



天然の鉱物の結晶面を詳しく観察するといろいろな模様が見られる。これらの模様の中には結晶成長の様子を如実に示しているものが多く、それらは新しい結晶成長説の立場に立つと見事に解釈される。

地質ニュース No. 28 (1956~10) にその実例として赤鉄鉱の底面についての観察を紹介した。しかし前回の写真はいずれも低倍率の反射顕微鏡による観察であったから、数千Å (Åは1cmの1億分の1) 程度以上の厚さの成長層しか区別できなかった。

今回は同じ試料について反射位相差顕微鏡で観察した結果を紹介してみよう。

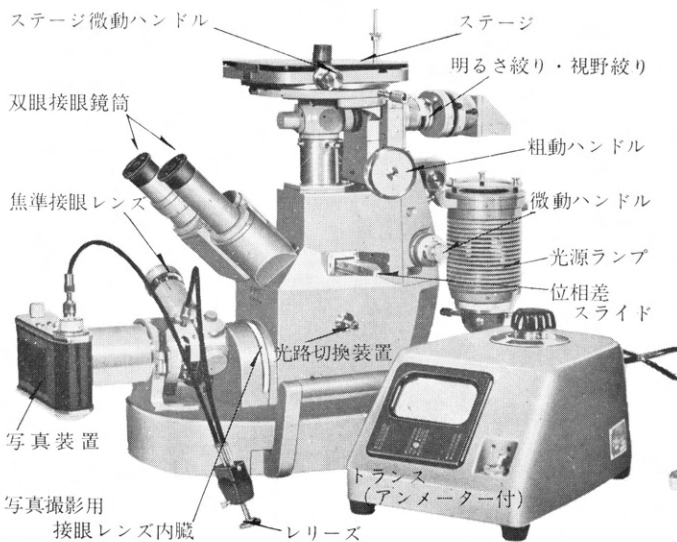
位相差顕微鏡の原理は ZERNICKE (1934) が初めて考えたもので、現在ではよく確立された方法になっている。普通の顕微鏡で観察した場合には、物体の微細な構造とか、わずかの凹凸の差などはコントラストがつかず一様にみえてしまう。しかし、もし物体が何がしかの構造を持っているとすれば、その構造の各要素の間に

は必ず何がしかの屈折率の差がある。従って、異なった部分を通った光は、異なった位相のずれが与えられるはずであるから、この位相のずれを明暗の差にかえることによって、コントラストを与えるのが位相差顕微鏡である。

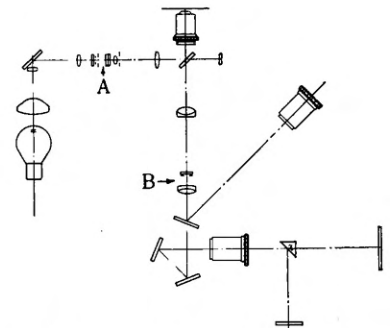
実際には、コンデンサーの前に輪状のスリットを置き、このスリットの結像する位置に、それと同じ面積だけ輪状に適当な物質をコートした平行ガラス板(位相差板)を置く。これによって、光の位相をずらし、また吸収して弱めてやることによって、コントラストをつくるのである。

位相差顕微鏡は、従来は主として生物顕微鏡に適用して大きな効果をあげていた。最近にいたり、金属顕微鏡にも組み込まれるようになり、金相学上で大きな効果をあげている。後者の位相差効果の組みこまれた金属顕微鏡を用いて、鉱物の結晶面を観察すると、普通の反射顕微鏡では全く観察できなかったような微細な構造(ごくわずか、たとえば単位結晶格子の大きさ…通常数ないし10数Å…の高低差をもつもの)が、コントラストが高まることによって、かなり明瞭に観察できるようになる。

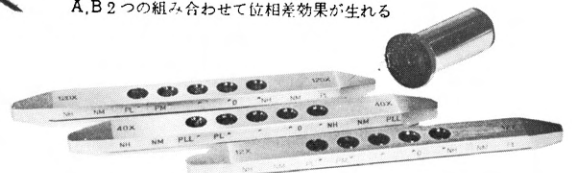
結晶の成長機構を研究するには、成長の単元が単位格子の大きさで行われると考えられるから、位相差顕微鏡による観察が、絶対に必要な方法となってくる。



反射位相差顕微鏡(オリンパスPMF型)



位相差顕微鏡の光路図  
A……位相差絞り B……位相差板  
A, B 2つの組み合わせで位相差効果が生れる



位相差板(オリンパス光学工業KK提供)

以下には 位相差顕微鏡で観察した赤鉄鉱の底面の表面構造を 通常の反射顕微鏡写真と対比させながら紹介する。 使用した顕微鏡はオリンパス PMF 型万能金属顕微鏡で その主な光学系は左頁下図の通りである。

【写真1.】は岡山県擬宝珠山産の赤鉄鉱の底面の同一視野を通常の反射顕微鏡と 位相差顕微鏡の両方で撮影したもので 位相差の効果がいかに大きいかを如実に示している。 前者では数千Åの厚さをもつ複合層の稜しかわからないが 後者でみると 前者で一樣に平たんに見える成長層の表面が 実はもっと薄い おそらくC軸方向の単位長(約15Å)の厚さ ないしは精々その数倍の厚さの数枚~数10枚の成長層で構成されていることがわかる。

従ってこの観察から明らかなように 通常の反射顕微鏡でみえる生長層は 実は多数の単位成長層が数10枚つみかさなつてつくられたものである。

【写真2.】は北海道の歩古丹産の結晶の成長層の中心部の顕微鏡写真である。

通常の反射顕微鏡写真では この部分は平たんであるが位相差によって初めて中心部に数個の渦巻転位が存在することがわかった。 したがってこの結晶は 理論的に考えられたのと全く同じように 渦巻転位(Screw dislocation)が存在することによって成長が行われたものだということができる。

位相差顕微鏡で観察した結果 各地の赤鉄鉱の多くの結晶の成長層の中心に 写真に示したような渦巻がみつげられた。 あるものはただ1個の渦巻転位のみからなり【写真3.】他のものでは数個の渦巻転位が存在した。

これらの事実は FRANK, CABRERA, BURTON という3人のすぐれた物理学者が1948年に初めて理論的に想定した新しい結晶成長説が 赤鉄鉱の場合に見事に実証されたものだといえる。

ところが 位相差顕微鏡によってどれほど注意深く観察しても 渦巻が全く認められない結晶も数多く存在する。 たとえば岡山県の擬宝珠山の結晶などはその好例である。 また 北海道の歩古丹の結晶では 多くの場

合渦巻が認められるが ある結晶ではそれが全く認められない。

渦巻の認められない結晶では 渦巻のかわりに違った構造が存在する。 その1つは鋸の歯状の構造で 写真1および4に示したものである。

すなわち 通常の反射顕微鏡で観察した場合 完全に平たんに見える成長層の表面上に何枚もの連続した三角形が存在している。 他の1つはきわめて薄い四面体で上の鋸の歯の1部とか 生長層の中心部などによくみられる。

この四面体には大きささまああるが 写真5, 6, 7でみられるように 正三角形の偶と重心とを結ぶ細い線(稜)が正三角形内にみられる。

さらに これを中心としてひろがっている三角形の構造では すでにこの線は消失し 平たい平面となっている。 すなわち この四面体が成長すると薄い三角形状の生長層となることがわかる。 鋸の歯状の構造もおそらく多数の薄い四面体が生長し 三角形状の生長層となり さらに互に結びついて つくられたものであろう。

したがって この四面体は まさに成長の一番初源的な形であると考えられることができる。 これが成長して鋸の歯状に集合し さらに ひろがり積み重なつて 通常の反射顕微鏡で観察できる不規則な形の成長層が つくりあげられたのだといえよう。

そうすると この場合は渦巻転位の助けを借りないでまず自然発生的な核がつくられ それがひろがり 積みかさなつて成長が行われたのだといえる。

したがって 同じような産状の赤鉄鉱でも 成長の仕方には2通り存在することがわかった。

1つは渦巻転位の存在によって成長が促進されたものであり 他はその助けを全くかりずに もっぱら自然発生的な核形成によって生長が行われたものである。

ところで FRANK 博士たちが計算したところによると 成長層の上に自然発生的な核がつくられ 成長が二次元的な成長層のひろがり と その積み重なりだけによって

行われるためには 少なくとも 25%~50% の高い過飽和度が必要である。ところが実際には結晶は非常に低い過飽和度の下で どんどん生長している。

従って どうしても渦巻転位のような構造が 結晶面上に露出していなければ 現実の結晶の生長機構を説明できない。というのが FRANK 博士たちの渦巻転位説である。 (詳細は地質ニュース No. 28 1956-10 参照)

もし この説が正しいものと仮定すれば 前述の2通りの生長の仕方のうち 渦巻の存在する結晶はかなり低い過飽和度の下で生長したものだといえる。また 薄い四面体が成長の初めの形である後者の場合は 少なくとも 25% 以上の過飽和の下で生長したものであろうと想像することができるわけである。

こうみえてくと およそ関係のないように思われる物理学上の理論と 地質学上の現象とが 深い結びつきをもち 物理学上の理論を自然の現象に適用することによって地質学的に未知であったことがらも より定量的に把握できてくることがわかる。 当然なことであるが誠に愉快なことであるといえよう。

(技術部 地球化学課)

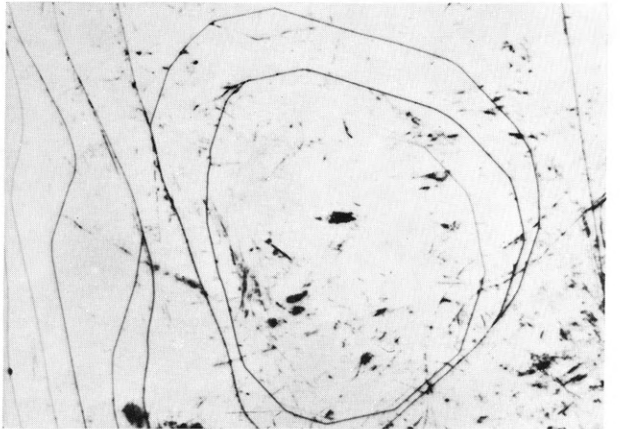
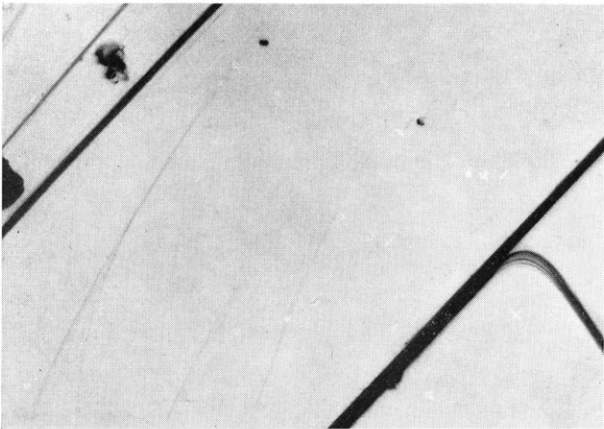
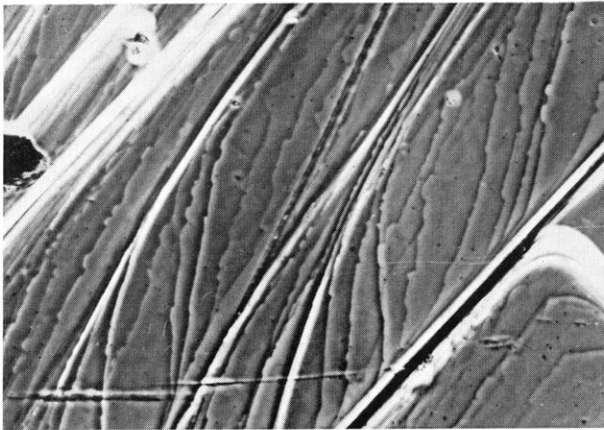
ここに紹介した写真は 次の方々の好意により貸与された標本を撮影したものである

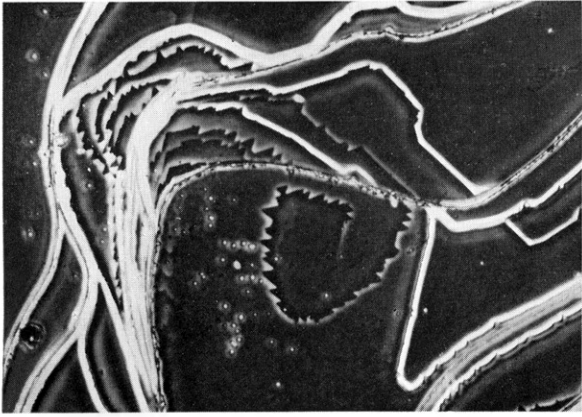
原田 準平教授 桜井 欽一博士 稲井 信雄技官  
沢村 孝之助技官 佐藤 博之技官

また 結晶はいずれも 玄武岩ないし安山岩質熔岩の晶洞中ないし変質脈中のもので 後火山作用の結果 Cl によつてもたらされた Fe が 地表近くで急激に酸化された結果晶出したものである 接触交代鉱床等の赤鉄鉱とは多少生長機構の異なるものである

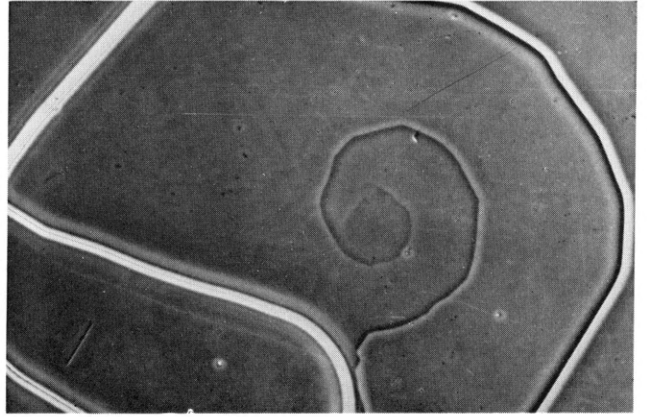
① 岡山県擬宝珠山産の赤鉄鉱の底面 約×140  
上……位相差顕微鏡写真 下……同一視野の通常の反射顕微鏡写真 下ではわずかに数本の生長層の稜しか認められないが 位相差顕微鏡で観察すると 前者で全く平たんに見える生長層の表面が 実は多数のさらに薄い生長層で構成されていることがわかる

② 歩古丹産赤鉄鉱の底面にみられる渦巻構造  
上……位相差顕微鏡写真 下……同一視野の通常の反射顕微鏡写真 これは生長層の中心部の写真で 位相差を使うことによって初めて この生長層の中心部に数個の渦巻転位 (screw dislocation) が存在することがわかった

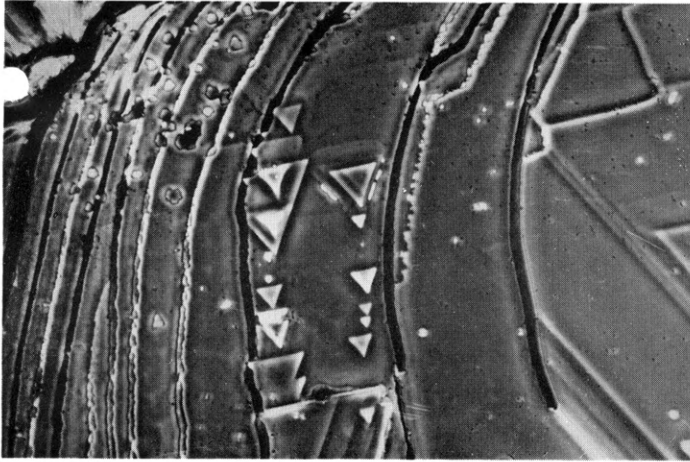




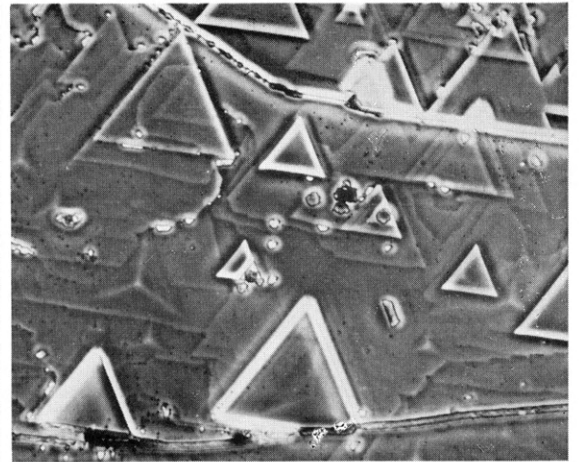
③ 渦巻構造の一種 (鋸の歯型構造も認められる)  
歩古丹産 鏡鉄鉱 約×140



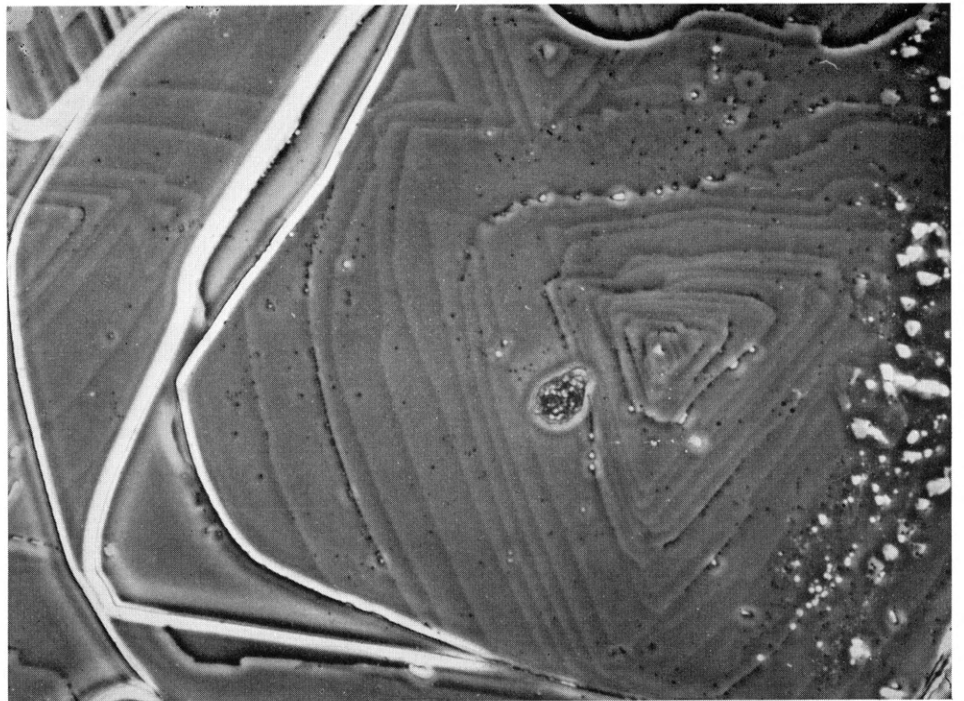
④ 典型的な単純渦巻構造の一例  
歩古丹産 鏡鉄鉱 約×140



⑤ 歩古丹産赤鉄鉱の底面 約×150  
黒および白の太い線は厚い生長層の稜 生長層の表面に多数の三角形の構造および鋸の歯型の構造がみられる



⑥ 歩古丹産赤鉄鉱の底面 約×150  
厚い生長層の表面上にみられる三角形の構造 一部に薄い四面体も認められ 又この四面体から出発して三角形構造がつくられていく過程もみとめられる ここには渦巻構造はみられない



⑦ 歩古丹産赤鉄鉱  
の底面 約×230  
太い白線は普通の反射顕微鏡でも観察できる厚い生長層の稜 生長層の表面上に10数枚の薄い三角形の生長層が認められ その中心部に渦巻は認められない  
→