論文報告

佐渡および明延鉱山の断層搔痕と鉱脈転位の関係 特に探査への利用とその成果について*

正 会 員 野 本 健 吉**

On the Relation between the Striation Directions in Fault Planes and the Vein Dislocations in the Sado and Akenobe Mines

Kenkichi NOMOTO

The writer recognizes that the vein dislocations by the faults in the Sado mine fully coincide with the directions of striations in fault planes. But, in the Akenobe mine, 81% of the vein dislocations by the faults are coincident with the directions of the striations in the fault planes.

The writer describes some examples of the relations between vein dislocations by faults and striations in fault planes in the explorations of the both mines.

1. 緒 言

断層鋸先の探鉱は殊更難しい問題ではない。各鉱山でも多年の経験と地質現象の研究等によりおそらく容易に成果を上げていることと思うが、しかし鋸先が潜在するのは右か左かのただ二つに限られているので、その方向をいずれかに推定する作業は蓋し重要である。鋸先探査の方法はすでに数多くの研究者によって発表されているが、ややもするとその活用を誤つたり単なる勘に頼つて探査を推進めたために苦い経験を嘗めている場合が案外多いのではないと思う。さてわが国でも鋸先探鉱方法に関する神田礼治¹⁾、若林弥一郎²⁾等の優れた図法がある。これは断層搔痕を利用する方法で、特にその測定が正確であつた場合はよく成功することが既に報告されているが、これを実地に応用する際、その搔痕の解釈と測定、断層と鉱床の走向、傾斜およびそれらの交角の図法的組合せ等々の変化とその結果とが驚ろくほど多岐に亘るので、鋸先転位の方向を迅速に決めるには相当の経験、熟練および深い思慮が必要であるがそれは後述の講演集³⁾を参照願いたい。筆者は昭和10年以来佐渡および明延鉱山においてこれ等の資料と経験を集積し、新探鉱余地の発見、鋸先の捕捉等に成果を収めかなりの鉱量を獲得した。この研究の一部は既に昭和34年、日本鉱業協会主催の現場担当者会議⁴⁾の席上で講演したが、更に残

余の資料と新しい事例および成果を蓄積したので、ここに併せてこれらを取纏めて発表し、各位の御叱正と御批判を賜りたいと念願している。

2. 断層鋸先探査に関する諸法則とその適否

断層鋸先の探鉱法については幾多の法則が発表されているがこれらの法則を実地に適用し、種々検討してみた筆者の経験からまずその適否について若干の見解を述べる。その前に断層分類上の呼称を次のように定義(筆者私見)して混乱を避けることにする。

まず平面上の形態で、鉱床と斜交するものを斜交断層、鉱床中に存在してその走向、傾斜とほぼ平行するものを走向断層、鉱床の走向に平行するがその傾斜を異にするものを走向斜交断層と呼称して置く。次は断面上の形態で、見掛け上、断層上盤が落ちているものの内、断層面上の滑り角度⁵⁾が水平方向に対し45°より大きいものを正断層、同角度が45°以下のものを横摺れ断層と呼ぶことにする。

さて断層鋸先を求める法則の内、まずC. Zimmermann³⁾法が最も有名であるが、この図法は断層の滑りをdip slip. すなわち重力方向とする仮定を立てているため、いかなる断層にもこれを画一的に適用することは危険であるし、後述の事例にも示しているようにこの法則が適用できない場合が意外に多い。またJ. C. L. Schmidt⁴⁾の「鈍角、鋭角の法則」もそのプリンシプルはZimmermann とほぼ同様であるため、その適用はやは

* 昭和38年2月12日受理

** 三菱金属鉱業株式会社明延鉱業所地質課長代理
(現在 同社妙法鉱業所探鉱課長代理)

a) この研究は昭和34年5月、日本鉱業協会、日本鉱山地質学会共催の第6回全国鉱山探査現場担当者会議席上でその一部を講演した。

b) 筆者はこれを「紙型角度」と呼んでいる。

第1図 断層断層を求める簡易図法 Oct. 1958 By K. NOMOT

り危険が多い。次に R.V. Carnell⁵⁾ の法則は Schmidt 法則に若干の注意事項を加えたに過ぎないので、その適用は躊躇される要素を多く有している。次に前述した若林法則⁶⁾ は以上の法則の欠点を補い、特に断層断層を利用した関係上前記法則に比べて遙かに優れている。しかしその図法が煩雑なために断層断層の方向を一刻も早く知りたいという現場の要求を満たすには若干の欠陥を持っている。筆者はこの図法を更に研究し H. S. Palmer⁶⁾ の共線図法等をも取り入れてだれにでも容易に、かつ迅速にその結論が得られるような簡易図法⁷⁾ を考究し、既に多くの成果を挙げているが、その図法を第1図によつてここに紹介する。すなわち同図Aの換算図表によつて、断層の傾斜をA軸にとり、断層の著し角度(断層に対し

c) 若林法則というのは断層が断層に切られた場合、平面上で断層と断層との交点線を描き、これに断層の傾斜を組合せ、交点線に対して断層の傾斜の横たわる側に断層が断層していることを教えるものである。

ては偽傾斜)をB軸にとり、A、B軸上の点を結んだ延長線とC軸との交点を読み断層と断層Sとの平面上の交角が得られ、これによつて同図(a),(b)に示すような算定式で断層方位が算出できるので、次に同図Cのように例えば既知断層が断層下盤側にある場合には断層と断層との交点線Iに対して断層Sの在る側に断層を求めるべし。

また既知断層が断層上盤側にあるときは同図DのようにI₁, S₁線を反対側に延ばしたそれぞれI₂, S₂線に基づいて上述の手法で断層を探断すればよい訳である。

なおこの交点線Iを容易に作図するためには同図Bのような図表を用いてある下部に断層と断層の推定線を描くと極めて便利である。なお同図法に断層断層を利用して断層断層を求めることもできるがその簡易図法は後掲第5図を参照されたい。

次に断層断層の測定にはユニバーサルコンパスが便利であるが、この作業は単に断層断層を測定する以外に付近の地質現象等も併せて調査する必要がある、それらを考慮するとその作業速度は果してこのコンパスによることが有利かどうか

かは、なお検討の余地もあるし更に筆者は他日いろいろな再検討の機会に役立たせるために断層断層用紙⁸⁾を考案し、常にクリノメーターを使用して断層断層型⁹⁾および特に断層断層の著し角度¹⁰⁾等を詳細に記録することにして

3. 佐渡断層の断層断層と断層断層

3.1 地質断層の概要(第2図参照)

佐渡断層は佐渡島の北西に位置し、その歴史は古い(1601年発見)詳しいことは麓三郎⁹⁾の著書を参照されたい。

断層地域の地質断層についてはすでに市村賢一¹⁰⁾が詳述されているので、ここではその概要だけを述べる。付近の地質構造は佐渡島の特異なNE系の地形と密接に関連し、特にNW~SE方向からのCompressionによ

d) 断層断層の著し角度は断層に対して偽傾斜の関係となる。

りNEおよびEW系の二系統の主要な裂口（鉱脈）と同じくNE, EW, NS系の三系統に大別される剪断帯（断層）とを生じたものと推測されているが詳しいことはわからない。鉱山の地質は古生層を基盤とする第3紀中新世下部と推定される厚い堆積岩からなり、それらは下部より石英粗面岩質凝灰岩（OG層）、熔結凝灰岩（KS層）、頁岩、砂岩の互層（HS層）、安山岩質礫凝灰岩、泥岩（LMK層）、安山岩質緑色凝灰岩（UMK層）等の累層に分れているが、これらはその後に侵入した岩株状の大立石英粗面岩（OTL）と、更に後期の安山岩岩脈（KAD）等によって鉱山の地質を構成している。堆積岩の層理は大立石英粗面岩岩株を中心にいずれもその外側へ緩傾斜しているようである。

鉱床はこれらの中に胚胎する浅熱水性裂口充填型の含金、銀、銅、鉛、亜鉛、石英、氷長石脈で、主要鉱脈の数は7本であるが、その内最大の規模を有する青盤脈はEW系に属し傾斜は 60° NまたはSに転ずる「冠返し^{c)}」脈でその水平延長は約2,100m、深度は500mであるが後述の平行断層関係から社内総合調査¹¹⁾後筆者が更に再検討した結果、大立脈（EW系、傾斜 50° ~ 80° S、水平延長1,500m、深度750m）との関係は筆者らが従来からとってきた結論通りに、両者はもともと一連の鉱脈であることが確認されたので、大立脈の深度を加えると青盤脈の深度は実に約1,250mに達するものでわが国でも屈指の大鉱脈といえよう。これらの脈幅は約5~30mであるが、その他の鉱脈も水平延長600m以下のものは稀である。

c) 上下で傾斜が反転する鉱脈を佐渡では「冠返し」脈と称し、この現象は数多く見られる。

第2図 佐渡鉱山地質鉱床図（通洞レベル）

しかし現在は大方水没してわずかに月当たり1,600tの珪酸鉱を出鉱しているに過ぎない。なお大立脈の最下低部高任15番坑は概して脈勢良好で部分的には十分稼行に堪える鉱量を有していた。

3.2 断層群の概要（第2図参照）

断層群はいずれも斜交正断層または斜交横ずれ断層であつて、その主要なものは概ね大立石英粗面岩岩株の辺縁部に生成し、しかもこの岩株の形態と密接な関連があるようである。これらの内、最大の規模を有するものはEW系の平行断層と呼ばれるものでその延長は約1,400mにおよび、垂直落差は東の方では190mであるが西端部ではわずか40mに漸減する典型的な蝶番断層である。

次にNS系の乙断層と称する約300mの落差を示す佐渡鉱山唯一の pre-ore-fault があり、この断層は post-ore にも滑動して、更に100~130mの落差を有しているために、主要な鉱床並びに地質現象に対して複雑な影響

第1表 主要な断層の性状（第2図参照）

生成順位	断層名	走向	傾斜	坑内の確認延長		交差する鉱脈および層	Striation 記事			転位距離		備考
				水平	垂直		方向	転位の関係	測定数	水平	垂直	
1	平行断層	N70°~90°E	50°~75°S	1,400m	450m	大立脈、青盤脈、乙断層、杉右エ門断層	S50°E~S70°E	一致	27個	65m?	40~190m	蝶番断層、水平転位は断面図で算出
2	乙断層	N15°W~N30°E	60°~70°E	600	450	鳥越脈、七助脈、大立脈、青盤脈、平行断層	S12°W~S60°E	一致	31	通洞鳥越で55m	100~130m	pre-ore の落差は300m以上
3	杉右エ門断層	N5°~38°E	30°~60°W	800	450	青盤脈、平行断層	N54°~80°W	一致	16	高II青盤脈で85m	70m±	bedding-slip
2	57号断層	N43°E	68°SE	100	150±	鳥越脈	S75°E	一致	1	20m	30m?	通洞で測定
2	15号断層	N30°E	50°W	100	60	青盤脈	N1°E	一致	1	15m	20m?	大立Iで測定
2	丙断層	N58°E	50°NW	70	200?	青盤脈	N76°W	一致	1	30m	30m?	大立IIIで測定
2?	45度断層	N20°~55°E	40°~55°E	500	60	道遊脈	S42°~81°E	?	15	?	40m±	ほぼ dip-slip
1	鳥越走向断層	N74°W~N72°E	60°S~53°N	1,600	300	大切脈、鳥越脈を縦走	S71°~84°W	一致	60	10m±	5m±	主脈にのみ伴う

第3図 平行断層の撓痕と乙断層との生成順位関係図

をもたらしている。なお pre-ore の乙断層は三枝守維¹¹⁾によつて発見、指摘されたものである。またNE系の断層も極めて多く観察されるが、その内昭和10年以降筆者の解明した主要な断層の性状を概括して表示すると第1表のとおりである。

3.3 断層の撓痕と鉱脈転位の関係

(1) 平行断層、青盤脈の走向とほぼ平行し、その下底を大きく切つているので古くから注目されてきた断層で、その下盤錐先を大立脈と称して両者は脈名を異にし古来その関係はしばしば論議的になっていた。その後総合調査¹¹⁾の結果、断層両盤の層序の食違いに疑問を生じ、したがつてその落差にも疑問の点が出たので青盤脈は大立脈の分岐脈、または別脈ではないだろうかといわれたが、その後再び筆者は諸資料を整備しながら、そのkey point となるE22号付近の横断面図 (断面の方向N18°W)⁷⁾によつて研究し、予てから筆者が提示していた落差160mを復元して作図した結果、平行断層上下盤の層序関係および両脈の関係はともに完全に相繋がつて青盤脈はこの断層で切られた大立脈錐先であることが再確認された。この断層は筆者の研究結果では東から西に向つてその落差が190m→(第7図B)160m→60m→40mと漸減する蝶番断層であるという新事実を同時に確認することができた。

次にこの断層は乙断層にほぼ直交するもので、その生成順序を詳細に考究した結果第3図に示す筆者の撓痕調査その他によつて、平行断層が乙断層より先に生成したことが明らかとなった。この結果乙断層以東は大立脈錐

先の潜在が十分推測され、したがつてここに有望な新探鉱余地の賦存することが明確となり、漸く後述のような探鉱成果を挙げるに至つた次第である。なお参考のため

第4図 乙断層の撓痕と鉱脈転位の関係図
 A 断層と鉱脈の関係 (通洞)
 B 乙断層の撓痕と鳥越脈の転位の関係
 C 乙断層の撓痕と七助脈の転位の関係
 D 正断層の説明図 (乙断層上下盤の模式横断面図)

第4図 乙断層の撓痕と鉱脈転位の関係図

この推測の基礎になった興味ある現象を第3図によつて述べる。

すなわち乙断層は既述のように大立石英粗面岩の岩株の形態に支配されているためにその走向をNS~NE~SWに変じながら彎曲して伸長しているの、その局部的な走向だけにとらわれてこれをそれぞれ延長すると第3図(1)Aのような関係が成立する場合もあるし、また同図(1)Dのように生成順序が曖昧に見える個所もあったために古来から平行断層後成説が強い勢力を持っていた。しかしその後筆者の擾痕による図法研究結果によると同図(1)Dの関係は同図(1)Eに示すように、断層相互の交会線と乙断層の擾痕の方向とが全く一致するので仮りに乙断層に切られた場合でも平行断層は見掛上全然転位しないという特殊な実例であることが判明し、平行断層の生成を先と考え出した筆者の解釈は同図(1)Dの場合にも成立することが確認され、また他の同図(1), B, Cのような資料とも併せて研究した結果前述の結論に到達した。その関係を模式的に示すと同図(1)Fのとおりとなる。

(2) 乙断層、乙断層はその滑动の前駆になつたと思われる pre-ore の乙断層があるが、以下乙断層と称するものは post-ore の乙断層のことである。なお pre-ore の乙断層はわずか1~2cmの断層粘土を有するに過ぎないものであつて肉眼的には全く鉾化作用は認められない。この断層は第4図Aのような単なる見掛けの鉾脈転位関係(鳥越脈と七助脈の転位は反対となる) だけから蝶番断層¹²⁾といわれたりあるいは逆断層であろうという説がしきりに唱えられていた。しかしこの断層に切られる同図A, Dに示す青盤脈は冠返しを演ずる鉾脈で、これを乙断層の上、下盤別の横断面図で検討して見たところ同図Dのように、傾斜の反転する冠返し地点を対比すると上盤側の青盤脈が落ち込んでいるので(落差130~160m?)正断層であることがほぼ明らかになった。次に乙断層の擾痕を調査し、鉾脈転位の関係を図法的に研究して見ると第4図B, Cおよび第5図の通りとなり、紛れもない横摺れ正断層であることが明確となった。また落差を第5図に

よつて図法的に求めると鳥越脈付近では125m、青盤脈では113mとなつた。綜合調査¹¹⁾の結果ではこの落差は青盤脈で110~130mと推算され、前述の図法数値とほぼ一致したが鳥越脈ではかなり相異していたが、その後筆者の資料(第7図(3))によつて再検討し、断面図を作成し直してみると第6図Aの破線のように青盤脈ではKS層の厚さが綜合調査時の110mに比して170mと厚くなることが判明した。この厚さを考慮して鳥越脈の断面図を作図し直すと同図Aのように層序の食違ひは約120mとなり図法上の落差125mと全く一致するに至つた。なお第5図について落差を図法的に求める方法を付記して置く。すなわち同図Aの乙断層Fによつて青盤脈V₁は擾痕線Sの方向にO点迄転落(透視図的に見ると)している場合で、これを説明すれば鉾脈V₂と乙断層Fとの交会線はFOI₁となるから、擾痕線SとFOI₁との交点Oは

A 乙断層と青盤脈の転位(通洞レベル)
B 乙断層と鳥越脈の転位(通洞レベル)(図法落差は125mとなる)
C 乙断層の主要な擾痕(SD: 擾痕の著し角度)

第5図 乙断層の擾痕と転位ならびに落差の図法関係図

(1) 大切、鳥越脈地質縦断面図
(2) E33号地質断面図 (LMKを野本が修正)

第6図 KS層の厚さと乙断層および平行断層の落差関係図
(三枝守純, 野本健吉調査図)

第7図 乙断層錯先の推定と探鉱成果の概要図 (通洞レベル)

V₁の断層接触点がこの断層で滑り落ちた位置に相当する。次にO点から断層Fに垂線を下せばこの垂線は同図④となり、その長さは31mとなり断層の平均傾斜75°を底角として④31mを底辺とする直角三角形を画けば、この垂辺113mは乙断層Fの垂直落差を表わすことになる。同図Bも同様な図法で④88mを求めた上で鳥越脈の落差125mを算出した訳である。

さて第4図Aのように、乙断層以東の鳥越脈は南に転位しているのに反して、七助脈は逆に北側に転位して一見矛盾しているため前述した諸説が生じる原因となつたようであるが、筆者の調査した搔痕を図法的に研究した結果第4図B、Cのようになってこれも横摺れ正断層であることを指摘しているの、乙断層の性格を漸く明らかにし得たのである。

このような転位関係は鉦脈と断層の両方、またはいずれか一方が甚だしく緩傾斜の場合であるとか、さらに両者が交叉する角度の如何によつては常に起り得る当然の現象である。すなわち搔痕の見掛けの向きと反対の側に鉦脈が転位している極めて興味深い実例であり、いかにこの図法的解明が重要であるかということを教えている。

さて乙断層が横摺れ正断層であつて、しかも平行断層後の生成であることが明確となつたので、第7図(1)のような推測に立つて大立脈の錯先探鉱を実施した結果、

同図(2)、(3)のように期待通りの富鉦脈「東大立脈」を発見することができた。

なお平面上の大立脈の見掛けの転位は同図(3)では少ないが地表では20m余となつており、これは断層両側の鉦脈傾斜が相違するための当然の現象である。また pre-ore 乙断層の搔痕の方向が第8図のように post-ore 乙断層のそれとは逆になつてゐることは注目を要する。

(3) 杉右工門断層 HS層の層理とほぼ平行に bedding-slip した断層で、その搔痕と青盤脈転位の関係および落差等を図法的に研究したが、転位は搔痕の側に一致し、また層理の食違ひもほぼ図法上の落差に一致している。しかし鉦脈転位の向きは見掛けの搔痕の向きとはやや反対になつてゐることは、これまた乙断層の搔痕の場合と同じであり探査上注意を要する事例である。

(4) 45度断層 この断層は佐渡鉦山の象徴ともいふべき最大脈幅30mの道遊脈の下部を切断し、地表では鮮かな鏡肌が延々と伸びる断層面上に発達し、その上盤断層面には nail-head 型の搔痕のお

第8図 鉦床生成前、後の乙断層の搔痕の対比 (三枝守雄、与良三男、野本健吉調査図)

- f) 東大立脈は別名を東青盤脈と呼称しているが、その線行可能な水平延長は約120m、深度200m以上で、脈幅は2~7m、品位Au 3.5~1,000g/t; Ag 60~500g/t、鉦量100,000t以上を発見した。
 g) 道遊脈は既に探掘済で露頭部は割戸を呈し、佐渡鉦山紹介の写真に利用されている。この脈は青盤脈錯先ではないかと云われてゐるが更に検討を要する。

第2表 擾痕による適中率

断 層 系	測定箇所数	擾 痕 と の 関 係		一 致 し な い 12 個 所 の 理 由 別 資 料			
		一 致 す る	一 致 し な い	擾痕と交会線が 近接している	岩脈に沿う断層	断層の錯綜する 場 合	そ の 他
N	25例	19例	6例	2例	3例	1例	1例
N	17	13	4	1	1	2	0
N	3	3	0	0	0	0	0
E	17	15	2	0	1	0	0
計	62	50	12	3	5	3	1
%	100%	81%	19%	25%	42%	25%	8%

よび波型擾痕が各所ともに全く平行しているのが見られる。筆者はこの nail-head によつて逆断層ではないかと推測してその錐先を検討していたが、KS層の層序が正断層の食違いを示しているので三枝¹¹⁾によつて修正された。しかしなお検討の余地があるけれども擾痕の型だけでは断層の正逆性の判定は困難であることがわかった。

(5) その他の斜交断層 その他15号断層による青盤脈の転位、57号断層に対する鳥越脈の転位、青盤脈と丙断層の関係、その他数多くの実例でもその転位と擾痕は図法的に全く一致している。

筆者はこれ等の組織的な研究を経て、佐渡鉱山の断層錐先探鉱に相当の成果をあげることができた。

(6) 大切、鳥越走向断層 大切脈、鳥越脈は乙断層のそれぞれ以西、以東錐先に対する呼称で実際は同じ脈である。その水平既知延長は1,800m、深度550m、脈幅5~20mで特に東端の勘太夫地区では黄銅鉱に富むため戦前は重要な脈であつた。その走向はN70°E~EW、傾斜70°~80°NまたはSで、冠返しを演じている。

この鉱脈に随伴し、その全延長に亘つて(水平、垂直共に)一連の post-ore の鳥越走向断層^{h)}が脈中を縦走しているが、この断層面に発達する擾痕を全延長(水平垂直)に亘つて調査したところ、各所で全く類似するやや西落しの特徴的な擾痕⁹⁾が観察されるので、これを鳥越脈本錐の錐押探鉱の重要な手掛りにして、該脈上部開発に成果をあげた。すなわち本錐とはば類似の優勢な分岐脈が出る場合でも、徒らに分岐脈を追跡することを一時見合せて、まずこの擾痕を頼りに本錐開発の促進を適切に遂行することができた。この特徴的な擾痕は恐らく鉱脈が冠返しを演ずるために、これに応じて走向断層にも恐らく同様に冠返し現象が惹起したために断層運動はその傾斜の屈折する「折れ目」に沿つて緩く西に滑動したものである。

したがつて逆にこのような特徴的な擾痕を有する走向断層を伴う鉱脈は冠返しを予測できる場合もあるのではないかと考えられるので探査上一応注目する必要がある。

h) 開発上重要な断層なので筆者が特に命名したものである。

以上のように断層擾痕を利用した図法研究の結果、佐渡の主要な断層と鉱脈転位の関係はことごとく一致し、また錐先探鉱の結果でもその適中率は非常に高いことが判つた。勿論100%の適中率を期待することは困難ではあるが、断層擾痕の研究と利用によつて探査の成果を高め得る事実が確認されたので、これをさらに研究し広く他の現象にも応用すれば一層の成果を期することが可能であると思う。なお一般的に観るとNE系断層はEW系断層より後に生成している。

4. 明延鉱山の断層擾痕と鉱脈転位

4.1 地質鉱床の概要

明延についてはすでに三枝¹³⁾によつて詳しく報告されているので、ここではその概要だけを述べる。

鉱山付近の地質は古生層に属する緑色岩類、粘板岩、砂岩等の堆積岩を主とし、これらを閃緑岩、安山岩類、珪長岩等が貫いている。鉱脈はこれらの堆積岩および閃緑岩中に胚胎し、安山岩類、珪長岩等の岩脈に切られている。

鉱床の主要なものは、NW系張力割目と、EW系、NE系の剪断割目とからなっている Xenothermal 型の含銅、錫、タングステン、鉛、亜鉛、螢石、石英脈で、命名された鉱脈数は95本に達し主要脈の水平延長は大略500~1,500mに達し、脈幅は0.2~3.0mと激しい変化を示している。

鉱区中央には南北に走る明延断層があつて、地層を大きく西に落しており、明延の作業区域はこの断層を境として東部と西部に大別されている。坑内で観察される断層の中で、最も数多いものはNE系でこれに次いでNS系、EW系のものが発達しているが、NE系の断層は一般に鉱化作用の前後共に滑動し、鉱化作用を蒙ると同時に鉱脈をも転位させている点は佐渡の場合と相異している。

これらの断層面には、しばしば擾痕が観察できるが、その水平転位は最大約40m、垂直には約40m以内であるが、最近明延鉱業所の阿部昌夫の研究によると明延断層の見掛の水平転位は約130mと推定されている。

後述する断層の研究は主として筆者が後日の担当区域

となつた西部地区(世谷, 刈谷, 藤井)において実施したものである。なお世谷地区四脈, 七脈(第10図(3)参照)は緑色岩と砂岩の境界付近でともに冠返しを演じている現象は佐渡と同様で興味深いことである。

4・2 西部地区の断層撓痕と鉦脈転位

明延では断層系による鉦脈転位の向きには統計的に見るとそれぞれ一定の傾向または習癖が認められるので、鉦先探鉱はこの習癖に従えばある程度の成果を期することはできる。明延の断層群はNE系, EW系, NW系, NS系に大別できるが、しかし断層の走向は常に直線的ではないから、例えばNE系と考えられるものも、その延長地域ではEW系に属する走向に変る場合は非常に多い。ところが明延ではNE系断層の転位の習癖とEW系の断層転位の習癖は全く逆であるために地域によつては探鉱方針を迅速に決定できないことがある。またNE系とEW系の分類は厳密に考慮するとわずか1°の差で系を異にするため、走向系による断層転位の習癖だけに依存していると思ふ失敗を招くことがある。筆者はこの観点に立つて断層系の習癖を白紙に戻してまず断層撓痕の図法研究を行ない、これと習癖による適中率とを比較した資料およびその他について以下述べる。

(1) 断層撓痕と鉦脈転位の関係およびその検討 既に転位関係の判明している断層と鉦脈との関係を62の実例に基いた撓痕による図法研究結果に従つてその適中率を示すと第2表の通りになる。

(1) 撓痕の認められない断層と鉦脈転位の関係(智恵門5号脈200'W10号)

(2) 断層が錯綜する場合

A. 転位と一致しない断層撓痕 刈銅0'W10号

B. 再調査後の断層, 鉦脈および撓痕の関係

第9図 粘土断層および断層帯の場合の鉦脈転位の関係図

すなわち撓痕を利用した場合の適中率は81%となつてゐる。ただしこれは geological-data に基づいて断層運動を正として取扱つたものである。次に同様の事例によつて同じく明延の断層系に基づく習癖による適中率を調べると67%となり撓痕による方が相当高い適中率を示すことがわかつた。

さて撓痕を利用しても適中しなかつた19%, 12個所の状況は第2表右欄に表示したとおりであるが、その内最も適中しなかつた例は鉦床後の岩脈に伴う断層の場合であつた。次に適中しなかつた以上12個所についてそれぞれ多い例から順を追つてここに総合検討を行ないながら、探鉱上の気付いた事項を述べる。

a. 岩脈に伴う断層: 適中しなかつた断層は岩脈貫入の前後ともに滑動したものと推定されるが、一般に岩脈先では鉦脈の転位する場合と、転位しない場合とがある。転位している場合は岩脈導入の原因となつた岩脈前の弱線の滑動が転位の主力になつたものと解される。次は岩脈に沿つて鉦脈を切つている断層が果して岩脈貫入前のものか、あるいは貫入後の生成によるものかは容易に鑑別し難い。この種の断層撓痕と転位が一致する場合と一致しない場合とがあるが、一致するものは恐らく岩脈貫入前の断層が、貫入時の圧力でそのまま押し上げられて残留している場合であり、また一致しない断層は岩脈後の弱線が再び滑動したためにそれが古い断層に取つて代つたか、または古い断層が岩脈に食い潰されて残つ

ていない場合のいずれかではないかと思われるが、どちらにしてもこの種の断層撓痕と転位が一致しない事例が5個所もあるので岩脈先の探鉱は一応長孔で探る方が賢明である。

b. 撓痕線が鉦脈と断層との交会線に近接する場合: 断層や鉦脈の走向, 傾斜は場所によつて著しく変化することはいうまでもないが、これをクリノメーターやユニバーサルコンパスでその一部分を測定した場合、往々その general-trend と相異なるために、そのわずかの違いで図法上、撓痕線と交会線が近接したり、あるいは撓痕線が交会線の右または左側に移るような事が時どき生じるので鉦脈転位が適中したり、適中しなかつたりする場合が生じる。これは現場の状況に応じてそれぞれ3個以上の測定値の平均

i) 筆者は走向約 N23°~67°E の範囲のものを便宜上 NE 系とし、また N68°E~S68°E の範囲のものを EW 系として取扱つたので両者分類上の差はわずか1°となる。

を採用するとか、またはその general-trend を用いて作図するという考慮を払う必要がある。その結果適した例がその後の検討結果、数例出てきている。

次に擾痕が一見して水平の場合は必ず3個所以上の測定値を検討し、正しく落しの向きを決定することが望ましい。

c. 断層が錯綜している場合：一般にはこの場合に擾痕の観察が困難で、転位の判定が難かしくろうと想定されがちであるのに反して、前表のように12個所の実例中で転位の一致しない場合がわずかに3例に過ぎない。またこの3例の内でも後日よく観察すると二次的な断層の擾痕を誤って測定したために第9図(2)Aのように一致しなかったことがわかった。すなわち一次の断層は鉱石鉱物の条痕を伴った擾痕を有し、明らかに鉱脈を切っているが、先に測定した二次断層はこの切羽では一次断層を切っているが鉱脈は切っていない。更に一次断層の擾痕を用いて作図した結果、第9図(2)Bのとおり転位が一致した例もあるので、一般に広い断層帯で錯綜している断層群の擾痕を手当たり次第測定することは慎むべきである。

d. 擾痕不明の場合：断層が粘土化していたり、ひどく揉めているために擾痕が観察できないこともある。幅数cmの粘土化断層で、しかも錐押坑道の加背範囲でその擾痕が認められないような場合は比較的その転位量は僅少で、その錐先探鉱は意外に容易であつた一例を示すと第9図(1)のとおりで、その他乙姫脈、刈銅脈にもこれに類する多数の例があるがしかしこれを一般に適用できるかどうかは検討を要する。ただし仮に相当量の転位を生じていながら擾痕の認められない場合は遺憾ながら筆者の図法解明は不可能である。このような事例に遭遇した場合は断層の習癖とかチンメルマン図法および詳細な地質現象等の総合検討の結論に基づいて長孔探鉱、もしくは必要に応じて試錐探鉱を実施せざるを得ない。

(2) 四脈断層の研究とその成果

j) この断層は最近阿部昌夫の研究によると鉱液導入の弱線らしいといわれているが更に検討を要すると思う。

k) 従来世谷四脈は単純な1枚の脈と考えられていたが、四脈断層の研究結果、2枚の割目に分類され、東側を四脈、西側を四脈西鉱体と呼ぶことにしたが、この割目の配列を再構成した結果、探査に大いに役立つ。

の断層は従来から判明していたが、特に注目されていなかった。走向は約N80°Wで北に50°~80°傾斜し、上部200尺坑道では安山岩岩脈に伴なつて、岩脈とともに四脈西鉱体を切っているが、下部700尺では岩脈の走向が急激に変化して岩脈はこの断層と離隔してう。この断層は筆者の研究の結果、後述の如く重要な意義を持つているため特に筆者が命名したもので、明らかな斜交横摺れ正断層¹⁾であるが、場所によつては鉱脈の走向、傾斜に似ているため通常の走向断層と見誤られ易いものであつた。この断層は各レベルにおいて旧四脈²⁾を切断しているが、断層上下盤に接する鉱脈との交点の相互関係に疑義が認められたのでそれらの関係を調査し、主として断層擾痕を手掛りに各レベルで同断層を詳しく追跡した調査図の一部を示すと第10図(1)のとおりで、なお周辺の

(1) 四脈断層とその擾痕および鉱脈、岩脈などの関係図
A 700' レベルの関係図 B 800' レベルの関係図
(2) 700' 錐先探鉱成果図
(3) 世谷地区地質鉱床図 (800' レベル)

第10図 四脈断層と鉱脈との関係ならびに錐先探鉱の成果図

第11図 四脈断層とその上、下盤に投影した旧四脈と断層との交点の軌跡 (第10図参照)

地質鉱床関係を参考に示すと同図(3)のとおりである。さて各レベルで調べた同断層搔痕の落しはそれぞれ類似していて、それらの紙型角度の平均値は東に 13° 落している。次に鉱脈と断層面との交点をそれぞれ四脈断層の上、下盤ごとに投影したのが第11図である。次に上、下盤の交線を対比すると上盤側が 13° の角度で東に約25~30m滑り落ちたことになり、この角度は前記紙型角度の平均値と全く一致し、かつこの断層上、下盤に接する世谷砂岩の転位量(第10図(1)B)とも一致する事実とはともに特筆するに十分値すると思う。さて前述した疑義は特に700尺において異常交点(第11図B点)を生じたことによつてその解決の緒を得た。すなわち正常交点を作図的に同図B'点に移して探鉱余地B~B'間に立入を行なつたところ、果して第10図(2)のような成果を収め、ここに新鉱量を獲得した。なお四脈断層の追跡に際し、各レベル、各所においてその正常な搔痕を手掛りに類似した断層群を分類しながら、四脈断層 proper の把握に努めたが、その搔痕紙型の一部は第12図に示すとおりである。これらの類似した断層群の搔痕

のレベル別集型図を示すと、第12図Aのとおりで、筆者の推定位置に現れていた同断層の搔痕は大部分が proper 型に属していた。この調査に当たっては搔痕が大いに役立った。すなわち同断層 proper を確実に把握し得たので鉱脈との相互関係を正確に認知することができた結果、前述の成果を容易に挙げることができ得た訳である。

その他特に探査上注意を要する点を概括して述べると次のとおりである。明延における断層の大部分は斜交正断層で、鉱脈との傾斜の関係からいえば両者がともに急傾斜(60° 以上)の場合、搔痕の紙型角度が大略 50° 以下であれば図法解明を待たずとも、鑑先は搔痕の見掛けの向きの側に転位していると判断しても大過はないが、それ以外の場合は必ず図法解明によることが大切であることは佐渡の例について述べたと同様である。また同じ走向系の断層は傾斜が逆の場合でも相対的転位の向きは同じである。また断層と鉱脈が平面図上で平行する場合は図法的解明が不可能なので搔痕の見掛けの向きの側に転位したものと判断してもよい。

なお図法解明の結果と、断層の習癖から考察した転位の向きが一致する場合には、長孔や試錐探鉱の手段を省いて、いきなり坑道探鉱を実施した方がよいが、両者の一致しない場合はまず図法解明の結果に従つて、長孔または試錐探鉱を優先させる方が賢明である。更に付言すると搔痕の図法解明に基づいた断層鑑先の探査に付いては前述したものの外にその後も各所において数多の成果を挙げていることを特にここで報告して置く。

A 搔痕の集型図 B 700尺レベル副生断層型搔痕
C 900尺N33号鑿 四脈断層型搔痕
D 1,400尺レベル疑問型搔痕

第12図 断層系判別の搔痕集型図(四脈断層)

5. 結 論

佐渡、明延両鉱山を通じて研究した断層と、断層搔痕の調査方法およびこれをいかに探査または地質現象の解明に利用すべきかについて要約して述べる。

a. 搔痕の調査は習熟すれば相当確実に転位の主力となつたものを鑑別することが可能である。したがって大部分の断層に残されている搔痕を詳しく観察しこれを広く活用すれば多くの問題解明に大きな成果を期待することができる。

b. 断層および断層搔痕を良く観察すると、普通危惧されているような二次、三次の滑動で生じるであろうと思われるような複雑な搔痕は意外に少ないようで、仮に搔痕が混乱して残留している場合でも、その主要な滑動で生じた搔痕の鑑別はそれ程困難ではない。

c. 搔痕の方位角を求める若林図法は、迅速な結論を要求される現場の実情を考慮するとやや不便である。既述した筆者の簡易図法は永い経験を顧りみても極めて容易にかつ迅速に誰にでも現場の要望に答えられると思う。ユニバーサルコンパスは直ちに搔痕の方位は求められるが実際には中小鉱山は勿論、大きな鉱山においてもこれを豊富に取揃えることはなかなか困難である。断層鑛先の問題は勿論であるが、他の目的のためにも搔痕や変成岩の線構造測定が必要が毎日、多くの切羽に同時に起り得るので、その迅速な解決と、探査を経済的に促進するためにはクリノメーターでも十分に目的が達成できる外に、詳細な記録が⁷⁾⁸⁾残るという利点を見逃すことはできない。

d. 断層による鉱脈転位の向きは図法的にその搔痕の向きに一致する場合が多く、その成果にも見るべきものが多い。この問題についてはかつて筆者の講演⁷⁾後に、日本鉱業協会が全国の鉱山からアンケートを求めた結果を見ても、大部分が搔痕の利用に対して筆者の見解を支持していたことを特に付言する。

e. 鉱脈転位の向きは、しばしば見掛けの搔痕の向きと反対の場合があり、ことに断層、鉱脈ともに著しく緩傾斜を示す時にはますますこの傾向が増大するので鑛先を論ずる際には、必ず図法解明によることが望ましい。また同時に他の地質現象をも併せて考究することは更に望ましいと思う。

f. 断層系の分類および断層の追跡に搔痕を利用することは極めて有効である。なお未開発鉱山で断層搔痕の

観察できない場合の鑛先探査にはやはりチンメルマン法則を適用する方が一応無難であると思う。

g. 搔痕を用いても鑛先探査の成果を100%期待することは難しいが、現時点ではこれを利用することは最良の手法である。筆者は自分の担任する広範囲な職務の内のわずか一部に過ぎない鑛先探査の作業であるとはいうものの日常ややもすると軽視され勝ちな探査作業の手段を少しでも合理化して徹底的にコストの低下に尽力したいと念願している。以上筆者の研究とその成果を述べたが採鉱および探査に携わっておられる会員各位にとつていささかでも益するところがあれば筆者望外の欣びである。

なおこの研究を完成するに当たり、佐渡では当時の篠原探鉱課長、奈良富夫研究班長、伊藤格郎区長各位の御指導を賜った。その後志達、市村両地質課長からもかずかずの御助言を受けた。更に明延では渡辺地質課長外各位の御協力と御検討を戴いたうえ、元本店三枝地質課長、三宅輝海技師にかつては御加筆を賜わり、また今回論文作成に際しては東京大学教授今井秀喜博士の御懇篤な御教示と御鞭撻を蒙うした。またこの研究発表に際しては明延鉱業所栃木所長を初め会社上司の御理解ある御認許を戴いたので、ここに謹んで以上の方々に深甚なる感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 浅野末太郎：「断層の研究」昭和12年12月、93頁
- 2) 若林弥一郎：「断層探鉱法」日本鉱業会誌、昭和13年2月、3月、
- 3) C. Zimmermann: Die wilder ausrichtung verworfeuer Gäuge Lager und Flütze Darmstemelt, u Leipzig. 1828,
- 4) J. C. L. Schmidt: Theorieder vers chieving Actterer gouge Frank furt. 1810,
- 5) R-Von Carnall: Die springe in steinkohlen gebirge. Karst-eirs Archin. UFlg. 1832.
- 6) H. S. Palmer: New graphic method for determining, the depth and thickness of strata and the projection of dip, U. S.G.S. prof paper 120. 1918, pp. 122~125.
- 7) 野本健吉：「佐渡および明延鉱山における断層問題の解明とその成果に付いて」、日本鉱業協会編、第6回全国鉱山探査現場担当者会議講演集、昭和34年5月、54頁、
- 8) 野本健吉(原図)：矢嶋澄策編、「鉱山読本、第3集」、鉱床(1)、昭和35年3月、72頁
- 9) 麓 三郎：「佐渡金銀山史話」昭和31年8月、
- 10) 市村賢一：「鉱床と地質構造(1)」、日本鉱業会技術叢書、第8輯昭和27年8月、31頁
- 11) 三菱総合調査団：「佐渡鉱山地質鉱床綜合調査報告書」(社内報告書)昭和25年4月、
- 12) 加藤武夫：「鉱床地質学」昭和11年3月、349頁
- 13) 三枝守雄：「明延鉱山の地質および鉱床」、鉱山地質、第8巻(4)第30号、昭和33年、218頁