研究報 文

日立鉱山の閃亜鉛鉱に関する研究

Studies on the sphalerite from the Hitachi Mine

遠藤 正孝 (Masataka Endō)*

Abstract: Some authors have indicated the fact that the part of the ore deposits of Hitachi mine were subjected to the thermal metamorphism by the intrusion of the post-ore two mica adamellite mass. Observing FeS of sphalerites distributed widely in these ore deposits, the writer investigated the effect of post-ore intrusive. Consequently, FeS content of sphalerites enriched with the rise of temperature, on the contrary diminished with the increase of pressure. These results could be explained by Kullerud's theory (1953).

1. 研究の目的

日立鉱山は茨城県日立市にあつて阿武隈山地の南端に位置し、当地域の地質は日立古生層と呼ばれる結晶片岩で構成されている。鉱床はこの結晶片岩中に胚胎するいわゆる含銅硫化鉄鉱床である。当鉱山の地質鉱床については先学の多くの研究があるが、黒田、(1955,1956)、島田 (1955)、島田・速藤 (1960) らの研究により、鉱床生成後、両雲母アダメロ岩への進入で鉱床の一部が熱変成を受けている事実が指摘されている。その後筆者は、本鉱床に広く分布する閃亜鉛鉱に着目し、この鉱物の 2, 3 の性質をしらべこの観点から鉱床と熱変成の関係について検討を試みた。ZnS—FeS 系の鉱物に関しては著名な Kullerud (1953) の研究がある。彼は ZnS への FeS 溶解度が圧力によつて大巾に変化することを示唆したが、その後、Sims・Barton (1961)、Rose (1961) らが野外に適用し吟味した結果では圧力の影響に関して明瞭な結果が得られていない。したがつて Kullerud (1953) の研究で得られた、圧力と ZnS 中の FeS 溶解度の関係を地質的見地から再吟味する必要も残されているので、当日立鉱山の進入岩による閃亜鉛鉱への影響について考察してみた。この結果進入岩が熱効果を与えるばかりではなく、進入時の岩圧および揮発性成分による圧力の附加作用を生じ、温度の影響で支配される ZnS 中の FeS 溶解度が圧力の影響で擾乱されたと解釈し得ることを見出した。いまだ不備点があると思われるが、現在まで得られた結果を整理してここに報告し諸賢の御批判を願う次第である。

本稿を草するに当たり、研究の機会を与えられた日本鉱業(株)日立鉱業所、益田功副所

* 日本鉱業(株)豊羽鉱業所

(昭和38年9月17日受理)

長、佐藤正信探査課長、御助言、御援助を下された本社本多共之前探査部長に衷心より感謝申し上げます。また本研究に終始御教示、御指導を下された東北大学、竹内常彦教授、南部松夫教授に衷心より感謝申し上げます。なお本研究中御激励を下された秋田大学、加納博博士ならびに計算に御協力下された本社管理本部計数室の各位に深謝申し上げます。

2. 試料および研究方法

当日立鉱山の主要鉱床は第1図に示したように西から東へ入四間、藤見、笹目の順に配列し、これから方向を南に転じ北より中盛、神峰、本坑、赤沢、高鈴の順に連なっている。鉱石鉱物は黄銅鉱、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱を主とし、これらのほか方鉛鉱、キューバ鉱、硫蒼鉛銅鉱、磁鉄鉱などを伴っている。島田、遠藤（1960）は当鉱床のキューバ鉱および鉱石鉱物内の離溶組織の分布は前述の進入アダムロ岩の形とほぼ調和し、その理由

第1図 日立鉱山の ZnS 中の FeS 成分およびキューバ鉱分布図 (OML)

としてはアダムロ岩体の進入に伴う熱効果に由来することを述べたが、この事柄はさきに黒田（1955, 1956）が変成鉱物の配列より確かめた事実とほぼ一致している。

閃亜鉛鉱は当鉱山の各鉱床に普遍的に含まれ、一部では濃集して高品位鉱を形成している。本鉱物は一般に鉱石鉱物の初期、すなわち黄鉄鉱に引続いて晶出したものである。

閃亜鉛鉱の試料は 38 個で、採集位置は第 1 図に併記した。(閃亜鉛鉱の採集位置は第 1 表の通りであるが平面的関係を表現するため 0m レベルにその採集位置を投影した)。肉眼的に閃亜鉛鉱のみよりなる試料はこれを微粉砕し 双眼顕微鏡下で念入りに精選した。他の鉱物と共生するものは浮選を行ない純化した。浮選による試料を反射顕微鏡下で観察すると多くの場合微粒の黄銅鉱が含まれている。したがって Zn, Fe, Cu を化学分析し、黄銅鉱を CuFeS_2 として黄銅鉱に含まれる Fe を全 Fe 量より差し引いた。磁硫鉄鉱は閃亜鉛鉱中に微小な懸滴状あるいは毛髪状をして見られ ($1\mu \sim$ 数 μ 程度)、恐らく ZnS からの難溶体と思われるが、その量は微量でこの組織の分布位置も限られている (第 1 図参照)。また浮選で濃集した試料中にはしばしば黄鉄鉱も認められるので、ZnS を差し引いた残りの S を FeS と FeS_2 とに配分し、ZnS 中の FeS を算定した。その他の成分

第 1 表 日立鉱山産閃亜鉛鉱の性質

試料 番号	産 地	化 学 分 析 %				ZnS 中 の FeS モル %
		Zn	Fe	Cu	S	
1	日立鉱山 第 4 赤沢 60m	43.85	13.46	2.64	32.57	22.75
2	" " " "	45.92	14.84	0.92	34.25	26.36
3	" " " 30m	41.25	12.85	3.52	31.01	16.13
4	" " " "	30.70	19.91	1.46	32.81	18.16
5	" 第 1 藤見 200m 2	53.40	11.03	<0.02	31.42	16.51
6	" " " " 1	54.01	9.65	<0.02	31.34	15.42
7	" " " 250m	49.48	10.51	0.38	30.16	19.40
8	" 第 2 藤見 450m	53.15	10.72	0.15	33.28	18.35
9	" " " 450m 2	52.61	10.86	0.06	31.94	19.10
10	" " " " 1	48.53	12.77	0.21	31.07	22.94
11	" " " 300m Y 13	45.26	11.01	0.52	28.76	21.42
12	" " " 450m Z 6	45.29	6.70	0.28	27.19	12.52
13	" " " " Z 5	51.10	10.00	0.82	30.49	15.57
14	" " " " Z 1	57.12	5.59	0.33	31.11	9.79
15	" 第 5 藤見 450m 西	51.83	9.67	4.22	32.58	11.86
16	" " " 550m 東	52.93	9.94	1.24	32.69	18.39
17	" " " " 西	56.62	8.66	0.20	32.88	14.92
18	" 第 12 笹目 0m 上磐	52.53	10.25	1.65	—	16.39
19	" " " " 中磐	53.00	10.60	2.00	32.57	16.35
20	" 第 1 神峰 150m 20号	51.74	10.14	3.24	32.51	14.15
21	" 第 4 神峰 400m 5号	50.00	10.34	2.12	32.10	16.57
22	" " " 500m "	53.44	9.33	0.52	33.42	16.26
23	" 第 2 本坑 350m SL	52.25	9.67	0.58	33.40	17.03
24	" 第 4 本坑 60m 20	55.70	6.09	1.30	31.18	9.41
25	" " " " "	55.02	6.45	1.30	31.51	10.15
26	" " " " SL 1	55.25	6.63	3.46	32.83	7.07
27	" " " " " 2	57.51	6.22	1.72	32.44	8.73
28	" " " " " 3SL	56.92	7.46	1.49	—	11.32
29	" 入四間 650m	57.27	6.56	0.84	32.25	10.63
30	" 第 6 赤沢 300m 37	53.18	8.99	1.62	32.69	14.29
31	" 第 7 赤沢 100m SL	59.71	4.60	1.46	32.03	6.13
32	" " " 150m SL 35	51.40	10.01	1.62	32.23	16.36
33	" " " 100m 35	29.77	20.65	4.84	35.17	17.42
34	" " " " "	31.37	19.12	5.12	34.77	14.12
35	" 第 8 赤沢 上 20m	51.14	9.04	3.71	33.26	11.69
36	" 第 1 高鈴 400m SL	52.74	10.60	0.99	32.49	17.64
37	" 第 13 高鈴 400m	55.64	2.30	2.56	32.45	1.10
38	" " " 300m	54.70	7.82	1.99	31.78	11.49

は今回の議論の範囲では殆んど影響ないものと思われる。

3. 閃亜鉛鉱中の FeS 溶解度とその分布

各鉱床から得られた閃亜鉛鉱を精選し、各試料の Zn, Fe, Cu, S を化学分析し、前述の方法によつて ZnS 中に固溶する FeS モル%を求めた結果が第1表である。

第1表で明らかなように、ZnS 中の FeS モル%は最高 26.36% より最低 1.10% にわたり、全体として大きな変化が認められる。FeS 17.2%以上(以下すべてモル%)を含むいわゆる鉄閃亜鉛鉱は藤見鉱床と赤沢・高鈴鉱床の一部に分布している。かつこれらの2地域を中心としてその周囲では漸次 FeS 溶解度を減じ、全体的に西および南に向つて急激に低下している。当地域の南端の高鈴鉱床の一部では、黄色の閃亜鉛鉱があつて FeS 1.10%と極端に FeS 溶解度が低くなる。これらの分布状態を第1図に併記した。

まず FeS 14.7%以上の地域は藤見鉱床地域と進入岩の分布する笹目鉱床から南にのび、神峰鉱床の南端と本坑を通つて赤沢に至る東西平均 250m, 南北延長 800m の地域ならびに高鈴鉱床の一部である。これらの地域のうち笹目より赤沢に達する範囲は鉱床生成後進入したと考えられるアダメロ岩がくさび状に分布し、この熱変成で FeS 溶解度が高いものと考えられる。またこの区域内には FeS 17.2% (鉄閃亜鉛鉱)以上の部分があつて、FeS 成分をさらに高めた要因があつたことも推定される。赤沢・高鈴鉱床地域のものは花崗岩類の進入になる熱効果とも考えられるが、当鉱床地域の地表から下部 550m までの開発結果ではいまだ花崗岩類の分布は全く知られていない。いま第1図の A—B および C—D 断面をとり、進入岩体からの距離と ZnS 中の FeS 溶解度の関係をさらに眺めてみよう。

第2図は A—B 断面で藤見・笹目鉱床附近を東西に切つた場合の両者の関係である。本図より進入岩のごく近くではほぼ FeS 15~16%であるが、進入岩から約 200m 離れた藤見鉱床は急に FeS の含量を増し 19% 以上となり、その西側では急激に溶解度が低下し 10% 以下を示す試料もある。

第3図は笹目、赤沢、高鈴鉱床を結ぶ断面であつて、この断面方向にアダメロ岩が進入している。しかし第1図のように神峰、本坑地域まで本岩は達していない。さてこの断面で FeS 溶解度は笹目、神峰、本坑の各鉱床ともほぼ 16% 程度で変化は少ない。笹目鉱床からはほぼ 800m 離れた赤沢鉱床でも急激に FeS 成分を増し最高 26% に達する。しかしこれより 150m 南下すると FeS 12.2% 以下となり、FeS 1.1% という試料も出現する。

第2図 進入岩からの距離と ZnS 中の FeS 溶解度の関係 東西 (A—B) 断面

4. 日立鉱山産閃亜鉛鉱におよぼす温度と圧力の影響

以上当日立鉱山産閃亜鉛鉱中の FeS が地域ごとにどのような溶解度を示すかを記述し

第3図 侵入岩からの距離とZnS中のFeS溶解度の関係 南北(C—D)断面

同時に共生し、キューバ鉱の産出と合わせてこれら3種の鉱物および組織が、侵入岩と調和することである。この鉱石鉱物およびその組織の分布域に類似した形で閃亜鉛鉱中のFeS溶解度の等含有量線が認められ、ZnS—FeS系鉱物に対しても侵入岩の影響が積極的に表現されていることを裏付けるものと推定される。

以上の事実から当日立鉱山の閃亜鉛鉱中のFeS溶解度の偏倚はアダメロ岩の侵入の影響によるものと考えることができよう。Kullerud (1953), Sims・Barton (1961), Rose (1961)の研究によつて、閃亜鉛鉱中のFeS溶解度は温度の上昇により高くなることが認められているが、当地域では侵入岩からの距離に比例して単純に減少する現象は確かめられなかつた。すなわち侵入岩周辺部は最も高温で、遠距離の地点よりFeS溶解度が高いはずであるが、むしろ低めであることは、温度の高低でFeS溶解度が決定されるばかりでなく、他の要素が存在することを意味している。

侵入岩は侵入時に周囲の岩石に直接熱を伝播するが、そのみでなく岩圧および揮発性成分による高い圧力を周囲に与えると推定され、また圧力は遠距離まで伝達することは少なく、侵入岩と直接接する岩石に対して強く働くと考えられる。さてKullerud (1953)は閃亜鉛鉱中のFeSに関し温度および圧力から溶解度を算定し、その結果から温度の上昇により溶解度は増加し、圧力の上昇によつて溶解度は逆に減少することを提示した。これを日立鉱山にあてはめZnS中のFeS成分と温度・圧力との関係を考えると、藤見・笹目鉱床地域は鉱床生成後アダメロ岩の侵入により熱変成を受けたが、侵入岩からは直接熱ばかりでなく侵入時の岩圧および揮発性成分による圧力の附加作用がおこなわれると推定できる。侵入岩からやや離れた藤見鉱床では、熱の供給はおこなわれても圧力は必ずしも高くなく、侵入岩に直接接する鉱床では圧力はかなり高く、その結果侵入岩周辺のZnS中のFeS成分は外側より低下したと推定でき、Kullerud (1953)の圧力とFeS溶解度の関係と一致し、このような分布を示したと解釈される。笹目から神峰、本坑、赤沢鉱床までの地域では、侵入岩の先端部にあたり、熱と圧力は広く伝播され遠距離までその影響を受けた。なお赤沢・高鈴鉱床の溶解度17.2%以上の閃亜鉛鉱のうちには花崗岩質岩石が分布しないことから、熱変成以前にすでに高含有量を示していたものがあつたと推定している。以上の結果より日立鉱床のZnS中のFeS成分は温度の上昇で増加し、同一温度条件下でも圧力の上昇で低下したと考えられる。

た。当鉱床生成後侵入したと推定される両雲母アダメロ岩は、同侵入岩の周辺部に熱変成作用を与え、変成鉱物のみならず一部の鉱石鉱物の分布からもその熱効果が認められることはさきに述べた通りである。すなわち鉱石鉱物については第1図に示す通り侵入岩の周辺部に侵入岩の形態と類似するキューバ鉱分布帯が形成され、さらにキューバ鉱を伴う鉱石中に一定の離溶共生関係、すなわち黄銅鉱中に星状離溶体および紐状磁硫鉄鉱離溶体を

第4図 温度・圧力の変化による ZnS 中の FeS 成分変化

の温度で1%以下に達し、最低溶解度は 6000 気圧・0°C ではほぼ 0.7% に達する。天然産閃亜鉛鉱で 0.7% 以下のものも記載されているが、Zn を置換する微量成分として Cd, Mn などが知られておりこれらを追加するとほぼ 0.7% 前後になる (Kullerud (1953), 三野 (1957), Sims・Barton (1961), 滝本・港 (1961))

上記の計算結果を天然産閃亜鉛鉱に適用することは今後の課題であるが、少なくとも FeS 溶解度が 1% 以下の閃亜鉛鉱は低温高圧で生成される可能性が推定できる。

6. あ と が き

以上日立鉱山で鉱床生成後進入したと推定される両雲母アグメロ岩が、鉱石鉱物とくに閃亜鉛鉱中の FeS 溶解度に対してどのように影響を与えたかを化学分析から考察をおこない、熱効果からだけでは溶解度に関する解釈が困難であつて、圧力の影響を加味すると

解釈が容易になることを述べた。すなわち Kullerud (1953) によつて指摘されたごとく、温度の上昇に対し FeS 溶解度が増加し、圧力の増加に対して FeS 溶解度は減少するという事実が、当鉱山の閃亜鉛鉱への FeS 溶解度の解釈に好都合であり、このことから Kullerud (1953) が得た温度および圧力と ZnS 中の FeS 溶解度との関係がほぼ正しいと推定できた。この計算値を拡張して 139°~0°C, 5000~13000 気圧の区間の FeS 溶解度を求め、Kullerud (1953) の計算値より低い FeS 溶解度がどのような温度および圧力で生成されるかを推定した。その結果最低値 0.7% を得て、天然産閃亜鉛鉱の FeS 溶解度の最低値とほぼ一致する値を 0°C, 6000 気圧で得た。この結果 FeS 溶解度が極端に低い閃亜鉛鉱は低温高压で生成されることが予想される。

第3節で閃亜鉛鉱中の FeS 溶解度の等含有量線とキューバ鉱の分布範囲が侵入岩の形態にほぼ一致することを指摘した。キューバ鉱は黄銅鉱中に巾 0.1mm 以下で縞状または格子状で離溶し、またキューバ鉱の周辺に星状閃亜鉛鉱、紐状磁硫鉄鉱の離溶体を常に伴い、筆者 (1963) が先に栃木県日光鉱山で報告したキューバ鉱に伴う離溶体と全く一致した。キューバ鉱の分布範囲は ZnS 中の FeS 溶解度約 15% 以上と一致し、FeS 溶解度とキューバ鉱の分布範囲と密接な関係がある。第4図の FeS 溶解度からキューバ鉱の生成温度を推定すると 1 気圧で約 450°C となる。

さらに第4図をもちい当日立鉱山の侵入岩に適用してみると次のことがいえる。侵入岩から 200m 離れた藤見鉱床は FeS の溶解度は最高 21% で、低圧の場合 570~580°C, 侵入岩周辺では溶解度 16.5% で、温度 600°C, 圧力 3500 気圧と算定できる。

引 用 文 献

- Barton P. B., Jr., Kullerud, G. (1957), Preliminary report on the system FeS-ZnS-S and implications regarding the use of the sphalerite geothermometer, *Geol. Soc. America Bull.*, **68**, 1699.
- 遠藤正孝 (1963), 栃木県鬼怒川流域の金属鉱床における鉱石の帯状分布について, 岩鉱, **50**, 51~65.
- Fryklund V. C., Jr., Fletcher, J. D. (1956), Geochemistry of sphalerite from the Star mine, Coeur d'Alene District, Idaho, *Econ. Geol.*, **51**, 223~247.
- Kullerud, G. (1953), The FeS-ZnS system a geological thermometer, *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **32**, 61~147.
- 黒田吉益 (1955), 変成相についての一考察—阿武隈高原の地質学的岩石学的研究 (その 10), *地球化学*, **25**, 4~11.
- Kuroda Y. (1956), On the Mg-Fe metasomatism in the Hitachi District, southern Abukuma Plateau, Northeastern Japan, *Sci. Rept. Tokyo Kyoiku, Daigaku*, **5**, 57~80.
- 三野英彦 (1957), 閃亜鉛鉱の選鉱性に関する基礎的研究 (第一, 第二報) 日鉱誌, **73**, 93~102, 221~229.
- 根本忠寛 (1963), 閃亜鉛鉱中の FeS 成分に関する 2, 3 の研究, 鉱山地質, **13**, 44~48.
- Rose, A. W. (1961), The iron content of sphalerite from the Central District,

- New Mexico and the Bingham District, Utah, Econ. Geol., **56**, 1363~1384.
- 島田 衛 (1955), 日立鉾床東部の褶曲構造について, 鉾山地質, **5**, 102~116.
- 島田 衛・遠藤正孝 (1960), 日立鉾山藤見鉾床の鉾石について(要旨), 岩鉾, **44**, 63.
- 日本鉾業(株)日立鉾業所探査関係者 (1962), 日立鉾山藤見鉾床の探鉾について, 鉾山地質, **12**, 193~198.
- Sims, P. K., Barton, P. B., Jr., (1961), Some aspects of the geochemistry of sphalerite, Central City District, Colorado, Econ. Geol., **56**, 1211~1237.
- 塩原幹治 (1961), 神岡鉾山産鉾物の生成温度ならびに化学組成について, 鉾山地質, **11**, 344~349.
- Skinner, B. J. Barton, P. B., Jr., Kullerud, G. (1959), Effect of FeS on the unit cell edge of sphalerite. A revision, Econ. Geol., **54**, 1040~1046.
- 高森隆勝 (1962), 豊羽鉾山選鉾産物中の銀について, 北海道鉾誌, **18**, 1~5.
- 竹内常彦・南部松夫 (1953), 釜石, 野田玉川, 八釜鉾山産キューバ鉾について, 選研彙報, **9**, 31~36.
- 滝本 清・港 種雄 (1961), 鉾床の温度型と硫化鉾物中の微量成分との関係について, 鉾山地質, **11**, 331~237.
- 徳永正之 (1959), 中竜鉾山中山鉾床におけるスカルの累帯配列と閃亜鉛鉾の産状・性質, 鉾山地質, **9**, 211~223.