

# 米国中西部, バイアス・カルデラとサン・ファン火山地域 -IAVCEI サンタフェ大会参加記-

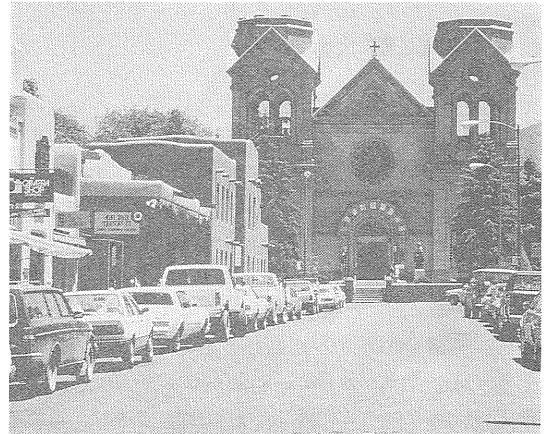
須藤 茂<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

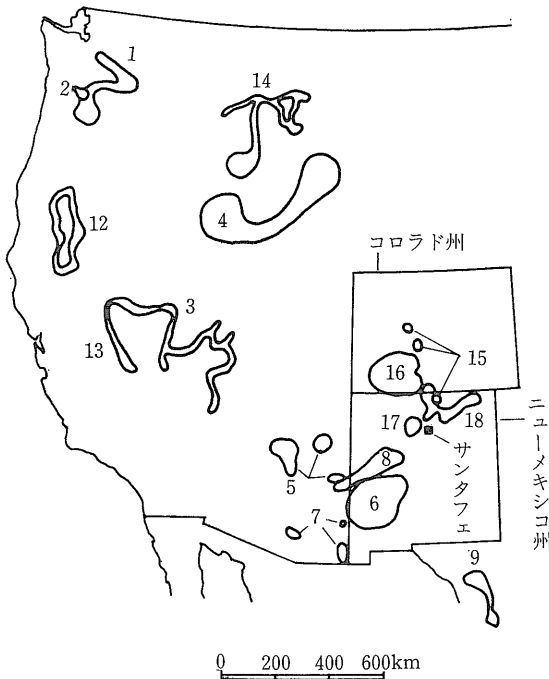
サンタフェ (Santa Fe) はニューメキシコ州 (第1図) の州都です。確かに立派な州庁舎はあるのですが、10分も歩けば街の反対側に出てしまうような小さな町です。

古い建物がよく保存されており (第2図), 先住民民族, メキシコ人, 新住民の文化が混ざり合った一種独特な雰囲気を持った町であり, 多くの観光客が訪れています。

因にバスの運転手は仲間同志ではスペイン語で, 客相手には英語で話します。ここでは筆者の好みでない辛すぎるメキシコ料理が主流を占めています。1989年6月25日-7月1日, この町で IAVCEI (国際火山学地球内部化学



第2図 サンタ・フェ (Santa Fe) の聖フランシス教会  
この町は古い家並と多くの史跡, 狭い道路と比較的多い車で特徴づけられる小さな観光都市です。



第1図 IAVCEI サンタフェ大会前後の巡検地  
1. ワシントン州のカスケード山脈とコロンビア台地  
2. セントヘレンズ火山  
3. グレート・ベースンの新生代火山活動  
4. イエローストーン台地とスネーク河平地  
5. コロラド台地南部: 火山活動と造構作用  
6. モゴロン・デイティル火山地域  
7. アリゾナ南部とニューメキシコ: 中生代から第四紀まで  
8. リオグランデ・リフト中央部とコロラド台地南東部  
9. テキサス州トランス・ベコス珪長質アルカリ火山活動  
12. カスケード南部の弧状火山活動  
13. ロングバレー・カルデラとモノ・イニョー珪長質火山活動  
14. コーディレラの火山活動と深成作用: モンタナ及びアイダホ州  
15. イグニブライト・カルデラの根, コロラド及びニューメキシコ州  
16. コロラド州, サンファン火山地域  
17. ヘメス火山地域とバイアス・カルデラ, ニューメキシコ州  
18. リオグランデ・リフト: 北東ヘメス帯, ニューメキシコ州  
No.1-9 は大会前に, 12-18 は大会後に行なわれました。  
またこのほかにワークショップの巡検 10: 火山災害 (セントヘレンズ火山) 及び11: 爆発的火山活動 (イグニブライト及びカルデラ形成噴火) も行なわれました。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: カルデラ, バイアス, サン・ファン, IAVCEI, 溶結凝灰岩, 火砕流

協会)の大会が開催されました。

米国西部にはセントヘレンズ山に代表されるような新しい火山もありますが、もちろん古い火山もあります。その様子は今回の大会の前後に行われた巡検のコースを見ただけでも伺い知ることができます(第1図)。そして筆者が本大会に参加した理由も、この古い火山、とりわけ古いカルデラを見ることにありました。適当な案内者によりいくつかのカルデラを見学することができましたので、以下に報告します。

## 2. IAVCEI 大会

本大会は1日の巡検をはさんだ5日半にわたって開かれました。大会の参加者は約800名であり、IAVCEIの大会としては最大規模でした。これは米国本土という開催地の位置が大きく効いているらしく、実際参加者の約半分は米国からでした。さらにその中でも米国地質調査所(U. S. G. S.)員は70名以上が参加していました。ほかに参加者の多かった国は、イタリア(登録者数51名、以下同じ)、英国(49)、カナダ(42)、オーストラリア(28)、日本(25)、フランス(23)、ニュージーランド(20)、西独(15)、南アフリカ(15)、ソ連(12)、メキシコ(11)の順で、事前登録者の国数は38に及びました。

大会では6つの大きなシンポジウムが行われました。その中に1—8つのセッションが含まれています。以下に各シンポジウムの表題、セッション数、発表数の順に記します。

### I Cordilleran North American magmatism.

北米大陸西部の地質の総括, 1セッション5件。

### II Continental arcs

岩石成因論を中心にした4セッション, 90件。

### III Extensional volcanism

米国西部やほかのリフトの火山活動など7セッション169件。

### IV Aqueous magmatic fluids, ore deposits, and geothermal systems.

1セッション, 28件。

### V Active volcanism & hazards

火山活動と災害など5セッション, 112件。

### VI Volcanic & magmatic processes

上記の5つのシンポジウムに入っていない火山に関する問題8セッション, 211件。

発表件数は合計615件でした。これは筆者一人でも紹介できる量ではありません。幸いに日本火山学会発行の雑誌「火山」(第34巻4号)に多くの著者によって内容が紹介されましたので、内容を知りたい方はそちらを御覧になって下さい。本大会の予稿集及びガイドブック

の入手方法は本報告の末尾に記しました。

本大会の形式上の特徴は、発表の約8割はポスターで行われたことです。発表件数が多い場合は口頭発表件数は極力少なくする必要があるからでしょう。したがって平均的な日程では、半日毎に80件のポスターが会場で中央のホールに掲示され、その周囲の4つの小会場でそれぞれ数件の口頭発表が行われました。大会の運営としては適当数なのでしょうが、個人的には、半日替わりの80件のポスターは題名を確認するだけで相当の時間がかかり、消化不良を起こしました。

大会初日に、プログラム委員長の米国地質調査所のP. LIPMANは「これは国際学会であり、英語を母国語としない人達も多く参加しているのだから、英語はできるだけゆっくりはっきり話して下さい。」とことわりました。では結果はどうだったでしょうか。自分の主張を押しつける態度の持主はこの戒めを守らず、自分の主張を相手に理解してもらいたいという態度の持主は忠実に実行してくれたように思います。

## 3. ポスターセッション

会場の天井は高く開放的で(第3図)、掲示板もポスターセッション専用の酒落れたものです。そして主催者は発表予定者に次のような注意書を事前に送ってよこしました。

(1) 題名、著者名、所属などの文字は大きく書きなさい。その他のすべての文字、図表類も2フィート以上離れた所からも読めるようにしなさい。



第3図 ポスター・セッション会場

体育館のような会場で、半日毎に80のポスターが展示されました。スウィニー・コンベンション・センター内。

(2) 不必要に細かく複雑になることを避けなさい。色を使うことは効果的です。

(3) 見て欲しい順序を番号や矢印で示すとわかりやすいです。

(4) 説明者がいなくてもポスターを見るだけで内容を理解してもらえなければなりません。ポスターに何が示されているかをつきつきりでいちいち説明をしなければならないようでは、その先の論議をする時間がなくなってしまうです。

(5) ポスターに後でいろいろ書き込むのは止めなさい。説明や計算に紙が必要だったら別に用意しておくことです。

一部は意識ですが、以上の内容でした。これと同様なものは別な国際学会でも配布されたことがあります。一般的な注意事項として、いずれももっともだと思えます。小さな白い紙に、近くへ寄って見なければ読めないような小さな字で細々と何か書いてあるようなポスターは、確かに誰も立ち止まって見てくれません。この注意書の効果があったのか。今回の大会では見やすいポスターが多かったように思いました。

別な大会の案内には次の事項も書き加えられていました。「発表者の顔写真も張っておきなさい」。私はこれにも賛成です。旧知の間柄ならともかく、質問したい相手がそもそもどの人間なのかわからなくて困ることがあります。胸元の名札を覗き込めば良いのですが、相手が女性の場合もあるので、この案は是非実行すべきだと思いました。

#### 4. 映画・ビデオの作り方

会期中、会場の片隅にはテレビが置かれ、ほとんど常にどこかの火山のビデオ紹介が続いていました。また一晩だけですが火山の映画が別な会場で数本上映されました。後者は夜11時過ぎまでみっちり見せられました。最後まで残っていた人の数はかなり多かったのですが、日本人の数は非常に少なく、日本人は義理がたいという説は、少なくともサンタフェでは誤りででした。実は最後に上映された映画は、率直に言わせてもらえば、長く(1時間)、たいくつなものでした。もちろん見て面白く、また役立つ映画もありました。その差はどこにあるのでしょうか。

映画・ビデオを作る姿勢が違うのです。その映像を通じて、誰に、何を訴えたいのか明瞭なものは安心して見られます。たとえばフランスのクラフト夫妻は“火山にたちむかう人間”という題の映画で、火山付近の住民や行政政府に対して、火山災害を軽減させるためにどんな方

法があるかを、日本を含めた各地の映像を通じてわかりやすく示しました。一方別な映画では行政の責任者が被災地を訪れるシーンが延々と放映されました。これは当事者にとっては重要なことかも知れませんが、それを見せられる火山研究者にとってはどうでも良いことで、時間のムダです。またビデオはフィルムが安価なために長時間の撮影も簡単にできます。しかし似たような火山の噴火のシーンを、ほとんど何の説明もなしに延々と流されると、もうウンザリです。撮影者が、その噴火にいかに関心しようとも、編集がまずいと、それは見る側には伝わってきません。

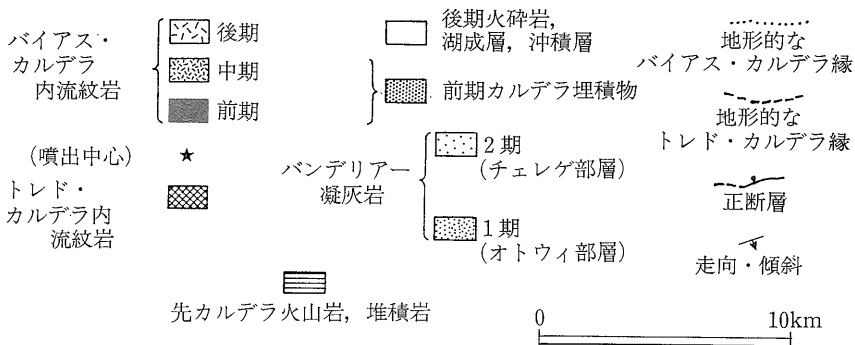
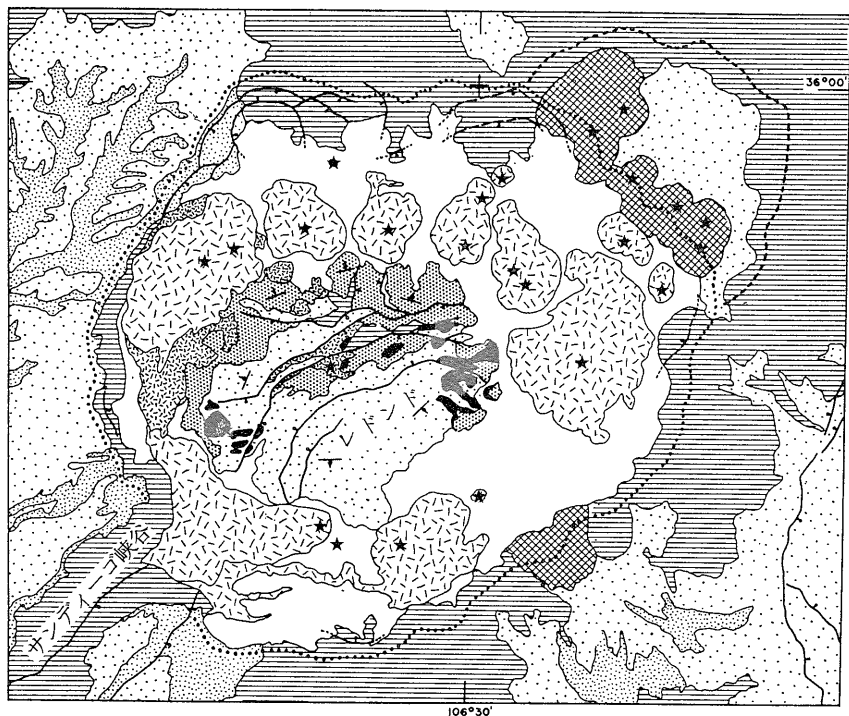
#### 5. バイアス (Valles)・カルデラ

会期の真中の1日は、4つのコースに分かれて小巡検が行なわれました。筆者はその中の“Jemez Mountains, Valles caldera, and Bandelier Tuff”に参加しました。Jemez Mountains とはバイアス・カルデラを含む山岳域の名称であり、Bandelier Tuff とはバイアス・カルデラ形成をもたらした珪長質大規模火砕流堆積物です(第4図)。

この地域は、大規模火砕流とはそもそもいかなるものなのか、溶結凝灰岩とは、カルデラとは、カルデラの resurgent (再生) とは、そしてまたマグマ溜りの累帯構造とは何なのか、それらの概念の発生の地であるのです。

それだけではなく、ここではカルデラの内側と外側で地熱の開発やテストのために試錐が行なわれ、多くの新事実とモデルが報告されているホットなカルデラでもあるのです。

そしてこの巡検のリーダーとしては、カルデラや火砕流の概念の創始者グループから米国地質調査所の R.L. SMITH と R. A. BAILEY が、ポーリングのデータなどをとり入れた新事実グループからロスアラモス国立研究所の F. GOFF やユタ Research Institute 大の J. HULEN などが参加しました。この2つのグループの直接対決もあるのでは、という前評判もあったのですが、そうはなりません。というのは、参加者が多いために、互いに見学順序を違えた3グループに分かれ、そのうちの1つのグループ、バス2台分のリーダーが SMITH と BAILEY であったからです。さて、Bandelier Tuff は、約1.45 Ma の Otowi Member と1.12 Ma の Tshirege (チェレゲ又はチェリギと発音されています) Member になります(第5図)。これらの大規模火砕流の噴出により、バイアス・カルデラが生成しました。Otowi も Tshirege も先住民族の廃墟名に由来していますが、その意味

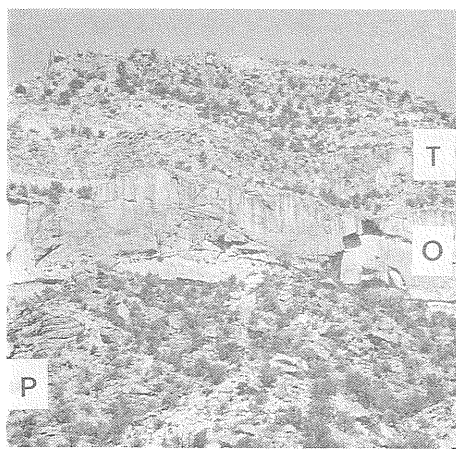


第4図  
バイアス・カルデラ地域地質略図  
SMITH and BAILEY(1968)に加筆。

第5図

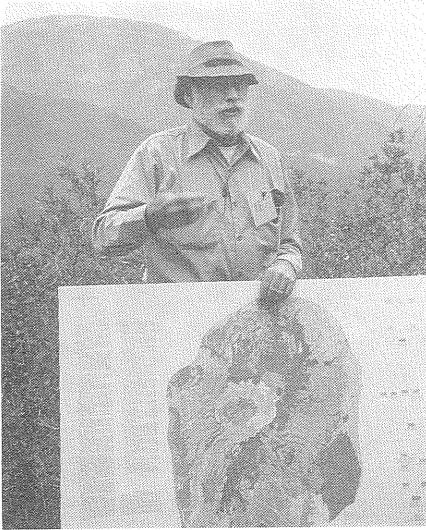
バンデリアー凝灰岩

バイアス・カルデラ南西のサンディーゴ (San Diego) 峡谷の大露頭。P: 古生層, O: Otowi Member (1.45 Ma), T: Tshirege Member (1.12Ma) 位置は第4図の外側南西方。

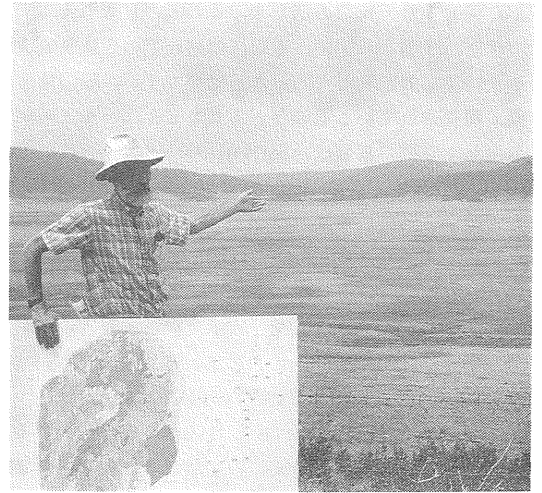


は、参加者の誰も知りませんでした。カルデラ形成後早いうちに中央部が隆起し、再生ドームができました(第6図)。その後1.04 Ma-0.13 Ma まで、環状割れ目に沿って流紋岩が断続的に噴出し、多くの円頂丘が形成されました(第7, 8図)。

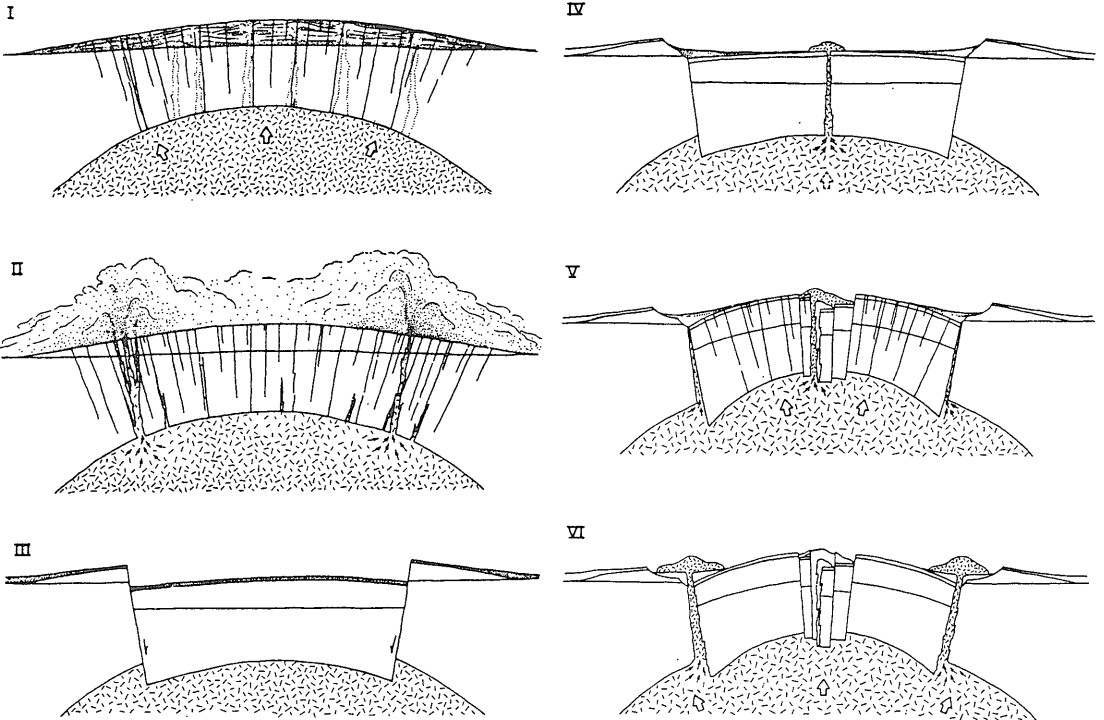
カルデラ壁は後退し、現在では緩やかな斜面になっています。そのため日本の阿蘇カルデラなどと比べると、陥没地形を見て得られる驚きと鮮やかさは少ないのです



第6図 地質図を手にかルデラ生成の研究史を論ずる米国地質調査所の R. L. SMITH.  
図は三面鏡式に折りたためる板にはりつけてある。後方はカルデラ内再生ドームであるレドンド・ピーク。(Redondo Peak).



第7図 バイアス・カルデラ内の後カルデラ流紋岩ドームを背に説明する米国地質調査所の R. A. BAILEY.  
カルデラ東縁のバイオ・グランデ (Valle Grande) にて。

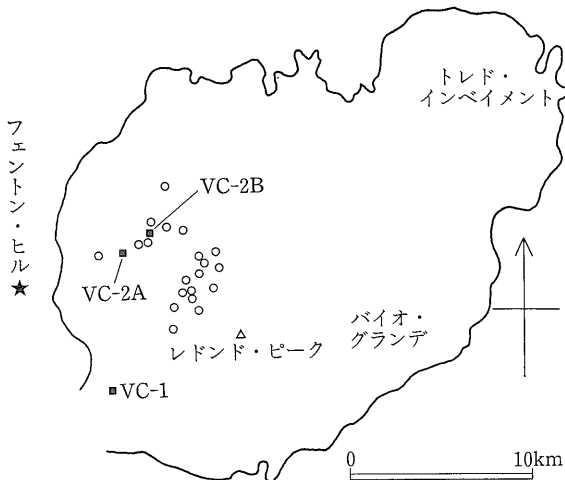


第8図 SMITH and BAILEY (1968) によるカルデラ生成再生モデル。

- I : 広範囲の膨張と環状割れ目の形成
- II : カルデラを形成させる噴火
- III : カルデラ陥落
- V : 再生ドーム形成

- IV : 再生の前駆的火山活動とカルデラ内の堆積活動
- VI : 環状割れ目からの火山活動

が、何せ100万年前の話です。その頃の日本のカルデラですと、十勝、八甲田、玉川、白河などの各珪長質大規模火砕流に対応したものがあるはずですが、陥没地形が良く保存されているものなどありません。バイアスから発生した学問の真髄は、SMITH(1960 a,b), SMITH and BAILEY (1966, 1968), SMITH, BAILEY and ROSS(1970)などに示されています。これらの文献のうち古いものは絶版で入手できませんでしたが、SMITH (1960b) と ROSS and SMITH (1961) が New Mexico Bureau of Mines から再版されました。入手方法は本報告の末尾に示しますが、SMITH本人の口によれば「昔より印刷技術が進んでいるから、再版された方がきれいじゃよ。」とのこと。巡検は SMITH と BAILEY の大演説会でありました。彼らは三面鏡式に折りたためる板に、自分達で作った地質図を張り、合計6カ所の地点でそれを拡げて解説してくれました(第6, 7図)。その説明は研究の歴史から始まり、いずれもかなり長いものでしたが、参加者はむしろそれを楽しんで聞いていました。

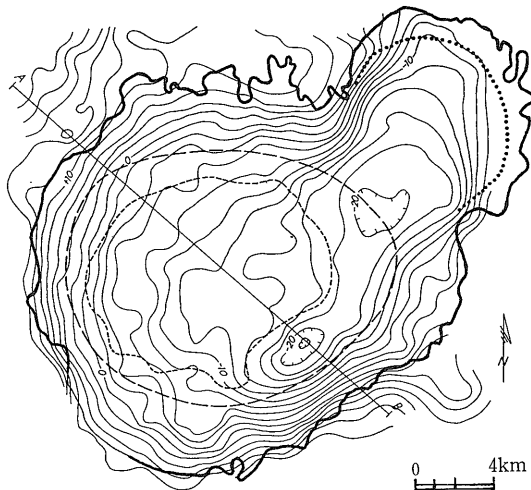


第9図 バイアス・カルデラの坑井位置  
○印：企業の地熱調査井，■印：大陸学術ボーリング(CSDP)。実線は地形的カルデラ縁。Goff et al.(1989)を簡略化。

### 6. バイアス・カルデラを再生させる人達

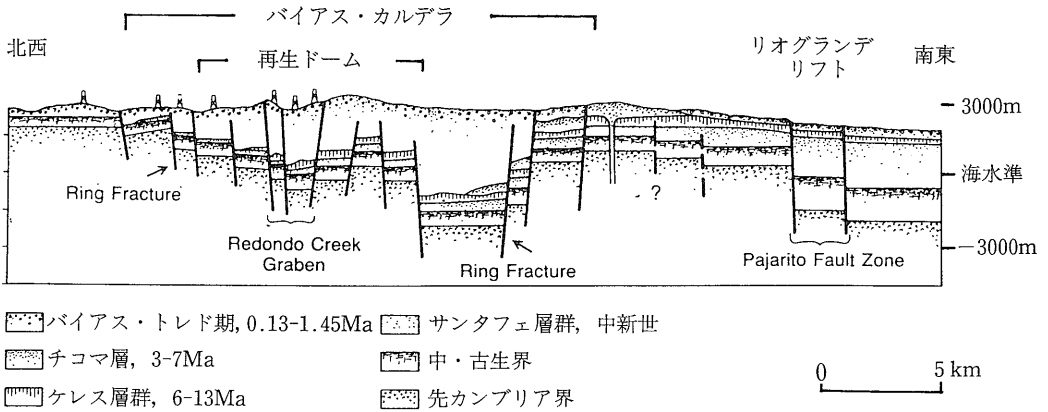
バイアス・カルデラ内で地熱調査のための坑井が掘削されたのは比較的早く、1960年代に既に浅い坑井で200℃以上の温度が得られていました。1970年代になると再生ドームの中央から少し西寄りの部分で本格的な地熱調査(Bacaプロジェクト)が企業によって実施され、深度1435mで278℃の温度が記録されました。しかしながら地熱発電を行なうに十分な流体を得られる見通しが立たず、このプロジェクトは1981年に終了しました。

このプロジェクトにより深度861m-3211mの坑井が20本以上掘削され(第9図)、カルデラ内の深部構造の新しいモデルが提案されました(NIELSON and HULEN, 1984など)。再生ドームの下に厚い溶結凝灰岩が分布していることが明らかになったのです。その最大層厚は Otowi Member が800m以上 Tshirege Member は1100m以上でした。それらは多くの断層によって複雑に変位しているようです。ただし坑井が掘削されたのは、カルデラの中央から南西寄りの部分だけです。カルデラ全体の深部構造は、それだけではわかりません。重力調査によればバイアス・カルデラ内に約35mgalの低重力異常が存在することが明らかになりました(第10図)。モデル計算によれば、低重力異常は完全な対称形ではなく、カルデラ内東部の方がより大きく落ち込んでいるという結果が得られています。重力と地質のデータを基に描かれたバイアス・カルデラの予想断面図は第11図の様になっており、ピストン・シリンダー型の陥没と中央部の隆起とい



第10図 バイアス・カルデラ重力異常図  
太い実線：地形的カルデラ縁，長破線：環状割れ目，短破線：再生ドームの輪郭，点線：トレド(Toledo)・カルデラの輪郭，等重力異常線の間隔は2 mgal。西部より東部の方が大きく落ち込んだモデルの根拠になっています。SEGAR (1974)による。

う概念(第8図)は、ややつかみづらくなっています。その後カルデラ内では新たな調査研究のための坑井が掘削され始めました。大陸学術掘削計画(CSDP)の一環としてバイアス・カルデラが掘削地点の1つに選ばれたのです。CSDPの坑井掘削では岩芯(core)が回収されました。これはバイアス・カルデラでは画期的なこと

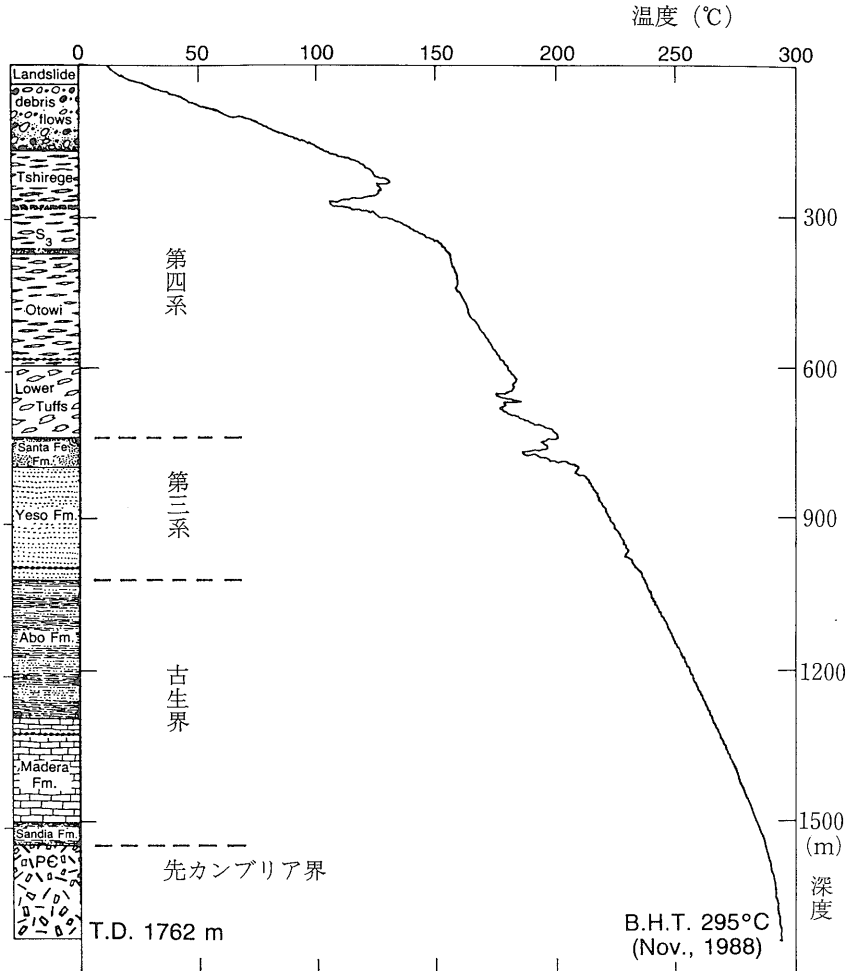


第11図 パイアス・カルデラの最近の地質モデル

カルデラ内のうち南西部には多くの地質調査井があり、地下地質のデータが豊富ですが、北東部には坑井はないため重力データなどを基に断面図が描かれています。Goff et al. (1989) を引用。

した。企業による Baca プロジェクトの坑井では全く岩芯は回収されていなかったのです。そのため岩芯の研究はそれこそなめる様に詳細を極めました。また坑井は英語では普通 well とか bor hole, drill hole などと呼ばれますが、これらの CSDP による坑井は core hole と呼ばれています。まず1984年に VC-1 (856 m深) が、次いで場所を変えて1986年に VC-2A(528m深), 1988年に VC-2B (1762m深, 第12図) が掘削されました(第9図)。坑底温度は、それぞれ160℃, 212℃ 及び295℃でした。これらの坑井は地質層序及び構造、熱水対流系及びその下の伝導卓越域の実体及び鉱床生成機構の解明を目的として掘削されました。今後更に深部の掘削が計画されています。カルデラの実体がどこまで解明されるのか、日本の地熱調査の坑井掘削同様楽しみなものです。

さてもう1つの掘削プロジェクトは、パイアス・カルデラのすぐ外側フエントン・ヒ



第12図 パイアス・カルデラ内の坑井 VC-2B の層序と温度 Goff et al. (1989) に加筆。

ル (Fenton Hill) で行われている高温岩体発電に関わるものです。この hot dry rock (HDR) の研究については既に本誌の306号 (高島, 1980), 365号 (金原, 1985) 及び395号 (伊藤, 1987) に紹介があり, また日本地熱学会誌 (厨川, 1984; 海江田・佐々木, 1989) などにも報告がありますので, ここでは省略します。カルデラのすぐ外側に位置しているために応力場の点では比較的単純と考えられていたこの地点でも, 地下深部で2つの坑井をつなぐ人工の割れ目を作ることは大変むずかしいようです。

ところで米国地質調査所の現役の研究者である前述の SMITH は CSDP の研究者グループには入っていません。もったいない話だと思ひ, 直接本人に聞いたところ, 予算の流れが違うとか, 世代が違うとか言っていました, 周囲に居合わせた人々もニヤニヤしていて, 結局は良くわかりませんでした。日本でも地熱の大規模なプロジェクトで深い坑井が掘削されています。その研究成果は逐次公表され, またプロジェクト終了後は岩芯も地質調査所などを通じて公開されています。米国での坑井や岩芯の研究体制についてももう少し詳しく聞きたかったのですが。

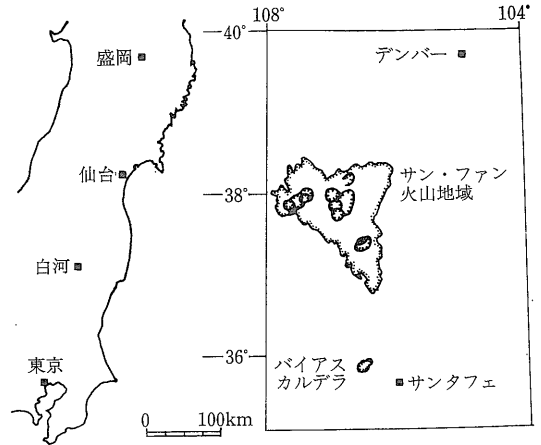
本章の記載には Goff et al. (1989) を参照しました。また CSDP 全体の紹介は本誌381号 (笹田, 1986) にあります。

### 7. 一路サン・ファンへ

大会後の巡検は7コースが予定され, 筆者はそのうちのコロラド州サン・ファン (San Juan) 火山地域に参加しました。参加者は40人, うち日本人は5人でした。リーダーは米国地質調査所の P. LIPMAN ら6人であり, リーダーが運転するワゴン車数台に分乗して移動しました。

出発地サンタフェと解散地デンバーの間は直線距離で約450km, サン・ファン地域はその中間にあります。ですから, 日本では丁度東京を出て東北南部の火山群を見て盛岡で解散するといった具合になります (第13図)。

サン・ファンへの移動の途中, ニュー・メキシコ州とコロラド州の境界付近で若干の説明がありました。はるか東方の山岳の上部にはカルデラ内堆積物が分布しており, それは基盤となる先カンブリア系の上に位置していると, これが今回の行程で唯一見えた可能性のあるカルデラの底です。なに分らないものですから, 何が見えているのか良くわかりませんでした。実はこれから訪れるサン・ファン地域にはカルデラが多く分布していますが, カルデラ底を直接確認できる露頭はありません。



第13図 サン・ファン火山地域位置図 (右) JOHNSON et al. (1989) を簡略化。左は同緯度同縮尺で示した東北日本。

### 8. サン・ファン火山地域の概略

サン・ファン火山地域はコロラド州の南西部に位置し, その面積は約 25000 km<sup>2</sup>, 火山噴出物の体積は約 40000km<sup>3</sup> あります。ですから大きさでは, 東北地方のいわゆるグリーン・タフ地域の約半分程度と考えれば良いでしょう。

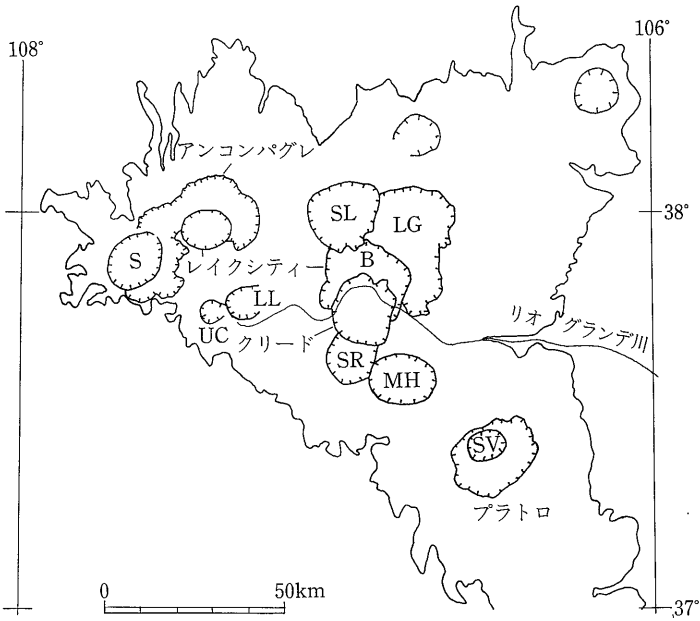
サン・ファン地域の概略図は口絵写真のTシャツに示されていますが, 第14図にも示します。この地域全体は広義のロッキー山脈の一部であり, 低い所でも海拔2000m, 高いところでは4000m以上もあります。カルデラという名前からは落ち込んだ低い地形を思い浮かべます。ところがこの地域のカルデラでは後で述べる再生の隆起活動がよく起こり, 地形的な高まりを作ります。しかも隆起した部分は硬いカルデラ内溶結凝灰岩であるため侵食に耐え, 山岳として残り (表紙, 第15, 16図), 氷食地形も発達しています (第17, 18図)。

サン・ファン地域ではまず35 Ma-30Maに主として安山岩からなるコネホス (Conejos) 層とサン・ファン (San Juan) 層の活動がありました。次いで30Ma-26 Maが大規模火砕流噴出期であり, 多くのカルデラが生成されました。26Ma以降はパイモダルな火山活動で特徴づけられています。大規模火砕流の一覧を第1表に示します。

巡検のリーダー LIPMAN は巡検中毎日のように言い続けました。「各凝灰岩のユニットの名前とそれに関わるカルデラの名前を古い順に言えるようにしなさい」。

LIPMAN のもう1つの口癖は, 「珪長質大規模火砕流噴出の前には安山岩の火山活動があった」ということであり, 度々「日本のカルデラでもそういう例が多く認められている。そうだろう日本の参加者諸君」と同意を求





第14図(左)

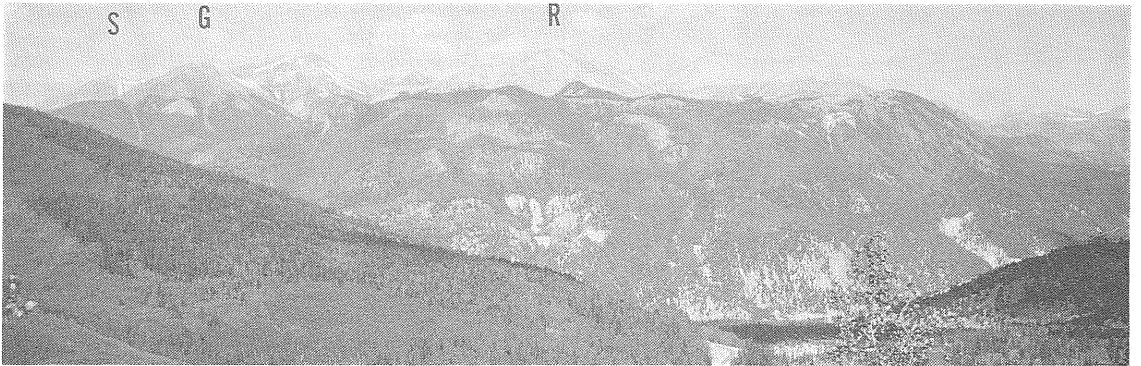
サン・ファン火山地域略図

本文中に出てくるカルデラ名は図中に示してあります。それ以外のカルデラ名は以下の通りです。SV: Summitville, MH: Mount Hope, SR: South River, B: Bachelor, LG: La Garita, SL: San Luis, LL: Lost Lake, UC: Ute Creek, S: Silverton.

第15図(下)

“カルデラ” が山になっている例

東方からみたレイク・シティ (Lake City)・カルデラ, 正面の山々が“カルデラ”の中であり, その中腹にカルデラ壁が位置しています。S: サンシャイン・ピーク (Sunshine Peak, 4268m), G: グラッシー山 (Grassy Mountain), R: レッド山 (Red Mountain)。カルデラ内溶結凝灰岩はサンシャイン・ピークでは南側に, 北端 (写真の右側) では北側に傾いています。



第16図

アンコンパグレ (Uncompahgre) 峰

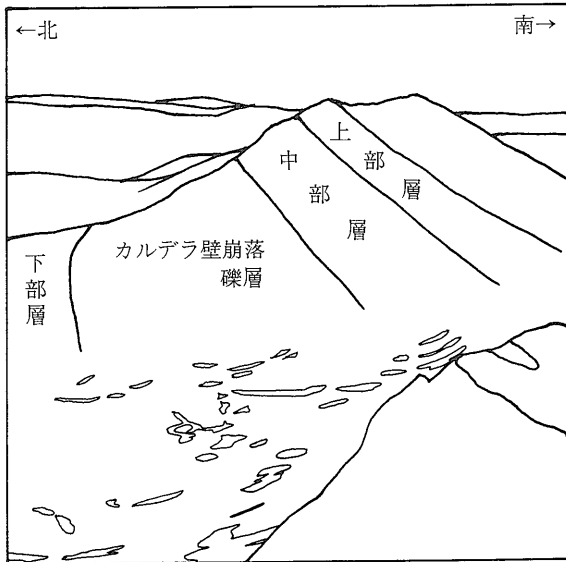
写真中央部のピーク (4361)。アンコンパグレ・カルデラ内溶結凝灰岩からなります。南方のレイク・シティ・カルデラ内の標高4216mの無名峰より。

められました。

もちろん日本のカルデラとサン・ファンのカルデラとの間には違いもあります。それは見事な再生ドームです。サン・ファン地域の中でも最も対称的で美しいのはクリード (Creede)・カルデラの再生ドームでしょうか (口絵写真7, 第19図)。まるで後カルデラの中央火口丘のように見えるこの円頂丘状の高まりは, 周辺部が急傾斜で外側に傾いた溶結凝灰岩からなり, 地表に溶岩が噴出してできた地形ではないのです。サン・ファン地域で培われ



第17図 カルデラ付近に発達する氷食地形  
 プラトロ (Platoro)・カルデラ西縁を南方より見る。  
 カルデラ縁は、この谷の少し(東)右側に位置していま  
 す。カルデラの構造と氷食の流路の関係は認められな  
 いそうです。



第18図 表紙写真のスケッチ  
 レイク・シティ・カルデラ内の再生活動により傾動した  
 カルデラ内凝灰岩、サンシャイン・ピーク凝灰岩。

た LIPMAN のカルデラ生成モデルは LIPMAN (1984) の  
 図(第20図)によく示されています。

さてこのサン・ファン地域の研究は19世紀末に始めら  
 れました。というのは後で少し述べますがカルデラ形成  
 活動に関わる銀、鉛、亜鉛などの鉱床ができていたから  
 です。1960年代から溶結凝灰岩を中心にした層序・岩石  
 学的検討が LIPMAN らを中心に行われ、現在に至って

第1表 サン・ファン火山地域の凝灰岩一覧  
 LIPMAN (1989) より

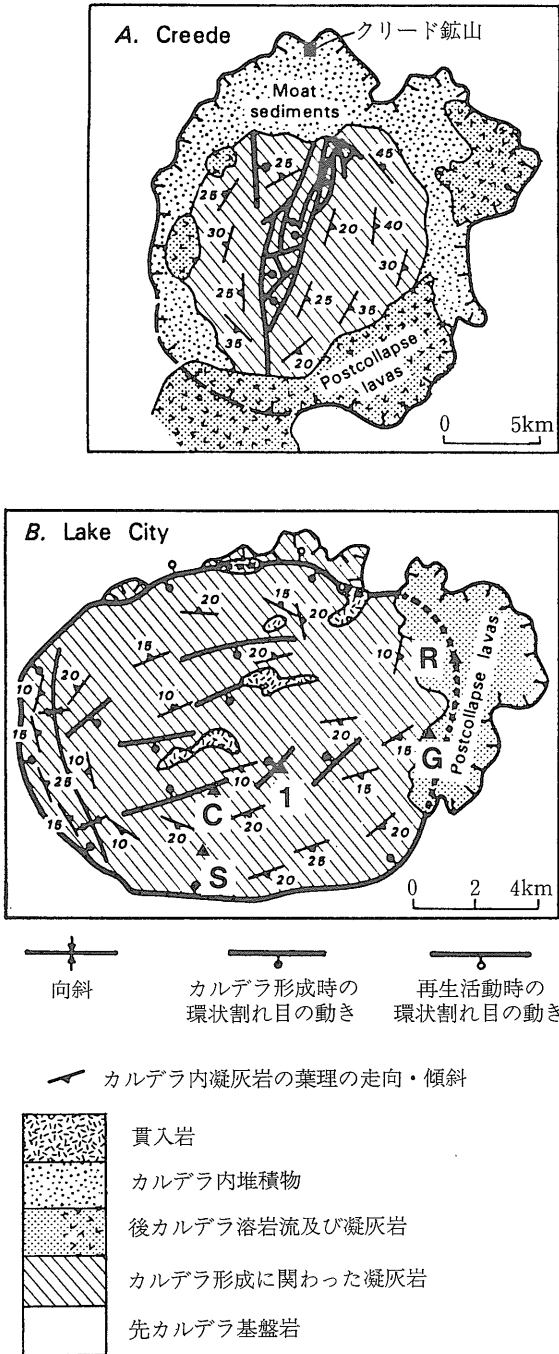
凝灰岩	カルデラ (年代, Ma)	体積 (km <sup>3</sup> )
南東部複合カルデラ		
TREASURE MOUNTAIN TUFF:		
Ra Jadero Member	Summitville(28.4?)	100-150
Ojito Creek Member	Summitville(29)	40-70
Middle member		
Upper units	Summitville?	20-50
La Manga units	Platoro?(29.2)	20-50
La Jara Canyon Member	Platoro(29.3)	500-1000
Lower member		
Blak Mtn. unit	Platoro?(29.5)	>50
Rhyolite units	Platoro?	20-50
Tuff of Rock Creek	Platoro?(32)	10-30
中央部カルデラ群		
Tuff of Cochetopa Cr.	San Luis(26.1)	50-100
Nelson Mountain Tuff	San Luis(26.1)	100-500
Tuff of Cebolla Creek	San Luis	50-100
Rat Creek Tuff	San Luis(26.3)	<50
Snowshoe Mountain T	Creede(26.65)	>500
Wason Park Tuff	South River(27.15)	>500
Carpenter Ridge Tuff	Bachelor(27.35)	>1000
(Mammoth Mtn. M; Bachelor Mtn. M)		
Fish Canyon Tuff	La Garita(27.75)	>3000
Masonic Park Tuff	Mount Hope(28.4)	500-1000
Upper dacite		
Lower rhyolite		
西部カルデラ群		
Sunshine Peak Tuff	Lake City(23.1)	100-500
Upper qtz trachyte		
Main rhyolite		
Crystal Lake Tuff	Silverton(27.8-28.4)	50-100
Sapincro Mesa Tuff	Uncompahgre/ (Eureka Mmbr)	>1000
San Juan(27.8-28.4)		
Dillon Mesa Tuff	Uncompahgre?	25-100
Blue Mesa Tuff	Lost Lake	100-500
Ute Ridge Tuff	Ute Creek(28.4)	>500

います。特に最近では政府、学界、鉱業界が共に調査・研  
 究に取り組んでおり、クリード地域では大陸学術掘削計  
 画(CSDP)の候補地点も選定され、一部の掘削が開始さ  
 れました。

### 9. 写真によるサン・ファン地域案内

これから先、読者の多くがサン・ファン地域を訪れる  
 ことはあまり考えられませんが、ここでは細かな地質  
 や層序の紹介ではなく、見聞したことを写真で示すこ  
 とにします。

筆者がサン・ファン地域を訪れたかった理由は、カル



第19図 クリード(上)とレイク・シティ(下)カルデラの地質略図

再生ドームの構造がよく示されています。  
 下図の中でS: サンシャイン・ピーク, C: レッドクラウド・ピーク, (Redcloud Peak), 1: 13,832フィート(4216 m)峰, G: グラッシー山, R: レッド山, LIPMAN(1984)に加筆

デラ内溶結凝灰岩を, カルデラ壁崩壊層を, そして埋没されたカルデラ壁そのものを見たかったからです. その希望の大部分は適えられ, 一部は良くわかりませんでした.

カルデラ壁にカルデラ内堆積物が直接接している露頭にふれることはできませんでした. さわる事ができた露頭では境界に貫入岩が入ってしまい(口絵写真3, 4), あとは遠望のみでした(第21図).

カルデラ内溶結凝灰岩は, 各ユニットが厚いこと, 強く溶結していること, 大きな斑晶が多く含まれていることなどの特徴があります. これは筆者が直接調べたことがある仙岩地域の古玉川溶結凝灰岩(須藤, 1987a, 1987b)と良く似ており, 安心して見る事ができました.

カルデラ壁崩壊礫層(caldera collapsed breccia)は様々な規模のものを見る事ができました. 昔は礫層に凝灰岩が貫入したと考えられていた露頭が, 現在では巨大なカルデラ壁崩壊礫のブロック群であると解釈されるようになった所など, 見て大変面白いものでした. 参加者の意見が分かれた露頭もありました. 例えば口絵写真6の礫層中には火山岩の礫ばかりで, 基質らしいものが見当りません. カルデラ壁が崩壊する過程でこのような礫層が本当にできるのか疑い意見も出されました. もう少し周囲の地質も詳しく見てみないと判断がむずかしいところです.

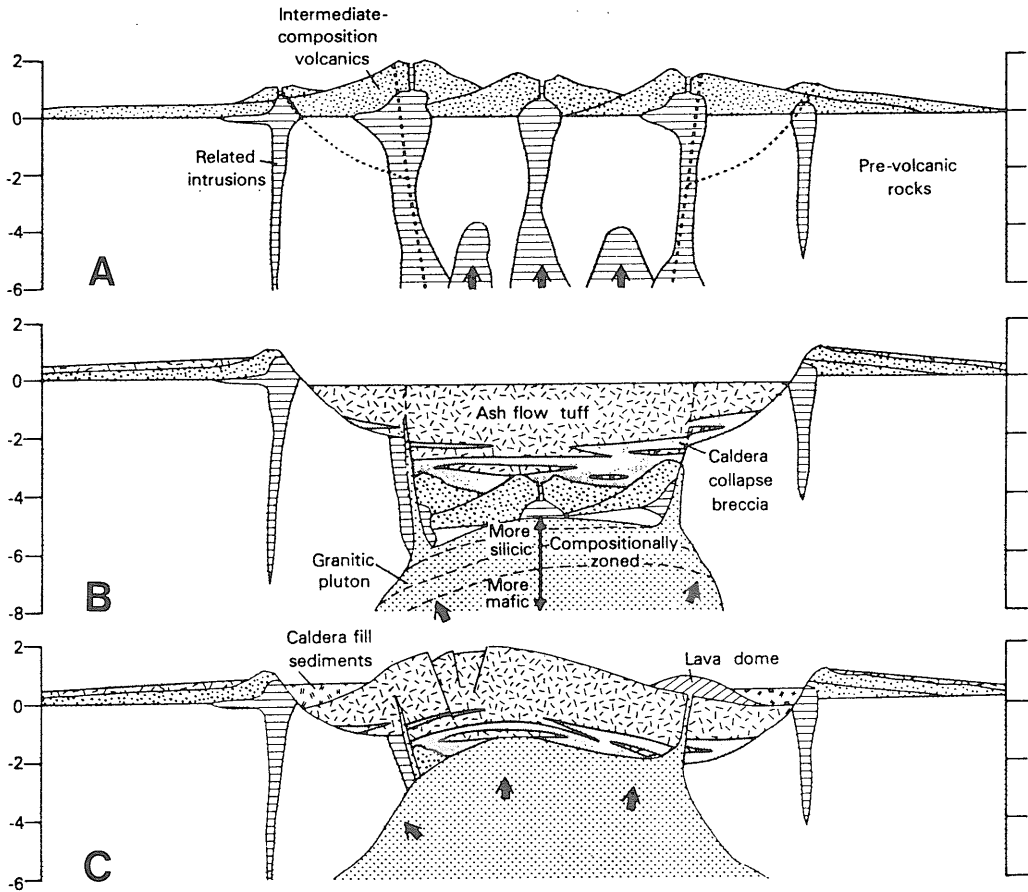
溶結凝灰岩の岩相変化(第22, 23図), 多少例外的かも知れませんが二次流動(口絵写真9, 第24図), マグマ混合(第25図), 冷却節理でない割れ目(第26図)など, 8日間の行程は変化に富んでいました.

鉱業関係の参加者にとっては鉱山見学の時間が少なかつたようでした. そのため途中半日だけ火山屋と鉱山屋に別れたこともありました. 鉱山の一部は高山にあるため, 冬季は休業することもあります. 一方クリード・カルデラ北縁にあるクリード鉱山(第27, 28図)は今では観光地として賑わっています.

なお8, 9章の内容の多くは, 特に断わってない限り, IAVCEI大会のガイドブック(DUNGAN et al., 1989; LIPMAN et al., 1989及びHON and LIPMAN, 1989. 以上3編の編集はP. W. LIPMAN, 1989)を引用しました.

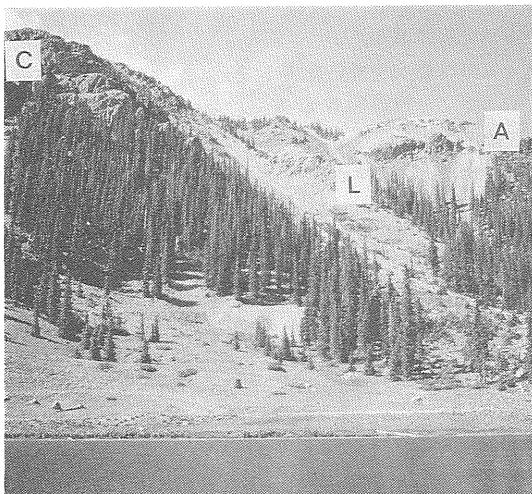
### 10. 巡検のやり方

巡検のリーダーが見せたいものを広告し, それを見た者が応募して巡検が成立します. 地質巡検の場合山岳地域で行なわれることが多く(第29, 30図), 危険を伴うこともあるので, リーダーの権限は絶対に近いものがあります. 円滑に行なうためにはまず広告の内容が正確で



第20図 LIPMAN (1984) によるカルデラ形成・再生モデル

- A : 先カルデラ活動期. 安山岩成層火山が多数でき, そのマグマ溜りが複合して巨大な珩長質マグマのもとになります.
- B : 火砕流噴出によるカルデラ形成直後. カルデラの外側と比べて異常に厚いカルデラ内凝灰岩, 急傾斜のカルデラ壁からの崩落礫層などが示されています.
- C : 後カルデラ再生活動と堆積期.

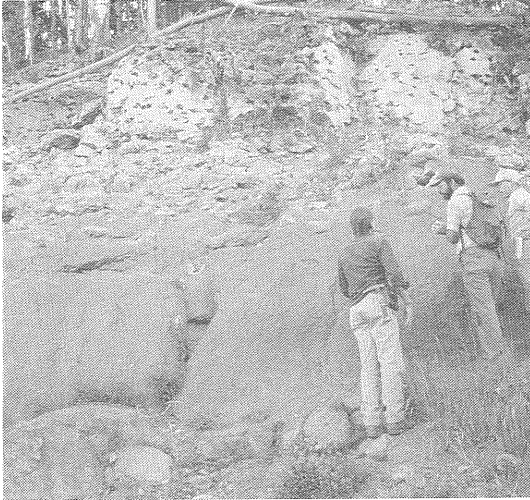


第21図 カルデラ縁の1例

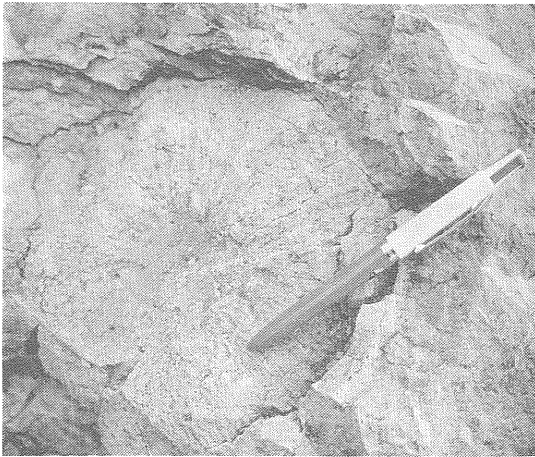
ほぼ水平な先カルデラのコネホス層 (C) と急傾斜面で接する La Jara Canyon Member (L). 基底面が急斜面であるため, カルデラ内凝灰岩の葉理面は基底面直上では最大60°の傾斜を示しています. Aはほぼ水平な後カルデラの安山岩溶岩. プラトロ・カルデラ西縁.

なければなりません. 地質の本題のほかにも, 地形, 気候, 運動量, 宿舎, 必需の携行品, 費用などの情報についてです.

見せたい側と見たい側の合意が成立すれば, かなりの無理も可能です. 見せたい露頭が山の上であれば, 全員で山に登って議論し, 山の天気は変わり易いので出発は朝5時だとリーダーが言えば, 参加者はそれに従います. 参加者の中に偉い人が居ようとも, 高齢者が居よう

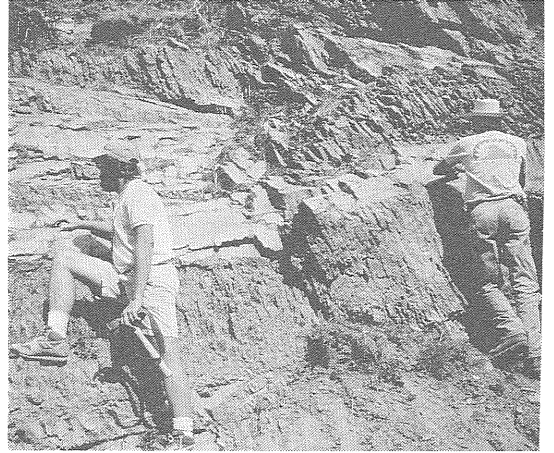


第22図 カルデラ外火砕流堆積物の例  
カーペンター・リッジ (Carpenter Ridge) 凝灰岩。  
人が立っている黒色部がビトロファイヤー・ゾーン。  
この下に灰色の弱溶結部と白色の非溶結部とがあります。  
上部は脱ガラス化作用を強く受けたゾーン。その  
拡大写真は第23図。サウス・フォーク (South Fork)  
南方。



第23図 第22図の穴の部分の拡大写真  
直径 10cm 以上のスフェルライトが発達しており、その  
周囲に多少の空隙があります。第 22 図とも写真が暗  
いのは、朝 6 時頃の日陰の露頭であるためです。

とも、容赦はしません。それを承知で参加した人達です  
から。巡検中の事故については参加者自身の責任におい  
て処理します、などという念書にサインさせておくのも  
手です。サン・ファンとは別な巡検中、女性参加者が傾  
斜した露頭を転落しました。肌も露な女性で (どうして  
あんなにも肌を出さなきゃいけないのかと思うのですが)、当然  
のことながら体中キズだらけで出血しました。しかし多



第24図 二次流動溶結凝灰岩の例  
割れ目の少ない部分と縦の細かい割れ目が多い部分  
が認められます。平滑な部分の拡大写真が口絵写真 9  
です。左側はリーダーの一人、米国地質調査所の K. HON.  
クリード 鉱山。



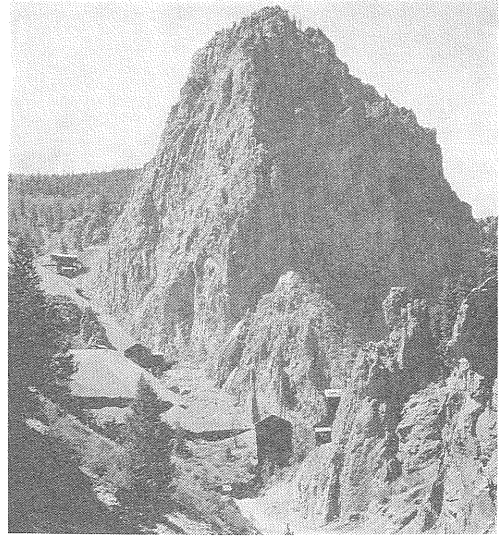
第25図 マグマ混合の証拠を示す凝灰岩  
黒色レンズは  $\text{SiO}_2$  量が 61-63% の安山岩、白色レンズ  
は同じく 73% の流紋岩です。カーペンター・リッジ  
(Carpenter Ridge) 凝灰岩の噴出直前または噴出時に  
混合したと考えられています。  
第22図と一連の露頭で、より上部の強溶結部に相当し  
ます。

分リーダーは何もしなかったと思います。

食事や宿舎などの費用をできるだけ安くする努力は、  
やはりすべきです。日本での国際学会の巡検は、しばし  
ば豪華過ぎます。旅行業者の添乗員付きの巡検に参加し  
たこともあります。たしかにリーダーとしては楽なので  
すが、物価が異常に高い日本では、やはり参加者に負担



第26図 傾動したカルデラ内溶結凝灰岩の割れ目  
 レイク・シティー・カルデラ内の再生ドーム南部。サンシャイン・ピーク凝灰岩にできたこの細かい割れ目は、冷却節理ではなく、その後の構造運動によるものであるとの説明がなされました。写真の右(北)側が再生ドームの中心です。とんでもないヤセ尾根を歩いているように見えますが、表紙写真のように反対側は暖やかな斜面になっています。



第28図 第27図のクリード鉱山街のすぐ北側の鉱山跡  
 確かに西部劇の舞台としてふさわしいかも知れませんが、古熱水系及びカルデラの構造を確認するための大陸学術ボーリングの予定地点はこの鉱山の北及び南にあります。



第27図 クリード・カルデラ北縁のクリード鉱山(の跡?)  
 1889年に銀が発見され、1890には N. C. Creede がクリード鉱山を造り、その後1日300人の割で人口は増加して、約1万人が住む鉱山街ができました。現在町の人口は1000人以下で多くの観光客が訪れています。ジェシィ・ジェームスを撃った男ボブ・フォードがこの街のサロンで殺されたとか、バット・マスターソンやカラミティー・ジェーンなど西部劇のスター達が立ち寄った記録などが残されています。

がかかりすぎます。



第29図 標高3170mの登山口から、3962mの尾根にたどり着いた巡検参加者達  
 全く疲れを見せない人、全身から疲労感を表現する人、すぐ裸になる人、様々です。後方は레이크・シティー・カルデラ内のサンシャイン・ピーク凝灰岩からなる Redcloud Peak(4278m)。登山者の数が少ないためか、公德心の高さ故か登山道付近には全くゴミは見当たりませんでした。リーダーからは特に生ゴミを残さないように注意されました。

ーダーばかりでなく多くの参加者に教えを頂きました。末尾ながら感謝の意を表します。

また本文中で紹介した文献のうち比較的入手が容易なものを紹介します。書名、価格の順に記します。

## 11. おわりに

本報告の大部分は地質巡検の記録であり、巡検中はリ



第30図 クリード鉱山北の大露頭から下りる巡検参加者  
巡検参加者が唯一カ所立ち往生した所。安息角の斜面  
なので1人通るごとに岩塊が崩落して進むのが遅くな  
り、いらいらした参加者がこれを追い越そうとしてま  
たまた岩が崩れて“rock” コールの連続でした。

Continental magmatism Abstract, IAVCEI General Assembly, Santa Fe, New Mexico, USA, 1989. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Bull. **131**, 340 p. 12 \$.

Field excursions to volcanic terranes in the western United States, Volume I: Southern Rocky Mountain region. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Memoir **46**, 1989, 468p. 25 \$.

Field excursions to volcanic terranes in the western United States, Volume II: Cascades and Intermountain West. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Memoir **47**, 1989, 258p. 17 \$.

Ash-Flow Tuffs: Their Origin, Geologic Relations and Identification and Zones and Zonal Variations in Welded Ash Flow. Reprinted from U.S. Geological Survey Professional Papers 354-F and 366. New Mexico Geol. Soc. Spec. Publ. No. 9, 1980. 15 \$.

以上の取扱はいずれも New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Socorro, NM 87801 です。

なお本報告執筆に際しては、現地訪問前には当所地殻熱部の笹田政克氏から、また執筆後には同じく環境地質部の小野晃司氏から、それぞれ有意義な助言を受けることができました。記して謝意を表します。

## 引用文献

- DUNGAN, M.A., LIPMAN, P.W., COLUCCI, M., FERGUSON, K. and BALSLEY, S. (1989): South eastern (Platoro) caldera complex. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 305-329.
- GOFF, F., GARDNER, J.N., BALDRIDGE, W.S., HULEN, J.B., NIELSON, D.L., VANIMAN, D., HEIKEN, G., DUNGAN, M.A. and BROXTON, D. (1989): Volcanic and hydrothermal evolution of Pleistocene Valles caldera. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 381-434.
- HON, K. and LIPMAN, P.W. (1989): Western San Juan caldera complex. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 350-380.
- 伊藤久男 (1987): ロスアラモス滞在記—フェントンヒル高温岩体研究に参加して—。地質ニュース, 第397号, 48-55.
- JOHNSON, C.M., SHANNON, J.R. and FRIDRICH, C.J. (1989): Roots of ignimbrite calderas: Batholithic plutonism, volcanism, and mineralization in the Southern Rocky Mountains, Colorado, and New Mexico. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 275-302.
- 海江田秀志・佐々木俊二 (1989): 大規模水圧破碎実験時のAE観測から推定した高温岩体内部亀裂の進展機構。地熱学会誌, **39**, 339-355.
- 金原啓司 (1985): 地熱地帯における深部坑井掘削の現状。地質ニュース, 第365号, 26-38.
- 厨川道雄 (1984): 米国ロスアラモスにおける高温岩体プロジェクト。地熱学会誌, **6**, 87-99.
- LIPMAN, P.W. (1984): The roots of ash-flow calderas in western north America: Windows into the tops of granitic batholiths. Jour. Geophys. Res., **89**, No. 10B 8801-8841.
- LIPMAN, P.W. (1989): Excursion 16 B: Oligocene-Miocene San Juan volcanic field, Colorado. (compiled), New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 303-380.
- LIPMAN, P.W., SAWYER, D.A. and HON, K. (1989): Central San Juan caldera cluster. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Memoir **46**, 330-350.
- NIELSON, D.L. and HULEN, J.B. (1984): Internal geology and evolution of the Redondo dome, Valles caldera, New Mexico. Jour. Geophys. Res., **88**, No. 10B, 8695-8711.
- ROSS, C.S. and SMITH, R.L. (1961): Ash-flow tuffs: Their origin, geologic relations, and identification. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. **336**, 1-81.
- 笹田政克 (1986): 米国での大陸学術掘削計画 (CSDP) — とくにマグマ—熱水系について—。地質ニュース, 第381号, 44-53.
- SEGAR, R.L. (1974): Quantitative gravity interpretation, Valles caldera area, Sandoval and Rio Arriba counties, New Mexico. Univ. Utah Res. Inst. Earth Sci. Lab., Open-File Rept. NM/BACA-27, 1-12.
- SMITH, R.L. (1960a): Ash flows. Geol. Soc. Amer. Bull.

71, 795-842.  
 SMITH, R.L. (1960b): Zones and zonal variation in welded ash flow. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 354-F, 149-159.  
 SMITH, R. L. and BAILEY, R. A. (1966): The Bandelier Tuff: A study of ash-flow eruption cycles from zoned magma chambers. Bull. Volcanol. ser. 2, 29, 83-104.  
 SMITH, R. L. and BAILEY, R. A. (1968): Resurgent cauldrons. Geol. Soc. Amer. 116, 613-662.  
 SMITH, R. L., BAILEY, R. A. and ROSS, C. S. (1970): Geologic map of the Jemez Mountains, New Mexico. U. S. Geol. Surv. Misc. Geol. Invest. Map. I-571.  
 須藤 茂 (1987 a): 仙岩地熱地域中心部の地質構造. 地調報

告, 第266号, 43-76.  
 須藤 茂 (1987 b): 仙岩地熱地域の珪長質大規模火砕流堆積物—玉川溶結凝灰岩と古玉川溶結凝灰岩—. 地調報告, 第266号, 77-142.  
 高島 勲 (1980): 高温岩体からのエネルギー抽出—米国の開発状況と将来への展望—. 地質ニュース, 第306号, 14-24.

---

SUTO Shigeru(1990): Valles Caldera and San Juan Volcanic region, middlewestern United States-Report of the IAVCEI general assembly in Santa Fe, New Mexico.

---

<受付: 1990年3月7日>

— 新 刊 紹 介 —

「地球電磁気学における異方性」

(Anisotropy in Geoelectromagnetism)

J. G. Negi and P. D. Saraf 著

Elsevier, 238ページ, 26,000円(税抜き)

物質の物理的性質が方向に無関係である時、その物質は等方性であるといい、方向により異なる時は異方性であるという。等方性の物質に比べて異方性の物質の理論的取り扱いには物理的性質のパラメータが増えるために複雑となる。そのため、比抵抗法やMT法などいろいろ地球電磁気学的測定では、従来、大地の抵抗は等方であると仮定して解析がおこなわれてきた。つまり、異方性には余り注意が払われてこなかった。しかしながら、最近の測定の精度・分解能の向上や計算機を用いた解析能力の向上に伴って、地殻の異方性が測定や解釈にどれだけ影響を与えるのか慎重に検討する必要が生じてきた。

本書は地球内部での電磁波伝播における電氣的異方性をわかりやすく総合的に取り扱った参考書で、次のよう

な構成をとっている。まず、1章で地殻の電氣的異方性の類型的分類及びその特性と原因について述べ、各種の電磁探査法が簡単に紹介されている。2章で比抵抗法探査について、3章でダイポールソースによる電磁探査法について、4章でMT法について、それぞれマクスウェルの基礎式から出発し、異方性の効果について理論的かつ具体的に論述している。5章では電氣的異方性についての室内モデル実験、数値実験について述べられている。章では実際に行われた物理探査への適用について論じられている。本書に表れる数式は全部で581個という数を見てもわかるように、まずマクスウェルの式を基礎とし、探査手法や媒質の異方性の条件に応じて、簡単なモデルから複雑なモデルへと丁寧に数式を導きだしてくれるので、入門者のみならず専門家にとっても一度目を通す価値のある本である。

(地質調査所 地殻物理部 牧野雅彦)