

わが国の層状含銅硫化鉄 鉱床(キースラーガー)について

竹田 英夫

1. ま え が き

わが国の銅鉱床および硫化鉄鉱床の生産実績を各鉱種別に検討してみるとキースラーガーはきわめて重要な位置を占めていることが分る。

すなわち 昭和35年における銅鉱石の粗鉱総出鉱量は全国で年間約1,000万トン(含銅量96,000トン)であるのに対して キースラーガーからは年間約280万トン(含銅量32,000トン)を出鉱しており 全国の総出鉱量の28%含銅量では33%を占めている。

第1図は 昭和35年3月現在の全国で 銅および硫化鉄を主要稼行対象として稼行している鉱山を鉱種別を選び 生産した粗鉱中の含銅量と含硫化鉄量を基準にして作成した図表である。

これを見てわかることは キースラーガーは全鉱山数約160の中30を数えるに過ぎないが 含銅量では全体の35.2% 硫化鉄鉱の含有量は22.5%を占め 非常に重要な天然資源であることが一目りょう然である。

もちろんこれらの比率は選鉱製錬の過程や 各鉱山の立地条件などによって これらの含有量が完全に利用されているとは限らないため 実際の生産実績とは若干こととなってくるが それにしても銅および硫化鉄資源として 貴重な役割を果していることには変りがない。

次に 昭和35年3月現在における粗鉱中の含銅量を基準にして 全国の鉱山中からベスト10を選ぶと第1表の

ようになる。この中 第1位に別子 第3位に日立 第7位に下川 第10位に佐々連というふうに キースラーガーの4鉱山が入っている。

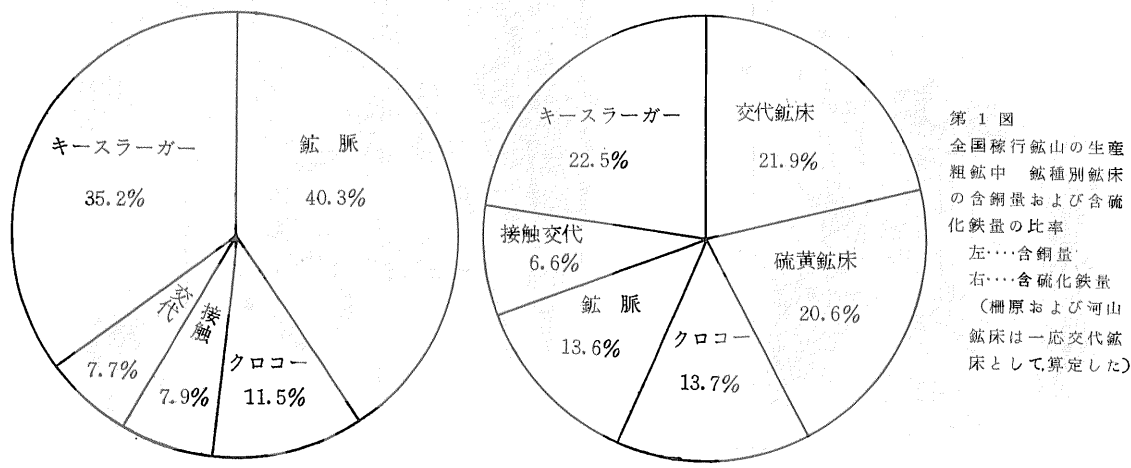
元禄時代から採掘されてきた古い歴史をもつ別子鉱山が 今なお全国で第1位の生産量を確保していることや先に述べたように 鉱脈鉱床にくらべて鉱山数の少ないキースラーガーが 出鉱量において大きい比重を占めていることは キースラーガーと呼ばれる鉱床の特性を反映しているといえよう。

銅鉱石から選鉱製錬の過程を経て得られる銅の用途は説明するまでもなく 電線や貨幣となって われわれの日常生活に親しまれているが 一方硫化鉄鉱の方は硫酸硫酸の製造原料となり さらに最近では硫化鉄鉱から硫酸を作る過程でできる硫酸滓が硫酸焼鉱と呼ばれ 重要な焼結用鉄鉱石資源としても活用されているほか 一部セメントの材料にも用いられている。

銅・硫化鉄資源としてのほかに 一部のキースラーガーでは選鉱過程で亜鉛鉱も回収されており また製錬過程でキースラーガー中に含まれる金・銀・コバルト・セレンなども副産物として回収され さらに排ガス中の亜硫酸ガスも硫酸製造に利用されている。

2. キースラーガーとは？

層状含銅硫化鉄鉱床というといかにむずかしきこえるが 一般にはキースラーガーとか別子型鉱床とい



第1図 全国稼行鉱山の生産粗鉱中 鉱種別鉱床の含銅量および含硫化鉄量の比率
左……含銅量
右……含硫化鉄量
(柵原および河山鉱床は一応交代鉱床として算定した)

第 1 表 ベスト 10 鉱山 (昭和35年3月現在) *

順位	鉱山名	粗 鉱 量 (トン月当り)	品 位 (%)	含 銅 量 (トン)
1	別 子	51,570	1.2	618
2	尾 去 沢	47,410	1.1	493
3	日 立	57,880	0.9	489
4	花 岡	35,430	1.2	414
5	足 尾	26,200	1.5	399
6	釜 石	116,620	0.3	373
7	下 川	9,190	2.6	272
8	生 野	21,520	1.1	231
9	尾 小 屋	15,930	1.5	231
10	佐 々 連	15,030	1.6	228

*これらの数字は昭和35年1月から3月までの3カ月間の月当り平均を示したものである(資料:通産省鉱山製錬所統計より再編成作した)

う呼び名で親しまれている。

キースラーガーの語源はドイツ語の kieslagerstätten —kies (キース) は硫化鉄鉱 Lagerstätten (ラーガーシュテッテン) は鉱床 — つまり硫化鉄鉱床という意味からきたもので ドイツや北欧にある硫化鉄鉱床と日本の層状含銅硫化鉄鉱床の性質が似かよっているため いっしょにキースラーガーと呼ばれるようになった。

また 別子型鉱床という名前は 別子鉱床がもっとも代表的なものとして それに類似する鉱床を別子型鉱床といわれるようになったのである。

さて このキースラーガーの定義は「この種の鉱床は多少変質を受けた水成岩もしくは 結晶片岩類に 整合的に成層して存在し 広く層状をなして発達することがあり またレンズ状をなして産することもある 多くの場合黄鉄鉱の緻密な集合体で多少の銅銻を混ざるのが常である 時に 磁硫鉄鉱・方鉛鉱・閃亜鉛鉱その他の硫化物が共生することもある」とされている(鉱床学の進歩 P172)

この定義はキースラーガーの性質をよくいい表わして



第 2 図 別子鉱山の江戸時代の坑口 (住友金属鉱山KK提供)

はいるが 鉱床の形態と鉱石鉱物の組成という1つの側面だけから定義しているため いろいろの混乱が生じてくることがある。例えば 別子鉱床などと全く成因のことになった鉱床が形態と鉱石の性質が上に述べた定義にあてはまるということだけで キースラーガーと同一視されてしまう危険性がある。

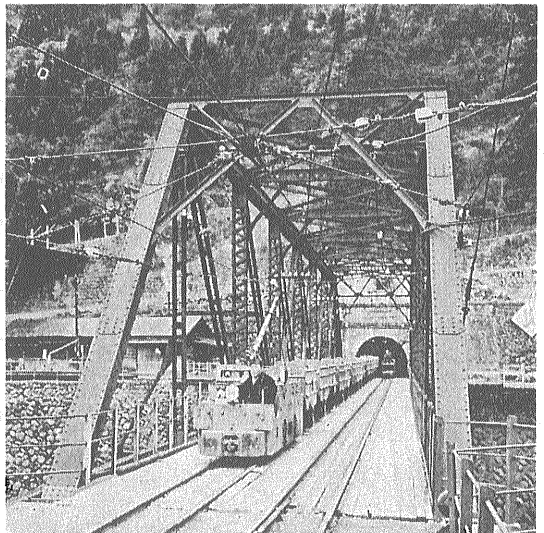
したがって もっと正確に定義するためには鉱床の成因とさらに生成した後の変成作用 その他の後生的な変化が明らかにされなければならない。しかし これらの問題は まだまだ未解決の点が多く とくにキースラーガーの成因については日本ばかりでなく 全世界的に論争的になっているのが現状の姿である。

3. キースラーガーの分布

北は北海道から南は九州まで キースラーガーは全国的に分布しており その鉱山数は現在稼行中のものから休山しているものその他をあわせると約350に達する。

これらのキースラーガーはおもに変成作用を受けた地域に存在するが 一方ほとんど変成作用を受けなかった地域にもその分布がみられ それらの地域の地質時代も古生代から中生代にわたり一定していない。

しかし 決して無秩序に分布するものではなく 分布上1つの重要な特性がみられる。それは日本列島の地質構造区分(地質構造区分については 山下昇:中生代(1957年)および地質調査所編さん:日本産産誌 A総論(1959年)を参照されたい)という観点から検討するとき 北海道地域の日高帯 本州地域の三波川帯 本州中軸深成帯 秩父累帯 三郡変成帯 丹波帯 および四万十帯に それぞれキースラーガーが分布しており これらの変成帯もしくは非変成帯は地向斜から発展した産物であるという点に共通性がみられる。



第 3 図 現在の別子鉱山第4通洞入口 (住友金属鉱山KK提供)

すなわち 言葉をかえていえば キースラーガーはほとんど例外なく地向斜から発展したとみられる変成帯もしくは非変成帯中に存在している。

この事実と共に あとで述べるように キースラーガーが地向斜の生成発展に何らかの形で関係して生じている点とあわせて考えると ききの定義とは別の側面が浮び上がってくるのである。(第6図参照)

さて 話をもとにもどして各帯におけるキースラーガーの分布をみると 西南日本外帯の三波川変成帯中にもっとも多く 現在稼行している鉱山としては別子鉱山をはじめ佐々連 白滝 基安 新宮 高越 野々脇 大久喜 銚子滝 飯盛 峯之沢 久根などがある。

三波川変成帯に接する 秩父累帯には長者 別役 名野川 三尾その他小規模のキースラーガーが紀伊半島から四国 九州にかけて分布する。この秩父累帯に平行する四万十帯は上記2帯の原岩層が古生層であるのに対して中生層に属するが この中には現在稼行中の横峯鉱山の他 浅川 栄喰 輝三郎 五条などのキースラーガーがみられる。

一方 西南日本内帯に分布する三郡変成帯中には 坪井 江与見 高良などのキースラーガーがあるが この他鉱床の形態が層状を呈する河山鉱床が存在する。

秩父累帯に相当する丹波帯および舞鶴帯には 土倉 花房山 明延南谷などのキースラーガーがあるが これらと共に日本最大の硫化鉄鉱床として有名な柵原鉱床が存在する。

河山および柵原鉱床については別に述べる予定であるが 鉱床の形態と鉱石鉱物の組成は一般のキースラーガーに類似しており 一部ではキースラーガーに属するとされているが これに反対する意見も多い。

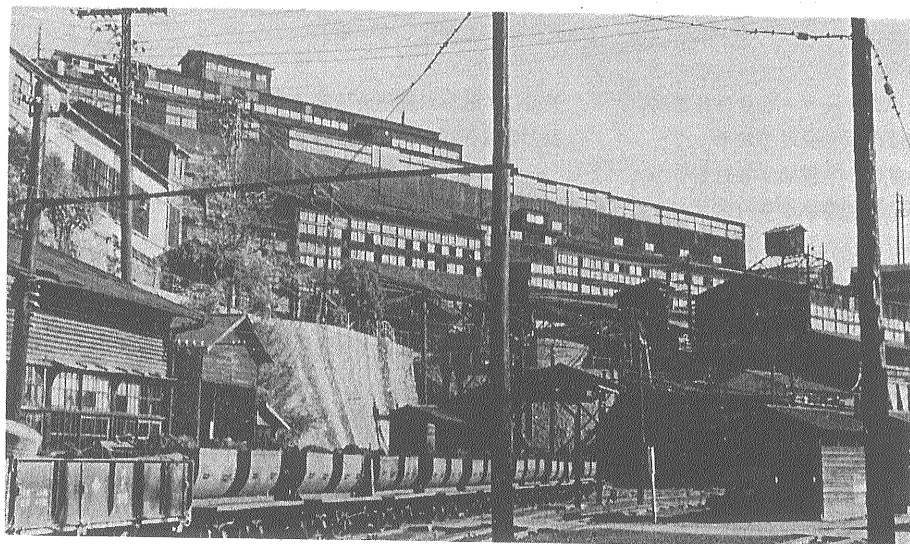
眼を東北日本に移すと 本州中軸変成帯または阿武隈変成帯に属する日立結晶片岩地域に 日立 諏訪その他小規模のキースラーガーが分布する。最近 この日立結晶片岩地域および御斎所変成岩地域が三波川変成帯の延長ではないかという考えも一部で発表されている。

また 北部北上山地には田老 大銅などのキースラーガーがみられるが これらの鉱床の母岩は下部白堊系に属するといわれている。さらに 北海道地域には下川をはじめ武士 猿留 十勝 トラムウシなどのキースラーガーが存在するが これらはいずれも日高帯中にある。日高帯を構成する日高層群の時代は 大部分中生代に属するが 一部古生代のものも存在する可能性が示唆されている。

地向斜—沈降性の堆積盆地—が時代的に その性格を異にし また1つの地向斜の中で中心部とか周縁部によって堆積環境から変成様式まで変化がある以上 キースラーガーは地向斜から発展した各帯の特性に応じて異った性質を示すことは当然であり それぞれの変成帯もしくは非変成帯の地史の変せんを明らかにすることはキースラーガーを研究する上で1つの重要な課題となることはいうまでもない。

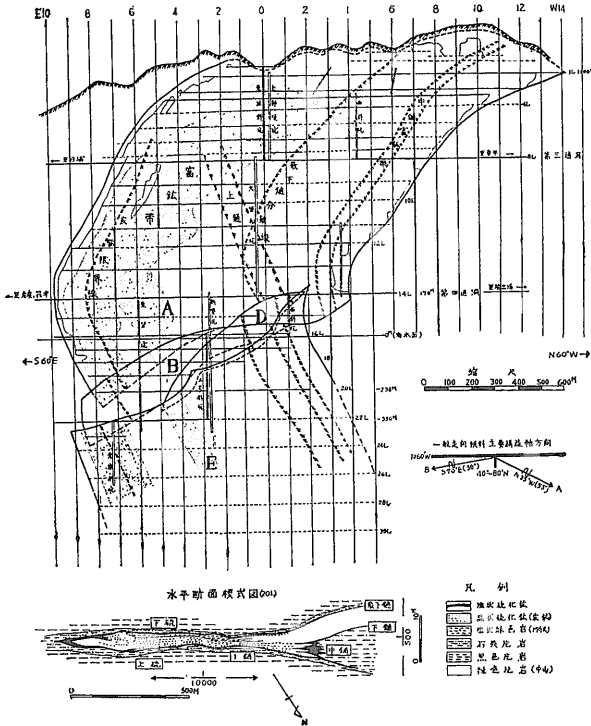
4. キースラーガーの成因説

ある鉱床が母岩の堆積と同時期に生成された場合 例えば先カンブリヤ紀の縞状鉄鉱層などを同生鉱床と呼び 一方母岩がすでに形成されて後 ある種の火成活動などに関係して鉱化作用が行なわれ 鉱床が生じた場合 例えば グリーンタフ地域の鉄脈鉱床 神岡 釜石の接触交代鉱床などを後生鉱床と呼んでいる。すなわち 母岩の形成時期と鉱床の生成時期の前後関係から同生または 後生という区別が生じてくる。



第4図
別子鉱山(愛媛県)
星越選鉱場

断面図



第5図 別子本山 鉍床説明図

キースラーガーが成因的に同生か後生かという問題は昭和34年の日本地質学会第66年総会のテーマ・シンポジウムとして討論されたが 出席者全員の意見が一致せず今なお論議が繰り返されている。この混乱を生む最大の原因は変成作用の末期かまたはその終了後に 鉍液が母岩の層理に平行に交代した現象と 主として変成作用前に生成された鉍床が母岩と同じく変成作用を受けて生ずる現象とが似かよっているため これらの区別が明確にされ難いという点にある。

地向斜から生成発展したキースラーガーを含む各帯は大なり小なり広域的な動力変成作用を受けており キースラーガーが同生鉍床か後生鉍床かを議論するとき 当然広域変成作用とそれに伴う造構造運動がキースラーガーとどのような関係にあるかということが問題になってくる。したがって ここではキースラーガーの生成時期が造構造運動の前か同時期か後かという3つの時期すなわち前造構造期 同時造構造期 後造構造期に分けて 簡単にそれぞれの成因説を紹介しよう。

1) 後造構造期説

話の都合上 造構造運動より後期にキースラーガーが

生成されたとする説 すなわち後造構造期説からとり上げることにする。

この説の中には単純な鉍脈説や接触交代鉍床説などが唱えられているが もっとも有力であり つい最近まで多くの人々により支持されてきた説は 変成作用がほとんど終了した後 母岩中の異種岩層間 たとえば緑色片岩と石英片岩の境界付近に雁行状に配列する剪裂帯が生じ この剪裂帯に沿って熱水溶液が上昇して鉍化作用が行なわれ 母岩の層理面に ほぼ平行な割れ目を充填し一部では交代作用を伴ったとする解釈である。またこれらの鉍化作用をもたらす熱水溶液は いわゆる『角閃岩』と呼ばれているような塩基性ないし超塩基性岩類の後火成活動の産物であるとされている。この説を裏付ける証拠としては 鉍体群の雁行状配列 鉍体周縁の母岩の変質—緑泥石化作用 緑簾石化作用 絹雲母化作用のいちじるしいこと 鉍体の境界と母岩の片理面がしばしば斜交することなどがあげられている。しかし最近の研究と鉍床の開発の発展に伴って これらの根拠がだんだん薄弱となってきている例が多い。

先ず第1に運鉍岩と考えられている塩基性ないし超塩基性岩類がキースラーガーの分布と結びつかず またその一部は地向斜堆積時の火成岩から変成していることなどが明らかにされつつある。

次に、鉍体群の雁行状配列とされたものは開発が進むと共に 従来見掛け上層準の異った2枚の鉍体が実際は同斜状褶曲をした1枚の鉍体からなる例が多く発見されている。さらに 鉍体周縁の母岩の変質については 変成度の高い地域にある鉍床ではそれに伴って熱水変質の産物とは考え難い角閃石や黒雲母がいわゆる『鍾』の内、の中に晶出しており 鉍体周縁部の母岩もその地域の変成度に応じて変化している。

最後に 鉍体の境界と母岩の片理面の斜交性については動力変成作用を受ける鉍体と母岩の物理的性質の差から 一部でこのような現象が生ずることは当然であると解釈されている。この他あとで述べるように キースラーガーと母岩の変形様式は密接な関係を示し キースラーガーが変成作用の比較的早期にはすでに生成されていたとする証拠も明らかにされつつあり 最近では後造構造期説は順次支持者が減ってきている。

2) 同時造構造期説

造構造運動の行なわれている時期 つまり変成作用の時期に鉍床が生成されたとする説であり この中には大

体 次の3つの異なった説がある。

先ず第1は 母岩が変成作用を受けている最中に 花崗岩などの進入に伴い鉍漿 (ore magma) が導入されてキースラーガーが生じたとする説である

第2の説は 変成作用以前にもともと母岩中に散在していた鉍石鉍物が変成分化作用によって濃集し 鉍床を生成したとする説である

第3の説は さきに述べた 後造構造期説中の割れ目充填交代鉍床説とほぼ同じであるが 交代作用の役割を重視し鉍床の生成時期を変成作用がまだ 引き続き行なわれている時期とした点に若干の相違がある

最近 わが国でも低変成度の地域に分布するキースラーガー中の鉍石鉍物にコロフォーム組織が発見されているが 応力条件下ではコロフォーム組織を作るようなゲル状沈殿物に結晶作用が働き コロフォーム組織がこわされてしまうことはごく容易に行なわれる。したがって溶液状態の鉍漿 または鉍液が応力条件下に導入されてコロフォーム組織を作るという事は ほとんど考えられない。

鉍漿説の例にあげられた土倉鉍床 および第3の説に合致するとされている大久喜鉍床などは コロフォーム組織が存在するが これを同時造構造期説で合理的に説明するためには 鉍床を生成する場所に偏圧の全然働かなかった空所 (open space) でも考えない限り困難である。しかし 広域変成作用の下での空所の形成はできる可能性があり得るだろうか？

次に これらの説においても後造構造期説と同じく運鉍岩の問題が十分解決されずとくに鉍漿説で花崗岩の進入に関係づけることは少なくとも日本のキースラーガーの成

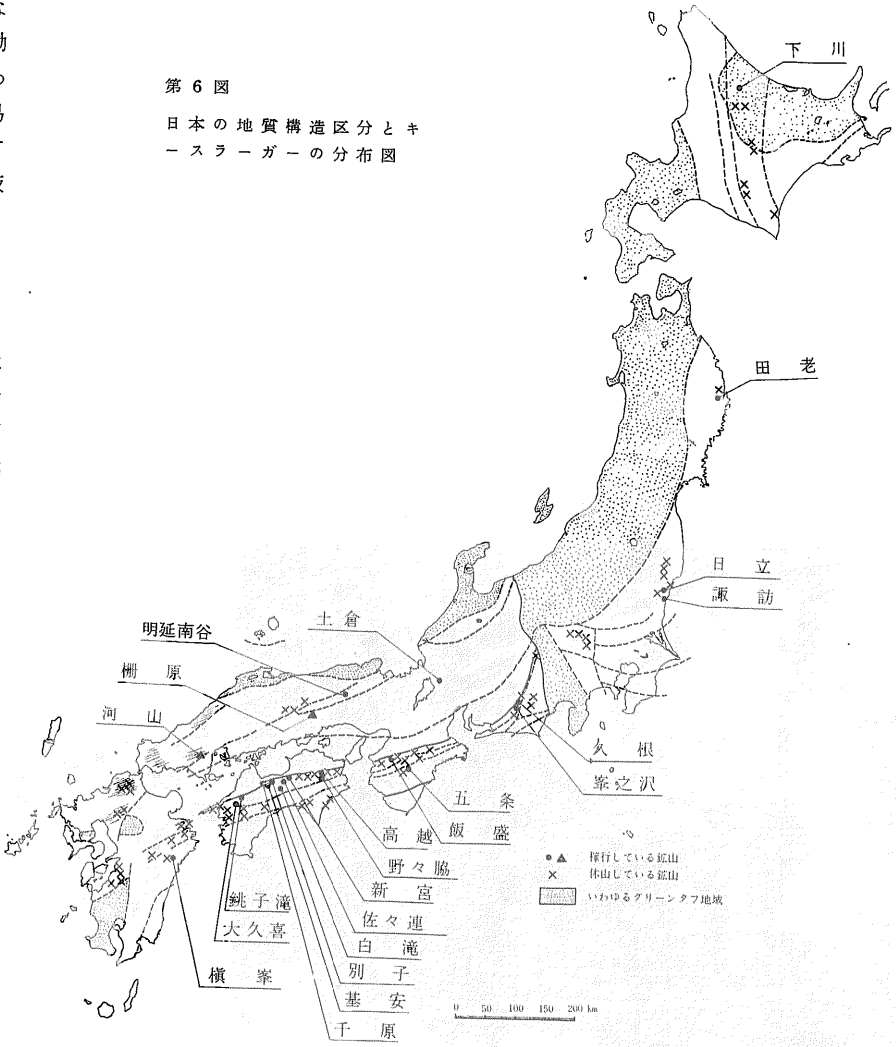
因を考える上で ほとんどあり得そうにもない。

さらに 後で述べるように 三波川変成帯において明らかにされつつあるキースラーガーの層序学的位置の規則性は 同時造構造期説および後造構造期説のいずれをとっても いちじるしい選択交代作用を考えないと説明し難い。第2の変成分化説は 変成作用中の物質の移動がどのような規模で行なわれるかという点で全く不明であり 最近ではむしろ物質の移動は余りいちじるしくなかったということが一部で主張されている。

3) 前造構造期説

以上述べた 1) および 2) の説は後生鉍床説であるが鉍床が変成作用以前すなわち前造構造期に生成したとする説の中にも 母岩の堆積時にキースラーガーの原物質も共に沈殿したとする同生鉍床説と 母岩の堆積後キースラーガーは母岩を交代して生成され さらに広域変成

第6図 日本地質構造区分とキースラーガーの分布図



作用を受けたとする後生鉱床説の色彩を帯びたものがある。しかし 後者の説は母岩の堆積後余り続成作用が進んでいない時期に生成した交代性のキースラーガーを考える場合 これを同生鉱床とみなす学者も多い。

母岩と同時堆積とする説の中にも また2つの異った説があり その1つは黒海のような海水の循環が悪く海底で酸素の供給が不十分な場所で 有機物や硫化水素を作る嫌気性のバクテリアなどが作用するとき 海水中に溶解している鉄イオンは水素イオン濃度 (pH) と酸化電位 (Eh) に規制され 硫化鉱物が沈殿して鉱床を生成するという考えである。さらにこの場合 ある種のバクテリアは鉄を含む溶液から水酸化第2鉄を沈殿させ 硫酸塩から還元した硫黄や硫化水素と結合して硫化鉄鉱床を形成することも想定されている。

今1つの同時堆積説は 海底火山活動に伴う噴気堆積成鉱床とする考え方であり 火成源の噴気ないし熱水溶液の作用によって 一種の温泉沈殿物として キースラーガーが生成されたとする説である。

これらの説の根拠になるものは 鉱床がある特定の層準に胚胎していること とくに噴気堆積成鉱床説では地角斜堆積時の海底火山活動の消長に密接に関係して鉱床が生成されていること 鉄バクテリアの作用による場合はその組織を残すことや硫黄の同位元素 S^{32}/S^{34} の比率が一定しないこと 鉱石中にゲル状沈積物としてのコロフォーム組織がみられること 母岩の構造と鉱床の形態が調和していることなどがあげられている。

しかし 多くのキースラーガーは広域変成作用を受けているため 同時堆積の直接の証拠となる沈積構造—とくに地層の上下関係を判定するような graded bedding の発見が困難であり コロフォーム組織も未変成もしくは低変成の地域の鉱床の一部に存在するのみで 多くの

鉱床にはみられないこと 鉱床の形態が走向延長に対して落しの方向にいちじるしく延びており 堆積時の原形を考える上で特殊な形を想定しなければならないことなどが同時堆積説の隘路となっている。

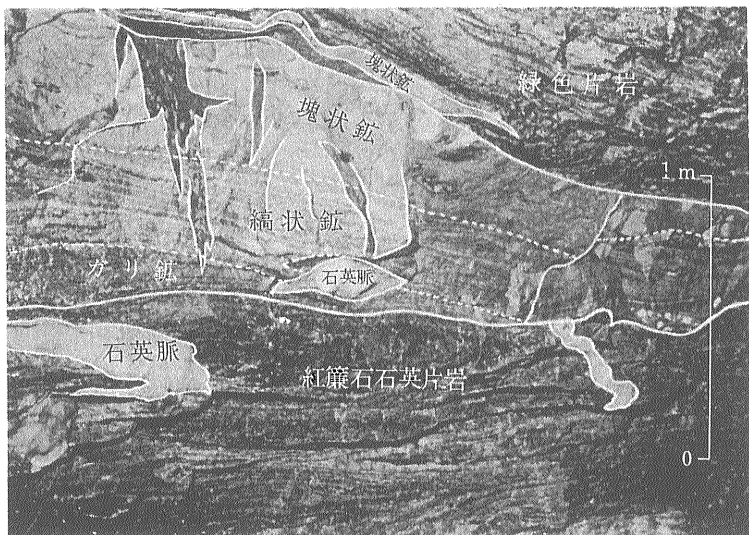
最近では日本のみならず世界の多くのキースラーガーについて噴気堆積成鉱床説が唱えられているが 地角斜時代の堆積環境から火成活動の性質さらに鉱床生成時期の沈積環境と鉱石鉱物の生成状況を統一的にとらえた研究は完成されておらず まだまだ推測の域を脱していない現状にある。次に変成作用前の交代鉱床説について述べよう。この例にはウラルのキースラーガーがあげられており その根拠として低変成度の地域で鉱床は不規則な形を示すこと 黄鉄鉱が五角十二面体の晶癖をもつこと 層準が一定しないことなどがあげられている。

この交代鉱床説がわが国の一部のキースラーガーにあてはまることをひそかに期待する向きもあるが 未だ積極的な研究はない。

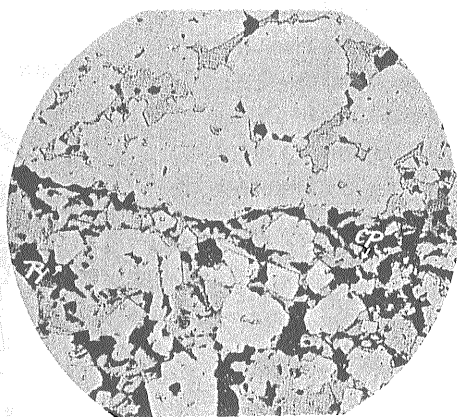
以上いろいろな成因説のごく概略を紹介したが わが国のキースラーガーについてその成因説を歴史的にふりかえてみると 明治中期には中島謙造らにより鉱層説が唱えられたが 明治末期から大正昭和の初期にかけて 佐川栄次郎・加藤武夫らにより 同時造構造期の交代鉱床説が盛んとなり さらに 第2次大戦後に至る間に加藤武夫・堀越義一その他の裂隙充填鉱床説に発展した。

その後 昭和30年前後から小島丈児・渡辺武男らによる噴気堆積成鉱床説が始まり 佐々連 下川などの各鉱床の着実な開発に伴って同生鉱床説の確実性が立証されてきている。しかし 今井秀喜らは今なお後生鉱床説を支持しており 成因論争はまだ当分続いてゆく現状にある。(つづく)

(筆者は 鉱床部)



別子鉱山鉱体付近 (8L中鏡) の坑内写真



別子鉱床の鉱石顕微鏡写真 (×70)
(鉱山地質 No.43 P271から)