

わが国の層状含銅硫化鉄 鉱床 (キースラーガー) について (3)

竹田 英夫

これまでキースラーガーの成因説や層序学的位置について その概略を紹介してきた。しかし一部の読者層には難解であるという意見があるようで、これは筆者の勉強不足のためであると反省しているが、本文の目的は今後鉱床学を専攻しようとする学生諸君や、鉱山の現場の人々のように、すでにある程度の基礎知識を備えた人々を対象にして、これまでの知識の整理と最近の問題点を明らかにしようとして書いたものであり、全般の読者を対象にして書いていないことも、難解である一つの原因になっているのではないと思われる。この点を一応お断わりして、筆を先に進めることにする。

6. キースラーガーの形態と構造

キースラーガーの形態的研究はすでに堀越義一 (1940年) によってまとめられているが、第2次世界大戦後多くの人々によってさらに詳細な研究が進められ、新しい見解が発表されているので、それらを中心に述べることにする。

さて、キースラーガーの形態は母岩の各種構造に調和した層状またはレンズ状といわれているが、各地域の構造的特性に応じて複雑な褶曲形態から見かけ上比較的単純な偏平板状、棹状、帯状などの形態を示すものなど様々のものが存在する。しかし、これら種々の形態を示す鉱床において共通するいちじるしい特徴としては、鉱体が「落し」の方向に伸びているという事実があげられる。この場合「落し」の方向とは鉱体の走向および傾斜方向に斜交した鉱体の一定の伸長方向をいう。またこの鉱体の「落し」の方向が母岩の線構造の方向に一致するといわれている。この事実を最初に発見したのは佐川栄次郎 (1910年) であるが、その後これを発展させ、法則化したのが、神山貞二・堀越義一 (1938年) である。

堀越 (1940年) の記載によれば、「広義に使用すれば「鉱体の落しは母岩の線構造に一致する」と述べ、多くのキースラーガーの実例をあげている。この神山・堀越の法則は、これまでキースラーガーの開発に重要な役割を果たしてきたし、一般的にいつ今日でも多くの鉱床の探査に利用されている。

しかし、最近結晶片岩の構造解析が進み、面構造および線構造について詳細な検討が進むにつれて、新しい角度からキースラーガーの変形様式がとり上げられるよう

になってきた。例えば線構造にもいくつかの種類があり、また方向も異なることなどが明らかになってきたため、鉱体の「落し」が如何なる線構造に一致するかということが再検討される段階になってきている。鉱床の形態を議論する前に、まず結晶片岩の面構造および線構造の構造要素について簡単に説明しよう。

面構造

一般に結晶片岩を観察するとき、平行な一定の剥げ易い面が発達することに気付くが、これを普通片理面またはS面と呼んでいる。このS面の中にもさまざまな性格のものが存在し、このような面的な構造要素を面構造として取り扱うのである。

まず黒色片岩や緑色片岩などに石英や緑簾石の縞が片理面に平行に発達し、この片理面がもとの層理面に一致する場合、これを層面片理 (bedding schistosity) と呼び、S₁面という記号で表現する。次に褶曲したS₁面の軸面に平行に軸面片理 (axial plane) が発達することも稀でない。これを普通S₂面と呼んでいる。このS₂面はS₁面がいちじるしい同斜状褶曲を示す場合はS₁面に平行になることもあり、これをS₁₋₂面と呼ぶ。またときにはS₂面の発達がいちじるしくS₁面と見誤ることもあるので注意を要する。例えばS₁面が南に傾斜しているとき、全体の岩層も南に傾斜しているが、S₂面は北に傾斜してその発達がS₁面よりも顕著な場合、S₂面をS₁面と見誤って層理面が北に傾斜するかのよう錯覚することがある。したがって野外で地質図を作るときは、異種岩層の境界面の走向傾斜を適確に測定しておくと共に、S₁面とS₂面を常に注意してこれらを測定しておくことも忘れてはならない。

さらにS₁面と斜交する細密な劈開面 (cleavage plane) が発達することも屢々観察される。これはS₃面と呼ばれており、普通直立に近く軸面に平行に発達することもあれば斜交することもある (第16～18図)。

少なくともこれらS₁、S₂、S₃面の面構造の識別は構造解析に必要であるばかりでなく、線構造の性格を知る上にも重要であるため、野外での観察において怠ってはならない。

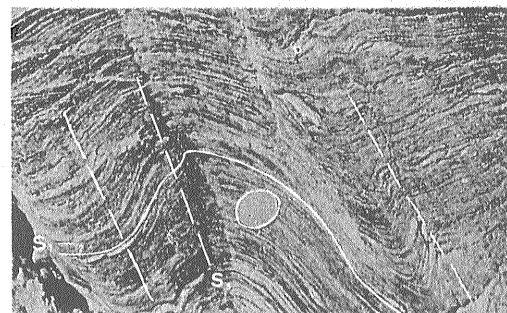
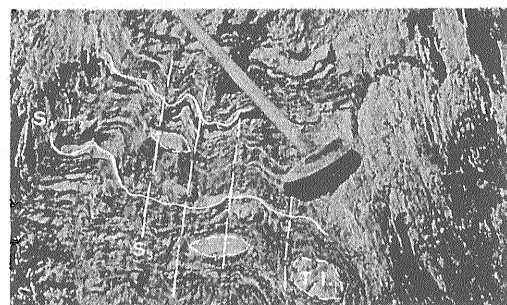
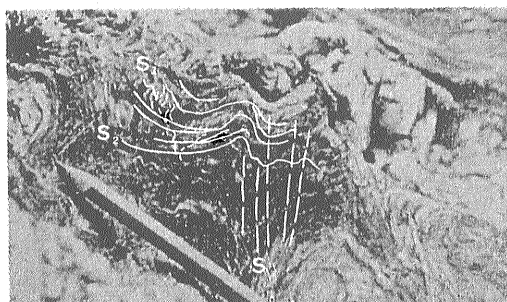
線構造

普通結晶片岩のS面上に平行な線またはちりめんじわが走っているのが観察される。このような線のな構造要素を線構造と呼んでいる(第19—22図)。

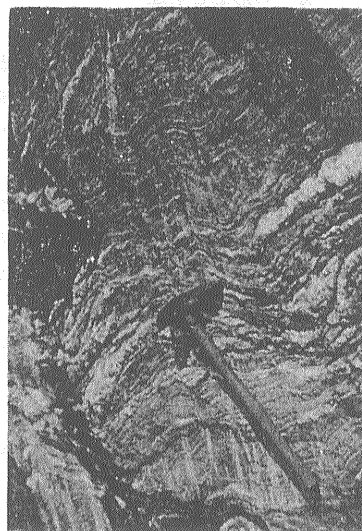
線構造にもいろいろの性格のものがあり E. CLOOS (1946年)は第23図のように分けている。しかし一般的に結晶片岩における線構造は面構造の交線と考えれば良い。例えば 褶曲した両翼のS₁面の交線は褶曲軸として線構造を作るが これはまた S₁面と褶曲軸の軸面との交線でもあり 軸面片理が発達するときはS₁面とS₂面の交線としてS₁面上にもS₂面上にも表われてくる。このような線構造がS₁面上でみられるときL₁₋₂と呼び S₂面上で観察されるときはL₂₋₁と呼ぶが 同一サンプル内でS₁面とS₂面が一定しておればL₁₋₂とL₂₋₁の方向は等しくなる。またS₁面と細密劈開のS₃面との交線もまた線構造を形成する。これはS₁面上でちりめんじわとしてもっとも普通に観察されるものであり これをL₁₋₃と呼んでいる。S₃面は一般に褶曲軸の軸面に平行に発達することが多いが

この場合はL₁₋₂とL₁₋₃の方向は一致しているため問題はない。しかしS₂面とS₃面が斜交する場合線構造はL₁₋₂ L₁₋₃ L₂₋₁ L₂₋₃ L₃₋₁ L₃₋₂の6種類が存在し 方向としてL₁₋₂ L₁₋₃ L₂₋₃の3方向があることになる。以上述べた面構造および線構造は 基本的な性格を簡単に説明したものであるが 実際には結晶片岩生成過程の変形様式の変化を考慮に入れなければならない。

一般に結晶片岩の変形様式は 生成・変化・発展・消滅という観点からみて 変化から発展の時期つまり圧力と温度の上昇に伴って岩石の可塑性(plasticity)が増大し ちょうど飴か餅のような状態で変形し この時期には折畳まれた同斜状褶曲が特徴的に発達する。この場合 軸面は水平に近いものが多く 角閃石のような伸長性鉱物は S₁面上において同斜状褶曲の褶曲軸に平行配列を示すことが多い。ところが発展の後期から消滅の段階にかけて可塑性を失い始め 褶曲はその両翼が開いてくると共に軸面は垂直に近くなってくる。この時

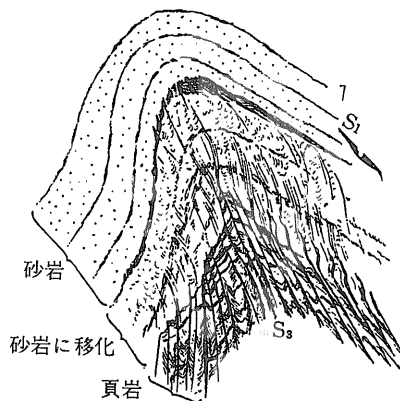


⑮ 高知県岩原付近のS₁ S₂ S₃面の関係 (小島・鈴木原図)



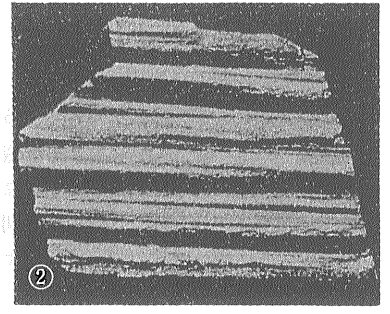
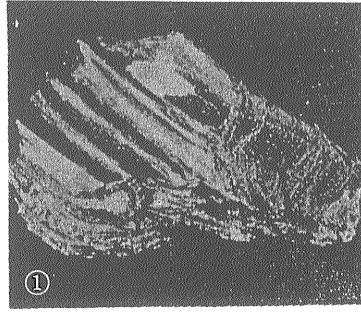
⑯ 徳島県野々脇 鉦山付近のS₁面とS₂面

0 1 2 cm



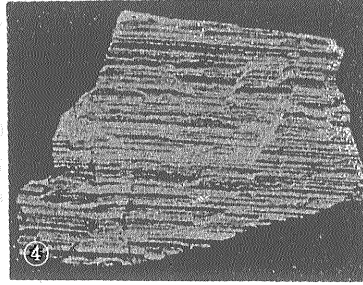
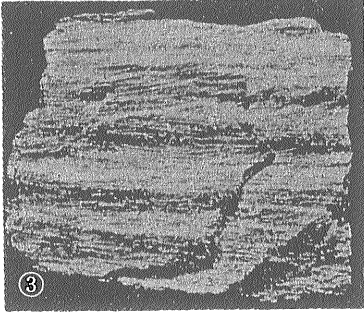
⑰ 砂岩中の同心状褶曲と粘板岩中の断裂劈開

⑩ 線構造のサンプル



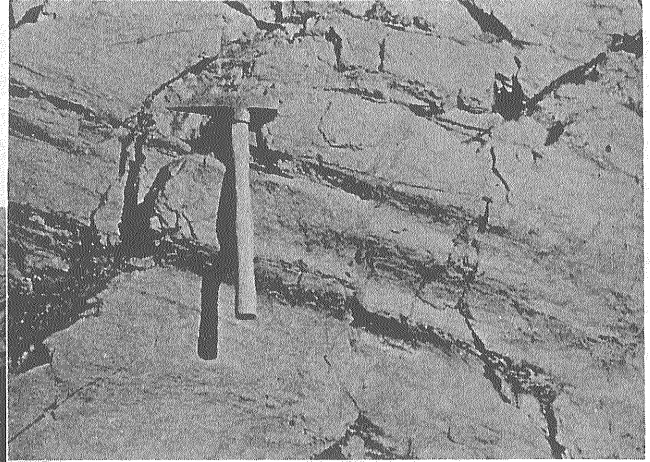
① 粘板岩の微褶曲

② 雲母片岩の顕著な線構造

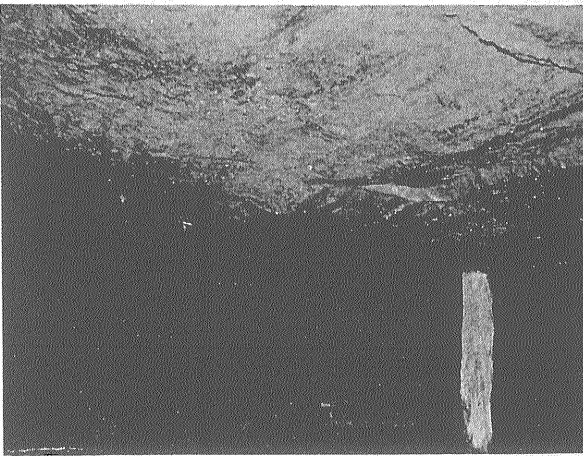


④ 粘板岩の層理面上の滑動線構造

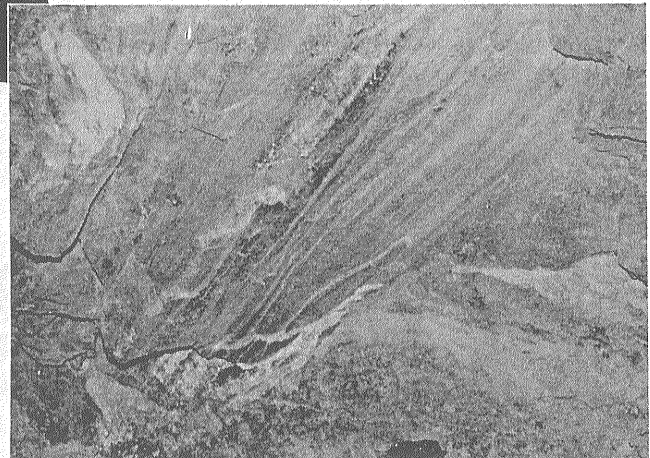
③ 粘板岩の S₁ と S₃ の交叉線構造



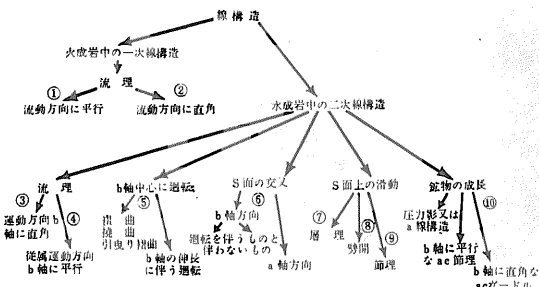
⑭ 山口県波野鉱山付近(三郡帯)でみられる低角度線構造



⑮ 愛媛県新宮鉱山坑内においてみられる低角度線構造



⑯ 徳島県高越鉱山の坑内においてみられる高角度線構造



⑳ 線構造の相互関係 (Lineation: E. CLOOS)

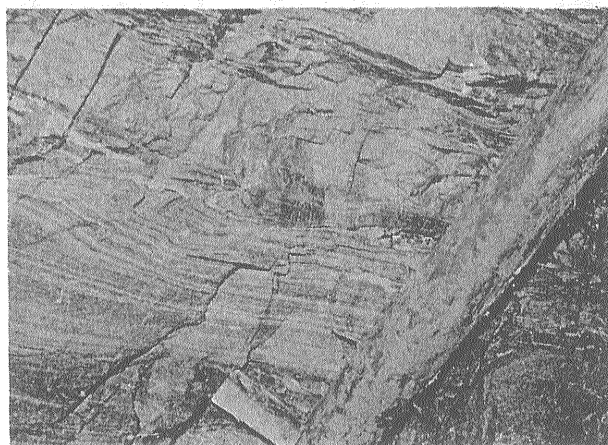
期には部分により軸面片理が発達し さらに結晶片岩の形成末期には細密劈開が発達してくる。

もちろんこの場合も 変成度と構造の地域性によって必ずしも全部の結晶片岩がこのような変形様式をたどるとは限らないが 秀敏 (1961年) は別子白滝地方の三波川結晶片岩の地質構造の解析をこのような観点から試みており 貴重な成果を発表している。

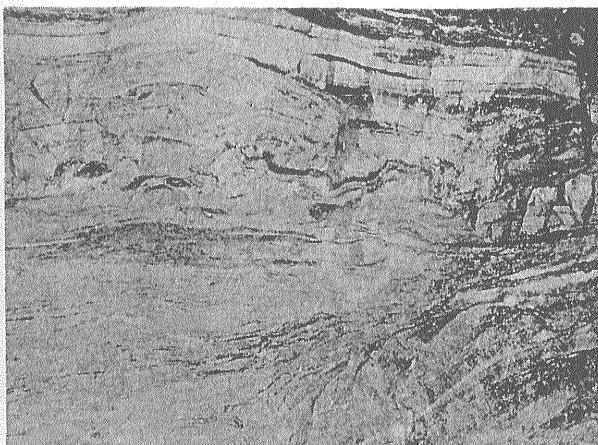
ある地域の変成作用の過程で 同斜状褶曲によって特徴づけられるような早期の構造運動とゆるい波状褶曲などの後期の構造運動が組み合わさると いちじるしく複雑な褶曲形態を構成することになり とくに早期と後期の構造運動の方向が一致するときは解析も容易であるが両者の方向が斜交してくるときは非常に複雑になってくる。この場合はそれぞれの構造要素をたんに集積して野外および室内で解析しなければならない。この解析の方法はシュミット網やウルフ網を使って幾何学的に行なうのであるが すでに小島丈児・鈴木堯士(1958年)

や杉山隆二(1955年)によって紹介されているし また主題から離れるので ここでは割愛することにする。

さて キースラーガーもまた母岩である結晶片岩と同じ変形過程を受けておれば 鉱床の形態を考えると当然以上のような構造解析が必要になってくるし また富鉱体の形成についても 変形様式の変化と共に検討しなくてはならなくなる。先にも述べたように「キースラーガーの鉱体の落しは母岩の線構造に一致する」といわれているが 早期から後期にかけて構造運動の方向が一定して変化しないときは L_{1-2} を測定しても L_{1-3} を測定してもそれらはほぼ等しい値を示すため 探鉱の指針に十分役立つわけである。しかし 早期の構造運動の方向が後期の構造運動の方向と異なっているとき L_{1-2} の性格をもつ線構造も2種類またはそれ以上存在することになり 鉱体の落しが早期の L_{1-2} に一致するのか 後期の L_{1-2} に一致するのかという問題が生じてくる。



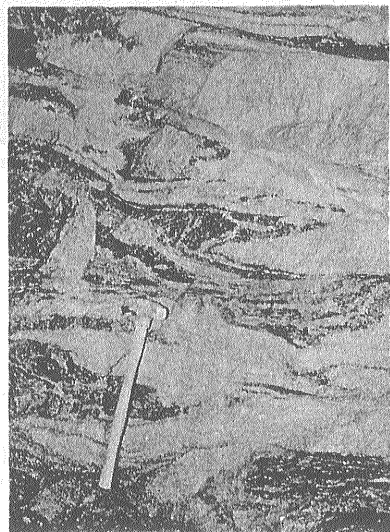
㉔ 別子本山鉱床 8 L 中鉱の同斜状褶曲 (褶曲軸 高角度線構造)



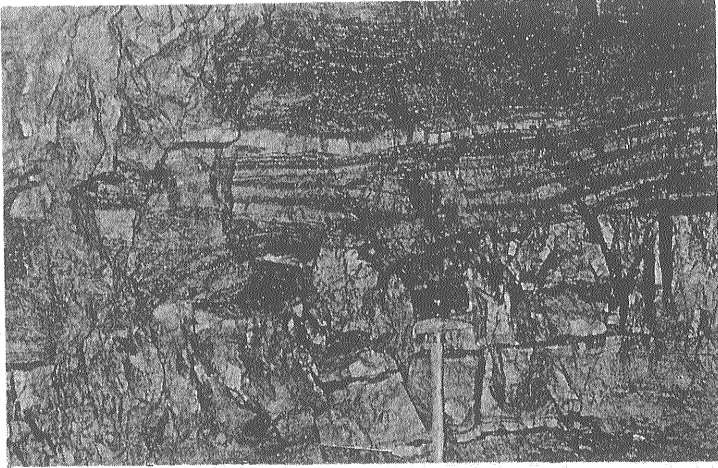
㉕ 別子本山鉱床 8 L 中鉱の層内褶曲 (褶曲軸:高角度線構造)



㉖ 高越鉱床第2区の同斜状褶曲 (褶曲軸:傾斜線構造)



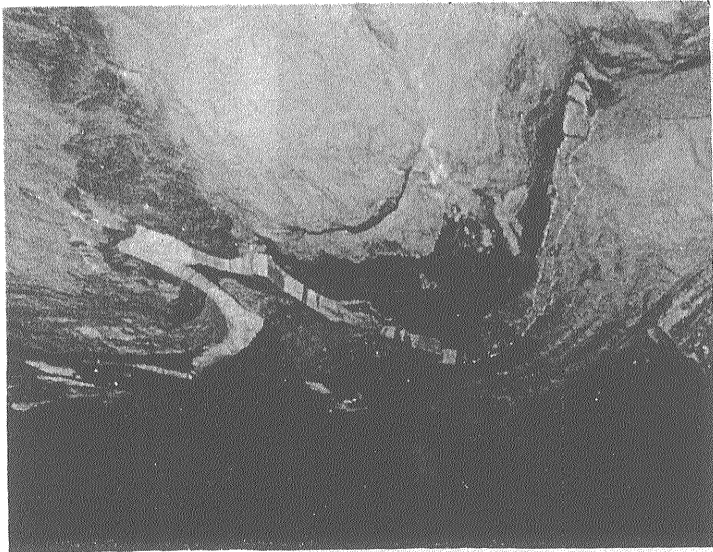
㉗ 高越鉱床第3区の同斜状褶曲 (褶曲軸:低角度線構造)



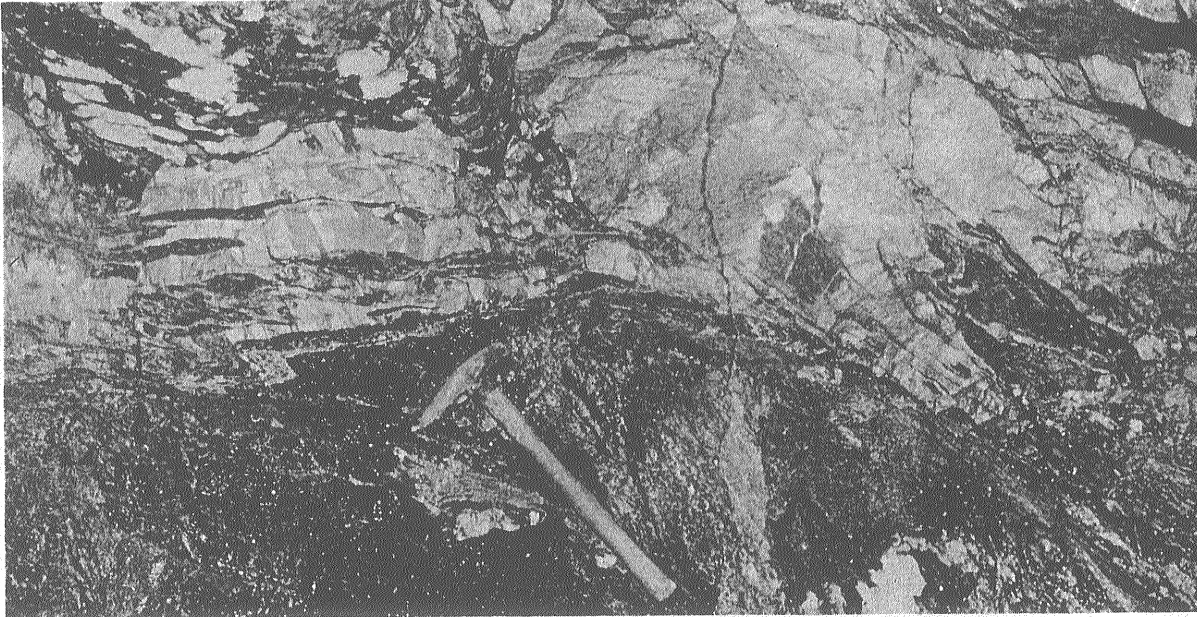
← ㉔
高越鉾床第 1 区の同斜状褶曲(褶曲軸
: 低角度線構造)



↑ ㉕ 高越鉾床において玉鑿と呼ばれる褶曲構造(褶曲軸 : 低角度線構造)



← ㉖ 高越鉾床の第 35 図と同型式の小型褶曲
(褶曲軸 : 低角度線構造)



㉗ 高越鉾床 1 区の同斜状褶曲(褶曲軸 : 低角度線構造)

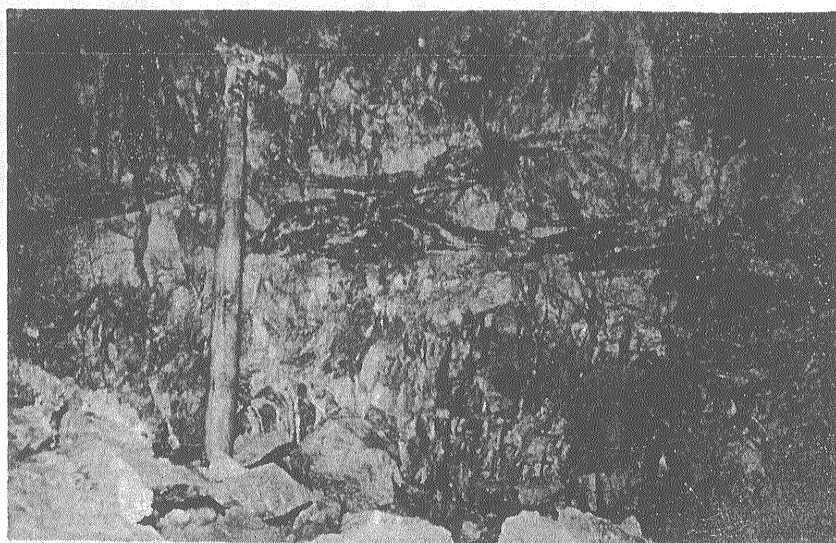
さらに厄介なことに 後期の S_2 面と S_3 面が斜交するときは また別方向の線構造が生ずることになり 母岩の線構造と一口にいても どの線構造かということ を明確にしなければ探鉱の指針を見失うことになる。

これまで調査した結果では 多くのキースラーガーの 富鉱体の形成は 早期の折畳み式的同斜状褶曲と後期の 側方圧縮に伴う両翼の開いた波状褶曲の両方に支配されて おり 劈開面の発達する時期には変形運動を受けるが 鉱体の落しはすでに決定されていたものと見て差し支え ない。しかし 母岩の線構造は S_1 面上にちりめんじ わを構成する L_{1-3} が顕著に発達することが多く これ が鉱体の落し方向を示す L_{1-2} と一致するときは問題な いが L_{1-2} と L_{1-3} の方向が斜交するとき L_{1-3} の方

向のみに頼れば 鉱体の落しの方向を見失い探鉱を誤る ことも生じてくる。以上のような構造的観点から最近 とくに問題になっているキースラーガーの変形様式につ いて述べることにする。

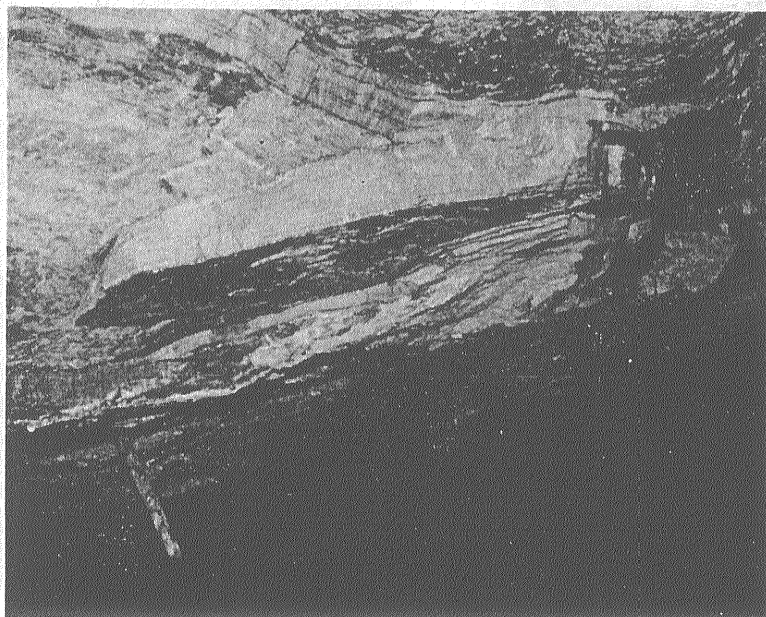
三波川帯のキースラーガーの鉱体の落しは 大きく別 けて低角度線構造に一致するものと 高角度線構造に一 致するものがある。後者に属する鉱床としては別子 ・余慶・佐々連・伊予・久根本山などがあり その他の 大部分の鉱床は前者に属するとみて良い。しかし 高 越鉱床のように両者が組み合わさって複雑な形態を示す ものも存在する。

さて 別子型鉱床の代表である別子本山鉱床について 研究した秀敬(1961年)は 先にもふれたように別子鉱床



←

⑤ 新宮鉱床の鉱体内 部の同斜状褶曲(褶 曲軸:低角度線構造)



⑥ 新宮鉱床の折れ曲り褶曲(褶曲軸:低角度線構造)



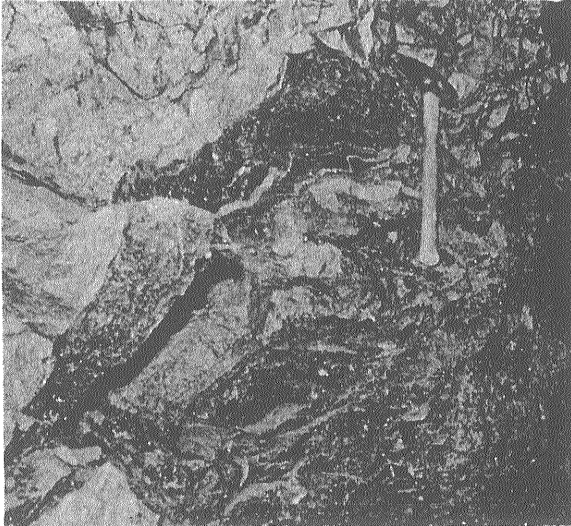
⑦ 名合鉱床恵美須鉱中の同斜状 褶曲(褶曲軸:低角度線構造)

がもともと1枚の鉱体から同斜状褶曲により東側を頂点にしてピンセット状に折り畳まれ見掛け上2枚のような形態を呈したものであるという見解を発表した。また別子鉱床の落しが“く”の字状を呈することについて、鉱床上盤のブロックが層面に沿ってほぼ水平に西側に移動して折畳み状褶曲を形成するときの移動量の差によるものだろうと説明している。またこのような構造

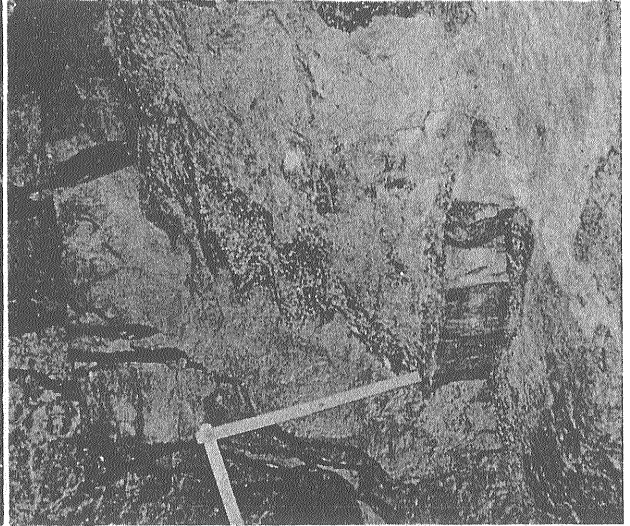
運動は第1次つまり早期の運動とみなしている (第24 25 図)

筆者が調査した高越鉱床においても N30° E の方向の高角度線構造が発達し、この方向の褶曲軸をもつ折畳まれた同斜状褶曲が早期に形成されており、藍閃石の長軸はこの方向に一致して配列している (第26 図)。

また佐々連鉱床においても高角度線構造が早期に発達



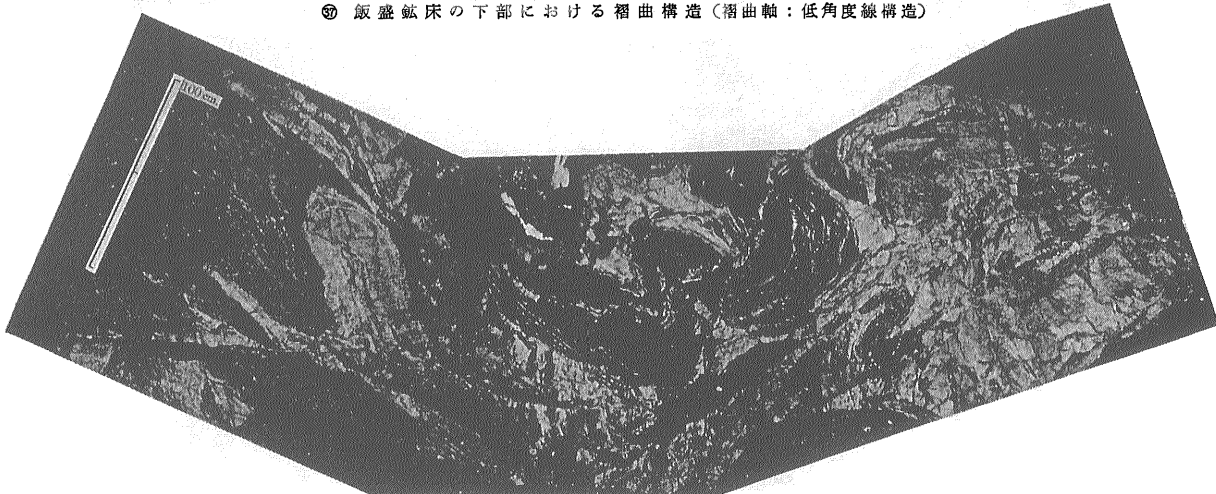
⑤ 大井鉱床の同斜状褶曲(褶曲軸:低角度線構造)



⑥ 飯盛鉱床の鉱体の褶曲構造(褶曲軸:低角度線構造)



⑦ 飯盛鉱床の下部における褶曲構造(褶曲軸:低角度線構造)



⑧ 白滝鉱床 19 L の同斜状褶曲(褶曲軸:低角度線構造)

しており 一般的にみて三波川帯の南北性の高角度線構造は 東西性の低角度線構造に先行して形成されていることは まづ間違いのない事実であろう。

しかし 高越において調査した結果では 早期の南北性の線構造が後期の東西性の褶曲運動により S_1 面が廻転するため 高角度線構造が形成されたものとみなす方が合理的である。 また秀敬が別子鉱床で述べているように 折畳まれた鉱床の上下盤の母岩の層序関係が完全な対称性を示さず 同斜状褶曲の頂点から東にさらに 100m以上ガリ鉱床が連続して延びている(第27—31図)。

高角度線構造に鉱体の落しが一致する佐々連鉱床の金砂籠においても 上籠と下籠の関係が完全な折畳み褶曲による折れ曲りとしては説明の困難な点がある。

このように早期の南北性の高角度線構造を形成する変形様式については未だ完全に解決されておらず この種の構造運動の生成場所の条件や結晶片岩形成期の どのような時期にどのような状態のもとで発生するかということが 非常に重要な問題となってきた。

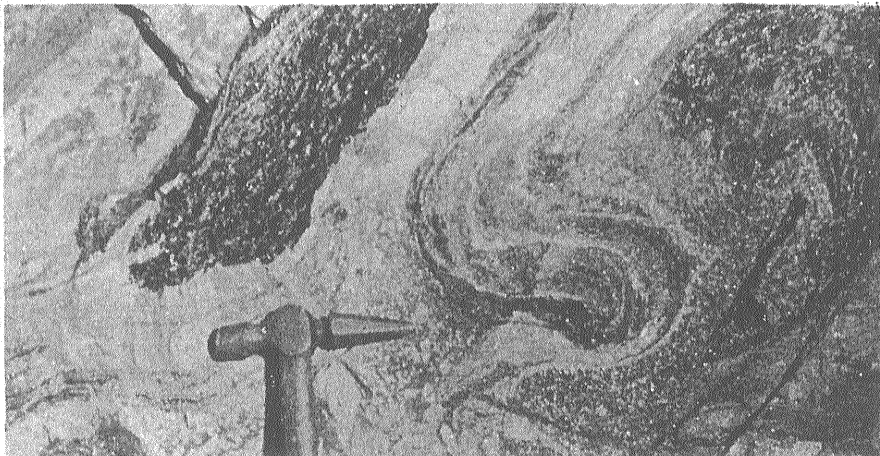
今1つの問題は 低角度線構造の発達する地域の鉱床において 鉱体の落しが母岩の線構造に一致しない例が存在する。 この場合は先にも述べたように鉱体の落しが母岩の S_1 面にみられるちりめんじわ すなわち L_{1-3} の性格をもつ線構造に斜交しているとみて良い。 したがって 鉱体の落しを知るためには 早期の同斜状褶曲軸の方向を測定する必要が生じてくる。 このためには 同斜状褶曲をした母岩または鉱体の定方位サンプルを採り これをダイヤモンドカッターで寸断して褶曲軸の方向を確認することが確実な方法である。

今仮りに鉱体の落しが L_{1-3} とわずかに斜交していても 鉱体の開発が進むにつれてその差は段々大きくなるため 斜坑の方向を決定する際になどに影響してくるので 油断はできない。 このような注意を要する鉱床としては 野々脇 新宮 飯盛などがあげられる(第32—37図)

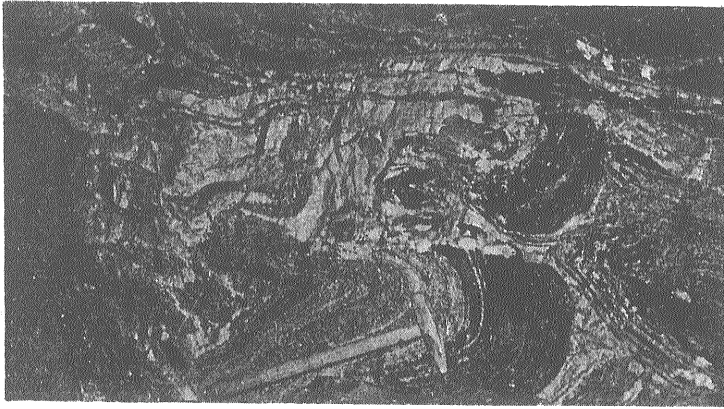
また 早期の同斜状褶曲の褶曲軸の方向と後期の側方圧縮に伴う波状褶曲の褶曲軸の方向が斜交することもある。 この場合は 両褶曲軸の軸部付近に富鉱体を形成する可能性があるため とくに早期の同斜状褶曲の褶曲軸の方向の測定を怠ってはならない(第38—43図)。

最後に 以上のような変形運動による鉱体の賦存状況について 若干気付いた点を述べることにする。

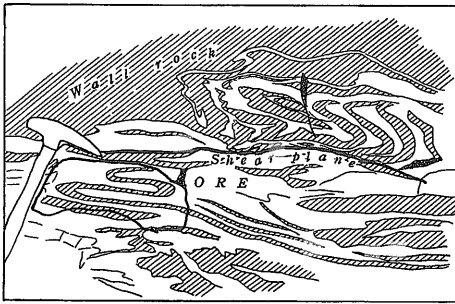
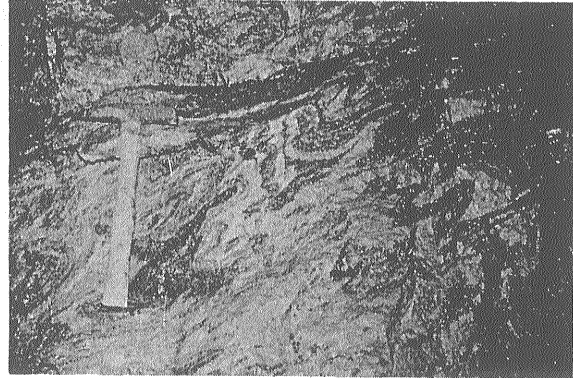
一般にキースラーガーでは いくつかの単位鉱体が存在する例が多い。 この1つの単位鉱体をみると その落しの方向の延長が落しに直角な幅にくらべて あまりにも長く連続しているといえることができる。 例えば 千原鉱床では 落し延長と単位鉱体の幅の比が少なくとも 50:1に達する。 これは広域変成作用によるb軸方向の伸びを考慮したにしても あまりにも落し方向に鉱体が伸び過ぎている。 しかし 千原では同一層準にこのような単位鉱体がほぼ30mの距離をおいて並んでいるので 鉱床の原形を考えると これらの単位鉱体を全部つなぎ合わせて考えてみる必要があると思われる。 また野々脇鉱床では 各単位鉱体間の距離がほぼ 100mの等間隔で一定の層準内に賦存し 各単位鉱体は貧鉱体によって連続している。 これらがもともと1枚の鉱体であって 生成後の変形運動に伴って鉱石鉱物が移動したものと仮定すれば 両鉱体間の中心までの距離約50mの間の S_1 面に沿う物質の移動を考えなければならない。 このような考えを佐々連鉱床に適用すれば 金砂と金泉間は約 450mあり 200m以上の距離を鉱石鉱物が移動することになる。 それはさておき 各単位鉱体間の距離は 比較的一定する鉱床が多いので 未知鉱床を開発するときは構造の類似する地域の既知鉱床の単位鉱体の賦存状況や 単位鉱体間の距離を知ることは探鉱の1つの手懸りとなる。 今回はキースラーガーの形態と構造に関する一般的な問題にのみ止め 次回に個々の鉱床の形態について述べることにする。(筆者は 鉱床部 金属課)



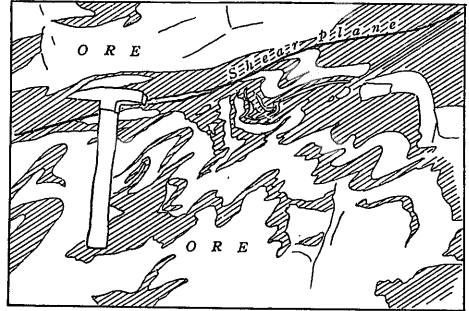
⊗ 白滝鉱床 10 L の同斜状褶曲(褶曲軸:低角度線構造)



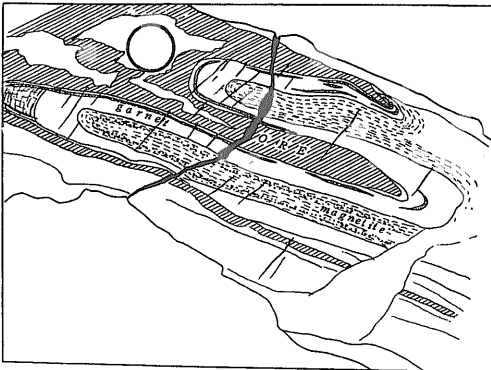
㊤ 白滝鉱床 19 L の同斜状褶曲
(褶曲軸：低角度線構造)



㊦ 積善鉱床の同斜状褶曲 (褶曲軸：低角度線構造)



㊧ 積善鉱床の同斜状褶曲 (褶曲軸：低角度線構造)



㊨ 鉱石の同斜状褶曲 (積善鉱床)

