

とやまと自然

第36巻秋の号

No.143 2013

アメリカ南西部の国立公園の地形美を訪ねて^{たず}

藤田 将人

立山・地獄谷^{じごくだに}の火山活動

増淵 佳子



■アーチーズ国立公園 (Arches National Park) のデリケートアーチ (Delicate Arch) / アメリカ合衆国ユタ州^{がっしゅう}

アメリカ南西部の国立公園の地形美を訪ねて

藤田 将人 (富山市科学博物館 恐竜担当)

1999年、2000年、2011年にアメリカ南西部の国立公園をめぐってきました。その中で地層や自然の造形による特に印象の深かったザイオン、アーチーズ、アンテロープキャニオンについてお話します。

アメリカ南西部には壮大なスケールの国立公園、国定公園が点在しています。ユタ州とアリゾナ州の境にある人造湖のパウレル湖を中心とする半径約230 kmの円の中には、グランドキャニオンをはじめとする多くの国立公園、国定公園などの自然公園があり、グランドサークル(The Grand Circle)とよばれています(図1)。グランドサークルには、コロラド台地が地殻変動、侵食作用を受けた結果できた多様な地形があり多くの人が訪れています。

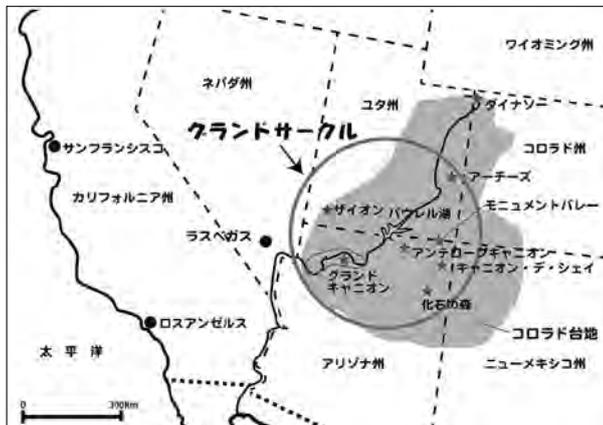


図1 グランドサークルの主な国立・国定公園

■ 絶壁に囲まれた「ザイオン国立公園」

ラスベガスから北東へ車で約3時間の場所にある国立公園です。コロラド川の支流により侵食された谷底は垂直な崖に囲まれ、日本の上高地のような場所です。崖の高さは高いところで1500mもあるため、谷の上と下では動植物の種類が異なります。川の中を歩いたり、崖を登ったりするなど変化に富んだトレイル(歩道)が充実しています。ラスベガスから比較的近く、年間約250万人もの入園者がある人気の公園です。



図2 ザイオン国立公園のビジターセンター

ザイオン国立公園のビジターセンターは周りの環境と調和した作りで、建物を探すのに少し苦勞するほどでした。塔の高い部分に水がしみこんだフィルターがあり、夏はそのフィルターを通して外気を取り込むことで冷気を室内に送り、冬は南に向けられた窓から太陽光を取り込むことにより室内を暖めるという自然環境を上手く利用して空調を行っていました(図2)。ビジターセンターでは気象状況やトレイルの最新の情報を得られるほか、ギフトショップがあります。また大部分の公園内は原則乗用車の乗り入れは禁止で、無料のシャトルバスに乗って移動します。

ザイオン国立公園ではオブザベーションポイント(Observation point)というトレイルを歩きました。これは谷底からオブザベーションポイントまで、崖沿いに標高差655mを登るものです。途中、ジュラ紀前期(約1億9000万年前)の砂漠で形成された大型の斜交層理を観察することができます(図3)。トレイルの終点では、コロラド高原をNorth Fork Virgin川が侵食したダイナミックな景観が待ちました(図4)。途中には鮮やかな赤い花をつけたカステラソウ(図5)が所々咲いていました。カステラソウは英語でIndian paintbrush(インディアンの絵筆)と呼ばれているそうです。



図3 ジュラ紀前期の大型斜交層理



図4 オブザベーションポイントからの眺望



図5 カステラソウ

■奇跡の岩の造形「アーチズ国立公園」

アーチズには穴の空いた岩「アーチ」や、「フィン」とよばれる板状の岩などの地形が発達しているのが特徴の公園です(図6)。このような地形は、以下のプロセスで形成されたと考えられています(図7)。

- ①約3億年前に海水が蒸発し、厚い岩塩層が形成された。
- ②その上に砂岩や泥岩でできた厚い地層が形成された。
- ③相対的に軽い岩塩層は砂岩や泥岩層に対して浮こうとするので、上の上の地層を



図6 アーチ(上)とフィン(下)

- ドーム状に持ち上げ、深い亀裂を発達させた。
- ④亀裂に雨が染みこみ、長い年月をかけて砂岩・泥岩層が侵食され、板状の岩(フィン)が形成された。
- ⑤砂岩の粒子の間を埋めていたセメントの部分が雨に溶け、水分の凍結、融解により砂岩の侵食が進みフィンに穴があく。
- ⑥侵食がさらに進み、穴が大きくなりアーチが形成される。

もっとも有名なアーチである「デリケートアーチ(Delicate Arch)」(表紙)はユタ州のシンボリック存在で、車のナンバープレートにも描かれて

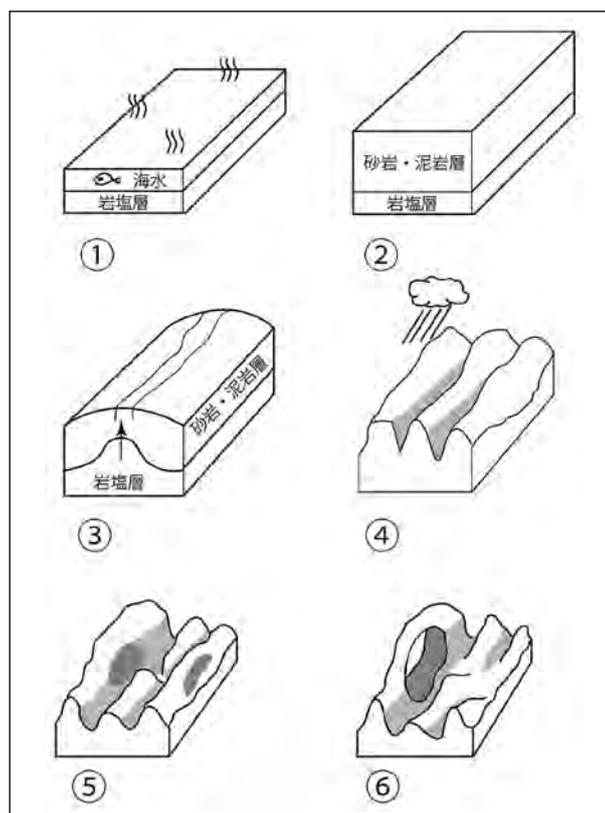


図7 フィンやアーチの形成過程

います。ここに行くには駐車場から約1時間かけて急な岩肌を登り、直前まで岩陰で見えないので、アーチを見たときの感動はひとしおです。

■砂岩の芸術「アンテロープキャニオン」

アンテロープとはウシ科の動物で、その角の模様と地層の縞模様が似ていることから、その名前がつけられました。

ジュラ紀前期（約1億9000万年前）の砂岩層が雨期に流れる激しい水流と、風による侵食作用により形成された峡谷で、間接光が砂岩層を柔らかく照らし、ラミネーション（地層の縞模様）が美しい世界を演出しています（図8）。アッパー（Upper）とロウアー（Lower）の2カ所があり、ロウアーは人がやっと通れるほどの狭い岩の隙間から中へ降りていきます（図9）。中はまるで他の星に迷い込んだと錯覚するくらいの異空間が続きます（図10）。晴天時の正午頃には隙間から入った太陽光が峡谷内に差し込み、サンビームを演出していました。世界からプロの写真家も多く訪れる場所ですが、1997年に鉄砲水で11名の方が亡くなったという悲



図8 ロウアーアンテロープキャニオンの内部

しい出来事も起きています。現地^{げんち}で雨が降っていても上流部^{じょうりゅうぶ}で降水があれば入場が制限^{せいげん}されるそうです。

■グランドサークルを巡るときの注意点

グランドサークルの国立公園は内陸にあるためとても乾燥しています。公園内を歩くときに飲料水は欠かせません。また標高差が大きいのも特徴です。2011年に訪れたときには、アンテロープキャニオンでは気温30度の高温にさらされ、グランドキャニオン近郊^{きんこう}では吹雪^{ふぶき}に会いました。キャニオン・デ・シェイ^{せいはらし}では砂嵐^{すなあらし}にも遭遇^{そうごう}し、気象状況の変化が激しいのも特徴です。

ラスベガスからはグランドキャニオンなど有名な公園にはツアーが出ていますが、時間を気にせず自由に回るにはレンタカーをおすすめします。



図9 ロウアーアンテロープキャニオンの入口



図10 ローアアンテロープキャニオンの内部

しかし、田舎にはほとんどガソリンスタンドがないので、早めの給油が欠かせません。ある程度の規模の町には必ずモーターがあり、予約なしでも大抵宿泊でき、料金も手頃で助かりました。

大部分のアメリカの国立公園、国定公園ではゲートで入園料を徴収しています。最近、世界文化遺産に登録された富士山など日本国内の自然公園のごみ、トイレなどの問題があがっています。料金の徴収方法、徴収場所など今後の課題は多いと思いますが、国内の自然公園も入園料を徴収し、それを維持管理に使用することで、自然環境を守っていくべきだと感じました。

このようにアメリカ南西部には日本ではほとんどみることのできない、ダイナミックな景観があり、今回ご紹介できなかったモニュメントバレー、ダイナソー、化石の森などそれぞれに魅力たっぷりの公園がありますので、機会がありましたらぜひ訪れてみてください。

立山・地獄谷の火山活動

増淵 佳子（富山市科学博物館 岩石担当）

立山は富山県に暮らす私たちにとっては大変身近な山ですが、「立山ってどんな山？」と聞かれた時に、あなたならどう答えますか？

「標高 3000 m を超える高い山だよ」

「雪がいっぱい降って、夏でも雪が残っていて、氷河もあるよ」

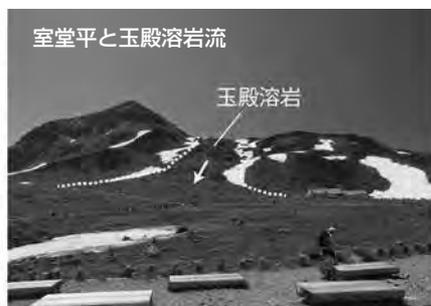
「弥陀ヶ原という所に湿原があって、秋には紅葉がとってもきれいだよ」

「ライチョウがすんでいるところ」

立山の特徴や素晴らしいところはたくさんあるので、きっと多くの答えが出てくるでしょう。そんな中で「立山は火山で今も生きている山だ



材木石



室堂平と玉殿溶岩流

玉殿溶岩



ミクリガ池

図1 立山火山がつくった地形・岩石

- *1 材木石：噴出した溶岩が冷える時に収縮により柱状の割れ目（柱状節理）が発達します。できた石の形が材木に似ていることから、材木石と呼ばれています。
- *2 室堂平：室堂平の平らな地形は、10万年前に噴出した火砕流が大地の凸凹を埋めたことで形成されました。さらに3～6万年前に現在の室堂山付近から噴出した溶岩流がその上を覆っています。
- *3 ミクリガ池：1万年前ころから地獄谷を中心に水蒸気爆発が発生し、大地を吹き飛ばすことで多くのくぼ地や谷地形が形成されました。

よ」と答える人は、もしかすると少ないのではないのでしょうか。今回は、あまり知られない「火山・立山」を紹介します。

■立山は火山

立山が火山である証拠^{しょうこ}は、いくつもあります。例えば、立山駅からケーブルカーで美女平駅へ向かう途中に窓から見ることのできる「材木石」^{※1}、美女平から高原バスに乗って走る「弥陀ヶ原台地」そして「室堂平」といった平坦な地形^{へいたん}^{※2}、水の透明度が高く晴れた日には湖面に映る山々が美しい「ミクリガ池」^{※3}など、立山に行ったことがある方なら誰もが知っているようなこれらの地形は、すべて立山の火山活動によって作られたものです（図1）。

■立山の火山活動

立山の火山活動は22万年前に始まり、主に溶岩を流出してきたほか、10万年前には大規模な噴火を起こし、火砕流が当時の称名川の谷を厚く埋めました。1万年前頃からは、室堂平周辺や地獄谷付近で、水蒸気爆発と呼ばれる噴火をたびたび起こしました。この水蒸気爆発によって地面が吹き飛ばされてできたのが、ミクリガ池やミドリガ池などのくぼ地^{くぼち}（湖沼）や地獄谷の谷地形です（図2）。地獄谷では現在も火山ガス活動や温泉活動が活発です。地獄谷の近年の火山活動について、少し詳しく見てみましょう。

■地獄谷の最近の活動

地獄谷の火山活動で特徴的なのが火山ガスの噴出で、100℃を超えるような火山ガスが地獄谷内のあちこちから噴き出しています（図3）。一般に火山ガスの成分はほとんどが水蒸気で、他にフッ化水素、塩化水素、二酸化硫黄、硫化水素、二酸化炭素などが含まれます。火山ガスにどんな成分がどれだけ含まれるかは、各火山、あるいは噴出している場所・温度などによって異なります。地獄谷の火山ガス中に含まれる硫化水素と二酸化硫黄（亜硫酸ガス）は人体に有毒なため、特に気をつける必要があります。過去には硫化水素ガスによ

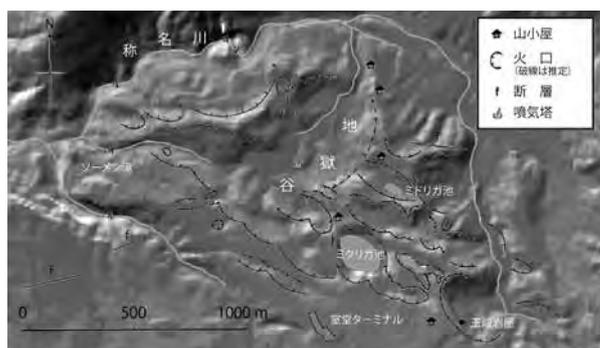


図2 室堂平周辺の火口の分布

原山ほか（2004）の第114図に加筆。基図は国土地理院発行数値地図50mメッシュ（標高）およびカシミール3Dを使用し作成した。



図3 地獄谷で噴き出す火山ガス（2011年撮影）

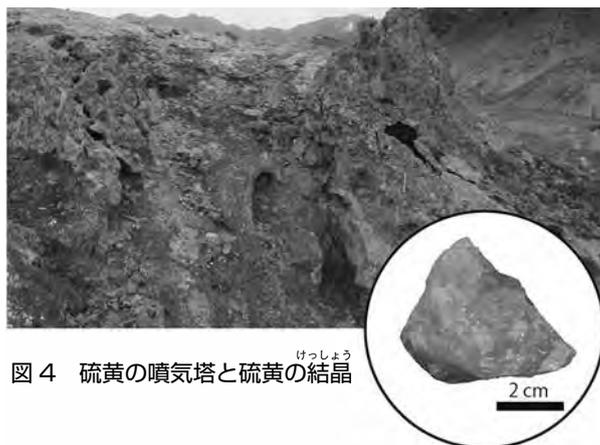


図4 硫黄の噴気塔と硫黄の結晶

る死亡事故も起きています（1950年以降計7回）。地獄谷では近年この火山ガス濃度が高くなっているため、2012年から立ち入りが禁止されています。

■地獄谷の硫黄

地獄谷で見られる火山現象は、火山ガスの噴出や温泉が湧くことだけではありません。地獄谷のシンボルともいえる鍛冶屋地獄の噴気塔に代表されるように、地獄谷では硫黄が産出します（図4）。この硫黄は、熱い火山ガス中に含まれる硫黄が地表付近で冷却され結晶化したもので、地獄谷の地面には硫黄が多く含まれています。これが時々熱い火山ガスによって溶かされ、硫黄の溶岩を形成することがあります。



図5 硫黄溶岩が燃えながら流れる様子
(2010年5月6日 渋谷茂氏撮影)

■硫黄の溶岩

溶岩とは、一般に地下で岩石が溶かされてできた800～1100℃程度の大変熱いドロドロとしたマグマが地上に流出して冷えて固まって形成された岩石のことをいいます。硫黄の溶岩はこのように二酸化ケイ素を主成分とする一般的な溶岩とは成分が違うので、流れるときの特徴や発生の仕方が異なると考えられます。しかし硫黄の溶岩は世界でも珍しいため、どういう特徴をもっているのか、どんなことに気をつけねばならないのか、あまり知られていませんでした。

2010年5月、地獄谷の鍛冶屋地獄と呼ばれる場所を中心に、100×40mの範囲で硫黄が燃焼しました(図5)。燃焼は10日間ほど続き、この時に硫黄が溶岩流として流れました(図6)。2011年から2012年にかけて、この時に発生した硫黄溶岩の分布や岩石の特徴を調べました。

硫黄の溶岩は一番大きいもので幅2mで長さ20mほどになります(図7)。またよく見ると、色や表面の構造、発泡度が異なる3タイプ



図7 黒色硫黄溶岩流

の硫黄の溶岩が形成されていることがわかりました(図8)。

【タイプ1：黄色溶岩】

色は黄色と灰色がマarmor状に混ざっており、発泡度が低く、表面はしずくが流れたような跡をもつなめらかな構造(パホイホイ状)をもつもの。

【タイプ2：黒色溶岩】

黒色で発泡度が高く、表面はガサガサとしている(アア状)もの。中には岩片や石英の結晶などが多く含まれる。2010年に発生した溶岩は、ほとんどがこのタイプ。

【タイプ3：灰色溶岩】

灰色で発泡度が低く、なめらかな表面(パホイホイ状)をもつもの。内部には岩片や石英の結晶を多く含む。灰色溶岩は、黒色溶岩の内部から生じて流れている。



図6 鍛冶屋地獄周辺で2010年に発生した硫黄の溶岩流(丘の上部から低所に向かい流れる黒色の部分)



図8 硫黄溶岩。表面の構造、外観色、発泡度により3タイプに分けられる。

■溶岩の違いの原因^{げんいん}

同じ地獄谷という場所から同じ時に形成されたのに、なぜこのような違いが生まれたのでしょうか。このような硫黄の違いは、硫黄が燃えながら流れたか、燃えずに流れたかの違いによると考えられます。

溶岩の表面の構造（パホイホイ状やアア状）は、溶岩の粘性（粘り気）の違いによって変わります。サラサラとした溶岩が流れると、なめらかな表面をもったパホイホイ状溶岩となりますし、ネバネバとした溶岩が流れると、表面はトゲトゲとしたアア状溶岩になります。この構造の違いをもたらす粘性は、流れるときの温度によって変わります。硫黄は、約160℃まではとても粘性が低くサラサラとしていますが、それより高温になると急に粘性が高くなりネバネバとします。つまり、硫黄溶岩の表面の構造を見れば、その溶岩が流れた時に何度程度であったかがわかるのです。硫黄の融点が約120℃なので、黄色溶岩は120～160℃程度、黒色溶岩は160℃以上であったといえます。黒色溶岩が形成されている現場を目撃した方に話を聞くと、硫黄が燃えながら流れていたということなので、燃焼により大変高温となったのでしょう。灰色溶岩は、この燃焼しながら流れた黒色溶岩からしぼり出されるようにしてできています。パホイホイ状を示すため、温度が低かったと考えられます。おそらく、黒色溶岩の燃焼がおさまったあと、冷却が進むにつれ硫黄溶岩の粘性が下がり、溶岩流の内部から流れだしたものであると考えられます。

発火の原因はまだわかりませんが、発生当時の記録と分布などから考えると、最初に非燃焼の硫黄溶岩が発生し、その後、何らかの原因で

発火し、地獄谷の地表付近にある硫黄が燃えながら広がっていったようです。

非燃焼の硫黄溶岩（120～160℃）は粘性が低いいため、流れる速度が早く、また広い範囲に広がります。燃焼しながら流れる硫黄溶岩は、粘性が高いため流れる速度は遅く、溶岩流はあまり広がりませんが、温度が高く、また燃え広がる可能性があります。また、硫黄溶岩が燃えると二酸化硫黄ガスが発生し、せきや気管支炎などの原因になりますので、注意が必要です。このように硫黄溶岩を調べると、どのように形成されたのか、どのように流れたのか、そして、どんなことに気をつけなければならないのかといった対策もわかるのです。

■火山と上手に付き合っていくために

このように火山は、時々危険な現象をもたらすこともあります。私たちに恵みをもたらすものでもあります。地獄谷で湧く温泉は、立山の雄大な景色とともに楽しめる日本一高所にある温泉です。地獄谷の硫黄は江戸時代には薬や火薬の材料として採掘し利用されていました。また立山カルデラ内にある新湯という温泉が湧き出す場所では、玉滴石というオパール^{きちよう}の一種が形成されており、学術的にも貴重な場所です。むやみに恐れるのではなく、どのような現象が起こっているのかきちんと調べ、起こった場合はどのようなことに気をつければいいのか明らかにし、理解して、火山や自然と上手に付き合っていきたいですね。 