

クラテールを訪ねて

-イタリア, ブルカノ火山の地質調査-

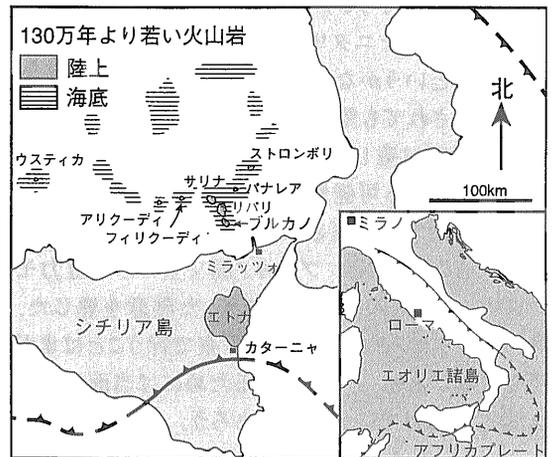
古川 竜太¹⁾・中野 俊¹⁾・大熊 茂雄²⁾・杉原 光彦³⁾

1. エトナの手荒な歓迎

イタリアには噴火様式の由来となった火山がいくつもあるため、「火山学のゆりかご」と呼ばれている。ブルカノ火山もそのひとつである。火山学を志したことがある人なら、いちどは聞いたことがある名前に違いない。「ブルカノ(Vulcano)」(イタリア人はブルカーノと発音。カにアクセント)の名前は、ローマ神話に登場する火の神「ウルカヌス(Vulcanus)」に由来する。これはギリシア神話の火と鍛冶の神「ヘファイストス(Hephaestus)」をモチーフとしているが、ウルカヌスの名前は、トルコ語で「山」を意味するバルカン(Balkan)と語源を同じくするらしい。これがのちに英語で火山を意味する「volcano」の語源となったことは、噴火を見るより明らかであろう。しかし、ほかにも数多くの活動的火山があるイタリアで、なぜこの火山に火の神の称号が与えられたのかは定かではない。ともあれ、この火の島に行こうと誘われれば、どんな火山研究者でも、ふたつ返事で「行く」と答えるに違いない。今回、二国間型国際共同研究において、ブルカノ島を調査する機会を得た。プロジェクトリーダーに声を掛けてもらってから、出発までは1ヶ月ほどしかなかったと記憶する。いざ飛行機がシチリア島上空にさしかかったとき、夜の闇にエトナ火山の壮大な噴火の溶岩噴泉が浮かび上がった。さらに隣席の若い女性は、私にシチリアの名物料理を教えてくれた。このとき、今回の調査は成功するに違いないとひそかに確信した。今回の調査の主眼は重力測定にあったので、地質調査は予察的なものにとどまっている。滞在中のエピソードなどを織り交ぜて、ここに報告することをお許し願いたい。

2. エオリエ弧と伊豆小笠原弧

夜半にシチリア島東部の都市カタニーヤに降り立ったわれわれは、翌朝鉄道でシチリア島北岸の港町ミラッツォを目指した。両者の間には広大な山裾を広げているエトナ火山があり(写真1)、鉄道は山麓を大きくまわり込むようにして海岸沿いを走る。車窓から見る海は青く、住宅の壁は白く、木々には果物が実っている。列車は中学生ぐらいの若者であふれており、人目も気にせず携帯電話でのおしゃべりに夢中である。ミラッツォからは高速船でブルカノ島へ渡る。高速船といっても小振りなディーゼル船なのだが、黒煙を吐きながらも、イタリアらしく猛烈な速さで走る。ブルカノ島までは、わずかに40分ほどで着いてしまう。



第1図 エオリエ諸島の概要図。Savelli (1988) および Funciello *et al.* (1980) を編集した。

1) 地質調査所 地質部
2) 地質調査所 地殻物理部
3) 地質調査所 地殻熱部

キーワード: 火山, イタリア, エオリエ諸島, ブルカノ, フォッサ, 火砕丘, 火砕サージ, リパリ, ストロンボリ, エトナ

第1表 エオリエ弧の火山の特徴と伊豆小笠原弧の火山との比較.

火山名	特徴	伊豆小笠原弧
ブルカノ (Vulcano)	盾状火山とカルデラ内の火砕丘	青ヶ島, ブルカネーロは硫黄島に似る
リパリ (Lipari)	流紋岩主体の火砕岩~溶岩	神津島
サリナ (Salina)	ふたつの玄武岩~安山岩成層火山体, 玄武岩 および流紋岩マグマ水蒸気噴火の噴出物を含む	八丈島*
パナレア (Panarea)	カルデラ形成により大部分が失われた成層火 山体と流紋岩溶岩ドーム	鳥島?
フィクデー (Filicudi)	玄武岩~安山岩溶岩からなり6つの噴出中心を 持つ	利島*
アリクデー (Alicudi)	急峻な火山体で, 長径1 kmの山頂火口と溶岩 ドーム	利島*
ストロンボリ (Stromboli)	玄武岩~安山岩の急峻な成層火山体	北硫黄島, 南硫黄島, 八丈小島, (渡島大島)
エトナ (Etna)	玄武岩質大規模成層火山	富士山*

*印は小山(1997)による.

ブルカノ島が属するエオリエ諸島は、大きく分けて7つの火山島からなる(第1図)。この火山弧は「Y字状」で、アリクデーからストロンボリまでの弧状の列と、それに直交するサリナからブルカノに連なる列からなる。弧の延長上には、さらに7つ以上の海底火山がある。この火山弧は130万年前ごろから海底火山活動を始め、100万年前以降は海上に姿を現したらしい(Savelli, 1988)。地震学的には北西に傾斜した和達ベニオフ面が存在し、アフリカプレートの沈み込みに伴う火成活動と考えられている(Gasparini et al., 1982など)。現在、前弧側には海洋プレートはなく、沈み込みはほとんど停止しているという見方もある(Anderson and Jackson, 1987)。サリナからブルカノに至る北西-南東方向の配列は、広域的な右横ずれ断層に沿って起こっ

た活動という考えもある。アリクデーのさらに西遠方にあるウスティカ島は更新世の火山だが、沈み込みにともなう活動ではないらしい。各火山島の形態、噴火様式などの特徴を、われわれにとってなじみ深い伊豆小笠原弧の火山に対比しながら紹介しよう(第1表)。

エオリエ弧南端に位置するブルカノ火山は変化に富んだ構造を持っている。南東部は溶岩を主体とする盾状火山で、北西部は流紋岩溶岩の火山体からなり、それぞれ直径3km弱のカルデラをもつ。北側のカルデラ内部には火砕丘が入れ子状に位置する。こうした形状は青ヶ島火山によく似ている。北隣のリパリ火山は流紋岩の旧称リパライト由来の地で、黒曜岩や軽石を主体とする流紋岩質の火山体は神津島火山を連想させる。面積・人口ともにエオリエ諸島最大である。「Y字」の中心付近に位置するサリナ火山はふたつの成層火山体からなり、八丈島に似る。エオリエ諸島の最高峰(962m)はこの島にある。北東端のストロンボリ火山は、地中海の灯台としてとくに有名である。定期的に赤熱したマグマ片を放出しており、ストロンボリ式噴火の模式地とされている。海面から急峻にそそり立つ火山体には、ほとんど平地がなく、伊豆小笠原弧南部の急峻な火山島を連想させる。そのほか詳細な検討はしていないが、対比可能な火山を表に載せた。小山(1997)は、フィクデーとアリクデーは利島に、さらにシチリア島の大規模成層火山であるエトナは富士山を想起させると述べている。こ

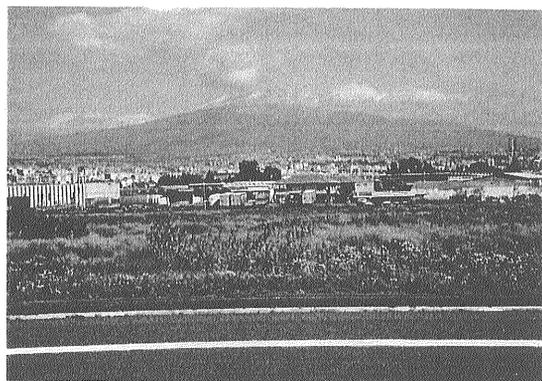


写真1 南から見たエトナ火山。帰路カタリーニャ空港から撮影。

のようにエオリエ弧の火山の特徴は伊豆小笠原弧に共通するものが少なくない。エオリエ弧を調べることで、伊豆小笠原弧に対する理解の手がかりが得られるかもしれない。

3. ブルカノ島静穏なり

バカンスシーズン前のブルカノ島に上陸したわれわれを待っていたのは、観光エージェントのアルフレッドと野良犬だった。彼らに案内され、住宅街の中の潇洒なコテージに機材を運び込む。屋上のテラスにあがると、噴気を上げる火砕丘は見上げるほどの近さだった(写真2)。エオリエ諸島には伝統的にドイツ系の観光客がバカンスに訪れるようで、そのせいか、エオリエ諸島の地質図の多くは、当初ドイツ人研究者の手によって描かれている(Keller,



写真2 ブルカノ島の調査拠点となったコテージ。背後にフォッサ火砕丘の一部が見える。

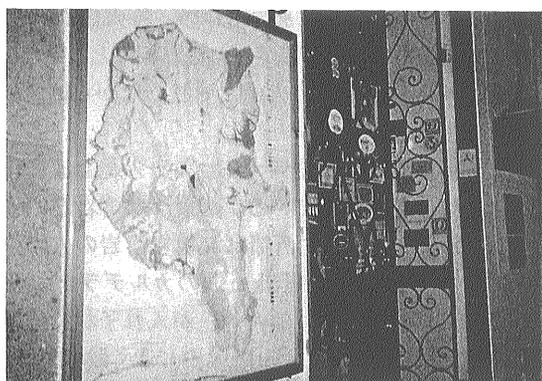


写真3 リパリ島の高級レストランFilippinoに飾られているリパリ火山地質図。

1980など)。リパリ島の高級レストランにはその色刷りの地質図が額縁に入れて飾られていた(写真3)。1980年代以降は、ブルカノ島全域に分布する火砕サージやマグマ系についての研究がさかんに行われている。

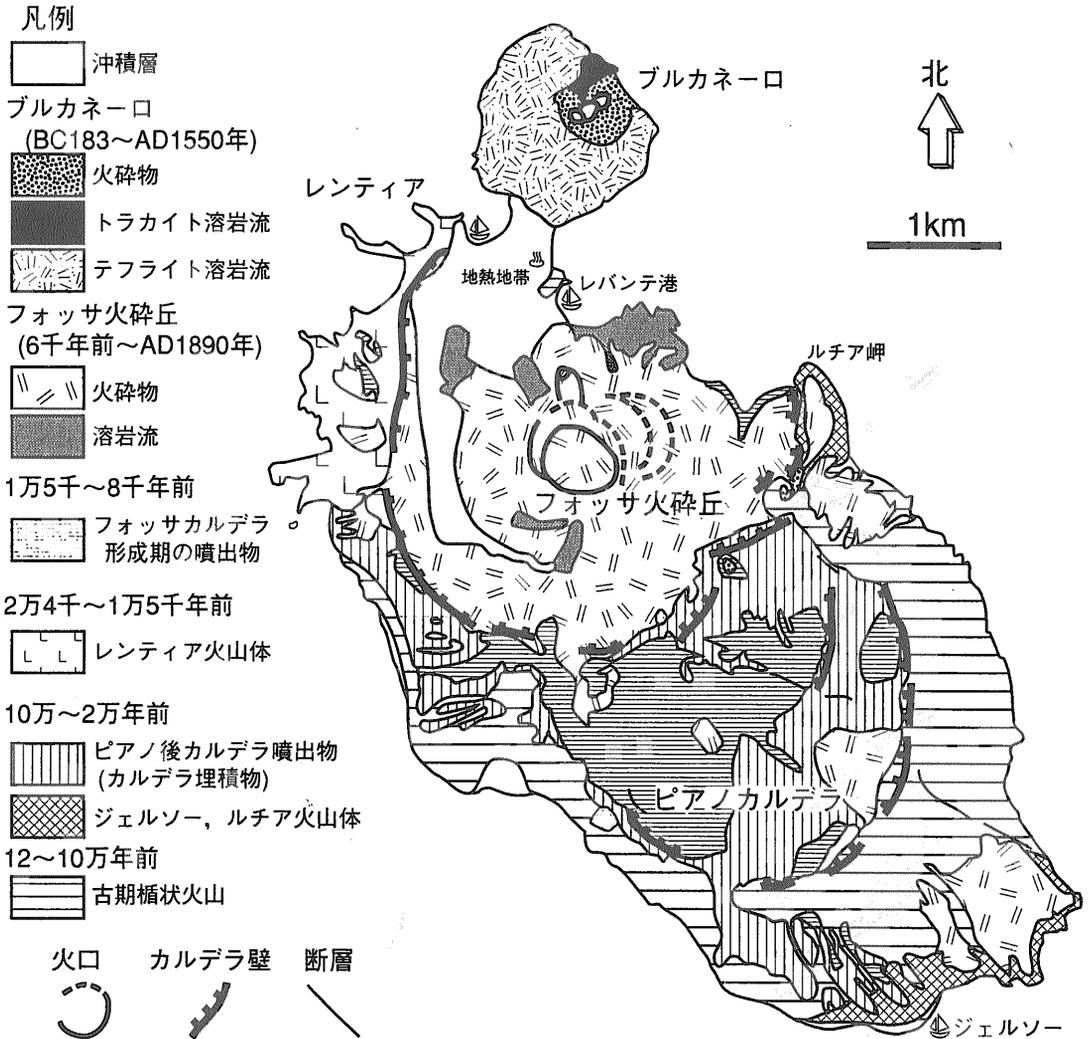
ここでは最近の研究成果にもとづいて、ブルカノ火山の地質を概観してみよう。ブルカノ火山は北西-南東方向に伸びた8×4kmの複成火山である(第2図)。南東部はショショナイト系列の玄武岩-テフライト溶岩を主体とする盾状火山で、活動期はおおよそ12万~5万年前にわたる。頂部に直径約3kmのピアノ(Piano)カルデラを持ち、カルデラは溶岩湖と火砕物によって平坦に埋め込まれている(写真4)。北西部は1万5千年前ごろの流紋岩溶岩からなるレンティア(Lentia)火山体(写真5)と、北東に開いた直径約3kmのフォッサ(Fossa)カル



写真4 ピアノカルデラを埋積する溶岩湖の断面。冷却ユニット境界が水平に連続して追跡できる。



写真5 レンティア流紋岩体の溶岩ドーム。放射状の冷却節理を示す。フォッサカルデラ北西壁。

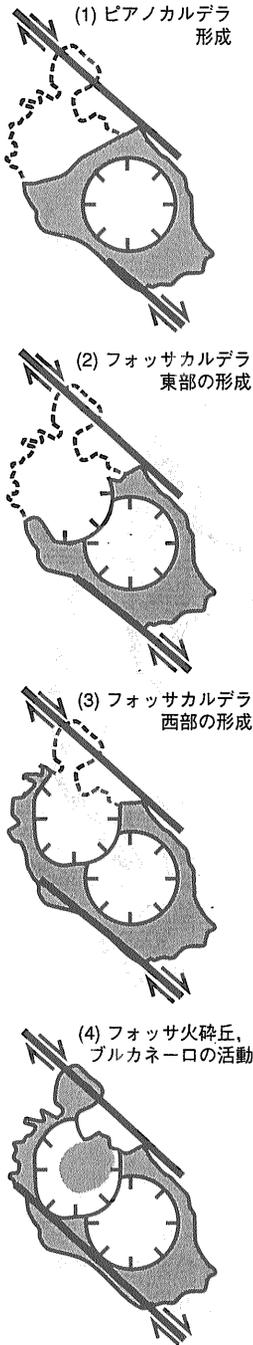


第2図 ブルカノ島の地質図。De Astis *et al.* (1997) および Ventura (1994) を編集した。

デラがある(口絵写真参照)。しかしフォッサカルデラ形成期に対比される噴出物(1万4千~8千年前)がいずれも小規模であることから、右横ずれ断層によるプリアパートベースンにより陥没地形が形成されたという考えもある(第3図)。フォッサカルデラ内部には基底径2km、比高390mのフォッサ火砕丘(Fossa cone)がある。一般にはグラン・クラテレ(Gran Cratere; 大火口)として親しまれている。ブルカノ式噴火の模式とされる噴火は、この火口からおこった。火口は直径約500mほどだが、火口縁は幾重もの弧からなり、噴火がたびたび起こったこ

とを示している。火砕丘の北側や南側には溶岩流が挟在される。島の北側に突き出した半島はブルカネーロ(Vulcanello)火山で、テフライトおよびトラカイトの溶岩流と火砕丘からなる(写真6)。

フォッサ火砕丘を狭義のブルカノ火山と呼ぶことがあり、この火砕丘以外でブルカノ式噴火が起こった証拠は見あたらない。フォッサ火砕丘の活動は6千年前ごろからはじまり、もっとも古く記録された噴火は西暦1444年である(Bullard, 1984)。18世紀には激しい噴火を繰り返し、1775年の噴火では北麓に黒曜岩質の溶岩流を流下させた(写真7)。



第3図 プルアパートベースンによるブルカノ火山のカルデラ形成モデル (Ventura, 1994).

19世紀に入ると活動はさらに激化し、1888～1890年の間に起こった噴火では、黒煙を噴き上げて多量の軽石、火山弾、火山灰を降らした。このような噴火を模式として「ブルカノ式噴火」が定義された。しかし20世紀に入ってからはひたすら噴気をあげているのみで、不気味な沈黙が続いている。

島の北部にあるブルカネーロは紀元前183年に海上に現れた新しい火山島であった。その後の噴火で、溶岩流と火砕丘を成長させ、1550年に砂州によってブルカノ島とつながった。噴気活動は19世紀後半まで続いた。紀元前後のローマ帝国時代のフォッサ火砕丘の活動が明らかではないことから、ブルカノの命名がブルカネーロの活動を参照している可能性もある。



写真6 東方海上から見たブルカネーロ。右の海蝕崖には火砕丘を構成するアゲルチネートと岩脈が露出する。

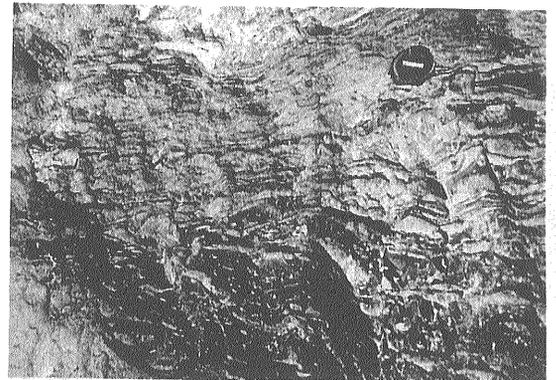


写真7 1775年にフォッサ火砕丘北麓に流下した黒曜岩溶岩流。発泡のよい明色部と緻密な暗色部からなる。レンズキャップの直径6cm。

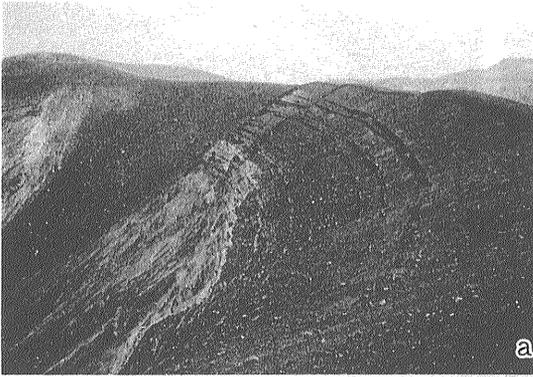


写真8 a: フォッサ火砕丘の西側火口壁。下位の明るい部分と上位の成層した暗色部分はいずれも火砕サージ堆積物。ブルカノ式噴火の堆積物は最上部1.7mに過ぎない (Frazetta et al., 1983)。



b: フォッサ火砕丘北麓斜面を広く覆うブルカノ式噴火の噴出物。冷却節理を示す弾道放出岩塊が多い。

4. フォッサ火砕丘の素顔

19世紀までの活発なブルカノ式噴火の影響で、フォッサ火砕丘はブルカノ式噴火の象徴のように思われている。しかし最近の研究から、フォッサ火砕丘は主にマグマ水蒸気噴火によって山体を成長させてきたことがわかってきた。Dellino and La Volpe (2000)によると、噴出物の8割以上は火砕サージ堆積物で、残りは降下火砕物、溶岩流などであるという。フォッサ火砕丘の火口壁には厚く火砕サージ堆積物が累重しており、ブルカノ式噴火の噴出物は最上部の数メートルに過ぎない(写真8a, 8b)。火砕サージ堆積物はブルカノ島を広く覆っている。とくにフォッサ火砕丘東側のルチア岬では、下位の地層にアバットする火砕サージ堆積物の様々な堆積構造が観察できた(写真9a~d, 口絵参照)。その多くは水分を多く含んでいた証拠を持っており、マグマ水蒸気噴火の産物である可能性が高い。フォッサ火砕丘はハワイのオアフ島のダイヤモンドヘッドのような巨大なタフリングに近い性質を持っている。

このようにブルカノ火山が、ブルカノ式噴火だけではなく、マグマ水蒸気噴火を特徴的に起こっていることは、防災上は深刻な問題である。現在の市街地はフォッサ火砕丘の火口から至近距離にあり、火砕丘のまわりを取り囲むように年々拡大して

いる。港は火砕丘に近く、避難路も火砕丘を大きく回り込んで島の南端に至る道しかない。再び噴火が起こった場合の対応は簡単ではないだろう。

5. 遠かったストロンボリ

今回の調査は重力測定にもっとも力を割いた。とくにフォッサ火砕丘については、オーストリア地質調査所のR.Supper博士の応援も得て、可能な限り多くの測線を設けた。火口凹地など、ガスの危険が予想される場所ではガスマスクを着用した(写真10)。フォッサ火砕丘のまわりにはヤギの群れが放し飼いにされており、調査中にしばしばその大群に遭遇した。彼らは植物の若芽を片っ端から食べており、フォッサが植生に覆われるのを防いでいる。場所によっては、ヤギが食べないイバラ科の植物が繁茂しており、藪漕ぎに血を流した。重力探査のリーダーである杉原は、深夜までデータ処理をおこなった。重い重力計を背負って歩く毎日に疲れ、車と塀の間に人が挟まれる事件も発生した。古川はパスタに飽きたメンバーの食事を作るのに苦心した。そんなときは地熱地帯に湧き出る温泉で疲れをいやした(写真11)。パカンスシーズンにはこの温泉を目当てに、大勢のドイツ人観光客が押し寄せるという。滞在も残すところ数日となり、データがほぼ揃いつつあった。そこで地質グループは、か

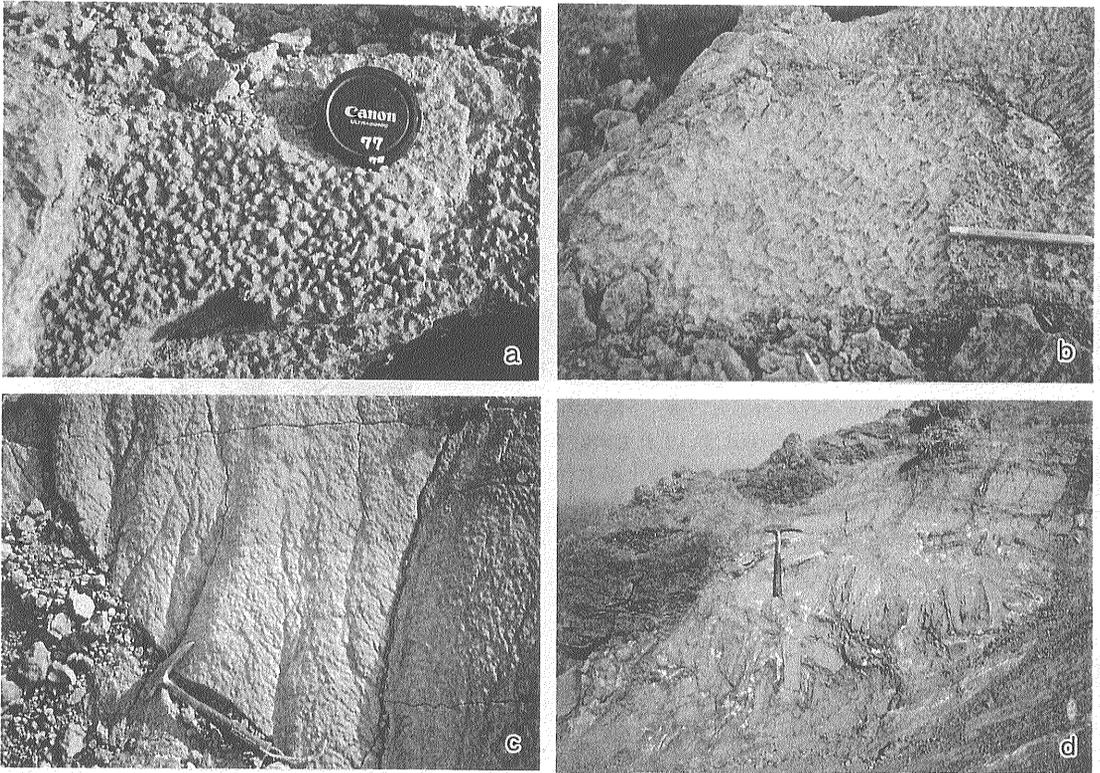


写真9 a：火砕サージ堆積物に見られる堆積構造。層理面の火山豆石状の起伏，レンズキャップは径77mm。
 b：層理面上の線条痕。伸長方向は給源方向を向く，鉛筆の長さ12cm。
 c：層理面上の雨裂。火山豆石状の起伏を切り，デューンの凹部に向かって発達する。堆積物が水に飽和していたか，堆積直後の降雨による。
 d：ブロックとして取り込まれた下位の火砕サージ堆積物。白色部は二次鉱物。

ねてからの念願であったストロンボリ調査を計画した。漁船をチャーターし，万全の準備で望んだものの，この時だけ二日連続荒天でキャンセルとなっ

た。その後，離島するまでは測定点の補備に全力を挙げた。近所の食堂では全てのメニューを食べてしまった(といっても5～6種類で，トマト味しかない)。にわかには始まった有珠火山の噴火も気になる。われわれは，アルフレッドと野良犬に見送られ，ブルカノ島をあとにした。

6. エトナふたたび

ほとんどの日程をブルカノ島で費やしたわれわれは，帰路，最後の一日をエトナ火山にあてた。カタリーニャの街から1日1便しか出ない路線バスは，2時間近くかけて山麓をゆっくり登っていく。かつて1669年には溶岩流がこのルートを逆にたどって，カタリーニャの街まで流れた。バスの中で英語を喋るイタリア人の青年と出会った。彼は火山を観察するのが趣味で，はるばるミラノから来たという。バス

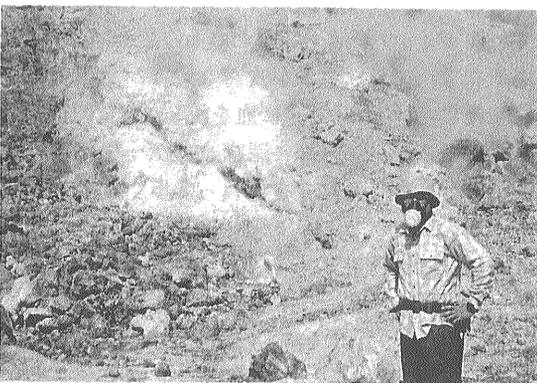


写真10 フォッサ火砕丘の火口底。噴気孔周辺には針状硫黄が析出している。

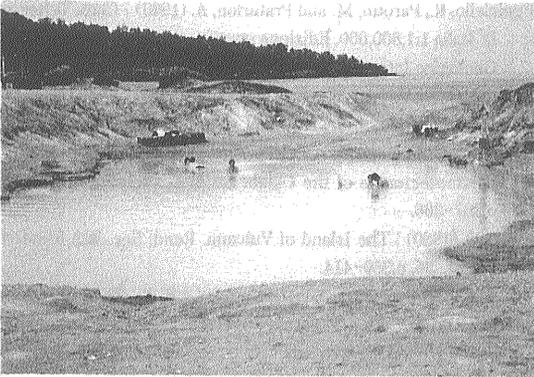


写真11 地熱地帯の泥温泉。強烈な硫化水素臭を放っている。日本人にはぬるい温度。

が到着した登山基地リフュジオ・サピエンツァから上はスキー場となっていて、その斜面を頑強な四輪駆動バスが観光客を山頂付近までみちびく。山頂付近は雪に覆われているが、正面に見える火砕丘は黒々として、活発に噴気を上げている(口絵参照)。火砕丘は急傾斜で、おそらくスパッター丘であろう。われわれの立っているあたりは、ところどころ黒々としていて、下から熱気が上がってくる場所もある。ガイドによると、3月21日に噴出したばかりの溶岩流の上だという。われわれが滞在した間には、遠くに小規模なアア溶岩流が見えたのみで、期待した溶岩噴泉は見られなかった。しかし幸運にも環状噴煙が観測できた(写真12、口絵参照)。同様の噴煙は有珠火山の噴火でも観測されている。半分溶岩流に埋め立てられたレストハウスの屋根に、フランス人研究者のグループがビデオやマイクなどの観測機器を設営していた。リーダーはきわめて社交的な人物で、われわれにコーヒーをごちそうし、さらに噴火について説明してくれた。それによると、噴火はきわめて周期的に起こっており、次の噴火はこのあと17時頃に始まるという。イタリア人の青年はフランス人研究者の話聞いて、登山基地に泊まることを決めた。翌朝早くにカターニャを発たなければならないわれわれは、後ろ髪を引かれる思いで山を下りた。その後カターニャへ戻ると雨が降り出し、エトナの噴火を遠望することはできなかった。山頂付近にいた彼らは壮大な噴火に立ち会うことができただろうか。

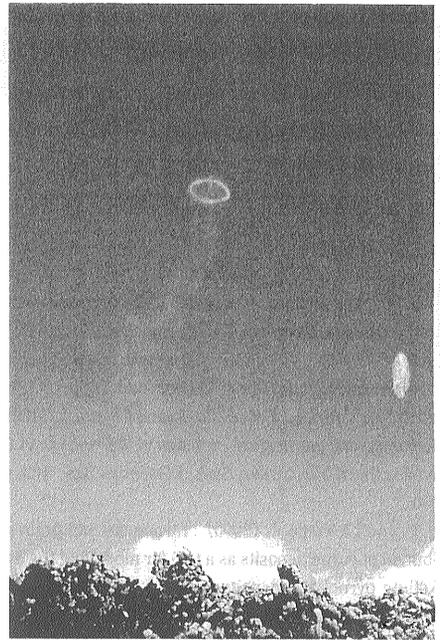


写真12 エトナ火山の環状(トロイダル)噴煙。対流により、小周方向(ポロイダル)に回転している。

7. あとがき

われわれのイタリア滞在中に、日本の有珠火山噴火の報が届いた。イタリア人の火山に対する関心は高く、テレビニュースでは噴火の映像を繰り返し放映していた。ブルカノ島でも、われわれが日本人とわかると、多くの人が手のひらを上に向けてパッと開くゼスチャーをしてみせてくれた。リパリの街中やエトナの登山基地では火山のガイドブックや火山地質図がみやげ物に混じって売られている。ミラノの青年のような一般の人が火山を楽しむことができる風土がそこにはあった。

今回お世話になった観光エージェントのAlfredo D'Agata氏は、ブルカノ島を含むエオリエ各島で短期滞在用のアパートを手がけている。レンタカーや傭船など種々の手配もしてくれるので、今後予定のある方は参考にしていただきたい。英語で電子メールでのやりとりも可能である(<http://www.vulcanoconsult.it/>)。エオリエ諸島の火山を含むイタリアの火山については、Boris Behncke氏作成のウェブページ(<http://www.geo.mtu.edu/~boris/>)

STROMBOLI.html) がたいへん詳しい。日本語では小山真人著「ヨーロッパ火山紀行」(1997)、萬年一剛氏作成のウェブページ (<http://www.d1.dion.ne.jp/~mann/italy.htm>) に詳しい記述がある。有珠火山の環状噴煙については <http://www.usuzan.net/wakka/> に写真が掲載されている。

引用文献

- Anderson, H. J. and Jackson, J. A. (1987) : The deep seismicity of the Tyrrhenian Sea. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 91, p.613-637.
- Bullard, F. M. (1984) : *Volcanoes of the earth*, revised edition. University of Queensland Press, Queensland, 579p.
- De Astis, G., La Volpe, L., Peccerillo, A. and Civetta, L. (1997) : Volcanological and petrological evolution of Vulcano island (Aeolian Arc, southern Tyrrhenian Sea). *J. Geophys. Res.*, 102, p.8021-8050.
- Dellino, P. and La Volpe, L. (2000) : Structures and grain size distribution in surge deposits as a tool for modelling the dynamics of dilute pyroclastic density currents at La Fossa di Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 96, p.57-78.
- Funiciello, R., Parotto, M. and Pratlurlon, A. (1980) : Carta Tettonica D' Italia 1:1,500,000. Edizione provvisoria per il 26° Congresso Geologico Internazionale, Parigi - Luglio.
- Frazetta, G., La Volpe, L. and Sheridan, M. F. (1983) : Evolution of the Fossa cone, Vulcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, p.329-360.
- Gasparini, C., Iannaccone, G., Scandone, P. and Scarpa, R. (1982) : Seismotectonics of the Calabrian Arc. *Tectonophysics*, 84, p.267-286.
- Keller, J. (1980) : The Island of Vulcano. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 36, p.369-414.
- 小山真人 (1997) : ヨーロッパ火山紀行. ちくま新書, 205p.
- Savelli, C. (1988) : Late Oligocene to recent episodes of magmatism in and around the Tyrrhenian Sea: Implications for the processes of opening in a young inter-arc basin of intra-orogenic (Mediterranean) type. *Tectonophysics*, 146, p.163-181.
- Ventura, G. (1994) : Tectonics, structural evolution and caldera formation on Vulcano Island (Aeolian Archipelago, southern Tyrrhenian Sea). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 60, p.207-224.

FURUKAWA Ryuta, NAKANO Shun, OKUMA Shigeo, SUGIHARA Mituhiko (2001) : Visiting Cratere ; Brief geological survey at Vulcano Island, Italy.

< 受付 : 2001年1月4日 >