

東京地学協会海外見学旅行「アメリカ西部の大峡谷をゆく」参加記

徳 山 明*

Geodynamic Excursion through the West of America

Akira TOKUYAMA *

今回の地学協会企画の標記ツアーは、2003年11月1日から8日まで、8日間のアメリカ地質見学旅行であった。本会西川 治会員はじめ、当初の予定を上回る26名が参加し、天文・地学に興味ある人、地学を専門とする人たちが集まった。フラグスタッフのローウェル天文台を訪れ、今地球に接近している火星をそこで見たいという人も多かった。この度の企画では、ここから生まれた惑星地質をテーマに、隕石孔と周辺に多数存在する単成火山の噴石丘との比較から始まり、グランドキャニオンのトレッキング、デス・バレーとサン・アンドレアス断層という世界的な二大活構造の見学まで、多彩で先端的な内容を分かりやすく、深く、かつ、エピソードを交えた興味深い説明を受け、日々感動を新たにした旅であった(図1)。

ツアーを企画・立案し、周到な準備をしていた、かつ懇切な案内をされた白尾元理氏(写真家;火山・惑星地質)、遠田晋次氏(産業技術総合研究所;活断層)並びに益田 豊氏(静鉄観光サービス㈱)に心から御礼申し上げる。

I. 惑星地質学発祥の地フラグスタッフ:ローウェルとシューメーカーの足跡をたどる

第1日 ローウェル天文台

11月1日夕刻、成田を発ち、サンフランシスコ経由、空路でフェニックスに到着。フェニックスからはバスで先カンブリア時代の台地を登ること3時間でフラグスタッフに到着。日本出発直前の予報では、くもり時々雨ということだったが、心配

したとおり、途中時々驟雨のような雨。ローウェル天文台と火星に惹かれて来た人々も多く、ため息がもれた。「本来ここは天気がよく、今まで雨に降られたことがない」と白尾さん。しかし夜8時にフラグスタッフに着くと雲間から月が顔を出した。雨のため、有名な口径24インチ望遠鏡を使って観測することはできないものの、望遠鏡は見学できるということで、元気を取り戻し、天文台へ向かった。

半生を日本で過ごし、神道に傾注し、1890年代に当地に天文台を作ったバシーバル・ローウェルの生涯の話を聞き、まずは資料館へ。直筆の火星「運河」の観察スケッチ、宇宙拡大説を裏付けた分光望遠鏡、冥王星発見につながった計算ノート、そして没後の1930年に冥王星の発見が確認された写真資料等々、ローウェルゆかりの品々があり、往時をしのぶことができた。その後、この天文台は惑星観測のセンターとして活躍したことなどの話に耳を傾けた。「これだけは見ていって下さい」との白尾さんの誘導で、ユージン・シューメーカーらが月の観測に使った口径50cmのレンズを見学した。このレンズと24インチのレンズによって月面地質図ができた。これこそ惑星地質学(Astrogeology)の原点と、シューメーカーのこの地での幅広い活躍の一端に触れ、新たな感銘を受けた。

資料館から外へ出ると、雲の切れ間から澄んだ空に月と火星がくっきりと見え、天文台の用意した小型の望遠鏡で観察することができた。大接近の時程の大きさではないものの、澄んだ空にくっ

* 富士常葉大学長; 富士市大淵 325

* Fuji Tokoha University



図 1 主な見学地点と宿泊地。
(背景の地図は NASA, SRTM のレーダー画像を使用．作成：白尾元理)

きり浮かぶ火星を見ることができ、この地に天文台を作ったローウェルの気持ちになって、いよいよ口径 24 インチのクラーク望遠鏡のドームへと向かった。ドームの扉をあけると全長 10 m、重さ 6 t の赤道儀の偉容に圧倒された（口絵 1 写真 1）。見上げるとドームの内側は細い木の板で編んだ籠状になっており、その上に箱型の覆いをかけたものとわかった。ドームの回転を支えるのにトラックのタイヤを 26 個並べて作ったことなど、随所に工夫がこらされていることに感嘆の声があがった。ローウェルの熱意を支える地元職人の知恵と協力があつたからこそ世界最大級の屈折望遠鏡ができたという沿革を知り、またまた感激。この大きな望遠鏡を標高 2200 m のこの地に据え付けるについては、当地の空気が澄んでいてまわりが真っ暗という観測条件に加えちょうどその頃開通した大陸横断鉄道が当地を通ったことが、大型機械の運搬に便宜を与えたことが助けになったのだろうという説明に納得した。残念ながら、この望遠鏡で直接火星を観ることはできなかったが、この大きな望遠鏡を手で動かして見せて貰い、ローウェル、シューメーカーなどの数々の業績を生んだこの地

と天文台を実感することができ、一同飛行機とバスの長旅の疲れもふき飛んで、感激と満足の初日であった。

第 2 日 メテオール・クレーターとサンセット・クレーター：シューメーカー博士の足跡をたどって

隕石孔メテオール・クレーター

フラグスタッフの町を外れるとすぐにエルデン火山、サンフランシスコ火山等たくさんの単成、複成火山のスコリア丘が遠望され、期待が膨らんだ。やがて真っ平らな平原に、火山の噴石丘とは違う、皿を伏せたような平たい隕石孔の外縁が遠望された。ペルム紀の真っ平らなカイバブ石灰岩と、ココニノ砂岩の平原にできた平たい窪みとそれを取り囲むリング状のこのクレーターが、隕石孔と決着するまでの歴史を伺った。クレーターの研究はアメリカ地質調査所初代の所長ギルバートに遡り、彼は所長退官講演ではじめて火山性のクレーターと隕石孔の違いを述べた。他方、隕石の破片が散らばっていることに着目し、このクレーターの下に鉄・ニッケル等の金属が埋もれていると信じ、鉱山技術者バリンジャーは探査に生涯を

かけ、ボーリング調査を行ったが、資金切れで中断した。そしてシューメーカーは孔の縁での地層のめくれ上がり構造を研究し、高圧鉱物コース石・スティショフ石の発見が隕石孔である決定打となった、と興味深く聞くうちに隕石孔博物館に到着した。

まずは隕石孔が一望できる縁上の展望台へ登った。眼下に広がる直径 1.2 km、深さ 200 m の 5 万年前にできた円形の窪みと、完全に保存されているその側壁の偉容に圧倒された（口絵 1 写真 2, 3）。カイバブ石灰岩とその下の赤色層が縁でめくれ上がっている構造を間近に確かめ、隕石衝突爆発時の衝撃の大きさに威圧された。館内で大画面の映像で隕石孔ができた巨大隕石衝突のシミュレーションやシューメーカー・レビー第 9 彗星の木星への衝突など、インパクトある映像を見た後、休日ではあるが特別の許可を得て、側壁の南縁を歩かせてもらうことができた。ここにはカイバブ石灰岩とココニノ砂岩の破片が分布しており、もちろん火山岩は全くない。よく見ると、ココニノ砂岩の表面が溶融してところどころピカピカ光っているのがわかった。「この中にコース石が入っていると思います」と白尾さん。白尾さんはここで直接シューメーカーに会い、その案内で隕石孔の下まで降りて、彼がコース石を発見した地点で説明を受けた唯一の日本人学者だけに、その説明はより一層得心できるものだった。さらに館内の展示の中でコース石を含むココニノ砂岩の研磨標本など、実物に触れ、また感銘を新たにした。

博物館を後にして、次は火山性のサンセット・クレーターへ向かった。車中シューメーカー博士のこの地での業績について詳しい説明を伺った。彼自身、最初の宇宙飛行士に地質部門の専門家として応募したが、健康上の理由で果たせなかった。しかしその実績により宇宙飛行士教育者として活躍し、特にこの隕石孔を使い、飛行士が、月面で隕石孔と火山とを区別するための訓練に当たった。他方、ネバダでの核爆発実験でできた爆裂孔を研究するうち、縁の地層のめくれ上がりなど、隕石孔と爆裂孔とが非常によく似ていることから、さらに詳しくこの隕石孔を調べ、高圧鉱物発見につ

ながった。その後、彼は、地球に他の天体が衝突する可能性を考え、小惑星の研究に没頭し、その副産物として多数の彗星を発見し、木星に衝突した有名なシューメーカー・レビー第 9 彗星も発見した。さらに、隕石孔については、アメリカ以外にもあるはずと考え、外国の隕石孔も調査した。私自身もかつて調査したことのあるドイツのリースでも彼は研究の足跡を残した。最後に、オーストラリアに新しい隕石孔発見の調査に行き、不慮の交通事故により急逝したとのことだった。ローウェル天文台での月面地質図作成、小惑星の研究から、隕石孔の研究と衝撃変成、さらに宇宙飛行士の訓練まで、惑星地質学の学問をまさにここで起し、学問的基礎を確立したシューメーカー博士の功績について、白尾さんの慈しみをこめた説明に、一同深い感銘を受けた。

サンセットクレーターの噴石丘

白尾さんが用意された DEM 合成画像では、サンセット・クレーターは、まん中が窪んだ噴石丘のきれいな形が印象的であった。この 40 km × 30 km の画像にはサンフランシスコ火山、エルデン火山等の複成火山の他、単成火山のスコリア丘が 60 ~ 70 数得られ、月面のクレーターを見る感じであった。これらの火山の噴出年代は 2000 万年前位のものから、サンセット・クレーターのように 900 年前に噴出したものまで様々な由である。木の茂り方で新旧がわかるとのことだが、それにしても、もともとの火山地形が全く壊されずに保存されているのが印象に残った。日本では風化侵食作用が速いため、このような保存状態はとても考えられない。サンセット・クレーターは富士山北西麓青木ヶ原にある寄生火山の大室山と形や大きさがよく似ている。青木ヶ原は 1300 年前の噴出溶岩であるが、この方はすでに木でおおわれていて、普通の空中写真では地形がわからない。最近、航空機からのレーダービームを使った合成画像で、溶岩の出口や噴石丘などの詳細な地形がわかったばかりであり、比較すると面白い。

サンセット・クレーターに近付いてみると、スコリアの噴石丘がそのままに残され、真っ黒のスコリアの上に、頂上付近だけ赤い噴石が載ってい

た(口絵1 写真4)。その夕日に映える赤い色からサンセットの名前が付いたという。この噴石丘はお椀を伏せたような形で上がやや平たく膨らんで見える。富士山のように上が急な円錐形でないのはなぜだろう。スコリアを75°~90°の角度で噴き上げ、安息角の斜面を残して外側に広がっていったのだとの説明であった。麓には溶岩がかなり広く分布しており、黒いガラガラの溶岩流の表面がそのままに保存されており、伊豆大島の最近の溶岩流を見るようであった。この溶岩の上に三日月状で赤い噴石丘の一部と思われるものがあった。「これは元の火口の一部で、後から噴出した溶岩流によって底をすくわれ、そのまま上に載ってプカプカ浮いて運ばれてきたのでしょうか」の白尾さんの説明に、なるほどと思った。現在のこの噴石丘はこの火山では最後の噴火時のものなので、このようにきれいに残っているが、後に大きな噴火があれば、壊されてしまうのかもしれない。この噴石丘は国立公園に指定されていて、壊さないために立ち入り禁止となっていることを伺い、富士山の自然破壊が進んでいる日本の現状と比べると、我々も、自然保護にもっと力を注がなければと思った。

隕石孔と火山の噴石丘、この二つの全く異なる典型的な実物に接し、地球のダイナミクスを直に肌に感じ、いよいよ次はこのツアーのクライマックス、グランドキャニオンへと向かった。フラグスタッフを後にして、2時間あまり北上。途中見渡す限り、平坦な古生代の地層が広がり、その上にたくさんのスコリア丘、溶岩流の堆積面などが次々と車窓に現れては消える中で単成火山の復習を行った。ベイズン・アンド・レンジ地域の説明を受け、やがて、コロラドの大平原が視界一杯に広がるようになり、小コロラド川の峡谷が見え始め、グランドキャニオンの光景に期待が膨らむ中、キャニオンのサウスリムに着いた。

II. 3億年の旅 グランドキャニオン

グランドキャニオン国立公園サウスリムの東入口ゲートで手続きをすませ、案内図のあるきれいなリーフレットを貰った。グランドキャニオンは

深さ約1500m、長さ1100kmにおよぶ、コロラド川の削った断崖、地球最大の露頭である。まずはデザートビューの展望台に立った。思わずオーッと感嘆の声があがった。カイバブ石灰岩とココニノ砂岩のおなじみの白い層がバンドとなって台地表面を形作っている。この下に真っ赤なハーミット層と赤壁をなす石炭紀石灰岩等々が規則正しく配列されている。石炭紀層の下にはやや傾斜したグレーのグランドキャニオン累層群がある。教科書で見えるような典型的な傾斜不整合である。さらにその下には黒色の結晶片岩がある。これは先カンブリア時代の褶曲した地層だ。多少霞んではいるが、平坦な赤白の縞模様の地層が見渡す限り広がり、その下の黒い結晶片岩の中を深緑のコロラド川が流れている。本などで見覚えのある景色だが、写真より遥かに雄大な景観を目の当たりにして、時間を忘れてこの断崖を見下ろし、いよいよ明日はここを歩くぞと期待を新たに、宿所のヤバパイ・ロッジに向かった。

第3日 ブライト・エンジェル・トレイル

朝6時出発。軽い準備体操の後、空が白むのを待って、折から霰の降る中を出発。今度の巡検では最大のイベントだ。「この出発点にあるのが昨日まで見てきた2.7億年前にできたカイバブ石灰岩です。歩いてゆく今日の終点プラトー・ポイントには5.5億年前のカンブリア紀にできたトント層群の地層があります。ですから全部歩けば、3億年を旅することになります。途中約300m下がった1.5マイル・ポイント、さらに300m下がった3マイル・ポイント、また300m下がったインディアンガーデンと、途中で引き返すことができるので、無理をしないように」とリーダー白尾さんから御注意があった。そうはいわれても、やはりコロラド川が直下に見られる所までは、との思いはみな同じ。結局ほとんどの人が最終目的地のプラトー・ポイントまで行くことになった。

まずはカイバブ石灰岩：この砂質石灰岩には腕足介、二枚介などの化石が含まれ、浅海でたまった地層である。石灰岩は温度の高い海水が波でかく乱されているような、海岸や浅海でたまる。この時代、ヨーロッパやアメリカの中北部では乾燥・

大陸性の赤色層ができており、この地層の下には赤色層があることでも高温乾燥の気候だったことが知られる。ココニノ砂岩：カイバブ石灰岩の下の層で、これは砂漠などの風成層で、2方向の斜交層理が発達している。石英の多い砂岩で、堅いので急な断崖を作っている。

ここまで下りてきたところで、朝日が射し、対岸の暗い崖の一部がパーッと金色に輝いた。日の光が谷に射し込み、陰影が刻々移り変わって、光と陰の織りなす光景に息をのんだ。

ハーミット層：この層はココニノ砂岩の下にある赤色の砂岩と頁岩で、高温乾燥の大陸性気候下でできた。上の砂岩にくらべ、軟らかいため、崖は作らずスロープとなっており、1.5マイル・ポイントまで続いていた。谷の中に断層があり、右岸と左岸とで地層の高さに多少のずれがあるのが確認された。スーパイ層群など砂岩頁岩の層があり、平行不整合をへて、この下に石炭紀上部の赤色がグレーの地層がはさまる。その下はまた崖をつくるレッドウォール石灰岩となった。この石灰岩は名前のように表面は赤いが、谷に削られて内部が露出している所では、水に洗われ真っ白であった。つまり、ハーミット層から赤色の酸化鉄が染みでて赤壁となったことがわかった。「石炭紀の時代、アメリカの中北部では、石炭を含む陸内し頻海層が分布しているが、南部では海成となって石灰岩が堆積している」と教科書に書いてあったのを思い出した。3マイル・ポイントは赤色層の中、ここで記念写真を撮って貰い、インディアンガーデンへ向かった（写真1）。谷が開けてきて、向こうの緩い緑の丘陵状の上にトレイルの道が続き、その先にブラトー・ポイントが見えた。木一本生えていなかった途中のトレイルの景色が一変して、大きなコットンウッドなど樹木が茂るようになり、水辺のキャンプ場インディアンガーデンに着いた。この付近は段丘などの表土におおわれ、地層の露出はないが、地質図では基盤にはグランドキャニオン累層群が分布していることになっている。

谷を涉り、緩い丘陵地を進んだ。あたりにはいろいろな種類のサボテン。上からみると牧草のような緑の草に被われて見えたが、サボテンや丈の



写真 1 ブライト・エンジェル・トレイル3マイルポイント付近での記念撮影（グランドキャニオン）。

低いトゲトゲの木だった。周りの谷には褐色の地層が露出しており、これがカンブリア紀のトント層群であった。緩傾斜のトレイルを下るとブラトー・ポイントに到着した（表紙写真；口絵1写真5）。崖ふちに立ってみると、下にはコロラドの深緑の川が右から左へ、3億年間の地層を切り、さらにその下の暗褐色の結晶片岩を削って滔々と流れていた。バンザイ！これを見にきたのだ。この感激を、とみんなで記念の写真におさまった。

足下を見ると、水平な赤色砂岩の表面に、海岸を示す漣痕と、センチウ類らしい生物の這い跡があった。このような生痕のある堆積条件から、カンブリア紀中部のブライトエンジェル頁岩かまたはターピート砂岩の赤色砂岩ではないかと思われる、3億年の旅をもう一度確認した。

復路は往路の2倍の時間がかかるということで、昼食後、早々に出発。往路とはまた違った景観を見つつ、一步一步登った。最後の1.5マイル・ポイントを過ぎ、標高2000mを越えると、冷えてきた。気圧のせいかわ息が切れ、やっとトレイルの出発点にたどり着いたのが午後4時半であった。

その夜の夕食時に、自己紹介をかねて全員が感想を述べた。以前からの願いがかなって来たという人もあり、グローフェの交響組曲「大峡谷」を思い浮かべた人もあった。みんな、来て、歩いて、本当によかったと感激と感謝の気持ちでいっぱいだった。

第4日 ラスベガスへの移動

翌朝は快晴。ヘリコプターにのって上から眺めようという人、アイマック・シアターの大画面でグランドキャニオンのスペクタクルを見ようという人、もう一度南縁を歩いて、キャニオンの別の景色を見ようという人、午前中それぞれ思い思いに楽しんだ。昨日の道をもう一度俯瞰できるトレイルビュー展望台に行きたいと白尾さん、10人あまりがお伴することとなった。展望台に立つと、昨日のジグザグのトレイルが一望された。あそこが1.5マイル・ポイント、あの屋根が3マイル・ポイントの小屋、あの緑の所がインディアン・ポイント、あの向こうがプラトール・ポイントと、全部のルートがそのまま見えた。あそこを歩いたのだと、1.5マイル・ポイントへ行く延々と続く大きなジグザグをもう一度見下ろした。急な崖に沿って、よくぞこのような道を作ったものと、またまた感激を新たにした。反対側を眺めると、昨日は見られなかったキャニオン西側の眺望が得られた。同じ地層の続きとはいえ、谷の切れ方により、また違った光景となる。明るい太陽の光と谷の暗い影が交錯して、天工の美に心を奪われる思いであった。それにしても、どのようにしてこのような大峡谷が生まれたのか。自然の驚異、地球ダイナミクスをまたまた実感し、感銘を深めることとなった。

サウスリムには、蓄電池や天然ガスで走るシャトルバスが15分おきに走っており、誰でも無料で利用することができる。この国立公園内では、このようにして自動車の乗り入れを規制し、環境を守り、この大自然の姿を後世に遺そうと努力を続けているとの説明に、日本も見習わなければと痛感した。

グランドキャニオンを離れ、一旦南下して、ウィリアムスを経て“ルート66”へ入った。映画の舞台となったこの場所を昔のまま保存しようと、地元の人たちが熱心に活動している由。映画セットのような街づくりで、マリリン・モンローやジェームス・ディーンの等身大の人形看板などがあって、ここだけは別世界のようなハンバーガー・ショップで小休止して、一路西へ。ブルヘッドシ

ティでコロラド川を渡り、ネバダ州へ入った。コロラド川はもはや峡谷ではなく、滔々と水を湛え、ゆっくりと流れる大河となっていた。

III. アメリカの活断層：デス・バレーとサン・アンドレアス断層

第5日 デス・バレー：砂漠とアメリカ最低の窪地

砂漠の中の一大人工都市ラスベガスを出発すると、すぐに乾燥した大平原に出た。単成の火山や、火砕流が上に載っているが、だんだん乾燥地特有の地形が出てきた。車窓から見ると、丘陵の山麓部には沖積扇状地が発達していた。ところどころに白い砂丘も見えるようになった。地図を見るとアマルゴサ・デザートとあり、川の流れの跡がある。ところどころに湖のような白い面が発達していた。水面のように見えるが水はなく、湖が干上がり白っぽい沈殿物を残した乾湖であった。地図では北へサルトベータス・フラットと続いているが、まさに真っ平の乾燥原野を数10分も真直ぐバスが走って行った。日本では味わえない光景である。

山が迫り、木がこんもりと茂るオアシスにくると、そこがスコティーズ・キャスルであった。アメリカの大富豪が避寒用に作った、贅をこらしたお城のような別荘だ。小休止の後、西へ。デス・バレーの北を横断して着いたのがウベヘベ・クレター（口絵1 写真7）。「昨日の復習です。これは隕石孔でしょうか、火山の噴火口でしょうか？」と白尾さん：「まわりには火山のスコリアがなく、ここには縁のめくれ上がる構造がないから、火山噴出口。西の縁には小さな噴火口もあり、これらは最近の有珠火山噴火のような水蒸気の噴気孔の跡のようです。このような小さな噴気の跡がたくさんあるのも有珠によく似ています。」

次は遠田さんの説明。遠田さんは活断層などの専門家なので今日、明日の断層運動の案内をして下さることとなった。「ではデス・バレーのことを話します」と画板をとりだして、図を描きながらの説明：「デス・バレーは長さ約150 km、幅20～30 km、南北にのびる平たい窪みの谷で、東西

の縁には幾つかの断層があり、まん中が落ち込んだ形になっています。今日これから見る東縁の部分を断面で描くと、このように、断層は、将棋の駒を東側に倒したようになっていて、西に傾斜しています。地表の水平な層はこの断層のブロックでは東傾斜になっています。西の縁は東側の逆方向になっています。このような構造は横に引っ張られた時にできると考えられます。このデス・バレーの北には北西方向の北部デス・バレー断層（NDVFZ）があり、南には南東方向に南部デス・バレー断層（SDVFZ）があり、両方とも右横ずれの断層で、このデス・バレーは両方の断層で引っ張られてできた窪みで、プルアパート・ベイズンといいます。この引き裂かれた基盤は先カンブリア時代の地層ですが、谷には約 1000 万年前からの湖の地層や、湖が干上がってできた地層、それらが川で運ばれた扇状地の堆積物等があり、それぞれがこの東縁の断層で切られていて、地形的に古い断層から新しいものまでを見ることができます。今日は東縁の古い断層と、一番最近に活動した新しい断層などを見ます。」車窓からは扇状地の堆積物を切る、最近に動いたと思われる南北の断層が見え、扇状地の傾斜によっては、いわゆる閉塞丘があるために、はっきり断層とわかる崖が一直線につながっているのが遠望できた。

このデス・バレーは、また、アメリカでも一番乾燥している地域で、砂漠のほか、鹹湖が干上がってできた岩塩や、ホウ素を含む鉱石などもある。「ウベヘベ・クレーターは標高 736 m、しかし、デス・バレーにはアメリカでは標高最低の海拔 86 m の場所まであり、今日はそこまで行きます。途中に海拔 0 m の標識があります。」と白尾さん。まずは砂丘へ向かった。さらさらした白い砂に足をとられながら 10 m 程の砂丘に登った。バスの車窓からは、あまり高さが感じられなかったが、足を踏み入れてみて、見渡す限りの砂漠の広大さに、思わずワッと歓声があがった（口絵 1 写真 8）。足下をみると、規則正しい風紋の上に何か動物の這い跡があった。「これはウサギかな、これは狐かな、いや、コヨーテかな？...」「アッ虫だ！」みると 2 cm 程の青緑色の甲虫が、オールで水を掻く

ように砂を蹴って、懸命に走ってゆく。2 列の規則正しい蹴り跡が延々と続いている。蛇の這い跡かと思ったが、これは虫だったのだ。それにしてもこの乾燥した砂漠の中でどのようにして餌を探すのだろう、と、しばしこのけなげなコガネムシにカメラの放列が集まった。

砂丘の谷間には水が流れた跡があった。水溜まりの表面が固まった粘土層には、亀の甲のような乾裂がある。ルーペで砂粒を見ると、丸い粒の大きさがきれいに揃っているのが観察できた。砂丘の断面には規則正しい斜交層理があって、風の方向がわかった。というわけで、教科書に載っている砂漠の堆積を実感した。靴の中が砂一杯になってバスに戻った。

「砂漠といっても、砂ばかりではありません。礫を敷き詰めたような所もあります」という話で、今度は礫の丘へ向かった。表面には角ばった礫が、まるで舗装工事を行ったように、びっしりと敷き詰められていて、よく見ると、河原の礫が流れに沿って配列するように、礫の長径は NE-SW 方向に揃っていた。卓越風の方角を示しているのだろう。それにしても、ここの礫の表面は、ワニスを塗ったように、黒褐色に光っていた。表面に鉄やマンガンなどの酸化物の膜が付いたのか。これも砂漠の特徴の一つと、白尾さん。もう一つ、どうしても見せておきたいと、元の道に戻って別の礫の丘へ向かった。「ここでは三稜石ができかけています。」北東と南西というように 2 方向の卓越風によって削られて、2 方向の面ができ、シャープな稜で境されていた。ここには発泡した玄武岩溶岩があり、風に削られた面では、もともと丸い孔が細長い孔の列となっていた（写真 2）。この 30 m くらいの高さの礫丘もその強い卓越風でできたものと、風の営力の大きさを肌で実感することとなった。

東へ戻り、ザプリスキー・ポイントへ向かった。ここは第三紀の湖成堆積物から、ホウ砂を採掘した跡で、黄褐色の層の中で、緑の濃いところがホウ素の多いところであった。地層の傾斜は西向きであるが、東へゆくとだんだん急になり、東縁の主断層となる。傾斜の変わってゆく、この地層の



写真 2 風食によって削られた玄武岩（デスパレー）。

ねじれた部分が、主断層による横ずれの引きずり帯になっている。デス・パレーのでき方が一目にわかる、これだけの広い幅の引きずり帯が一望にできるのも、乾燥地帯なればこそと、この雄大な眺めに見入った。

午後の見ものはデビルズ・ゴルフコース（口絵 1 写真 9）。鹹湖が干上がってできた岩塩層に乾裂ができ、その角がめくれ上がってできた凸凹の、ごつごつした地形であった。遠くには鹹湖が白く広がっていた。表面の岩塩層が雨にぬれたり、乾いたりを繰り返してひびが入ったという。乾燥した日、耳をすますと金属性のひび割れ音が聞こえると表示板にある。悪魔のゴルフコースとは、面白い呼び名だ。交通の不便な昔、この荒涼とした砂漠を通り掛かって、思わず悪魔を連想したのだろう。賽の河原という感じだったのだろうか。岩塩が夕日に映え、独特な風景となった。太陽が沈むころ、バッドウォーター・ベイズに到着した。暗くならないうちに、まずは活断層をと道路わきの崖へ向かった（口絵 1 写真 10）。扇状地の礫層が引きずられて、地層の層向 N45°W、傾斜 SW85°。「これが一番新しい断層で、この垂直の層が、ずっと向こうまで繋がっています。」と遠田さん。薄暗くなって、地層の引きずりの状態などが明瞭に見えないのは残念だったが、間違いなく活断層と納得し、鹹湖に引き返した。白い岩塩層の表面に乾裂が入り、ちょうど諏訪湖の氷の上に

できるお神渡りのような隆起が走っていた。海面下 282 フィートという、アメリカでは標高の最も低い場所で記念の写真を撮って、今日の日程は終了。日も暮れ、真っ暗闇の砂漠を走ること 2 時間半、にわかに光の渦巻くラスベガスに入り、ホテルに到着した。

第 6 日 サン・アンドレアス断層

早曉ラスベガスを発ってサンフランシスコへ。すぐにメンロパークの地質調査所を訪ねた。ここは遠田さんがかつて共同研究で滞在したところで、ボズクルト博士や同僚が暖かく迎えてくれた。さっそく活構造や断層についての最近の研究結果の説明をお願いした（口絵 1 写真 11）。サン・アンドレアス断層と、一群の平行な断層について、それぞれの地震履歴に基づいて、2000～2030 年の間に、サンフランシスコ湾岸地域で M6.7 以上の地震が起る確率は 70% という数字が出た。8 本のそれぞれの断層について、この期間に断層が発生する確率を計算し、重ねあわせた結果である。このような数字を知って、地域の人々が来るべき地震に備えを続けてくれるとよいというお話であった。この分野では、日本の研究者の貢献が大きく、日米の研究協力が進んでいるとの話を、心強く感じた。この付近では、トレンチ調査による断層の地震履歴のほか、光波測量、GPS などにより、地殻の動きが精力的に調査されているが、サン・アンドレアス断層群の活動の経過を振り返って、2000 万年間に、断層西側のポイント・レイヤス半島がどのようにずれ動いたかを、連続したアニメ画像にしたものを見せていただいた。地質図など購入の後、調査所を辞し、1906 年のサンフランシスコ地震の際に動いた断層を見ることとなった。見学場所は 2 か所：南のロス・トランコスと午後の予定のポイント・レイヤス半島のベア・パレーである。いずれの場所でも断層露頭は地震の跡として保存され、分かりやすい説明の表示があるのは素晴らしいと感じた。

ロス・トランコス保護区域には 1.5 マイルの断層見学周遊道路があり、番号の付いた杭があり、詳しい説明の表示があった。No.1 は断層沿いの陥没によるサグ・ポンド。冬には水が溜まり、湿地

となる。この海岸山脈の上では、池はこのような断層沿いのサグ・ポンドか、地這りでなければできない由。「向こうに見えるロマプリータ山は北米プレートの上にあり、あなたはいま、太平洋プレートに載っている。両プレートの境がこの谷で、そこをサン・アンドレアス断層が走っている」という表示板の説明があった。

No.3 は 1906 年地震で亀裂となった場所。今は亀裂が埋められて、平らな道の面となっている。地形的には不連続で、断層の上とわかった。

No.4 は断層が柵を横切り、北西方向に約 3 フィートずらした所（口絵 1 写真 12）。谷の下方の柵はもとの物であるが、上の部分は断層のずれがわかるように復元したもので、柵の材料はこの保護区域内の 100 年位前の柵から材料を取ってきたそうである。1906 年の地震では、断層のずれは、震源地のポイント・レイヤス付近では 5 ~ 6 m はあったが、ここから南では小さく、1 m 以下であった。

サンフランシスコへ戻る途中、クリスタル・スプリング湖付近では、プレッシャー・リッジの地形が見え、断層が北西にのびている様子がわかった。

ベア・バレー保護区

フィッシャーマンズ・ワーフで昼食の後、ゴールデンゲート・ブリッジを渡り、州道 1 号線を西に登り峠を越えた。天気によければ海岸の素晴らしい眺めがあるはずなのに、巡検の最後になって、残念ながら天気が崩れ、雨模様で眺望はだめだった。ボリナス湾から北はいよいよサン・アンドレアスの断層地溝帯に入った。西側の半島側はもちろん太平洋プレート、そのインバーネス・リッジと北米プレート東側のボリナス・リッジとの間のバスの走っているこの谷が断層の地溝帯で、ここでは 1906 年の地震の際、大きな変動があった。地溝帯に入るとはっきりとしたプレッシャー・リッジが続き、活断層の谷に入ったことがわかった。薄暗くなって、車窓からは写真の撮影は無理になってきた。地図にはリフトゾーン・トレイルとしてこの地溝帯を歩く案内コースが書いてある。

地震によって隆起した約 120 m の峠を越えて北西のオレマに着いた。前の車とはぐれてしまい、ベア・バレー・ビジターセンターに着いたのが閉館 10 分前であった。資料を求め、アースクエイク・トレイルへ向かった。牧場の斜面に断層沿いに青い杭がたてられ、ここが 1906 年の地震の時の断層跡とわかった。ここでもロス・トランコスのように、牧場の柵が断層でずれていた。すでに暗くなって辺りの景色はよくわからないが、ところどころに立札があり、1906 年の地震当時のここでの写真が展示してあった。ここは震源の真上と考えられ、ずれの量も約 5 m と大きい。地質図では、太平洋プレート側のこの半島部には花こう岩が分布しているが、断層の東、北米プレート上でこれに対応するのはシエラネバタの花こう岩で、両者の間のずれは約 600 km あり、2000 万年かかってずれてきたと考えられている。暗くなってしまい、断層の東西での岩石・地層の違いを直接見られないのは残念であった。しかし、この断層地溝帯には、地形的にはっきり活断層を示す、新しいプレッシャー・リッジもあって、動きつつある大断層を実感することができ、『地球ダイナミクスの旅』を終わった。

ローウェル天文台とメテオール・クレーターからはじまり、隕石の衝突による爆裂孔と火山の噴火でできた噴石丘で惑星地質を学び、大峡谷の 3 億年間の地層を削る深い谷と雄大な景観を楽しみ、デス・バレーで乾燥の極地を感じ、最後に数百キロのずれをもつ大活断層のサン・アンドレアス断層で同じ環太平洋の地震帯に接した、壮大なアメリカと地球ダイナミクスを肌で感じ取った 1 週間であった。早朝から日が暮れるまで、息をつく間のないほど見学事項が一杯で、内容の濃い巡検であった。それにしても、短時間によくぞこれだけたくさんの地質事象に触れ・見ることができたものと、驚きで一杯である。地学が本当に好きな白尾さんでなければこのような巡検は企画できなかったであろうと、改めて敬意と感謝の気持ちを披瀝し、擲筆する。