

ダイヤモンドのおいたち

～中世以前の成因論から最近の成因論まで～

④

砂川 一郎

本誌163号や164号で検討したことは、主としてダイヤモンドの結晶の成長機構に関連したことで、成長完了後にうけた溶解作用に関連したことであった。今回はこれらについて前に書き残したことで、その後明らかにした新しい情報を述べることから話を始めることにする。

天然ダイヤモンドの結晶の形の特徴、累帯構造と外形との関係、あるいは結晶の表面構造の特徴などからみて天然のダイヤモンドの結晶に広くみられる湾曲面や湾曲結晶が、ダイヤモンドの結晶ができてからあとでうけた溶解作用の結果によるということ、前回では色々な証拠をあげて説明したわけである。

さてそれなら、この溶解作用はいつ行なわれたのだろうか？これを明らかにすることは、ダイヤモンドのおいたちを知る上で、きわめて重要である。

天然ダイヤモンドの結晶の丸味や偏倚度が、キンバレー岩中と漂砂鉱床中とでは多少異なり、漂砂鉱床中の方が丸味や偏倚度が著しい傾向があることは、シベリアのヤクーツク地方のダイヤモンド結晶についての統計結果を紹介することによって前回説明した。このことからキンバレー岩の風化浸蝕運搬の過程で、溶解作用が行なわれたと簡単に考える人もいるかも知れない。しかし実際はこれ以前の過程ですでに溶解作用がおこなわれているのである。なぜなら、キンバレー岩中のダイヤモンドの結晶も、ほとんどすべて丸味をもっており、溶解作用の歴然たる証拠を残しているからである。これらのダイヤモンドの結晶を詳しく調べても、溶解作用の証拠をもたず、直線的な稜と全く平坦な面で囲まれた結晶はほとんど見出すことができないのである。したがって、溶解作用はダイヤモンドの結晶成長が完了してから地表まで運び上げられる途中のどこかで（キンバレー岩マグマの中で）起こったはずである。地表での風化・浸蝕・運搬の過程では、すでにできていた湾曲度や偏倚度が誇張されたにすぎないものと考えられる。

ダイヤモンドが溶解作用をうけるのは、温度・圧力あるいは化学的な条件がダイヤモンドにとって安定ではない条件下である。ここで、この連載の2回目(163号本年3月号)の最初に掲げた、石墨—ダイヤモンドの安定領域に関するベルマン・シモンの熱力学的計算結果を

想いだしていただきたい。もしある温度・圧力条件下でダイヤモンドが晶出し、その後マグマの上昇のような原因によって圧力降下をオーバーする程度に温度が上昇すると、ダイヤモンド安定領域からはずれて石墨安定領域に入るから、ダイヤモンドの溶解作用がはじまるであろう。

地下深部で成長したダイヤモンドが地表近くまで運び上げられるときにはどうしてもこのような領域を通過しなければならない。フランクがベルマン・シモンの熱力学的な計算結果をもとにして見積ったところによると、地下120kmよりも浅いところは、ダイヤモンドが安定には存在しえない領域である(本連載2参照)。したがってこの深さを通過するときには、ダイヤモンドの結晶は必然的に溶解作用を経験するはずである。天然ダイヤモンドの結晶の丸味は、多分この領域を通過する際にできたものであろう。

ところで、地下120km前後から地表までの間を、ダイヤモンドを含んだキンバレー岩マグマがもしゆっくりとあちこちで停滞しながら上昇したとするとどうなるであろうか？この場合には溶解作用は進行する一方であるから、ダイヤモンドの結晶は完全に溶解しつくしてしまい、キンバレー岩マグマが地表に到達するころには全くなくなってしまうであろう。したがってこの深さにはキンバレー岩マグマは長時間停滞していなかったはずである。かなりの短時間のうちにこの距離を上昇し、溶解作用が急速に進まない程度の低温の状態に到達したはずである。それならダイヤモンドが溶解しつくされないためにはどの位の時間が許されるのか、と聞かれると現在の段階では定量的な答をだすことはむずかしい。しかし、キンバレー岩の粉末の中にダイヤモンドを埋め込んで加熱すると、数時間のオーダーで、トライゴンと同じ方位をもったエッチ・ピットができるという実験がある。また真空中や各種のガス中での加熱実験の結果によると1700℃前後では、ダイヤモンドの石墨化がきわめて急速に起こることが知られている。あるいは酸化ガスの存在下では、1400℃でも容易にエッチングが起こることが知られている。これらのことを考えると、地下120kmから地表までの間を何カ月も何年もという長い時間をかけて、キンバレー岩マグマが上昇すれば、ダイ

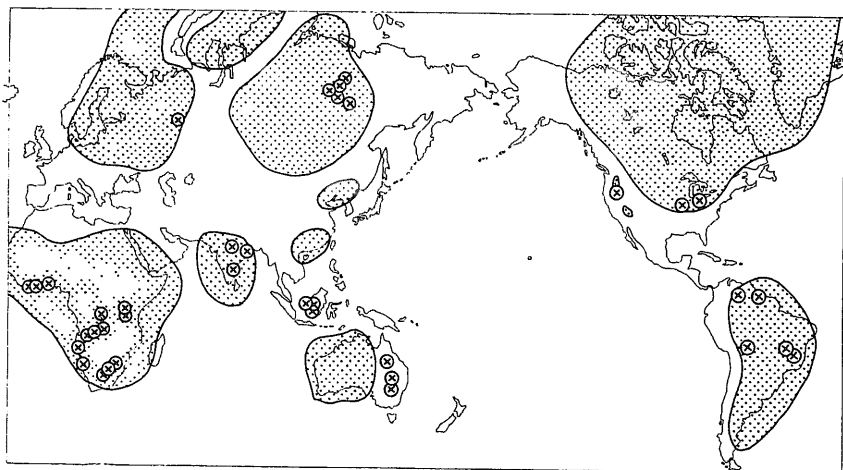


図1 世界のダイヤモンド産地と大陸楯状地(点々で印した地域)

ダイヤモンドの結晶は全く生き残ることができないだろうといえそうである。この間を上昇する時間はダイヤモンドが生き残って地表に到達するためには精々数日あるいは数時間のオーダーでなければならないということになる。いずれまた詳しく述べる予定であるが フランクはダイヤモンドの結晶の丸味も含め その他の種々の性質の解析と マグマが割れ目を通して上昇するときの運動学的な計算から キンバレー岩マグマは地下 100~200km の距離を数時間のオーダーで駆け上ったと推論している。

さて フランクほどせっかちに考えないとしても キンバレー岩は地下100~200km以浅のところは普通常識的に想像していたよりも桁違いに早い速度で上昇したらしいことは 上述の考察からいってちょっと疑問をさしはさむ余地はなさそうである。とすると ダイヤモンドの産出地域について興味深い推定がなりたってくる。最近の地球物理学的あるいは火山学的な考え方からみると 日本のような大陸周縁部に存在する造山帯地域では火山は地下数十キロメートルの深さにあるマグマ溜りに由来している。マグマ溜りは地下のさらに深部からもたらされたマグマがそこに長時間停滞し 地表にふき出すチャンスを待っている場所である。したがってもし万が一マグマ溜りに到達する以前のマグマ中にダイヤモンドの結晶が形成されていたとしても マグマ溜りの深さはダイヤモンドにとって安定な温度・圧力条件を備えていないから ダイヤモンドの結晶は溜りに停滞している間に完全に溶解してしまうであろう。つまり 大陸周縁部の造山帯ではダイヤモンドが産出する可能性は全くないといえそうである。これに対して 大陸楯状地塊内では 何らかの地殻変動によって割れ目ができれ

ば ダイヤモンドを含むキンバレー岩マグマは途中で長時間停滞することなく一挙に地表にまで到達するであろう。したがってダイヤモンドが産出する可能性のあるところは 大陸楯状地塊に限られるということになる。

今まで世界で発見されているダイヤモンド鉱床の産地をみると ほとんどすべてが大陸楯状地に限られている(図1)。最古のダイヤモンド産地であるインド

も 最も新しく大規模なダイヤモンド鉱床が発見されたシベリアのヤクーツク地方も ダイヤモンドの大衆化をもたらす原動力になった南アフリカも いずれも大陸楯状地である。

このほか北米 ウラル オーストラリアなどの産地はいずれもこの種の地域に関係している。ただ一つの例外はボルネオである。ボルネオ島は造山帯に入っているが それに属する地域他に古い地層でつくられている地域もある。あるいは 現在は陥没してしまっているアンガラ大陸の一部であるかも知れない。

いずれにしても 現在まで発見されているダイヤモンド鉱床のほとんどすべてが大陸楯状地域内であるという事実はまことに意味ありげで上述の考え方を支持しているようにみえる。この観点からすると 今後大規模なダイヤモンド鉱床が発見されるとすると まだその例のない楯状地域である北部カナダか 西部オーストラリアであろうと予測される。事実 ごく最近のニュースによると カナダでダイヤモンドシンジケートに所属する探鉱隊がキンバレー岩鉱床を発見したそうである。

一方 静岡大学の鮫島輝彦氏は 房総半島と静岡県に露出しているかんらん岩の鉱物組成が キンバレー岩と酷似しているところから これらの岩石中にダイヤモンドが産出するかも知れないと発表している。この発表に従って 静岡県でもボーリングをしたらしいし 私のところにもダイヤモンドを探鉱するという老探鉱家が尋ねてきたことがある。しかし キンバレー岩やそれに類似の岩石でも ダイヤモンドを一かけらも含んでいない場合も多いし また上の考察からみると残念ながらこれらの探鉱努力は無駄足であるといえそうな気がする。

さて 2番目に追加しておきたいことは {111} 面上の

三角形の成長丘に関係した最新の発見である。前々回(本誌163号 p. 44~45参照)で三角形の成長丘の形成機構についてかなり詳しく議論したようにこれらの成長丘が渦巻成長によってつくられたことを決定的に示す証拠は従来まったくえられていなかった。これは大部分のダイヤモンドが溶解作用を受けており成長丘の頂部の細かい構造を観察することが困難であったためである。溶解作用を受けていない人工ダイヤモンドの結晶でも正真正銘の渦巻成長層は{100}面上に見出されるだけで{111}面上ではその確証はつかまれていなかった。そのためラングのように{111}面上の成長丘は渦巻成長機構以外の成長機構で形成されたと考えている人もいるほどである。前々回でいろいろ議論し考察したように私自身は渦巻成長機構が多分唯一の可能な機構であろうと考えていた。

ところで近着の Industrial Diamond Review にインドの Gujarat 州の大学のパテール (P. Patel) らが人工ダイヤモンドの{111}面上に渦巻成長層を発見したと報告している。その顕微鏡写真を同誌から引用したものが図2~6までに示したものである。これらの写真は全部わが国のオリンパス光学 K. K. 製の PMF 型位相差顕微鏡で撮影したものであることが明記されている。パテールの所属する大学でオリンパスの顕微鏡が使われているのにはそれなりの理由がある。私は1958~60年の間イギリスに留学していたとき同社製の位相差顕微鏡を日本から持参した。

それを使って数Åという薄い渦巻成長層の観察に成功したのでその後この顕微鏡が英国国内でたいへん有名になった。私が留学していたちょうど同じ頃インドから

ジョシ (M. S. Joshi) という物理学者が同じ大学にきており同じような研究に従事していた。彼もまた私の持参した顕微鏡の熱烈なとりこになってしまったのである。そのためインドへ帰る早々かなりの無理をして日本からこの顕微鏡を購入したのである。パテールはジョシの先任教授にあたるわけである。

余談はともかくとして図3 4 5に示した顕微鏡写真をみればこれらが典型的な渦巻成長層であることに疑問の余地はないであろう。渦巻成長にともなわれる色々な模様たとえばラセン転位の移動によってできた直線や凹入角効果などもみいだせる。また右左のラセン転位からできた閉じた輪状の成長丘もある。これらは天然人工を通じてダイヤモンドの{111}面上にみいだされた最初の疑問の余地のない渦巻成長層である。この発見によって天然ダイヤモンドの{111}上の三角形の成長丘も私が考えていたように渦巻成長によってできた可能性が一層高まったということができよう。とすると前々回でも議論したようにダイヤモンドの結晶成長が固相の再結晶作用によったものでも融液から成長したものでもなく溶液相から成長したものであるという可能性が一層強まってきたものといえよう。

さて次に前回(本誌164号)ですこしふれた累帯構造についてもう少しき込んで考えてみることにしよう。

気相や溶液相からの結晶成長を考えると核形成の段階から成長終了まで完全に一定な速度で成長が進行したり周囲の過飽和度や不純物濃度が最初から最後まで一定不変ということはありません。もし全く一定不変の条件や成長速度で結晶成長が進行すると欠陥を全く

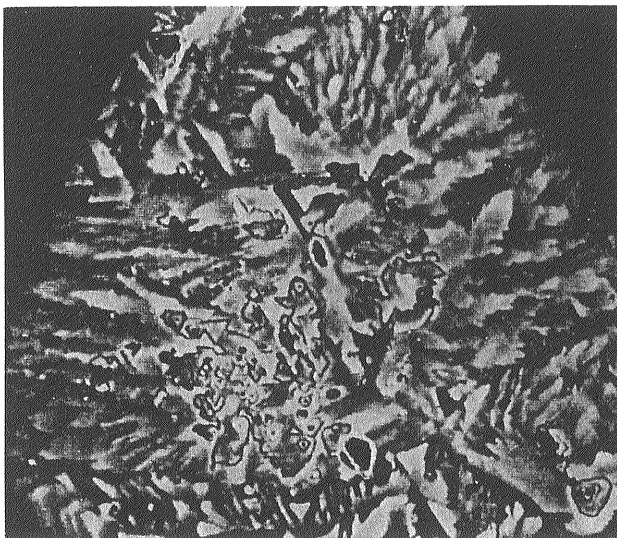


図2 渦巻がはじめて発見された人工ダイヤモンドの(111)面全体の写真。A, Bに典型的な渦巻がみいだされた。位相差 約×170 (A. R. Patel and N. Ramachandran 1968 から)

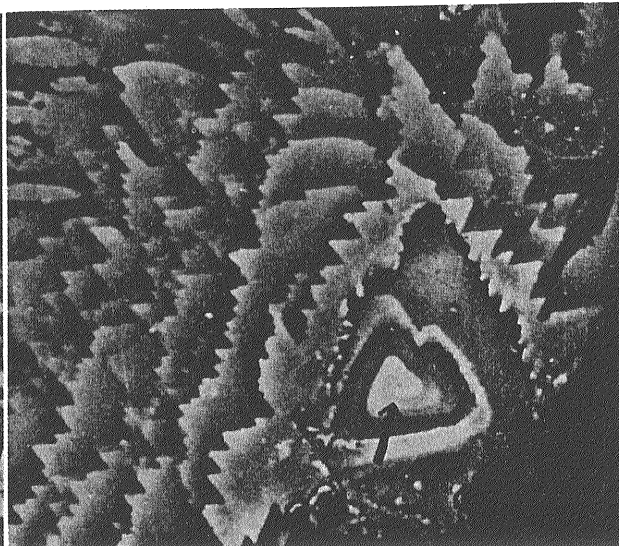


図3 人工ダイヤモンドの(111)面上の渦巻成長丘 矢印渦巻の中心 参差状は成長層 位相差顕微鏡写真 約×1,400 (A. R. Patel and N. Ramachandran 1968 より)

含まず中心から外まで完全に均質なモデル通りの結晶ができるであろうが 実際の結晶成長ではそのような過程はありえないので たとえ外見は無色透明完全無欠のようにみえる結晶でも その内部を細かい精度で調べてみるときわめて不均質である。

不均質さにはさまざまなオーダーや性質がある。肉眼や顕微鏡下で容易に認めることのできる不均質さであれば エッチングしたりX線や中性子線などを結晶に照射することによってはじめてあらわれてくる不均質さもある。あるいはラング法のような結晶内の欠陥を調べるX線トポグラフィ法をつかってあらわれてくるものもある。また現在考えられる手段で処理しても不均質さを見出すことのできないものもある。不均質さの形にも 累帯状の構造もあれば 特定の方向や領域内だけに選択的に着色したり 不純物が濃縮している分域構造や時計皿状の構造もある(図7)。

結晶内部の不均質さで古くから注目されていたのは電気石や雲母の結晶などにみられる色の変化による累帯構造である。図8はその1例で ハーバード大学の鉱物学博物館に展示されている標本である。大きな電気石の結晶を輪切りにして 結晶の頭から根本まで順々に並べ 裏から光をあてて展示したもので 写真でははっきりみえるように 結晶の内部から外側に向って帯状に色が変わっている。

電気石の例のように色の変化によってみとめられる累帯構造は 結晶成長の過程で異なった種類や量の不純物が吸着されたためにあらわれたものである。これに対して 図9で1例を示した屈折率変化による累帯構造のでき方の原因は少し違っている。図9の例でみられる

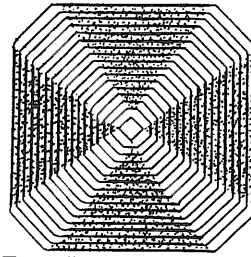
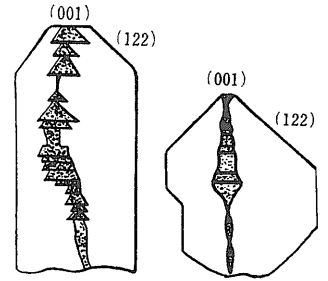


図7(a) 特定面への不純物の吸着によってできた時計皿構造と晶相の変化 中心部は八面体結晶であるが(100)面への不純物吸着によって六面体結晶になっている。



(b) 特定方向への異種鉱物の析出による分域構造 板チタン石の(001)面へのNb-Ta系鉱物の析出による。

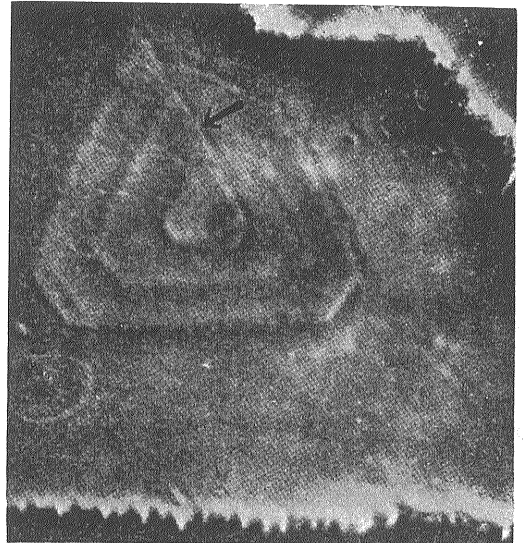


図4 渦巻成長丘 成長完了後にラセン転位が移動してできた直線状のステップ(矢印)がみられる 位相差 約×1,200 (A. R. Patel and N. Ramachandran 1968 より)

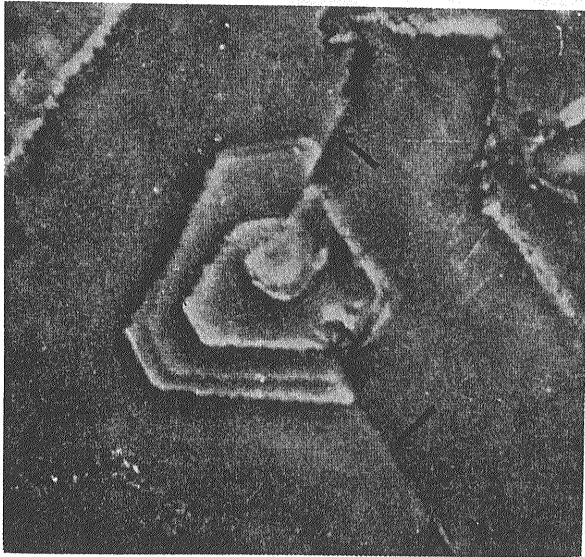


図5 渦巻成長丘 成長の途中でラセン転位が移動してできた直線状のステップ(矢印)がみられる このステップによって渦巻の形が変形している 位相差 約×1,200 (A. R. Patel and N. Ramachandran 1968 より)

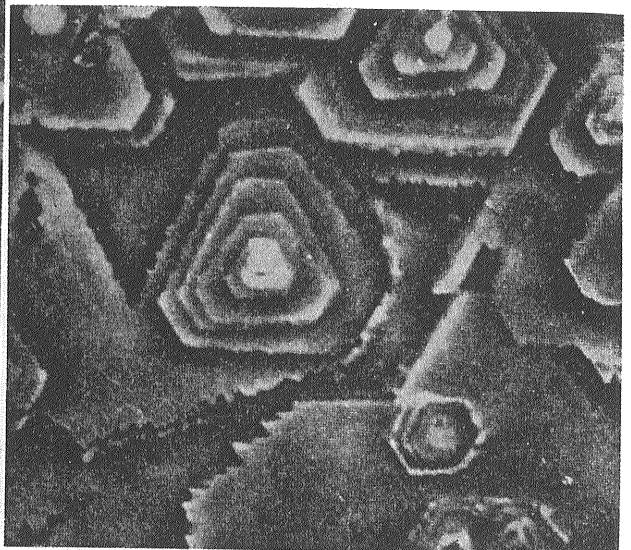


図6 閉じた輪状(Closed loop)の成長層の積み重なりでできている成長丘 人工ダイヤモンドの(111)面 これらの成長丘はおそらく右左の反対むきのラセン転位からの成長層の合一によってつくられたものである 位相差 約×1,200 (A. R. Patel and N. Ramachandran 1968 より)

ような造岩鉱物の結晶は マグマ中で成長するとき 比重変化によってマグマの中を上昇したり下降したりして 異なった温度・圧力条件のところへ移動し そこでその条件に対応する固溶体成分の結晶が成長する。 このため成長の各段階に対応して固溶体成分比が変化し それに応じて屈折率の違う帯で構成された累帯構造がつくられるのである。

前回に述べた エッチングによってできるエッチ・ピットの密な帯と粗な帯との累帯状の配列や X線や中性子線照射によってあらわれる累帯構造は おもに結晶の中での不純物や格子欠陥の累帯状の分布に原因している。このような累帯状の格子欠陥分布が起こる原因には 2つ考えられる。

1つは成長過程でのいちじるしい条件変化である。この結果成長が一時的に停止したり はなはだしい場合には溶解がはじまる。 また 異なった固溶体成分の成長が始まったり 不純物の吸着がおこなわれるであろう。そうすると その境界面には格子欠陥が集中するからそこを境として累帯状の構造がつくられる。溶解が行なわれるときには それまでにつくられた累帯構造を切った模様ができるであろう。

第2の原因は 定期的にくりかえして起こる成長速度の変化である。一定過飽和度の静止した環境下で成長が始っても 成長の進行につれて結晶のすぐまわりの液相の過飽和度は1時的に低下する。このため 最初の成長速度は成長の進行にともなって急激に低下したり 成長の停止が起こるのである。その後 時間が経過す

るにもなって再び結晶の周囲の過飽和度が高まって 上と同じ経過をたどる。 激しい攪はんによって系中の過飽和度分布を常に完全に一定に保たない限り (そしてこれは現実の結晶成長では必ずしも一般的なことではない) このくりかえしはなくなるであろう。

さて 結晶の成長は不規則に運動していた原子や分子などの粒子が 規則正しく配列しなおす過程である。再配列にあたって粒子が間違った位置におちつく確率は結晶表面に粒子がもたらされる頻度が高いほど したがって過飽和度が高い あるいは成長速度が早いほど高い これは 構成粒子に関してだけではなく 不純物や異種物質のとりこみについても 同様である。 チェルノフ (A. A. Chernov) の計算によると 結晶の中に包有物がつくられるのは 厚い成長層がひろがることのできる条件下だけで 単分子の厚さの薄い成長層のひろがりによって成長がおこなわれる際には 包有物は形成されないそうである。厚い成長層のひろがりでの成長がおこなわれる条件とは 高い過飽和度あるいは早い成長速度の条件であることはあらためて説明するまでもなからう。

ところで 間違った位置におちついた構成原子や不純物などは 格子間原子や空格子点などの点欠陥 ラセン転位や刃状転位などの線欠陥 それらの集合した面欠陥などの格子欠陥をつくる。したがってこれらの格子欠陥の密度は 大まかに言って結晶成長速度によって異なり 速度が早いときには格子欠陥密度も高くなるであろう。そのため 上述のような成長過程では結晶中に累帯状に格子欠陥密度の異った帯ができる筈である。

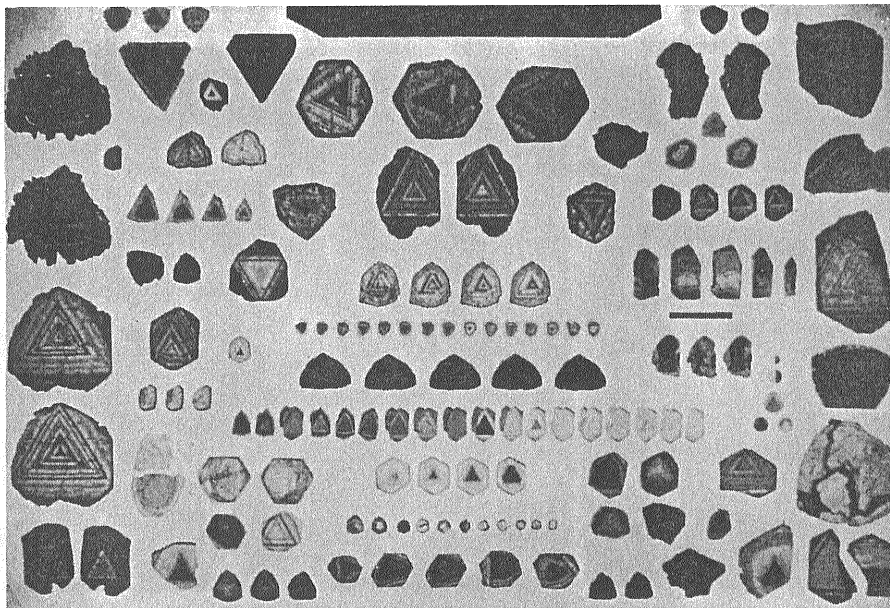


図8 电气石の累帯構造 ハーバード大学鉱物学博物館所蔵

格子欠陥のまわりには歪みが存在するので エッチングやX線・中性子線の照射のように外から刺激が加わると欠陥を中心としてエッチ・ピットができたり 着色したりする。

こうして 肉眼的には無色透明均質で完全無欠のようにみえるダイヤモンドや水晶の結晶でも 特別な処置をほどこすことによって みごとな累帯構造があらわれてくるのである。したがって累帯構造を詳しく解析することによって 結晶成

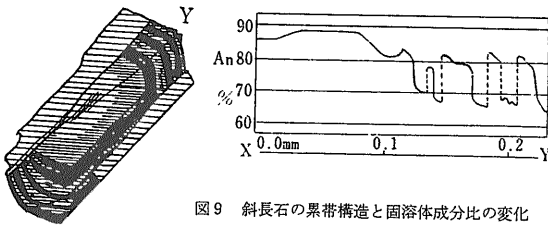


図9 斜長石の累帯構造と固溶体成分比の変化

長の過程でどのような出来事が起こり どのような条件変化が発生したかを解析することができるはずである。累帯構造は 結晶面の表面構造と共に 地下から送られて来た手紙の謎を解く鍵としてはきわめて有力な手段であるといわねばなるまい。

ダイヤモンドの結晶は一般に無色透明で中心から外まできわめて均質のようにみえる。 宝石業者の間でスポットとかカーボンと呼ばれている包有異種鉱物は たしかに多くのダイヤモンド結晶中にふくまれてはいるが電気石の例にみられるような肉眼的にも認めることのできる累帯構造は まず99.9%のダイヤモンドに見出すことができないといっても過言ではない。 私は日銀ダイヤの鑑定で数万個のダイヤモンドに目を通したが その中で肉眼的に累帯構造を認めることのできた石は唯一個だけであった。 これはきわめて珍しい存在なので 早速別わくとして取りだしておいたが 後日 地質調査所の標本室か上野の科学博物館かのいずれかに移管されることになっている。 地質調査所の標本室に移管されたら 早速詳しく調べてみようかと今から楽しみにしている。

ところで 肉眼的に均質なダイヤモンドの結晶でも切断面を作って 適当な試薬を使ってエッチングすると みごとな累帯構造があらわれてくることを最初に示したのはトランスキーである。 彼はもともと $\{111\}$ 面上にみられるトライゴンの成因を明らかにすることを目的としてダイヤモンドの自然面のエッチングを始めたがそこから発展して切断研磨した面までエッチング実験を行なうようになり そこに $\{111\}$ 面に平行に発達する累帯構造を見出したのである。 彼が開発したダイヤモンドのエッチング用の試薬は硝酸カリウムである。 この薬品はたいへん強力な酸化剤で 融点は 339°C である。 この薬品とダイヤモンドを白金のつばの内部において これを加熱炉中で 675°C 15分間ほど加熱溶融すると ダイヤモンドの結晶にエッチピットをつくることのできる。 トランスキーおよびその一門は この方法で最初に自然面の $\{111\}$ 面のエッチングを行ない エッチングによっ

てできる三角形のピットが 常にトライゴンとは逆方位をもっていることを示し これからトライゴンがエッチングではなく結晶成長の結果できたという考えを提出したことはすでに述べた通りである。 その後 $\{100\}$ に平行な切断面を研磨してエッチングし $\{111\}$ 面に平行な累帯構造を見出し ダイヤモンドの結晶成長が $\{111\}$ に平行な層成長によって行なわれると主張したのである。 さらに最近ではより複雑な内部構造をみだし 結晶成長の過程で塑性変形があったという考えを発表している。 この考えに対しては 後述するようにフランクによる激しい反論がある。

トランスキーらが開発した手法を利用して より多数のかつ広い範囲の産地からのダイヤモンドの結晶のエッチング実験を行ない 累帯構造がトランスキーが最初に示したほどに単純なものでないことを示したのはシール (M. Seal) である。 彼は南アフリカ 南西アフリカ ガーナ タンガニカ コンゴ 北米 インド シェラ・レオネなど世界各地からの天然ダイヤモンドの結晶77個 人工ダイヤモンドの結晶9個について $\{100\}$ に平行な切断研磨面をエッチングした。 天然ダイヤモンドの中には 八面体型結晶 十二面体型結晶 六面体型結晶と結晶の形にもバラエティがあり また I型とII型と両方のタイプが含まれ 粒度も0.1から1.0カラットの範囲まで分布している。 シールはその実験結果をまとめてアメリカの鉱物学会誌に発表しているので 以下に彼のえた結果を中心にして ダイヤモンドの結晶にみられる累帯構造や内部の不均一性をまとめてみよう。

77個の天然ダイヤモンドの結晶で調べた結果によると エッチピットのでき方は いくつかのタイプにまとめることができるようである。 まず ごく少数例だけに限られているが 電子顕微鏡的な大きさの 細かいエッチピットが不規則にでき 通常の顕微鏡下では広い面積にわたってごく均質で構造がほとんど認められないようなタイプがある。 これらは この実験方法では累帯構造があらわれないほどに均質な結晶であるといえる(図10)。

第2の最も一般的に見出せる構造は $\{111\}$ に平行な直線的なエッチピットの密な帯と粗な帯のくりかえしでき上っている累帯構造である。 $\{100\}$ に平行な断面では図11~14に示したような矩形の累帯構造としてあらわれる。 この種の累帯を示すものは全体の65%に達する。 直線的な累帯には単純なものからきわめて複雑なものまである。 単純なものでは結晶の中心部の広い面積は一樣で 周縁部近くに数層の累帯が認められる程度であり 複雑なものでは 図14で1例を示したように内部にいく

つもの小さな矩形がみいだせる。これらの{111}に平行な累帯は 疑問の余地なくダイヤモンドの結晶成長が{111}に平行な層成長によって行なわれたことを示している。ただし 累帯構造の累帯は成長層の一枚一枚に対応するものではなく 成長中の条件変化に対応してきたものであることを忘れてはならない。

第3のタイプは弯曲した累帯を示すものである。結晶によっては 累帯構造の大勢は上のタイプのように直線的であるが 一部に弯曲した累帯でできている領域がみいだせるものがある。図14はその1例である。

また時には 直線的な累帯の順序が曲線で中断されている。図15はその例である。この種の曲線部分が多かれ少なかれあらわれている結晶は全体の $\frac{3}{4}$ の多きに達する。この種の曲線部は{111}に平行な四辺で囲まれた矩形ないし四角形の隅にあらわれるのが普通である。

第4のそして最も謎の多いタイプは ごく少数の結晶にしかみられないものであるが 結晶の中心部にできている十字架状の構造である(図17)。この構造はトランスキーも見出し これを成長中の塑性変形によると考えた構造で この成因については後ほどさらに詳しくふれることにする。これらのほかにさらに複雑な累帯構造や時計皿状の構造がみいだされている。その数例を図18から21に示したが これらの例でみられるように凹入弯曲面だけで構成されている累帯構造 いろいろ組んだ模様わずかに方位を異にした粒界で構成されている結晶などの各種の複雑な構造がみとめられている。ただし例はさほど多くはない。

また コーテッド・ダイヤモンドと呼ばれているダイヤモンドでは 図22にみられるように芯の結晶には明瞭な累帯構造はあらわれぬが コートした部分には複雑な細かな累帯が発達するのが普通である。双晶では

方向によるエッチング程度の相違によって一方の個体には累帯があらわれるが 他方の個体は均質になる。また上述の構造はI型のダイヤモンドにみとめられた構造であるが II型のダイヤモンドでは シールが調べた12個の結晶に関する限り I型にみられるようなはっきりした累帯構造はあらわれず 結晶全体にわたってきわめて均質なエッチ・ピットがみとめられるのみである。ただしごくかすかな平行線はみだされている。II a型とII b型の結晶の間には累帯構造の特徴からみて はっきりした相違点はみだされていない。

人工ダイヤモンドでは 結晶が小さいためもあり 不規則に分布するやや大型のエッチ・ピットと {111}に平行に発達するかすかな累帯構造がみだされるのみである。

さて 以上に シールの観察結果を中心に天然と人工のダイヤモンドにみられる種々のタイプの累帯構造を説明してきたわけであるが これらの例でみられるように 少なくとも天然のダイヤモンドではその成長史は必ずしも単純一様ではなく 個体個体によって異なった複雑な成長史を経験しているようである。ただそのうちでも 比較的多数の結晶に 共通してみられるのは {111}に平行な矩形ないし四角形の累帯構造と その隅に局部的にあらわれる曲線状の累帯部分とである。

{111}に平行な四角形の累帯構造の発達から ダイヤモンドの結晶が{111}に平行な層成長によって行なわれたことは 疑問をさしはさむ余地はなからう。このことは{111}面上の表面構造の観察結果からもサポートされているので 今やまったく疑問はなくなったと結論しても言いすぎではない。したがって ダイヤモンドは融液相や固相からの成長ではなく溶液相からの成長であ

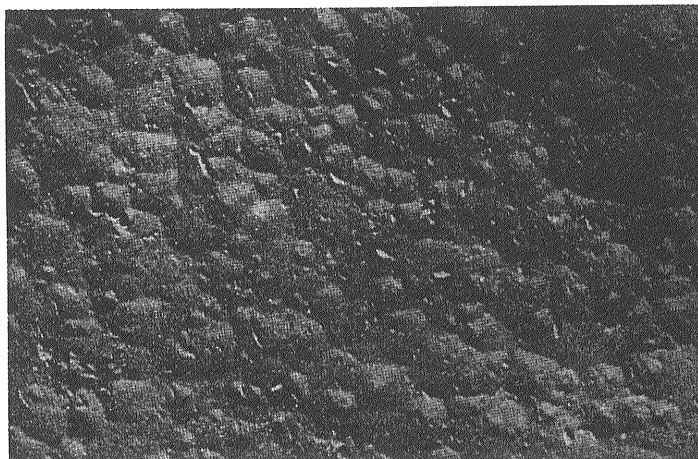


図10 広い範囲にわたって均質な第1のタイプの表面の電子顕微鏡写真 エッチ・ピットが不規則に分布している 約×16,000 (M. Seal 1965 より)

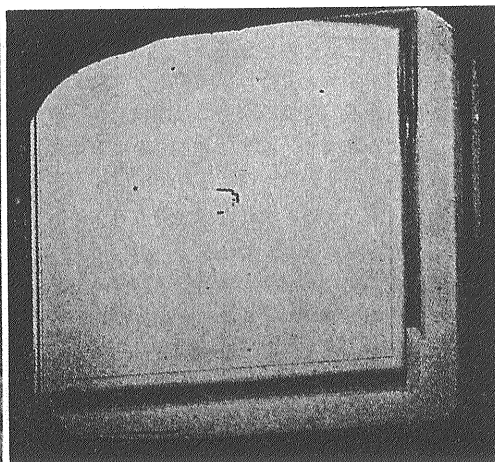


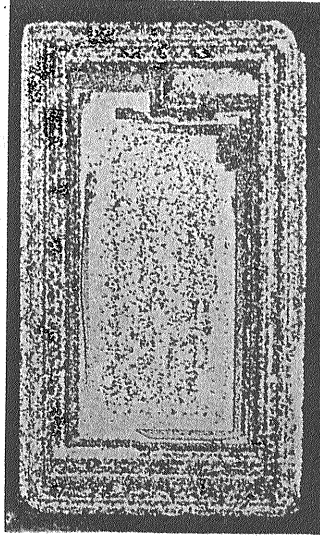
図11 比較的単純な累帯構造 左上で自然面が累帯構造を切っているのに注意 約×16 (M. Seal 1965 より)

ることにも疑問の余地はなくなったわけである。

成長過程での条件変化や成長速度の変化が累帯構造としてあらわれるわけであるから ダイヤモンドの成長過程で炭素に関する過飽和度や温度・圧力条件が微妙ではあるが くりかえして変化したはずであると推論することができよう。 シールはもし地質学的に長い時間をかけてダイヤモンドの結晶が成長したとするとこのような累帯構造はできないだろうと考えた。そして このことから大部分のダイヤモンドの結晶成長は案外短い時間内に行なわれたのではなかろうかと推論している。

累帯構造のはっきりあらわれない 広い範囲に均質な第ⅠのタイプやⅡ型のダイヤモンドに限って長い地質時間をかけ

→ 図12 累帯構造 約×100 (M. Seal 1965 より)



て成長したものだというわけである。しかし シールの推論にはどうやら根本的な誤りがあるようである。それはマグクの粘性の無視である。

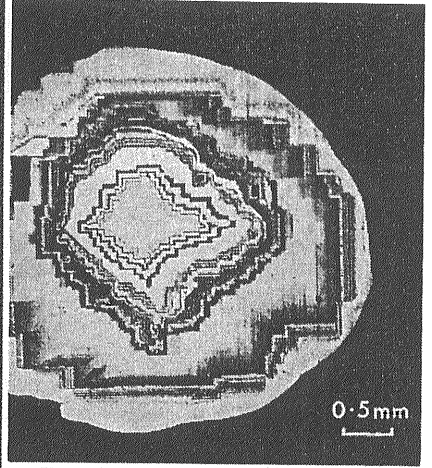


図13 ダイヤモンドの美しい累帯構造 自然面が累帯構造を切っついるのに注意 (左上の部分) 約×13 (M. Seal 1967 より)

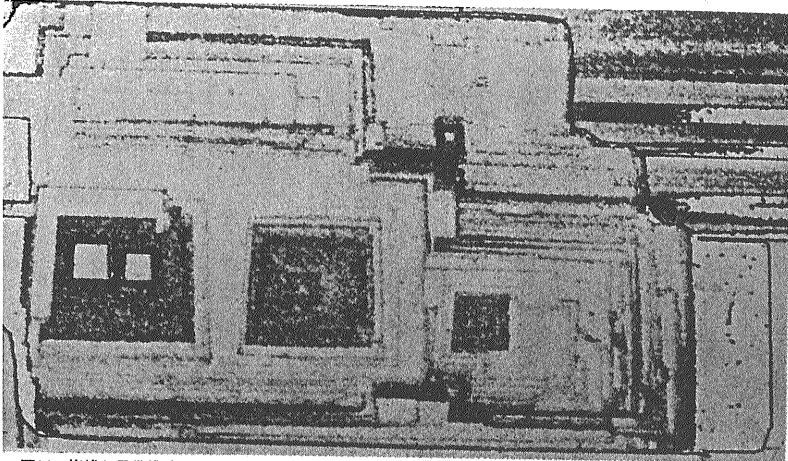


図14 複雑な累帯構造 四角形の隅の彎曲部に注意 約×150 (M. Seal 1965 より)

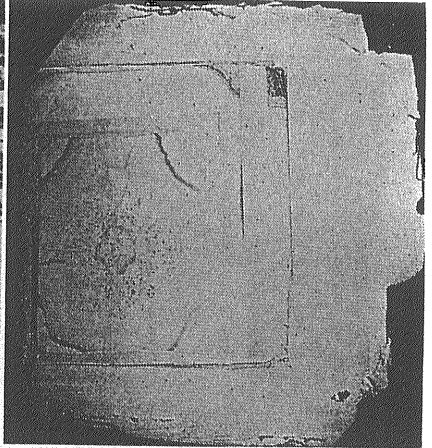


図15 彎曲部と中心部の十字架状の模様をもつ累帯構造 約×18 (M. Seal 1965 から)

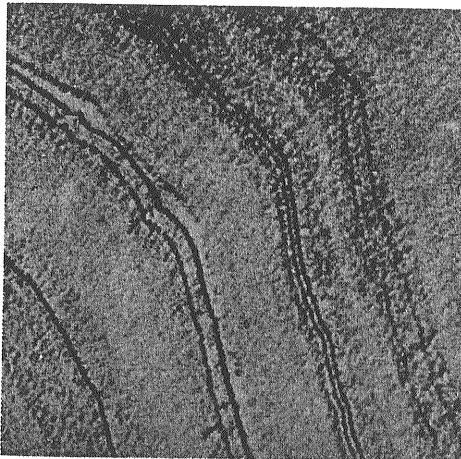


図16 彎曲した累帯構造 約×270 (M. Seal 1965 より)

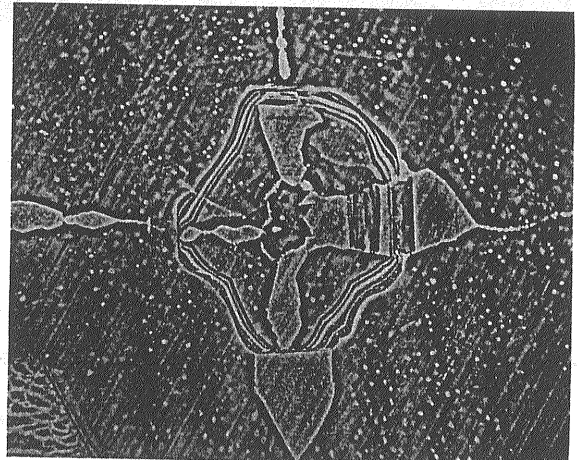


図17 中心部の十字架状の模様 位相差 約×80 (M. Seal 1965 より)

粘性の高い溶液の中では粒子の拡散は遅くなる。そのため成長が進行して結晶の周囲の過飽和度が低下してもそれを補うに足る粒子の供給がすぐには間に合わず一時的な成長の停止や成長速度の著しい遅れがおこるのである。この可能性は粘性の低い稀薄な溶液相からの結晶成長の場合よりもはるかに高いであろうと考えられる。この結果46ページで述べたようなプロセスで累帯構造がつくられる。したがって累帯構造の発達をそのまま短い成長時間と結びつけることはできないわけである。このような考察から私はシールとは逆にダイヤモンドの成長にはやはり地質学的に長い時間がかかったであろうと考えている。

さて図14の例でみられるような1つの結晶の中で小型の四角形の累帯がいくつか存在する結晶はいくつかの結晶の合体でできたものであろう。あるいは中心となる結晶の成長過程ですでにでき上っているダイヤモンドの微結晶が成長面上に付着しとりこまれたためにつくられたものと考えられる。このような合一がおこなわれるとき両方の結晶とも八面体を取り{111}

上の成長層の発達で成長がおこなわれるときには{111}面上に定方位に接合する可能性が最も高いはずである。微結晶の八面体の隅や稜で大型の結晶の{111}面上に接合する可能性はほとんどないといってもいいすぎではなからう。そのため図でみられるようなおなじ累帯と同じ方位の小さな四角形の累帯ができるのである。

四角形の累帯構造の隅にしばしばあらわれる曲線状の累帯構造にはいくつかの原因が考えられる。1つは{111}の成長層のステップに選択的におこなわれる不純物の吸着である。これによって成長層のひろがり妨害されると2つの{111}面の会合点である四角形の累帯構造の隅のところに弯曲した累帯構造があらわれる。同様の結果が異種鉱物の存在による成長の妨害とか周囲の系の炭素の過飽和度の局所的な減少によってもひきおこされることであろう。このほかにも溶解作用も一つの原因として考えられる。溶解作用の程度は結晶の方向によって違っている。

ダイヤモンドの結晶では{111}面は最も溶解をうけにくい面であり{110}や{100}面は{111}面よりもはるかに溶解され易い面である。したがって成長の途中で炭素に関してわずかに不飽和の状態がおこると{111}面は溶解されないまま残り{110}や{100}だけが溶解されるような事態が起こる可能性がある。このことはダイヤモンドの弯曲面や弯曲結晶の原因の考察にあたって前回かなり詳しく述べた通りである。この結果四角形の隅のところに弯曲部があらわれよう。ただし溶解されただけでは弯曲部は一本の曲線としてあらわれる。溶解の後に再び成長が行なわれるとこの部分はなるべく早くいやされようとして{111}面上よりも早い成長が行なわれるであろう。そしてこの方向に



図18 複雑な形の構造 約×200 (M. Seal 1965 より)

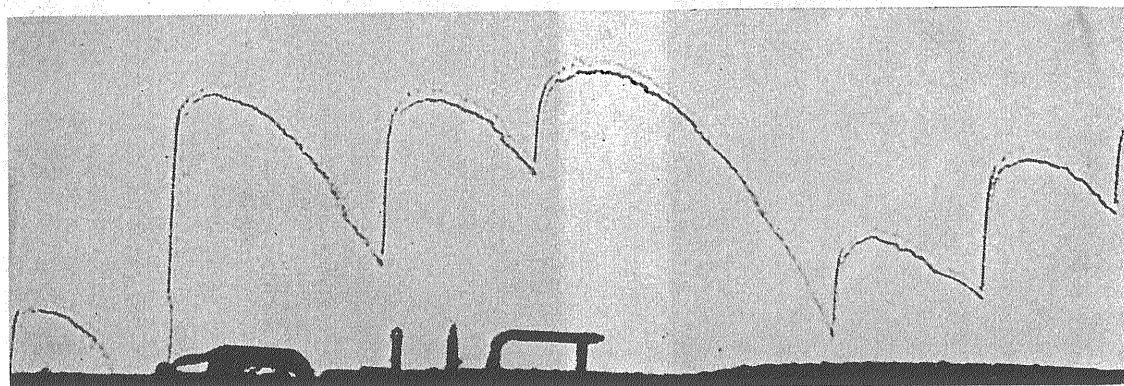


図19 複雑に弯曲した構造 約×480 (M. Seal 1965 より)

曲線でできた累帯構造がつくられるものと予想される。
このような観点で より複雑な内部構造である十字架状
のコアのでき方を説明することができるが この点につ

いては来月号で詳しく解説することにした。

(つづく)

(筆者は 鉱石課長)

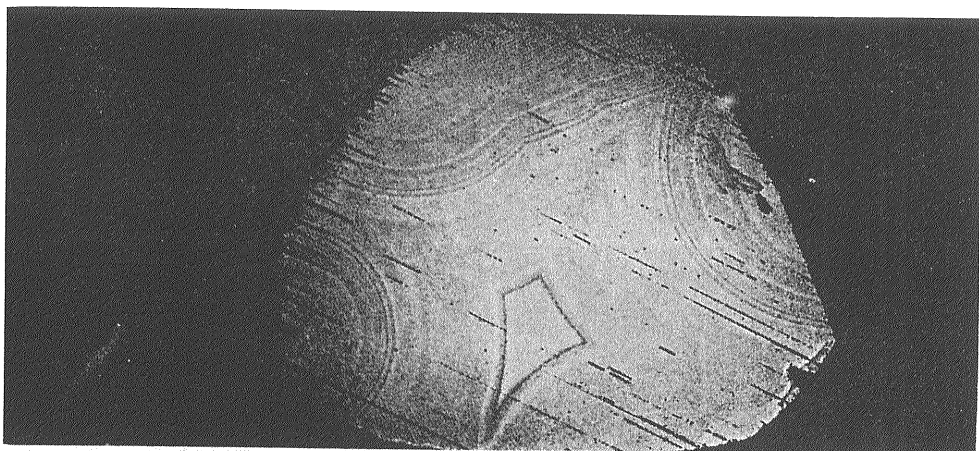


図20
弯曲した複雑な累帯構造 約×50
(M. Seal 1965 より)

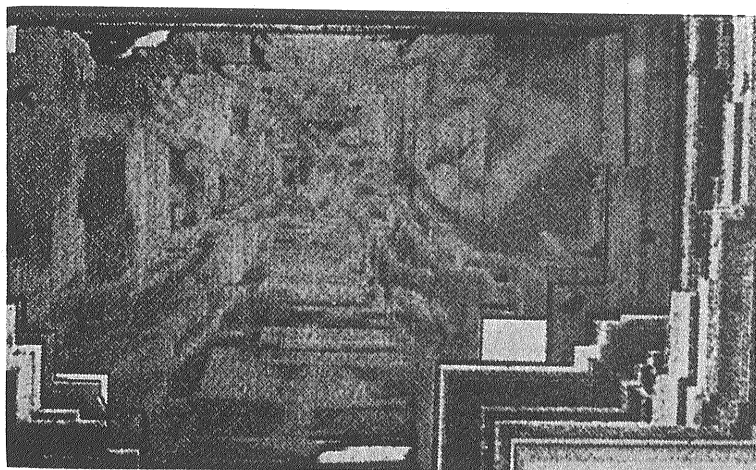


図21
みごとに累帯構造とくすかにみえる分域構造
約×50 (M. Seal 1967 より)

図22
コーテッドダイヤモンド 中心の透明結晶の
ところには累帯構造はみられないが コート
した部分では細かな累帯が発達している
約×40 (M. Seal 1965 より)

