

## 東京地学協会第 16 回海外巡検報告

## 「カリフォルニア巡検 (2012 年海外見学旅行) に参加して」

渡邊喜美子\* 渡邊トキエ\*\*

## Report on the 2012 Geological Field Trip in California

Kimiko WATANABE\* and Tokie WATANABE\*\*

## I. はじめに

2012 年 9 月 17 日から 28 日、カリフォルニア巡検に参加いたしました。東京地学協会主催の海外見学旅行にははじめての参加でしたが、12 日間というもの大自然の前に圧倒され、言葉では尽くせないほどの感動を味わいました。このままの時間がもっと続いて欲しいと願いながら帰途につき、数か月経った今も貴重な資料を前にその世界に浸っています。

著者は互いに活断層の仕事を通じて知り合い、このたびの案内者である奥村晃史先生とも 20 数年来のお付き合いになりますが、地質学についてまったくの素人ながらも、いつかサンアンドレアス断層をご案内いただきたいとお願いしていたことが、期せずして今回現実となりました。奥村先生は、2011 年に広島大学の学生を連れて今回とほぼ同じコースで巡検をされたとのことでしたが、その時に 15 人乗りバンの運転のために必要な中型免許を取得され、それが今回も役立つという、大きな労をとられてのご案内でした。

カリフォルニア南部のロサンゼルスからはじまり、モハベ砂漠、デスバレー、ヨセミテ渓谷を経てサンフランシスコ湾岸地域に至る長距離の巡検 (図 1)、奥村晃史先生 (広島大学) と近藤久雄先生 (産業技術総合研究所) お 2 人の企画と案内

による 12 日間に及んだこの長旅をご報告してみたいと思います。

## II. 9 月 17 日 (1 日目)

## 成田-ロサンゼルス-パームデイル

午後 1 時 40 分、成田国際空港に集合。参加者が初顔合わせ。奥村先生のアシスタント役である近藤先生より自己紹介があり、続いてこのたびの巡検の参加者は案内役のこのお 2 人と、近畿日本ツーリストから委託を受けてワゴン車の運転にあたる加賀さんを含めての計 20 名であることなどをうかがう。15 時 40 分、ロサンゼルス空港へと出発。

同日午前 9 時 40 分 (現地時間) ロサンゼルス空港に到着。駐車場から 15 人乗りバン 2 台に乗って出発。ほどなくハチドリが舞い、椰子の木やブーゲンビリアの赤い花が南国を思わせるサンタモニカビーチで最初の見学。すべてがスケールの大きい北米の世界に入ったことを実感しながら、ロサンゼルス盆地北部は北方の山地からの土砂が堆積した扇状地状の地形 (河成段丘) であること、サンタモニカ山地はサンタモニカ断層やハリウッド断層の活動によって隆起したものであること、など説明を受ける。山麓の海岸に露出する段丘堆積物の砂礫層を観察の後、車中からサンタモニカ断層撓曲崖の連続やビバリーヒルズの街を

\* kimiko.iwao@mbe.ocn.ne.jp

\*\* tokie703@beige.plala.or.jp

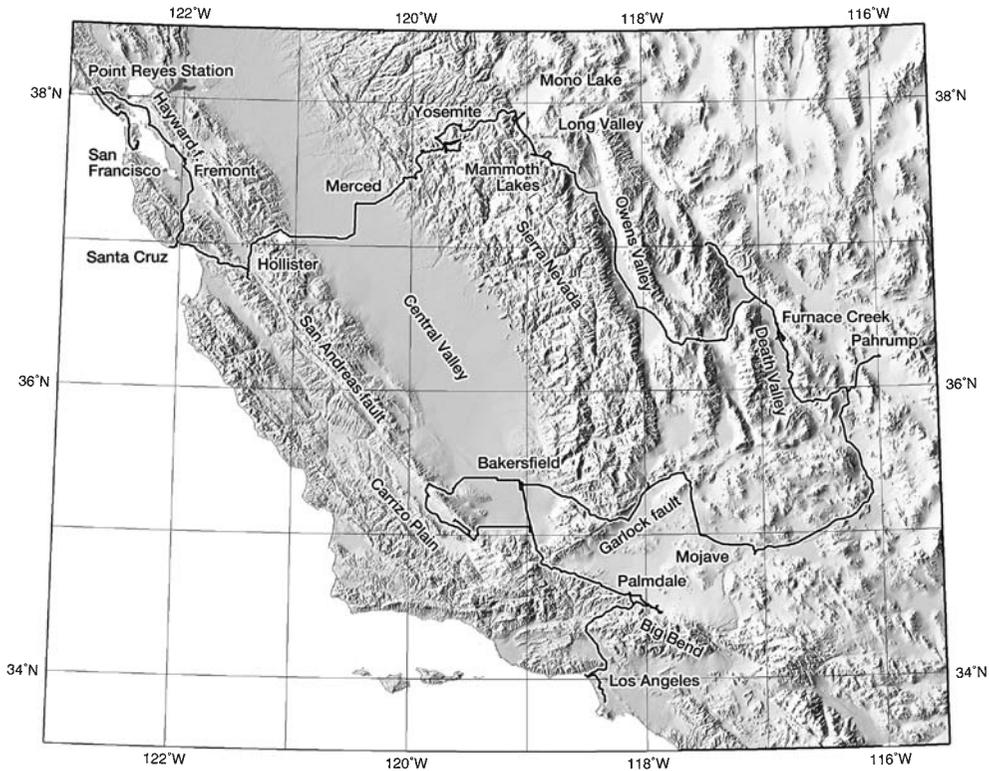


図 1 カリフォルニア巡検のルート。全長約 3000 km。陰影付レリーフマップは SRTM 3 秒 DEM に基づく。

見ながら東へ移動する。

次に、ハンコック公園のラブレアタルピット (La Brea Tar Pit) を訪れる。公園のあちこちに、中新世の堆積岩を母岩とする原油が自然に滲みだし、揮発性成分が抜けたあとに残されたタル (アスファルト) が池のように溜まっている。タルを防水材料などに利用するために採取した跡がタルピットである。タル溜まりの上の水を求めて、あるいは足をとられて動けなくなった動物を餌食にしようとしてタルに呑まれた第四紀の多種多様な動物が完全な状態の化石として発掘されて、同じ公園内のページ博物館に展示されている。絶滅種や氷期に限られた種を多数含む哺乳動物化石群は、ランチョラブレアン (Rancho La Brea) 動物群と呼ばれ、北米の代表的な第四紀化石動物群集とされている。

タルピットからハリウッド断層を横切り、そ

の北方の盆地で起きた 1971 年サンフェルナンド地震、1994 年ノースリッジ地震の話をはかしながら、太陽光発電でその名前を覚えたモハベ砂漠へ。フリーウェイに沿ってサンアンドレアス断層を見下ろす展望台があり、ここで断層とはじめて対面。断層はこの正面のパームデイル湖 (Palmdale Lake) の北岸近く、左右に連なる低い丘の手前を走っていると聞く。午後 7 時、皆元気で初日の宿パームデイルの Holiday Inn Palmdale Lancaster に到着。

### III. 9月18日 (2日目)

#### パームデイル-ベイカースフィールド

朝 8 時、ホテル玄関前集合。奥村先生、近藤先生作成によるルートマップと見学地点についての詳細な案内書を手に 10 人ずつ 2 台のワゴンに分乗。以降、奥村先生の運転する車の後を、加賀

さんが運転，近藤先生が助手席に乗る車がついていくという形で長い旅がはじまった。奥村先生は地形地質を私達に解説され，時に経歴も専門も多彩な顔ぶれの参加者のために観光ガイドもしてくださるなど，これから三面六臂の活躍をされることになる。

パレットクリーク (Pallett Creek) では，1978 年当時大学院生だった Kerry Sieh の歴史的なトレンチ掘削 (Sieh, 1978a) の跡を見学した。幸運なことにサンバナディーノ (San Bernardino) 郡立自然史博物館が野外展示としてトレンチの壁面を 8 月に復元した直後だった。このため完璧なトレンチ壁面がおそらく 35 年前以上に見事に断層を露出させていて，活断層研究をご専門とする松田時彦先生の説明も加わって皆で長時間の観察となった。地震の記録を地層から直接読み取ろうと，牧場の片隅を借りて家族でトレンチを掘ったその発想と意気込みには頭が下がる。泥炭層と洪水堆積物の厚さ 4 m あまりの互層を見ながら，この地点の西と東でサンアンドレアス断層からの地震発生様式が異なり，この地点の地震発生系列がむしろ特異であることがわかってきたとの説明も受けた。

次いで，ペアブロッサム (Pearblossom) の見事に保存された断層変位地形をつぶさに観察した。ここでは 10 日前に奥村先生も参加して，南カリフォルニア地震センターによって地震変位の計測技術検証のための集会が行われた。その集会の一環ということで許可を得られていたため，私たちも普通は立ち入ることのできない私有地に入って見事な断層変位地形の前に議論をすることができた。

それから，1857 年フォートテホン (Fort Tejon) 地震の名前の由来であるテホン峠を越えセントラルバレー (Central Valley, あるいはサンホアキンバレー: San Joaquin Valley) という広大な盆地に入った。石油井戸の傍らでホイーラーリッジ (Wheeler Ridge) の不思議な階段状地形 (Bielecki and Mueller, 2002) についてひとしきり議論をして，盆地南部の中心都市ベイカースフィールドへ。午後 6 時半，Four Points by Sher-

aton Bakersfield 到着。

#### IV. 9月19日 (3日目)

##### ベイカースフィールド-カリゾ平原

7 時半，ホテル出発。降水量が少なく河川浸食が活発でないために断層変位地形が良好に保たれているカリゾ平原 (Carrizo Plain) を 2 時間ほど歩く予定。

まず南の端からカリゾ平原に入り，一面黄土色の景色のなかサンアンドレアス断層の東側を遠くに断層線を眺めながらドラゴンズバック (Dragon's Back) へ。ドラゴンズバックはエルクホーンヒル (Elkhorn Hill) と呼ばれる丘陵の一つの丘であり，その南西斜面にある細かい谷と尾根の並びが竜の肋骨のように見えることから龍の背中と呼ばれている (図 2, 図 3)。

この丘はサンアンドレアス断層に沿うプレッシャーリッジであり，最大幅 500 m，断層沿いに 3 km にわたって分布しているという。浸食は南東から北西に進み，斜面は順に幼年期，壮年期，老年期の様相を示しながら北西端で丘陵が消滅しているとの説明であった (Hilley and Arrowsmith, 2008)。皆で海拔 647 m の頂上に立ち記念撮影。

平原を北に進むと高度 30 m の砂丘状の丘があり，それを遠くに眺めながら，ソーダレイク (Soda Lake) 地点では走って塩を舐めに行かれた方が「辛い!」と言って戻ってこられた。次に，有名なウォレスクリーク (Wallace Creek) を訪れた。Dr. Robert E. Wallace はアメリカの活断層研究の先駆者であり，合衆国地質調査所で研究を続けて多くの日本人にも敬愛された人である。彼に因んで Dr. Kerry Sieh が命名した小さな屈曲したこの谷は，1857 年フォートテホン地震 (M7.9) の際のカリゾ平原の横ずれ変位量や累積的な河谷の屈曲が明らかにされた場所である。クリークとは小さな川を意味するが，その後この地点では Dr. Kerry Sieh をはじめ多くの研究者によるトレンチ，B4 Lidar などさまざまな手法を駆使した調査が続いて新たな知見も生まれたとの奥村先生の説明であった。また，アリゾナ州

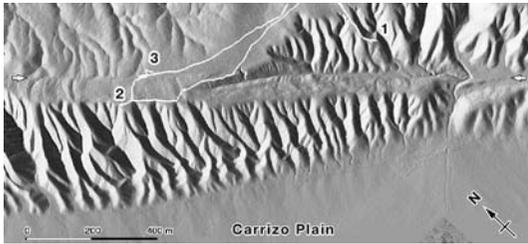


図2 カリゾ平原北方のドラゴンズバックの陰影付レリーフマップ. B4 LiDar Project のレーザー スキャナデータに基づく 1 m DEM (SIO Visualization Center at Scrips Oceanography Institute for Geophysics and PLanetary Science, 2013) から作成した kmz ファイルを Google Earth を用いて表示した. 白線はハンドヘルド GPS レシーバで記録した巡検のトラック. 1: 図3の撮影地点, 2: ドラゴンズバックの最高点. 3: サンアンドレアス断層 (白矢印の間) の観察地点.



図3 ドラゴンズバックから俯瞰したサンアンドレアス断層. 画面右下から, カリゾ平原との間の低い長丘の手前を南東に延びる (3日目).

立大の Dr. Ramon Arrowsmith らの B4 LiDar (航空レーザー計測) データの地形解析 (Zielke *et al.*, 2012) によって, これまで最新の地震時変位量とされた 10 m の横ずれ (Sieh, 1978b) が複数の地震による累積量であることもわかってきたとのことであった。周囲の小渓谷の屈曲は明瞭で, 大地震が長期にわたって繰り返されてきたことがわかる。この日はサンアンドレアス断層沿いのほんとうに典型的な断層地形を堪能して, 5時半, ベイカースフィールドの宿に戻った。

## V. 9月20日 (4日目)

### ベイカースフィールド-パーランプ

今日も晴天。朝8時半出発。テハチャピ (Te-hachapi) 山地を超えるあたりで, 何千基もあるという風力発電の風車を遠くの山並みに見ながら, 一路ガーロック (Garlock) 断層へ。セントラルバレーとモハベ砂漠を分けるテハチャピ山地の南東縁を走っているのがガーロック断層。この断層はサンアンドレアス断層と共役の北東-南西走向で, 約 250 km の区間にわたって明瞭な断層崖や河谷・火山岩類などの左横ずれ変位を形成している。

扇状地を横切る直線的な低断層崖を眺めながらレッドロックキャニオン (Red Rock Canyon) へ。

ここでは, 中期から後期中新世に噴出した白色火山灰層と赤色砂礫層の美しい互層を観察することができた。これらの噴出物はガーロック断層の左横ずれによって 30 km もずらされているという (Frankel *et al.*, 2008)。

明日, 南の端からデスバレーに入るため, 米軍射爆場の南側を大きく迂回してネバダ州パーランプ (Pahrump) に向かう。車で1時間走ってもまるで緑のないモハベ砂漠のなかを走り続けて山地に入り, パーランプまであと 30 分というところで驚きの大露頭が現れた。正断層で見事に切られた基盤岩の上にぎらぎら光る真っ黒な帯, その上には赤茶けた地層。車を止めてみんなが露頭に走り寄ると, その黒い帯は火砕流堆積物の基底が強く溶結して黒曜石となったものだった。活断層の前は火砕岩を専門とされた松田先生を中心に溶結凝灰岩の流動変形や圧密変形, 堆積物全体の断層変位について議論が盛り上がった (図4)。

## VI. 9月21日 (5日目)

### パーランプ-ファーネイスクリーク

例によって早々に朝食を終え, 8時, パーランプのホテルを出発。山をいくつも越えたあとは, ひたすら下り続けてデスバレーへ。今日は広大なバレーの南半分を見学の予定。「水の無い沢歩き 2時間, 荒地歩行 1時間」とスケジュール表にあるので, 今日の行程が最もハードと心して臨ん



図4 パーランプ西方の溶結凝灰岩・黒曜石・正断層露頭。写真の下半を横切る黒光りする帯は、火砕流堆積物が再溶融してできた黒曜石。上部の強溶結凝灰岩に移行する（4日目）。



図5 デスバレー、モルモンポイントのケアンズキャニオン上部。盆地床に対して隆起する50～100万年前の湖成層（氷期）と礫層（間氷期）の互層が広域火山灰を挟んで露出する。左上にLava Creek C火山灰（イエローストーンカルデラ起源、約100万年前：5日目）。

だ。案の定、熱暑のなか大きな岩のころがる沢を歩くのは予想以上に大変。

デスバレーは、アメリカで最も海拔標高の低い内陸盆地で、東カリフォルニア剪断帯（Eastern California Shear Zone）の右横ずれの動きとそれに伴う正断層の活動で形成された構造盆地である。この盆地は現在非常に高温で乾燥しているが、氷河時代には極前線の南下による降水で大きな湖が形成された。湖岸線の丘（Shoreline Butte）と呼ばれる丘の斜面には複数の湖岸段丘を眺めることができた。とくに13～15万年前にデスバレーを満たした湖はレイクマンレイ（Lake Manley）と呼ばれて、広域にかつての湖岸線の地形や堆積物を認めることができるのとことだった。

扇状地を切る低断層崖が顕著なモルモンポイント（Mormon Point）では、ケアンズキャニオン（Cairns Canyon）を廻った（図5）。谷の入り口にある5mほどの垂直な滝は、滝の横の急斜面をみんなで助け合い、震える足を支えてもらってよじ登った。古生代の変成岩と断層で接する湖成層と礫層の互層のなかを観察しながら沢の奥までくると、100万年前にイエローストーンカルデラから飛来したLava Creek C火山灰や、翌々日に訪れるロングバレーから76万年前に来たビショップタフ（Bishop tuff）を手にとって見る

ことができた。50万年前までの環境変化や地盤の運動が解明されているという（Machette *et al.*, 2001）。

午後1時半現在、気温46℃。車はバッドウォーター（Badwater）に到着した。ここは海面下85m。北米大陸で海拔が最も低い地点であり、低地に流れ込んだ水が蒸発して塩分のみが地面に残されてできた乾いた湖の跡が広がる。塩水湖のため「悪い水」という意味で名づけられたそうだが、塩干潟、砂丘、溪谷、山など多様な砂漠の環境を含んでいるこの地帯は北米のなかでも最も暑く最も乾燥しているところだそうである。絶壁を見上げると、氷期の湖岸線の痕跡が遙か上の方に続いているのが見えて巨大な湖を実感する。

荒涼とした景色のなか、こんな場所にホテルが存在するのかしらといふかりつつ、今夜の宿を目指す。珍しく陽の高いうちにファーネイスクリークのホテルFurnace Creek Inn & Ranch Resortに到着。

## VII. 9月22日（6日目）

### ファーネイスクリーク-ママスレイクス

デスバレーの2日目。盆地北部からオーエンスバレー（Owens Valley）へ抜ける道が洪水の



図 6 ウベヘベクレーター主火口の火口壁に露出する玄武岩質スコリア層と水蒸気爆発テフラ層 (6 日目).

影響で通れないためウベヘベクレーター (Ubehebe Craters) まで行って戻って来ることになった。今日の最初のポイント、マスタードヒル (Mustard Hill) では岩塩を含む辛子色の泥岩層が隆起して褐色の扇状地礫層をドーム状に持ち上げている。密度の小さい岩塩の塊が隆起をしているらしい。それからベティジャンクション (Beatty Junction) 北方で砂礫からなる見事な離岸州 (Offshore Bar) を観察する。離岸州は標高 45 m まで分布しており、当時の水深は 100 m を越えていたとのこと。離岸州をつくっている礫の粒が揃っているのは湖底の水深 5 ~ 6 m で強い波に洗われていた証拠との説明をうかがった。

やがて車はデスバレー北端に近づき、そこに大きな火口をもつウベヘベクレーターに到着。南北 800 m、東西 700 m、深さ 100 m あまりの最大の爆裂火口は 140 ~ 300 年前の爆発的噴火によって形成されたクレーターである (Machette *et al.*, 2001)。火口壁の最上部には水蒸気噴火によるタフが連なり、その下には玄武岩質スコリアの黒色層が露出している。これは、南側の小さなクレーター群のひとつで玄武岩質溶岩の噴出を伴う小規模な噴火が起きたあとに、主クレーターを形成した破壊的な水蒸気爆発が起きたことを示している、との奥村先生の説明があった (図 6)。南側の火口にはたしかに玄武岩質の溶岩噴泉を示す黒色の地層を見ることができた。

デスバレーの中央まで戻って、盆地と台地を越

えて西に向かい、アメリカで最も深い谷のひとつで、ロサンゼルス上水路の水源となっているオーエンスバレーに降り立つ。そしてバレーの生い立ちの説明を受けながら、今夜と明日、連泊するママスレイクスのホテル Shiro Inn Suites Mammoth Lakes に到着。7 時半。

## VIII. 9 月 23 日 (7 日目)

### ママスレイクス-リーバイニング

日本を立って 1 週間。毎日カラカラ陽気の快晴だが、昼と夜の温度差が激しくなっている。今日も早朝の出発。ロングバレーカルデラやモノ湖 (Mono Lake) などの火山地形を見て歩く予定である。

最初の見学地点、サミットパス (Summit Pass) は、76 万年前のピシヨップタフの火砕流堆積物の模式地とのこと。降下火山灰の上に火砕流本体が幾重にも重なり、タフの下には前期更新世の水河堆積物が見られるそうである。これは車窓観察のみ。すぐ近くのマクギークリーク (McGee Creek) では約 12000 年前のモレーンを切る見事な活断層を見学した。そしてロングバレーカルデラの中心、ホットクリーク (Hot Creek) に着いた。ここは、ロングバレーカルデラのなかで現在最も地熱活動の活発な地点である。かつてはクリークで温水浴もすることができたが、高温水の噴出による死者が相次いだため 2007 年以降は立ち入りが禁止されているとのこと。それで立札が掲げられていた。それから北へ移動しイニョ (Inyo) 単成火山群では、まず、黒曜石の溶岩によってつくられたオブシディアンドーム (Obsidian Dome) を観察した。

次にモノ湖へ。この湖は一見カルデラのように見えるがカルデラではない。気候変動とロサンゼルス市水道局の取水によって湖水準の変動が繰り返されてきたが、湖岸に立つトゥファ (石灰華) と呼ばれる炭酸カルシウムの白いチムニーは、湖水準が下がる以前に湖底から噴出する地下水から沈殿して形成されたとのことである。パッドウォーターの光景を思い出しながら、自然の造形に驚く。ちなみに mono とは、この地域に住んでい

たインディアンの言葉で「ハエ」の意味だった。モノ、イニョ、ウベヘベと、このあたりにはネイティヴアメリカンの言葉が多い。モノ湖の横では最新の噴火でテフラリングのなかを埋めるように溶岩ドームができていたパーナムクレーター (Panum Crater) の地形と噴出物を観察した。

次はシエラネバダ東麓における氷河堆積物の模式地のひとつ、リーバイニング (Lee Vining) へ向かった。巨大なモレーンの上まで車で上がりモレーン (moraine) という氷河堆積物の地形と形成過程について説明を受けた。さらに、更新世末期のシエラネバダ東麓のモレーン形成期は新しい方からタイオーガ (Tioga) 期、テナヤ (Tenaya) 期、モノベイズン (Mono Basin) 期、新タホ (Younger Tahoe) 期、旧タホ (Older Tahoe) 期 (約 20 万年前) の 5 つに区分されていることも教わった。粗い砂礫からなる氷河堆積物の年代測定は難しく、最近では宇宙線生成核種を使う行こうである。ちなみに日本有数の氷河地形である濁沢の谷は 2 万年前の最終氷期極相期のものとのことだった。シエラネバダ山麓の巨大なモレーン群を縫うようにドライブして、ママスレイクスの宿へ戻る。

### IX. 9月24日 (8日目)

#### ママスレイクス-ヨセミテ

快晴。8時15分出発。ゆったりとくつろいだママスレイクスの街にお別れして今日はヨセミテへ。氷河地形の見学も佳境に入ってきた。タイオーガロードをヨセミテに向かう道は、荒々しいシエラネバダ東斜面を登り切ると樹林の多い山中の道となり、まるで高原をドライブしているような感じになる。タイオーガレイクでは、大きな岩の表面に付けられた筋 (擦痕) や凹凸の形の方向から氷河がどの方向に流れたかを推測するなどして、氷河底の侵食作用について説明を受けた。トゥオルムネメドウズ (Tuolumne Meadows) では巨大な花崗岩の丘が同じ氷食の作用でつくられたドラムリンであることに目をみはった。

ヨセミテ渓谷入口の展望台となっているトンネルビュー (Tunnel View: 図7)。グレイシアポ



図7 ヨセミテ渓谷、トンネルビューでの記念写真。背景にエルキャピタン (中央) とハーフドーム (中央右奥: 8日目)。

イント (Glacier Point) ではハーフドーム (Half Dome), エルキャピタン (El Capitan), ロイヤルアーチ (Royal Arch) など周囲の絶景を楽しんだ。17時15分、ヨセミテのYosemite View Lodgeに到着。

### X. 9月25日 (9日目)

#### ヨセミテ-サンタクルズ

人間の想像力では及びもつかない永い地球の営み、自然の威力に圧倒され通しだったこのカリフォルニア巡検も間もなく終わり。猛暑と乾燥の厳しい自然条件のなかをともにはるばると旅を続けてきた仲間とお別れするのも寂しく感じられる。8時15分出発。ホリスター (Hollister) の町へと入り、現在も続くカラベラス (Calaveras) 断層のクリープ現象による道路や家の柵、門、壁などの変位を観察。1972年の法律で断層両側15m以内には人が居住する建物の新築は禁止されていて、その区画はグリーン地帯になっている。美しく整備された街並みや行き交う人々ののどかな雰囲気からも、ここで日々断層がずれ動いている場所とはとても信じ難い。松田先生の解説も加わって、皆熱心に耳を傾けた。このたびの巡検には、化石の専門家の糸魚川淳二先生、物理学の藤井正美先生、温泉学の大山正雄先生なども参加しておられる。訪れる各ポイントで異なる分野の研究者が互いに質問や議論を繰り返して滞在時間



図 8 デローズワイナリを引き裂くサンアンドレアス断層のクリープ。中央の人物背後の壁の手前直下にある断層の動きにより、壁は南南東へ、壁の左の右に傾く柱は北北西へ動いている。壁と柱は天井ではまだつながっている（9日目）。

が長くなるのがしばしばだったが、その光景は私達だけでなく他の参加者の目にもたいそう有意義で興味深いものに映ったらしい。今日は朝からワイナリーの話題がでていたので、ワインの試飲だけに行くのだと思っていた方もいたが、そのワイナリーはサンアンドレアス断層の真上に建てられていた。デローズワイナリ (De Rose Winery)、かつてのシエネガワイナリ (Cienega Winery) は、少しずつ断層が動くクリープ運動によって水路や建物、建物内の厨房などが右横ずれを起こしていることで有名な場所である。屋内には自然遺産に認証されたプレートが掲げられており、今なお年 12 mm ほどの速さで横ずれが続いている (Harde *et al.*, 2001)。そのような場所で営業を続けるワイナリーで、引きちぎられた壁 (図 8) を見ながらワインとともにひとときを過ごした。

次に訪れたミッションサンホアンバティスタ (Old Mission San Juan Bautista) は、メキシコから北上したスペイン人伝道団によって 1797 年に建設されたが、その後 4 回の地震被害を受け、5 回目、1906 年の地震では全壊という運命に見舞われた教会だそうである。教会はサンアンドレアス断層でも例外的に明瞭な低断層崖の上に建っている。だが、地震とともに暮らすこの街もとて

も静かな雰囲気だった。スペイン語の命名が多い。さらに、街の北西のナイランド牧場 (Nyland Ranch) の農道に添う柵の右横ずれ変位を観察。ここでのずれの速さは年 8.7 mm で、サンアンドレアス断層のクリープ区間北端付近に位置し、重要な観測地点とのことだった (Harde *et al.*, 2001)。6 時、サンタクルズの Holiday Inn Express Hotel & Suites Santa Cruz に到着。

## XI. 9月26日 (10日目)

### サンタクルズ-サンフランシスコ

長旅の実質の最終日。今日はハイワード (Hayward) 断層やサンアンドレアス断層を見ながらサンフランシスコへと向かう。

霧のなかでサンタクルズの高成段丘を車窓観察したあと、山を越えてシリコンバレーに入ると市街地が広がり、断層を観察するも砂漠とは勝手が違う。サンフランシスコ湾岸地域 (ベイエリア) 西側の山地ではサンアンドレアス断層が直線的な線状谷を形成しているの、サンアンドレアスリフトと呼ばれている。サンアンドレアス湖もあり、「サンアンドレアス断層」の名前の由来となった地域である。1906年サンフランシスコ地震では地表地震断層が出現して 4~5 m の右横ずれが計測された。震源になったサンアンドレアス断層はゴールデンゲートブリッジ (Golden Gate Bridge) の西方の海底を通っているとのこと。兵庫県南部地震の震源が明石大橋の真下であったことを思い出す。断層運動は一方向に破壊するケースもあるが、ここでは深さ 15 km 位の地点から南北それぞれに向かって破壊が進行したとのことだった。

サンフランシスコ湾を隔てて、湾の東側をサンアンドレアス断層とほぼ併走しているのがハイワード断層。まずフリモント (Fremont) 中央公園で道路の縁石のクリープと断層地形を観察。古地震学的な調査から最近 5 回の地震の平均活動間隔が  $138 \pm 58$  年と見積もられており、最後の地震が 1868 年であるため、近い将来の大地震発生が懸念されて次の地震の震源地と予想されている (Lienkaemper and Williams, 2007)、とのこ

と。アラメダクリーク (Alameda Creek) 左岸のユニオンパシフィック鉄道の操車場、シンステーション (Shinn Station) では、古い待避線のレールの右横ずれ断層クリーブが観察できる。最後の見学地点、ポイントレエスステーション (Point Reyes Station) にある地震観察歩道, Earthquake Trail へ。サンアンドレアス断層と1906年の地変を観察するために整備されたこのトレイルには、大人向けの解説版の横に子供用につくられた平易な可愛い看板もある。霧がではじめた海岸線を走ってサンフランシスコ市街に戻り、名所ゴールデンゲートブリッジで旅の終わりを惜しんだ。

予定の時刻に空港近くのホテル Radisson Hotel San Francisco Airport Bay Front へ到着し、レンタカーも無事返却。参加者が揃って無事にすべてのスケジュールを全うできたことに安堵し、「カリフォルニア巡検同窓会」の東京開催を願って最後の夜を過ごした。事前に入念な現地調査をしてカリフォルニアの地震、火山、氷河地形を立派な資料を基にご案内くださっただけでなく、運転から飲料水の世話まで旅案内のすべてを負ってくださった奥村先生、そして先生のアシスタント役として毎夜資料づくりに追われながら求められる随所で科学者としての自身の見解を率直に述べて、参加者を面白がらせてくださった近藤先生には誰もが感謝の念でいっぱいであった。車を運転しながら絶えず参加者の安全に気を配って長い行程を同行くださった加賀さんへの感謝はもちろんである。いつの頃からか巡検参加者と見間違ふほどの興味を示してすっかり私達地学ファンの仲間になってくださり、微笑ましく嬉しかった。

## XII. おわりに

1年半前に東北地方太平洋沖地震を経験しての巡検だったからであろうか、広大なカリフォルニアの大地に何百万年も前から変わらずに存在するむきだしのダイナミックな地層や岩石を目の当たりにして、人間の非力を思わずにはいられなかった。悠久の時の流れのなか、地のなかではこんなことが起こっているのかと。2度とこのような機

会には恵まれないであろう。カリフォルニアの地形、地質を知り尽くした専門家のご案内による大変贅沢な旅行であった。

## 文 献

- Bielecki, A.E. and Mueller, K.J. (2002): Origin of terraced hillslopes on active folds in the southern San Joaquin Valley, California. *Geomorphology*, **42**, 131-152.
- Frankel, K.I., Glazner, A.F., Kirby, E., Monastero, F.C., Strane, M.D., Oskin, M.E., Unruh, J.R., Walker, J.D., Anandakrishnan, S., Artley, J.M., Cleman, D.S., Dona, J.F., Finkel, R.C., Greene, D., Kylander-Clark, A., Marrero, S., Owen, L.A. and Phillips, F. (2008): Active tectonics of the eastern California shear zone. *The Geological Society of America Field Guide 11*, 43-81.
- Harde, D.R., Stenner, H. and Blatz, I. (2001): The Calaveras and San Andreas Faults in and around Hollister. *Geology and Natural History of the San Francisco Bay Area; A Field-Trip Guidebook. U.S. Geological Survey Bulletin*, **2188**, 145-164.
- Hilley, G.E. and Arrowsmith, J.R. (2008): Geomorphic response to uplift along the Dragon's Back pressure ridge, Carrizo Plain, California. *Geology*, **36**, 367-370.
- Lienkaemper, J.J. and Williams, P.L. (2007): A record of large earthquakes on the Southern Hayward Fault for the past 1800 years. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, 1803-1819.
- Machette, M.N., Johnson, M.L. and Slate, J.L. (2001): *Quaternary and Late Pliocene Geology of the Death Valley Region: Recent Observations on Tectonics, Stratigraphy, and Lake Cycles (Guidebook for the 2001 Pacific Cell-Friends of the Pleistocene Fieldtrip)*, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-51, 254 p.
- Sieh, K.E. (1978a): Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Creek, California. *Journal of Geophysical Research*, **83**, 3907-3939.
- Sieh, K.E. (1978b): Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **68**, 1421-1448.
- SIO Visualization Center at Scrips Oceanography Institute for Geophysics and Planetary Science (2013): B4 Project in Google Earth. <http://www.siovizcenter.ucsd.edu/topo/b4.php> [Cited 2013/05/23].
- Zielke, O., Arrowsmith, J.R., Grant Ludwig, L. and Akciz, S.O. (2012): High-resolution topography-derived offsets along the 1857 fort Tejon earthquake rupture trace, San Andreas Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **102**, 1135-1154.