

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～

⑤

砂川 一郎

天然ダイヤモンドの八面体面にみられるトライゴンの成因について トランスキーとフランクの間に長い間にわたって論争が続けられており 毎年春ひらかれるダイヤモンド会議の名物にさえなっていることは すでに度々述べたが 二人の論争はトライゴンの成因論を出発点として その他の色々な問題にまでひろがっている。

雪の結晶についての論争などはその一例である。雪の結晶には六方向に枝わかれし 枝の途中の同じような位置から あたかもそれぞれの枝が意志をもっているように小枝をだしている結晶がしばしば認められる。総じて雪の結晶の対称性の完璧さはおどろくほどで まるで結晶自身が意志をもっているかのようである。この現象に対して今までいろいろな意見がだされているが 十分満足できる説明はまだ与えられていないようである。

ところで 私がトランスキーの教室にいた1958～60年頃 トランスキーは雪の結晶の完璧な対称性に対して面白い説明を与え それに関するデモンストレーションをおこなっていた。雪の結晶が空中を舞いおる途中での振動によって対称性の完璧さができるという考えである。彼の行なった実験はきわめてシンプルで アルミ板で六角形の板をつくり その中心を固定し その上に砂粒をまきちらした上で アルミ板の一端をバイオリンの弦でこすり アルミ板に対して固有の振動を与える。散乱していた砂粒は振動によって微妙な振動を開始し その結果再配列がおこなわれる。振動の与え方によって色々異なった複雑な模様ができるが それらの模様はいずれも高度に対称的で 枝の途中でできる側枝の位置まで一定のところにあられるほどである。でき上がった模様は雪の結晶と同じように対称性が完璧であるのでこれから類推して雪の結晶が舞いおる途中での振動が高度の対称性を規定していると トランスキーは考え その考えを Nature に発表した。

ところで その後アメリカの Cooperstown で開催された“結晶の成長と完全さ”に関する国際討論会の論文集を読んでいたら この問題に関連してのフランクの辛らつきわまりないコメントにお目にかかった。それは彼の論文に関する質疑応答のところで アメリカの Shlichta という男が トランスキーの考え方を樹枝状結晶

の形成機構に適用できなからうかという質問をしたときの答えである。フランクは これに対する答の一部として

“I thought it was nonsense then, I thought it was nonsense when next I heard it, I thought it was nonsense when Tolansky said it.”

というまことに人を喰った返事をしているのである。

こういう調子でフランクとトランスキーの間には何事によらず論争がまき起こっているが さりとて二人の間が人間的に仲が悪いわけではなさそうである。同じような論争が 前回詳しく述べた累帯構造の形成機構に関連しても二人の間で展開されている。1965年9月にオックスフォードで開催された工業用ダイヤモンド第2回国際会議の席上で フランクが新しいダイヤモンド成因論を発表した折にも その発表時間の大半を費やしていたのは累帯構造の形成機構に関するトランスキーの意見に対しての激しい反論であった。この論争を紹介することによって累帯構造から読みとれることがらについて少しつきこんだ説明をおこなうことを今回の目標にしたと思う。

累帯構造のうちでも断面で四角形にあられる {111}面に平行な累帯構造は {111}面上での層成長の過程を示すものとして容易に理解でき 何ら物議をかますものではない。一番問題になるのは 先月号でも少しふれたように 結晶の中心部に時たまあられる十字架状の構造である。この種の構造はすべてのダイヤモンドの結晶にみられるわけではなく むしろごく少数の結晶にしかみられない。しかし図1 でみられるようにあたかも十字架のような特異な外見をもっているので 特別の注意がむけられる。このような特殊な構造は最初トランスキーらがみいだし 後にシールも詳しい観察をおこなっている。

十字架状の構造を示す結晶では中心部では十字架状の構造を示し 湾曲面で囲まれているが この部の外側ではごく普通の四角形の累帯構造が発達し 十字架構造の部分は一見コアのような外見をもっているのが普通である。

ところで トランスキーはこの種の十字架状構造の存

在はダイヤモンドの結晶が結晶化の最初のころに塑性変形を受けた証拠であると考えた。つまりダイヤモンド結晶が成長する過程で偏圧を受けて変形しその後その上に通常の成長が継続して現在みられるような十字架状の内部構造がつくられたというわけである。トランスキーの考えることは多くの場合このようなきわめて素朴な考え方が多い。そこがたちまち禿鷹のようなフランクにねらわれて攻撃を受けてしまうのである。成長途中での塑性変形説にしてもその通りフランクにいわせるとこのような塑性変形が起こりうる唯一の理論は

“the diamonds are squeezed into shape between finger and thumb by Trolls in the caverns of the earth.”

トロル（北欧の伝説にてでくる巨人）

の手でぎゅっと握りしめられたと考える以外に手はないというわけであるから皮肉もここにきわまりといえそうである。とはいえこのような不思議な十字架状の内部構造がどうしてできたかの説明を与えることは並たいていのことではない。さすがのフランクも長い間にわたって考えなやみつづけたらしい。そのあげくにどうやら満足のゆく説明を考えだしたのであるからダイヤモンド会議での彼の講演持時間である45分のうち30分近くをつかってこの説明にあたえたいなる気持もうなづけよう。これからしばらく彼のいうことを聞くことにしよう。彼はシールの撮影した顕微鏡写真をもとに議論を展開しているので一部先月号の写真とダブルが必要な写真を再録することにした。図1は問題の結晶（キンバレー鉱山産）の累帯構造の全体を示す写真で一辺3.6mmの大きさの結晶である。結晶の中心部に図2で拡大したような十字架状の構造がみとめられここから少しはなれた部分には凹入状の曲線でできている累帯が存在するこのうちの一部図1で四角く区切ったところはより高い倍率で図3に示してある。

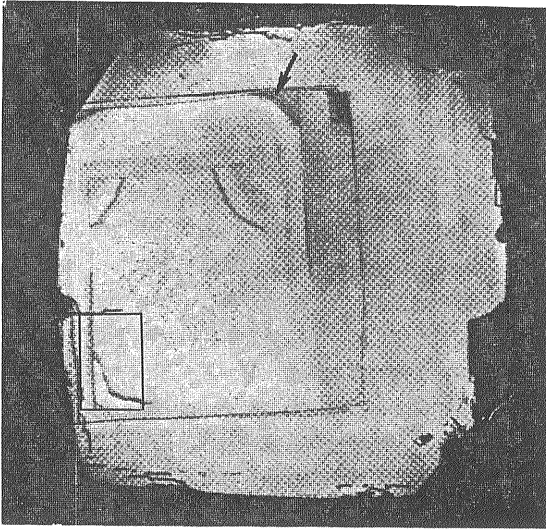


図 1

さて全体の写真で区切りをつけ図3でその拡大図を示した部分から検討してみよう。この部分を見るとかなりはっきりした累帯（白線と黒線のくりかえしでできている）が発達しそれが一部は小さい{111}面で一部は

{111} 以外の方位をもった湾曲面で構成されていることがわかる。この写真を見ると微細な{111}と{111}以外の湾曲面とのくみあわせで結晶成長が進行した時期があったことが類推される。なぜならこれらの線は累帯であって湾曲した一本の線ではないから溶解によってできたものではなく明らかに結晶成長によってつくられたものであるからである。

ところでこのような湾曲した高指数の微小面の出現は金属学の分野では不純物を微量に含んだ単結晶

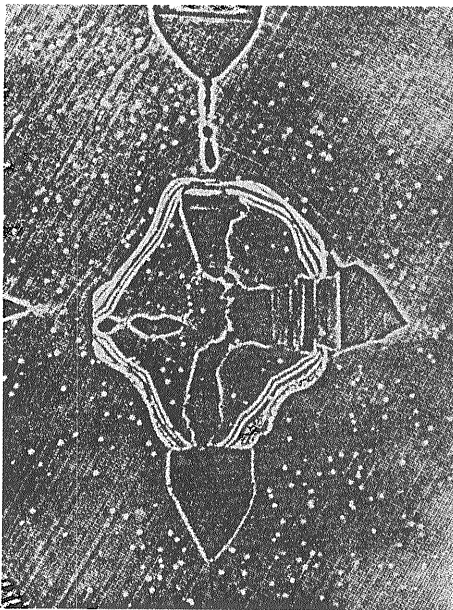


図 2



図 3

の結晶成長でしばしば観察され微小面効果 facet effect と呼ばれている。たとえば Mullin と Hulme はインジウムのアンチモナイドの結晶成長でこのことを報告している。純粹のメルトから成長させたときには {111} 面だけの成長がおこなわれるのに対して テルルを微量に含ませると {111} の微小面と {111} 以外の指数をもつ 彎曲微小面とで構成された成長がおこなわれ しかも {111} の微小面上でテルルの濃度が高いことがみだされている。ただし この種の現象が起こるのは熱力学的にみると溶質の固相での拡散係数が異常に低い条件下だけである。

さて 上述の観察と解釈をもとにして結晶中央部にある十字架状の模様をチェックしなすと 何か起こったかがかなりはっきりしてくる。図2でみられるように十字架状の構造は平たんな直線状の積み重ねりでできている分域と彎曲面の累帯でできている分域で構成されている。前者は {111} 面で構成された分域であり 後者は {111} 以外の彎曲面で構成された分域である。十字架の柱の部分は {111} 上の成長でつくられ それ以外の部分は非 {111} 面上の成長でつくられており 両分域の境界線がはっきりしているために十字架状の構造にみえるわけである。したがって この結晶は成長の最初の段階では {111} 面と {111} 以外の面でかこまれていたものと考えられる。{111} の分域と非 {111} の分域での累帯間の間隔をみると前者の方が広い。つまりこの時期の成長速度は {111} に垂直な方向の方が はるかに早かったわけで その結果として非 {111} の彎曲面が主となった結晶が成長の初期段階でつくられるのである。また非 {111} の彎曲面のところでは 成長速度が方向によって (彎曲面の部分に当然微小面の方向が種々ある) ほとんど変化していないことに気がつく。このことは彎曲面の方向に成長を妨害する何らかの要素が存在したために起こった現象であろう。もし成長を妨害する作用が働かず 自由な成長が行なわれていれば 彎曲面内でも方向による成長速度の変化が当然あらわれるはずである。

同じような傾向が Evans がおこなったダイヤモンドの酸化速度の実験結果にもみだされている。彼の実験によるとある温度範囲内では {100} 以外の面上に炭素の薄膜が形成され その部分では酸化速度がその中の方向によって変化せず まったく一定になるそうである。このことから推論すると このダイヤモンドの場合も十字架状の構造ができた成長の初期段階では 彎曲面の方向で何らかの成長妨害作用が働いたろうと思われる。

その結果この方向では 方向による成長速度の差がみられなくなった。成長妨害作用が何によって起こったかは今のところ分からないが 多分不純物の吸着によっているのであろう。

さて 十字架の中心から外にたどってゆくと 中心から 0.02 cm ぐらいのところ急に 4層の明瞭な累帯があらわれ そこで {111} 面の成長速度がおそくなり {111} 面が大きく発達しだすところがあらわれる。しかしそれにすぐ続いて再び {111} 面の成長速度が非 {111} 面のそれよりも早く {111} 面の発達が小さくなる時期があらわれる。この状態が図2内でみられる範囲内では続くが その外側に至ると再び条件が急変し {111} の成長速度が著しくおそくなり 非 {111} の彎曲面の部分に小さい {111} 面があらわれ 彎曲面が {111} と非 {111} の微小面で構成されるようになる。これが前に説明した図3に示した領域で起こっている現象である。この段階では中心部の十字架状構造をつくるのに働いていた成長妨害の要素が消失しだし 非 {111} 面の成長速度が早くなるために {111} 面が漸次大きく発達しだすのであろう。

彎曲面の成長速度が {111} 面に比べて急激に早くなった結果として 一見それまでの累帯構造とは不整合に {111} だけで構成される四角形の累帯構造があらわれる。それ以後は大勢には著しい変化はなく 成長はもっぱら {111} 上のみにおこなわれたようである。ただ途中で溶解作用が 8面体結晶の隅か後 (図1の矢印の部分) で起こっている。ここでみられる彎曲面は 十字架構造でみられる彎曲部の構造とは性質が違い 溶解作用をうけた上で再び {111} 上の成長がおこなわれた結果できた彎曲面であると解釈するのが一番安全である。

さらに 成長が完了した後も溶解作用が行なわれた証拠が 図1の左半分にあらわれている結晶の外形——主として {110} 面の断面——と累帯構造との関係ではっきり認められる。{110} 面は明らかに四角形の累帯構造を切つてあらわれている。成長完了後の溶解作用と {110} 面の形成機構については すでにこの連載の③でかなり詳しく議論したので これ以上ふれないことにするが いずれにしても この結晶一個から結晶のおいたちがずいぶん詳しく読みとれるわけである。その結果ダイヤモンドの結晶成長のプロセスは決して単純なものではないことを理解していただけたと思う。

(筆者は鉱石課長)