

宝石用人工ダイヤモンド

砂川 一郎

去る5月28日 アメリカのゼネラル・エレクトリック (G・E) 社で 宝石用の人工ダイヤモンドの合成に成功したという発表がはなばなしく行なわれた。同社の副社長アーサー・ビュッヘ氏のことばによると 二世紀にわたる科学者の夢が初めて現実化したもので この成功は1955年の春に世界最初のダイヤモンドが合成された時よりも はるかに意義の高い成功だそうである。

カラットサイズの宝石用ダイヤモンドの合成に成功したというしらせは たちまち電波にのり いろいろな波紋を宝石業者の間にだけでなく 一般の人々の間にもまきおこした。ダイヤモンド流通の中心であるロンドンのシンジケートでは さっそく世界中の取引先にパンフレットを送って動揺を防ごうとした。そのパンフレットによると 宝石用人工ダイヤモンドが合成されても その値段は天然ダイヤモンドよりもはるかに高いから 宝石用ダイヤモンドの価値にはいささかも影響を与えないだろうと書かれている。日本でも一二の週刊誌がこの問題をとりあげ 天然ダイヤモンドの将来性について識者の意見を聞いてまわった。いろいろな意見が出されたようである。宝石用ダイヤモンドの合成によって天然ダイヤは暴落するだろうと予想する人もいたし ルビー サファイヤやエメラルドの例をひいて 一時的な動揺はあったとしても 最終的には天然ダイヤの価格は安定だろうと考える人もいた。

宝石を取り扱う人々にとっても ダイヤモンドを財産として大切に持っている人にとっても 宝石用人工ダイ

ヤモンドの出現は重大な関心事である。そこで 天然ダイヤと人工ダイヤの両方についての今までの研究結果をもとに 5月28日以降に入った新しい情報を加味しながらこの問題を考えてみることにしよう。

ダイヤモンドを人工的に合成しようとした研究の歴史はたいへん長い。最初の合成実験が行なわれてから数えると すでに一世紀半にもなるのではなからうか？この間に ノーベル賞クラスの科学者から町の発明家に至るまで 実にたくさんの研究者がダイヤモンド合成に精魂を傾けてきた。

フランスのノーベル賞受賞者モアッサンが隕石の中にダイヤモンドがみつかったという報告からヒントを得て 高温で鉄と炭素をいっしょに溶かし それを急冷して生ずる高圧を利用して ダイヤモンドを合成しようとした話はよく知られている。彼は ダイヤモンド合成に成功したと報告したが その後弟子が告白したところによると 先生のくり返す実験に疲れはてて 天然ダイヤモンドのかけらを炉の中に入れておいたのだそうである。実際 現在の知識からみると 彼の方法では ダイヤモンドの合成に必要な高圧は得られていなかったはずである。

一方 モアッサンよりも前に スコットランドの若い化学者ハネーが そのころ広く信じられていたダイヤモンドの有機起源説をもとに実験を行ない 合成に成功し

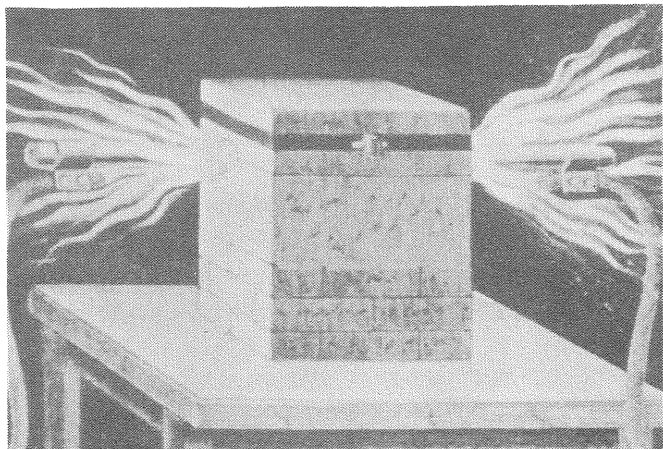


図1 モアッサンの実験装置

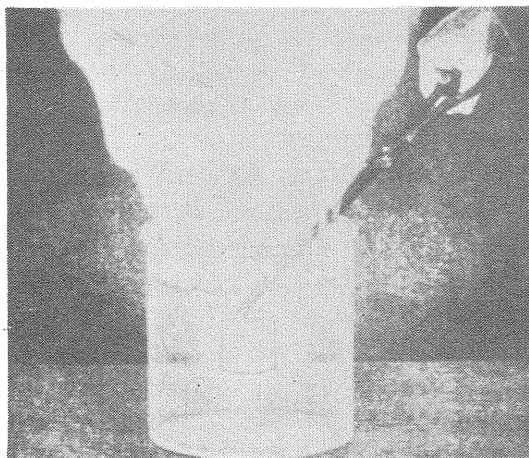


図2 モアッサンが行なった急冷実験

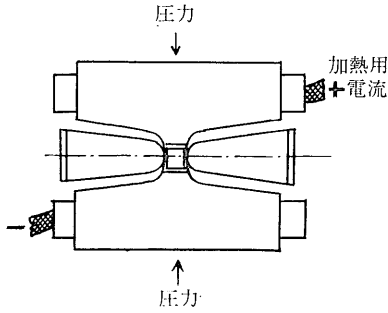


図3 ベルト装置の断面図

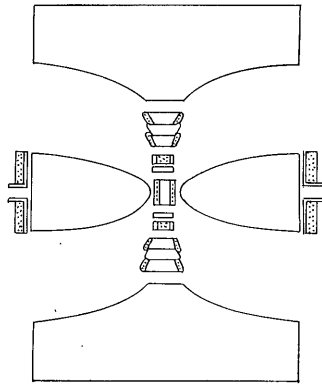


図4 ベルト装置の内部配置図

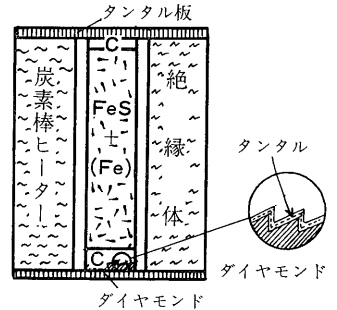


図5 G. E. が最初にダイヤモンド合成に成功した際のカプセル内配置図

たと報告している。彼の合成した人工ダイヤモンドは 現在大英博物館の自然史部門に保管されており その後数人の人がX線などの方法を使ってこの試料を調べている。また 合成の追試を行なった人も何人かいる。その結果では ハネーはうそつきで合成には成功していなかったと主張する人もいるし 失敗したとは云いきれないと弁護している人もいて ハネーの実験結果は今もって黒白をつけ難い状態である。

こうしたたくさんの方の科学者たちの努力や失敗の積み重ねの上になつて G・E社が1955年の春に 世界で初めて人工ダイヤモンドの合成に成功したのである。

G・E社でダイヤモンドの合成に成功した理由は たいへん高い温度と圧力を せまい範囲に集中できる装置の開発に成功した点にある。

天然ダイヤモンドの産出状態から類推してみても また むずかしい数式を使って温度・圧力条件を熱力学的に計算してみても どの面から検討してみてもダイヤモンドは たいへん高い圧力と温度の条件下でなければ成長しないことがわかる。今の知識でみつもと 天然のダイヤモンドは少なくとも地下200kmよりも深いところ 多分500kmから700kmの深さのところできただろうと考えられている。この点の詳細は 本誌143号や拙著“ダイヤモンド そのおいたちと性質”を参照していただきたい。温度・圧力条件でいうと 5~6万気圧以上 1,700℃以上といったところである。温度・圧力とも これより低い条件下では 炭素はダイヤモンドとしては安定に存在することができず より安定な石墨になってしまう(ダイヤモンドも石墨も炭素だけでできている結晶であることは ご存知のとおりである)。

さて G・E社はダイヤモンドの結晶が成長できる温度・圧力条件を人工的に作り出すために 図1のような装置を開発した。これをベルト型アンビルと呼び この装置の中心に炭素と溶媒として使う金属とをまぜてつ

めたカプセルを入れ プレスを使って 上下から圧力をかけると同時に

カプセル部に電流を流して加熱する。すると全圧力がこの小さなカプセル部に集中し そこに5万気圧以上の高圧が発生し 同時に1,700℃以上の高温もうまれ 炭素は溶媒として使った金属の溶液の中にとけこむ。この金属のことをG・E社は最初触媒ということばで呼んでいたが その働きは溶媒そのもので ちょうど水の中に塩を溶かしたときの水に相当している。炭素が塩に相当するわけである。

さて 高温・高圧条件下でしばらくおくと金属溶液の中に溶けこんでいた炭素の原子が集まってダイヤモンドの結晶ができる。ちょうど暖かいお湯に塩をたっぷり溶かしこみ そのまま放置しておくとお湯の温度が下がるにつれて小さな六面体の塩の結晶ができてくるのと同じことである。

さて 塩を含んだお湯を急に冷すと たいへん細かな結晶がたくさんできる。いっぽう 注意してゆっくり冷却すると できてくる結晶の数は少ないが 一つ一つは大きくなりっぱな結晶になる。同じ理屈がダイヤモンドの合成の場合にもあてはまる。

ダイヤモンドの合成に使うベルト装置は 超硬合金でできている。しかし ダイヤモンドの合成ができるような高い温度・圧力条件下では いかにも超硬合金といつても 長時間耐えることはできない。そういうシビアな条件下に数分程度さらして それを100回ぐらいくり返すことはできても 同じ条件下で一時間も二時間も維持することは至難のことであった。ここに今までのダイヤモンド合成の苦労があったし 宝石用ダイヤモンドの合成がなかなかできなかった原因の一つがあったわけである。

高い温度・圧力条件を数分程度しか維持できないとすると 塩を含んだお湯を急冷する場合と同様 細かでも不完全な結晶がたくさんできるだけで 大粒の完全

な結晶をつくるわけにはとてもいかない。いわば未熟児ばかりたくさんできて 天然ダイヤモンドのような円熟児はできないわけである。実際今までのダイヤモンド合成では 径 1mm 以下の砂粒のようなダイヤモンドしかできない。そのため人工ダイヤモンドは 今までもっぱら研磨材用として工業の分野で使われているだけだった。ただし工業分野では 全体としての工業用ダイヤモンド需要の伸びと共に 年々消費量も生産量も上昇している。いま 世界で工業用の人工ダイヤモンドの合成を行なっているのは アメリカのG・E社 南アフリカとアイルランドにある De Beers 社 スウェーデンの ASEA 社 日本の小松ダイヤモンド工業(株)である。これらは 今まで述べてきたのと似た方法で合成を行なっている。

一方 アメリカのデュポン社では これらとはたいへん異なった方法でダイヤモンドの大量生産を開始した。デュポン社は火薬の生産で有名な会社である。

閉じた系の中で火薬を爆発させると瞬間的にたいへんな高温高压条件が発生する。原料の炭素をうまく配置しておくとその際にダイヤモンドができる。こうして作ったダイヤモンドは G・E社などの普通の方法で作ったダイヤモンドの結晶よりもはるかに小さい 精々直径数ミクロンの大きさである。しかし こんなに小さいものでもそれなりの効用はある。仕上げ研磨のようなきめの細かい研磨に使うのには ミクロンサイズの粒径のそろったダイヤモンドの方が仕上がりがよいからである。話が小さい方に進んでしまったが 人工ダイヤモンドで現在一番大きいものはどのくらいのサイズだろうか。実は3カラット以上の大きさのダイヤモンドがで

きていることはできているのである。これまたG・E社の研究所で作ったものであるが その方法は数分程度の実験をくり返して結晶を成長させるという方法である。

大きいとはいっても これはくり返しての成長であるため 真黒でがさがさのすき間だらけのものになってしまう。せっかく大きく育ててはみても 宝石用としてはもちろん 工業用としてもそのままではとうてい使うことはできない。再び砕いて粉末にし 研磨材としてしか使い道のないしるものなのである。

人工ダイヤモンドの未熟児性に対して 天然ダイヤモンドは 地下数百kmの母なる大地のふところの中でゆっくりはぐくみ育てられてきた いわば円熟児である。しかもそうして育ったダイヤモンドの結晶の中から色 透明度 傷などで厳選した優良児だけが宝石となり 大半は工業用にまわされていたわけである。天然ダイヤモンドが人工ダイヤモンドに比べてはるかに円熟児的であることは 両者の結晶の性質を比べると一目瞭然でわかる。これもまた詳しいことは拙著を参照していただきたい。こうしてみると 人工ダイヤモンドと天然ダイヤモンドとが貴重さにおいて いかに本質的に違うものであるかがよくわかる。

ところで これまでの説明でよくおわかりのことと思うが 人工的に宝石用に使えるようなダイヤモンドの結晶を作ろうと思えば まず 長い時間高温高压条件においても容易にこわれしないような装置 いいかえれば良質の超硬合金の開発が前提になる。なぜかという 合成に際してダイヤモンドの核がたくさんできず 少数の核をゆっくりと育てることが まず第1に要求されるからである。実はこのほかにも いろいろな困難を克服しなければならないのであるが 紙数の都合でそれにはふれないでおくことにして なによりもまず 高温高压下に100時間ないしそれ以上も耐える装置の開発が先決である。この開発にG・E社は15年もかかったのであろう。これは大変な努力であったといえよう。G・E社の研究者の努力に敬意を払わないわけにはいかない。もっとも 装置自身や それを構成している超硬合金の性質については全く発表がないから その詳細はまだわからない。ただ そこ

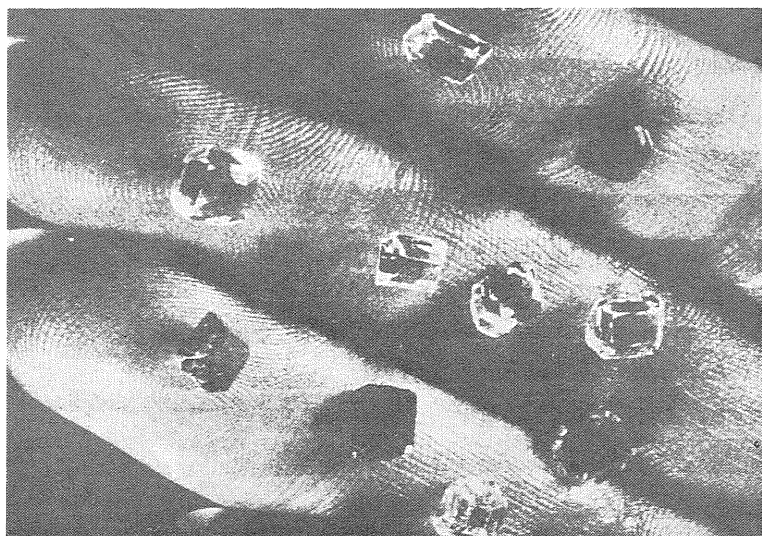


図6 G・Eのつくった宝石用人工ダイヤモンドの結晶(朝日新聞 提供)

がキーポイントであつたらうと私は推測しているわけである。

さて 長時間高温高压条件を維持できる装置が開発されると 水晶やエメラルドの人工合成と同じような結晶の育成法を適用することが可能になる。つまり カプセル内に温度の高い部分と低い部分をつくり 低い部分に種子になるダイヤモンドの結晶をおき 高い部分で溶けた炭素分が 温度の低い方に動いてゆき 種子の結晶に組みこまれるという方法である。このような方法を温度差法といっている。

水晶を合成する時 圧力容器の中に 水 (Na_2CO_3 などを加えた) をみだし 容器の底に屑石英をおき 上部に種子結晶をつるしておく。容器全体を加熱すると水が膨張して高压が得られる。いっぽう 容器の底の方は高温に 上部はこれよりも温度を下げた状態に保っておくと 容器の底の屑石英が溶けて SiO_2 分は対流によって容器の上部の方に動いてゆく。そこでは温度がやや低いので 種子結晶に組みこまれて 水晶の結晶がどんどん育つてゆく。このようにして 長さ30cmにも達する待望の水晶の結晶を人工的に育成することができるのである。結晶育成での温度差法は 水溶液の場合に適用できるだけでなく 無機塩類を溶媒として使うフラックス法でも実行できる。ダイヤモンドの合成法も本質的にはフラックス法と同じである。しかし こういう結晶の育成方法の適用は 今までのダイヤモンド合成では不可能に近かった。カプセル内での温度分布のコントロールができず 高温高压をかけるのも 冷却減圧するのも きわめて短時間であるので その過程であちこちにいっぺんに核ができてしまう。その結果細かい結晶しかできなかつたわけである。

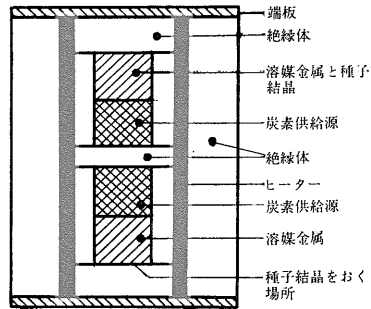


図8 宝石用人工ダイヤモンドの合成に用いたカプセル内の配置図

G・E社で 宝石用ダイヤモンドの合成に使った実際の装置は 図8に示したような装置である。これがダイヤモンドが成長する部分で このカプセルを図3のベルト装置の中心に装着し 長時間加熱加圧を継続して宝石用ダイヤモンドの合成に成功したわけである。図8のカプセルの中央部付近に原料の炭素があり それに続いて溶媒として使う金属がおかれ その先に種子になる人工ダイヤモンドの結晶をおく。原料の炭素がある中心部と種子結晶の部分との間には約30℃の温度差がつけてある。この結果 工業用ダイヤモンドの合成の場合のように 急激に多数の核ができるというようなことはなく 結晶は種子結晶の上に除々に成長してゆく。

G・E社の発表によると 成長速度は 一時間に2mgから 3mg程度とのことである。1カラットは200mgであるから 1カラットの原石を作るには ほぼ100時間もの長い時間 高温高压条件を維持してゆくわけである。カットすると原石の約6割に目減りするから1カラットのカットしたダイヤモンドを作るためにはもっと時間がかかるであろう。これは工業用人工ダイヤモンドの合成に要する数分という短い時間に比べて 莫大な長時間であるということがわかる。ゆっくり成長した結果 不純物のとりこみも少なく 結晶は透明で完

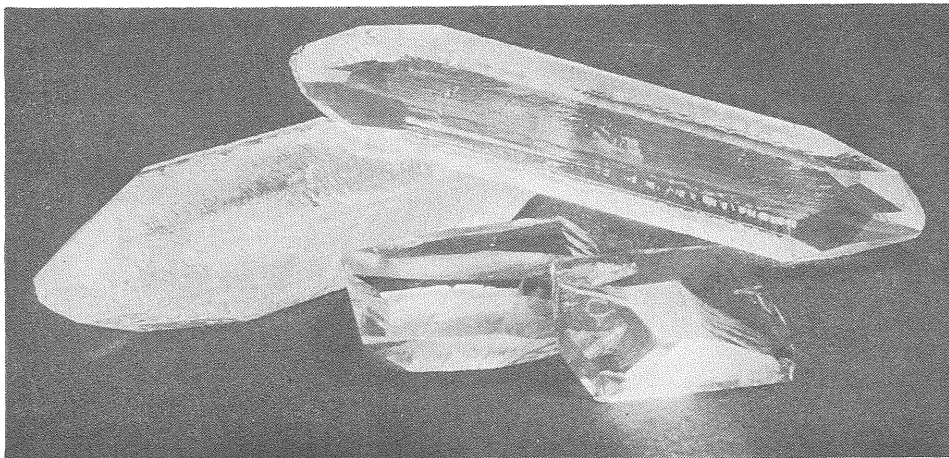


図7 人工水晶の結晶

全に近いものになる 宝石用として使える品質になるわけである。

いっぽう 装置の消耗その他の経費を考えると 1カラットの原石を作るのに 現状では莫大な経費がかかるだろうということもすぐ想像できる。シンジケートが取引先の間に配布した文章の中に 現状では 宝石用の人工ダイヤモンドを作るのに 天然ダイヤモンドよりもはるかに高い経費がかかるから 宝石用人工ダイヤモンドの出現は天然ダイヤモンド市場にとってそれほど脅威にはならないと書いているのはこのことによっている。しかし いったん第一歩が印されると そのあとの進歩は想像以上に早いのが最近の科学技術の発展の一般的な傾向である。 宝石用人工ダイヤモンドがもっと大量に作られるようになるのは これからは時間の問題であろう。

G・E社が合成に成功した宝石用人工ダイヤモンドは色々な色調のものがあるそうである。無色透明に近いもの ブルー イエロー カナリー（黄色）など種々の色調のものがあるらしい。それらが結晶体で手に入れば 天然と人工との区別はきわめて容易である。そのおいたちが違うので 結晶面上の成長模様が違うからである。このことについては 拙著「ダイヤモンドの話（岩波新書）」あるいは「ダイヤモンドーそのおいたちと性質（丸善）」 ないしは本誌143号を参照していただきたい。天然結晶と人工結晶の間には はっきりした違いが存在するのである。

そのほか アメリカの宝石研究所G・I・AでG・Eでできた宝石用人工ダイヤモンドを手に入れて 予備的な試験をした結果によると 無色に近いものやブルーのものは 蛍光と燐光が強く 強い電気伝導性を示しているそうである。天然のダイヤモンドで電導性を示すのは II b型と呼ばれる半導体ダイヤモンドだけで これはすべてブルーの色調をもっている。この点では ブルーのものを除いては天然ダイヤとの鑑別が容易にできるといことである。

またX線のラウエ写真をとると 天然と人工との間には 回折点の形に明瞭な違いがあることも以前から知られている。たとえば ロンスデールとミレッジの研究によると人工ダイヤモンドは 余分な衛星状の反射点がでるそうである。 今度の宝石用人工ダイヤモンドについての予備的な試験だけでも 天然と人工との間にはX線回折点の上で かなりはっきりした差があるらしい。これから詳しい研究が進んでゆけば ずっとたやすく天然・人工を区別する方法が見出されてくることであろう。

とすると 事態は人工のルビー サファイヤあるいはエメラルドが出現したときと同じではなからうかと予測される。

1900年代の初頭に フランスのベルヌイがはじめてルビー サファイヤの合成に成功したとき 鉱物学的な性質は天然のルビーやサファイヤと同じだし 色はむしろ天然品よりも美しい この分では天然ルビーやサファイヤの価格は暴落するだろうと 業者の間には一種の混乱と恐慌が起こったものである。ところが その後天然のルビーと人工のルビーを鑑別する方法（おもに結晶の中にふくまれている包有物の種類の違い。 これまた天然人工の間のおいたちの違いを反映している性質であることに注意）がみつかり 一方人工ルビーやサファイヤが量産されるようになるにつれて 人工品の価格は低下する一方となり 今では1カラットあたり原石では10円しない値段になってしまった。一方天然のルビーやサファイヤの値段は下らないばかりでなく 上昇の歩をたどり 今では1カラット数十万円もするという有様である。

戦後 アメリカのサンフランシスコのチャザムという男が フラックス法（無機塩類を溶媒としてつかった溶液中から結晶を析出させる方法）でエメラルドを人工合成したとき 彼は最初天然エメラルドとまぜて市販した。最初はごまかされていた業者も やがて気がつき アメリカのG・I・Aが中心となって世界中の天然エメラルドとチャザムのエメラルドの比重と屈折率を詳しくしらべあげた。その結果 チャザムのエメラルドは天然のどのエメラルドよりも 比重も屈折率も低いことがわかり 両者を区別する簡単な方法が考えだされた。それ以後人工エメラルドの価格は下がったが 天然エメラルドの価格は決して下らず 今でもダイヤモンドとほとんど同じぐらいの値段なのである。

ダイヤモンドの場合にも 上と同じようなゆきをたどるだろうと予測してはいけない理由は一つもない。多分同じような経過をたどることであろう。どんなに努力してみても 天然とまったく同じものを創り出すことは不可能である。両者を区別することができれば 天然石の方がよいと考えるのが とうやら今までのご婦人方の傾向のようである。この価値観自身あるいは資本主義の所産で 商業政策によって植えつけられたものかも知れないが 価値観自身の逆転が起こらないかぎり 天然石愛好の傾向は変わってゆきそうもない。そして 価値観の逆転は 仲々起こりそうもなさそうである。

（筆者は鉱床部長）