

# 立山温泉新湯産蛋白石の特徴

赤羽 久忠<sup>1)</sup>、高橋 泰<sup>2)</sup>、今井 裕之<sup>2)</sup>、室井 克則<sup>3)</sup>、山本 茂<sup>4)</sup>、國香 正稔<sup>5)</sup>

## 1. はじめに

立山カルデラのほぼ中央に位置する立山温泉新湯(以下「新湯」)は、ミクリガ池・地獄谷・刈込池とともに、立山火山の爆裂火口の一つである。湖底より湧出する水は冷水であったが、1856年(安政5年)の飛越地震を境に温泉になったと言われている(富山県郷土史会,1976)。

かつて、新湯では透明でガラス玉のような「日本一美しい」魚卵状蛋白石(玉滴石)を産したことで知られている(Editorial Committee for “Introduction to Japanese Minerals” Organizing Committee IMA-IAGOD MEETING’70, 1970)。新湯の魚卵状蛋白石は、岩石や鉱物の核がアモルファスなシリカのマントルで包まれた直径1~2mm時に1cmにも及ぶ球形の蛋白石で、地元では慣例的に「玉滴石」と呼ばれている。神保小虎(1898, 1904)・篠本二郎(1895, 1904)・大塚専一(1891)らによる研究があり、神保(1904)は比重・硬度・焼熱減量・光学性などからこれ(玉滴石)を玉髄とし、篠本(1904)は蛋白石であるとする議論を展開している。「日本一美しい」魚卵状蛋白石は、1900年頃を境にそれ以降産出の報告はない。

近年になって、赤羽ほか(1989)・赤羽(1993)・朴木ほか(2000)などによって、新たに新湯産の魚卵状蛋白石や普通蛋白石・温泉水などが採集され研究が行われている。この魚卵状蛋白石は核を取り巻くアモルファスなシリカのマントルが薄いことが原因で、かつて採集されたように透明で美しいものではないが、これらについての研究で、現在でも新湯の温泉水は二酸化珪素(シリカ=SiO<sub>2</sub>)に飽和しており(赤羽 1993; 朴木ほか 2000)、蛋白石の形成が見られることが確認された。また、同じ新湯の湯釜から湯川に温泉水が流れ下る滝状の部分で自然の倒木が珪化し、珪化木が形成されていることも確認された(赤羽・古野 1993)。また、ここでの珪化木形成実験により、自然界においても従来

考えられていたよりはるかに速く珪化木が形成され得ることが議論された(赤羽ほか,1999)。

筆者らは毎年新湯を訪れシリカの沈殿を調べる中で、新湯の蛋白石の中に小規模ながら遊色を示すオパール見出し、それらの産状や走査型電子顕微鏡下の特徴がある程度明らかになり、玉滴石(魚卵状蛋白石)や普通蛋白石の形成機構に関する知見も得られたので報告する。

## 2. 一般的蛋白石の構造

蛋白石(オパール)は、通常3~9%程度の水を含んだゲル状のシリカで、SiO<sub>2</sub>・nH<sub>2</sub>Oで表される。

世界的にみて、宝石としての遊色を示すオパール(precious opal)はオーストラリア産のものが多いが、これは乾燥した砂漠地帯で地下水中に形成されたものである。一方、オーストラリアに次ぐ宝石オパールの産地メキシコのオパールは、火山地帯に産出したものである。

オパールの遊色の原因として、古くはオパールには細かいひび割れがありそこで光が干渉して美しい遊色が生まれるものと考えられていた(例えば、柴田・須藤,1964)。

しかし、1960年代に入って急速に発展し実用化の段階に入った走査型電子顕微鏡を使ってオパールを観察した、Jones & Segnit(1972), Darragh P.J.ほか(1966, 1976)およびAkizuki(1970)らの研究によって、蛋白石は一般にアモルファスなシリカの球状体より構成されており、その球状体が0.2~0.3μm(ミクロン=10<sup>-6</sup>m)の大きさで揃って整然と並んだ場合、光の回折現象によって蛋白石(オパール)の遊色が現れるということが明らかになってきた。

天然自然に産するオパールで0.2~0.3μmの大きさの揃ったシリカの球状体が整然と配列することに関して、Darragh P.J. ほか(1976)は次のように説明してい

<sup>1)</sup>富山市科学文化センター、<sup>2)</sup>山梨県立宝石美術専門学校、<sup>3)</sup>立山カルデラ砂防博物館、<sup>4)</sup>富山市立和合中学校、<sup>5)</sup>雄峰高等学校

る。すなわち、水の蒸発により濃縮されたシリカの溶液から、コロイド状に析出した30~40nm（ナノメートル=10<sup>-9</sup>m）の直径をもつ粗雑な球形の第一次の粒子が現れる。それら自体は大きくならないが、懸濁状態であればそれらはゆっくり一つの粒子の周りに集まりより大きな球状体に固まっていく（図1左）。その結果、1つの中心核の周りに第一次の粒子の層が何層かできて、同心円的な殻が形成された球状体となる。大きさの違う球状体は排斥され（図1中）、同一の大きさの球状体が並んで六方配列（Hexagonal array）が形成されるという（図1右）。

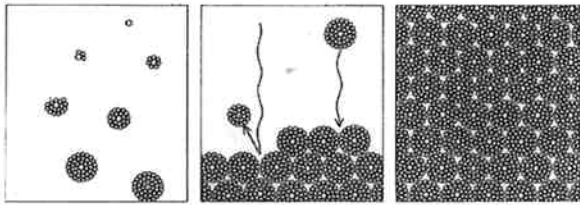


図1 オパールの球状体に形成と球径が揃う説明 (Darragh P. J. ほか, 1976)

Darragh P. J. ほか (1976) の説明は、オーストラリアの乾燥した砂漠地帯の静かな環境下で、水の蒸発により地下水の中に溶けていたシリカが飽和し、析出したシリカの球状体が成長する機構を説明し、0.2~0.3 $\mu$ のアモルファスなシリカの大きさの揃った球状体が整然と配列して遊色が見られる機構も説明したものである。

### 3. 新湯産の蛋白石

新湯産の蛋白石は、火山地帯に産するという点でメキシコ産のオパールと似ている。メキシコの遊色を示すオパールは、脈状に産する多くの遊色を示さない「普通蛋白石 (common opal)」の中に稀に見出されるということである(Darragh et al, 1976)。

新湯産の蛋白石は、湖底に直接沈殿した蛋白石（魚卵状蛋白石や普通蛋白石）と、周囲の岩石中に脈状になって産する蛋白石（普通蛋白石）に区別される。

#### i) 湖底に沈殿した蛋白石

新湯の湖底堆積物の一部として、温泉水が新湯から溢れ出て湯川に注ぐ流出口の近くに魚卵状蛋白石を含む砂・泥などと共に蛋白石（普通蛋白石）が沈殿している。湖底堆積物は連続性が悪く、水平方向にも垂直方向にも岩相変化が激しい。

典型的な魚卵状蛋白石は直径2mm程度の大きさであるが太小にかかわらず中心部に岩石や鉱物の核を伴う。

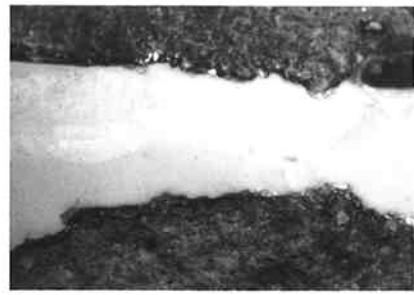


図2 脈状に産する蛋白石。脈の外側が透明でガラス状をしている。ごくまれに、普通蛋白石の一部が遊色を示すことがある。縦：約1cm

#### ii) 脈状に産する蛋白石

蛋白石の脈は湯釜の外壁をつくる岩石や以前の湖底堆積物を切る脈として見られ、一般的には脈の中に魚卵状蛋白石を伴うことはない。多くは幅2~3cm以下の脈で、全体として白色チョーク状の外観を示す普通蛋白石であるが、脈の外側の母岩と接する部分では透明なガラス状の縁取りを示す場合が多い（図2）。脈状に産する白い普通蛋白石の中に、いくつか狭い範囲で遊色を示す部分が確認された（口絵）。

## 4. 走査型電子顕微鏡による観察

新湯の蛋白石は、一般的にシリカの球状体の大きさが揃っておらず、配列にも規則性がない。その結果、新湯の蛋白石に遊色を示すものは報告されていない。

#### i) 湖底に沈殿した蛋白石

調査に訪れた時点で湖底に堆積していた砂や泥の粒子を走査型電子顕微鏡で観察した（図3，赤羽、1993）。それぞれの粒子は岩石や鉱物の碎屑物としての破片状の形態をしている（図3A）が、表面を拡大して観察すると、ほとんど全ての堆積物粒子の表面にはシリカの球状体が付着してシリカのマンテルを形成している（図3B）。

全ての粒子にこのようなマンテルが観察されると言うことは、調査に訪れた時点で蛋白石が沈殿している環境にあると解釈することができる。これは、新湯温泉水の水質分析（赤羽 1993； 朴木ほか 2000）で新湯温泉水がシリカに飽和していることと調和的である。

湖底に堆積した魚卵状蛋白石の表面を走査型電子顕微鏡で観察した（図版1A~D）。肉眼では球形に近いことを思わせる魚卵状蛋白石であるが、実際はかなり凹凸が激しく、深い溝で区切られたこぶ状の表面をしている。

湖底に普通蛋白石とともに堆積した魚卵状蛋白石の切断研磨面をフッ化水素酸で腐食させ、走査型電子顕

微鏡で観察した（図版2 A～H）。核を取り巻くシリカのマントルは、0.2～0.3 $\mu$ mの変形した粒子の集まりより構成されている。

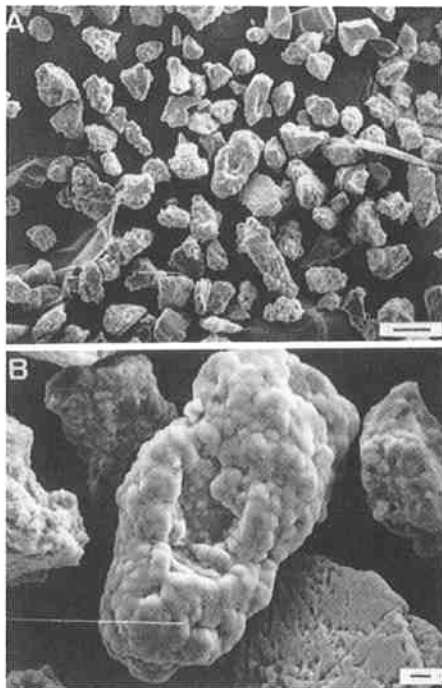


図3 湖底に堆積した砂粒子の走査型電子顕微鏡写真。(A)とその拡大(B)。砂粒子の表面にシリカの球状体が付着し、シリカのマントルが形成されている(赤羽, 1993より)。スケールは、A:50 $\mu$ m、B:5 $\mu$ m。

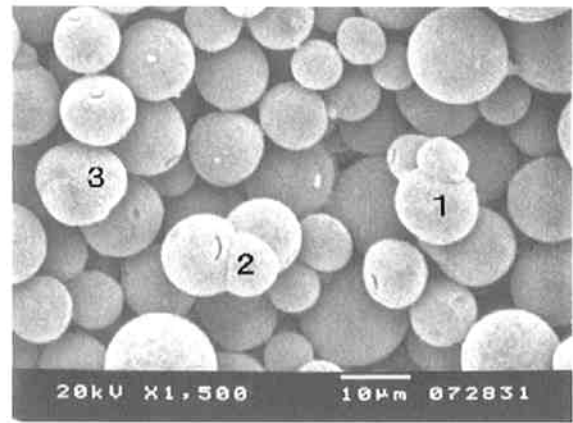


図4 湖底に堆積した普通蛋白石。ほとんどが真球に近いが、2～3個の球状体が合体・同化する過程が読み取れるものもある。

魚卵状蛋白石を含む砂・泥とともに湖底に堆積した普通蛋白石は、 $\sim 10\mu$ mのシリカの球状体よりなるが、その大きさや配列はバラバラで不揃いである。ほとんどのシリカの球状体は「真球」に近い形態をしているが、時に真球からかなりずれた形態をするものがある(図4)。

ii) 脈状に産する蛋白石

湯釜の外壁などを切って脈状に産出する普通蛋白石について、走査型電子顕微鏡で観察した(図版1E～H)。多くは直径が $\sim 0.4\mu$ mまでの大きさのほぼ球形のシリカの球状体から成るが、それらの球形や配列は不揃いである(図版1E)。図版1F～Hは、脈状に産

表1：立山温泉新湯産蛋白石の化学組成

	魚卵状蛋白石(玉滴石)の表面							普通蛋白石の表面		湖底堆積物の表面	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	95.33	95.32	95.23	97.53	94.96	97.33	96.1	97.11	98.71	92.22	92.65
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.63	tr	tr	tr	0.05	tr	tr	0.01	tr	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	1.56	0.44	0.48	1.06	0.96	0.93	0.03	tr	0.96	0.5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
FeO*	0.01	0.34	0.08	0.02	0.07	0.09	tr	tr	0.04	0.06	tr
MnO	tr	tr	tr	tr	0.04	tr	tr	0.04	tr	tr	tr
MgO	tr	0.15	0.05	tr	0.03	0.04	tr	tr	tr	tr	tr
NiO	tr	tr	tr	0.04	tr	tr	0.01	nd	nd	nd	nd
CaO	0.33	0.06	0.01	tr	0.02	0.02	0.01	0.07	0.07	0.28	0.27
Na <sub>2</sub> O	0.33	0.09	0.09	0.03	0.03	0.06	0.07	0.02	0.02	0.04	0.01
K <sub>2</sub> O	0.08	0.04	0.03	0.01	0.1	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	96.3	98.19	95.93	98.11	96.31	98.6	97.31	97.31	97.31	93.58	93.52

\*: Total iron as FeO。9は蛍光X線による化学分析、あとはEPMAによる分析。全てフォッサマグナミュージアムの蛍光X線分析装置を使用。宮島宏氏の指導による。

する蛋白石の内、肉眼的に遊色を示す部分を走査型電子顕微鏡で観察したものである。大きさや配列が不揃いの中に0.2~0.3  $\mu\text{m}$ の大きさの揃った球状体が整列している領域が観察された(図版1F~H)。

## 5. 新湯産蛋白石の化学組成

表1に新湯産蛋白石(魚卵状蛋白石(玉滴石)の表面・普通蛋白石・現在の湖底に堆積していた粒子の表面)の蛍光X線およびEPMAによる無機化学分析の結果を示す。無機成分のほとんどはシリカ(二酸化珪素)で、この点では共通している。魚卵状蛋白石(玉滴石)および普通蛋白石の表面でシリカが94.96~98.71%でtotalでも95.93~99.14%と高いのに対し、現在の湖底に堆積している粒子の表面でシリカが92%台totalでも93%台と低い。

## 6. 討論

### i) シリカ球状体の成長機構

既に述べたように、蛋白石を構成するシリカの球状体の成長については、Darragh P. J. ほか(1976)の説明(図1)が一般に受け入れられている。

新湯における蛋白石を構成するシリカの球状体についても、大部分は真球に近いものである。しかし、湖底に堆積した普通蛋白石を構成するシリカの球状体の一部に真球からの変異したものがある。それらは、図4に見るように、繭状~瘤状を示している。

繭状~瘤状をしたシリカの球状体は、二つ以上の球状体が合体・同化して球径を増す途上で脱水により固定されたものであると考えることができる。すなわち、図4において1→2→3の順に同化が進みより球径の大きな球状体に成長していったと解釈できる。

一方、魚卵状蛋白石(玉滴石)の表面の観察(図版1A~D)からは、赤羽(1993)と同様に魚卵状蛋白石が核の外側のシリカの球状体を取り込んで同化することによってシリカのマンテルを増やし、魚卵状蛋白石の球形を増していったことが読み取れる。その際、同化されるシリカの球状体自体もお互いに合体し繭状~瘤状の形態をしており、魚卵状蛋白石の表面にもシリカの球状体を同化した痕跡を明瞭に認めることができる。

このことは、魚卵状蛋白石を切断研磨しフッ化水素酸で腐食した面の走査型電子顕微鏡観察(図版2A~H)からも明らかである。すなわち、魚卵状蛋白石の

シリカのマンテルの部分は、この場合ほとんどが0.2~0.3  $\mu\text{m}$ の変形した粒子から構成されている。粒子の変形はお互いの隙間を埋めるように変形している。このことから、この魚卵状蛋白石は遊色を示すオパールを造るようなシリカの球状体がコロイド状に含まれる温泉水中を動き回って遭遇するシリカの球状体を取り込み同化することによって形成されたといえることができる。

魚卵状蛋白石・普通蛋白石および現在の湖底に堆積した粒子の表面の分析結果(表1)を見ると、魚卵状蛋白石(玉滴石)および普通蛋白石の表面ではシリカの含有率も酸化物のtotalも高く、現在の湖底に堆積している粒子の表面で低い。これは、析出後間もない湖底堆積物の表面のシリカで含水率が高く析出後時間の経過した魚卵状蛋白石・普通蛋白石で含水率が低いことによるものと思われる。このことから、新湯の蛋白石は、球状体として析出後、お互いに合体し同化して球径を増したが、脱水により徐々にゾル→ゲル→固化が起った。現在見られる魚卵状蛋白石や普通蛋白石は、シリカの球状体を合体・同化し真球へと変形する様々な過程で脱水し固定された状態を観察しているといえることができる。

魚卵状蛋白石を含むシリカの球状体はコロイド状に析出した第一次の球状体を合体し同化することによって成長したといえることができる。これは、Darragh P. J. ほか(1976)によるオーストラリアの砂漠地帯で地下水より沈殿したシリカの球状体の成長機構の説明とは異なるが、メキシコのオパールなど火山地帯の温泉水中で沈殿した蛋白石の共通した形成メカニズムの可能性はある。

上述のようにシリカの球状体が合体し成長するためには、当初コロイド状に含まれていたシリカの球状体がお互いに遭遇(接触)するような温泉水の動きが必要である。また、浮遊する岩石や鉱物の破片粒子がシリカの球状体を付着し、それらを取り込んで魚卵状蛋白石を形成するためには、岩石鉱物の破片やシリカの球状体をコロイド状に含む温泉水が攪拌されるような動きが必要であろう。

かつて、1900年頃までに採集された魚卵状蛋白石は、中心部の核が小さくて核を取り巻くシリカのマンテルが厚く、全体として美しい透明感があった。しかし、近年採集された魚卵状蛋白石は中心の核が大きく、取り巻くマンテルの部分が薄い。そのため、全体として

美しい透明感が現れていない。

吉沢(1907)によれば、新湯の沈殿物を売り出すため壁の一部を切り開いて水位を下げたという。「日本一美しい」透明な魚卵状蛋白石は、それ以降形成されていないのではないと思われる。すなわち、水位を下げる以前、新湯の水深が今より深かった時は、特に小さな岩石鉱物の破片が温泉水の攪拌される流れによって湖底から水面近くまで長い距離を動き、多くのシリカの球状体を取り込み同化することによって核の周りに厚いマントルを形成することができたと思われる。水位が下げられた現在では、新湯の水深が浅くなって、長く温泉水中に留まることができず、厚いマントルを形成することができず薄いマントルのまま沈殿して、結果として透明感の少ない魚卵状蛋白石になったものと思われる。

## ii) 遊色を示すオパールについて

遊色を示すオパールが見られることはほとんどないが、稀に見出されるのは直接新湯の湖底に堆積した普通蛋白石中でなく、湯釜の外壁を切って産出する脈状の普通蛋白石中である。

脈状に産する普通蛋白石の走査型電子顕微鏡写真を図版1Eに示す。蛋白石を構成するシリカの球状体の多くは、直径 $0.5\mu\text{m}$ 以下であるが、大きさも配列も不揃いでやや変形しながら互いに膠着している(図版1E)。

図版1F~Hは、脈状の普通蛋白石中の遊色を示す部分を走査型電子顕微鏡で観察したものである。ほとんどの部分で球径も配列も不揃いの中に、時に $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ の大きさの揃ったシリカの球状体が規則的に並んでいるように見える部分がある。本報告の口絵に示したような狭い範囲で遊色を示す部分は、このような狭い範囲で規則的配列を示す部分から光の回折が起こって発せられた遊色であろうと思われる。

すでに述べたように、一般的傾向として新湯では同じ白色チョーク状の普通蛋白石でも、湖底に直接沈殿した普通蛋白石ではシリカの球状体が大きく配列も不規則である(図4)のに対し、湯釜の外壁などを切って脈状に産する普通蛋白石ではシリカの球状体の大きさが直径 $0.5\mu\text{m}$ 以下と小さく $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ のものが多

い。新湯の湖底に堆積した魚卵状蛋白石や普通蛋白石を構成するシリカの球状体が、温泉水が攪拌されているような環境で大きく成長したと考えると、小さな球状

体の多い脈状の普通蛋白石は比較的静かな環境下で沈殿したものと思われる。また、脈状の蛋白石で $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ の大きさのシリカの球状体が多いということは、このような温泉水中で沈殿するような環境下でも遊色を示すような球径( $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ )のシリカの球状体が沈殿することで安定するような物理化学的平衡条件があるのではないだろうかと思われる。

似たような環境で宝石になるような遊色を示す蛋白石を産するメキシコの場合、大量の脈状の普通蛋白石の中から遊色を示す蛋白石が見出されるということである。

このように考えると、新湯の湯釜の周囲の岩石を切って脈状に産する白色チョーク状の普通蛋白石の中、あるいはその延長上の空洞などに遊色を示す蛋白石が見出される可能性は十分にあるということができないのではないだろうか。

## 7. まとめ

立山温泉新湯では、現在でも温泉水がシリカに飽和し、湧出に伴う温度・圧力の降下によりコロイド状に第一次のシリカの球状体( $0.1\mu\text{m}$ 以下)を析出し、蛋白石を沈殿する環境にある。

析出当初の第一次のシリカの球状体は、含水率が高く、湧出によって攪拌されている温泉水の中で接触した球状体同士が合体・同化して球径を増す。これらの球状体は湖底に沈殿して普通蛋白石を形成する。このような蛋白石を構成するシリカの球状体は、時に $10\mu\text{m}$ 以上の大きさにまで成長する。これら湖底に堆積した蛋白石は、一般的にシリカの球状体の大きさが揃っておらず、配列にも規則性がない。その結果、新湯の蛋白石は遊色を示さず、白色チョーク状の外観を示す。

一部の球状体は温泉水中を浮遊する岩石や鉱物に付着し、シリカのマントルを形成して魚卵状蛋白石(玉滴石)を造った。

1900年頃を境に「日本一美しい」と言われた透明感のある魚卵状蛋白石は現在採集されていない。当時新湯の沈殿物を売り出すため、壁の一部を切り開いて水位を下げたと言われており、それにより新湯の水深が浅くなったことが原因であると思われる。

一方、湯釜の外壁などを切って脈状に産出する普通蛋白石は、構成するシリカの球状体の多くが $0.5\mu\text{m}$ 以下と小さく、比較的大きさも揃っている。これらは

比較的静かな環境下で沈殿したものと思われる。さらにその一部では、稀に大きさの揃ったシリカの球状体が整列することによって美しい遊色を発生することがある。このような環境下では、シリカの球状体が0.2~0.3  $\mu\text{m}$ で安定する物理化学的平衡条件があるのかもしれない。

このような形成機構は、火山地帯の温泉水中で形成された蛋白石の形成機構に共通するものではないかと考えられる。

## 8. 謝辞

国土交通省立山砂防事務所・環境省立山管理官事務所・富山県自然保護課には、新湯調査の意義を充分ご理解いただき、継続的調査の便宜を図っていただいた。

立山カルデラ砂防博物館の飯田 肇学芸課長には本報告を発表する機会を与えていただき、博物館の走査型電子顕微鏡（日本電子製 JEOL JSM-5310LV）の使用許可をいただいた。立山カルデラ砂防博物館の川村信嘉主任には、走査型電子顕微鏡に関する技術的指導をいただいた。

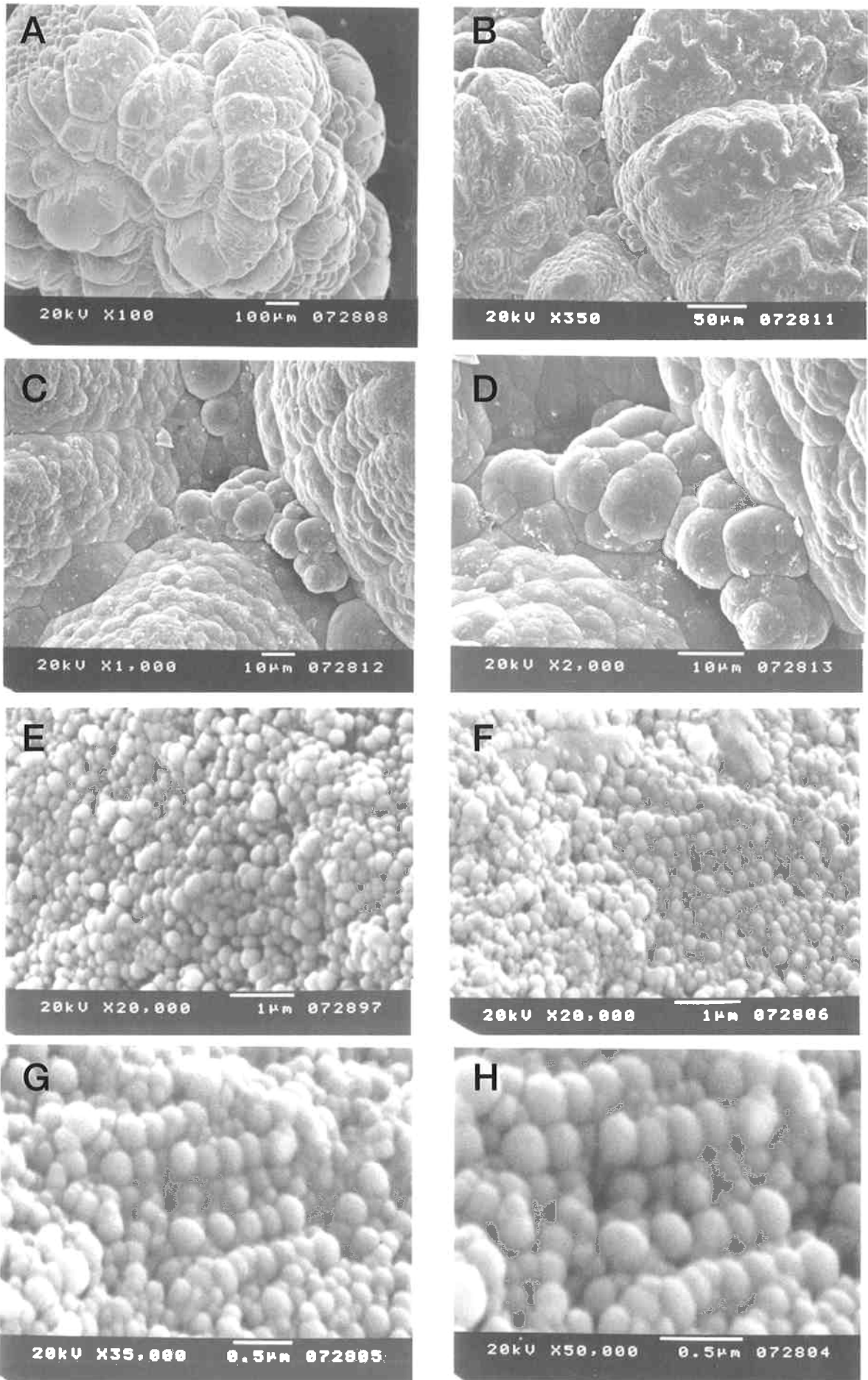
フォッサマグナミュージアム宮島 宏氏には、EPMAおよび蛍光X線による分析の便宜を与えていただき、技術的なご指導をいただいた。

以上の方々に感謝申し上げます。

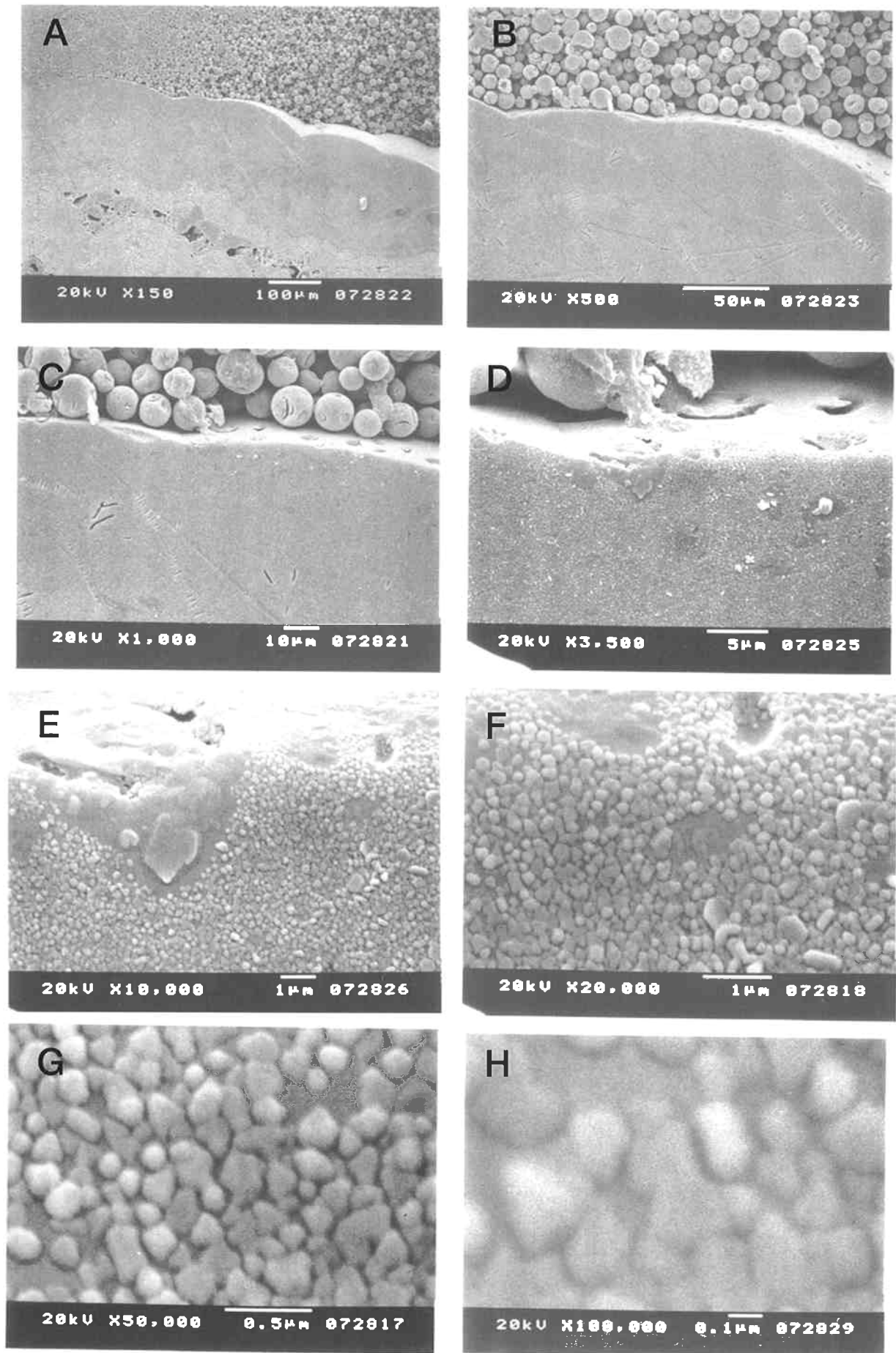
## 文 献

- 赤羽久忠・後藤道治・山本 茂, 1989, 富山県立山温泉新湯産の鯛状珪石（玉滴石）および蛋白石. 地球科学, 43, 3, 176-179
- 赤羽久忠, 1993, 富山県立山温泉新湯における蛋白石の生成. 岩鉱, 88, 10, 469-477
- 赤羽久忠・古野 毅・宮島 宏・後藤道治・太田敏孝・山本 茂, 1999, 温泉水の流れの中における珪化木形成一珪化の速度測定と珪酸の浸潤機構一. 地質雑, 105, 2, 108-115.
- 赤羽久忠・古野 毅, 1999, 形成されつつある珪化木一富山県立山温泉「新湯」における珪化木形成の一例一. 地質雑, 99, 6, 457-466.

- Akahane H., 1990, SEM-observations on the Siliceous Oolites and Opaline Spheres Occurring at the Tateyama Hot Spring Shin-yu, Toyama Prefecture, Central Japan., Bull. Toyama Science Museum 13, 141-144.
- Akizuki M., 1970, Fractured Surface of Opal. Contr. Mineral. and Petrol. 28, 57-61
- Darragh P.J., Gaskin A.J. and Sanders J.V., 1976, Opals. Scientific American, 234, 84-95.
- Darragh P. J., Gaskins A. J., Terrel B. C. and Sanders J. V., 1966, Origin of precious opal., Nature, 209, 3-16.
- 朴木英治・赤羽久忠・山本 茂・金山昌一, 2000, 立山カルデラ内の温泉および湯川の主要溶存成分組成-湯川のイオン組成に対する温泉と支流の役割-. 立山カルデラ砂防博物館研究紀要, 1, 1-7
- Editorial Committee for "Introduction to Japanese Minerals" Organizing Committee IMA-IAGOD MEETING'70, 1970, Introduction to Japanese Minerals, 166-167, Geol. Surv. Japan
- 神保小虎, 1898, 立山の玉滴石と硫黄. 地質雑, 5, 544
- 神保小虎, 1904, 越中立山のじ状玉髓（俗称 玉滴石）, 地質雑, 11, 372-375.
- Jones, J. B., and Segnit, E.R., 1972, Genesis of cristobalite and tridymite at low temperature; Jour. Geol. Soc. Austral. V. 18, p.419-422.
- 大塚専一, 1891, 越中の蛋白石. 地学雑, 32, 114.
- 篠本二郎, 1895, 玉滴石（Hyalite）, 地質雑, 2, 199
- 篠本二郎, 1904, 越中国立山新湯産玉滴石の神保氏の説に就きて. 地質雑, 11, 414-416
- 柴田秀賢・須藤俊男, 1964, 原色鉱物岩石検索図鑑. 北隆館
- 富山県郷土史会, 1976, 越中安政大地震見聞録一立山大鳶崩れの記一. KNB興産出版部
- 吉沢庄作, 1904, 越中地質断片（新湯, 玉滴石, 材木坂, 角閃石, 角石, 硫黄, 銅鉱床, 石器）, 地質雑, 11, 406-414
- 吉沢庄作, 1907, 立山温泉の新湯. 富山日報（明治40年8月8日-8月9日）



図版1 魚卵状蛋白石と普通蛋白石の走査型電子顕微鏡観察。魚卵状蛋白石をA→B→C→Dの順に拡大。E：脈状に産する普通蛋白石の走査型電子顕微鏡観察。脈状に産する普通蛋白石の中で、遊色を示す部分をF→G→Hの順に拡大。



図版2 切断・研磨し、フッ化水素酸で腐食した魚卵状蛋白石のマントルの部分。A→B→C→D→E→F→G→Hの順に拡大。