

立山温泉新湯のオパール調査報告

高橋泰¹⁾、赤羽久忠²⁾、今井裕之¹⁾、米谷正広³⁾、室井克則³⁾、國香正稔³⁾、山本茂³⁾

1. はじめに

著者らは、2002年以來毎年、立山カルデラ砂防博物館スタッフが中心となり新湯のオパール調査を続けてきた。2001年に新湯で採集したサンプルから小さなプレシャスオパールを見つけたことが一連の調査を始める発端であった。新湯産プレシャスオパールについては赤羽(2004)で報告済みである。一方、調査が進むにつれて新湯産オパールの全体像や、ほとんど伝聞しか記録のない採掘当時の様子を示す試料が見つかったのでここにまとめ報告する次第である。最近の新湯産オパールについては、赤羽他(1989)に分析と考察が報告されているが、新湯が地質学的に注目されたのは、玉滴石と呼ばれるミリメートルサイズのオパール粒が産出していたからである。採掘していたのは主に明治時代であるが、1900年頃を境に文献、伝聞共に産出報告が途絶える。砂粒が無色透明なオパールのマントルで包まれた玉滴石は採掘状況を示す資料は鉱石以外になく、ほとんどが伝聞によるものである。2004年以降の調査では、現在の新湯に残っている試料から情報を集め、当時の状況を把握することを調査目的の1つにしてきた。また、オパールの産出量を把握することも重要な課題とし、2006年の調査では耐熱容器の設置許可を取り、約1ヶ月間にわたり、温泉沈殿物の採取をし、堆積速度の測定を試みた。

2. 新湯概要

富山県富山市立山温泉新湯は温泉水中にシリカ濃度が高く、非晶質シリカ球である天然オパールを産出する湧泉である。水深約5m、直径30m程のほぼ円形の爆裂火口湖であり、湧泉は滝となり湯川に注いでいる。水面の位置は火口壁頂部より8mほど低い位置にある。火口壁跡のすり鉢状斜面が45～60度の角度をなし、水面にまで達しているため、岸は滝口付近で1m程あるだけで、ほとんどないに等しい(図1)。

富山県郷土史会(1976)によると、安政の飛越地震(1856年)以来冷泉から温泉に変わったとされており、ここ数年の調査によるデータでも、泉質は調査期間内のデータで、平均68度、PH3.5の値を維持している。湧泉は間欠泉であるが、通常は湧出量に若干の変化がある程度である。吉沢庄作(1907)〔富山日報の記事〕によると明治時代には3丈ほど吹き上がる様が報告されている。2005年の調査中にも、湧出口が水面より40～50cm湧き上がる場所が観察されており、現在でも間欠泉であることが確認されている。マイクロメートルオーダーのオパール粒子については、現在でも湧泉中に産出されていることが確認できる。ガスの噴出もあり、湖底からは直径数センチメートルの気泡が断続的に観察されるが、火口壁の一部からは常に噴出しており、噴気口は素手で直接触れることができない程熱い。

明治時代にはここが玉滴石の鉱床であった。玉滴石は魚卵状のオパールであり、通常ミクロン～ナノメートルオーダーであるはずのオパール粒子が、ミリメートルオーダーにまで大型化したもので、砂粒を核として透明なマントルが周囲を取り巻き、あたかも魚卵のような外観を呈している。現在の新湯に産する砂の粒子は全てオパールのマントルで覆われており、マントル部分が厚いか薄いか、透明か不透明かの違いではない。特に明治時代に産出した玉滴石は小さな核に厚い無色透明なマントルを持つ世界的にも美しく珍しいオパールである。伝聞では当時の間欠泉は勢いが激しく、水深が0mとなることがあり、この機会を利用して湖底に降り立ち、玉滴石を採取したと言われている。この玉滴石が当時1粒1ドルで海外に売られていた(伝聞による)とも、漢方薬の原料として売られた(伝聞による)とも言われている。

吉沢庄作(1907)〔富山日報の記事〕によると、明治時代後半のある時期に火口壁を切り割って水位を下

1) 山梨県立宝石美術専門学校 2) 富山市科学文化センター 3) 立山カルデラ砂防博物館

げたのが現在の新湯である。以来、無色透明の美しい玉滴石の産出は確認されていない。

3. オパールとは

化学組成は $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ で表され、一般に 5 ~ 20% の水を含む。非晶質であるため珪酸塩鉱物には分類せず、シリカ鉱物とされている。一般にはシリカ球の集合体であり、特に直径が 450 ~ 150 μm のシリカ球が整然と集合すると光の回折により色斑が生じる。この色斑は遊色効果と呼ばれる。この光学的効果を生じるオパールがプレシャスオパール（ノーブルオパール）であり、宝石素材として昔から珍重されてきた。宝石名では地の色を冠して呼ぶため、白色のものはホワイト・オパール、黒色のものはブラック・オパールと呼ぶ。例外的には、メキシコ産のオレンジ色のものをファイアー・オパール、無色のものをウォーター・オパールと呼んでいる。色斑のでないものはコモノオパールと呼ばれるが、地の色も赤、オレンジ、黄、緑、青、ピンクがある。

4. 一般的なオパールの産状による分類

産状で分類すると、オパールは「サンドストーン・オパール」と「マウンテン・オパール」とに大別される。サンドストーン・オパールは地下水の作用により堆積岩中の割れ目にオパール粒子が沈積したものである。オーストラリアやブラジルで産出するプレシャスオパールはこのタイプであり、一般に脈状の形態を示すが、オーストラリアでは貝化石の殻部分をオパールが置き換えたシェルオパールも産出しており、堆積時には比較的低温であったことを示す。マウンテン・オパールは流紋岩の火成活動の末期において、熱水の作用により球果中の空隙、割れ目、気泡による晶洞にオパール粒子が沈積したものである。メキシコやエチオピアのファイアー・オパール、USA オレゴン州のプレシャスオパールはこのタイプである。

日本でも福島県西会津郡宝坂の産状は流紋岩中の球果に見つかることからマウンテン・オパールである。岐阜県瑞浪に産する第三紀準化石ビカリア中の空隙を充填したシェルオパールはサンドストーン・オパールである。新湯については堆積状況から見ると、温泉堆積物中に沈積したサンドストーン・オパールであるとも言えるが、低温の火成活動による温泉水が作用していることから、成因から考慮するとマウンテン・

オパールに分類される。新湯は産状から見てもやや例外的なマウンテン・オパールの産地であるといえる。

5. 新湯産オパールの形態的分類

シリカ球の直径が大き順に紹介する。図2は直径 1.5 ~ 1 mm の玉滴石であるこのサイズになると蛙卵状である。残念なことに不透明なものが多くなるが、このサイズにまで大きくなるには長時間の浮遊状態が必要とされる。湖岸からレキとして採取したものは白色であるが、現在の水面下から採取したものは灰黒色である。

図3は直径 1 ~ 0.5 mm の玉滴石であり、こちらは魚卵状である。この調査で採取したものは全てレキであり、人為的な堆積=鉱山のズリと考えられる。明治時代のように小さな核に透明で厚いマントルのものは少ない。核の部分は無色、白色、緑色、赤色、黄色、橙色とカラフルな砂である（図4）。図5の様に薄片で観察すると表面に他のシリカ球が融合して大きな球を形成しているのがわかる。図6-a, bは偏光下で観察したシリカ球の断面である。形成速度の違いによると思われる同心円状の模様を観察される。シリカ球同士は接点部分で癒合している。玉滴石のサイズは数 mm ~ 数 cm で変化し、ほぼ水平に堆積した様子がかえるが、コモノオパールの堆積物中にレンズ状に存在することも珍しくない。

図7-a, bはコモノオパールである。現在の湖底にあるものは灰黒色であるが、火口壁において脈状に産するもの、またレキとして産するものには白色（不透明）と無色（透明）が混在するものが多い。赤褐色を呈するのは赤鉄鉱の沈着である。多くは水平堆積している様子が観察される。図8はレーザー顕微鏡で観察したコモノオパールである。サイズの揃ったシリカ球が観察される部分が白色（不透明）部分、比較的小さな球が融合し合ったガラス状の破断面が無色（透明）部分である。サイズが揃った球は光を拡散反射させるため肉眼では白色に見える。コモノオパールの中には、図9のように青系の色彩を発するものもある。また、図10のように不定形曲面を呈するものも見られる。

図11は針状を呈するオパールである。図12-a, bは拡大写真で、非晶質のオパールにしては特定の方向へ伸びているのがわかる。これと同じものは湖畔の水面付近に見られる。図13-a, bが現在の湖岸に

生じているオパールで、拡大すると針状の集合体であることがわかる。

図14-a, bはプレシヤスオパールである。火口壁に残存する湖底堆積物中に1~2mm厚の脈として産する。または湖岸の再堆積物中に直径1~2mmの空隙を充填するように産する。オパール自体は薄いため、また母岩も未固結の堆積物であるため、研磨するにはもろくて不向きである。カラフルな色斑が見られるものが多いが、全体に小さく、産出量はわずかである。

6. 堆積速度

新湯の湧泉中に浮遊するシリカ球粒子の堆積量と速度を求める実験を行った。内径10cmのステンレス製耐熱容器(図15)を湖底に設置し、容器内に堆積したシリカ球粒子について時間および面積単位の堆積量を割り出した。設置場所は新湯中央部の最も激しい湧出口より滝口とは逆方向に10m程離れた湖底である。2006年9月23日11:00に温泉水中に湖底の転石で固定して容器を設置し、2006年10月22日10:00に容器を回収した(図16)。容器の設置期間は29日間、ほぼ1ヶ月間のサンプリング期間である。この期間に採取した湖底堆積物は38mlであった。採集試料については、全体には肉眼で、部分的には顕微鏡で観察したが、ほとんどオパール粒子であった。容器の面積から計算すると、単位面積当たりの堆積量は $0.484\text{ cm}^3/\text{cm}^2$ となり、1ヶ月間に4.84mmの厚さで堆積していることになる。これが現在の新湯における温泉沈殿物(コモンオパール)の堆積速度である。中でも、プレシヤスオパールとなるサイズの粒子ははさらに割合が少ないため、はるかに堆積速度は小さくなる。図17のメスシリンダー中の堆積物の上部に微細なオパール粒子の体積部分が見られる。10倍のルーペにて粒子径が確認できない部分を仮にプレシヤスオパールの堆積部分とすれば、全体積の0.16%に相当するため、単純計算で単位面積当たり1ヶ月に $0.775\text{ }\mu\text{m}$ となり、1mmのプレシヤスオパール脈は1290ヶ月、約107年6ヶ月で堆積する計算である。あくまでこの計算は現在の湧出量に基づくものである。実際にはもっと多くの要素が関わってくる。オパール粒子のサイズが一定の粒径に選択された経緯、遊色効果が出現するほど穏やかな堆積環境であったこと等の条件を考慮するとかなり複雑になる。しかし、明治時代の湧出が現在よりもはるかに激しかったことを考慮した場合、

現在の水面よりも高い位置(火口壁)に見つかる厚さ1mmのプレシヤスオパール脈が、新湯が冷泉から温泉に変わった1856年から火口壁を切り崩す(仮に1907年とする)までの50年間に堆積することは十分可能である。

7. 玉滴石採掘状況考察

新湯の滝口から湖畔を反時計回りに20m程進むと火口壁の傾斜が30度ぐらいの緩斜面がある。この部分には自然の堆積物が少なく、人為的な角レキの堆積が多く見られる。人為的と判断した理由は、「5. 新湯産オパールの形態的分類」で紹介したオパールのほとんどの種類がレキ中に観察されるためである。この部分の砂泥の中には明治時代の質に近似する粒状の玉滴石も混在する。一般的にも、ほとんどの鉱山には貯鉱場があり、採掘時には良質の鉱石を選別し、効率よく運搬している。玉滴石が採掘されていた当時の新湯でもおそらく同じシステムで選鉱していたのではないか。不良な玉滴石、つまり、コモンオパールや母岩は貯鉱場で投棄されていたと考えられる。火口壁の外縁には人為的角レキは見つかっていないため、採取された玉滴石は、火口壁内部で選別され、荷造りして立山温泉まで運ばれたと考えられる。選鉱した証拠となるサンプルが、図18である。2カ所に人為的なものと考えられる傷があり、この傷より外側(上側)の玉滴石部分が欠如しているものである。おそらくタガネのようなもので玉滴石部分のみを割り出していたと思われる。

8. まとめ

新湯自体は明治時代も現在もオパール粒子を産出し続けており、そこに産するオパールの種類はそれほど変わっていない。しかし、オパールの質は明治時代の方が透明感があり、産出量も多い。この違いが何に依るかは限定できないが、温泉の湧出量と湖水の量は大きく異なる部分であろう。湧出の勢いや量が衰えると共に産出するオパールのサイズが小さくなり、透明から不透明へと変化してきたのであれば、将来、さらに衰えた場合、プレシヤスオパールの産出量が増える可能性は予想できる。今回、オパールの堆積速度を割り出したが、1ヶ月に4.84mmは地質学的に見ると驚異的なスピードである。このペースは、年間に58mm、100年で5m80cmである。もちろん、瞬間的に固結す

るわけではないので計算どおりには堆積しない。

赤羽・古野(1999)は新湯で行った珪化木の珪化実験について報告している。これによると実験上でも40年ほどで直径2cm、長さ5cmの珪化木が形成される速度である。この数値と比較しても新湯産オパール堆積速度データは真実性があり、地質学的には予想外の堆積速度、珪化速度を持っていることになる。鉱物の形成には何100万年かかっているとの認識を持つ人は意外と多い。しかし、100万年前の地層に産する鉱物が100万年かかって成長した証拠はない。むしろ、鉱物の成長条件(例えば温度)が100万年一定の値を保つ方が難しいと考える方が自然である。鉱物一般についていえることは、かなり短時間で形成された後、長い時間保存されていると考えたほうがよい。これら新湯における形成速度のデータは非常に貴重である。なぜなら、地質学的研究が過去の状況の推測であることが多い中、新湯調査はリアルタイムの地質情報を与えてくれるからである。

9. 謝辞

2001年に著者の赤羽と高橋がプレシヤスオパールの調査を計画したところ、立山カルデラ砂防博物館には非常に好意的に協力していただきました。以来、メンバーが入れ替わる中、2002年から2006年までこの調査が継続できたわけです。今回、データや写真を発表する機会まで頂き、深く感謝いたします。また環境省、国土交通省、富山県のご理解により、この調査を続けてこられたことにも感謝いたします。

引用文献

- 赤羽久忠・高橋泰・今井裕之・室井克則・山本茂・國香正稔、2004、立山温泉新湯産蛋白石の特徴、立山カルデラ砂防博物館研究紀要、5号、pp.9-16.
- 赤羽久忠・古野毅、1999、形成されつつある珪化木－富山県立山温泉新湯における珪化木形成の一例－、地質雑、99, 6, 457-466.
- 赤羽久忠・後藤道治・山本茂、1989、富山県立山温泉新湯産の状珪石(いわゆる玉滴石)および蛋白石、地球科学、43, 3, 176-179.
- 富山県郷土史会、1976、越中安政大地震見聞録－立山大鳶崩れの記－KNB興産出版部
- 吉沢庄作、1907、立山温泉新湯、富山日報(明治40年8月8日－8月9日)

【要旨】

ここ数年継続してきたオパール調査の結果に加え、明治時代のもと考えられるオパール鉱石の人為的堆積物が発見され、これらより明らかになった新湯産オパールの全体像を報告する。新湯産オパールは、コモンオパール、玉滴石、プレシヤスオパール等様々な形態が存在することが判明した。また昨年、現地にて耐熱容器を使用したサンプリングを行い、温泉沈殿物の堆積速度を測定する実験も行ったので、併せて結果を報告する。



図 1. 火口壁より新湯を望む

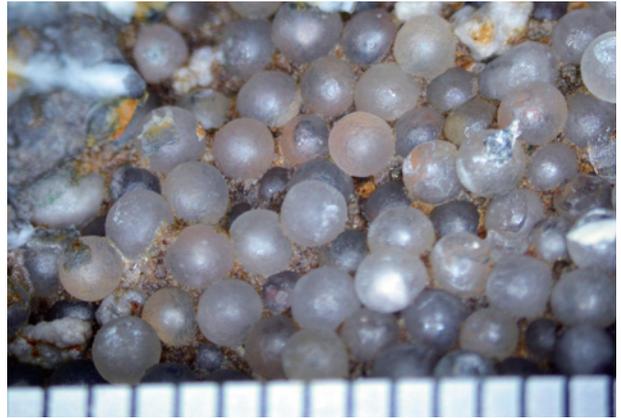


図 2. 調査中に採取した玉滴石 (粒径1.5~1mm)



図 3. 調査中に採取した玉滴石 (粒径1~0.5mm)
スケールは 1 mm



図 4. カラフルな砂の核で構成された玉滴石

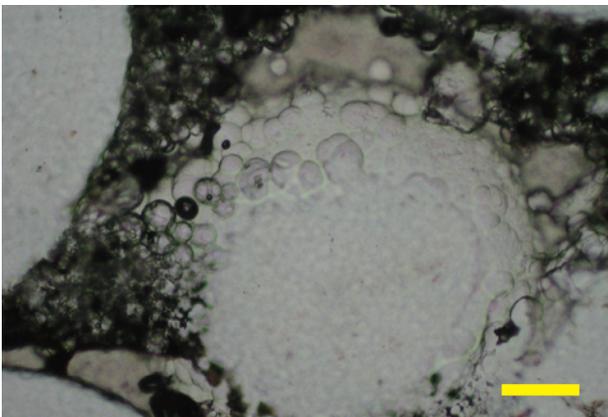


図 5. 玉滴石表面 スケールは0.2mm



図 6 -a. 玉滴石断面 (クロスニコル)、同心円状の模様が観られる。スケールは0.1mm

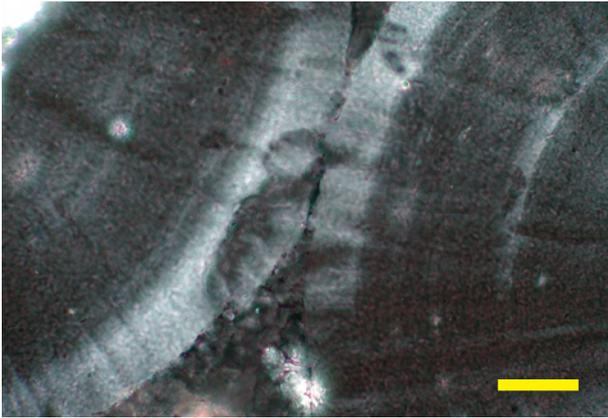


図6-b. 玉滴石断面（クロスニコル）、粒同士の接点が癒合している。スケールは0.1mm



図7-a. コモン・オパール スケールは2mm

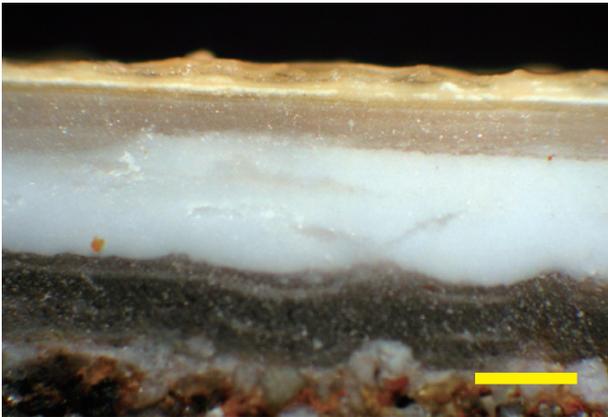


図7-b. コモン・オパール スケールは1mm



図8. レーザー顕微鏡によるコモノオパールの監察。粒が観察される部分は、肉眼では白色、粒のみられない部分は無色透明。スケールは30μm

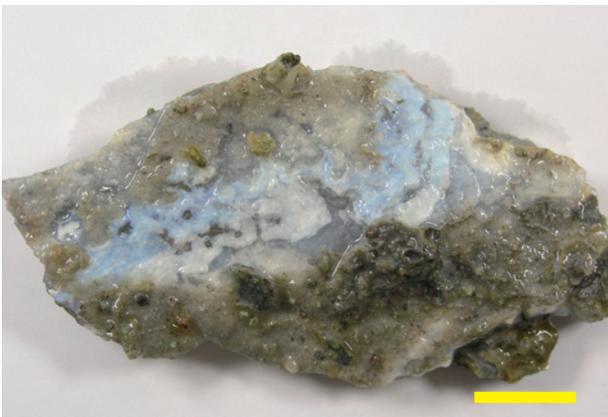


図9. 無色透明オパール中にみられる青色不透明のコモノオパール スケールは1cm



図10. 不定形曲面で構成されるコモノオパール



図11. 針状オパールが観察されたレキ。針状なのは片側の表面のみ。

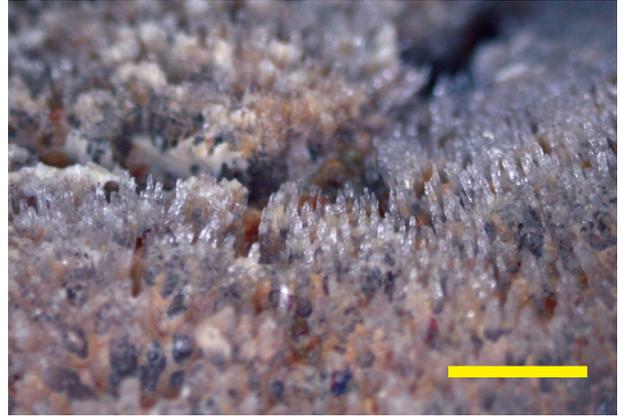


図12-a. 図11の表面拡大図 スケールは3mm



図12-b. 図12の拡大図 スケールは1mm

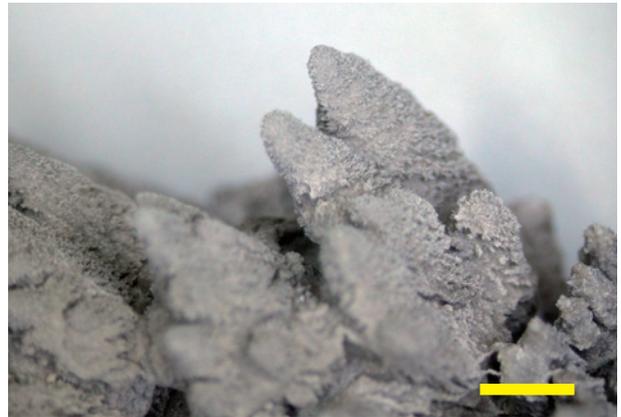


図13-a. 現在の新潟で形成されている針状オパール。スケールは2mm

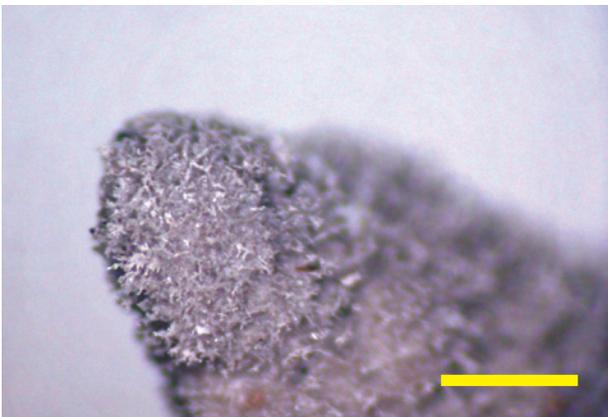


図13-b. 図13-aの拡大図 スケールは0.5mm

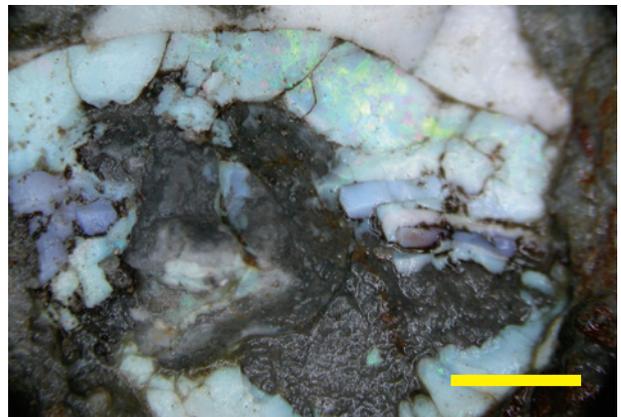


図14-a. 母岩付きプレシャスオパール スケールは2mm

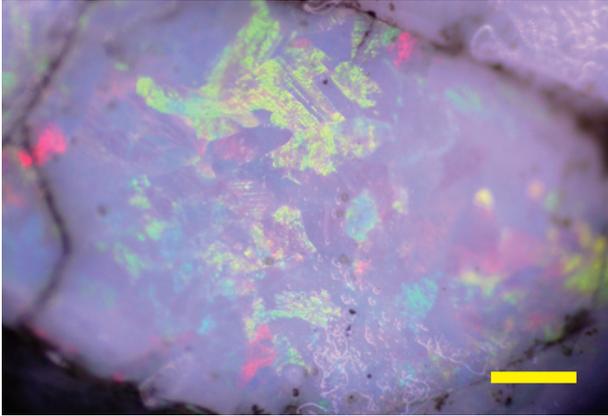


図14-b. 図14-aの拡大図 遊色効果が観察される。スケールは0.1mm



図15. オパール粒子採取用の耐熱容器を温泉中に設置した様子。容器の内径は10cm



図16. 図15の耐熱容器を1ヶ月後に回収した様子。



図17. オパール粒子の体積測定 最上部には微細粒子の沈殿が0.1mm程観察される。

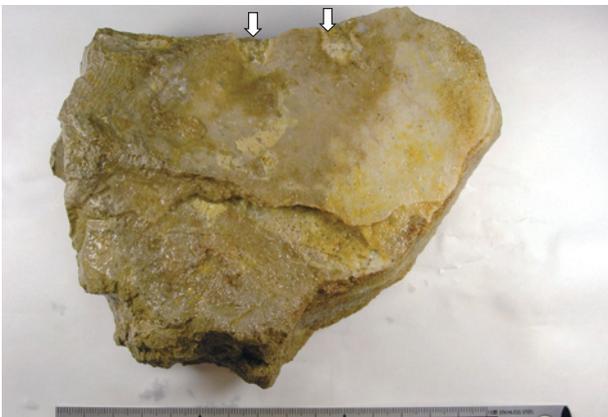


図18-a. 火口壁（温泉水側）堆積物中の人為的なものと考えられる玉滴石のレキ。白矢印はタガネの跡と思われる傷。

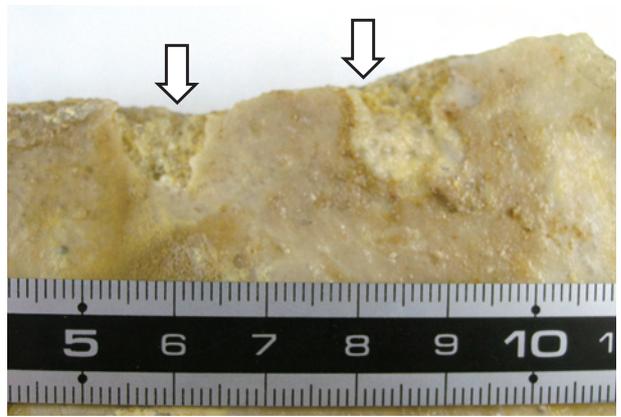


図18-b. 図18-aの傷部分（白矢印）の拡大図