコロイド質閃亜鉛鉱に膠結された砂質物質中には, 閃亜鉛鉱の皮殻で累被された, いろいろな金属くづや廃ボルトなどが認められる。

中間槽中での閃亜鉛鉱の沈殿作用はきわめて激しい。実験によって, 3カ月間に厚さ2~2.5 mm の閃亜鉛鉱皮殻が形成されることが明らかとなった。その中間槽の底から, 全体として, 0.5 t の閃亜鉛鉱が回収された。

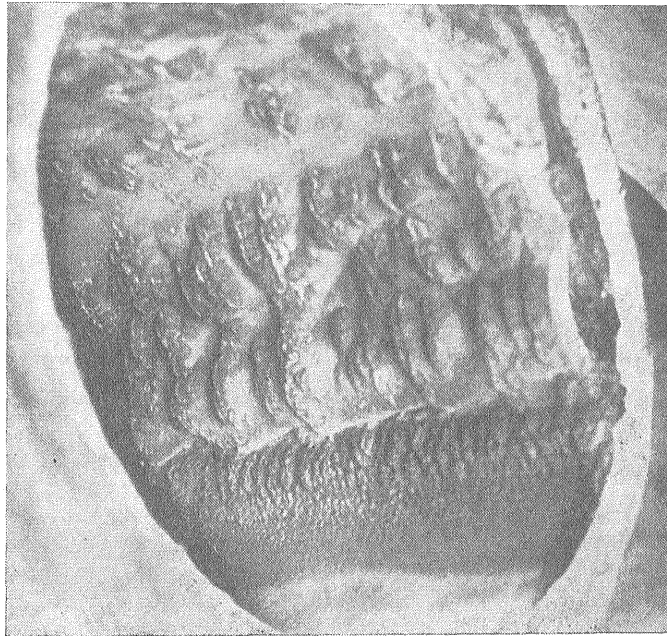
#### パイプ中に形成された閃亜鉛鉱の形態的特徴と組成

多量の硫化亜鉛が微細な懸濁物の形で中間槽から運び出され, 直径 33.5 cm のアスベスト・セメント製パイプからなる本管中に沈殿している。

この本管中での硫化亜鉛コロイド粒子の沈殿作用は, かなり厚い (最大 8~10 cm) 閃亜鉛鉱皮殻をもたらしている (第7図)。中間槽から 10 m, 100 m, 150 m の所で本管を切り開いて調べた結果は, 閃亜鉛鉱皮殻の厚さが上記の範囲にあることを示していた。薄い (2~3 mm) 閃亜鉛鉱皮殻は, 中間槽から 1.7 km 離れた本管中にも沈着している。このように, 中間槽から懸濁物として運び出されたコロイド硫化亜鉛は延長約 2 km にわたって本管中に沈殿し, その中に集積した閃亜鉛鉱の量は 25~30 t と算定される。もっとも多量に閃亜鉛鉱が集積しているのは, 中間槽から近い本管部分 (150~200 m) である。

閃亜鉛鉱でパイプが充填されているその充填状況は, 本管の位置によって異なり, 塩熱水溶液によるパイプ充填度に規制されている。パイプ (本管) の撓み部分を熱水溶液が充填している場合, 閃亜鉛鉱は本管の内壁全体に沈殿し, 充填していない所では本管の下側に三日月形の断面をした皮殻を生じている。その上面は塩溶液の水位に平行している。

本管中に沈着した閃亜鉛鉱の皮殻は, その表面が非対称性小丘状構造を呈することを特徴とする (第7図)。この小丘状生成物は, 流水面下 5~6 cm に, 本管内に側方に向かって対称的に



第7図 本管に沈着した閃亜鉛鉱の皮殻 ×1/5

第5表 本管から採取した閃亜鉛鉱の化学組成

成 分	%	分子量比
Zn	43.86	671
Fe	2.81	050
Cd	4.70	042
Pb	2.88	14
Cu	0.04	—
K <sub>2</sub> O	0.07	—
Na <sub>2</sub> O	3.82	—
CaO	2.01	—
MgO	0.10	—
MnO	0.05	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	—
SiO <sub>2</sub>	0.16	—
CO <sub>2</sub>	1.59	—
H <sub>2</sub> O±	2.02	—
S	29.42	917
Cl	7.05	
—C=Cl	100.88	
	1.59	
計	99.29	

第6表 本管から採取した閃亜鉛鉱

面番号	l	d	面番号	l	d	面番号	l	d
1	7	3.40	11	10	1.894	21	1	1.241
2	10	3.08	12	7	1.785	22	8	1.210
3	7	2.95	13	4	1.707	23	2	1.150
4	3	2.81	14	10	1.618	24	6	1.140
5	3	2.70	15	3	1.504	25	4	1.101
6	3	2.42	16	3	1.483	26	7	1.046
7	3	2.31	17	3	1.459	27	2	1.033
8	3	2.22	18	7	1.360	28	8	1.001
9	9	2.09	19	8	1.323	29	8	0.987
10	3	1.991	20	2	1.259			

発達している。各小丘の非対称性は、塩溶液の流れ方向にオリエンテーションした緩やかな傾斜と反対側の急な溝状の傾斜によって成り立っている。

この皮殻を構成している閃亜鉛鉱は、交互に重なった帯灰褐色・帯紅褐色・帯灰黄色の土状のものからなっている。帯灰褐色と帯灰黄色のものでは、微細な(0.1~0.2 mm)硫黄の美麗な結晶包有物が豊富に認められる。本管から採取した閃亜鉛鉱は数時間、最高2日も湿ったままで、明瞭な可塑性が保たれている。しかししだいに乾いてくることによって、その閃亜鉛鉱は多孔質となり、脆くなる。

顕微鏡による研究結果は、この皮殻が緻密閃亜鉛鉱帯と多孔質閃亜鉛鉱帯の繰り返しによる微縞状組織を特徴とすることを物語っている。前記非対称性小丘の部分では、このような縞はあまりはっきりと認められず、その閃亜鉛鉱の集合はかなり緻密である。

高倍率で観察すると、緻密集合の場合でも多孔質集合の場合でも、その集合は閃亜鉛鉱の樹枝状生成物の集積体であることがはっきりと認められる(第8図)。この樹枝状体の分枝部分は片側にだけ成長し、常に塩溶液の流れ方向と反対の側にオリエンテーションしている。この樹枝状閃亜鉛鉱の各分枝の表面には、微細な黄鉄鉱の球顆が分布している(第8図)。

このタイプの皮殻に多い帯灰褐色閃亜鉛鉱を分析した結果は、第5表に示したとおりである。中間槽から採取された閃亜鉛鉱の場合と同じように、この本管の閃亜鉛鉱もカドミウム含有量がきわめて高いという特徴をもっている。硫黄の含有量が高いのは、天然硫黄の微晶に原因している。

この種の閃亜鉛鉱の面間隔は、第6表に示したとおりである。

## 結 論

含金属熱水塩溶液の貯水過程において、その溶液と含硫化水素溶液との混合によって、チェレケンでは、きわめて多量のカドミウムと多量のタリウムを含有した閃亜鉛鉱が生成し、多量に沈積している。地表条件(1気圧,  $t = 63 \sim 66^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH } 6.2$ ,  $\text{Eh} + 115 \text{ mb}$ )下では、熱水塩溶液中の亜鉛と鉛は負に帯電した塩化物錯塩の形で移動する。硫化水素濃度の高い塩溶液と混合する場合、鉛の塩化物錯塩は高い安定性を示し、亜鉛の塩化物錯塩は分解してカチオン  $\text{Zn}^{2+}$  を生じ、硫化水素と反応して微細なコロイド硫化亜鉛粒子の形で塩溶液から分離する。中間槽中でこれらの粒子が堆積することによって、コロイド皮膜状および魚卵状の硫化亜鉛が生成し、それが古くなると、緻密なメタコロイド質閃亜鉛鉱の皮殻に変化している。多量のコロイド硫化亜鉛懸濁粒子が中間槽から運び出され、本管中に約2 kmにわたって沈積していることは、自然界で適当な条件の場合に重金属硫化物のコロイド粒子がかなりの距離のところまで運ばれ得ることを証明している。

## 文 献

- Бугельский Ю. Ю., Лебедев Л. М., Никитина И. Б., Степашкина В. М. (1969): 「Некоторые данные о формах миграции свинца и цинка в термальных рассолах Челекена (チェレケン熱塩水中における鉛および亜鉛の移動形についての幾つかのデータ)」, Докл. АН СССР, т. 184, No. 5.
- Лебедев Л. М., Бугельский Ю. Ю. (1967): 「О металлоносности высокоминерализованных термальных вод Челекена (チェレケン高鉱化熱水の含金属性について)」, Геол. рудн. Месторожд., No. 3.
- Лебедев Л. М., Никитина И. Б. (1968): 「Особенности химического состава и рудоносность гидротерм Челекена (チェレケン熱水の化学組成の特徴と含金属性)」, Докл. АН СССР, т. 183, No. 2.
- Лебедев Л. М. (1967<sub>1</sub>): 「О современном отложении самородного свинца из термаль-



チエレケン半島にみられる現世閃亜鉛鉱生成作用 (岸本文男訳)

ых рассолов Челекена (チエレケン熱塩水からの現世自然鉛の沈殿作用について)」、  
Докл. АН СССР, т. 174, No. 1.

Лебедев Л. М. (1967<sub>2</sub>): 「Современное образование сфалерита в производственных  
сооружениях Челекенского месторождения (チエレケン鉛床各生産施設中にお  
ける現世閃亜鉛鉱生成作用)」, Докл. АН СССР, т. 175, No. 4.