



## 結晶のしくみ

服部 仁(地質部)・金沢 康夫(鉱床部)  
Hitoshi HATTORI Yasuo KANAZAWA

### プロローグ

どこにも転がっているありふれた鉱物が美しい結晶や類まれな宝石に変身するということ そんなことはないと思われるでしょう。自然現象のなかにはまさかと疑ってみたくなるようなことがまれですが実際に起っているのです。ある鉱物が美しい結晶に育つのはたまたま間違っただけなのかあるいは環境に一定条件がととのえば起るのか? この“結晶のしくみ”の展示コーナーではありふれた鉱物—美しい結晶の例として石英—水晶を取り上げ『美しい結晶の秘密は何か』を解きほぐしてみようというわけです。

地上のありとあらゆる生物は大抵炭素Cを含む有機物です。炭素はしたがって地上で最もありふれた元素ということが出来ます。その炭素が変身して石炭や石墨になったりごくまれにダイヤモンドの結晶になります。同じような視点に立って地殻を構成する最もありふれた元素は何かということから話が進んでゆきます。少しばかり難しい解説が続きますが学問の先端分野の研究結果と身近な応用例について述べているので肩が凝るかもわかりません。一寸我慢をしてつき合ってください。

美しい結晶の誕生と成長 大地のふところ深くで結晶がはぐくまれる環境などについて思いをめぐらせることができましょう。

### ① 珪酸塩鉱物と結晶

結晶(crystal)はなかの原子やイオンが規則正しく配列している物質のことをいいます。私たちの身近にごく普通に存在する石英などの珪酸塩鉱物のほとんどは結晶です。これと対照的な言葉が「アモルファス(amorphous)」で非晶質のことを意味しています。ア

モルファスの代表的な固体はガラスなのです。このアモルファスも最近新材料として登場している太陽電池の素材アモルファスシリコンなどで耳なれた言葉になっています。

さて珪酸塩鉱物とは何でしょうか。どうして身のまわりに多いのでしょうか。その化学組成・結晶構造・分類・物理的性質などについて眺めてみましょう。

### ② OとSiの上に住む人間

道路わきの砂や田畑の土を手にくって見るとそこには大抵石英の粒が30%位入っています。もちろん土地によってはまわりの地質条件が違うので30%より少ないこともあれば砂漠のように100%近くが石英の粒からできている土地もあります。

石英は私たちの住む大地を構成する最も主要な鉱物ということができます。

石英は酸素原子2個と珪素原子1個からなる結晶でシリカ鉱物の一つです。手にくった砂や土のなかには石英のほか長石や雲母あるいは粘土鉱物がたくさん含まれていますがこのような鉱物も主要な構成元素は酸素と珪素なのです。すなわち私たちは酸素Oと珪素Siの上に住んでいると言っても過言ではありません。

地表の砂や土という対象から視野をうんと広げて地球表層部の地殻という単位で構成元素を眺めてみるとどうなるでしょうか。よく教科書に出ているデータ(重量比)とこれを別の表示方法(原子比と容積比)でまとめたのが第1表です。展示にはこの表のほかに元素の存在比を面積によっても図示しています。驚いたことには地殻は重量比で約99%が8つの元素によって占められているのが分かります。そのうち特にOとSiは

第1表 地殻を構成する元素の存在比

元 素	重 量 比	原 子 比	容 積 比
	%	%	%
O	46.60	62.55	93.77
Si	27.72	21.22	.86
Al	8.13	6.47	.47
Fe	5.00	1.92	.43
Ca	3.63	1.94	1.03
Na	2.83	2.64	1.32
K	2.59	1.42	1.83
Mg	2.09	1.84	.29

他を圧倒して重量比で約74%も存在しているのです。この2つの元素を原子比で表わすと約84% 更に容積比に換算すると約94%になってしまいます。私たちがOとSiの上に住んでいると言ったことが誤張ではないとお分かりいただけるでしょう。

### ③ 水晶とその仲間

O原子とSi原子は強く結びつきSiO<sub>4</sub>四面体を作り石英(クォーツ<quartz>)などのシリカ鉱物を作るとともにSiO<sub>4</sub>四面体に他の金属原子が加わって色々な珪酸塩鉱物<silicate minerals>を作ります。長石 雲母 角閃石 ざくろ石はこの珪酸塩鉱物の一例です。しかし産出頻度は低いのですが珪酸塩鉱物以外の鉱物もたくさんあります。ダイヤモンド ルビーなどの宝石や黄銅鉱 方鉛鉱などの鉱石は この類に属します。

この展示コーナーのなかの最大の鉱物標本は大型水晶です。水晶は石英のなかでも無色透明で結晶形の明瞭なものについて呼ばれる名称で<rock crystal>あるいは<quartz crystal>といわれます。実際にはいろいろな色が着くので 色の違いにより煙水晶 紅水晶 黄水晶 紫水晶などの俗称で呼ばれることもあります。

展示されている大型水晶は およそ長さ 66cm 幅27cm 高さ38cmもある立派なもので しかも幾つかの方向に別の結晶が延びていて いわゆる連晶になっています。じっと観察してみると 白濁した部分と無色透明で清澄美しい部分とが規則的に混じっているのが分かります(表紙写真)。

この大型水晶は丸い台の中央に鎮座しています。そのまわりのドーナツ状ガラス板の下には 次の鉱物が並べてあります。どの鉱物も水晶(=石英 シリカ鉱物)と化学組成では良く似た鉱物 すなわち水晶の仲間ということができます。

チャート (Chert) <R19498>

石英の微結晶 低温型クリストバライトまたは非晶質シリカからなり 5%以上の不純物を含む。

(産地) 滋賀県甲賀郡土山町大河原

紅石英 (Rose Quartz) <M1860>

(産地) 福島県石川郡石川町石川山

煙水晶 (Smoky Quartz) <M9558>

(産地) 岐阜県中津川市苗木

ぎよくずい(玉髓) (Chalcedony) <M14496>

SiO<sub>2</sub>. 石英の陰微晶質結晶の網目状集合体。

(産地) 茨城県那珂郡山方町北富田

珪化木 (Petrified Wood) <F7689>

植物の材がシリカに交代されて めのう化またはたんぱくせき化したもの

(産地) 兵庫県神戸市須磨区石切峠

めのう (Agate) <M14494>

ぎよくずいの一様で 色・透明度の異なる縞模様をもつ。染料を使って着色が行われる。

(産地) ブラジル

たんぱく  
蛋白石(オパール) (Opal) <M14495>

SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O. 非晶質またはそれに近い含水珪酸鉱物。

(産地) 石川県小松市赤瀬町那殿山

含輝水鉛鉱-石英脈 <R19497>

(Molybdenite-Quartz Vein)

ホルンフェルスを貫く鉱脈で 輝水鉛鉱は石英脈の周縁部に濃集している。

(産地) 京都府加佐郡大江町仏性寺鉱山

電気石・水晶を有するペグマタイト <M9819>

(Pegmatite including Tourmaline and Quartz Crystals)

(産地) 岩手県気仙郡三陸町崎浜

赤白珪石 (Akashiro Silicestone) <R19496>

赤色チャートの角礫とその間を満たす白色石英(脈状)からなる。

(産地) 兵庫県多紀郡篠山町畑

シリカゲル (Silica Gel)

SiO<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O. 非晶質シリカからなる。

無数の細孔を含む多孔性物質として調製されており、空気やガスの中の水分を吸着する特性をもっている。発色暗示薬を添加された青色シリカゲルは、吸湿すると淡紅色に変色する。

④ 水晶及び石英の産状

六角柱状に延びた結晶はその先端きりのように尖っていて、大きな結晶でなくても鉛筆の芯くらいの小さなものでも雄雄しく見えます。この水晶は、自由空間のなかでのびのびと成長したらしく、その状態をほうふつさせます。水晶ができるのは地中ですが、実際にそのために必要な自由空間が地中にあるのでしょうか。またあるとすればどのような地質環境でしょうか。その答は、水晶そのものを見ているだけでは分かりません。

水晶を取り巻いている鉱物や岩石の様子をよく調べるのが大切です。

この展示コーナーには、わずかですがその自由空間とまわりの状況との関係の見られる標本を並べています。

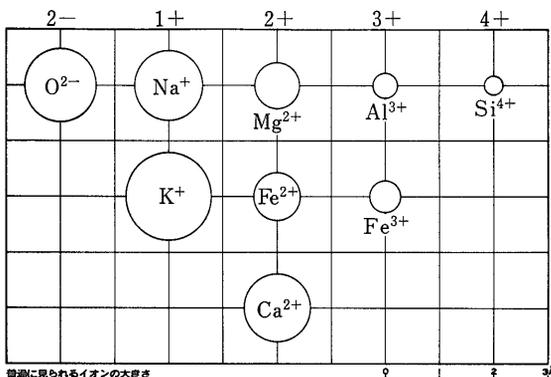
1つは晶洞しょうどうと呼ばれるもので大抵球形状の空隙を持っています。球状の丸い壁からほぼ直角に、内側に向かって求心的に、水晶などの結晶が成長しています。もう1つの例は石英脈で、普通乳白色の細粒石英からできていますが、その中央部にときどき空隙があります。水晶はその空隙に向かって櫛の歯や竹の子のように突出して並んでいます。

一般に晶洞中には珍しい鉱物が、大きくてしかも美しい自形結晶としてたくさん見られるのです。展示に出ている紫水晶はその良い例です。他方、石英脈にはしばしば鉱石鉱物がよく伴っています。展示の黄銅鉱脈や金銀鉱がそれです。

最も珍しい石英の形状は、砂漠の砂です。砂漠というと、すぐ砂丘の表面にできる滑らかな模様なまめの風紋を連想しがちです。日本には残念ながら砂漠がないので、その砂を手にとって眺めることができません。砂漠の砂は拡大鏡ルーペで観察すると、その丸さにびっくりします。しかも、粒径がほとんど同じ大きさ約0.5mmにそろっているのです。その様相はたらこにそっくりで、赤砂の方はからしめんたいの色感を与えます。砂漠では暴風が吹き荒れると、岩石鉱物が舞い上げられて砂嵐になり互いに空中で激しくぶつかり合うため、鉱物は次第に摩耗し小さくなり、更に角がとれて丸くなります。赤砂の色は、一粒一粒の表面にうっすらと赤褐色の酸化鉄の薄膜ができるために生じています。

この展示コーナーの標本は次のとおりです。

水晶含有晶洞 (Quartz Crystal in Druse) <M9820>



普通に見られるイオンの大きさ

第1図 普通に見られるイオンの大きさ。数字は原子価

(産地) 岐阜県中津川市苗木

紫水晶 (Amethyst) <M1138>

(産地) 秋田県仙北郡協和町荒川鉱山

水晶を伴う黄銅鉱脈 (Chalcopyrite-Quartz Vein) <M4306>

(産地) 秋田県仙北郡協和町荒川鉱山

しま状金銀鉱 (Banded Ore of Gold and Silver) <M1659>

(産地) 新潟県佐渡郡相川町佐渡鉱山

しま状銀鉱 (Banded Ore of Silver) <M1663>

(産地) 兵庫県朝来郡生野町生野鉱山

砂漠の砂 (丸い石英粒) (Rounded Quartz Grains)

(産地) サウジアラビア ルブアルハリ砂漠

砂漠の赤砂 (砂鉄に汚染された丸い石英粒)

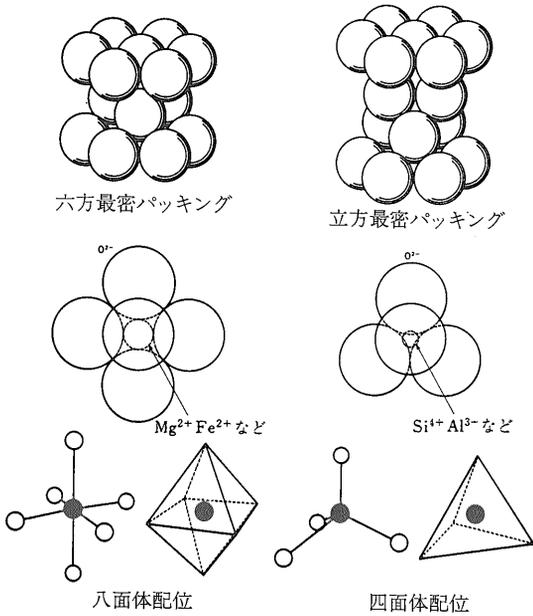
(Rounded Quartz Grains Stained with Iron-Oxide Minerals)

(産地) サウジアラビア ナフド砂漠

⑤ 酸素イオンによる密なパッキング構造

私達の身近かなところで最も豊富な元素は酸素であると、②の「OとSiの上に住む人間」のなかで紹介しました。この酸素が主な鉱物の結晶構造の主役としてその鍵を握っているのです。

多くの鉱物結晶の中では、原子は一定の大きさを持ったイオンの状態で結合しています。それぞれの原子は球体になぞらえてイオン球として表わされ、その大きさ



第2図 結晶構造の基本単位  $SiO_4$  四面体など。

はイオン半径 (通常 Å オングストロームという長さの単位 =  $10^{-10}m$ ) として示されています(第1図)。最も多量に存在する酸素  $O^{2-}$  は大きな陰イオン球として 立方や六方の密なパッキング構造をとろうとします。その結果酸素原子による四面体と八面体のなかに隙間ができるのです(第2図)。

$Si^{4+} Al^{3+} Fe^{3+} Fe^{2+} Mg^{2+}$  のように小さな陽イオンは  $O^{2-}$  の四面体や八面体の真中の隙間を埋めるように組み合わせられます。特に 酸素に次いで豊富な  $Si^{4+}$  は  $O^{2-}$  の四面体の隙間に入り 結晶構造の基本単位である  $SiO_4$  四面体を作るのです。珪酸塩鉱物の結晶構造は このように密なパッキングによりできた  $SiO_4$  四面体を核にして成り立っています。

⑥ 珪酸塩鉱物の結晶構造

岩石を構成している鉱物は造岩鉱物と呼ばれます。花崗岩を例にとりますとその鉱物は普通 石英 カリ長石 斜長石 黒雲母の四種類で ときどきこれに角閃石が加わります。この「結晶のしくみ」の展示コーナーの隣には「花崗岩の解剖」の展示コーナーがあり 花崗岩の造岩鉱物が解説されています。そこには粗粒黒雲母花崗岩から粉砕・分離した石英 カリ長石 斜長石 黒雲母がガラスシャーレの中にそれぞれ並べられています。粒径 1mm 位に細かく粉砕されているとはいっても 四種類の造岩鉱物の粒子を比べてみると 次のような特徴が分かります。

黒雲母は黒光りしていて板状に見える。

第2表  $SiO_4$  四面体の結合様式による珪酸塩鉱物の分類

珪酸塩の区分	$Si-O$ 四面体の結合様式	鉱物名(例)
ネソ珪酸塩	$Si-O$ 四面体は一つずつ分離している。	かんらん石 ざくろ石
ソロ珪酸塩	二つの $Si-O$ 四面体が一つの角を共有してつながっている。	緑れん石
サイクロ珪酸塩	$Si-O$ 四面体が結合してリングを作っている。一つのリングを作る四面体の数は 3個 6個 12個など	電気石 堇青石
イノ珪酸塩	$Si-O$ 四面体が一次元の方向に長い鎖を作っている。または その鎖が二つ連結して複鎖を作っている。	輝石 角閃石
フィロ珪酸塩	$Si-O$ 四面体は二次元に広がり 平らな層状構造を作っている。	雲母 緑泥石
テクト珪酸塩	$Si-O$ 四面体は三次元的につながって フレーム状構造を作っている。	石英 長石

都城・久城 (1972) : 岩石学 I “偏光顕微鏡と造岩鉱物”  
表8-1<共立全書189>を簡略化

石英はガラス光沢を示し 幾分尖った起伏をなして いて外形に特徴がない。

カリ長石及び斜長石は乳白色を示し 直方体に近い外形をなす。

もっとも粉砕する前の元の粗粒黒雲母花崗岩を観察すると同じ特徴は見いだせます。このような造岩鉱物の外形上の特徴は 実際にはそれぞれの鉱物の結晶構造すなわち原子の配列状態によって規制されているのです。原子の大きさのレベルというミクロの世界がmm レベルの鉱物の外形を決定づけているのです。ここに例として取り上げた四種類の造岩鉱物は どれも身近かにおいて最も普通に見られるもので  $SiO_4$ 四面体を核としている珪酸塩鉱物です。珪酸塩鉱物は第2表にまとめられているように  $SiO_4$ 四面体のつながり方によって 6種類の構造タイプに分類されています。展示では この6種類のつながり方を図解しています。石英 カリ長石 斜長石 黒雲母がどの構造タイプに区別されているか探してみてください。また  $SiO_4$ 四面体のつながり方から各鉱物の内部構造つまりミクロの世界を想像してください。

⑦ シリカ鉱物の多形

化学組成が全く同じ結晶であっても できる時の温度や圧力条件などが違っているとそれに応じて結晶構造が変わり別の鉱物になります。これを多形と言います。最も良く知られた例は炭素のみからできているダイヤモンド (比重3.5) と石墨 (比重2.25=黒鉛) でしょう。

石英は珪酸塩鉱物の分類ではテクト珪酸塩に区別されていますが  $\text{SiO}_4$ 四面体だけでできていて他のイオンを含まないシリカ鉱物 ( $\text{SiO}_2$ ) に属しています。このシリカ鉱物にはたくさんの多形があります。石英は  $\alpha$ -Quartz (低温型石英) と  $\beta$ -Quartz (高温型石英) とに分かれますが 石英と呼ぶときには普通 低温型石英を意味しています。石英のほかに トリジマイト (磷珪石) やクリストパライトのように高温でより安定な鉱物がありどちらもシリカ鉱物の多形です。

展示ガラスケースに 2種類の結晶模型が入っています (写真1)。1つは 低温型石英で水晶の形状に似ています。白玉が  $\text{O}^{2-}$ イオン 青玉が  $\text{Si}^{4+}$ イオンを表わしています。このガラスケース内には 人工水晶が並べられています。人工水晶は後の方の“結晶の合成”において詳しく解説されています。もう1つは クリストパライトで白玉が  $\text{O}^{2-}$ イオン赤玉が  $\text{Si}^{4+}$ イオンを表わしています。2つの結晶模型から  $\text{SiO}_4$ 四面体のつながり方の違い 多形を観察してください。

そのほかに シリカ鉱物の多形としてコーサイトとステイショパイトがあります。両鉱物は1953年と1961年にそれぞれ人工合成されたもので 研究者の名前をとって鉱物名がつけられています。どちらも高圧下において合成されたもので その後 天然での発見が競われました。しかし 両鉱物の産出はいまでも極めてわずしか知られていません。それも Arizona 隕石孔<sup>いんせき</sup>において隕石が地表に激突した時の衝撃効果による超高压で岩石中の石英から相転移したと考えられています。

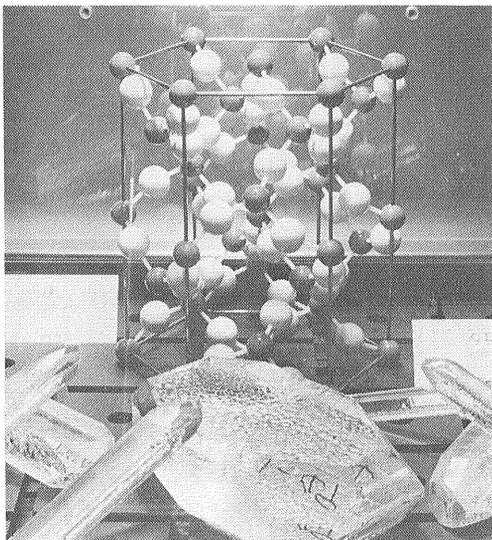


写真1 低温型石英 ( $\alpha$ -Quartz) の結晶模型及び人工水晶 (Synthetic quartz)

ちなみに シリカ鉱物の比重について眺めてみましょう。比重からそれぞれの鉱物の成長する環境が想像されるかも知れません。

石英	2.65	コーサイト	3.31
トリジマイト	2.27	ステイショパイト	4.28
クリストパライト	2.35		

### ⑧ 気まぐれな結晶

結晶の美しさはその鉱物の色や外形 更に大きさなどに強く印象づけられて目に映るのです。その美しさの秘密はミクロの世界における原子の規則的な配列状態にもつながっているのです。規則的に正しく配列しているというのは1つの結晶のなかで 全体像としてはそのとおりといえます。しかし 結晶はいつも全く完全無欠で一様な配列状態を持っているかというところではないのです。もっと精細に原子の並び方を調べてみると わずかですが並び間違いが存在しているというのです。そのわずかな原子の並び間違いが実は結晶成長のための引き金になったり 結晶の多くの性質すなわち 色 屈折率 比重 硬度 電気伝導度 磁性などに影響を与えています。

人間がホモサピエンスとして動物学上識別されても 皮膚 髪 眼の色や骨格 言語等によって 種族という単位で類型化はできます。しかし 1個人としての人間でも T・P・O に左右されて言動・挙動が一定せず 個性にも微妙な変化が現われます。

結晶の場合でも 人間—1個人の関係と同じように微妙な変化を読みとることができるのです。1つの結晶内で結晶軸の方位を変えたり 別の結晶面をみると現われる性質に微妙な違いがあることに気づきます。偏光顕微鏡で岩石鉱物の薄片を観察すると 多色性や複屈折による干渉色が見えますが これは微妙な違いを示す好例といえます。

この微妙な違いをひき起す原因の1つが 原子の配列における欠陥というわけです。展示では 点状欠陥 線状欠陥 面状欠陥として置換型異種原子 格子空孔 格子間原子の状態や積層欠陥 刃状転位 らせん転位が図解されています。

人間が間違いをおかしたり 気まぐれになったりして 個性を発揮するのと同じように 結晶でもそうしたことが原因となって独特の性質が備わってくるという話はおくゆかしいと思いませんか。しかし 結晶や鉱物の研究者は間違いを探したり気まぐれを面白がっているわけではありません。どうしてそうなるのか T・P・O に照しながらその原因すなわち結晶成長の条件を究明

しているのです。また単なる究明にとどまらないでその研究成果がダイヤモンドや水晶など多様な用途のある工業製品のもととなる人工結晶を合成する際に必要な基礎的資料として役立つよう努力を積み重ねているのです。

写真2-(i)に示したものは展示写真と同じですが結晶成長の跡を見ることによりいかにたくさんの基礎的データが読み取れるかの好例といえましょう。

## ⑨ 結晶の成長

結晶を溶かすということを私達は日常無意識のうちに頻繁に行っています。例えば料理の時塩を加えたりコーヒーや紅茶の中に砂糖を入れてスプーンでかき混ぜるといったようなことです。しかし逆の現象すなわち結晶を作ることあるいは結晶の成長過程を自然現象として観察することはほとんどありません。冬の華雪の結晶は空から舞い降りてきますが結晶成長の過程を見ることはできません。ただし地上に降りる霜は氷の結晶ですが霜柱として次第に立ち上がってゆく姿は深夜から早朝にかけて根気よく待機すれば見られるでしょう。

いったい結晶が成長することのできる環境や条件とはどういうことなのでしょう。一般に結晶を取り巻く雰囲気はその結晶にとって過飽和の状態にある限り結

晶は成長を続けると考えられています。結晶成長の場合についてこの展示では次の3つの環境を詳しく図解しています。

- i) 過飽和の程度によって渦巻成長 層成長または骸晶 樹枝状成長のように成長の様式が変わる。
- ii) 渦巻成長が線状転位部分から進行してゆく状況。
- iii) 層成長が進行するのに適する条件は 平坦面 ステップ キンク 孔などによって異なる。

一見して鏡面のように平滑に見える結晶の表面でも写真1・2・3から分かるように結晶の外形・表面・内部の構造は多様です。このような構造を調べることによって結晶の成長過程を探ることができその研究データは人工結晶の合成に有力な手懸りを与えます。

## ⑩ 結晶の合成

古くは錬金術の昔から結晶を人間の手で創り出そうとする試みは脈々として続けられてきました。今日ではほとんどの天然鉱物に加えて天然には存在しない結晶も人工的に合成できるようになりました。

次々と新しい合金が登場し次世代コンピューターに必要な超格子素子用結晶が合成されようとしています。

結晶の研究は天然鉱物結晶にとどまることなく新材料を創造する材料工学の立場から私達の生活に深いかかわりを持つようになってきました。現在日本の独壇場となっているニューセラミックスの分野でも適切に人工結晶の合成を行うため結晶成長の研究が不可欠になっています。

展示には高温高圧の下で人工結晶の合成を行う四面体合成装置の紹介とこの装置で合成された2種類のスピネルの偏光顕微鏡写真(資料提供) 東京大学秋本俊一教授)が出ています。高温高圧下の鉱物合成は新材料開発に重要な新知見を与えるばかりでなく地殻より更に深いマントルなどの地球内部物質の研究を通じて地震のような自然現象の解明にも役立てられています。

また水晶の合成を行う装置の図解と装置から取り出した鈴なり状の人工水晶の写真も展示されています(資料提供) 東洋通信機株式会社)。

ここでは人工水晶の合成方法と人工水晶と天然水晶の表面構造の違いについても触れています(写真2-ii)。

人工水晶の実物は $\alpha$ -Quartzの結晶模型の入っているガラスケース内に格納されています。大中小の3種類の大きさの人工水晶をご覧になれます(写真3)。

工業的規模での人工水晶の育成は水熱温度差法(Hydrothermal temperature difference method)によっています。

以下に紹介する育成法は人工水晶の最大メーカーで輸



写真2 結晶成長の跡を見る。

- (i) 金雲母の表面構造で線状の転位と渦巻成長が認められます。(位相差顕微鏡写真:遠藤祐二氏撮影) 写真下のスケールは20 $\mu$ m

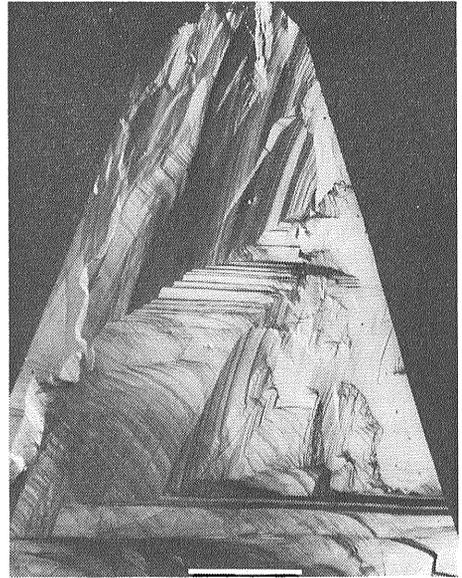
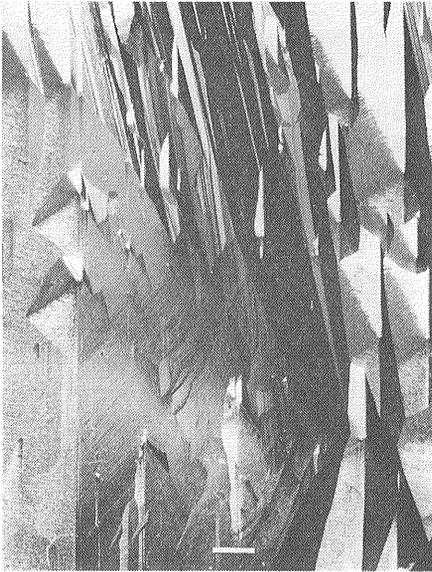


写真2-(ii) 水晶の(10i0)面における表面構造で成長模様が人工水晶(左)と天然水晶とで際立って違うのが分かります。(位相差顕微鏡写真:遠藤祐二氏撮影) 写真下のスケールは左右とも2mm

出もしている 東洋通信機株式会社の技術陣のトップである浅原準平・永井邦彦両氏の論文からの抜粋です。

その原理は 高温高圧下においてアルカリ溶液に対する水晶の溶解度が温度の高低によって差のあることを利用するものです。大型オートクレープ(高圧シール式圧力容器 口径400mm 内部の深さ8m)のなかは 対流制御板により2室に分けられています。オートクレープの下部は高温部であり そこには原料がつけられアルカリ溶液が充てんされ原料の溶解域になっています。オートクレープの上部は低温部であり 種子水晶がセットされ この種子結晶の上に結晶が析出する育成域になります。下部において溶解により生じた SiO<sub>2</sub>を含む

高温蒸気が上方の育成域に運ばれ 種子水晶の上に少しずつ結晶が析出し やがて大きな水晶に成長していきます。この人工水晶の育成条件は第3表に詳しく示されています。

でき上がった人工水晶(小型のものでY軸方向に延びている)の仕様は第3図aのとおりです。第3図bに示す天然水晶の結晶軸方位と比べてみると 人工水晶の場合には天然水晶に全く現われることのない結晶面が大きく成長しているのです。水晶振動子を効率よくカットして用いるためには このような人工水晶が必要なのです(写真4)。

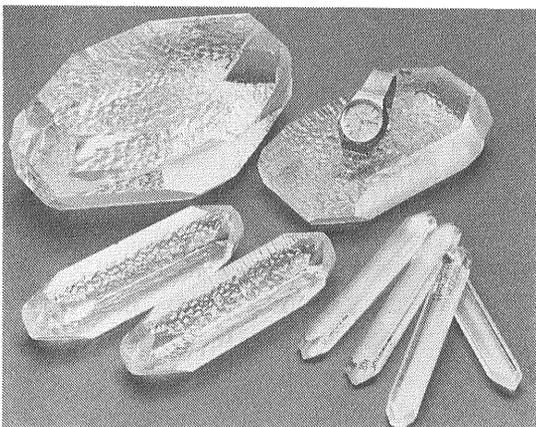
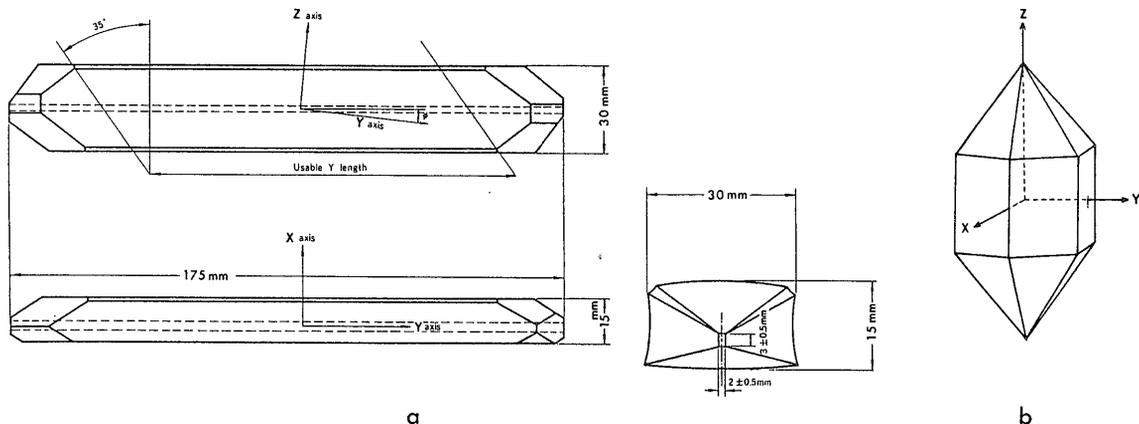


写真3 大中小の人工水晶 (東洋通信機(株)展示品)

第3表 人工水晶の育成条件

素 材	アルカリ溶液	NaOH または Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : 0.5~1N
	溶液の充てん率	75~80%
材	種子水晶	Z板またはY棒(厚さ2mm)
	原料	一定粒度に破碎した天然水晶 (高純度石英)
運	結晶育成域温度	330~340℃
	原料溶解域温度	360~370℃
	温度差	20~35℃
転	圧力	800~1500kg/cm <sup>2</sup>
	運転期間	20~100日
	育成速度	0.5~1.5mm/日(z)

浅原・永井(1980): “鉱物をつくる” 水晶 セミラックス vol. 15, p. 170~175



第3図 a 人工水晶の仕様例 (Y-Bar). 東洋通信機(株)資料に基づく. 二本の破線は種子水晶を示しています.  
 b 天然水晶の形状と結晶軸.

① 水晶の用途

このごろの新製品は多くの分野で作られ 市場に出まわり始めると次から次へモデルチェンジや多様化の道をたどります. しかも中味の本質的な機能は変わっていないのに 製品差別化のたくみな宣伝にのせられて 現用品で不足はないのについて新型製品に手が延びてしまいます. そして2個も3個も余分に買ってしまっているというようなことはありませんか. そういった新型製品のなかに 意外と人工水晶の精密加工品が部品の1つとして組み込まれていることがあります. カラーテレビビデオレコーダー カメラなどがその好例です.

この展示には水晶の用途について昭和54年の時点でま

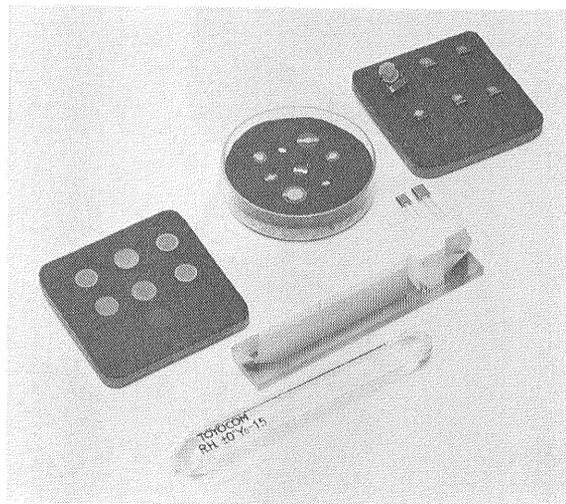


写真4 人工水晶 (Y-Bar) とそれからカットされて水晶振動子用素子が作られてゆく状況. (東洋通信機(株)展示品)

とめてあり その一部を内照式のカラーコルトン (黒い四角の箱を用いた行灯) として見やすくしてあります. 2列に配置されている16個の行灯のうち向かって右側12個は 次のとおりの内容になっています.

1. 水晶の用途

主な用途は i) 素材あるいは一部加工した製品と ii) 精密加工品とに2大別し 更に結晶としての用途は菱形で 非晶質としての用途は丸印で区別しています (第4表).

水晶といえば なんといっても宝石としての魅力でしょうか. 紫水晶やシトリン (黄水晶) をカットしたものは 大きさや色感などダイヤモンドのように高価なものひと味違った歓心を買うようです.

最近のトピックスはガラスファイバーで これを使った光ケーブルによる巨大情報の伝送手段が脚光を浴びています. 以前の主な用途は ファイバースコープで体内の臓器を健康診断するために使われています. 今では髪の毛よりも細い繊維状の熔融石英ガラス (Fused quartz) が光ケーブル伝送の主役になっています.

2. 紫水晶の大結晶

〈資料提供〉 山梨宝石会館 (甲府市)

3. 宝石 (紫水晶) とカットする前の原石

〈資料提供〉 山梨宝石会館 (甲府市)

4. 紫水晶 (晶洞) と貴石鳥

〈資料提供〉 丹沢貴石工芸館 (甲府市)

### 第4表 水晶の用途

- ◆ 結晶（石英）
- ◎ 非晶質（熔融石英ガラス）

#### 素材あるいは加工品

- 光学プリズム ◆———TVカメラなど
- 美術品 ◆———宝石、装飾品、美術工芸品
- 化学用実験器具 ◎———ピーカ、耐熱ガラス、断熱ファイバ・クロス

#### 精密加工品

- 水晶振動子 ◆———●周波数標準  
[超小型水晶(音叉型)~真空管]  
クオーツ腕時計、各種クロック、  
マイクロプロセッサ、自動車エンジン制御部  
カメラシャッター制御部、  
一般通信機器(トランシーバーなど)

- 水晶発振器 ◆———●オシレータ  
[水晶振動子+発振回路]  
ファクシミリ、一般計測器、  
移動無線機、各種制御機器

- 水晶濾波器 ◆———●電磁波のフィルター  
測定器  
送受信機(アンテナ・フィルター、  
FM受信機、AM受信機、  
SSB送受信機)

- 標準球体 ◎———●体積、密度の超精密標準

- ガラスファイバ ◎———●光ケーブル伝送  
光通信装置、電子計算機ネットワーク

直径1.5cmの晶洞のなかに 紫水晶がたくさんできています。この晶洞の上に 30cm 位の大きさの孔雀鳥がのっています。この孔雀鳥は美術工芸品として創作されたもので 孔雀石 ラピスラズリ ソーダライト 紅石英 めのうなどをちりばめています(写真5)。

### 5. 水晶と貴石鳥

〈資料提供〉 丹沢貴石工芸館(甲府市)

高さ15cm位の無色透明の水晶の上に小鳥がとまっています。この小鳥は15cm位の大きさで孔雀鳥と同じように天然石をちりばめて創作されています。孔雀鳥もこの小鳥も各種の石英を含む天然産鉱物でできているので動物の剥製と違って明るい感じを与えています。

### 6. 紅石英等による貴石画

〈資料提供〉 丹沢貴石工芸館(甲府市)

これが石でできているとはとても見えない位精巧に複製された世界の名画です。油絵でいう100号に相当するようで 縦165cm 横185cmの大きさがあります。全部天然産鉱物のチップを組み合わせた

モザイクでできています。

### 7. 光学プリズム

〈資料提供〉 東洋通信機株式会社  
展示されている大きい方の人工結晶から切断・研磨されてプリズムに調製されます。放送用テレビカメラ等の超高級・精密な光学系に用いられています。

### 8. 体積・密度の超精密標準球体

〈資料提供〉 工業技術院計量研究所  
直径85mmの完全球体で 非晶質の熔融石英ガラスが素材になっています。温度変化に強いという特質から標準器になっており 極めて厳密な規格・仕様に基づいて調製されています。

### 9. 人工水晶

〈資料提供〉 東洋通信機株式会社  
大中小3種類の大きさの人工水晶がクオーツ時計と一緒に写真(写真3)に写っています。小さい方の人工水晶は結晶軸Y軸方向に延びたもので第3図aのとおり仕様になっています。大型オートクレーブ内で完成まで約3週間かけて育成されますが 大きい方の人工水晶

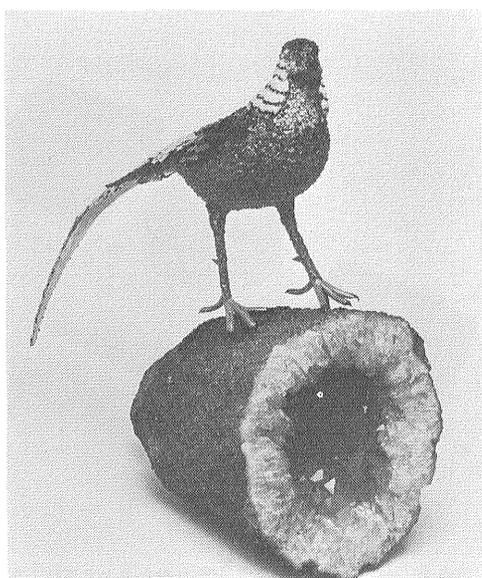


写真5 紫水晶がびっしりつまっている晶洞と美術工芸品の孔雀鳥。(丹沢貴石工芸館の展示品)

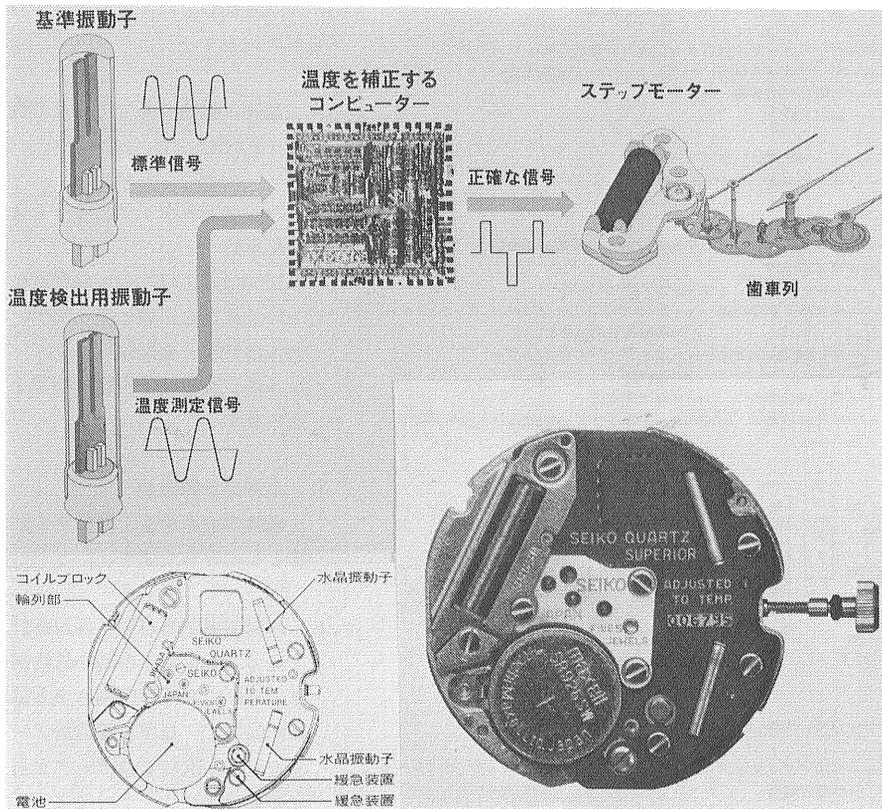


写真6 超高精度クォーツ時計のしくみ。  
(日本時計協会提供資料)

は3～4か月の長時間を要するそうです。

10. 超高精度クォーツ時計のしくみ

〈資料提供〉 日本時計協会

超高精度クォーツ時計は別名ツインクォーツ (Twin Quartz) 時計とも呼ばれ 心臓部に2個の水晶振動子が使われています (写真6)。水晶振動子は低温型石英の圧電現象 (piezoelectricity) を利用するものです。クォーツ時計では水晶振動子は一定の周波数の振動を標準として 時計に必要な信号を送り出します。この超高精度クォーツ時計では1個の水晶振動子は基準振動子として もう1個の水晶振動子は温度検出用振動子として用いられています。このしくみにより昭和53年超高精度クォーツ時計が完成し 年差5秒以内のレベルを維持するという事です。

11. 水晶振動子・発振器・沓波器

〈資料提供〉 東洋通信機株式会社

クォーツ時計に組み込む超小型水晶振動子 水晶発振器 [水晶振動子+発振回路] 及び水晶沓波器の

見本が写し出されています。これらの用途を見ると (第4表) 水晶が身のまわりの生活用品のなかにたくさん入り込んでいてびっくりします。

12. 水晶・切斷・スライス

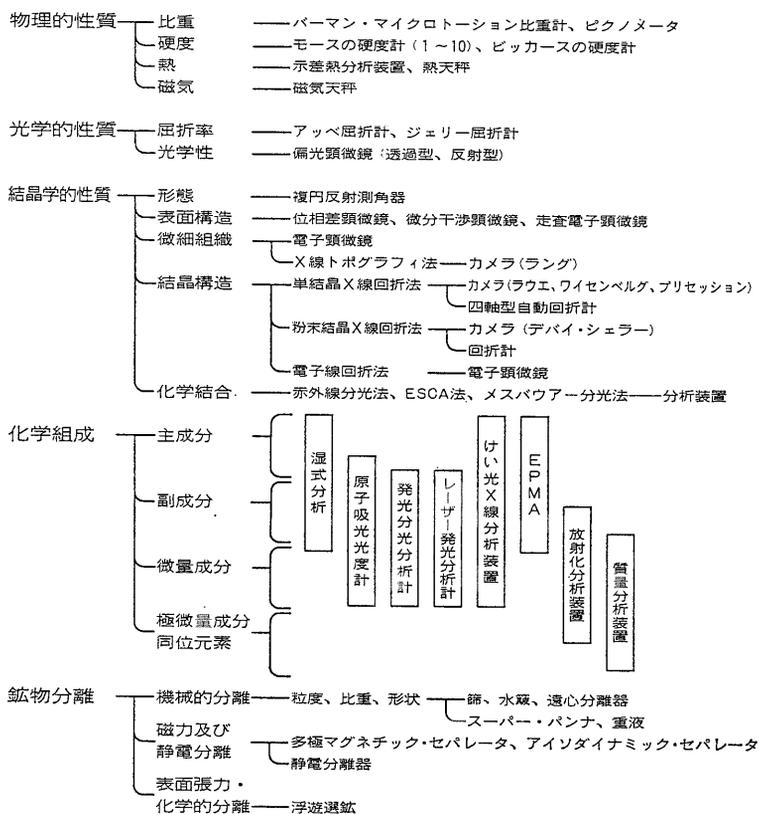
〈資料提供〉 東洋通信機株式会社

小さい方の人工水晶 (第3図a及び写真3・4) は櫛の歯あるいはトランプのカードを並べたような薄片に切斷され それぞれの製品の素子になります。その加工過程で 水晶片の移り変わりゆく状況が写真で紹介されています。

硬い水晶 (石英) の加工技術と素子の超小型化が進んだため今日では クォーツ時計に必要な水晶振動子用素子が この1本の人工水晶から約10,000個も作られるということです。超精密加工技術の進歩とあいまって付加価値を高めるための企業努力が実り 省資源と価格の低廉化が促進化されています。そのお蔭で 各種の時計・電気製品などがまたたく間に普及してきています。

しかし 人工水晶から素子を切斷する前には極めて厳密な結晶軸方位の決定と品質管理が行われてお

第5表 鉱物・結晶の研究方法及び機器



向かって左側の方に4枚の写真が並べられています。

1. 鉱物・結晶の研究方法及び機器(第5表)
2. バーマン・マイクロトーション比重計  
100mg単位以内の少量試料について比重を正確に測ります。液体は粘性・表面張力の小さいトルエンあるいは四塩化炭素を用います。
3. 走査電子顕微鏡  
鉱物の表面構造を高倍率の映像としてとらえます。
4. 四軸型単結晶自動X線回折計  
径0.1mm以下の微小鉱物結晶についてX線検出器を全方位に回転してまずX線回折データを取り次にこのデータを基にしてコンピューターによって結晶構造解析を行います。

り“結晶構造”の研究が活かされていることを忘れないでください。

### ⑫ 鉱物・結晶の研究方法及び機器

科学技術の研究は日進月歩のスピードで物質の科学について新発見をもたらす新製品に利用され多様な生活環境を作り出しています。ここでは主に天然に産する鉱物と結晶を中心にその研究方法と使用する計測及び分析機器や関連の機械を第5表にまとめてみました。

表の左側の方が研究目的あるいは対象とする事項を右側の方に研究方法を含めて機器を並べています。こうして眺めてみると研究方法や手段には〇〇学的とか△△学的とかいう人為的区分や境界・領域とは無関係に広い意味での科学及び工学的手法が駆使されていることに気づかれるでしょう。鉱物・結晶の研究では地殻・上部マントル物質や地球外の隕石や月などの天然産を中心とする物質の科学を通じて基礎的分野をリードするのです。また更に 応用分野からの触発も受けて異なる視角で天然産鉱物を見直すということもしばしばあります。

カラーコルトンの展示には以上の内容を紹介するため

### エピソード

ホープダイヤモンドという有名な宝石名を耳にされた方は多いでしょう。ホープダイヤモンドはインド産のブルーダイヤモンドで 現在ワシントンのスミソニアン博物館(アメリカ合衆国地質調査所の標本収蔵部門もかねる)に展示されています。数奇の運命にもあそばれたためでしょうか その波瀾に富んだドラマに思いをはせて訪れる観光客が絶えないということです。世界最大のダイヤモンドは 530カラット(106g)のカナリン第1号(アフリカの星)といわれ 英国王位の象徴(regalia)として王冠(crown)と対になっている王笏(sceptre)にはめ込まれています。

こうした世界的逸品には及ばないとしても この地質標本館の標本の1つ1つには展示に至るまでのドラマが秘められているといっても過言ではないでしょう。

「結晶のしくみ」の展示コーナーに鎮座する大型水晶は大きさだけを比べると ブラジル産の高さ2m以上の巨大水晶にかないません。しかしこの大型水晶は見る方向によって異なる輝きと学問的興味をそそる連晶様式を備え 自然の創造物として堂々たる風格・威厳それに生

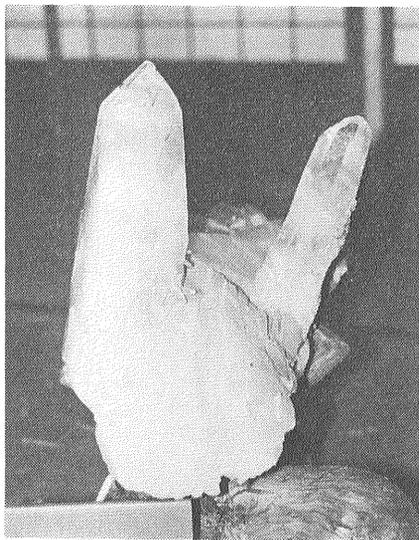


写真7 哺乳動物の角と見まちがうような雄雄しい大型水晶。(山梨県甲府市金峰山八幡山産。藤原育弥・西山積両氏提供)

命力を訴えているように見えます(写真7及び表紙写真)。

大型水晶ばかりでなく人工水晶も含めて多くの展示物を選び出すまでには 度重なる取材 標本としての評価人々との出会い 提供者への説得と懇願等々 紆余曲折は数え上げることのできない程たくさんあって 一冊の小説にまとめられる位のドラマが展開されています(写真8)。 1つ1つの展示標本にこめられている かかわった人達の思い入れや心意気にも少しばかり関心を持っていただければ幸いです。 そして自然は地下資源ばかりでなく小さな標本でもその1つ1つを通して私達に語りかけ 日常生活に恵みと潤いを与えてくれるのです。

#### あとがき

結晶のしくみのテーマは 昭和48年4月地質標本館レイアウト小委員会が正式に発足する以前から温められてきたものです。 隣の「花崗岩の解剖」とともに“地質学的研究と日常生活とを結びつけよう”を合い言葉にユニークな展示内容と解説を試みています。 実物標本(カバーをかけないでなるべくむき出しとする) 図解や写真を中心にするというレイアウト・デザイン上の基本方針のため文字情報を最少限にしています。 したがってこの本文に記述したような詳しい解説がどこにも入り込めなかったのです。 また高校生以上を対象に設定したため 開館当初から難しすぎるので早く撤去し別の展示テーマに変更するようにとの意見もしばしば聞かれました。

計画の当初には この展示コーナーに立てば この本文のような解説が他の音声に邪魔されることなくイヤホンを通じて自然に来訪者の耳に届くように FM 発信装置を設備する予定でした。 諸事情からイヤホン聴取方式が実現しなかったことは残念です。 そのほか幾つか実現をみなかった内容もあります。 しかし 場所・時間等々の制約を受けたのは事実としても 解説内容が十分でなかったことについて卒直にお詫びしなくてはなりません。

#### 謝 辞

この展示が完成したのは昭和55年春の頃です。 完成にこぎつけるまでの間 シナリオ作成 予算接衝 概念設計 実施設計 展示用試料の取材・準備 写真の撮影 工事・内装の施工等について 多数の方々から積極的かつ建設的なご協力をいただきました。 わけても忘れられないのは下記の方々のお力添えです。 ここに銘記して厚くお礼申し上げます。

日本時計協会 計量研究所 東洋通信機株式会社 山梨宝石会館(宝石博物館) 丹沢貴石工芸館 山梨県立研磨工業指導所 加藤商事株式会社 東京大学物性研究所秋本俊一教授 山梨大学教育学部浜野一彦教授 山梨大学工学部深沢力教授 株式会社丹青社 株式会社日本設計事務所 藤原育弥 西山積 丹沢良二 鈴木淑夫 竹林陽一 光川寛 権藤五七郎 服部茂 嶋崎吉彦 安田俊一 遠藤祐二 小村幸二郎 桑形久夫 磯見博 山田敬一 神戸信和 松原秀樹 正井義郎 (以上敬称略)。



写真8 大型水晶 日本式双晶 両錐水晶などを探して金峰山系を踏破 数々の名標本を発掘された。藤原育弥及び西山積両氏と大型水晶。