

連載 水晶 あれ・これ

水晶の国・ブラジル 東西南北(1)

——「水晶」と「ラスカ」と——

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 tel (0462)51-8186

1 はじめに

ブラジルは大きな国である。日本の 23 倍もあるという。しかし、思いの外に状況の良い自動車道路が国中を走っていて、「道路」は正にこの国の財産である。辺境の地で産出した『水晶』も、幾つかの中継地を経て、車でこの道路を運ばれ、最終の集積地である Rio de Janeiro に集まる。「資源」としての、或いは「原材料」としての『水晶』は、ここから先進工業国へ輸出される。日本は主要な輸入国の一つである。現在、日本のエレクトロニクス産業が必要としている Key Device の一つに、色々な形式の「水晶振動子」があり、また、半導体素子の製造プロセスでは、高純度の「石英ガラス」が不可欠である。しかし、これらの「水晶振動子」製造の原材料となる『人工水晶』や、高純度の「石英ガラス」原料の多くが、ブラジルから輸入される『水晶』に支えられて生産されていることを知る人は、必ずしも多くはない。

私どもは、ひよんな機会から 1984 年から 1990 年の間、ブラジルの『水晶資源』の問題に関わり、その間の 4 年間をブラジルで過ごし、『資源としての水晶』の産出状況と、その『原材料化』のプロセスを色々な地域で見てきた。ここでは、その『見てきた状況』を、ブラジルにおける「水晶の探査と採掘」の歴史と重ねながら、ご紹介したいと思う。なお、次回、次々回には紫水晶、

メノウ産地への旅も紹介させて頂く予定である。

2 ブラジルの水晶資源

American Mineralogist 誌の 1945 年の 5,6 月合併号は、『Symposium on Quartz Oscillator Plates』の特集号(14 編の論文が収録されている)として発行されている。この年の 8 月 15 日に、日本は太平洋戦争に敗戦する。この、5,6 月合併号のなかに、『水晶資源』に関する論文が 2 編ある。その一つは世界の水晶資源の状況と比較しながら、ブラジルでの水晶の産出状況を明らかにして、もう一つは、採掘された水晶結晶の品質検査に関するものである^{1),2)}。収録されている論文から、アメリカでは戦前から水晶を「戦略的希少資源」と位置付けていて、『ブラジルの水晶』に多大の関心を払っていたことを知る。それらの諸論文に先立って、1915 年にはブラジル・Minas Geraes 州の詳しい地質学的研究³⁾があることも注目に値しよう。そして、1946 年 7 月には、『ブラジルでの水晶の産状研究』の集大成ともいえる論文『QUARTZ CRYSTAL IN BRAZIL』⁴⁾が、さらに、Goias 州での水晶の産出状況の研究報告⁵⁾が相次いで発表された。このような、アメリカによる『ブラジルの水晶』の研究の過程で、多くの、そして良質・大形の『天然水晶』が採掘された。アメリカによる 50 年前

のブラジルでの「活動の痕跡」は現在でも見ることができて、それは後で述べることになる。

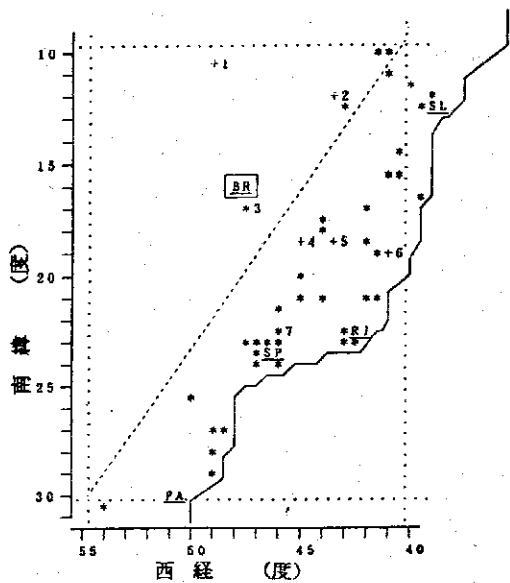
時代は下り 50 年を経た現在、ブラジルの『水晶資源』が果たす役割の重要性は変わらないものの、『水晶資源』の形態は大きく変わった。「水晶振動子」の材料に限ってみれば、良質・大形の『天然水晶』の枯渇と、それを予測していたかの如くに発展した「人工水晶生産技術」が、その形態変化をあらわなものにした。『水晶ラスカ』または単に『ラスカ』と呼ばれる、それである。『ラスカ』はブラジル語（ポルトガル語）で「lasca」と書かれ、それは本来、木、石、金属などの『かけら、破片、小片』を意味する言葉である。人工水晶の生産には、原料として親指大の『水晶破片』即ち『水晶ラスカ』が不可欠である。今や、業界用語としての『ラスカ』は、日本はもとより、英語でも「lasca」、ロシア語でも「ласка」で通用する。しかし、一見「屑水晶」と見まがう『ラスカ』は、ガラスやセラミックスの原料として長年にわたり利用されていて、『ラスカ』のブラジルからの輸出実績は、資料によれば、戦前にまで遡る。1943 年発行の雑誌と 1985 年発行のブラジル政府資料では、『ラスカ』は次のように定義されている；

- + 1943
1^o(first) Fragmentos não apresentando faces cristalina, jaças, bolhas e fios azues.
- 2^o(second) Fragmentos não apresentando faces cristalina, jaças, bolhas e fios azues.
- Mista. Fragmentos misturados dois tipos anteriores.
(mixed) (Mineração e Metalurgia, vol.4, No.36, 1943)
[[1^o]と[2^o]は全く同文であるが、原文がそのようになっている。多分、印刷時に生じた誤りではないかと思う。]
- + 1985
1^o(first) Fragmentos de quartzo abaixo de 200gr não apresentando faces cristalina naturais, sem quaisquer defeitos mecânicos (jaças, bolhas, fraturas).
- 2^o(second) Fragmentos de quartzo abaixo de 200gr livres de faces cristalinas, apresentando jaças, bolhas e fios azues.
- 3^o(third) Lascas entupidas ou totalmente leitosas sem faces naturais.
(Boletim de Preços, No.54, 1985 - DNPM)

このような『定義』は、ラスカを肉眼で検査するだけの「品質管理」が前提であり、したがって、『不純物含有量』については何の規定も無い。私たちが携わった仕事では、人工水晶生産の原料としてのラスカの『不純物含有量の問題』を研究することが中心的な課題の一つであった。目で見て『非の打ちどころ無い「1^o」のラスカ』であっても、その不純物含有量において差の有ることは当然に予想されることであり、その差は『ラスカ』の原料となる水晶の『産地の性質』に関係することも容易に考えられることであった。しかし、当時のブラジルにはラスカの不純物含有量について、信頼できる『自前のデータ』は無かった。『不純物含有量』と『産地の性質』の相関を高い信頼性を以て調べるためには、自分たちで『水晶の産地』を訪ねて現場を観察し、直接「標本採取」をする必要があった。

3 水晶の産地を訪ねて

前置きが大変に長くなったが、このような事情で、私たちの「水晶の産地を訪ねて——東西南北」の旅が始まることになり、住んでいたサンパウロ州を除き、4年間で七つの州を訪ねた。しかし、当時、水晶の産地に関する詳しい「資料」は無く、先に引いた 1945、1946 年のアメリカの研究報告に多くを依存する状況であった。ところが幸運なことに、われわれがブラジルで水晶も仕事を始めた年の 1984 年に、ブラジルの鉱山エネルギー省・鉱産物局 (DNPM) から『Geologia do Brasil』[ブラジルの地質 (学)] なる大著が出版された⁶⁾。この書物の巻末には、各種の鉱産物の産地 [1244 ケ所] について、その位置と、その地質学的特徴が一覧表の形で整理されていた。[以後、この一覧表を「DNPM-Table」と呼ぶ] この DNPM-Table には、9 州にわたる 40 ケ所の水晶産出地が記載されている。加えて、ブラジル全土にわたる詳しい地質図も付属していた。DNPM-Table に記載されている 40 ケ所の「水晶鉱山」の位置と、私たちが訪ねた多くの水晶産出地の内、代表的な「水晶鉱山」の位置 7 ケ所を重ねて模式図としたのが 図 1 である。殆どの「水晶鉱山」は、南緯 10 度・西経 40 度、南緯 30 度・西経 55 度、南緯 30 度・西経 40 度の 3 点でつくられる「直角三角形」の中と、その斜辺の近傍に集中



- ・「DNPM Table」に記載されている水晶産地(鉱山)の近似的な位置
 代表的な水晶産出地・茶産地 代表的な都市の近似的な位置
- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1: Cristalândia (TO) | SL: Salvador |
| 2: Ibotirama (BA) | BR: Brasília (首都) |
| 3: Cristalina (GO) | RJ: Rio de Janeiro |
| 4: Corinto (MG) | SP: São Paulo |
| 5: Gouvea (MG) | PA: Porto Alegre |
| 6: Golconda (MG) | |
| 7: Ouro Fino (MG) | |

図1 ブラジルの「水晶鉱山」分布図

していることに注目して頂きたい。

私たちが訪ねた多くの「水晶鉱山」の構造は、それぞれが個性的な様相を呈していた。方々の産出現地を訪ねていると、しばしば、「ここは昔アメリカが来て水晶を掘った所だ」と言う話しを聞かされる。元の Goiás 州の北半分は、今では Tocantins 州と呼ばれているが、そこには、1940 年代に豊富に水晶が産出したので町となり、その故に「Cristalândia」となすけられた所が在って、ここもまた、アメリカによって最初に水晶の採掘が始まったという。町はずれに、祭壇が沢山の水晶で飾られた教会が在って、しかし、既に朽ち始めていて、人影はなかった。『ラスカ』の原料となる水晶の産出地には、「昔、アメリカが……」と言われる場所が少なからず在って、かつて、アメリカが行った「水晶探査」の活動が、大変に規模の大きかった事をうかがい知ることができる。訪ねた全ての『鉱山』をご紹介することは不可能なので、その極く一部と、水晶産出現地で『ラスカ』が作られる作業手順、ならびに集積の過程を述べよう。こ

こでは、Bahia 州の西のはずれ、サンフランシスコ河に近い Ibotirama 地区で、「Jacu」ならびに「Fernando」と呼ばれている産出地と、Minas Gerais 州の Gouvea 地区の Limoeiro、それから、昔からの水晶の産地として知られ、その故に「Cristalina」の名がある Goiás 州の産出地の状況などを写真で紹介しよう。殆どの産出地は「露天掘り」(写真 1)であって、「Fernando」のように井戸のような縦坑を掘って水晶を採掘する場合(写真 2)は珍しい。その他の産出地点を写真 3、写真 4 で示した。

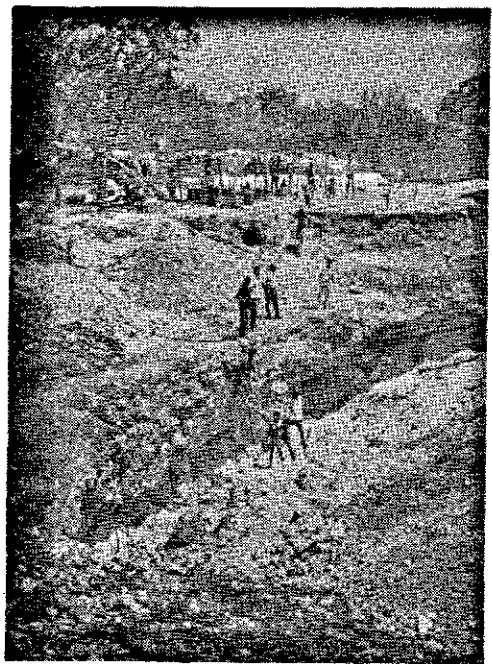


写真 1 Bahia 州の西のはずれ、Ibotirama 地区の水晶産出地『Jacu』。地下約 5 メートルのところ、地表とほぼ平行に『水晶の層』がある。「削岩」にはエア・ハンマーも使われるが、採掘した水晶は、『穴』から「人力」によって運び出される。『穴』の周囲にある「小屋掛け」のなかで、水晶は「ラスカの原料」に加工される。

これらの写真から分かるように、産出するのは『岩塊状の水晶』である。

掘り出された『岩塊状の水晶』は、通常、近くの作業小屋でハンマーで砕かれ、透明部分を含んだ「こぶし大」の大きさに選別・整形される。これが『ラスカの原料』である。この作業は結構な力仕事であるが、女の人もか



写真2 Ibotirama 地区で、『Fernando』と呼ばれている水晶産出地点。ここでは縦穴が掘られ、地下には幾つかの枝道があって、そこから水晶を掘り出す。地下で作業する人は左の穴から入り、掘り出された水晶は籠に入れて、別の穴から地上に吊り上げられる。掘り出された水晶は、一輪車で離れた場所にある作業小屋へと運ばれる。

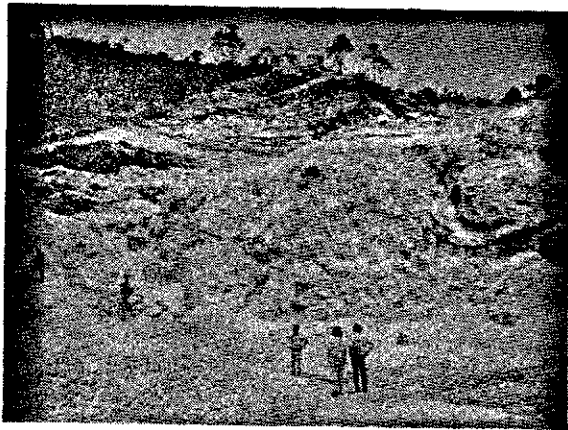


写真3 Minas Gerais 州の Gouvea 地区で、『Limoeiro』と呼ばれている水晶産出地点。この丘陵地全体が「岩塊状の水晶」である。このような産出の構造は Ouro Fino 地区でも、また、Ibotirama 地区の他の場所でも見られる。

なりいる。近くの町に在る「Deposito」には、周辺の産地から『ラスカの原料』が集まってくる。多くの場合、ここで『ラスカ』への1次加工が始まる。「こぶし大」の塊を、小形の金槌を使って、大きな割れ目や濁りの在る部分を、碎きながら丹念に取り除く作業である。この作業には、しばしば、子供達も加わっている。一見、単純な作業であるが、なかなかコツが要って、すぐに真似が出来るものではない。(写真5、写真6) 1次加工を経て、

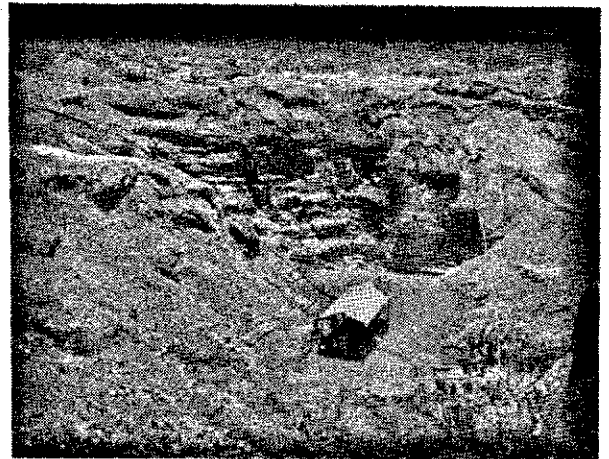


写真4 Goias 州・Cristalina 地区の「大平原」の中に点在する水晶産出地点の一つ。掘り進むうちに、水が湧き出してしまった。しかし、『塩水が湧くと、大きな水晶がでる』という話もあるとか。



写真5 Cristalina 地区の「Deposito」(集積場)でラスカが造られている。袋詰めになっているラスカは、これから選別所に運ばれる。

一応『ラスカ』の資格が付与されたものは、50kgの袋詰めとして、次の「大きな町」の選別所に送られる。ここでは、底が白色の大きなプラスチック・トレイに水をはり、その中へ1次加工済みの『ラスカ』を浸し、1個・1個のラスカについて、割れ目の程度、固体・気泡などの包有物の含まれ具合に応じて、1^o., 2^o., ……と分級してゆく。大変に手数のかかる作業であるが、多くの場所で、この作業は大勢の女の人達の労働力で支えられている(写真7)。こうして分級されたラスカは、再び50kgの袋詰めとされて、次の集積所に運ばれる。最終的には、数100kmから1000km以上におよぶ道程の旅を

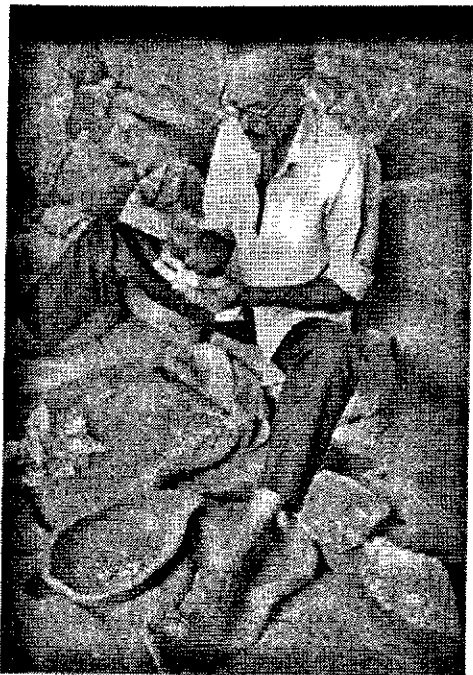


写真 6 Tocantins 州・Cristalândia の町で、「ラスカ造りの名人」として誉れ高いコレッチさんの仕事場。彼の周りは、掘り出されたままの水晶でいっぱい。

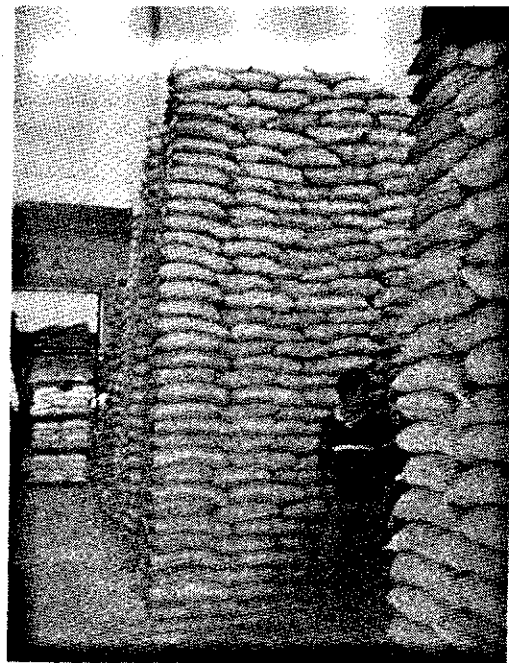


写真 8 Rio de Janeiro で、貿易商の倉庫に積み上げられている 50kg の『袋詰めラスカ』。

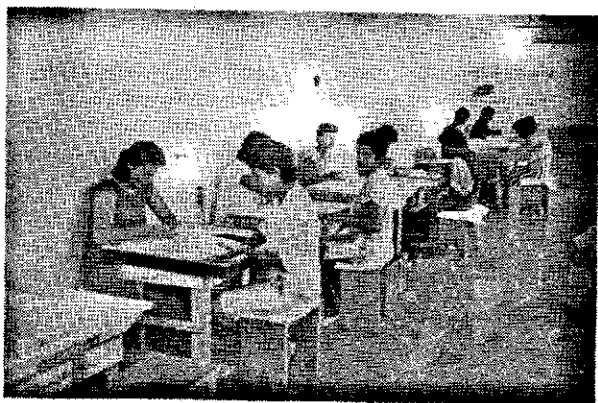


写真 7 ラスカを選別・分級している作業場。このような作業場は、しばしば、貿易商に「直轄統治」されているという。

して、ラスカは Rio de Janeiro の大きな貿易商の倉庫に集まる(写真 8)。ラスカはそこで再度の検査を受ける。50kg の袋詰めのラスカに、ガラスの破片やその他の異物が混入していることがあるという。また、「1^o」らしからぬもの、「2^o」らしからぬもの、……を取り除くこともあるという。こうして、『商品となったラスカ』はまた 50kg の袋詰めとなって倉庫に積み上げられ、出荷される日を待つことになる。

以上が、ラスカの原料の産出状況から、商品となってラスカが倉庫に積み上げられるまでのプロセスである。大変に人手のかかるプロセスであるが、それを可能にしているのが、極めて多数の「低賃金労働者」の存在である。最低賃金の制度(現在、月額約 70 ドルとか)はあるものの、「有名無実」であるとも聞いた。辺境の地の水晶産地にも、当然に子供達はいて、しかし、そこでは『学校は何処』とは問うことをためらう。しばしば、学校は無い。所によると、小さな「学校」があっても「先生は来たことがない」と聞かされたりする。

いま、我々の身の回りには、「先端技術」を誇示した「エレクトロニクス製品が沢山あって、それらは我々を楽しませてくれている。一方、それが製品化される過程で、または製品そのものの中に、『ラスカ』を原料にして作られた『もの』が必ずある。それを思うとき、我々の側にある「先端技術」の『先端』の反対側に位置するもう一つの『先端』があって、そこには、小さな金槌で水晶を砕き分けている多くの人達がいて、その人達の『砕き分ける』技術もまた「先端技術」であり、彼等もまた「材料技術者」だと、私たちは思っている。しかし、辺境の地の「材料技術者」の存在で支えられているこちら側の

技術や製品が、近い将来に、彼等の日常へ回帰してゆき、彼等自身や家族達を楽しませることなどあり得ないのではないかと、私たちは考えてしまう。『資源としての水晶』の産状を見る『旅』をしながら、先進国と発展途上国と呼ばれる「相対的關係」が存在する限り、この『状況としての貧困』は存続するのではなからうかと、私たちは考えるようになった。

『ラスカ』と『旅』の話が長くなり、肝心な、ラスカの不純物含有量について述べる余地が少なくなったが、『旅』の度に沢山の「水晶の標本」が手に入った。また、「信頼できる筋」からも少なからざる「標本」の提供を受け、こうして揃った沢山の「産地別の水晶標本」の不純物含有量を、原子吸光分光法で分析するための作業を終えるのに数年を要した。幸いにして、水晶産地の地質学的特徴とそこから産出する水晶の不純物含有量との『相関』は明らかになった。しかし、それらを整理した結果と考察を、論文として世に問えた時は、帰国後の1991年と1993年になっていた^{7),8)}。「1^a」、「2^a」、…という分級は、『不純物含有量』の観点からは大して意味の無いことも分かった。「1^a」と分級されても不純物含有量の大きいラスカも在るし、「2^a」でも高純度である場合もある。総じて、ブラジルの水晶の平均的な純度は高いので、これは正に『神の恵み』である。しかし、水晶の結晶内の不純物のミクロな存在形式は、結晶の成長条件との関係において、未だに良く分からないことが多々あって、私達は今もその研究を続けている。ところで、あっちの『山』の「1^a」ラスカと、こっちの『山』の「1^a」ラスカとを、無原則的に混ぜたら、不純物問題はどうか。多分に、Mysteriousな問題だ。

[参考文献]

- 1) R.E.Stoiber, C.Tolman and R.D.Butler, "Geology of quartz crystal deposits", *Am. Mineral.*, **30** (1945) 245-268
- 2) S.G.Gordon, "The inspection and grading of quartz", *Am. Mineral.*, **30** (1945) 269-290
- 3) E.C.Harder and R.T.Chamberlin, "The geology of central Minas Geraes, Brazil", *J. Geol.*, **23** (1915) 341-378, (Part I), **23** (1915) 385-424 (Part II)
- 4) W.D.Johnston, Jr. and R.D.Butler, "Quartz crystal in Brazil", *Bull. Geol. Soc. Am.*, **57** (1946) 601-650
- 5) D.F.Campbell, "Quartz crystal deposits in the state of Goiaz, Brazil", *Econom. Geol.* **41** (1946) 773-799
- 6) "Geologia do Brasil", (1984) Eds. C.Schobbenhaus, D.A.Campos, G.R.Derze and H.E.Asmus, Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM
- 7) H.Iwasaki, F.Iwasaki, V.A.R.Oriveira, D.C.A.Hummel, M.A.Pasquali, P.L.Guzzo, N.Watanabe and C.K.Suzuki, "Impurity content characterization of Brazilian quartz lascas", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30** (1991) 1489-1495
- 8) F.Iwasaki, H.Iwasaki, "Impurity species in synthetic and Brazilian natural quartz", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) 893-901

連載 水晶 あれ・これ [2]

水晶の国・ブラジル 東西南北(2)
—「紫水晶」と「メノウ」の事など—

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台通地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

連載の予定タイトル

- | | |
|---|------|
| [1] 水晶の国・ブラジル 東西南北(1)
—水晶とラスカと— | 12月号 |
| [2] 水晶の国・ブラジル 東西南北(2)
—紫水晶とメノウの事など— | 1月号 |
| [3] 水晶の国・ブラジル 東西南北(3)
— Carajas 山中に紫水晶の王国を訪ねる— | 2月号 |
| [4] 人工水晶の源流を訪ねる
— G. スペチアの業績— | 3月号 |
| [5] 計算機で造る結晶, 水晶の場合
—形の多様性を支配する少数因子— | 4月号 |
| [6] G. スペチアが成長させた人工水晶を復元
—計算機実験から分ること— | 5月号 |
| [7] 山梨の水晶, 奈留島の水晶, そして千本峠の水晶 | 6月号 |
| [8] ロシア, ウラルで水晶鉱山を見る | 7月号 |
| [9] 水晶標本を見て歩くの記
—イギリス, アメリカ, ロシア, フランス— | 8月号 |
| [10] 水晶の研究所を訪ねて(1)
—水晶研究の超大国ロシア— | 9月号 |
| [11] 水晶の研究所を訪ねて(2)
—フランスの水晶振動子研究所— | 10月号 |
| [12] ハーキマー ダイヤモンド | 11月号 |

4 サンパウロの市での紫水晶とメノウ

サンパウロ市の中心には、幾つもの広場・公園があって、その一つ「リパブリカ広場」には日曜日ごとに『市』が立つ。いろいろな民芸品、着る物、履く物、切手や古いお金、絵画・彫刻、パイア料理の立ち食いの店もでる。しかし、何と言っても私達を楽しませてくれたのは、珍しい鉱物やいろいろな結晶を並べている沢山の店であった。そこには、珍しい形をした水晶、小さいけれど美しい水晶、……があって、しかし残念なことに、産出場所についての詳しい情報がない場合がしばしばであった。それでも、美しさや、珍しい形につられて、「Minas Gerais の産」などと言う水晶を幾つも買った。その Minas Gerais 州は日本よりも大きいという！

中でも、私達を驚かせまた楽しませてくれたのは、岩塊の中からスッポと取り出したような『晶洞』の中に成長している『紫水晶』[Amethyst Geode]と、同じく『晶洞構造』をした『メノウ』[Agate Geode]であった。前者は手のひらでカバーできる位のものから、両手で「やっこらさ」と持ち上げる程の大きさで、後者は、梅の実ぐらいのものから、直径が10-20cm くらいのもものが屋台店頭に沢山ならぶ。この様な「鉱物類・結

晶類」を扱う店にも特徴が有って、いろいろな形の水晶と Amethyst Geode ばかりを並べていたり、Agate Geode ばかりの店もある。Agate Geode は、普通、二つ割りにして、その両断面が綺麗に研磨されていて、内部の『メノウ』の美しい模様を見せている。また、大きめの Agate Geode を 2mm-5mm ぐらいの厚さの板に切り出し、その両面を磨き上げたものも並んでいる。いずれにしても、二つと同じ模様は無い。Agate Geode の中心の空洞部にはしばしば、水晶または紫水晶が成長していて、メノウの模様とともに、目を楽しませてくれる。今では、「Mineral Show」が日本でも開かれ、そこで、「Amethyst Geode」も「Agate Geode」も見たり、買ったり出来るが、当時の私達には、全くの『珍しいものばかり』であった。Amethyst Geode の外側表面の色は、光沢のある緑色 (dark-green) をして、それを初めて見たとき、私達は、外側はペンキで塗られているのかと思った。Amethyst Geode の外側表面で緑色の層をなす物質が、マイカの仲間で、その化学式が $[K(Mg,Fe,Al)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2]$ と書くことが出来て、「Celadonite」と呼ばれるものである事を最近になって知った^{1),2)}。(お恥ずかしい次第)

当然の事ながら、私達はこのような Amethyst Geode や Agate Geode の産出状況が見たくなった。『市』の店で聞くと、それらは、ブラジルの南の端の Rio Grande do Sul 州で産出するという。前回の、水晶ラスカの話の時に紹介した「DNPM-Table」を調べると、Amethyst の産出地として Rio Grande do Sul 州に 4 か所、Bahia 州に 2 か所、それから Ceara 州に 1 か所があつて、また、Agate は Rio Grande do Sul 州に 3 か所ある。それで、Rio Grande do Sul 州で Amethyst の産出地として記載されている場所を訪ねてみることにした。その時は 1986 年の 7 月であつたが、1989 年に再び Rio Grande do Sul 州に「紫水晶とメノウの産出状況」を見に行った。2 回目の『旅』には、ロシア科学アカデミー所属の実験鉱物学研究所の Dr. V.S. Balitsky が同道した。彼は「人工紫水晶」育成研究の Pioneer でもある。そして、私達がブラジルにいる間に是非訪ねたいと言う彼の希望がかなつたの『旅』でもあつた。そこで、ここでは 2 回の『旅』で見た「紫水晶とメノウ」について、

その産出の状況、業者の「Deposito」で見た『驚くほどの量の紫水晶とメノウ』などを、写真と共に、まとめて紹介させて頂く。

5 紫水晶とメノウの産地を訪ねて

『Geologia de Brasil』の付属地質図によると、ブラジルの南の端の Rio Grande do Sul 州は、その全体が「玄武岩」地帯である。その地で、我々は、Amethyst Geode の産出地として São Gabriel を、Agate Geode の産出地としては Salto de Jacui を訪ねた。前者は、Santa Catarina 州との堺をなしている Uruguai 河の南に近く位置し、また後者は、Rio Grande do Sul 州のほぼ中央にあつて Jacui 河の源である湖に近い町である。São Gabriel の一帯は起伏の多い地形で、人里からさして遠くない山裾の、そこ・ここに「玄武岩」が露出していて、その岩の壁に「坑口」が幾つもある(写真 9)。坑口

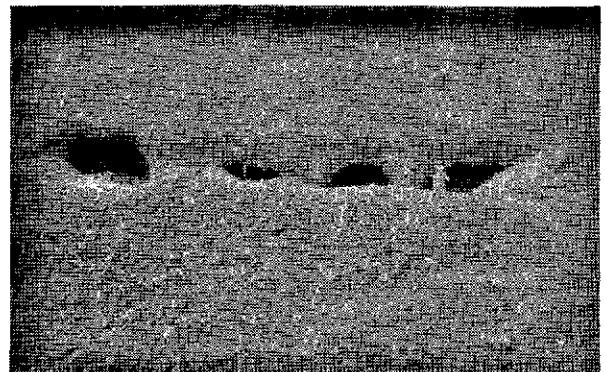


写真 9 Amethyst Geode の採掘のための「坑口」。このような「坑口」が、この地域で共通な等高線に沿って、数多く穿たれている。

を入り、コンクリートのような玄武岩のトンネルを数十メートル進む。私達が入ったトンネルの一つでは、丁度、玄武岩の中にはめ込まれたような等身大の『Amethyst Geode』を掘り出す作業が進んでいた。作業している人達は、当然であるが、慣れた手付きで「たがね」とハンマーで Geode の周囲の岩を砕き、あるところで、その等身大の塊を槌で剥がした(写真 10)。容易に剥がれたことに、むしろ驚いた。取り出された Geode の表面は、間違いなく、ペンキを塗ったように『緑色』をしていた。そして、『緑色の界面層』は玄武岩側と Geode の表面とに二分された。この『緑色の界面層』の存在が、



写真 10 今、岩の中から取り出された等身大の Amethyst Geode.



写真 11 「採掘現場」の一つ。写真の中央には、一抱え程の Amethyst Geode が、割られて、その断面が見えている。

ずいぶんと、労働力を軽減する役割を果たしている。この情景を見ながら、Amethyst Geode が玄武岩のなかで生成する過程で、『緑色の界面層』がどのような役割を果たすのかを思う。しかし、若しかすると既に研究されていて、私達の学習不足なのかもしれない。岩を砕き、掘り進みながら、Geode に遭遇すると、それが大きい場合には、初めに Geode の表面に小さい「穴」を明けて中を覗いて見るという。そして、内部の『紫水晶の質』が掘り出すに値するか否かを決めるという。「不合格」となると、それは叩き割られて捨てられ、さらに先へと岩を掘り進む(写真 11)。このような作業が、日々繰り返さ



写真 12 Agate Geode を掘り出す『穴』の前に立つ筆者二人。足元に転がっている Agate Geode は、後ろの『穴』から出てきたもの。

れている。坑口の前には、トンネルから運び出された岩塊や「捨てられた」ものが山をなして、しかしその中には、我々にとっては「貴重な標本」となるものが沢山あった。それで、帰りの「リュック」は重くなった。もっとも、水晶の山を訪ねれば、いつも、帰りの「リュック」は重くなる。

我々が訪ねた Salto de Jacui の Agate Geode 産出地も、町からそれ程離れていない山間にあった。山の一部が「切り通し」状に開かれていて、開かれた両側面は岩壁ではなく『土・泥』であった。片側の側面には、狭い間隔で横穴が掘られていて、内部の幾分べたべたした「泥の壁面」には、そこ・ここに、「球状」でその直径が 10-20cm の Agate Geode の『原石』がはめ込まれたような状態で散在していた。中には、半分に割れていて内部が見えるものもあった(写真 12)。もう一方の側面には横穴は無く、作業者は「鶴嘴」で壁を崩しながら、「球状原石」が転がりだすのを助けていた(写真 13)。そこでは、Amethyst Geode に比べて、余りにも簡単な「産出状況」を見せられて、気が抜ける思いであった。転がっている「球状原石」の表面の構造と色は、泥だらけのために判別しにくいですが、それでも、幾つかの表面は、Amethyst Geode の場合と同じように緑色を

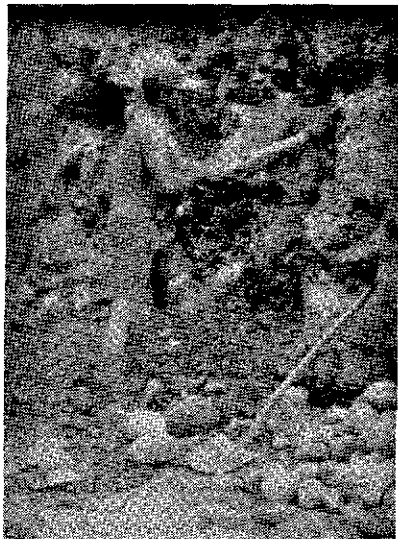


写真 13 土の壁に埋まっている Agate Geode が掘り出されている。

していた。その「表面の色」だけを比較するかぎりでは、Agate Geode と Amethyst Geode も、その昔に、同じような状況下で成長したが、しかし、Agate Geode を取り巻いていた「岩」は腐って「泥」になった、と思ったりもするが、Geode の内部構造に際立った違いのあることを考えると、状況はそんなに簡単ではありませんまい。私達の「研究課題」は増えるばかりである。

この様にして採掘された「紫水晶」と「メノウ」の『原石』は、Soledade, Lajcado などの町に運ばれ、その地の業者によって『原石』は選別され、加工される。Amethyst Geode の場合、その内部の紫水晶が『宝石』級であれば、Geode から取り外して『分級』され『宝石原石』となる。そして、『宝石』級と判定されなかった多くの Amethyst Geode は、掘り出されたままの姿で、飾り物として「商品」となり、サンパウロの『市』の露店などに並べられたり、今では、それが日本に輸出されたりもしている (写真 14, 15)。一方、Agate Geode の場合は、Amethyst Geode のとは幾分異なるプロセスで処理されるようだ。Agate Geode の内部の「美しさ」は切り割ってみないと分からない。それで、加工所の裏には「美しくなかった」Geode が捨てられ、山となっている。「美しい」ものは両断面が研磨され、一對として「商品」となったり、薄く切り研磨されている (写



写真 14 業者の「Deposito」に集められた、大小の Amethyst Geode. 表面は全部一様に「緑色」をしている。なかには、赤ちゃん用の『たらい』くらいの大きさのものも有る。

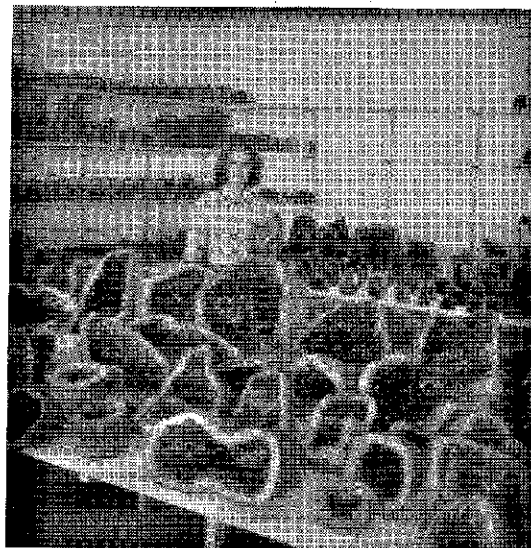


写真 15 「飾り物」として売られるべく並べられている Amethyst Geode の数々。

真 16, 17)。これら以外にも、いろいろと工夫された『メノウ細工』が作られている。最近では、加工所で人工着色されたものも多く、その色もお客さんの好みにあわせて多様化している。人工着色されている事を知らないお客さんも多いかもしれない。「メノウ」という材料の用途に「メノウの乳鉢」が昔からある。今は、「巨大」なメノウの塊から、直径 20cm くらいで高さが 30 40cm くらい



写真 16 二つ割りにされた、「大小・多数」の Agate Geode の陳列棚。人工着色されたものも、混じっている。



写真 17 両面が研磨された、『無数』のメノウ板。二つとして、同じ形、同じ模様が無い。ここにも人工着色されたものが混じっている。

らしい円筒型ローラーが作られ、高純度の「水晶粉」を製造する工程で使われているとか。

6 メノウの空洞内の水

Amethyst Geode には『宝石としての紫水晶』に魅力の中心があつて、生まれ出たままの姿を楽しむ人は必ずしも多くはないと思う。一方、Agate Geode の場合は、その内部に見る自然のままの『美しさ』に魅力を感じる人が多いと思っている。加えて、私たちには、『どのようにして Agate Geode は出来るのか』、『何故にかくも美しい模様』が出来るとかという『疑問』が、最大の魅力である。

Agate Geode のなかには、内部の空洞に『水』が封じ込まれたままのものがあつて、「外皮」を部分的に削り、磨いて、中の『水』の動きを見えるようにした「商品」がある。しかし、内部に紫水晶が成長している『水』が入っている Agate Geode はまれである。『市』などでも、それを見ることは珍しく、あれば結構な値段が付いている。もし、その『水』が、大昔にその Agate Geode の成長過程で封じ込まれたままで、今に至ったものであれば、その『水』の性質を調べれば、Agate Geode 内の水晶や紫水晶の成長条件との関係で重要な知識が得られるはずである。しかし、その『水』が、大昔のものではなく、後で空洞に『雨水』などが封じ込まれたと考えられる分析結果も知られている³⁾。しかし、それは個々の Agate Geode で調べてみなければ解らない。私達も、Agate Geode 内の紫水晶の成長条件には大いに関心があるので、内部に紫水晶が成長している Agate Geode を幾つか手に入れている。しかし、未だにその『水』を分析する機会を得ていない。それで、「紫水晶が成長している Agate Geode 内の『水』の分析」に関心をもち、その分析作業に協力して下さる方に巡り会えれば、この上なく幸だと思っている。

紫水晶が「紫色」をしているのは、水晶の中に鉄 (Fe) が入っている必要があつて、さらに、『放射線』も重要な役割をしていると指摘されている。「白い水晶」でも、普通、10-30ppm の Fe が不純物として入っているが、その水晶に、例えば『放射線』としてガンマ線を照射しても、『紫水晶』にはならない。一方、普通の紫水晶で鉄の含有量を調べると、普通的水晶に比べて「大差」は無い。自然で育つ『紫水晶』の発色のメカニズムは「成長過程の条件」とも関係していて、そんなに単純ではないようだ。しかし、水分子に関係する波長 $3\mu\text{m}$ 近傍の赤外線スペクトルを、紫水晶と白い水晶で比べて見ると、明らかな差があつて、紫水晶の方が「湿つて」いる。現在、私達は、世界のいろいろな地域から産出した水晶を集めて、波長 $3\mu\text{m}$ 近傍の赤外線スペクトルの特性の比較を行つていて、大変に興味ある結果を得ている。

7 メノウに関する文献

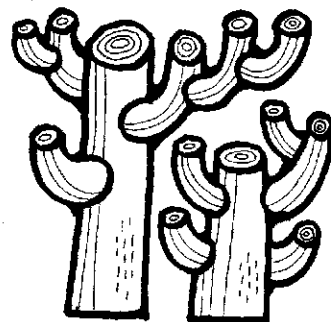
Agate Geodeにおける、美しくも不可思議なその『出生の謎』は、現在、必ずしも解かれたと言える状況にはない。そして、Agate Geodeについての論文は、少数だが継続的に発表されている。現在までに、Agate Geodeに関する本がどのくらい出版されているか知らないが、今私達の手元には、Agate Geodeについての研究や観察をまとめた著書、解説書が4冊ある。2冊はロシアの知人から頂いたもので、それは「専門書」の範疇に入れるべき内容である^{4),5)}。1冊は、スロバキアの友人から贈られたもので⁶⁾、もう1冊は、Londonの「自然史博物館」を訪ねたときに、博物館の売店で買ったものである⁷⁾。「ロシア本」の1冊⁴⁾では、当然ながら、沢山の美しい「メノウ」の写真が楽しめて、ロシア産ばかりでなくモンゴル産のメノウも示されている。しかし、私達にとって、この本の有用性の一つは巻末の文献リストで、そこには、何と276もの「メノウ」関連の文献が載っていて、その半分以上がロシア語の文献であることにも驚かされる。2冊目の「ロシア本」⁵⁾にも多くの写真が載っていて、その題名からも予想されるように、カムチャツカ産の「メノウ」を見ることが出来る。その本の巻末には「メノウに関する用語解説」があつて、なんと『Нэцке』として、日本のメノウ細工の『根付け』が紹介されている。しかし、「ロシア本」は私達には多分に「猫に小判」的であつて、お役にたちそうな方々に見て頂ければ有り難いと思っている。「スロバキア本」は、Prahaから北東約100kmの町「Nova Paka」の歴史と地質を述べる中で、その地で出た「メノウ」が紹介されている。色は美しいが、模様に鋭角の部分が多く、少々怖い顔つきをしている。「イギリス本」では、この国での「メノウ」の産地が紹介されていて、勿論、美しい写真を見せている。特徴は「Agate Geode」の成長過程の想像図が示されている事で、しかし未だ全てを説明できないと述べている。「本の紹介」が長くなったが、ついでに、もう1冊、P.Bancroftなる人の著した本⁸⁾に、世界中の主要な宝石類の産地と、そこでの宝石産出にまつわる興味ある話が沢山載っていて、ドイツからRio Grande do Sul州に入殖した人々によって、その地で、とてつ

もなく大きな『Agate Geode』を見つけるまでの顛末が述べられている。

最後は、「本の紹介」になってしまったが、次回は、ブラジルのPara州、Carajas山中にある『紫水晶の王国』を紹介する。

[参考文献]

- 1) M.O'Donoghue, "Quartz", Butterworths Gem Books, London, (1987)
- 2) Powder Diffraction File-Inorganic Phases, JCPDS (1987)
- 3) E.Matsui, E.Slati and O.J.Marini, "D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio in waters contained in geodes from the basaltic province of Rio Grande do Sul, Brazil", Bull. Geol. Soc. of Am. 85 (1974) 577-580
- 4) Н.А. Шило, "Халцедоны-Северо-Востока СССР", (Chalcedony-North-East Soviet), Москва «Наука» (1987)
- 5) А. А. Годовиков, О. И. Рипинен, С. Г. Моторин, "Агаты" (Agates), Москва «Недра» (1987)
- 6) M.Barina, "Nova Paka", K.Tucek, "Z Geologické Minulosti Novapacka", Praha, (1973)
- 7) H.G.Macpherson, "Agates", the British Museum, (Natural History), London, (1989)
- 8) P.Bancroft, "Gem and Crystal Treasures", (1984) Fallbrook, California, USA



連載 水晶 あれ・これ [4]

人工水晶の源流を訪ねる—G.Speziaの業績—

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

1 「Spezia」を求めて—その背景

日本は今や世界第一の人工水晶生産国である。そして、人工水晶なくして現在のエレクトロニクス産業はあり得ないし、エレクトロニクス製品がなくなれば我々の生活は一変してしまうだろう。通産省調査統計部編『機械統計月報』によると水晶振動子の生産数量は、1994年9月を例にとると127,000,000個/月にも達してこれら水晶振動子は全てブラジルの水晶ラスカを原料として育成される人工水晶にたよっている。DNPM(ブラジル鉱産局)発表のデータ(Sumário Mineral, 1993)¹⁾によると、ブラジルの天然水晶結晶とラスカの輸出量の約75%は日本向けであって、このデータは日本が世界一の人工水晶生産国である事をうらづけている。現在、日本に於ける人工水晶メーカーは10社を下らないと聞いている。

第二次世界大戦後日本の水晶産業界はアメリカを目標において開発を進め、何時の間にか生産量の点でアメリカを超越して世界第一の人工水晶生産国になったのだが、しかし、人工水晶の育成技術の源流を知る人は、産業界の中でも意外に少ないようだ。ヨーロッパで生まれた学問がアメリカで産業化の芽をふき、そして日本に於いて量産化されるという発展形式は多くの産業分野に見られるが、人工水晶も例外ではない。現在の水晶産業を支え

ている人工水晶の育成技術は、水晶振動子とは全く無関係にイタリアの鉱物学者「Spezia (スベチア)」によって今世紀初頭イタリアの北部の町、トリノで生み出されている。その後、その技術はドイツとイギリスへ流れ、第二次世界大戦後アメリカへ持込まれ産業化の運びとなり、更に今日の量産体制へ移行した。このような背景の下に私達の旅のプランは、人工水晶の源流に対する尊敬の念をこめて進められた。

2 トリノへの旅の手がかり

私たちは、Speziaの人工水晶をイタリア語で発表された論文^{2~4)}の中に示された写真で見ていたので、かねがね興味を持っていた。しかし、トリノを是非訪ねようという旅のプランをたてる上で、私たちに手がかりを与えてくれたのはDr.TrossarelliによるSpeziaを紹介する論文“Hydrothermal Growth: The First Historical Achievement by Giorgio Spezia on Quartz”⁵⁾であった。Dr.Trossarelliは論文が出版された当時(1984年)トリノ大学の鉱物博物館の学芸員であった。その論文によるとSpeziaが用いた装置と水晶結晶が博物館に保存されていると言う。Speziaによってつくられた結晶が写真入りで紹介されている他、冒頭の次のような文章が興味をひいた。『人工的に結晶をつくる多くの方法

連載

には考案者の名前が付けられている。典型的例として Verneuil は良く知られている。そして、Czochralski, Bridgman, Kyropoulos 等など。しかし、宝石のみならずエレクトロニクス産業に広く用いられている水熱法は Spezia 法とは呼ばれていない。その理由は、多分、この方法が他の方法と異なり自然の発生条件の再現によったためであろう。』なるほど、有名な Verneuil 法は天然宝石の出来る条件とは全く異なっている。19世紀後半のヨーロッパのあちこちの大学の化学や鉱物学の教室では鉱物や宝石の合成研究が盛んであった。トリノ大学の鉱物学の先生であった Spezia が天然水晶の研究結果をもとにして水晶を人工的に作る事に成功したのもこの頃であった。しかし、Spezia 法と呼ばれなかった為に、同じ頃フランスで活躍した Verneuil に比べると彼の名はそれほど広く知られなかったようである。しかし、Dr. Trossarelli は論文の最後の所で、1948年に D.H. Hale (Brush Development Co., Ohio, USA) が Spezia にあてた手紙を紹介している。Hale はその手紙の中で Spezia のオリジナリティーに対して栄誉を与えるとともに、その成功とその後の貢献に感謝の意を表わしている。しかし残念な事に 1912年に既に 70歳でこの世を去った Spezia は Hale の手紙を見る事も、その後の水晶産業の発展を知る事もなかったわけである。私たちは、おそまきながら Spezia の足跡をたどってみたいと思いたち、Dr. Trossarelli に問合わせの手紙を書いた。それは 1993年の11月であった。私たちの問合わせの手紙に対しての Dr. Trossarelli の返書は幸い次の様なものであった。『トリノ大学には鉱物博物館はもはや存在せず、資料は市内の自然科学博物館に移したが未だ完備しておらず開館に至っていない。しかし Spezia のつくった結晶、使用した装置その他の Spezia に関連する全ての資料を見せる事は可能である』と言うものであった。

3 トリノにて

フランスのパリとブサンソンでの用事を済ませて国際列車でイタリアに入り目的地トリノに到着したのは 1994年3月初旬であった。途中、アルプスの雪の山々を眺めながらの旅であったがトリノは幸いにもあまり寒くなかった。町の多くの建物は 17~8世紀に築かれたそう

で、ヨーロッパの多くの町がそうであるようにエレガントなそして重みのある落ち着いたたたずまいを見せていた。大学の建物が何時出来たのか聞き忘れたが、かなりの年月がたっているのだろう。町の多くの建物と同様にそろそろ修復の必要性がありそうだったが、正面入口の柱には彫刻がほどこされ古さを物語っていた(写真 4.1)。目的とする鉱物、岩石学教室はすぐ見付か



写真 4.1 トリノ大学の正面入口

り、Dr. Trossarelli は手紙での約束通りに私たちの為に Spezia に関する全ての資料を取揃えて待っていて下さった。現在大学には展示場がない為、一個所に全てがまとめられていたのでゆっくり見る事が出来た。

Dr. Trossarelli の論文の写真にあった Spezia の実験装置を目の当たりに見、そして人工水晶を手にとった時、約 100年前の先人の偉業に改めて感服した。通称オートクレーブと呼ばれる圧力容器(写真 4.2)はスチール製で、内部には夫々の実験毎の交換を配慮してシルバーカッパーのコンテナを有する等の細かい配慮がなされていた。オートクレーブを暖める熱源に都市ガスを用いているのも驚きであった。100日以上と言う長い期間の実験は現在なら何の不思議もないのだが、Spezia の時代にガスを使用しての実験と聞くと、よくやったものだ、の一言につきる。水晶を人工的にこしらえる試みは Spezia 以前から多くの人々によって試みられていたが⁶⁾、天然水晶を滋養物にして種結晶の上に成長させた点で Spezia の仕事は画期的であり、今の人工水晶の先駆的役割を果たしていると思う。しかし、現在

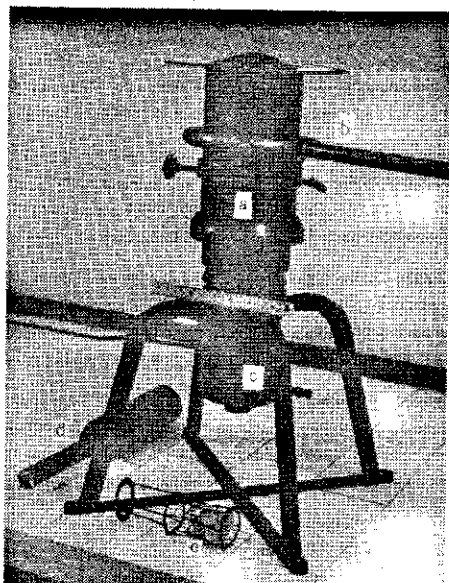


写真 4.2 Spezia が用いた压力容器

- a 本体, b ガス・バーナー, c 水冷用容器, d シルバー・カッパー・コンテナ, e 滋養物用バスケット.

の人工水晶がオートクレーブ内の対流による滋養物の運搬に依存しているのに対して, Spezia の方法は拡散にたよっている。即ち, バスケットに入れた滋養物をオートクレーブ上部に置き, その下に種結晶を銀線で吊し, 滋養物の部分をガスバーナーで高温 (約 330°C) に保ち, オートクレーブの最下部を水で冷やす。上部で溶解した滋養物が拡散により下部に運ばれ種結晶の上に晶出する。結晶の成長速度は現在の方法に比べて遅いが, しかし, 写真 4.3 に見られる様に見事に成長していた。こ

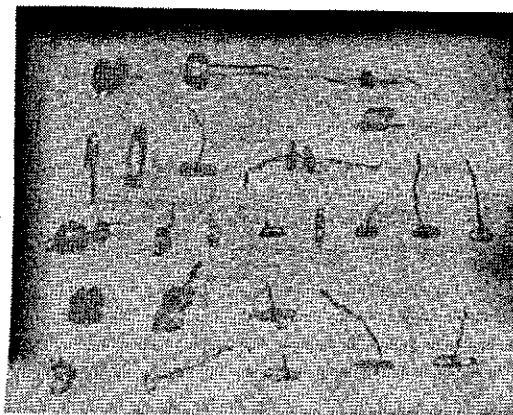


写真 4.3 Spezia によってつくられた人工水晶

の方法は, その後にイギリスの Wooster らによって

追試され確認されている。又, 第二次世界大戦中人工水晶を振動子用にまで発展させたドイツの Nacken の仕事も Spezia の成果の上に築かれたものと思う。その意味で Spezia は現代の人工水晶のバイオニアである。滋養物をバスケットに入れ, 種結晶を吊している点等は今と全く変わらない。しかも, 水晶振動子と言う実用化とは無関係であったと言う点に注目すべきではないだろうか。種結晶としてはカットした物の他に六角柱状の天然結晶の折れたもの, 日本式双晶の一方が折れた物等を用い, 折れた部分がきれいに成長する事を確認している。溶液としては, 始めは Na_2SiO_3 溶液を用いていたが, 1909 年に発表された最後の実験では, Na_2SiO_3 に NaCl を加える事によって, より透明な結晶を得たと報告している。何故, NaCl を加えたのかは分からないが, 天然水晶の出来る条件を考慮しての事であろうか。

Dr. Trossarelli が取揃えておいて下さった Spezia の古い研究論文によると, 人工水晶成功前の 10 年以上の期間, Spezia は『天然水晶の地質化学的役割』という課題に取り組んでいたようである。イタリア, フランス, スイスにかけての地域は昔から水晶が産出する事が知られていて, ヨーロッパの学者の関心の的であったらしいが, Spezia もそのような地の利を生かして研究していたのだろう。論文の中には, 1898 年に着工して 1906 年に開通したシンプロン・トンネルから採取された水晶についての研究もあって, なるほど, とうなずかれた。それらの研究を通して, 温度と圧力の溶解に対する働き, 流体包有物に関する知見を得て, 水晶の結晶成長に踏込んだと想像される。晩年は, 多分人工水晶の育成に執念を燃やしたのではないだろうか。1909 年に発表した『水晶の結晶成長』という論文を最後に 1912 年にこの世を去った。Dr. Trossarelli も述べているようにイタリアではその後誰も Spezia の先駆的工作を受け継がなかったのは残念な事である。

Spezia の資料の管理は今大学から市内の自然科学博物館に移されているが, その博物館は現在建物が古くなり修復中で公開されていなかった。しかし, Dr. Trossarelli の計らいで特別に見せて頂く事ができた。人口には『Musse Regionale di Scienze Naturali』と記されていた。その中は鉱物, 地質の他多くの部門に

連載

わかれていて、鉱物の収納庫には世界中の鉱物標本が未整理のままおかれていた。修復後には Spezia に関する資料が再び展示される事を願わずにはられない。『イギリスにも Epezia の資料があるらしい。』と言う Dr. Trossarelli の言葉に、1954 年にアメリカの Walker が発表している『Hydrothermal Growth of Quartz Crystal』という表題の論文⁸⁾に Spezia の人工水晶がオックスフォード大学の博物館に展示されていると書かれていた事を思い出した。Dr. Trossarelli は『Spezia のオートクレーブは 2 個あるのだから、ここには一つしか残っていない。もしかしたらイギリスにあるのかもしれない。あるいは、戦争中に金属を供出させられたので、その時に出してしまったかな？ クレイジー』と言って首をすくめた。私たちも『日本も同じ状況だった』と同じ様に首をすくめた。イタリアも戦争中は日本と同じように狂っていたのだと思わず苦笑してしまった。しかし、何故 Spezia の結晶がイギリスに渡ったのだろう。調べて見る必要があると思うつつ、Dr. Trossarelli のご好意に御札を述べてトリノを後にしたのだった。

4 オックスフォードにて

『Spezia に関する展示を見たいのだが、今でも可能だろうか。何しろ私達に知っている参照論文は 1954 年で 40 年も前の物なので現在のオックスフォード大学博物館の状況を知らせて頂けないだろうか』と言う問合わせに対して、博物館の学芸員 Monica Price さんから次の様な返事が来た。『Spezia の展示はもはや行ってない。とうに片付けてしまった。しかし、Spezia によってつくられた結晶はありますので見せる事は可能です。それは Spezia から贈られた物です』

私達がロンドン・バディントン駅からオックスフォード行きの電車に乗ったのは 1995 年 1 月 6 日の朝 8 時半頃であった。かねがねイギリスの伝統ある大学と大学町を見たいと思っていたので、Spezia を求めてのオックスフォード行きは願ってもない良いチャンスだった。ロンドンから 1 時間余の快適な電車の旅を楽しむ事ができた。約束の 10 時にオックスフォード大学博物館(写真 4.4)に入ると、博物館の開館は午後なのだが入口にいた男の方が『イワサキさんですね。』と言ってすぐに

学芸員の Monica さんと呼んでくれた。彼女の部屋では



写真 4.4 オックスフォード大学博物館

Spezia の可愛い人工水晶が 1 個、私達を待っていてくれた。『ここにあるのはこれだけです』と彼女は言った。直方体に切りだされた種が銀線でしっかり縛られていて、その上に透明な美しい結晶が成長していた。資料番号『Q.U.M.13409』と記されたカードには『QUARTZ artificially crystallized from solution. Presented by Prof. G. Spezia, 1908』と書かれている(写真 4.5)。1908 年は Spezia の最後の論文が出る前の年にあたる。

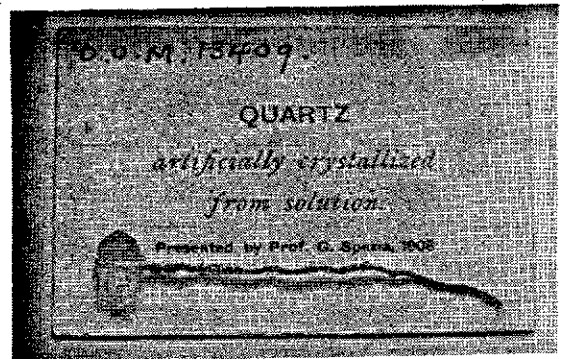


写真 4.5 オックスフォード大学博物館に保管されていた Spezia の人工水晶

Spezia の論文の写真と見比べて、更に結晶の透明性が良い事から、最後の実験で得られた結晶のように思われた。『Spezia はこの大学と関係があったのですか？ Spezia は誰にこの結晶を渡したのでしょうか？』と聞いて見たが分からないと言う事であった。『多分、どこかの学会が何かの集まりで誰かが Spezia からもらったのではないだろうか』と彼女は言っていたが定かではない。しかし、資料番号が付けられ、きちんと保存されていて嬉しかった。何と言っても Spezia は現代の人工水晶の源流なの

だから。

[参考文献]

- 1) Sumário Mineral (1993) Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM
- 2) Giorgio Spezia, "Contribuzioni di geologia chimica", *Atti. Accad. Sci. Torino*, **40** (1905) 254-262
- 3) Giorgio Spezia, "Contribuzioni sperimentali alla cristallogenesi del quarzo", *Atti. Accad. Sci. Torino*, **41** (1906) 158-165
- 4) Giorgio Spezia, "Sull accrescimento del quarzo", *Atti. Accad. Sci. Torino*, **44** (1909) 95-107
- 5) Carlo Trossarelli, "Hydrothermal growth: The first historical achievement by Giorgio Spezia on quartz", *J. Gemm.*, **19** [3] (1984) 240-260
- 6) P.F.Kerr and E.Armstrong, "Recorded experiments in the production of quartz", *Bull. Geol. Soc. Am.* **54** SUPPL.1, (1943) 1-34
- 7) Nora Wooster and W.A.Wooster, "Preparation of synthetic quartz", *Nature*, **157** (1946) 297
- 8) A.C.Walker, "Hydrothermal growth of quartz crystals", *Ind. Eng. Chem.*, **46** (1954) 1670-1676



参加募集

高圧バイオサイエンス・バイオテクノロジー に関する国際会議

加圧食品を基礎にして高圧関連の生命科学への国際的関心の高まりに対応するため, "International Congress of High Pressure Bioscience and Biotechnology" を次のように行う予定です。奮って御参加ください。

主催：高圧バイオサイエンス日欧合同研究会

後援：日本農芸化学会, 日本生化学会

日時：1995年11月5日(日)(登録のみ)～9日

場所：国立京都国際会館(〒606 京都市左京区宝ヶ池
TEL 075-705-1234)

概要：招待講演者による招待講演(45分), 口頭講演(25分), ポスター講演の三本立て。前二つは主催者が決定。公用語は英語。会議後, 進歩集の出版予定。

講演申込み：講演題目, 発表者, 所属 (FAX を必ず), 希望講演(口頭, ポスターの別) を世話人まで。

講演申込み締切り 1995年5月末日

要旨の締切り 1995年6月末日

参加費：50,000円(但し, 公共機関と大学教職員 40,000円, 学生 20,000円)。この他懇親会や見学会希望者は2万円ほど必要。

参加申込み：氏名, 勤務先, 住所, 電話, FAX を記した名刺と返信切手(80円)を入れて封書で世話人まで。

世話人：〒606-01 京都市左京区北白川追分町

京都大学農学部農芸化学教室内

生物関連高圧研究会

世話人 林力丸

TEL:075-753-6112 FAX:075-753-6128

連載 水晶 あれ・これ [5]

計算機で造る結晶，水晶の場合—『形』の多様性を支配する少数因子—

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

1 「ふりだし」は『ニコラウス・ステノ』から

岩の表面から生え揃った水晶の結晶には、しばしばその多様な「結晶形態」のなかに、美しくそして品の良さを感じさせるものがある。そのような美しさを水晶を介してかもしだす自然の営みに、私たちは敬意を払いつつ、しかし、何故に多様なのかと思いを巡らす。

スエーデンに生まれ、医師であり解剖学者であったニコラウス・ステノ [N. Steno, 1638-1687] が、化石の起源に関心を抱いたことから、地質を観察し、多くの鉱物結晶の形態を研究した結果をまとめた論考があって、それは 1669 年に出版された。その論考は『プロドロムス』と呼び慣わされていて、原文はラテン語で書かれているという。しかし幸いにして、私たちは今その『プロドロムス』を日本語で読むことが出来て、それは教育者であり、また科学史家でもある山田俊弘先生の訳のお陰である¹⁾。以下の「ステノ」並びに『プロドロムス』に関することは山田俊弘先生の訳による。それによると、『プロドロムス』の完全なタイトルは以下のようである；

Nicolai Stenonis, De Solido Intra Solidum Naturaliter Contento - Dissertationis Prodrromus.

Ad Serenissimum Ferdinandum II. Magnum Etruriae Ducem. Florentiae, 1669.

(ニコラウス・ステノニスの、固体のなかに自然に含

まれた固体について — 論文への予告。

トスカーナ大公フェルディナンド 2 世殿下に捧げる、
フローレンティア、1669 年)

この『プロドロムス』は、本文 78 ページ、図版とその説明 2 ページから構成されているという。ステノは多くの鉱物結晶の形態を研究する時、特に『水晶』に着目していて、『プロドロムス』本文 37 ページに「水晶について」なる章を設けている。ここでステノは、水晶の結晶の形態の多様性を「図形」で示しつつ詳しく論じ、その多様性と結晶成長との関係にまで論及している。ステノの「図形」についてもまた、山田先生によって詳しく解説されている²⁾。そして、論考『プロドロムス』から、ステノが結晶の形態の多様性は、いろいろな結晶面の成長速度に異方性があるためであると考えた事を読み取る事ができて、この考えは現代にまで継承されていて、ステノの時代から約 300 年が経過したが、その間多くの学者の知的生産をかさねて 1946 年に至り、Welis による結晶の形態の精密化した議論がまとまった³⁾。

いま、デンマーク・コペンハーゲンにある地質学博物館を訪ねると、2 階には『ステノの部屋』があって、そこに並ぶブースには、ステノを紹介し、彼の地質学、鉱物学への貢献を記念するものが展示されている。結晶形態の多様性を示す「図形」などもモデルで示されていて

連載

(写真1), 当然に, 幾つもの水晶の結晶がおいてあるが, しかし, それらはステノが観察に用いたものかどうかは定かでない. しかし展示物を見ながら, ステノが,

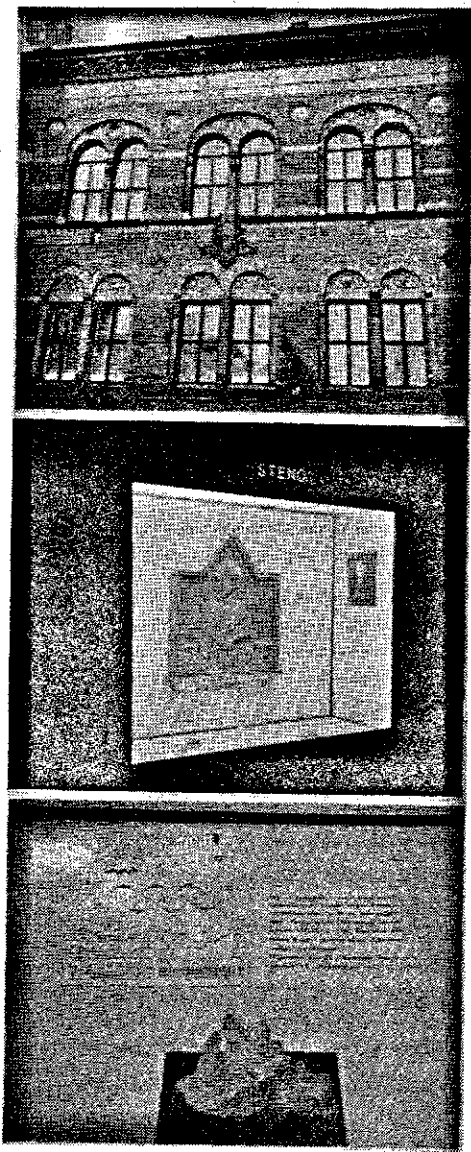


写真1 コペンハーゲンの「地質学博物館」の建物と、「ステノの部屋」のステノ像と「図の説明」の展示があるブース。

「地質学」の, そして「鉱物学」の祖と呼ばれる所以を感じ取ることには不足はない. 水晶に関わる地質学の歴史やステノに関わる事柄には興味あること多々であるが, ここでは関連した著作の紹介に止める⁴⁾⁻⁶⁾.

2 「頼り」になるのは電子計算機

ステノの考えた事や, Welis による議論をふまえての結晶の形態の研究が進展してゆくにつれ, 結晶の形態は, 原理的には「計算可能」な問題だと考えられるようになり, その時代はまた, 「電子計算機」の利用が容易になりつつある時でもあって, 原理的に「計算可能」でも「人間業ではどうも」と思われる問題にもいどめる状況にあった. ある結晶で, その構造の対称性や格子定数・面指数を指定して, 計算機で形態を描かせることを論じた研究論文で, そのコピーが私達の手元にあるものでは, 1979年にオランダの研究者 C.S. Strom によって発表されたものが一番古い⁷⁾. この時は, 計算された結晶の形態は, CRT のスクリーン上に描かれた. 結晶として「かんらん石」が選ばれ, 中心から結晶面までの距離をいろいろと変えた時の, 結晶形態の変化が示されている. ついで, 1980年に発表された Dowty の論文で, 私達は「計算機で描かれた水晶」を初めて見た⁸⁾. しかし, その論文では, 水晶の形態がどのような条件で描かれたかは明らかにされていない. それに, Strom の場合も Dowty の場合も, その計算プログラムでは時間因子は考慮されていないようであって, したがって結晶の形態を「結晶成長の過程」としてとらえ, 描かせる事は出来ないようであった.

私達は, 水晶の結晶形態の変化を「結晶成長の過程」としてとらえて, 時間の関数として形態変化を描かせる事が出来ればと考えていた. しかし, それを可能にするプログラムを「自力」で作成する能力は無いので, 私達の目的に合ったプログラムがあれば, そのコピーを頂きたいものだとして『虫のいい』考えを持っていた. それで, 日常の仕事の一環としてやっている「文献探索」においても, そのような計算プログラムの探索をしていたが, しかし, そのような『虫のいい』考えは, すぐには現実のものとはならなかった.

ところが, 1991年の春に, 日本科学技術情報センター発行の「文献速報」を調べていると, 計算機で「結晶の形態の時間変化」を描く事を報じている研究のあることを知った. それは, 信州大学教授・桜井敏男先生の研究で, 1988年発行の「信州大学教育学部紀要」⁹⁾に載っ

ていて、「速報」の抄録によれば、その計算プログラムは間違いなく私達が求めていたものであった。早速、桜井敏男先生に手紙をさしあげると、折り返すように先生から電話でお返事が頂けて、「信州大学はこの春で定年退官したが、プログラムのコピーを用意してあるので、5月16日に『理研』の分子構造分析室に来るように」との事であった。当日『理研』の分子構造分析室に桜井先生を訪ねると、先生は自ら計算機を操作して私達にプログラムの使い方を教えてくださった。こうして、私達は『プログラム・CGR88』を頂き、「我が家のパソコン」を操作し結晶面の種類やその成長速度などをいろいろと変化させながら、水晶の結晶形態を時間の関数とし描かせることが出来るようになった。

3 水晶の『形』を計算機で描かせると 『p-q Diagram』

『プログラム・CGR88』は多様な機能をもっていて、その機能の全てを「使いこなす」ことは、今もって出来ていない。しかし、試行錯誤を重ねつつ、計算機で「水晶を造る」作業は進み、成長条件と『形』の関係を求める「道筋」は出来上がった。そこで、計算機による本格的な「水晶の育成」を始めた。

私達がしばしば見る水晶は岩の上に生えていて、したがって、六角柱の上端に錐面がついている。しかし、六角柱の両端に錐面を持つ『両錐形的水晶』も珍らしくなくて、ここではそれを「水晶の代表的な形」とする。6面からなる錐面は、多くの場合、三つの大きな面と、三つの小さい面が交互についている。それで、錐面を構成している大きな面を「R面」、小さな面を「r面」と呼ぶ。また、六角柱を構成する面を「m面」と呼ぶ。そして、自然界で成長した水晶の多くは、これら3種の面で構成されている。それで、計算機による「水晶の育成」に際しても、「m, R, r」の面だけを考えることにした。したがって、ここで考える『両錐形的水晶』では、その結晶は18面で構成されている。

『プログラム・CGR88』では、面指数($H \cdot K \cdot L$)の結晶面と中心との間隔 $d(H \cdot K \cdot L)$ を次のような式で指

定できることが特徴である；

$$d(H \cdot K \cdot L) = d_0(H \cdot K \cdot L) + gr(H \cdot K \cdot L) \cdot t$$

ここで $d_0(H \cdot K \cdot L)$ は面 ($H \cdot K \cdot L$) の位置の初期値で、それは結晶核あるいは『種子』のサイズに対応させる事ができる値であり、 $gr(H \cdot K \cdot L)$ は面 ($H \cdot K \cdot L$) の成長速度、 t は成長時間である。結晶形態の計算には、面とその成長速度の指定に加えて、格子定数と結晶軸の間の角度を指定する。最後に、成長時間を指定して計算をスタートさせる。面や成長速度の指定とは独立に成長時間を変えて繰り返し計算が出来るので、結晶形態の時間的変化を追うことが出来る。結晶形態は、各々の面の成長速度の『比』の値で支配される。ここでは、「m, R, r」の面の成長速度を $gr(m)$, $gr(R)$, $gr(r)$ で表し、2種類の成長速度比『p, q』を次のように定義する；

$$p = gr(r)/gr(R), \quad q = gr(m)/gr(R)$$

「m, R, r」面の d_0 , gr の数値例と、その条件で $t = 100$ として描いた時の水晶の形を示したのが図1である（プリンターの性能の故で、縦方向の長さが実際の長さの8/9になっている）。計算に際して、R面の成長速度

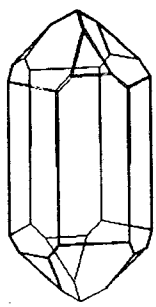
QUARTZ						
NUMBER OF PLANES 18						
N	H	K	L	D0	GR	
1	1	0	0	0.01	0.60	
2	-1	1	0	0.01	0.60	
3	0	-1	0	0.01	0.60	
4	0	1	0	0.01	0.60	
5	-1	0	0	0.01	0.60	
6	1	-1	0	0.01	0.60	
7	1	0	1	0.01	1.00	
8	-1	1	1	0.01	1.00	
9	0	-1	1	0.01	1.00	
10	0	1	-1	0.01	1.00	
11	-1	1	-1	0.01	1.00	
12	1	-1	-1	0.01	1.00	
13	0	1	1	0.01	1.10	
14	-1	0	1	0.01	1.10	
15	1	-1	1	0.01	1.10	
16	1	0	-1	0.01	1.10	
17	-1	1	-1	0.01	1.10	
18	0	-1	-1	0.01	1.10	

図1 18の結晶面についての $d_0(H \cdot K \cdot L)$ と $gr(H \cdot K \cdot L)$ の値と、その値の下で $t = 100$ として描かれた水晶の『形』。 $N = 1 \sim 6$ が「m面」、 $N = 7 \sim 12$ が「R面」、 $N = 13 \sim 18$ が「r面」である。[プリントアウトされた縦方向の長さは、実際の長さの8/9になっている]

は『1』にしてあり、したがって、 $[p = 1.1, q = 0.6]$ となっている。 $[p, q]$ の値と t の値をいろいろと変えて

連載

計算してみると、

$$d_o(H \cdot K \cdot L) \ll gr(H \cdot K \cdot L) \cdot t,$$

の状況では、成長時間の変化が結晶形態の変化を招かないような特別な p, q の値 $[p_o, q_o]$ がある事がわかってきた。そして、結晶形態の特徴が $[p_o, q_o]$ の値で分類できるようになった¹⁰⁾。一組の成長速度比 $[p, q]$ に1つの「結晶形態」が対応する。そして、 $1 \leq p < 2, 0 < q < 2$ の範囲の計算から得られる結晶形態の特徴は、 p と q をそれぞれ縦軸・横軸とした平面『 $p-q$ Diagram』において、8種類の領域によって「分類・表現」のできることが明らかになった。図2に『 $p-q$ Diagram』を示す。L1, L2は1次元領域で、 $p=1$ の線上にある。8種類の領域内での代表的な結晶形態は図2のなかに示してある。そして、ここに描き出された形態の水晶の全てが自然界に存在することを、私たちの目と、確かな文献から確認している。また逆に、「 m, R, r 」面で構成されている水晶の結晶形態は、『 $p-q$ Diagram』の8領域のどこかに必ず属するとも言える。

水晶の結晶における『 $p-q$ Diagram』の特性、結晶成長との関係などについての詳細は、私たちの論文^{10), 11)}に述べてあるが、ここで強調したい事は、かくも多様な結晶形態が、大きさ『2』の程度までの $[p, q]$ なる2種類の因子で完全に支配されている事実である。「少数因子が支配する多様性」と称する所以がここにある。300余年前のステノによる洞察を、今ここに「定量化」して示せたとも言えようか。

4 未だ手にとって見た事のない『6面体水晶』

計算機による「水晶の育成」の過程で、『6面体水晶』が存在する可能性を知った時、それは、にわかには信じ難い事であった。しかし、念のためと思い、文献の探索をしてみると、何と『Pseudo-cubic quartz crystals from Artesia, New Mexico』なる表題で1929年に発表された論文を見つけた¹²⁾。そこには、大きさ5mm~10mmの『6面体水晶』が、写真を添えて紹介されていた。『6面体水晶』は間違いなく自然界に存在した。そうなる、『6面体水晶』を自身の目で直接観察し、出来れば

手で触れてもみたい。それで、国内の幾つかの博物館を訪ね、展示されているものに加え、収蔵されている水晶標本までも見せて頂いたが、『6面体水晶』は見付からなかった。アメリカのニューヨーク、ワシントンの「自然史博物館」などをも訪ねたが、沢山の展示標本の中にも『6面体水晶』は見当たらなかった。そして、ロンドンの「自然史博物館」を訪ねた。この博物館の2階には沢山の鉱物標本が良く分類されて展示してある。[Oxides - Quartz] と表示のあるブースが幾つもある。そして『No.17』のブースの中に、「Pseudocubic crystal, Pala, California」と書かれた標本が在った。しかしそれは、一目で『6面体水晶だ!』と、私達を興奮させるものではなかった(写真2)。が、よくよく眺めていると『6

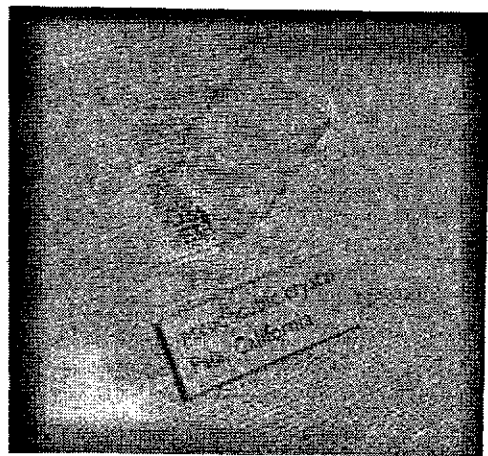


写真2 ロンドンの自然史博物館の「鉱物標本フロアー」にある、[ブース No.17] の中に展示されている「Pseudocubic crystal, Pala, California」。

面体水晶』のようにも見えてくる。いずれ博物館に頼んで、詳細に観察する機会を得たいと思っはいる。そして、これからも、より完全な『6面体水晶』と巡り会える努力を続けるつもりでいる。

5 研究の将来

『水晶の結晶形態の変化を「結晶成長の過程」としてとらえて、それを時間の関数として描かせる事』を強調しながら、ここでは、「時間に依存しない」結晶形態の話が中心になってしまった。しかし、自然界での結晶成長では、その成長に要した時間を推定する事が難しいので、結晶形態が「時間に依存しない」という状況の存在

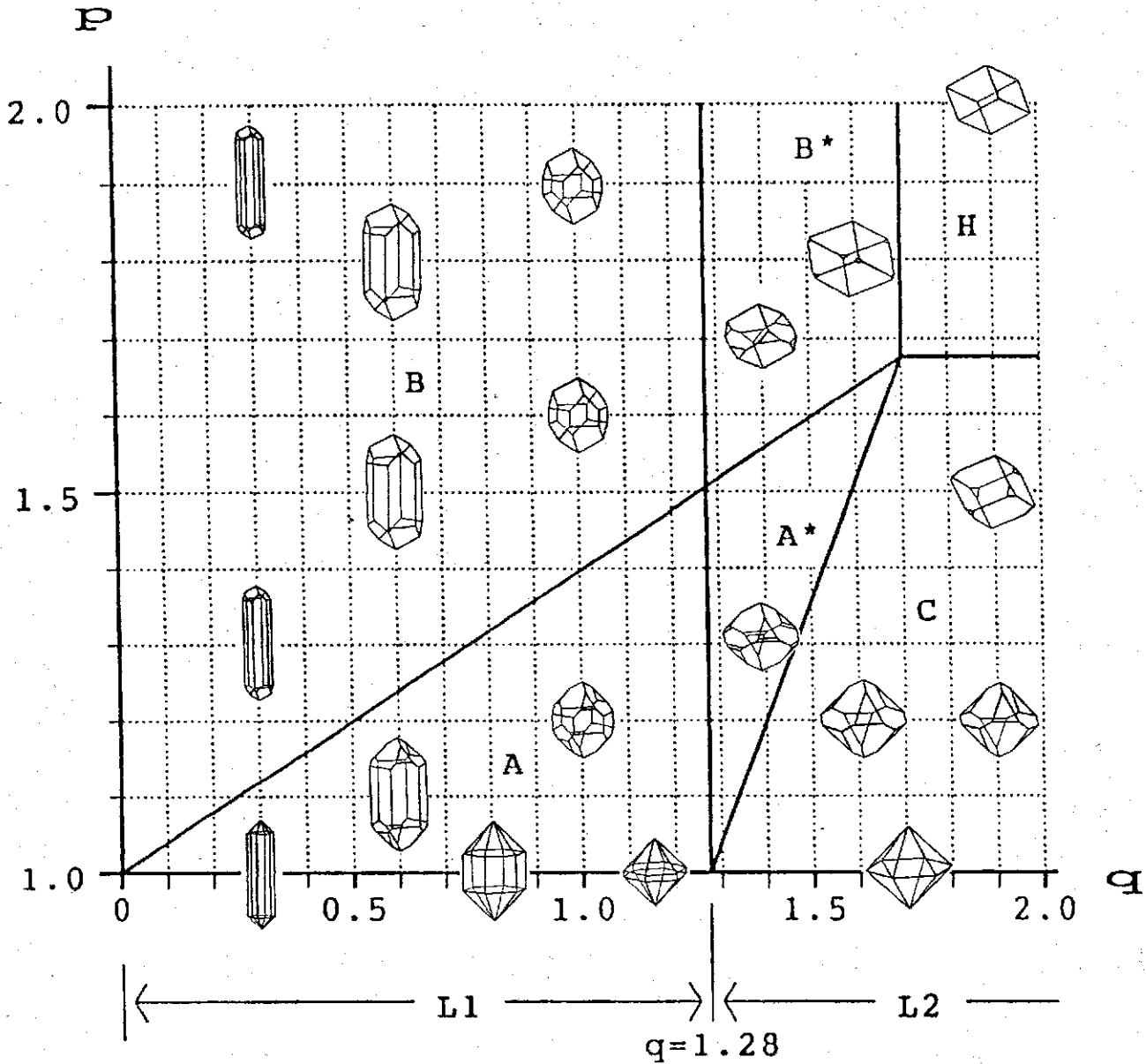


図2 『 $p-q$ Diagram』 Diagramは8領域で構成されるが、L1, L2は $p=1$ の線上にある1次元領域である。また、L1, A, A*の領域は「閉鎖領域」で、B, B*領域は p 方向に、C領域は q 方向に、またH領域は p, q 両方向にたいし「開放領域」となっている。 p, q 両方向に「開放」しているH領域では、結晶形態はR面のみで囲まれた6面体になる。「開放領域」では、開放している方向の因子(p または q)の変化は結晶形態に影響しない。したがって、H領域では、 p, q が変化しても結晶形態は不変で『6面体水晶』のみである。「閉鎖領域」では、結晶形態は $[p, q]$ 2つの因子で支配される。多くの「天然水晶」はA領域に属している。現在、工業的に生産されている「人工水晶」はB領域で成長している。B領域で成長した水晶は、錐面が3つのR面のみで形成されているのが特徴である。また、L2領域で m 面の消えている形態は、「高温水晶(β 相で成長した水晶)」でしばしば見られる。

連載

を明らかにし、その状況下で形態の多様性とその支配因子との関係を示せた事には意味があると思っている。一方、「人工水晶」育成においては、その育成時の温度・圧力・成長時間・溶媒、そして種子結晶の形とサイズなどを、かなり自由に選ぶことができる。したがって、制御させた条件下の「オートクレーブでの水晶育成」から得られるデータと、「計算機による水晶の育成」から得られるデータを対比すれば、水晶の「結晶成長の過程」で未だに理解できない現象の『定量的な理解』が可能になるだろうと私達は考えている。そして現在、日本は「人工水晶生産量」において世界一である。これは、「誇れる状況」とも言えよう。しかし、私達はこの「誇れる状況」から、「計算機による水晶の育成」と対比して『知の生産』へと導いてくれるようなデータの提供は受けていないに等しい。一方、国としての「工業的生産量」は劣るとはいえ、「オートクレーブでの水晶育成」の研究では、ロシア科学アカデミー・実験鉱物学研究所の水熱合成研究グループには多くの「データ」が蓄積されている。最近、私達のところにその研究グループから「計算機による水晶の育成」と組み合わせる事の出来る貴重なデータが送られてきた。それらのデータに基づく予備的な「計算機実験」も今進展しつつある。私達は、この「協同研究」を是非成功させたいと思っている。

この稿を結ぶに際して、私どもに『プログラム・CGR88』を下さった桜井敏男先生が、1994年10月にお亡くなりになった事を記し、謹んで先生のご冥福をお祈りいたします。

[参考文献]

- 1) 山田俊弘: ニコラウス・ステノ『プロドロムス - 固体のなかの固体』 - 試訳と研究ノート 千葉県立船橋高等学校研究紀要 (その1) No.16, pp.10-24 (1985), (その2) No.17, pp.47-60 (1986), (その3) No.18, pp.15-29 (1988), (その4) No.19, pp.35-50 (1989), (その5) No.20, pp.13-26 (1990)
- 2) 山田俊弘: ニコラウス・ステノによる結晶の面角一定の法則 - 『プロドロムス』(1669年) 「図の説明」の紹介と翻訳, 地学教育 43 (1990) 1-7
- 3) A.F.Welis; "Crystal habit and internal structure", *Phil. Mag.*, I. 37 (1946) 184-199, II. 37 (1946) 217-236, III. 37 (1946) 605-630
- 4) G. Scherz (Ed.); "Nicolaus Steno and his indices", Munksgaard, Copenhagen (1958)
- 5) F.D.Adams; "The birth and development of the geological sciences", Dover Publications, Inc., New York (1954)
- 6) R.Laudan; "From mineralogy to geology", The University of Chicago Press (1987)
- 7) C.S.Strom; "Graphical presentation of crystal habit", *J. Crystal Growth*, 46 (1979) 185-188
- 8) E.Dowty; "Computing and drawing crystal shapes", *Am. Mineral.*, 65 (1980) 465-471
- 9) 桜井敏男; コンピュータによる結晶外形の作図, 信州大学教育学部紀要 No.63, pp.109-118 (1988)
- 10) H.Iwasaki and F.Iwasaki; "Crystal forms of quartz and their changes induced by growth rate ratios of faces, m , R and r - Drawing by computer simulation", *Forma*, 8 (1993) 315-325
- 11) H.Iwasaki and F.Iwasaki; "Morphological variations of quartz crystals as deduced from computer experiments", *J. Crystal Growth* (1995) (掲載決定済み)
- 12) W.A.Tarr and J.T.Lansdale; "Pseudo-cubic quartz crystals from Artesia, New Mexico", *Am. Mineral.*, 14 (1929) 50-53

日本の水晶 (2) —愛媛県久万高原の『高温水晶』—

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

5 『高温水晶』とは？

水晶を加熱すると 573°C 付近で三方晶系から六方晶系へ相転移する。転移温度以下、及び以上の水晶は、夫々低温水晶（又は α -水晶）及び高温水晶（又は β -水晶）と呼ばれている。ベグマタイトや熱水鉱脈から産出する水晶は転移温度以下の α -相で成長したものであるが、流紋岩や石英安山岩などの火山岩の造岩成分である水晶は転移温度以上の高温で生成したもの、即ち β -相で成長した水晶である。もとは火山岩中に斑晶をなしていたが、母岩が風化すると、小さい水晶結晶のみを採取することが可能になる。これが、今回話題にするところの『高温水晶』である。私たちが手にする常温の状態では、構造上は既に三方晶系の α -相の水晶になっているが、通常この状態をも『高温水晶』と呼んでいる。即ち、『高温水晶』とは転移温度以上の温度で生成した水晶に対して、それが既に α -相に転移していても、与えられる呼び名である。私たちが見ることが出来る『高温水晶』は構造上は α -水晶に変化していて、多くの場合、 α - β 相転移にともなう歪のために発生するクラックを有するが、外形上は生成した時のままで、次のような特徴を持っている。

- (1) ベグマタイトや熱水起源のような大きな結晶は存在しない。大きくても直径 10mm 程度、普通は 5mm

以下で、両錐六方型である。

- (2) 柱面 (m-面) がないか、あっても非常に小さい。
- (3) 錐面 (r-面と R-面) の大きさが同じである。

本連載 (4 月号) の『計算機で造る結晶—水晶の場合』で、「p-q Diagram」の L2、又は L2 に近い L1 が『高温水晶』の形状に対応している (図 1)。『高温水晶』は特徴のある形状の故に興味を持たれて来たようだ¹⁻³⁾。6 月号で紹介した山梨県師範学校発行の『水晶』³⁾の中で、小林定雄も『火山岩中の斑晶をなす石英は m-面が頗る短いか又は欠如する』と述べている。私たちも、その結晶形、物理化学的性質及びその成因に関心を持っていたのだが、『高温水晶』の多くはクラックを含んでいて、時には融蝕作用によって表面がざらざらして不透明であるという理由で、最近まで殆ど調べていなかった。『高温水晶』の産地として良く知られている所に、仙台市郊外の郷六がある。この水晶は、斜長石流紋岩マグマ中の斑晶として晶出したものが火山爆発に伴い火山弾として噴出固結した凝灰岩中にあると報告されている⁴⁾。郷六の『高温水晶』は比較的大きく、5mm に達するものも稀ではないのだが、残念ながら表面がざらざらして全く不透明である。『高温水晶』は全てこのようなものなのだろうと思っていたら、京都の財団法人『益富地学会館』で小さいけれどたいへん美しくキラキラと輝く

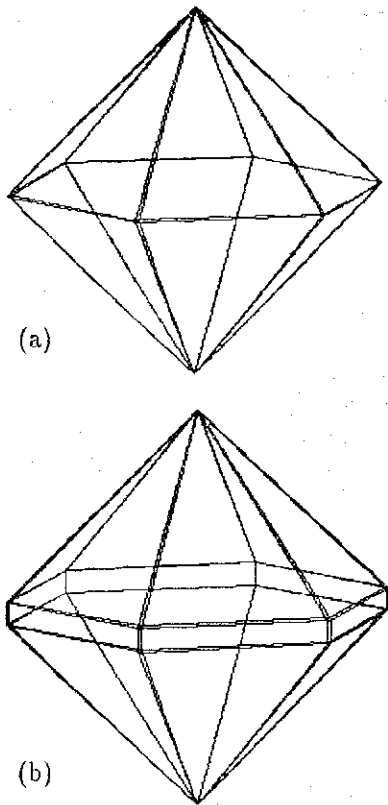


図1 『高温水晶』の形状

(a) 柱面 (m-面) を欠く『高温水晶』

(b) 小さい柱面 (m-面) を含む『高温水晶』

『高温水晶』を見ることが出来た。当時『益富地学会館』におられ鉱物結晶と古陶の収集家でもある土江田佑三郎さんから、その結晶が愛媛県久万高原産であることを教えて頂き、更にキラキラと光る直径3mm程度の可愛い結晶を頂くことが出来た。こんなきれいな『高温水晶』もあるのかと驚きながら早速いろいろと調べている中に、どうしても産出状態を見たいという好奇心にかられ、そしてやがて産地見学が実現した。

6 『高温水晶』の産地を訪ねる。

愛媛大学理学部の皆川鉄雄先生と愛媛県立博物館の千葉昇さんの案内で、愛媛県上浮穴郡久万町の『高温水晶』の産地を訪ねることが出来たのは1992年の5月であった。久万町は愛媛県の中南部、四国山脈の山ふところに抱かれた高原で四国の軽井沢と呼ばれている。石鎚山第三系を構成する堆積岩の上を火山岩類(石鎚層、高野層

および黒森層といわれる)が覆い⁵⁾、皆川先生の説明によると『高温水晶』は高野層の凝灰岩の構成成分で、風化により放出されたものだそうだ。高野凝灰岩は久万町高野一帯の道路のカッティング面に露頭しているので採集は容易であること、久万町の千本峠キャンプ場、グラウンドの土の中にも散乱しているとの説明をうかがったが、果して地質に関しては素人の私たちに小さな『高温水晶』の粒を見つけることが出来るかどうか不安であった。しかし、幸い博物館の千葉さんの手ほどきのお陰で千本峠グラウンドに散乱するキラキラ光る『高温水晶』を手にすることが出来た。そこは鉱山とは呼びがたいけれど間違いなく『高温水晶』の産地である。なれてくると(目が肥えてくると)、容易に見つけることが可能になってきた。地面を這いずり回わりながら宝探しに夢中になっていたら、いつの間にかビニールのサンプル袋には、キラキラした粒がたくさん入っていた。5mm位もあるきれいな結晶も見つかった(写真1,2)。ルーベ



写真1 千本峠グラウンドでの宝探し

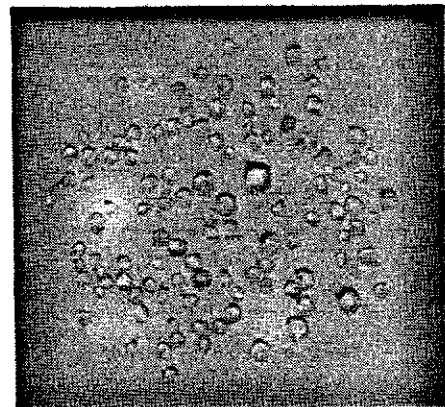


写真2 千本峠で採集した『高温水晶』

で見ると稜線は溶けたように丸みをおびているものが多いが、図1(a)に見るようにm-面のない両錐六方型を

している。透明で美しい結晶である。愛媛県立博物館発行の『久万高原とその周辺の自然』⁶⁾に次のような記述がある。”下畑野川の山手にあるグラウンドでキラキラと光るたくさんの小さい粒を見つけることが出来る。これが土地の人たちが『平五郎』と呼ぶ高温水晶である”。何時頃から、そして何故そのような呼び名が付けられているのか分からないが、多分畑を耕しながら小さなキラキラと光る粒を手にしたり、拾い集めたりしたのだろう。特に、雨上がりは見つけやすいそうだ。グラウンドに散乱する『高温水晶』は、それらを含んでいた凝灰岩が風化して完全に遊離した状態にある。赤褐色の風化土中に散乱しているため、採集可能であっても生成状況を見るには適さない。皆川先生、千葉さんをお願いして流紋岩質凝灰岩が露頭している古岩谷地区(写真3)と三坂峠地区を案内して頂いた。道路の造成によってカットされ



写真3 久万町古岩屋地区の『高温水晶』採集地

露出した岩壁は、これが凝灰岩であるとの説明を受けなければ、素人の私たちには分からないが、白っぽい灰色をしていて(写真4)、崩れ落ちて散乱している岩のかげらの中には5mm程度の大きいものから小さいものまで大小さまざまな『高温水晶』が埋め込まれたように存在している(写真5)。岩をたたき割ると、水晶のみを取出すことが出来た。大きいものは透明度が悪いが、グラウンドで採取したのと同じようにm一面が殆どない両錐六方型の結晶である。グラウンドで見た小さな粒も以前はこのような岩の中にあつたことが理解出来る。風化するのにどの位かかるのか分からないが、この地域は風化された火山灰土が広く覆っているそうだ。黒音地と言われている火山灰土に適した作物が栽培されていると

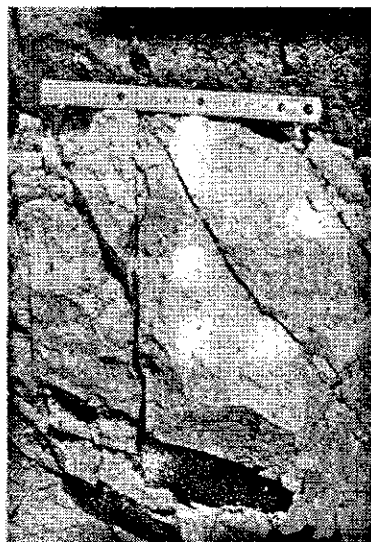


写真4 凝灰岩の岩壁

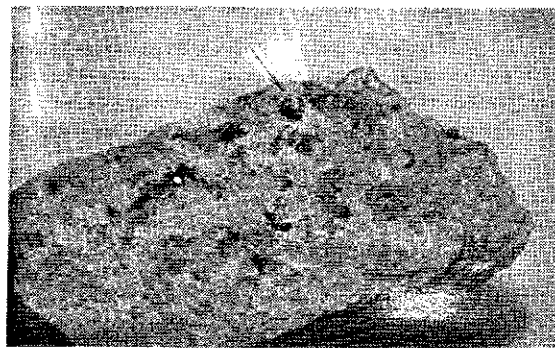


写真5 凝灰岩中の『高温水晶』。矢印は5mm以上の大きい結晶

いうから⁶⁾、土地の人は農作業のかたわらキラキラと輝く『平五郎』こと『高温水晶』に特別な感情をいだいてきたのだろうか。昔から人は自然の美しさにひかれ、そして美しいものを大切に保存してきた。自然がつくりだす小さな水晶結晶の美しさと不思議さに改めて敬意を払い、何故にかくあるのかと疑問を持つ。この地方の地質や岩石に詳しい皆川先生の話では、この地域の『高温水晶』を肉眼的に分類すると、無色透明、淡紫色をおびた透明、不透明の3種のタイプがあるが、それらについての鉱物学的検討は残念なことに殆どなされていないという。流紋岩の造岩成分であると言われても、果たしてどのようにして出来たのか。今まで見てきた低温水晶は温度、圧力の差はあっても、殆ど全て熱水溶液を含んだ晶洞中で結晶化したものである。しかし、火山岩である流紋岩の造岩成分中の小さな『高温水晶』は、地表近くに

噴出したマグマの融液の急激な冷却によって析出したもの、即ち融液中の成長と考えられる。岩に埋め込まれた『高温水晶』の状態は、マグマの融液中での析出を想像させるものであった。しかし、『高温水晶』の赤外線吸収測定の結果では熱水溶液中で出来た低温水晶と同様に不純物としての水または水酸基が検出されている。この事実は成長界面での水、又は水蒸気の役割を暗示させるように思うのだが、どうなのだろうか。成長のメカニズムに関しての疑問はひろがるばかりである。

7 『高温水晶』の形

結晶形態の多様性は、結晶面の成長速度に異方性があるためであるというニコラウス・ステノの推論に端を発し、今なお多くの研究が続けられていることを4月号で述べた。私たちは水晶の結晶形のもつ美しさに魅せられ、そして300年も前のステノの驚くべき洞察力に感銘しつつ、計算機によるシミュレーションで水晶結晶の形状変化の定量化を試み、 p と q の2つの因子によって、 m 、 R 、 r 面で囲まれた水晶の形が完全に表せる事を明らかにした^{7,8)}。『高温水晶』の形態は『 $p-q$ Diagram』の中で、 $p=1$ の1次元領域の L_2 又は、 L_2 に近い L_1 に対応している。 $p=1$ 、即ち R 面と r 面の成長速度が等しい、従って錐面の大きさが等しいということは、『高温水晶』が $\alpha-\beta$ 転移温度以上の六方晶系の相で成長した事から容易に理解出来る。しかし、 m 面がないか、あっても極めて小さいという事は『高温水晶』の必要条件ではない。実際、フロンデル¹⁾は m 面が存在する『高温水晶』と、 m 面のない低温水晶の存在を報告している。結晶面の成長速度の異方性を考える上で最も重要なのは成長界面の状態であって、その状態変化によって成長機構及び成長速度が変化する⁹⁾。私たちは『高温水晶』の形状を、温度による m 成長界面の状態変化(ラフニング転移)によることに加えて、 m 面の成長速度の温度変化が錐面(R 、 r 面)のそれに比べて顕著であるとの考えの上に、『 $p-q$ Diagram』によって表される水晶結晶の形状変化を説明した⁸⁾。従って、 m 面の成長機構が水晶の形状変化を解釈する上で重要な鍵になると思っている。このような観点で m 面の極めて小さい『高温水晶』の形を研究することは、水晶

全般の形状変化を考える上での重要なポイントになりそうだ。久万高原で見た『高温水晶』は流紋岩マグマの融液の中で成長したものであるが、高温の熱水溶液で成長した『高温水晶』はないものか。いろいろと疑問がわいてくる。残念なことに『高温水晶』に関して私たちが求める記述は極めて少ない。益富寿之助先生は、著書『鉱物』¹⁰⁾の中で次のように述べている。「高温水晶は岩石中に斑晶として含まれ、空洞中から産しない。柱面(m 面)を欠く高温水晶は、融蝕で結晶の稜がまるみをおびたり、虫食い状の小孔ができていたりしている。これで含んでいる岩石の見当がつく」。しかし、どのように見当がつけられるのか詳細は記されていないのを残念に思っている。 m 面を欠くかどうか、そしてその条件を知ることが何らかの手がかりを与えてくれるような気がする。

キラキラと光る美しい『高温水晶』を手にしたのがきっかけで、私たちの『高温水晶』に対する関心は以前より高まってきた。『人工高温水晶』の報告もあるが、水晶そのものの研究ではないため、私たちの求める情報には乏しい。しかしながら、最近、ロシア科学アカデミーの実験鉱物学研究所で『人工高温水晶』の研究が進んでいるという知らせを、その研究所の友人からもらった。実験鉱物学というユニークな領域の研究をしてきた実験鉱物学研究所の『人工高温水晶』研究の発展に期待している。

最後に、『高温水晶』の産地・久万高原を案内してくださった、愛媛大学の皆川鉄雄先生と、愛媛県立博物館の千葉昇さんにお礼を申し上げて、この稿をとじます。

[参考文献]

- 1) C.Frondel, "Silica Minerals, The System of Mineralogy, Vol. III", John Wiley & Sons, NY (1962)
- 2) 伊藤貞市, 桜井欽一, "日本鉱物誌", 中文館書店 (1947)
- 3) 小林定雄, "水晶", 山梨師範学校 昭和9年 (1934)
- 4) 神津倣祐, 高根勝利, 待場 勇, "仙台市外郷六産両鍾石英の諸性質及其成因的考察" 岩石鉱物鉱床学会誌, 17 (1937) 171-190
- 5) 吉田武義, 竹下 徹, "石鏡山第三系と石鏡コールドロン", 日本地質学会第98年学術大会見学旅行案内書 (1991) 139-155
- 6) "久万高原とその周辺の自然, 愛媛県立博物館 愛媛の自然文献資料集その5", 昭和62年 (1987) 131-134

連載 水晶 あれ・これ [10]

日本の水晶 (4) —忘れてはならない水晶の町, 福島県石川町—

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

11 石川町ってどんなところ？

京都の益富地学会館（私たちは少なくとも年に一度はここを訪れる）の図書室で、『いしかわの石の物語』という本¹⁾に目がとまった。それは、長年石川町の小、中学校の先生をなさり、退職後の現在は石川町文化財保護審議会委員、鉱物保護収集委員をしておられる三森たか子先生が、平成元年（1989年）から平成四年（1992年）にわたって、石川町の『広報いしかわ』に連載されたものをもとにして発行された本である。ページをめくっている中に、石川町は『忘れてはならない水晶の町』であるように思えてきた。その本は広報誌に連載されたことから推測出来るように、専門書ではない。『石川の石』について、産地の状況やその性質、更にイラスト入りの歴史的記述も含まれていて、誰でも楽しく読むことが出来るように書かれていた。そして、何よりも水晶のカラー写真に私たちは魅せられてしまった。

気のはやい私たちは、早速、『石川の水晶』について問合わせの手紙を書いたところ、三森先生から、折返して『いしかわの石の物語』¹⁾の他に、石川町教育委員会発行の『石川町鉱物調査報告書 — 秋台、渡里沢のベグマタイト及び鉱物』²⁾と歴史民俗資料館のパンフレット『石川の鉱物と岩石』³⁾が送られてきた。福島県の石川地方が日本の代表的なベグマタイト鉱物の産地である

という程度の知識しか持ちあわせなかった私たちにとって、三森先生との出会いは大変幸運であって、先生のお言葉をかりると、それは“石のご縁”による。

美しい石を眺めるのは楽しい

川の石を手にするると語りかけたい

山から出たばかりの石に出会うと生いたちを聞きたい

石鏝（やじり）を手にするると昔の人のことばが聞きたくなる

これは、三森先生による『いしかわの石の物語』の書き出しの文である。人は遠い昔から石と深くかかわって生きてきた。石とのかかわりは、現代の産業化した社会でも、形こそ変わっても続いている。

石川町の鈴木信夫町長は、『いしかわの石の物語』の巻頭に“石川は、その名のとおり石と川の多い町で、しかも水晶をはじめとして多くの鉱物が産出することから日本の三大鉱物産地の一つに数えられています。明治以後、昭和30年半ばまで長石や珪石（石英）が盛んに採掘され、町の経済を支えるとともに、現在も造成地などからは貴重な鉱物が採集されています。”と述べておられる。三森先生のイラストを見ると採掘が盛んであった当時の状況がしのばれる。工業用の長石や珪石（石英）が、煙をはいた汽車で岐阜、名古屋方面に運ばれ、また、きれ

連載

いな水晶やメノウも取れたようだ。石川は阿武隈山地の西端にあり、町の中央で花崗岩帯と変成岩帯が接するという条件から多くの鉱物が分布しているそうだ²⁾。

鉱物の多くは、ペグマタイトから産出し、結晶が大きく美しく、かつ珍しいものが出たため、一時は研究者や「山師」で町は大いに賑わったそうだ³⁾。水晶、電気石、緑柱石や雲母のようなペグマタイトの代表的鉱物の他に、希元素鉱物の産地としても知られている¹⁾。希元素鉱物が出るということで戦争中は理化学研究所も疎開して来て調査をしていたが、ウラン、トリウムなどの含有量は少なく、それらを抽出することは出来なかった。戦後も平和利用と称して探査は続いたが希元素鉱物が資源となるほど採れる鉱床は石川には無かった¹⁾。しかし石川から取れる鉱物の種類は100を越えるというから、まさに鉱物の宝庫である。サマルカイト [(Y, Er, Ce, U, Ca, Fe, Pb, Th) (Nb, Ta, Ti, Sn)₂O₆]、コロンバイト [(Fe, Mn) (Nb, Ta)₂O₆] など放射能を持つ鉱物や「球状花崗岩」となづけられた珍しい岩石も見つかっている。

そのような珍しい鉱物や岩石が「石川の外へ散らばって行くのを見逃すわけにはいかない、石川の石を自らの手で守ろう」という三森先生をはじめとする町の関係者の方々の努力の結果、石川町立歴史民俗資料館には石川地方の鉱物が展示されているし、町の小、中学校にも「学区に見られる石と石川の鉱物」が展示されているという。そして、子供でも専門家ではない大人でも、あきずに読める『いしかわの石の物語』も発行され、そのお陰で私たちの目にもふれたというわけである。最近、町の総合運動公園建設にあたって、新たな地域の鉱物分布の調査がなされ、ペグマタイトや水晶の晶洞も見つかり、報告書もまとまっている²⁾。更に、石川鉱石採掘跡保存会も出来ている。

日本には、規模の差はあるものの水晶の取れるところ、またかつて取れたところはたくさんあると聞いているが、福島県の小さな町、石川で、その土地の貴重な鉱物と鉱山の保存の努力がなされているということは、私たちにあってたいへん嬉しいニュースである。早速訪ねて見ようと思いついて、三森先生にご相談したところ、先生は快く案内役を引き受けて下さった。

12 石川町を訪ねる

水郡線の磐城石川駅に降りたのは1995年の4月始めのことであった。石川は阿武隈山地の西にあり、ラジウム温泉郷として古くから知られていたようだ。私たちは裏山に希元素鉱物の鉱山跡がある猫啼温泉の井筒屋という温泉旅館に宿をとり、そこから三森先生と石川鉱石採掘跡保存会の会長の飯島栄一さんのお二人により、昔の鉱山跡、運動公園造成にあたって最近調査した地域、更に資料館などを案内して頂くという幸運に恵まれた。

石川の見どころの一つは、何と言ってもペグマタイトが露頭している和久の観音山鉱山跡である。かつて栄えた鉱山はすでに閉山して久しいが、三森先生や飯島さん、地元の有志の方々の努力で見学出来るように保存管理されている。保存会では石川地域の岩石や鉱物に対する関心を高めることによる町の活性化と、将来の研究者の輩出を期待して、手作りの『手引き』も用意しているが、このへんにも岩石や鉱物を砕いて持ち去って行く不心得者があとを断たないという。せっかくの貴重な資料を多くの人に見てもらおうとすると、荒らされてしまうというジレンマに悩まされるとのこと、本当に困ったものである。

和久はこの地域のなかでも特にペグマタイトが密集していて、小高い丘はどこでも掘ればペグマタイトにおちあたるだろうということだ。三森先生が石川町で教鞭をとり始められた頃は、学校に来る子供たちの親の多くは鉱山関係者で、町は鉱業で活気に満ちていたようだ。

観音山の周囲には第1鉱、第2鉱、第3鉱と呼んでいる見学可能な鉱山跡がある。第1鉱はペグマタイトの脈にそって掘ったと思われる坑道が奥の方へ伸びていて、入口近くは木の枠で支えられているが、中は素掘りの状態なのでよく観察出来た(写真1)。坑道の壁は長石、石英、雲母とそして電気石からなる典型的なペグマタイト構造(写真2)を示し、今はもう採りつくされたが、かつてきれいな水晶結晶が中央にむかって成長していたと想像される状態であった。ブラジルのペグマタイトに比べると規模は小さいが、なかなか見応えがある。どの位の大きさの水晶が掘り出されたのだろう。多分、大小様々の結晶が運び出されたに違いない。しかし、坑道の

ばし自然が生み出した芸術品の不思議な美しさを楽しんだ。こうして石を眺めていると、『いしかわの石』のすば



写真1 和久鉱山跡（第1鉱体）の坑道

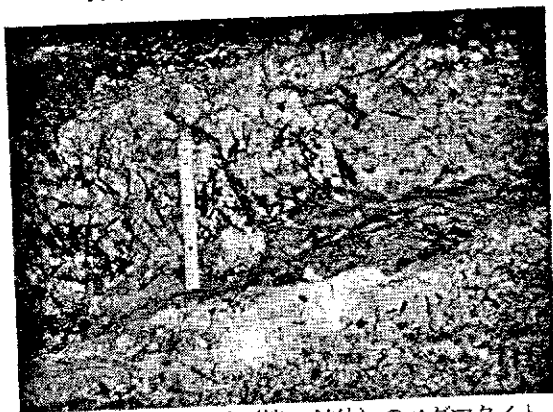


写真2 和久鉱山跡（第1鉱体）のペグマタイト

下の方には水が湧いていて、その水深は8mもあるというから水を汲み上げながらの採掘は、時として困難に直面したのではないだろうか。

第2鉱、第3鉱は塊状のペグマタイトが露出した状態になっていたので、全体像がよく眺められた（写真3）。長石と石英の中に銀色に光る雲母、直径数cm程もある



写真3 和久鉱山跡（第3鉱体）

黒い電気石、黒褐色のザクロ石も見られた。ペグマタイトの周辺には文象花崗岩の岩肌も見られた。そばにあった文象花崗岩のかけら（写真4）をころがしながら、し

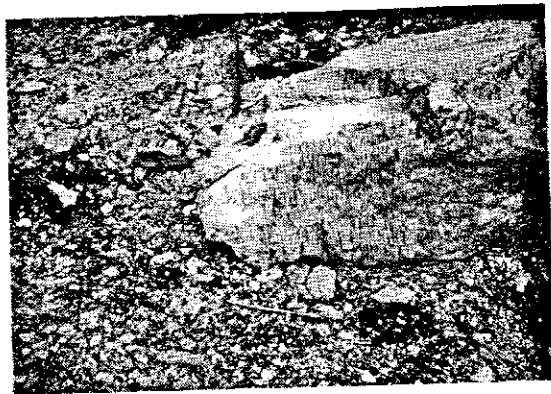


写真4 文象花崗岩

らしさを石川の人にも見直して貰いたいのだと言われる三森先生の気持ちが伝わってくる。保存会の『手引き』にも記されているように、この見事な塊状ペグマタイトの露頭は、誰からも採掘（盗掘）されることなく残さなければならない宝だと思う。

石川町の教育委員会では、町の中心地から西へ約1kmの地域が運動公園建設のために整地されることにもなっており、1991年（平成3年）6月から1992年（平成4年）10月までの期間、その地域の鉱物の調査研究を行った。その際、三森先生は調査担当として活躍され、その結果が教育委員会によって『秋台、渡里沢のペグマタイト及び鉱物』という資料にまとめられた²⁾。

今その辺りは運動公園として整備されつつあって、野外広場の一部には、掘り出された美しい岩石が多数並べられている。将来は更に整備されて、石川町民の憩いの広場になるだろうとの事である。しかし、そのような新しい施設、あるいは施設の予定地の下に眠る鉱山の歴史は、ともすると忘れられがちである。1939年（昭和14年）から、この丘の小高いところでは露天掘りで、また低いところでは坑道掘りにより長石、石英の採掘がなされていた²⁾。そして、第2次世界大戦末期には希元素鉱物の必要が叫ばれ、土地の生徒も動員されて採掘に従事させられたということも、私たちは石川へ来て始めて知った。町の教育委員会の調査は、埋蔵されている岩石や鉱物の採掘のみならず、歴史の再認識の上でも重要なものになっていると思う。

三森先生と飯島さんに案内して頂いた運動公園は、小

連載

高い、見晴らしのよい丘の上にあった。三森先生は“晶洞を見つけたのはこのへんだ。晶洞を丸ごと採集して調べた時の感激は忘れられない。”と、当時を思い出しておられた。整地された今はその面影はないが、公園に置かれたたくさんの美しい岩石は、石川町の貴重な財産である。(写真5) “あっ、この岩のこの晶洞から取り出した水晶があります。貴方たちにあげましょう。”(写真6) 今度は私たちが感激した。石川は放射能を持つ希元素鉱



写真5 運動公園に置かれた岩の前で、右から、飯島さん、三森先生と筆者2人



写真6 三森先生が見つけられた水晶の晶洞 (矢印)

物が出る場所として知られていて、そのため黒水晶が多く産出する(写真7)。ここからは、コロンバイトが出たそうである。今、私たちは先生が直接採集された黒水晶の物理化学的性質を調べる計画を立てている。水晶の産出状況²⁾とその性質を、先生と一緒に考えてみたいと思っている。運動公園の造成地からは、他にも沢山のベグマタイト鉱物が採集され、私たちはそれらの試料を石川町立歴史民俗資料館で見ることが出来る(写真8)。資料館はこじんまりしたものだが、数多くの試料が良く整理されていた。先生はじめ関係者のご努力で、この地方の地質図の作成も進んでいる。しかし、一方では

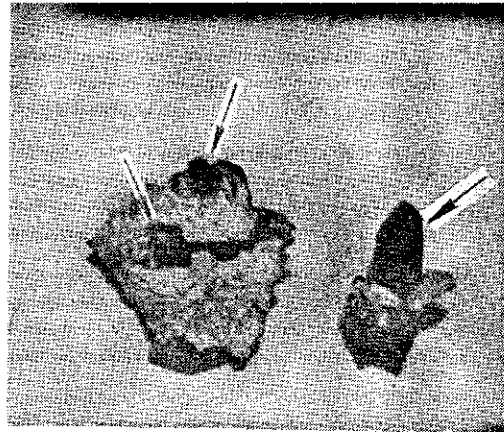


写真7 晶洞(写真6)から採集された黒水晶 (矢印)

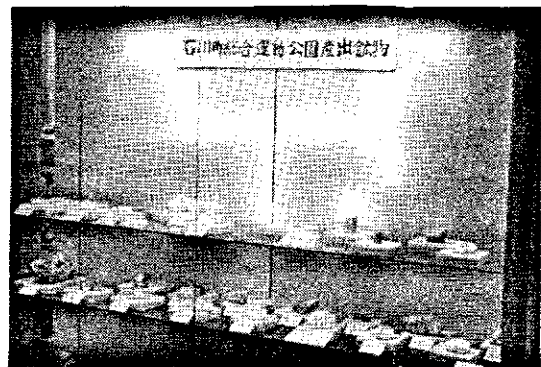


写真8 資料館に展示されている鉱物

作成された地質図が、『岩石の破壊や盗掘』に利用されているという話も聞いた。鉱物の愛好家は、自然を愛し且つ大切に守る者でなければならない筈である。町の関係者の地道な活動が悪用されることのないようにと祈らずにはいられない。『かつて水晶鉱業で栄えた町、石川』、そして『忘れ去られようとしている過去の鉱山資源の再調査と保存に力を入れている町、石川』、この二つの点で福島県の小さな町、石川は私たちにとって『忘れてはならない水晶の町』となった。

謝辞。『いしかわの石の物語』を見たのがきっかけで、石川の地域の水晶や地質、そして日本における鉱工業の歴史を再認識することができました。そのような貴重なきっかけを与えて下さいました三森たか子先生に深く感謝いたしております。また、三森先生と飯島栄一さんには観音山の和久鉱山跡、運動公園造成に伴う採掘調査の現場をはじめ、石川地域に点在する鉱物採掘地跡、石川町歴史民俗資料館にご案内を頂き、有意義なお話

をお聞きする事ができました。ここにお礼を述べさせていただきます。更に、資料館では館長・金沢忠一さんと矢内辰郎さんから、いろいろとお話しを伺えました。多くの方々からお世話を頂きましたことを述べて、この稿を終わりたいと思います。

『日本の水晶』の話しを書くにあたって、代表的水晶産地として古くから知られてきた『山梨県』、珍しい水晶が取れるところ、と私たちが思っている『愛媛県の久万高原』と『長崎県の奈留島』、そして最後に忘れてはならない水晶の町、と私たちが判断した『福島県の石川町』の四ヶ所をとりあげて紹介した。しかし、狭い日本でも、まだまだ古くから知られている水晶の産地があるし^{4),5)}、どこかまた新たな所で水晶が見つかるかもしれない。これからも『日本の水晶』を求めて、私たちの旅は続くだろう。

[参考文献]

- 1) 三森たか子, “いしかわの石の物語”, 福島県石川町発行 平成6年(1994)
- 2) 石川町鉱物調査報告書 第1集 “秋台, 渡里沢のペグマタイト及び鉱物”, (石川町総合運動公園造成地における鉱物調査報告), 福島県石川郡石川町教育委員会 (1993)
- 3) “石川の鉱物と岩石” 石川町立歴史民俗資料館
- 4) 秋月瑞彦, “山の結晶—水晶の鉱物学”, 裳華房 (1993)
- 5) 益富寿之助, “鉱物—やさしい鉱物学” 保育社 昭和49年(1974)

日本特許に見る最新技術の応用

シリーズ No. 1009

無機有機複合膜センサ

- センサの信頼性向上のための保護膜をはじめ、センシングでの高度の信号処理のために駆動電圧の低下や、他素子との結合の容易さが求められるようになり、機能部分を薄膜化することでこの問題を解決するなど、センサでの薄膜の応用が広がっています。なかでも、センサ機能の高い無機物と、薄膜化の容易な有機物とを各種成膜技術を駆使して積層・複合膜を構成させ、高性能センサを得る特許が数多く公開されるようになってきました。
- ここに紹介します資料は、約5年間の公開特許から、蒸着、スパッタ、LB膜などの方法により無機有機複合膜を構成してセンサに応用するものを選び、それらを分類整理し、技術動向や各社の取り組みについて解説を試みるとともに、明細書の全文を複写し、集録しました。
- 新素材や新技術の調査、企画、製造、応用などにあたり、特許の検討は有力な近道と考えられます。本資料を新しい薄膜センサの動向調査、開発、製造、応用などへの手近な参考資料として大いに活用されることをお待ち致します。

- ・ 体裁 A4版 複写製本
- ・ 内容 公開特許 51件
- ・ 定価 42,000円

- ・ 申込み方法 注文書をFAXでお送り下さい。
- ・ お支払い 納品後、銀行振込、または郵便振替でお支払い下さい。

株式会社ティー・アイ・シー

〒550 大阪市西区京町堀 1-15-8 NICE 京町堀ビル 9F
TEL 06-444-6017 FAX 06-444-6021

連載 水晶あれ・これ [12]

ロシア「実験鉱物学研究所」再訪，そして……

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

1 再訪した「実験鉱物学研究所」では

1995年7月20日から8月13日までロシアに滞在し、この間の10日間程をチェルノゴロフカの実験鉱物学研究所で過ごした。私達が1992年9月に初めてこの研究所を訪問し、さらに、ウラルの水晶鉱山をも訪ねた話は前回に述べた。しかし、その時には、「研究所」の状況やそのActivityなどには殆ど触れなかったため、ここで簡単に実験鉱物学研究所を紹介しようと思う。

この研究所は、その名前から容易に想像できる如く、自然界に多様に存在する『鉱物』が、地殻の中でどのような条件の下で生み出され、成長するのかを、実験的に研究することを目的にしている。その故に、研究の中心の一つとして、いろいろな造岩鉱物とそれらの混合物の『相図』を実験的に明らかにする研究がある。したがって、広範な温度・圧力の下で『試料』を「熔融」「急冷」するための設備が整っている。もう一つの研究の中心は、色々な「鉱物結晶」を広範な温度・圧力の下で「水熱育成・合成」し、その結晶のMorphologyや成長条件を明らかにすることにある。それらの研究においては、いろいろな温度・圧力の条件に耐え、また、種々な化学成分を含んだ「熱水」による腐食にも耐え、長時間にわたり稼働できる『オートクレーヴ』が重要かつ不可欠となる。

それで、この研究所には、研究者が要求する『特別な

性能』を有するオートクレーヴの「設計・製造の部門」がある(写真1)。1992年に私たちが訪ねた時、オートクレーヴの「設計・製造の部門」に属す『鍛造工場』で、鍛造中の赤熱した鋼塊を見た。この時、『鍛造工場』

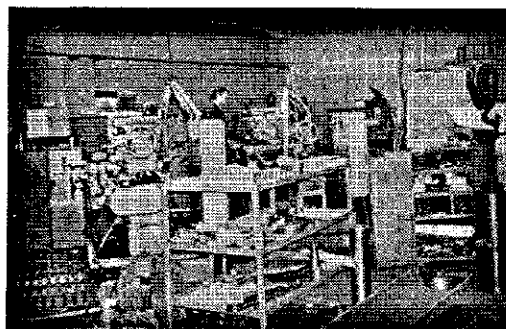


写真1 実験鉱物学研究所の「オートクレーヴ設計・製造部門」の工場（部分）



写真2 『相図』のデータをとる実験設備（部分）

◎連載

は確かに稼働していたが、『相図』の研究施設には人影がなかった(写真2)。「技術者は、今、休暇中」との事であったが、後で、技術者は「lay off」されているのだと知らされた。それでもその当時は、『耐爆実験室』中に設置された性能・目的の異なる幾つかのオートクレーヴが稼働していて、オートクレーヴを加熱することによる効果で実験棟の通路(写真3)の空気は暖かかった。



写真3 通路の両側の『耐爆実験室』に「高温・高圧」で稼働するオートクレーヴが設置されている。オートクレーヴの圧力計はTVカメラにより外部で監視出来る。

この研究所で Dr. Balitsky は『鉱物結晶の水熱育成研究グループ』の Head である。彼は長年にわたり『水晶』の水熱育成研究に携わり、研究室には貴重な、そして多くの実験データが蓄積されている。彼はまた『紫水晶』の水熱育成を世界で初めて成功したことで知られている。そして、Balitsky 夫人は水晶を中心とした鉱物結晶のなかの「流体包有物」の観察とその性質・特性の評価・研究のエキスパートであって、その研究の結果が鉱物結晶の水熱育成に用いる「熱水の成分」の選択に際し重要な情報源となっている。研究室と『耐爆実験室』には、ペンシル・オートクレーヴと呼びたくなるような小型のものから、人と同じくらいの大きさのオートクレーヴまでがあり、それらは、いろいろな実験条件の下で使用される(写真4, 5)。

しかしながら、「ソヴィエト連邦」崩壊後のロシア経済の危機的状況が、多くの研究所の Activity を著しく低下させていることは、しばしば新聞などで報道もされ、また、2人のロシアの学者による近著『混乱するロシアの



写真4 いろいろな大きさのオートクレーヴ



写真5 大きなオートクレーヴと、その側に立つ Dr. Balitsky

科学』¹⁾にも詳しい。再訪した実験鉱物学研究所の状況もその例外ではなく、実験棟の通路は私達に「暖み」を感じさせなかった。そして、Dr. Balitsky の研究グループには、若い研究者が殆ど残っていなかった。研究者の、特に若い研究者の給料が極端に悪いので、生活のために若い研究者の多くが研究所を去ってしまったという。現在、この地域の研究所に就職した場合、大学卒の「初任給」が約30ドルとのこと。しかし、1日1ドルで生活をすることは不可能である。

さらに、この「研究都市・チェルノゴロフカ」の図書館では、数年前から外国の学術雑誌の購入ができなく

なっているという。けれども、Balitsky 夫妻は、深刻な研究費不足のなかにあつて「過去の蓄積」に「新たな工夫」を加えて、研究を続けている。その努力に私達は敬服しつつも、理解し難たい状況が多々である。しかし、前述の著書に以下のような記述を見出す；

“… こうした困難にもかかわらず、ロシアの研究所で研究が止まったことはないし、現在でも止まっていない。ロシアの科学者にとって、物質的な要因はもともと決定的な意味を持っていない。まったくの無報酬で研究する覚悟のある熱狂的な科学者が大勢いる。ロシアにはこのような伝統は昔からあつて、…”

しかし、このような『状況』には必ず限界があるのであつて、私達は上記の記述よりも、同じく2人のロシア人学者による以下の記述の方に共感する²⁾；

The majority of our economic and social problems are reversible. … But the destruction of science, if it should go beyond a critical threshold, will become irreversible. … In all of the narrow fields of science the circle of current specialists is small, and their loss would quickly lead to the decomposition of entire research directions.

この様な訳で、現在の実験鉱物学研究所は、全体としては「開店休業」のような具合であつたが、1992年の訪問時以来つづいている私たち相互の「研究協力」についての議論はいろいろと進展した。継続している「研究協力」のテーマの一つは、いろいろな成長条件下で育成した水晶の示す Morphology の違いを、「計算機実験」で解析することである。1992年当時、水晶の結晶成長についての「計算機実験」に関する私達の研究は、その有効性を確認できる段階に達していた。[その後の進展については、既に述べた³⁻⁵⁾] このことは、訪問に先立ち Dr. Balitsky に知らせてあつた。この「研究協力」テーマは、1992年に私達が初めて実験鉱物学研究所を訪ねた時、Dr. Balitsky の研究室に、同じ寸法の「水晶のZ板」を種子として、異なる成長条件下で育成した4種類的水晶 (Yellow quartz, Blue quartz, Amethyst, Colorless quartz) があつたことに由来している。それら4種類的水晶は、60~80日の育成時間で成長していて、しかし、大きく異なる Morphology を示していた。制御

された成長条件下で育成された、これら4種類的水晶は、私達が進めている成長過程の「計算機実験」のためには『格好なモデル』であつた。それで、早速、私達の「計算機実験」の解析手法で、4種類的水晶の成長条件と Morphology との関係を解析することを Dr. Balitsky に提案し、合意を得た。それで、4種類的水晶の写真を撮り、結晶外形の特徴となる部分の寸法を測り、また成長条件の詳細を記録した。

1992年の訪問から帰ると直ぐに、「4種類的水晶」についての計算機実験のための作業に掛かつた。しかし、4種の結晶面 (R, r, m, Z) のそれぞれの成長速度と、それらの相互関係が「種子結晶」の寸法と、成長後の結晶の寸法が comparable であることと密接に関係していて、思いの外複雑な関係にあることなどを知つた。また、R, r の両面までの「初期寸法」の設定に戸惑つたりして、作業の初めは試行錯誤に終始した。それでも試行錯誤の状況からは徐々に脱して、計算機は「4種類的水晶」の成長過程をまがりなりに描くようになった。

しかし、成長時間の関数として「結晶外形」を描かせると、実際の成長結果と一致しない部分があつたり、実測されている結晶の寸法と、計算機が描いた結晶での寸法が部分的に一致しないなど、細かい点では問題があつた。「4種類的水晶」の結晶の寸法についての再確認や、結晶面の成長速度の予想値などについて、手紙でのやりとりもしたのであるが、満足できる状況は得られなかつた。一方、私達は天然水晶の Morphology についての「計算機実験」の結果を論文にする作業に注力するため⁵⁾、「4種類的水晶」の成長過程の計算機実験を暫く中断した。

今回の訪問では、「4種類的水晶」を再度詳細に観察し、また、新たに得られていた育成実験の結果などを考慮して議論をした結果、 α 水晶の「m面」の成長速度は事実上『零』と見なすべきことや、計算機実験に際して、R, r の両面までの「初期寸法」の設定が「不適切」かもしれない、などの点が明らかになった。帰国すると直ぐに、これらの問題点を考慮して、「4種類的水晶」の成長過程の計算機実験を再開した。「m面」の成長速度を『零』とすることは、 $gr(m)=0$ とすればよい。しかし、R, r の両面までの「初期寸法」の設定については再考に

◎連載

幾分の時間を要したが、思い付けば『当然のこと』である設定法を見出した。これらの問題点を改良して予備的に行った「4種類の水晶体」の成長過程の計算機実験からは reasonable な結果を得た。

現在、結晶外形を特徴づける幾つかの因子と育成時間の関係を計算している。しかし計算量が多いので、全部の計算を終了してから「4種類の水晶体」の4つの結晶面の growth rates を求め、時間の関数として『結晶の形』を描き終えるまでにはまだ時間がかかる。しかし、この「研究協力」は成功裡に完了しそうな予感がする。

私達は、この他の研究協力の課題として、 α 水晶体よりも高温・高圧の状態に成長領域をもつ『 β 水晶体の育成』を話し合っていて、今回もそれについて議論した。Balitsky の研究室では、『 β 水晶体の育成』の予備的な実験がなされている。しかし、研究所側の「危機的な研究費の不足」の故に、本格的に研究を進めることは困難である。けれども、必要な研究費の『概算』を試みたところ、 $\yen 2,000,000,-$ という金額となった。費用の大部分は、多くの条件を組み合わせることによる多数回の実験を1年程度で済ますために必要なオートクレーヴの増設と製作費である。

もとより、『 β 水晶体の育成』の研究は、その結果を工業化して「利潤」を得る類のものではなく、「地球科学」「鉱物学」「地質学」や「結晶成長理論」などの基礎研究分野に進歩をもたらす『知識の生産』と位置づけられえるものである。しかし私たちは、『 β 水晶体の育成』の研究が実現できることを願っている。わが国に、この『 β 水晶体の育成』の研究に資金を提供して下さる『財団』または『企業』が現れることを切に願っているのであるが……。

2 カレリア (Karelia) の地に「水晶体山」を訪ねる

ヨーロッパ・ロシアのずっと北の地域は、カレリアからコラ半島へと続く。これらの地域もまた多様な鉱物の産地として知られている。私達夫婦と Balitsky 夫妻によるカレリアからコラ半島への「4人旅」は、7月30日「Moscow 00:30」発 Murmansk 行きの「寝台列車」に乗るところから始まった。最初の目的地・メドベジエゴ

ルスク (Medvezegorsk) にはその日の 18:45 に着いた。そこは、オネガ湖に沿った小都市であった。ここで、私達4人は、ドアを出て20歩もゆくとオネガ湖の岸辺に出る、簡素な cottage に滞在し、自炊しながら数日を過ごした (写真6)。



写真6 オネガ湖畔の Cottage の前で、お茶を楽しむ私達4人

そこは誠に景勝の地であった。この cottage は、この地で「色石」の加工会社を経営している Dr. Balitsky の旧友が提供してくれた。季節は「白夜」で、「夜の11時」でも空は明るかった。日が暮れないのである。ここに滞在しながら、私達はペトロザボツク (Petrozavodsk) にある “Institute of Geology” を訪ねた。そこはカレリアの地域を担当する部門で、小さいながらも良く整った「地質・鉱物博物館」が併設されていた。ここへの訪問は2つの目的があった。第1はカレリアでの「水晶体」の産出状況についての情報を得ること、第2はオネガ湖にある “Volk - Island” で「pseudocubic quartz crystal」が産出する⁶⁾というニュースを確認することであった。

Institute では、Director ならびに Vice-director の Dr. Rybakov, Dr. Gorkovets からカレリアの北の小都市チュバ (Chupa) のベグマタイト地帯での「水晶体採掘」の現状と、それを工業材料として活用する事業を進めていることなどの話しを聞いた。しかし「資金不足」で事業の進展は遅々としているとのことであった。また「水晶体事業」の責任者である Dr. Shchiptsov が、現在チュバに滞在しているので、チュバで彼に会えば「水晶体」について詳しい話が聞けるとのこと。この Institute で、私達は1993年発行になる『英文』の小冊子 “Precambrian industrial minerals of Krelia” を頂

いた。この小冊子には、少ないながらも「水晶情報」が収録されていた。Institute を訪ねた目的の一つは適えられた。しかし、「pseudocubic quartz crystal」についての情報はえられず、また「博物館」の展示標本の中にも、それは無かった。

チュバは、メドベジエゴルスクから北へ約 450km に位置する。一日かけての「車による旅」を楽しみながら、8月3日の『明るい夜』にチュバに着く。ここチュバは、「白海」の入り組んだ海岸線に沿った質素な町であった。しかし鉱山があるため、町の中心には高層のアパートが幾棟も建ち、また、“Institute of Geology”の支所がある。私達は、Institute の宿泊所に泊まることになった。そこには「お風呂」が無かったので、女性は「パーニャ」（サウナ付き公衆浴場）へ、男性は白海の入江に体を洗いに行った。入江の水を舐めると、確かに「塩水」で、「白海」に間違いなかった。

翌日、Institute の支所を訪ね、Dr. Shchiptsov に会った。彼は、この地域の地質について概説してくれて、また「水晶事業」の現状の説明もしてくれた。この地には水晶粉製造工場もあって稼働しているが、最重要である「製品の品質管理」が十分に出来ないことが当面の問題で、不純物の分析はウラルにある工場に依頼したが、信頼性に欠けるので、不純物の分析についてはスウェーデンとの協力を計画しているとのことであった。しかし、今、彼が進めている「水晶資源の事業化」の発展のための作業努力は、現在のロシアにあっては高く評価されるべき事だと思う。

チュバの町から 45km ほどの位置に“Chkalovskoye”と呼ばれる鉱山があって、そこへは Mr. Kokkonen が案内してくれ、彼はこの地区の鉱山監督であるという。そこでは、2段になった大きな「すり鉢状」の構造で採掘が進んでいて、地質は典型的な Pegmatitic な様相を呈していた。下の段の一部に、大規模な岩塊状石英の露頭が見える。石英は白色で透明部分は殆ど無く、淡いピンク色の箇所が所々に見える（写真7）。ここから、「白色」と「ピンク色」の石英塊を幾つか『標本』として持ち帰った。いずれ、不純物としてのアルミや鉄の含有量を調べて、ロシア側の結果と比較してみたいと思っている。

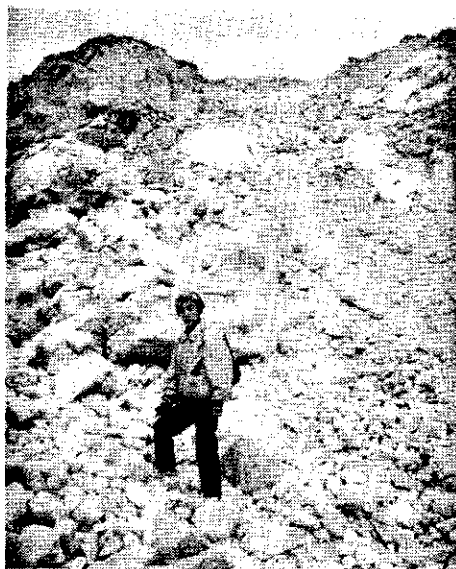


写真7 雪山を思わせる石英岩塊に登る筆者の一人

3 コラ半島 (Kola-Peninsula) ・白海の海岸で「紫水晶」を採る

チュバからさらに北へ「国道 M-18」を約 250km のぼると、コラ半島の白海側の付根に近いところに、人口が 80,000 の「北極圏の鉱山都市」アパティツウ (Apatity) がある。車で半日の旅である。そこは「真夏の季節」であるにもかかわらず、風は冷たく、私達は冬支度の格好になった。まず、この地域の地質の調査・研究を担当する Geological Institute に Dr. Torokhov (Deputy director) を訪ねた。ここの Institute にもまた、良く整備された「地質・鉱物博物館」が付属していて、着いた日の翌日に見学をした。ここで、8月8日に行く予定になっている白海・海岸の“コラル岬”の「紫水晶」の産地から採取された幾つかの標本を観察し、写真を撮り、Dr. Torokhov からこの地質の簡単な説明をうけるなどして予備知識を得た。白海・海岸の「紫水晶」産出地の地質学的特徴は、母岩が「赤く、堅い砂岩」であるとのこと。しかし、「紫水晶」そのものや母岩についての物理・化学的さらに結晶学的研究は不十分な状況だと聞き、ますます、白海・海岸の「紫水晶」への関心が高まった。

白海・海岸の「紫水晶」の産地を訪ねる車の旅は、往復約 800km の行程で、食事と標本採取のための作業時間の 1.5 時間を除き、「あとは車の中」という、15 時間

◎連載

を要した大変にハードな旅であった。しかし、この旅は『白夜』の時期にして可能なものだという事も実感した。朝の6時にアバテイツウを発ち、紫水晶の海岸に着いた時は、空は曇り、冷たい強風が吹いていて、私達にとっては『真冬』であった(写真8)。しかし、そこ



写真8 真夏でも寒々とした「白海の海岸」に立つ筆者ら2人



写真9 白海・海岸の「コラブル岬」 - 赤い砂岩が海岸線に沿って露出している

には色々な花が咲いていて、やはり『真夏』であった。ここでは、赤い砂岩の丘陵が海岸線に沿って露出していて(写真9)、その岩の表面に小さい(~3mm)紫水晶や「無色」の水晶がピラミッド状に成長している。また、岩壁の下には、紫水晶、「無色」の水晶が付いている岩片が散乱していて、その中にも格好な『標本』がいくらかあった。赤い砂岩の露出状況や岩片などの写真を撮り、『標本』を拾っていると、それらの作業に割り当てられた「1.5時間」は瞬間に過ぎて、『標本』で重くなった袋を抱えて車にもどり、海岸を15:00に出発し、21:00にアバテイツウに帰ってきた。

私たちは、その日の23:10の寝台列車でアバテイツウを発ち、モスコーに帰るにことにしていた。宿舎に着くと、直ぐに『標本』を整理し荷物をまとめて、あまり休

む時間もとらず駅へと向かった。列車に2泊しモスコーには8月10日の朝9:00に着き、お昼前にチェルノゴロフカに帰ってきた。

4 「旅」を終えて

1992年の「ウラル旅行」にも増して、変化に富んだ状況に接すること多々の旅であった。今でこそ、そのActivityに停滞が見られるとはいえ、地域ごとにある“*Institute of Geology*”が、旧ロシア、旧ソ連の時代の資源問題や基礎学問の発展に重要な役割を果たしていたことの詳細を最近知った⁷⁾。そして、地域において現ロシアの状況を、地質学(地球科学)や資源問題の観点から「再興」を図るべく努力をしている人達にも会えた、と信じられる旅であった。旅の常として、今度もまた新しい友人を得たことを私たちは喜んでいる。

[参考文献]

- 1) イーゴリ・イワンチク、アスコリド・イワンチク 著、小林茂樹訳「混乱するロシアの科学」岩波科学ライブラリー 22 (岩波書店 1995)
- 2) V.Zakharov and V.Fortov, "Science in Russian is Already in a Coma", *Science*, 268 (1995) 693-694
- 3) H.Iwasaki and F.Iwasaki, "Crystal forms of quartz and their changes induced by growth rate ratios of faces, m, R and r - Drawing by computer simulation", *Forma*, 8 (1993) 315-325
- 4) H.Iwasaki and F.Iwasaki, "Morphological variation of quartz crystals as deduced from computer experiments", *J. Crystal Growth*, 151 (1995) 348-358
- 5) 岩崎秀夫・岩崎文子, "水晶・あれこれ [5]", ニューセラミックス, 8-4 (1995) 65-70
- 6) "World of Stones" No.3 (1994) P.49 ("PLUS" Ltd publishing, 103050 Moscow, Box 162
- 7) L.R.Graham, "Science in Russia and the Soviet Union - A Short History", (Cambridge University Press, 1993)

連載 水晶 あれ・これ [13]

『ハーキマー・ダイヤモンド』

岩崎 文子

Fumiko Iwasaki

岩崎 秀夫

Hideo Iwasaki

問合せ/ イワサキ ヒデオ 〒 228 相模原市相武台団地 1-6-15-12 Tel (0462)51-8186

1 『ハーキマー・ダイヤモンド』との出会い

今から10年以上も前の事になるが、サンフランシスコの自然史博物館の鉱物展示場で、1cm程度の大きさの極めて透明度の高い『両錘型的水晶』に出会った。同じブースに展示されていた他の水晶は、全て岩の上に生えているもの、即ち六角柱の片方にのみに錘面を有するものであったので、キラキラと輝いた透明な『両錘型的水晶』は印象深いものであった。母岩つきの展示品もあったが、それが何とも不思議な状況であった。何故なら、母岩の晶洞中にたった1ヶの結晶が、しかも晶洞いっぱい成長している点で、他に例のない特異な成長を感じさせるに充分な状況を示していた。しかし、それが『ハーキマー・ダイヤモンド』という名で呼ばれる水晶であるとは、説明があったのかもしれないが、気がつかなかった。又、その不思議な水晶を育んだ母岩について、特に何も考えないまま歳月は流れていった。

その後、ブラジルの水晶資源にかかわる仕事をする事になって、度々水晶鉱山を見るようになった頃、O'Donoghue¹⁾による“Quartz”という本の中の次のような記述を見つけ、忘れかけていたサンフランシスコの自然史博物館の『不思議な水晶』の記憶が蘇った。O'Donoghue¹⁾は次のように述べている：

“some fine quartz crystals can be found in

dolomite and particularly celebrated variety of rock crystal, known as Herkimer Diamond from its location in the State of New York and from its high lustre and transparency, is found in this type of environment.

アメリカ人の友人であるブラット教授の好意で、『ハーキマー・ダイヤモンド』を入手することが出来たのは、ブラジルでの仕事を終えて帰国した1990年頃のことであった。それは、間違いなくサンフランシスコの自然史博物館で見た透明な『両錘型的水晶』と同類のものであった。『金剛石も磨かざば-----』と言われるが、『ハーキマー・ダイヤモンドは磨かざして-----』なのである。1842年、当時の優れた地質学者 Vanuxem²⁾は、『ダイヤモンドのライヴァル』と表現している。しかし、何時から『ハーキマー・ダイヤモンド』と呼ばれるようになったのか定かではない。多分その輝き故に自然発生的にそのような呼び名が生れたのだろう。

アメリカ・ニューヨーク州、ハーキマー・カウンティでの『ハーキマー・ダイヤモンド』の発見は、約200年前に遡る。ハーキマー・カウンティはニューヨーク州の中央部に位置し、西方約200~300kmにはオンタリオ湖とエリー湖があり、湖を越えるとカナダに達する。当時、ニューヨーク州では商、工業の発展を期して、ハ

◎連載

ドソン河からバッファロー、エリー湖にいたる水上輸送路の建設工事が進んでいた。1796年に一部が、そして1825年にはエリー運河全体が完成したが、その工事中にハーキマー地域でたくさんの輝く『ハーキマー・ダイヤモンド』が工夫によって見出だされ、その美しさが注目された^{3,4)}。

以来200年間、『ハーキマー・ダイヤモンド』を求めて多くの鉱物コレクターがこの地域を訪れているという³⁻⁵⁾。1842年、L.C. Beck⁶⁾によって『ニューヨーク州の鉱物学』が初めて発行され、ハーキマー・カウンティの中でも、特にMiddleville, Fairfield, Little Falls, Salisbury, そしてNewportに透明度の高い水晶が産出すると報告された。H.C. Cushing⁷⁾によって、1905年にLittle Fallsの地質も報告され、これらの地域では、ドロマイト的ライム石の鉱脈中の晶洞に非常に美しい『ハーキマー・ダイヤモンド』が産出し、結晶中にはしばしばAnthraxoliteと名づけられた黒い有機物のinclusionが存在することも報告された^{3,8-10)}。しかし、inclusionがAnthraxoliteであるという根拠は必ずしも明確ではない。又、『ハーキマー・ダイヤモンド』の結晶そのものについての鉱物学的研究は、殆どなされていないようだ。古くから知られ、多くの人々を魅了し続けてきた『ハーキマー・ダイヤモンド』の学術的研究が少ないのは、結晶自身の不思議さとともに、不思議な状況である。

2 『ハーキマー・ダイヤモンド』の産地を訪ねる

現在、ニューヨーク州のハーキマーにはいくつかの『ダイヤモンド採集観光地』があって、シーズンには多くの鉱物のコレクターが集まるという。Syracuseに住む友人の好意で、採集観光の案内を入手し、鉱山のオーナーに直接連絡出来たことは好都合であった。幸い、Middlevilleの『Ace of Diamonds』という鉱山のオーナーのSmith夫妻から非常に好意的な手紙を頂き、私たちの計画は順調に進み、1994年8月には『鉱山探査と結晶採集』の旅が実現した。成田からChicago経由でSyracuseへ飛び、そこからMiddlevilleへは友人

のWanuga夫妻が車でおくって下さるといふ、誠に快適な旅であった。MiddlevilleはSyracuseから東へ約100kmのところにある小さな静かな町で、車窓から広い田園風景を楽しむことが出来た。

High Wayから降りて、Route 28と記された道路を走って行くと、“Welcome, Ace of Diamonds”という案内板が目に入った。とうとう『ハーキマー・ダイヤモンド』の産地に到着したのだと、わくわくする気持ちをおさえて事務所の扉を押すと“待っていましたよ”と鉱山オーナーのSmith夫妻は、きさくに私たちを迎えて下さった。そこで友人のWanuga夫妻をまじえて、私たちはSmith夫妻とこれからのスケジュールについて話合った。Middlevilleには適当な宿泊場所がないので、隣町のLittle Fallsのモーテルを予約してあること、滞在中は毎朝夕Smith夫人が車で私たちの送り迎えをして下さること、更に『ハーキマー・ダイヤモンド』採集のエキスパートであり、その当時、『Ace of Diamonds』の専属であったFranklin夫妻に、採集について相談すると良い等の説明を受けた。

鉱山は事務所(写真1)の裏にあり、夏休みということもあって、家族ずれのキャンパーが来ていて、トンカントンカンという音が響いていた。アメリカ人の多く



写真1 『Ace of Diamond』事務所の前で。右から、Franklin夫妻、Smith夫人、筆者の一人、Smith氏、筆者の一人。

はキャンピングカーで来ていた。欧米では、趣味の鉱物採集が盛んであると聞いていたが、子供ずれて『ハーキマー・ダイヤモンド』掘りをしてしている光景に、日本との

遊び方の違いを感じさせられた。

翌日から、私たちも『ダイヤモンド掘り』の仲間入りをした。しかし、私たちの目的の一つは、『ハーキマー・ダイヤモンド』の産出状況を調べることであって、大きな結晶を掘り当てることでも沢山取ることもない。そこで、先ず母岩の岩壁の観察から始めた。写真2に見られるように、薄い土の層の下は白っぽい灰色のドロマイトで、地表から約1.5m位の位置に地表と平行に、直径が50~60cm位の晶洞が分布している。この中に成長し



写真2 ドロマイト母岩のまえて (筆者ら二人)。矢印は大きな晶洞の1つ。

た『ハーキマー・ダイヤモンド』はすでに採取されていたが、手を入れて土にまみれた細かい砂状のものを取り出してみると、その中に細かいキラキラした結晶が含まれていた。割れがなく透明で、自然面でかこまれた、きれいな結晶で、これぞ真に『ダイヤモンド』の名にふさわしい結晶であった。『この晶洞からは5cm以上の大きな結晶が取れた』と、Franklinが説明してくれた。しかし、大きなものは必ずクラックを含んでいるそうだ。そこから下の方に、さらに別の晶洞があるだろうとのことである。

私たちの滞在中にも、Franklin夫妻が新たに大きな晶洞を掘り当てたというので行ってみると、Franklin夫人が穴の前でにこにこしている(写真3)。晶洞に手を入れるとクラックのある大きな水晶がいくつも出てきた(写真4)。細かい砂のようなものを取り出して水で洗ってみると、細かいけれど綺麗な、『ハーキマー・ダイヤモンド』の名にふさわしい水晶がたくさん出てきた。ルー



写真3 開いたばかりの晶洞を眺めている Franklin 夫人。



写真4 晶洞から大型の水晶を取出す筆者の一人。

べで見ると、自然面で囲まれた美しい水晶である。

岩壁の下には、皆が砕いて捨てた10~30cmのドロマイトの岩が沢山ころがっていて、その中にも『ダイヤモンド』があるそうだ。ゆっくり眺めている中に、結晶がありそうな所が分ってくる。ハンマーで砕いて、出てきた『ダイヤモンド』をじっくり観察することにした。サンプルとして手ごろな大きさの岩を選び、ハンマーでたたき割るという作業を続ける中に、面白いことに気がついた。1cm程度の晶洞の内壁が黒い物質で覆われていて、その中に『ハーキマー・ダイヤモンド』が1ヶだけ、壁から生えるのではなく、自由な状態で存在している(写真5)。結晶は『両錘型』で、晶洞内の空間いっぱい成長している。結晶を取出すと、後には黒い穴が残った(写真6)。内壁の黒い物質は、結晶中に含まれる黒い inclusion と同一のものにちがいない。そして、この黒い物質は文献にある Anthraxoilit と呼ばれる有機物質であるらしい。ドロマイトの岩の所々には、数mm程度に成長したドロマイト単結晶もあるが、この場合は岩

◎連載

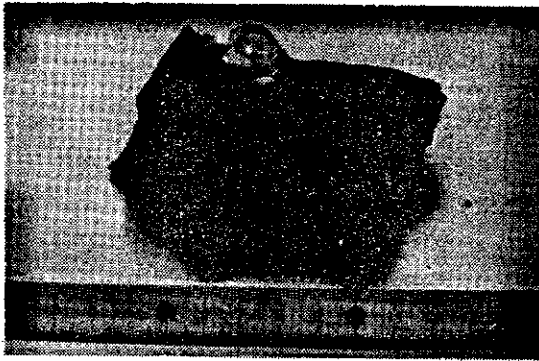


写真5 たたき割った母岩から現れた『ハーキマー・ダイヤモンド』と言われる水晶。

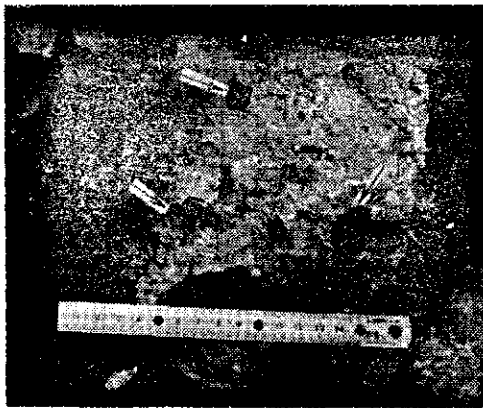


写真6 『ハーキマー・ダイヤモンド』を取出した後の晶洞(矢印)。黒い物質が晶洞の内壁を覆っている。

にしっかりと付着している(写真7)。母岩から生えて

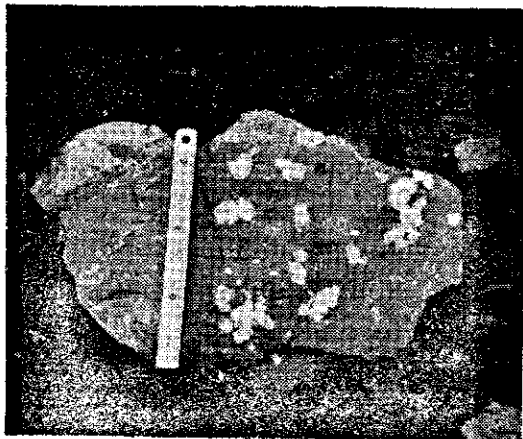


写真7 母岩に付着して成長したドロマイト結晶。

いる水晶も多少は存在し、そのような結晶の上にカルサイトが共生している例もみられた。

この辺りの、かなり広い地域に『ハーキマー・ダイ

アモンド』の古い産地がいくつもあって、私たちが泊まったモーテルのある Little Falls もその一つである⁶⁾。Little Falls は現在は静かな美しい町になっていて、どこで『ダイヤモンド』が産出したのかわからない。もしかしたら、今も町の下に『ダイヤモンド』が眠っているかもしれないと思いつつ、図書館を訪ねてみた。戸棚に、この地域から採集されて『ダイヤモンド』が山のように展示してあって、『リトルフォールズ (Little Falls) ダイヤモンド』と記されていた(写真8)。『ハーキマー・ダ

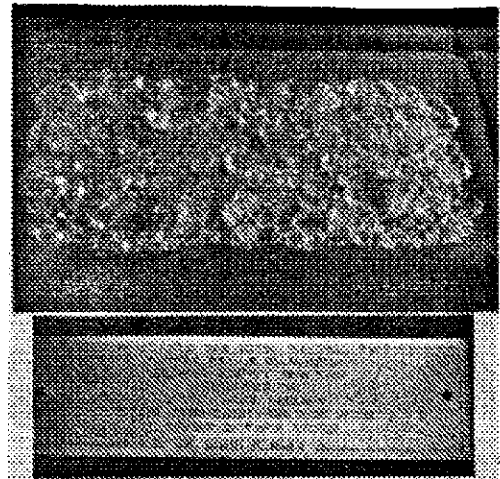


写真8 図書館に飾られた『リトルフォールズ・ダイヤモンド』と呼ぶ水晶とその説明板。

イヤモンド』の名が世界的に認知されているので、Little Falls 産を強調する意味で、土地の人は『リトルフォールズ・ダイヤモンド』と呼んだのだろう。

私たちの滞在中に、地球の反対側からわざわざ日本人研究者がやって来たというので、地元新聞の記者が取材にきた。『ハーキマー・ダイヤモンド』の学問的研究が殆んどないことを地元の人達は知らないようだった。ハーキマー地域は単にアマチュアのコレクターの集まる場所のようだ。しかし、『Ace of Diamonds』のオーナーの Smith 夫妻は、私たちの訪問の目的を好意的に受け入れ色々な便宜を与えて下さったことは、私たちにとってこの上ない幸運であった。お陰で『探査と採集の旅』は実りあるものになった。

3 『ハーキマー・ダイヤモンド』の不思議

私たちは、いくつかの理由で『ハイキマー・ダイヤモンド』に関心を持っている。その一つは『両錘型』という形状である。今回、『Ace of Diamonds』での産状を見て、晶洞の内側の黒い物質と、晶洞の内壁の岩から生えるのではなく、空間で自由に成長している『ハーキマー・ダイヤモンド』を確認した。晶洞の壁が黒い物質で覆われているので、かりに母岩に水晶の微結晶が含まれていても(X線回折の結果、母岩はドロマイト、カルサイト及び微量の水晶からなることを確認した)それを核として成長することがないのかもしれない。もしそうだとすると、このような晶洞中で水晶は溶液中に発生した結晶核から『浮いた』状態で自由に成長したと考えられる。

ところで、黒い物質はどこから来たのだろうか。有機物質であることから、マグマ起源の熱水ではなく地下水か海水によってもたらされたと説明されている⁴⁾。黒い物質が晶洞の内壁をおおった後で水晶が生成したのであるから、水晶も又そのような溶液中で出来たのだろうか。そうだとすると、低温で生成されたことになる。低温で出来た水晶は、高温で生成した水晶に比べて、多くの不純物 OH を含むと報告されている¹¹⁾。しかし、私たちの研究から、『ハーキマー・ダイヤモンド』は、不純物 OH が極めて少なく、純度の高い結晶であることが分かっている。一方、不純物含有量は成長速度の減少とともに減少することも分っている。従って、「ハーキマー・ダイヤモンド」は通常的水晶に比べて非常にゆっくり成長したのではないかと思う。いったい、どの位の成長率で成長したのだろうか。このことも、関心事の一つである。上の考えは、未だ推論の域を出ていない。今、私たちは色々な角度から実証的に『ハーキマー・ダイヤモンド』を調べる計画を進めている。

『水晶』にまつわる私どもの経験を、「水晶 - あれ・これ」と題して、13回にわたり連載する機会を得ましたが、今回を以て「一区切り」とさせていただきます。連載中に、思いがけない方々からご連絡を頂き、大変に嬉しい思いを致しました。私達の経験を、この様な形で書く機

会が与えられました事に深く感謝致しております。

[参考文献]

- 1) M.O. Donoghue, "Quartz", Butterworths (1987)
- 2) L. Vanuxem, "Geology of New York". Part III(1842)
- 3) R. Johon, "Herkimer Diamonds", Rock and Gem, 6 (1976) 20-26.
- 4) W. Ulrich, "The Quartz Crystals of Herkimer County", Rocks and Minerals, March/April (1989) 108-122
- 5) C.H. Smith, "Recent Herkimer Diamond Hunting", Rocks and Minerals 27 (1952) 272-275
- 6) L.C. Beck, "Mineralogy of New York", Natural History of New York. Part III. Albany" (1842)
- 7) H.P. Cushing, "Geology of The Vicinity of Little Falles, Herkimer County", New York State Museum Bulletin 77, (1905)
- 8) D.L. Tuttle, "Inclusions in Herkimer Diamond", *Lapidary Journal*, Sept. (1973) 966-976
- 9) A.L. Labuz, "The Herkimer Diamond Grounds", *Rocks and Minerals*, 44 (1969) 243-250
- 10) J.R. VanAllen, "Crystal Capers at Middleville, New York", *Lapidary Journal*, May (1970)
- 11) C. Frondel, "Structural hydroxyl in chalcedony (type B quartz)", *Am. Mineral.*, 67 (1982) 1248-1257