

吉井川中・下流域の ジオサイト候補見学会

竹下 浩征^{1),3)}・乙藤 洋一郎²⁾

キーワード：吉井川，ジオサイト，和気カルデラ，
ロウ石，前島，吉備高原，柵原鉱山

1. はじめに

岡山県東備地区のジオ（地質）の成り立ちを学び、体験することを目的として、2017年6月16日（土）および17日（日）の二日間にわたって吉井川中・下流域に分布するジオサイト（地球遺産）候補の見学会を実施した。これはNPO法人地球年代学ネットワーク（jGnet）と岡山県備前県民局の協働提案事業「ジオの魅力を学び体験する協働事業の推進」の一環であり、最初の活動に当たる。

jGnetはこれまで、地球史研究所（赤磐市^{すさい}）を中核とするジオパーク構想に基づいて、赤磐市と共に地質学の普及啓発活動を行ってきた（例えば、板谷・竹下，2017；竹下，2017）。その活動を岡山県東備地区全域に広げる試みとして、2018年度から赤磐市の協力をいただきながら、岡山県備前県民局と一緒に「ジオサイト候補の見学会」、「ジオの魅力を体験するフェスタ」および「ジオ由来の食を発掘するグルメコンテスト」を順次企画開催している。ここでは吉井川流域のジオサイト候補の見学会についてその詳細を報告する。

2. 見学会の概要

見学会は吉井川中・下流域における特徴的な地質露頭と地形と鉱山を対象とした（図1）。この地域はペルム紀（約2億9,900万年前～約2億5,200万年前）からジュラ紀（約2億100万年前～約1億4,500万年前）の堆積岩や付加体を基盤として、白亜紀（約1億4,500万年前～約6,600万年前）後期の火山岩と花崗岩が広範囲に分布する。それらの一部は古第三紀（約6,600万年前～約2,300万年前）の河成および海成堆積岩に覆われる。

見学会初日（6月16日）は「赤穂^{あこう}～和気^{わき}コールドロンと前島^{まへじま}の古第三系」と銘打ち、和気町中心部（JR和気駅）から南側、即ち吉井川下流域（和気町，備前市，瀬戸内市）に分布する地質露頭を中心とする見学コースを設定した。

コールドロンとは火山性の陥没構造の総称で、阿蘇などのような火山活動によってできた大きな釜状の地形（カルデラという）が長い年月をかけて削剥・侵食された結果、その釜状の地形が失われたものを指す言葉である（図2）。見学会の企画当初は、吉井川下流域に広がる火山岩の形成史を理解するために、備前市の東隣にある赤穂コールドロン（産業技術総合研究所，2016）と関連付けたストーリーとコース設定を考えていた。しかし、準備を進めるうちに和気町周辺にも赤穂に負けず劣らずのコールドロンが存在し、それが白亜紀の和気カルデラを起源とする（Ishihara and Imaoka, 1999）ことを知った。赤穂コールドロンが発見されたのは2016年であるが、石原舜三博士と今岡照喜博士による和気コールドロンの発見はそれより古い1999年のことであった。急遽16日の見学会のメインテーマを和気カルデラとし、見学地点とコース設定を見直した。

図1に示した見学地点のうち、1A和気町清水と1B大池公園が和気カルデラ内の地質露頭である。1A和気町清水ではカルデラの中央丘を作った流紋岩溶岩を観察し、1B大池公園ではその外側に分布する流紋岩質火砕岩を観察した。1C三石のロウ石（土橋鉱山）はカルデラの東端にできた熱水変質型の鉱床を採掘する鉱山である。一方、



図1 見学地点の位置図。基図は国土地理院地図（電子国土web：<http://maps.gsi.go.jp/>より引用）1A～1Fまでは見学会初日（6月16日）のジオサイト候補で、2A～2Eは見学会2日目（6月17日）のジオサイト候補である。

¹⁾ NPO法人地球年代学ネットワーク事務局 〒703-8252 岡山市中区中島2番地12 (takeshita@geohiruzen.co.jp)

²⁾ NPO法人地球年代学ネットワーク地球史研究所 〒701-2503 岡山県赤磐市周匝1599

³⁾ 株式会社森山地質年代学研究所 〒703-8252 岡山市中区中島2番地5

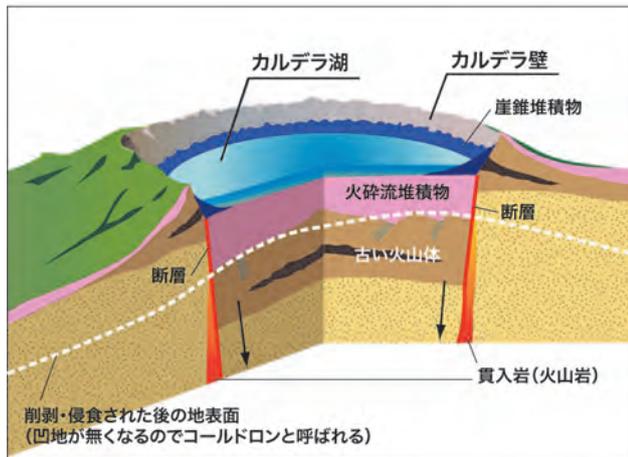


図2 カルデラとコールドローンの模式図。地質調査総合センター「絵で見る地球科学」(<https://gbank.gsj.jp/geowords/picture/illustration/caldera.html>)に加筆。カルデラ壁と呼ばれる急な崖で囲まれ、崖錐堆積物が形成されると共に、凹地に湖ができることもある。地下にはかつての火山体や、それを覆う厚い火砕流堆積物が埋もれている。地表が陥没するときに来た断層に沿って、貫入岩がみられることもある。

1D 一本松展望園、1E 大坂城築城残石群および1F 荒崎の不整合は和気カルデラの外側にある地形と地質である。1D 一本松展望園からは瀬戸内海の島々と錦海湾の塩田跡地を遠望することができる。錦海湾には国内最大級(235MW)のメガソーラーが設置されている。1E 大坂城築城残石群および1F 荒崎の不整合は牛窓の南側に浮かぶ前島の地質露頭で、前者では400年以上も前から石材として活用された花崗岩を、後者では種類の異なるマグマが混交した花崗岩とそれを被覆する堆積岩を観察した。1E 大坂城築城残石群から徒歩5分ほどの山頂から瀬戸内海の島々を眺望した。

見学会2日目(6月17日)は「吉備高原東端の地形と鉱山遺跡」と題し、JR和気駅から上流の和気町、赤磐市および美咲町のジオサイト候補を見学した(図1)。2A 和気大橋の右岸では、吉井川沿いに発達するU字谷と高原地形を概観し、河原の石の規則正しい配列(インプリケーション)と石の種類(花崗岩、流紋岩、泥岩、変成岩など)を学んだ。赤磐市では、2B 吉井B & Gで約3,400万年前の河原の化石である山砂利層(吉備層群周匝層:鈴木ほか, 2003)を観察し、2C 周匝茶白山(城山公園)から周囲の地形を遠望した。美咲町では、ペルム系舞鶴層群に形成された硫化鉄鉱を採掘し、1991年3月に閉山となった2D 柵原鉱山とその資料館を見学した。最後に、苦木の瀬と呼ばれる吉井川随一の難所で、柵原鉱山の鉱石を運ぶ高瀬舟の通行のために作られた2E 吉井川の船通し(真つすぐな水路)を吉井川の左岸から遠望した。

3. 参加者と見学会の情報源

見学会の参加者の総数はスタッフも含めると、初日(6月16日)が50名、2日目(6月17日)は43名であった。スタッフは見学会を主催したjGnetの会員と備前県民局職

員である。一般参加者は初日が34名で、2日目は32名であった。両日ともに参加した一般参加者は20名だったので、二日間の一般参加者数は46名となる。

この46名の現住所(所在地)を市別で見ると、岡山市が27名でもっとも多く、次いで赤磐市の15名が続く(図3)。岡山市と赤磐市からの参加者で全体の9割を超えている。その他として、倉敷市から2名、津山市と備前市からそれぞれ1名が参加された。残念ながら、見学会のコースにある市町のうち、瀬戸内市、和気町および美咲町からの参加者はいなかった。

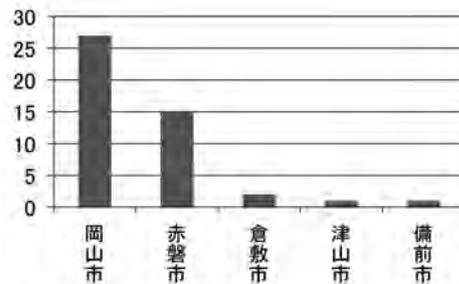


図3 参加者46名の所在地。

次に一般参加者の年齢構成を見ている。最年少の参加者は8歳の少年で、最高齢者は84歳の男性であった。年代別の構成比は、70歳以上が最も多くて全参加者の4分の1を占めており、60歳代がそれに続いた(図4)。50歳以下20歳以上を見ると、30歳代だけが8%と少なく、20歳代、40歳代、50歳代はいずれも15%ずつであった。性別では圧倒的に男性が多く、女性は46名中12名(26%)であった。



図4 参加者46名の年齢構成。

岡山市と赤磐市からの50歳以上の男性中高年者を主体とする参加者が、今回の見学会の情報をどこで入手したのかを調べた。その結果、約9割の方がメール、山陽新聞およびホームページの3つのメディアを情報源としていたことが分かった(図5)。メールとは、jGnetから過去の見学会(観察会)等に参加された方へお送りした案内のことである。ホームページにはjGnetだけでなく、赤磐市と岡山県の公式webに掲載されたものを含んでいる。山陽新聞には、見学会の開催1週間前にその全県版にjGnet板谷理事長の記事が掲載され(山陽新聞)、見学会の告知もなされていた。フェイスブック等のSNSを用いた告知と周知はこの協働事業の要と位置付けていたが、準備時間が短くて使いこなせるまでに至らなかった。

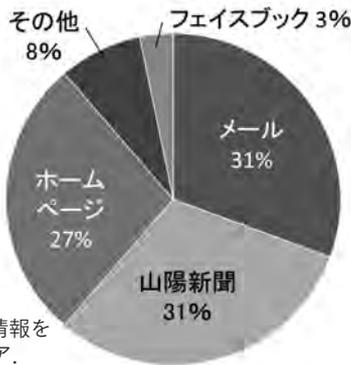


図5 見学会の情報を取得したメディア。

4. 見学地点（ジオサイト候補）

6月16日および17日に見学を行ったジオサイト候補について、実際の行程順でそれぞれの特徴を記載する。

4.1. 6月16日の見学地点

(1) 和気町清水と大池公園（和気カルデラ）

JR和気駅周辺には、それを取り囲むように大小様々な山々が聳える。それらを構成する地質は、中央部の流紋岩溶岩を取り囲むようにして、その外側に火砕岩が分布している（図6）。流紋岩溶岩はかつての和気カルデラの中央丘であり、火砕岩はそのカルデラの内部を埋めた大規模火砕流を起源とする。和気カルデラの東端はJR三石駅辺りで、三石のロウ石鉱床は和気カルデラの縁に当たっている。和気カルデラの西端は山陽道の瀬戸パーキングエリアの手前、北は佐伯の辺り、南は片上 - 伊坂峠あるいは虫明と考えられている。和気カルデラの大きさは最大で南北23km、東西15kmに達すると推定される。それは今から約8,000万年から約7,300万年前の白亜紀末期にできた。日本のカルデラで最もよく知られている阿蘇山の場合、その外輪山は南北25km、東西18kmなので、和気カルデラは現在の阿蘇カルデラに匹敵する大きなカルデラだったことになる。和気カルデラの外側には、白亜紀の流紋岩や火砕岩より古い時代（ペルム紀～ジュラ紀）に形成された堆積岩や白亜紀後期の花崗岩類が点々と分布している。

6月16日の見学会では、カルデラ中央丘に当たる和気町清水の流紋岩溶岩とその外側に広く分布する大池公園の流紋岩質火砕岩を観察した。清水の露頭は碎石場の跡地（図7A）で、数年前までは新鮮で硬質な溶岩が採取できたが、現在は風化が進み、観察できるのはもっぱら露頭の下に転がっている大小様々な角の取れた岩石（転石）である。ここでは案内人が和気カルデラ仮説をお手製のパネルを用いて解説し、参加者全員で流紋岩溶岩に見られる「流理構造」を確認した。その後、見学地点を閑谷学校の北側にある大池公園に移して、白亜紀後期の火山噴火によってカルデラ内を埋めた火砕岩の現在の姿を見た（図7B）。流紋岩質の火砕流は火山灰と共に山体を高速で下りながら地表に堆積する。そのため火砕岩には堆積時の面構造が形成される。

(2) 三石のロウ石（土橋鉱山）

三石地区で現在も稼働中の土橋鉱山株式会社は、国内では数少ない良質のセリサイト（絹雲母）を産出しており、その予想埋蔵量も200万トン以上で国内最大である（土橋鉱山株式会社HP <http://www.tsuchihashi-kozan.co.jp/>）。また、ロウ石（パイロフィライト系）や珪石なども採掘している。2010年3月現在、全国での非金属鉱山労働者1,562名に対し、坑内作業員はわずか34名に過ぎない。そのうち8名の坑内作業員がこの土橋鉱山に所属しており、貴重な坑内採掘の技術を継承している。

その土橋鉱山にて、武部社長による独特の自虐ネタ満載の案内（図7C）で、坑道入口、地下115mへ至る堅坑（エレベータ）橋、水処理施設、採掘したばかりのロウ石などを見学・観察した。土橋鉱山では一日4名までなら地下100m以深へ至る坑内の見学ができるが、今回は参加者が50名に達したため、見学は地表部の施設に限った。参加者はヘルメットを着用し、ロウ石の白色と梅雨の合間の青空との強烈なコントラストの中、全員が敷地内を徒歩で巡った。坑道に入らなくても、稼働中の鉱山の見学自体が初体験だった方も多く、後述する見学後のアンケートを見ると参加者の満足度は高かったようである。

土橋鉱山のある三石は、Ishihara and Imaoka (1999)の「和気カルデラ仮説」に従うと、和気カルデラの東の壁近辺に位置する（図6の1C）。カルデラができた時あるいはその後にカルデラ壁周辺で熱水活動が起り、三石周辺に分布する流紋岩質の岩石が変質して「ロウ石」ができた

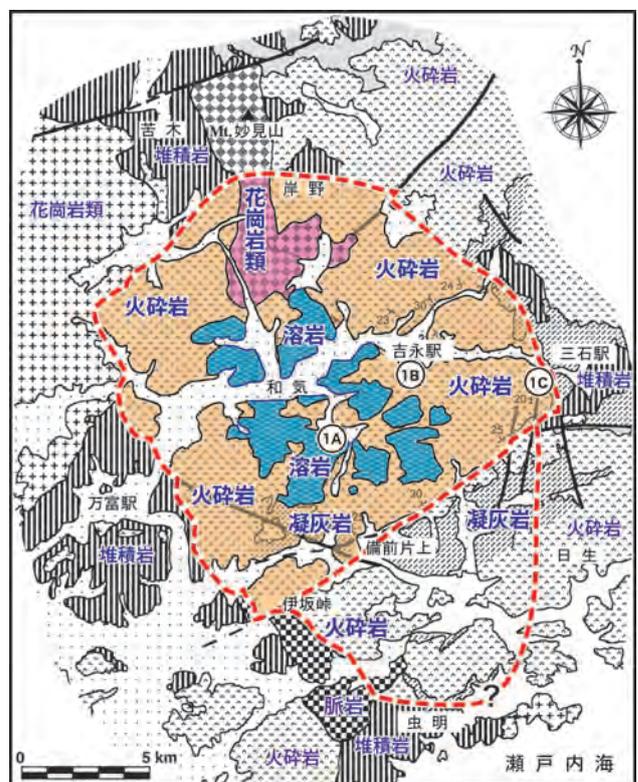


図6 和気周辺の地質概略とカルデラの範囲。Ishihara and Imaoka (1999)に加筆。和気カルデラの中心部は溶岩で、外側は火砕岩（凝灰岩）からなる。図中の丸囲みの記号1A, 1B, 1Cは、それぞれ図1の見学地点である和気町清水、大池公園、三石のロウ石（土橋鉱山）の位置を示している。



図7 見学会初日(6月16日)の記録写真。A:和気町清水の流紋岩溶岩の露頭前で、B:大池公園の火砕岩露頭、堆積時の面構造が認められる。C:土橋鉱山にて、武部社長のガイダンスを受ける。D:錦海湾に面した塩田跡地を埋めるソーラーパネル。E:前島フェリー牛窓側乗り場で待機するバスとクルマ。F:大坂城築城に使われる予定だった花崗岩。G:荒崎の花崗岩とそれを被覆する古第三紀前島層(人物の頭上)。H:2種類のマグマが混交(ミングリング)してできた虎斑状花崗岩。

と考えられている。岡山市から車で一時間ほど、兵庫県境にほど近い三石地区に点在するロウ石鉱床は、「ロウ石」の生産量規模としては日本最大である。ロウ石は、葉ロウ石（パイロフィライト）などを含むロウ感のある鉱石で、単一の鉱物の名称ではなく、いくつかの鉱物の集合体の名称である。ロウ石を構成している鉱物をロウ石鉱物と呼ぶ。葉ロウ石のほか、カオリナイト、ダイアスポア、コランダム、セリサイト（絹雲母）、明ばん石などの鉱物が含まれている。三石地区台山のロウ石鉱床は、南東部では走向N40°E、傾斜60°~70°NW方向の断層に阻まれ、鉱床下盤の流紋岩質角礫凝灰岩と接している（Omori, 1965）。三石地区のロウ石のK-Ar年代は約8,000万年前から約7,300万年前を示す（本宮ほか, 2000）ことから、この地域の熱水活動は白亜紀後期において数百万年から1,000万年間続いたと考えられる。

(3) 一本松展望園（錦海湾）

岡山ブルーラインのサービスエリアである一本松展望園からは瀬戸内海に浮かぶ島々と広大な塩田跡地である錦海湾を望めるはずであったが、ここへ至るまでの各地点での滞在時間が当初の予定を大幅に超えていたため、展望園ではトイレ休憩程度の時間しか取れず、錦海湾を望むことができなかった参加者もいた。

錦海湾には東京ドーム56個分に相当する約265haの広さを持つ塩田跡地があった。ここは長らく湿地あるいは干潟状態であったため野鳥のサンクチュアリとなり、1990年の調査では野鳥確認種は37科144種を数えた（日本野鳥の会岡山県支部ホームページ http://plus.harenet.ne.jp/~wbsjokym/kinkai/kinkai_top.html）。現在、この塩田跡地には国内最大級（235MW）のメガソーラー（瀬戸内Kirei太陽光発電所）が2018年秋の本格稼働に向けて試運転を行っている（図7D）。瀬戸内Kirei太陽光発電所建設プロジェクト（<http://www.setouchimegasolar.com/index.html>）によれば、完成後は年間を通じて一般家庭約8万世帯分の消費電力に相当する電力を供給できるとされる。同発電所の稼働により瀬戸内市のCO₂総排出量の約半分、年間19万2千トン削減する効果があると見込まれている。

(4) 大坂城築城残石群（花崗岩と展望所）

牛窓から瀬戸内海に浮かぶ周囲約10kmの前島には、主に白亜紀後期の花崗岩類と古第三紀の海成層（前島層：山本, 2001）が分布する。島に渡るためにはフェリーに乗らなければならないが、当日は一本松展望園での滞在時間を短くしたにもかかわらず、乗船を予定していた時刻（12:10）に牛窓の乗り場にたどり着けなかった（図7E）。フェリー会社に代替船を出してくれるようお願いしたが、その代金が10万円とのことで、仕方なく断念した。次発（12:50）のフェリーが来るまでの約40分間、参加者の提案で前島を眺めながらフェリー乗り場で昼食を済ませ、渡船が遅れた分を取り返すために前島での滞在時間短縮を図った。前島到着後、2台のマイクロバスと3台の普通車で、展望台と大坂城築城残石群のある島の中央部へ向かった。展望台からは小豆島をはじめとする瀬戸内海の島々と牛窓

の景色を堪能し、残石群のある山腹では400年前に突然作業が中断し、そのまま時間が停止して現在に至ってしまった歴史の産物（花崗岩の石切り場跡）を見学した（図7F）。

大坂城築城残石群は、江戸時代に再建（1620年~1629年）された大坂城の石垣用の石を切り出していた石切り工場跡である。A地区からD地区までの4箇所が確認されている。切り出した岩石を石垣にするには整形しなければならない。目（割れる方向）を見定めて、石に矢穴と呼ばれる穴を開け、石を割る。石は、矢穴が一直線に入ったものや大割にしたもの、さらには整形して山から引き下ろす寸前のものまで様々なものが見られる。残石のなかには松江藩堀尾家（松江城の城主）、鳥取藩池田家（姫路城城主であったが池田光政の時代に鳥取藩に移る）の刻印が残っている。

(5) 荒崎の不整合（花崗岩と前島層）

島の中央部から南西部の荒崎に移動し、旧民宿ふる里駐車場にバスとクルマを停めて海岸へ向かった。海岸には足元の花崗岩と崖から落ちてきた大小様々な堆積岩（前島層）が積み重なって、側方への移動を難しくしていた。見学した時は満潮から干潮へ移行し始めた時だったので、まだ水位が高く、落石のバリケードのない海側を歩くことができなかった。やむなく落石を上り下りして移動したが、参加者の中には移動を諦めて、最初の露頭のみを観察で終了した方もいた。最初の露頭には前島層の礫岩および砂岩が露出し、下位の花崗岩を不整合に覆っている（図7G）。前島層は古第三紀の海成堆積岩（山本, 2001）で、生物遺骸片を多量に含んでおり、そのほとんどはフジツボなどの蔓脚類化石である。その他に、コケムシ、ウニ、二枚貝などの化石が産出するが、それらの多くは数mmから数十mmに破碎され、さらに磨滅している（野村ほか, 2004）。

落石群を乗り越えて西側の露頭へ至ると、足元や目の前には虎斑状の見かけを示す花崗岩が分布していた（図7H）。この岩石の淡色部は花崗岩で、濃色部は閃緑岩ブロックである。いずれもマグマが地下深部で固結した深成岩で、固結前の段階で花崗岩マグマと閃緑岩マグマが混交し（magma mingling）、虎斑状の構造になったものである。案内人はここでもお手製のパネルを駆使して、虎斑状の岩石の存在は花崗岩マグマの定置から固結に至る間、複数のマグマが同時共存したことを意味し、花崗岩の成因を考える上でひとつの制約条件を与えてくれることを解説した。この露頭は、その不思議な模様から参加者の興味を掻き立てたらしく、それがどれほど貴重で珍しいものかを質問する方がいた。前島はその成因を学ぶ場としてとても適しているが、しかしながら、マグマが混交したこのような岩石は決して珍しいものではなく、日本各地で見ることができる（例えば、今岡ほか, 2015）。

4.2. 6月17日の見学地点

(1) 和気大橋（U字谷と河原）

日本で見る川の上流の断面は地理学の教科書ではV字谷と呼ばれている。川の上流で傾斜が急な斜面を川の水が

流れると下方侵食が起こる。そのため川の底の部分に大きな力が働くため川の側方より川底のほうが強く侵食されて、その断面がアルファベットのVの字のように見えるからである。ところが、吉井川を和気大橋から北に望むと、その断面はV字にならず、瀬戸大橋の釣り橋のケーブルのような放物線を描く弧の形状を呈している(図8A)。弧状を放物線で近似すると、見事な2次曲線($y = ax^2$)になっている。その形状はアルファベットのUの字に似ており、氷河がつくる侵食谷(U字谷)と同じ断面を持つ(例えば、Strahler, 1960)。何故、吉井川下流域においてU字谷が発達するのかが謎である。V字谷の側方に崖錐が堆積したために見かけ上、その断面がU字に見えるだけかもしれない。そうだとすると、和気大橋から見える吉井川の断面は美しく、神秘的である。

和気大橋北側の河原(中洲)に降りると、握りこぶし大の丸い石が積み重なっている。U字谷を眺め終わった参加者は足元の無数の石について、案内人が川の石に見られる特徴を解説した。河原の石を川の流れと直交する方向からみると、どの石も規則正しく行儀よく傾いて並んでいる(図8B)。これはどこの河原でも見られる現象で、このような石の配列は「インプリケーション(覆瓦構造)」と呼ばれている。河原の石はボールのように真ん丸でなく、よく見るとつぶれた形になっている。それが流れて落ち着くときは、流れに逆らうことなく平らな面を上流側に向ける。そうでなければ水流でめくられてひっくり返ってしまう。後から来る石もみんなそのように並んでいくので結局図8Bのような配列になってしまう。この河原ではさらに案内人の指導のもと、参加者全員で石の種類分けに挑戦した。河原にある石のうち、数の多い順に3種類の石を選別して、それらを岩石学の専門家である案内人へ持って行き名前を付けてもらうというものである。案内人は岩石の組織と鉱物を瞬時に鑑定し、これは流紋岩という火山岩、こちらは変成岩ですよと答えていた(図8C)。地質構造の分かる露頭ではなく、あらゆる種類の石があってもおかしくない河原の石について、一見しただけでその名前を明らかにするというのは大変な技能である。勇気ある案内人の発案によって、参加者は地質や地形の観察だけでなく、この河原において初めて地球科学の一端を体験することができたことすれば幸いである。

(2) 吉井 B & G (3,400 万年前の河原)

和気大橋の河原での体験の後、吉井川を北上し、赤磐市周匝の吉井 B & G 海洋センターへ向かった。その多目的広場の法面を構成する山砂利層(吉備層群周匝層: 鈴木ほか, 2003)は、今から3,400万年前にアジア大陸を流れていた河川と谷が大量の礫と砂によって埋められてできた地層である。すなわち、和気大橋では現在の河原の石を観察したが、ここ周匝では約3,400万年前の河原の石を見ていることになる。礫岩の礫の大きさは、こぶし大の丸い礫から人頭大あるいはそれを超える大きなものまで様々である。和気大橋の河原のように石の大きさが揃っていないのは、おそらく土石流などによって短期間に大量の土石が運ばれて堆積したためと思われる。当時はまだ日本列島は

存在しておらず、この地はアジア(ユーラシア)大陸の縁辺部に位置していたと考えられている。その大陸の河川由来の堆積岩が剝削・侵食されずに現在の吉備高原に残っているのかとても大きな謎である。と、多目的広場の礫岩の前で案内人が解説を行った(図8D)ものの、参加者の表情を見ていると、ほとんどの方にとっては3,400万年という時間の長さを想像することは難しかったのではないかと感じた。ましてや、その頃には日本列島は存在していなかったと言われてもイメージが湧かなかったのではないかと思われた。時間の長さで日本列島の形成前～形成後のイメージ図を提示して、参加者の理解を助ける工夫が足りなかったと反省している。

なお、山砂利層(周匝層)が分布する吉備高原は、兵庫県たつの市の揖保川の西から姿を現し、西は広島県世羅町を越えて、東広島市-安芸高田市まで、南はJR山陽本線から、北は佐用-庄原を結ぶ中国自動車道までに及び、東西170km、南北45kmの広い領域を占めている。この矩形状の高原の形成については、小藤(1908)の侵食輪廻説の提案以来論争が続くものの、未だに説得力のあるモデルは提案されていない。周匝層の成因の解明は、吉備高原の形成史を明らかにし、その安定性を証明するための鍵となる可能性がある。

(3) 周匝茶臼山(城山公園)

周匝茶臼山では、天守閣の最上階からこの地と周辺に分布する山々を遠望しながら、それらを構成する地質をイメージした(図8E)。茶臼山を取り巻く東西南北に見える山々は、舞鶴帯と呼ばれる地質体から構成される。それらはペルム紀から三畳紀の年代を示す堆積岩や火山岩から構成される。舞鶴帯の主体を成すペルム紀の舞鶴層群は大陸棚に溜まった泥や砂を起源とする堆積岩から成り、玄武岩質溶岩や凝灰岩を伴う。周匝茶臼山もペルム紀の堆積岩から成っている。舞鶴層群の凝灰岩は、特に柵原地区で厚く分布し、黄鉄鉱(FeS_2)の鉱床を伴っている。南方の向山(291m)周辺は火成岩類の一種である斑れい岩類から成っている。吉井川と吉野川の合流部(飯岡)の山腹には、ペルム系舞鶴層群上部層の分布限界(P/T境界)を遠望した。この舞鶴層群上部層は三畳紀(約2億5,200万年前～約2億100万年前)の福本層群に不整合で覆われている(西村, 1990)。その不整合面はペルム紀(古生代の最後の時代:P)と三畳紀(中生代の最初の時代:T)の境界に当たる。飯岡は日本の基盤の成り立ちを考える上で、とても貴重な地域である。

周匝茶臼山の南あるいは西にやや遠くに見える山の岩石はまた趣が異なっている。南の高星山(447m)と北平山(427m)になると、舞鶴層群に貫入してきた白亜紀後期(約1億年前～約6500万年前)の花崗岩が分布する。一方、西に見える金刀比羅山(480m)、高ノ峰(517m)や城の山(406m)は、白亜紀後期に噴出した火山岩(デイサイト・流紋岩類)が舞鶴層群を覆って分布する。この地域の火成活動は6,500万年前に終了したと考えられ、その後、河川の砂利が山のふもとの一部を覆い、土石流が谷を埋めて礫層を作った。その礫層が固結して現在の周匝層となった。

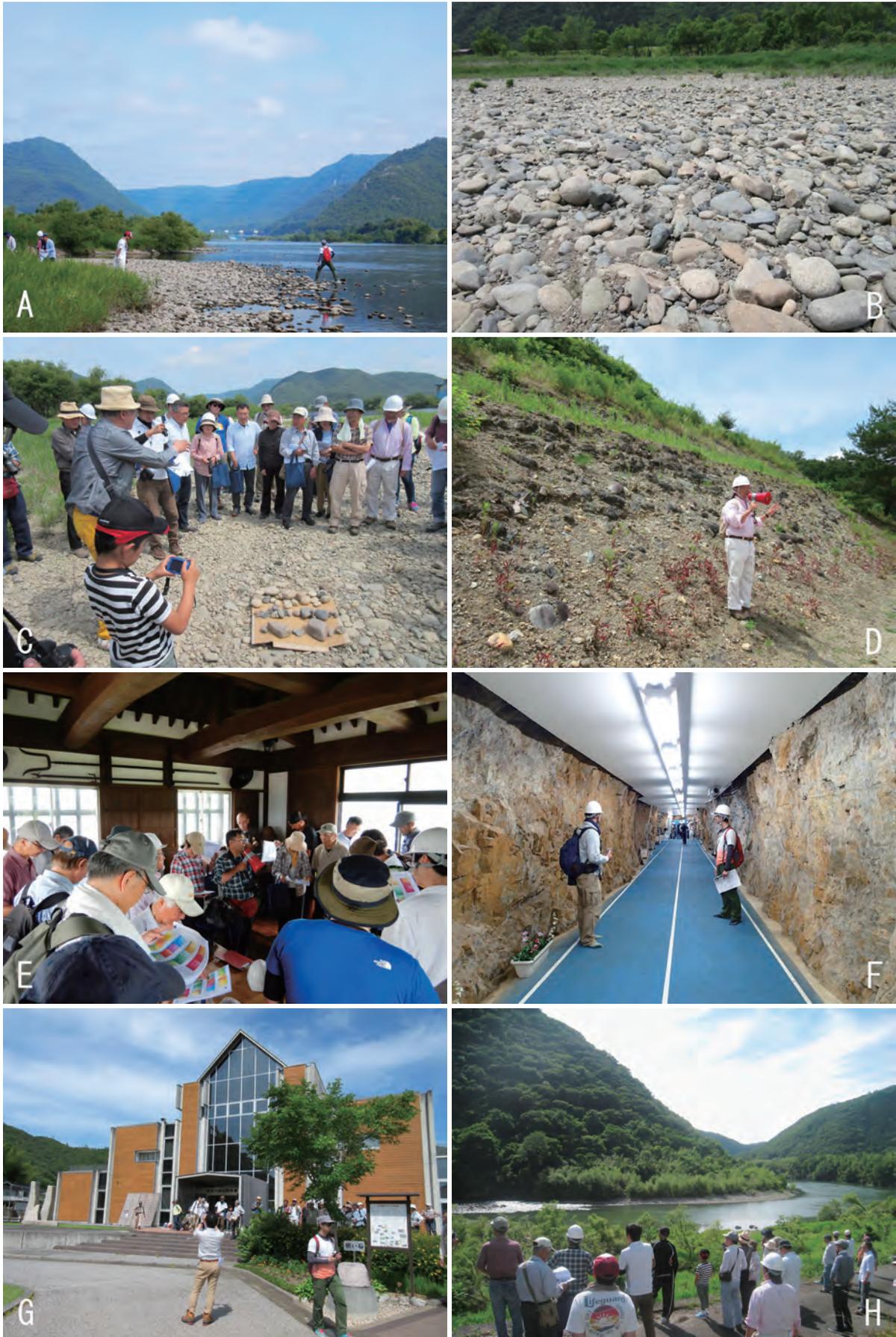


図8 見学会2日目(6月17日)の記録写真。A:U字形を呈する和気大橋北側の吉井川の断面。B:河原の石は上流へ傾いて重なり合う(インプリケーション)。C:案内人による河原の石の鑑定会。D:吉井B & Gの山砂利層(周匝層)。E:周匝茶臼山の天守閣から周囲の地形を学ぶ参加者。F:柵原鉱山坑道農業の低酸素トレーニング施設。G:柵原ふれあい鉱山公園にある鉱山資料館。H:写真左端の吉井川の難所(苦木の瀬)を眺める参加者。

(4) 柵原鉱山・資料館

柵原鉱山は、今から400年前の慶長年間に津山城築城のための石材を集めているとき、偶然に褐鉄鉱の露頭が発見されたことがきっかけになったと言われている(野瀬, 2013)。本格的な採掘が始まったのは明治時代になってからで、1882年に硫酸の原料となる硫化鉄鉱の採掘が開始された。柵原鉱山の鉱床は、黄鉄鉱(硫化鉄鉱 FeS_2)を中心として、黄銅鉱や閃亜鉛鉱が少量含まれていた。この鉱床はペルム系舞鶴層群の流紋岩質火砕岩中に塊状ないしレンズ状の形状をして分布している。柵原鉱山周辺は白亜紀に花崗岩の貫入が起きたことによって接触変成作用を受けており、柵原の本鉱床も変成作用を受けて黄鉄鉱の一部が磁硫鉄鉱($\text{Fe}_7\text{S}_{11-x}$)となっている。鉱山の総生産量は1966年には90万トンを超え、全盛期を迎えたが、石油精製時に副産物として生産される回収硫黄が急速に市場に出回るようになったこと、化学肥料の国内消費量が減少したことなどで急速に衰退した。1970年代半ばには硫酸の原料としての硫化鉄鉱の利用がほぼ途絶え、1991年3月、柵原鉱山は閉山された。さらに、柵原鉱山で産出される硫化鉄鉱を片上港まで輸送する目的で建設された片上鉄道も経営が成り立たなくなり、1991年7月1日に全線が廃止された。

閉山後、深さ1000m以上、総延長1400kmに及ぶ坑道のほとんどは水没したが、最上部の1番坑道だけは水面上に残った。現在、その1番坑道を地元美咲町の町おこしのために「坑道農業」として利用している。今回の見学会では、坑道農業を管轄する美咲町農業公社の協力によって1番坑道内を案内していただいた。通常は毎月第一日曜日のみ、定員30名で、一般の見学を受け入れている。坑道内は高さ2~3m、幅は広いところで5m以上あり、延長は700mあまりであった。定員を超えた50人の見学者を難なく受け入れた坑道はいくつかの区画に分けられており、醸造酒の熟成、野菜の貯蔵、黄ニラや椎茸や花の栽培に活用されている。また、トロッコの軌道と空間を利用して低酸素トレーニング施設も整備されている(図8F)。トレーニング施設の長さは、マラソン距離のちょうど千分の1(42.195m)に作られている。坑道の見学を終えた後、ここでは恒例の硫化鉄鉱の重さ当てクイズが行われた。硫化鉄鉱とほぼ同じぐらいの重さの花崗岩と比べて、どちらが重いか?というクイズである。正解した参加者(女性)には記念の黄鉄鉱が手渡された。

坑道見学を満喫した後は、鉱山の歴史を勉強しなければならない。旧片上鉄道の吉ヶ原駅舎と操車場のあった場所に「柵原ふれあい鉱山公園」がある。約18,400m²の敷地内に、昭和30年頃の鉱山の様子や鉱山町の暮らしぶりを再現した資料館がある(図8G)。ここは鉱山の資料館でありながら地質の解説が少ない(というよりほぼ無い)のが残念であるが、往時の柵原町の生活を知ることができる貴重な施設である。このふれあい公園には、旧片上鉄道の吉ヶ原駅舎が残され、輸送用貨車や客車車輛11両も動態保存されている。毎月1回運転会が行われ、客車に乗車することもできる。

(5) 吉井川の船通し(苦木の瀬)

JR和気駅への帰路の途中、和気町苦木にて吉井川の難所を見学した(図8H)。苦木は、舞鶴層群と夜久野岩類と呼ばれるペルム紀の海底岩石の境界に当たるところで、吉井川を運行する高瀬舟にとって最大の難所であった。そのため、船通しと呼ばれる直線の水路が作られた。吉井川は幹川流路延長133km、流域面積2,110km²に達する。津山市から岡山市までの72.4km区間の川幅は100m~160mである。この川を船底の浅い木造船である「高瀬舟」が航行していた。高瀬舟は帆を搭載しており、風があるときは帆走による遡行が行われ、風がない時は引き手が曳航した(細谷ほか, 2012)。高瀬舟は、すでに室町時代には岡山県下の川を運行し、鉄道が通じるまでは重要な交通路の役割を果たしていた。吉井川では津山~西大寺がメインルートだったが、本川では鏡野町湯指まで上っていた。また、吉井川を下る高瀬舟は県下で最も大型で、江戸初期の豪商・角倉了以が17世紀初め、この高瀬舟を見本にして京都の大堰川をはじめとする河川開発を行って、舟運を開いた話が有名である。江戸時代には津山市と西大寺の区間を上りは3日~4日、下りは2日かけて運行していた。積載能力は、上り時は約1トン、下り時は約6トンであった(在間, 2004)。吉井川内で運行された高瀬舟の艘数は最盛期には267艘に及んでいた。

舟通しを必要とした苦木の瀬はどうやってできたのか?夜久野岩類はとても硬い岩石で、それに比べれば舞鶴層群は軟らかい岩石である。硬い夜久野岩類が瀬を作っているのなら話は分かりやすいが、実際に瀬を作っているのは柔らかい舞鶴層群である。これについては見学会終了後に解答を得たが、その解説には多くの紙面を必要とすることから、次回の見学会案内書にて詳述したい。

5. アンケート結果

6月16日と17日の見学会について、参加された方々はその内容に満足してくれたのだろうか?不満があったらどのような点を不満と思い、どのような改善を願っているのだろうか?また、参加費はその満足度に対して高かったのだろうか?それとも安かったのだろうか?ジオサイトを対象とした見学会を持続可能なものとするために、上記について参加者にアンケートを実施し、以下のような回答を得た。

5.1. 興味を持った見学地点

見学会初日(6月16日)の回答者は30人であった。6月16日は6箇所のジオサイト候補を見学しているが、そのうち1番目の和気町清水と2番目の大池公園はいずれもカルデラ内部の流紋岩類を観察しているので、アンケートでは2箇所をまとめて和気カルデラとした。また、4番目の一本松展望園はトイレ休憩程度の時間しか取れず、錦海湾の遠望ができなかった参加者もいるので、アンケートの対象から外した。和気カルデラ、三石のロウ石、前島の花崗岩(大坂城築城残石群)および前島の古第三系(荒崎

の不整合)の4箇所に対する参加者の回答(重複回答あり)は見学地点による差はほとんどなかった。他に比べてわずかに2票差で三石のロウ石(土橋鉱山)が一番人気となった(図9)。これは土橋鉱山の武部社長の人柄によるところが大きいと感している。見学会の準備を進めてきた者にとっては、三石以外の見学地点についても同程度に興味を持っていただけたのは嬉しい結果であった。

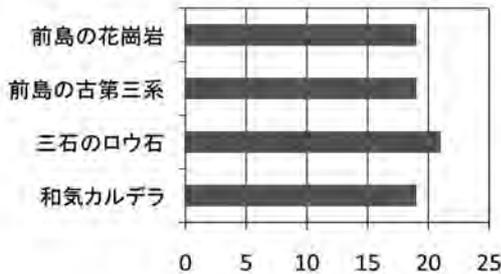


図9 見学会初日(6月16日)の人気投票結果。回答数30。重複回答あり。和気カルデラは流紋岩を観察した和気町清水と大池公園をまとめたものである。

見学会2日目(6月17日)でのこの問いに対する回答者は26人であった。アンケートの対象箇所は、吉備高原の地形(U字谷)、吉井川の河原(インブリケーション)、吉井B & Gの約3,400万年前の河原(山砂利層)、周匝茶臼山(城山公園)、柵原鉱山・資料館および吉井川の舟通し(苦木の瀬)の6箇所である。前日のアンケート結果と違い、この日は見学地点によって得票数に差が出た(図10)。参加者が最も興味を持った見学地点は柵原鉱山・資料館であった。次いで吉備高原の地形(U字谷)が続き、吉井川の河原と3,400万年前の河原(山砂利層)についても回答者の半数以上の票を獲得した。一方、周匝茶臼山と吉井川の舟通しはそれぞれ回答者の半数以下の10票足らずであった。舟通しと茶臼山があまり興味を持たれなかった原因は明白である。分かりやすく解説した資料が足りなかったためである。茶臼山も舟通しも露頭や岩石を直接観察できるものではなく、離れた場所からの遠望であり、一般の参加者には具体的にどのようなものが露出しているのかイメージすることができなかったと思われる。案内書には模式図などを示していたが、和気大橋のU字谷に比べ

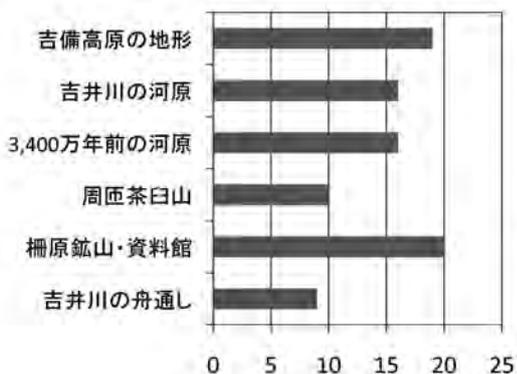


図10 見学会2日目(6月17日)の人気投票結果。回答数26。重複回答あり。

ると提示した情報量が少なかったものと思われる。目の前にあって、手で触れられるものであればその存在を理解しやすいが、訓練を積んでいない一般参加者に離れた場所の地形や地質を想像してもらうのは簡単ではないということを改めて気付かされた。

5.2. 満足度と今後の要望

この質問に対する2日間の回答数は54であった。「大いに満足」と「満足」で98%に達しており、わずかに1人が「普通」と回答した(図11)。地質露頭や地形を観察して回る見学会(あるいは地質巡検)は過去にも実施している(竹下, 2017)が、概ねそれらと同程度の評価と言える。

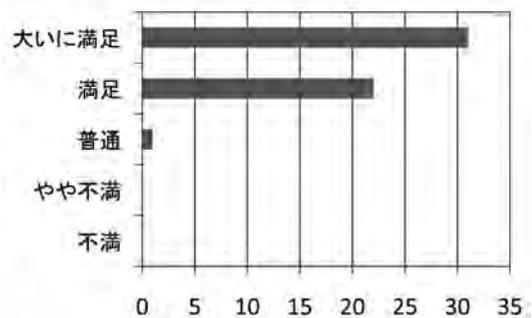


図11 見学会の満足度。回答数54。

回答していただいた参加者には、今後の見学会の運営の参考とするため、満足度の回答と合わせて見学会に対する感想と要望を記述してもらった。16日については、見学会を好意的に評価していただいた回答もあったが、全体に準備と運営に対する不備のご指摘とその改善要望が多かった。曰く、受付がわからなかった。安全面や事前の注意点の説明がなかった。見学地点が多くてそれぞれのジオサイトを理解する時間が足りなかった。ゆとりを持った行程にして欲しい。初心者と中級者以上を分けて実施して欲しい。トイレ休憩を設けて欲しい。など、いずれも次回までに改善を要するもので、私たちjGnetが反省すべき点である。一方、17日になると改善要求は減って、見学会の好意的な感想と継続的な実施を求める声が多かった。これは二日連続開催によるプラス効果が出たものと考えられる。16日のコースは私たちスタッフも初めてのコースであったのと、参加者が予想を超えて多かったために、一部手探り状態での見学会となってしまい、気配りが行き届かなかった。これに対して17日は2日目で人数に慣れたことと、初めての見学コースではなかったことが、運営に余裕を持たせたのではないかと考えられる。また、17日は勇気ある案内人によって、参加者が見学だけでなく、科学体験までできたことが肯定的な評価につながったものと思われる。

5.3. 参加費

見学会の参加費はいくらならば適当なのか?これを参加者に聞くのは野暮であるが、非営利活動法人の主催イベントであっても費用は発生するというを参加者に感じて

もらいたくて敢えて質問した。一般の方の参加費を1,000円としたのは、見学会案内書の印刷費とフェリー代などの入場料を賄えればよしとしようとしたからである。本来であれば、マイクロバス借上費や案内人謝金も掛かるので、すべての支出に見合った参加費を計算すると一人当たり約5,000円になってしまう。ただし、今回の見学会は備前県民局との協働事業であり、事業にかかる経費の一定額までは補助される予定である。そのため、今回に限れば、参加費だけで収支をイーブンにできなくても大きな損失を被ることはない。

参加費に対するアンケート結果を見ると、予想はできていたが、やはり無料を選んだ方がおり、今回の参加費と同額の1,000円を選んだ方がちょうど半数だった(図12)。この結果はちょっと残念であるが、これが今回の見学会の正当な評価だとも感じた。一方で参加費より多い3,000円までなら出せると回答した参加者が41%もあり、さらに3,000円以上出しても良いという方が7%もいたことは心強く感じた。参加費は運営費を賄える額に設定すべきであるが、そのためには内容をその額に見合ったものにならなければならない。地質露頭をクルマで巡り、専門家の蘊蓄を聞くだけではこれ以上の参加費にすることはできないのではないだろうか? 見学だけでなく「体験」を交えること、ここでしか食べられない昼食(有料)を用意することなど、将来的には宿泊を組み入れたジオツーリズムとして昇華させなければならない。

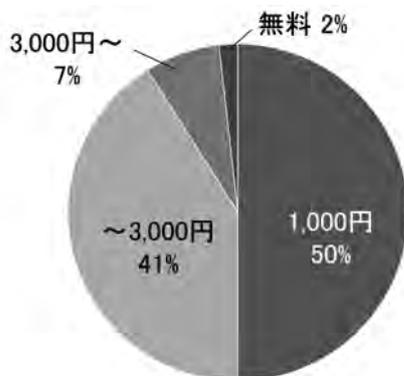


図12 見学会の参加費として妥当な金額は?
回答数 56.

6. おわりに

吉井川流域を対象としたジオサイト候補の見学会は、将来のジオパークを見据えた活動である。ジオパークとは、地域の自然と文化と食に「ジオ」のスパイスを加えて、科学的根拠のある物語を構築し、教育と観光の振興を図ることを目的としている。吉井川流域には過去3億年間に形成されたほぼ全ての種類の地質が分布し、山地、高原、盆地、海岸と海に浮かぶ島々といった多様な地形が形成されている。そこには様々な生き物と植物が共存し、有史以来の文化と歴史を受け継いだ人々の生活がある。それら大地に根ざした多様な遺産(ジオサイト)について学び、活用することはそこに住まう人の誇りであり、また、地域の責務でもあると考える。

現在、jGnetは備前県民局と共に、岡山県東備地区のジオの魅力を感じ体験する協働事業を推進しているが、同時に、岡山県地方創生推進室、赤磐市秘書企画課並びに吉井川流域10市町と協力して、ジオパークを活用した観光地域づくりの可能性を探っている。その活動の成果として、ジオサイト見学(ジオツーリズムと呼ぶ)を対象としたガイド・マニュアルの作成を試みている。具体的には地域内のジオサイト候補を抽出し、それらの科学、歴史、生活、文化に関する様々な情報を収集し、解析しているところである。今回実施したジオサイト候補の見学会は、ジオの普及啓発活動であると共に、ジオパークに欠かせないガイドの養成を見据えた試験研究でもある。このような見学会が定期開催されるようになって、たくさんのリピーターが参加するようになれば、自ずとその中から新世代のガイドが生まれてくるはずである。見学会を持続可能なものとするためには、自治体、企業、個人の別なく、地元の皆様のご理解とご支援のもとで参加者を増やし、リピーターをガイドに育てるような枠組みづくりが必要である。

謝辞

三石のロウ石鉱床の見学に当たって、土橋鉱山株式会社 の武部社長並びに従業員の皆さんから多大なご協力をいただいた。事前調査では坑道内を見学させていただき、見学後にはその記録をブログに公開していただいた。前島の見学地点の事前調査に際しては、瀬戸内市商工観光課の若松さんにガイドをしていただいた。前島の荒崎での見学ではマイクロバスを駐車する場所に困ったが、旧民宿ふるりの三枝ご夫妻に自宅駐車場の使用を快諾いただいた。吉井B&G海洋センターには、吉備層群周匝層の観察において、多目的広場への立ち入りを許可いただいた。柵原鉱山坑道農業の見学では、美咲町産業観光課の川島さんと美咲町農業公社の皆さんにご協力をいただいた。以上の方々にご場を借りてお礼を申し上げます。

ジオサイト候補見学会の企画から準備、そして裏方として二日間にわたる見学会の運営を支えてくれたjGnet 板谷理事長、野瀬室長、横山室長、鈴木教授、西村さん、藤野さん、八木さん、井上さん、郷津さん、藤原さんに感謝申し上げます。最後に、ジオサイト候補の調査を共に進めている赤磐市秘書企画課と岡山県地方創生推進室の皆さんにお礼申し上げます。

引用文献

- 在間宣久(2004) 吉井川の高瀬舟. 岡山理科大学『岡山学』研究会編「シリーズ『岡山学』2 吉井川を科学する」, 吉備人出版, 70-84.
- 今岡照喜・小林実和・曾根原崇文(2015) 山口県蓋井島花崗岩に記録されたマグマ混交・混合現象, 地質技術, no.5 (崋山地質年代学研究所創立20周年記念特集), 37-52.
- Ishihara, S, and Imaoka, T. (1999) A proposal of caldera-related genesis for the Roseki deposits in the Mitsuishi mining area, Southwest Japan. *Resource Geology*, 49, 157-162.
- 板谷徹丸・竹下浩征(2017) 2016年度じゅーじゅーねっと地質学

- 講座の概要. 地質技術, no.7, 5-10.
- 小藤文次郎 (1908) 中国筋の地貌式. 震災予防調査会報告, no.63, 1-15.
- 細谷和範・森元純一・野口司 (2012) 高瀬舟が往来した岡山県吉井川中流域における風況調査. 土木学会論文集 G (環境), 68, 213-223.
- 本宮秀朋・北川隆司・西戸裕嗣 (2000) 岡山県三石地区のロウ石鉱床の産状と K-Ar 放射年代. 粘土科学, 40, 46-53.
- 西村真一 (1990) 岡山県柵原東部地域におけるペルム系舞鶴層群の放散虫層序と構造. 島根大学地質学研究報告, no.9, 65-84
- 野村真一・近藤康生・坂倉範彦・山口寿之 (2004) 岡山県前島の古第三系前島層から産出したミョウガガイ科が卓越する蔓脚類化石群とその進化古生態学的意義. 高知大学学術研究報告自然科学編, 53, 1-19.
- 野瀬重人 (編著) (2013) 改訂岡山県「地学のガイド」. コロナ社, 東京, 201p.
- Omori, N. (1965) On the feature of the Roseki deposits in Daiyama, Anizaka and their vicinities, Mitsuishi-cho, Okayama Prefecture —With special reference to the consideration on the data of boring survey—. *Geological report of the Hiroshima University*, no.14, 215-232.
- 産業技術総合研究所 (2016) 赤穂市は恐竜時代のカルデラの中にできた町だったことが判明. 研究成果記事 2018/08/08. https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2016/pr20160808/pr20160808.html
- Strahler, A. N. (1960) *Physical Geography*. 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 534p.
- 鈴木茂之・檀原 徹・田中 元 (2003) 吉備高原に分布する第三系のフィッシュン・トラック年代. 地学雑誌, 112, 35-49.
- 竹下浩征 (2017) 赤磐市域の地質遺産候補を対象とした露頭観察会. 地質技術, no.7, 35-44.
- 山本裕雄 (2001) 岡山県牛窓町前島に分布する第三系の浅海古環境. 人と自然, no.12, 13-30.

2018年7月30日受付, 2018年8月1日受理.

Engineering Geology of Japan, No. 8, 19-29 (2018)

The excursion of the candidates for the geo-site along the middle-lower reaches of Yoshii River, Okayama Prefecture, Southwest Japan.

Hiroyuki Takeshita^{1), 3)} and Yo-ichiro Otofuji²⁾

¹⁾ Japan Geochronology Network, NPO, 2-12 Nakashima, Naka-ku, Okayama 703-8252, Japan

²⁾ Institute of GeoHistory, Japan Geochronology Network, NPO, 1599 Susai, Akaiwa 701-2503, Japan

³⁾ Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Co., Ltd. 2-5 Nakashima, Naka-ku, Okayama 703-8252, Japan

© 2018 Hiruzen Institute for Geology and Chronology. All rights reserved.