

地質巡検記：アリゾナ中部 A geologic field trip in central Arizona

星 博幸*
Hiroyuki Hoshi

key words : Arizona, Canyon de Chelly National Monument, geology, Meteor Crater (Barringer Crater), Petrified Forest National Park, Sedona, Sunset Crater Volcano National Monument

1. はじめに

筆者は外国の学会や研究会に参加すると必ずその開催国または周辺国で地質巡検を行うことにしている。学会主催の巡検に参加することもあるし、一人で巡検計画を立ててレンタカーや路線バスを使って自由に行動することもある(どちらかと言えば後者が多い)。当然ながら巡検の目的は、露頭や地形の観察を通してその土地の地層や地質構造の成り立ちを現場で理解し、それによって自分自身の地質学の知識を増やすことであるが、より詳細な観察や岩石磁気実験のために岩石試料を採取することもある。特に日本国内の露頭で入手困難な岩石はできるだけ採取するようにしている。また、そのようにして蓄積した知識と経験を大学での教育に少しでも生かしたいと考えている。

本稿では 2013 年 12 月に米国アリゾナ州中部で実施した巡検の概要を紹介する。カリフォルニア州サンフランシスコで開催された米国地球物理学連合秋季大会 (American Geophysical Union Fall Meeting) の終了後、アリゾナ州中部(図 1) で 4 日間の巡検を計画・実施した。12 月なので高所での雪の影響を心配していたが、幸い天候に恵まれ、地層・地形を存分に観察できた。日程とコースを下に示す。なお、本稿では national park を国立公園, national monument を国定公園, national natural landmark を国定

天然記念物と訳すことにする。

14 日(土) サンフランシスコから空路フェニックス(Phoenix)へ移動。空港でレンタカーを借り、州道(state highway) 87 号線と 260 号線などを通してホールブルック(Holbrook)へ。ホールブルック泊。

15 日(日) ペトリファイドフォレスト(Petrified Forest) 国立公園へ。その後、州道 77 号線と 264 号線、国道(U.S. highway) 191 号線を通してキャニオン・デ・チェリー(Canyon de Chelly) 国定公園へ。ホールブルック泊。

16 日(月) 州間国道(interstate highway) 40 号線を通してメテオールクレーター(Meteor Crater) へ。その後フラッグスタッフ(Flagstaff) を経由してサンセットクレーター火山(Sunset Crater Volcano) 国定公園へ。その後州道 89A 号線を通してセドナ(Sedona) へ。セドナ泊。

17 日(火) セドナとその周辺で地層・地形観察。その後州道 89A 号線と 89 号線、国道 60 号線などを通してフェニックスへ。

2. フェニックスからホールブルックへ

14 日は昼過ぎにフェニックスに到着したため、この日は車でホールブルックに移動しただけであった。フェニックスの街を抜けて州道 87 号線を走っていると、夕日を受けて赤く染まった大きなサボテン(Saguaro; 和名は弁慶柱) が

*愛知教育大学理科教育講座地学領域
Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542, Japan
(hoshi@aeu.ac.jp)



図 1. 位置図. 黒色実線は今回の巡検で走ったルートを, 灰色実線は州間国道を示す. NM = national monument; NP = national park.

まわり一面に生えているのが見え, アリゾナを象徴する景色を楽しみながらのドライブになった。

3. ペトリファイドフォレスト国立公園

この公園 (図 2) はウィキペディア日本語版では「化石の森国立公園」と紹介されているが (文献欄の URL 1 を参照; 以下 URL1 のように表記), 「化石の森」はこの公園の本来の魅力を表していると思えないため, 本稿ではそのままペトリファイドフォレストと呼ぶ。この公園の見どころは

大量の巨大珪化木とそれを含むカラフルな色彩の上部三畳系 Chinle 層である (URL2; URL3)。数多くの巨大珪化木を手軽に観察できるという点で, この公園は世界的に知られている。

ホールブルックから州間国道 40 号線を東に 20 分ほど走り, 公園北部の Painted Desert 側のエントランスに到着。開館時間になってすぐに Painted Desert ビジターセンターで入園料\$10を支払い, 公園の道路状況等を確認した。そそくさとビジターセンターをあとにして, 公園内

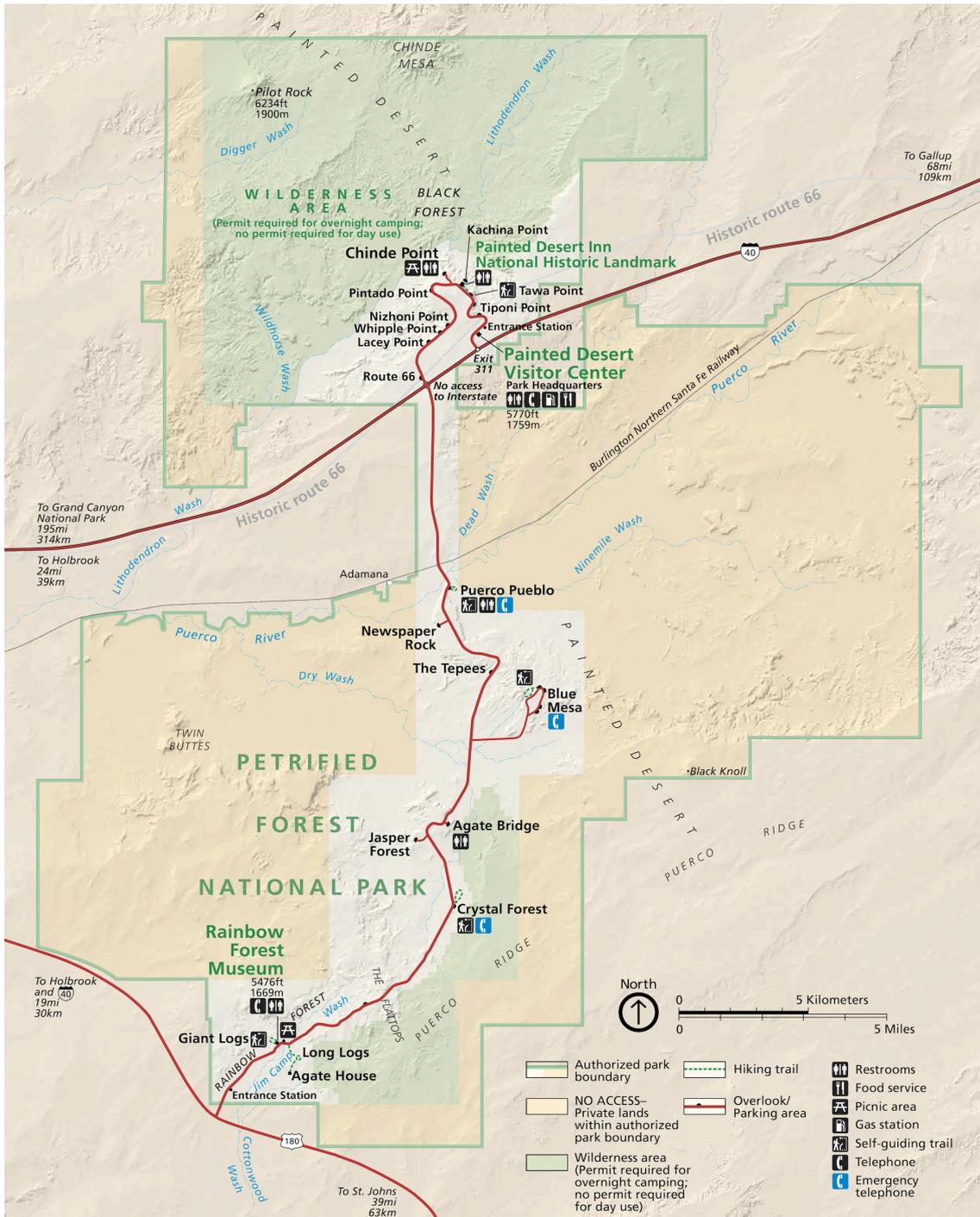


図 2. ペトリファイドフォレスト国立公園の地図。公園のホームページからダウンロードできる (URL12)。

を南北に通る長さ約 28 マイルの公園道路に沿って地層と地形、それに珪化木を観察した。

ビジターセンターから車を走らせるとすぐに Painted Desert Inn という国定歴史建造物 (national historic landmark) に到着 (図 3)。その名の通り元々は宿泊施設だったが (約 100 年前に建造され、その後改築されたという)、現在は博物館になっている。

この周辺には Painted Desert と呼ばれる独特

の岩相の地層が広く分布している (図 4)。地層は褐色～淡紫色～白色を示すが、これは地層中に含まれる鉱物の種類に由来するほか、堆積物の堆積環境の違いも強く反映していると考えられる (案内板の説明による)。Chinle 層からは珪化木だけでなく、シダ類、甲殻類、両生類、恐竜など多種の化石が産する。

Painted Desert の Chinle 層の上位には、後期中新世～前期鮮新世 (約 8～4 Ma) の陸成碎屑物



図 3. Painted Desert Inn. 国定歴史建造物に指定されている。



図 4. Painted Desert の眺め. Tawa Point にて。

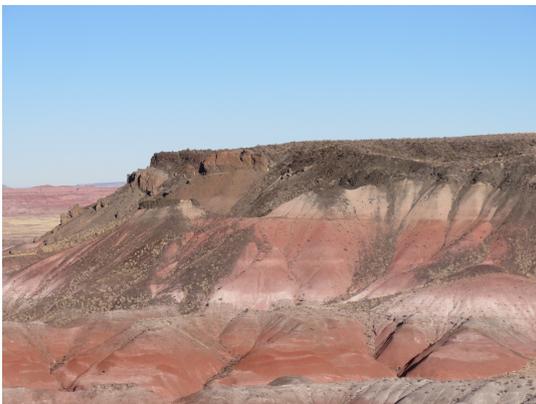


図 5. Chinle 層のカラフルな地層 (写真下半分の縞々の地層) と、それを不整合に覆う Bida hochi 層の玄武岩溶岩 (メサ頂部を構成する黒っぽい岩石). Nizhoni Point にて。

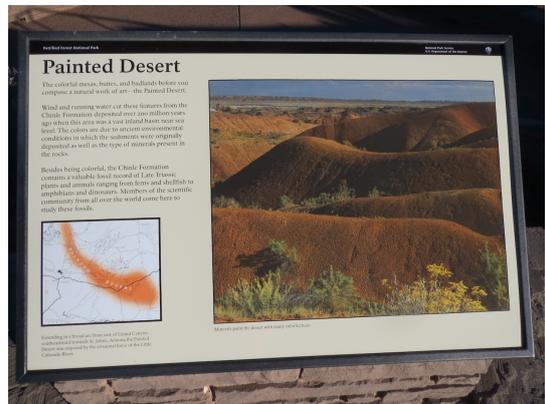


図 6. 米国の国立公園や国定公園, 州立公園などには, 地質や地形の説明が書かれた案内板が必ずある。



図 7. Blue Mesa のバッドランド。



図 8. Agate Bridge. 崩落しないようにコンクリートで支えられている。

と玄武岩溶岩からなる Bidahochi 層が不整合に重なり, メサ (mesa; テーブル状の丘陵や山で, ビュート butte より大きく, プラトー plateau より小さい) を形成しているところがある (図 5)。この不整合は公園道路からも容易に観察でき, 遠望ポイントには不整合の地質学的意義を説明する案内板もある。この公園に限らず米国

の国立公園や国定公園, 州立公園 (state park) などには, そこで観察できる地層や岩石, 地質構造, 地形などに関する詳細でわかりやすい説明が必ずある (図 6)。公園道路やトレイルを辿りながら案内板の説明を参考にして観察すれば, かなりの知識を得ることができる。

この公園を東西に横切るように, 旧国道 66 号

線 (Route 66) の跡がわずかに残っている。この公園の地質と関係ないので深入りしないが (個人的には地質と同じくらい興味がある)、案内板や旧式の車の残骸もある。

巨大な転石に多数の壁画が残されている Newspaper Rock というポイントを通ると The Tepees というエリアになる。ここでは Chinle 層下部を構成する赤、紫、黄、灰、白色などを呈するカラフルな地層が見られる。同様の地層はその南東の Blue Mesa ポイントでも観察される。この地層は Chinle 層下部の Blue Mesa 部層と Sonsela 部層に属し、220 Ma 前後の河川堆積物 (河道堆積物や氾濫原堆積物など) からなる。Blue Mesa のいわゆるバッドランド (badland) の景色は感動的である (図 7)。

さらに南下すると Agate Bridge というポイントがある (図 8)。ここは長い珪化木を含む軟質堆積物が流水による侵食作用で侵食されて深さ 100 フィート (34 m) の狭い谷が形成され、長い珪化木が谷に架かる天然橋のようになって残っているところである。案内板の説明によると、約 100 年前に Agate Bridge の崩落を防ぐためにレンガで補強された (その後コンクリートに変えられた) とのこと。しかし、現在の米国の国立公園システムの考えは「天然のものはできるだけ天然のまま」である。案内板には「If discovered today, Agate Bridge would be left in its natural state (もし今日発見されたなら、Agate Bridge はそのままの姿で残されただろう) とある。自然に対する現在の米国の考え方がよく現れていると思う。米国では例えば山火事が起こると、人命や建物に被害が予想されない限り放置されて自然鎮火するのを待つ。アリゾナやユタの山中を車で走るとしばしば過去に起こった大規模な山火事の跡を見ることができる。

Agate Bridge のすぐ近くに、巨大な珪化木がゴロゴロと大量に転がっている場所がある。Jasper Forest である (図 9)。高台から見下ろすと、地層から洗われ出された無数の珪化木が広大な大地に転がっている。あまりに大量なので、その有り難みが感じられないほどである。

Jasper Forest から Crystal Forest に向かう途中、公園道路は涸れ川 (dry wash; 図 10) を渡る。この地域は非常に乾燥しているが時々滝

のような降雨があるのだろう。土壌の発達が悪いため降水は地中にあまり浸透せず、地表流となって一気に流れるのだろう。このような涸れ川は米国西部の乾燥地帯では珍しくない。勿論、人工的な堤防はない。日本ではほとんどすべての河川に強固な堤防が築かれているため、河川の本래の姿がほとんど見られない。河川の本래の姿と地学的な役割、特に侵食と運搬を理解するために、このような涸れ川を学生や児童・生徒に観察させることは意義が大きいと思われる。

Crystal Forest の約 1.2 km のループトレイルはこの公園のハイライトの一つであろう。トレイル沿いで数多くの珪化木を間近で観察でき、触れることもできる (図 11)。地層に埋もれたままの珪化木もあれば、洗われ出されて転がっているものもある。珪化木の断面の形状から、かなり押し潰されたと考えられるものもある (図 12)。樹皮の構造がほぼ完全な姿で残っている珪化木もある (図 13)。埋没から 2 億年以上経っているが、とてもそのように見えない。なお、案内板の説明によると、心ない訪問者が過去に多くの珪化木を持ち去ってしまったようである。公園外の rock shop では立派な珪化木が販売されている。

Harris et al. (1997) によると、珪化木の多くは *Araucarioxylon* というグループに属する。現在の monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) や Norfolk Island pine (*Araucaria heterophylla*; ノーフォークマツ) はこのグループに由来すると考えられている。珪化木の中には長さが 60 m を超えるものや直径が 3 m を超えるものもあるという。

公園南側エントランスの Rainbow Forest Museum 付近でもトレイル沿いで巨大な珪化木を観察できる。時間の都合上、この付近の探索は簡単に済ませた。

この公園は河川成堆積物の岩相とそこに含まれる大量の珪化木を詳しく観察できるという点で、世界で最も良質な巡検地と言える。入園料が比較的安いのも嬉しい。

4. キャニオン・デ・チェリー国定公園

この公園はホールブルックから北に約 2 時間のところにある。チンリ (Chinle) という街 (Chinle



図 9. Jasper Forest. 地層から洗われ出された巨大な珪化木がゴロゴロ転がっている。



図 10. 干上がった河川. Jasper Forest と Crystal Forest の間の公園道路にて。



図 11. Crystal Forest ループトレイルで見られる珪化木。



図 12. 埋没で押し潰されたと考えられる珪化木. Crystal Forest ループトレイルにて. スケールのペンは長さ約 15 cm.



図 13. 樹皮の構造がほぼ本来の姿のまま残っている珪化木. Crystal Forest ループトレイルにて. スケールのコインは直径約 18 mm.

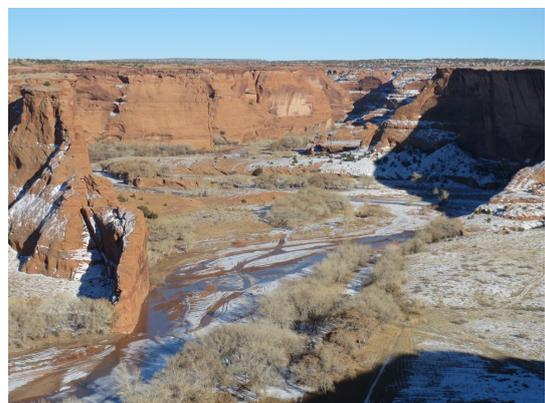


図 14. Chinle Wash が刻む谷. Tsegi Overlook にて。



図 15. White House Overlook から対岸岩壁の遺跡 (White House Ruin) を遠望。



図 16. White House Ruin. White House Overlook にて。



図 17. メテオールクレーターへ通じる道路 (Meteor Crater Road) にはこのような看板があり、訪問者の期待を高める。



図 18. Meteor Crater Road から見たメテオールクレーター。衝突によってまくれ上がってできた外輪山がよくわかる。



図 19. メテオールクレーターを形成した鉄隕石 (直径約 45 m と推定) の最大の破片。この破片は Holsinger 隕石と命名されている。ビジターセンター内に展示され、触ることもできる。



図 20. メテオールクレーターの北縁から南方を望む。衝突孔全体を写すには広角レンズが必要。

層の名の由来になっている) から東に 3 マイルほど走ると公園エントランスで、すぐにビジターセンターがある。入園は無料。この公園は紀元前からの原住民(ネイティブアメリカン)の居住跡や遺物、壁画などが残されていることで知られている (URL4; URL5)。案内板の説明によると、de Chelly という語はスペイン語で、ナバホインディアンの Tsegi (岩石の谷) という意味らしい。

この公園の地質は単純である。樹枝状に刻まれた谷の岩壁に、斜交層理の発達したペルム紀の砂岩が露出している (図 14)。この砂岩は De Chelly 層 (または De Chelly 砂岩) と呼ばれている。パンゲア超大陸の広大な沙漠に堆積した風成デューンと考えられる (Chronic, 1983)。層序的にはペトリファイドフォレスト国立公園で見られた Chinle 層の下位になる。この地域にも De Chelly 層の上位に Chinle 層の Shinarump 礫岩部層が薄く分布している。谷は広くて明るい。ダイナミックな景観を楽しめる。公園内には South Rim Drive と North Rim Drive という 2 本の公園道路がある。その名の通り谷の縁に沿うように通っており、いくつかの遠望ポイントから地形と地質を観察できる。私が訪れたのは夕方だったため、陽がだいぶ傾いてしまい、写真撮影には条件が悪かった。日曜なのに訪問客もほとんどいなかった。遅い時間だったのと、12 月中旬という時期のせいであろう (積雪があった)。

いくつかの遠望ポイントから、De Chelly 層の岩壁にへばりつくように存在する遺跡を見ることができる。White House Overlook ポイントでは、対岸の岩壁下部に White House Ruin という遺跡が見られる (図 15, 16)。遺跡まで行けるトレイルもある。

5. メテオールクレーター

ホールブルックから州間国道 40 号線を西に 1 時間ほど走る。この州間国道は旧国道 66 号線に沿うように通っているため、所々に残っている旧国道 66 号線に寄り道するとかつて米国を東西に結ぶ大動脈だった頃の面影を今でも見ることができる。

州間国道 40 号線からメテオールクレーターへ通じる道路 (Meteor Crater Road) に入る (図 17)。しばらく走ると、周囲よりも少し盛り上がった地形が前方に見えてくる (図 18)。衝突によって地層がまくれ上がった地形がよくわかる。

この隕石衝突孔はメテオールクレーター、バリンジャークレーター (Barringer Crater; 隕石衝突孔であることを初めて指摘した Daniel Barringer の名にちなむ) などいくつかの呼称があり、日本ではアリゾナ大隕石孔と呼ばれることもある。大隕石孔というものの直径は約 1.2 km、深さは約 170 m しかなく、地球上で確認されている巨大衝突孔 (例えばカナダ・ケベックの Manicouagan Crater, 直径約 100 km) に比べればかなり小規模である。しかし地球上で確認されている隕石衝突孔の中ではおそらく最も有名である。地質学的にも、これほど保存状態の良い隕石衝突孔を好アクセスで観察できるという点で貴重である。ウィキペディア英語版の解説がよくまとまっている (URL6)。ビジターセンターでもらった解説資料によると、この隕石衝突孔は約 5 万年前に直径約 45 m の Fe-Ni 隕石が衝突したことによって形成されたと推定されている。衝突時の速度は約 26000 mph (秒速約 11.6 km) だったと推定されている。衝突した隕石の大部分は瞬時に破壊・蒸発し、ごくわずかな破片が隕石衝突孔に残ったと考えられている。衝突孔の地下約 900 m 程度まで地層が破壊されており、その中にも隕石の破片が存在しているという。ただし衝突した隕石のサイズと速度については異なる推定もある (Masaitis, 2006)。なお、この隕石衝突孔は国立公園や国定公園ではなく国定天然記念物である。Barringer 家の所有で、Barringer Crater Company という会社によって管理・運営されている (URL6)。

ビジターセンターで入場料 \$16 を支払う。館内には隕石衝突孔の一般的解説やメテオールクレーターの詳細な解説、隕石標本展示 (図 19) などがあり、簡単な食堂とショップもある。ビジターセンターは衝突孔の縁にあるので、そこから外に出ると目の前に衝突孔が広がる (図 20)。

上記のように世界的に見れば巨大隕石衝突孔とは言えないが、それでも目の前に広がる大きな「くぼ地」とそれを取り巻く外輪山は壯観である。この地形がわずか数 10 秒から 1 分程度の時間で誕生したことを想像するのは楽しい。岩壁には、衝突の衝撃 (爆発) によってまくれ上がった地層が露出している (図 21)。これらの地層は下位より Coconino 砂岩, Toroweap 層, Kaibab 石灰岩, Moenkopi 層であり, Moenkopi 層が三畳系, それ以外の下位層はペルム系である (こ

れらの地層はグランドキャニオンの岩壁に好露出する)。全体としては層理が明瞭だが, よく見るとさまざまな程度に岩石が破壊されているのがわかる (図 22)。

6. サンセットクレーター火山国定公園

コロラド高原の縁に沿うように, 新第三紀～第四紀の火山が数多く分布している (図 23)。フラッグスタッフ付近には約 6 Ma 以降に活動した玄武岩質火山が 600 以上もあり (多くが噴石



図 21. 隕石衝突の衝撃 (爆発) によってまくれ上がった地層の断面。

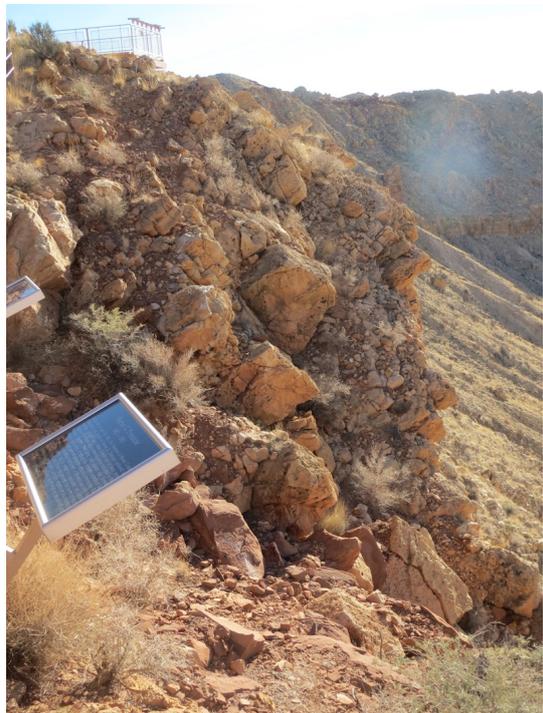


図 22. 隕石衝突の衝撃 (爆発) で角礫状に破壊された地層。

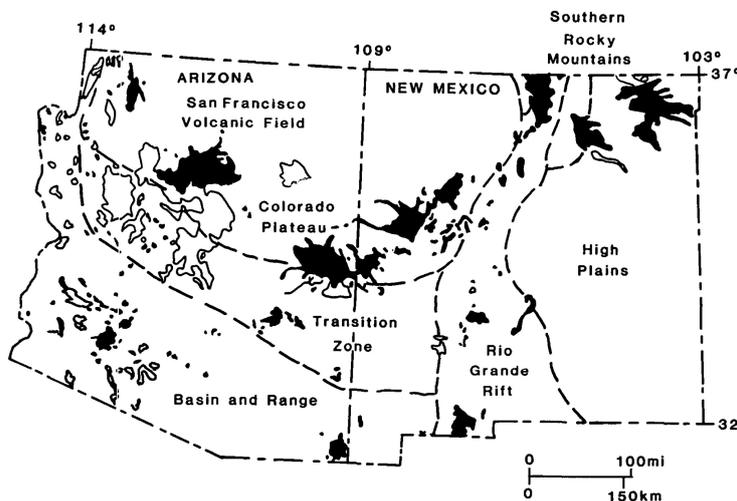


図 23. アリゾナ州およびニューメキシコ州の新生代後期火山地帯の分布 (Tanaka et al., 1986). 塗りつぶされているエリアは約 5 Ma よりも若い火山地帯, 実線で縁取られているエリアは 5 Ma よりも古い (16 Ma 頃以降の) 火山地帯。

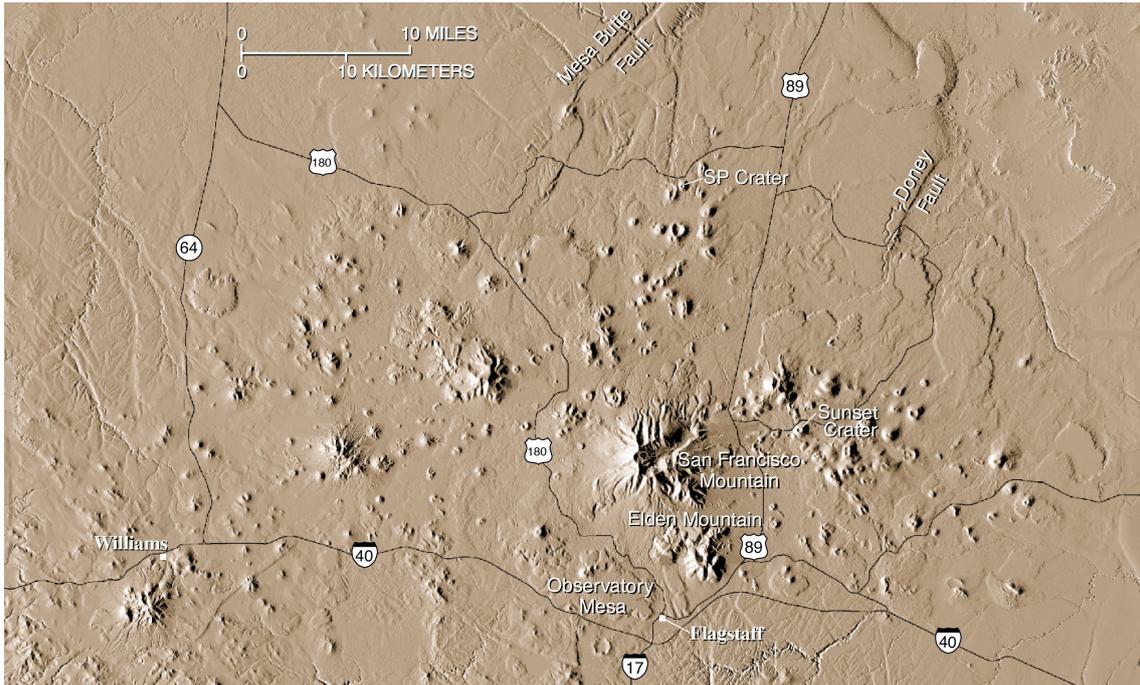


図 24. サンフランシスコ火山地帯. 600 以上の火山が密集する. 米国地質調査所の資料 (Priest et al., 2001) による.



図 25. サンセットクレーター火山. 西側からの展望.



図 27. スライドロック州立公園の Oak Creek. 夏になると天然ウォータースライダーで賑わう.



図 26. サンセットクレーター火山から流れ出した Bonito 溶岩流の縁部に見られる溶岩堤防 (lava levee).

丘; 図 24), その噴出物は約 4800 km² の面積を覆っている (Tanaka et al., 1986; Priest et al., 2001)。この付近はサンフランシスコ火山地帯 (San Francisco volcanic field; URL7) と呼ばれ

る。サンフランシスコ火山地帯では火山の活動年代が西から東に向かって若くなる傾向がある。この原因については、この火山活動がホットスポットに関連しており、ホットスポット上を北



図 28. セドナの街と周囲の山々。岩壁の下部は Supai 層群の赤色岩からなり、上部 (白っぽく明るい地層) は Coconino 砂岩からなる。

米プレートが西に動いているためという考えがある (Tanaka et al., 1986)。

この火山地帯の中で最も新しい火山が、約 900 年前に活動したサンセットクレーター火山である (図 25; URL8; URL9)。比高約 300 m ほどの玄武岩質噴石丘で (標高は 2450 m)、山頂部には玄武岩質噴石丘を特徴づける比較的大きな火口が開いている。山頂火口部のスコリアが高温酸化によって赤褐色～黄褐色を呈し、遠望すると非常に美しい (ただし今回は積雪のためよくわからなかった)。火山礫や火山灰などの火砕物が周辺の約 2100 km² に降下したという (URL9)。かつては山頂部に至るトレイルがあったが、現在は封鎖され、山頂に登ることはできない。火砕物を吹き上げただけでなく、この火山は玄武岩溶岩も流した。溶岩にはトレイルがあり、溶岩内部のさまざまな溶岩微地形を観察できる (図 26)。噴火から 900 年ほど経過しているため、それなりに植生が回復している。

サンセットクレーター火山の周辺にはいくつかの噴石丘があり、サンセットクレーター火山国定公園と隣接するウパキ (Wupatki) 国定公園を結ぶ Loop Road と呼ばれる道路沿いでよく観察できる。

7. セドナ

フラッグスタッフから州道 89A 号線を南下すると一気に標高が下がる。コロラド高原の縁である。この坂道の途中にも断続的に露頭がある。最上部に新第三紀～第四紀の火山噴出物があり、それに不整合に覆われて下位に順次 Kaibab

石灰岩、Coconino 砂岩、Supai 層群が現れる (Chronic, 1983)。Coconino 砂岩は白っぽく明るい色調を示すが、Supai 層群の地層はいわゆる赤色岩 (red rock) である。この赤と白のコントラストが魅惑的な景観をつくる。セドナはそんな美しい風景の中にある。

セドナの手前にスライドロック (Slide Rock) 州立公園という川遊びのできる場所がある (図 27; URL10)。Oak Creek という川で天然のウォータースライダーを楽しめるところで、夏は大変な賑わいになるらしい。ここには Supai 層群の赤色地層 (砂岩とシルト岩の互層) が好露出する。

セドナは地質よりもスピリチュアルやパワースポット、ボーテックス (vortex) の地として世界的に有名である (URL11)。筆者は感度が悪いのか、全く感じることはできなかったが、いくつかあるとされるパワースポットには多数の人々が集まり、パラボラアンテナのような機材を持って何やらやっていた。そのような少し変わった (?) エリアだが、セドナの地質と地形は一見の価値がある (図 28)。夕陽と朝日を受けて真っ赤に染まる岩壁の美しさはグランドキャニオンに肩を並べるであろう。

8. セドナからフェニックスへ

セドナからフェニックスへは州間国道 17 号線を使えば 1.5 時間ほどで行けるが、今回は地質を観察するためにあえて遠回りし、かつての鉱山街であるジェロム (Jerome) を通り、プレスコット (Prescott) を抜けて、フェニックスに戻った。

9. 文献

- Chronic, H., 1983, *Roadside Geology of Arizona*. Mountain Press Publishing, Missoula.
- Harris, A.G., Tuttle, E., and Tuttle, S.D., 1997, *Geology of National Parks, Fifth Edition*. Kendall/Hunt Publishing, Dubuque.
- Masaitis, V.L., 2006, Review of the Barringer crater studies and views on the crater's origin. *Solar System Research*, **40**, 500—512.
- Priest, S.S., Duffield, W.A., Malis-Clark, K., Hendley, J.W. II, and Stauffer, P.H., 2001, The Sun Francisco volcanic field, Arizona. USGS Fact Sheet 017-01, U.S. Geological Survey.
- Tanaka, K.L., Shoemaker, E.M., Ulrich, G.E., and Wolfe, E.W., 1986, Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona. *Geological Society of America Bulletin*, **97**, 129—141.
- URL1: <http://ja.wikipedia.org/wiki/化石の森国立公園>
- URL2: <http://www.nps.gov/pefo/index.htm>
- URL3: http://en.wikipedia.org/wiki/Petrified_Forest_National_Park
- URL4: <http://www.nps.gov/cach/index.htm>
- URL5: http://en.wikipedia.org/wiki/Canyon_de_Chelly_National_Monument
- URL6: http://en.wikipedia.org/wiki/Meteor_Crater
- URL7: http://en.wikipedia.org/wiki/San_Francisco_volcanic_field
- URL8: <http://www.nps.gov/sucr/index.htm>
- URL9: http://en.wikipedia.org/wiki/Sunset_Crater
- URL10: http://en.wikipedia.org/wiki/Slide_Rock_State_Park
- URL11: http://en.wikipedia.org/wiki/Sedona,_Arizona
- URL12: <http://www.nps.gov/pefo/planyourvisit/maps.htm>