

## アリゾナ州Springerville 火山地域の地形

著者	守屋 以智雄
雑誌名	金沢大学文学部地理学報告
巻	4
ページ	125-135
発行年	1988-02-26
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/11020">http://hdl.handle.net/2297/11020</a>

## アリゾナ州 Springerville 火山地域の地形

守 屋 以智雄

Landform of the Springerville volcanic field, Arizona  
Ichio MORIYA

### Abstract

The Springerville volcanic field is a cluster of several hundred flows of basalt, 293 scoria cones, 5 tuff rings or tuff cones and 2 small shield volcanoes. The scoria cones are geomorphologically divided into 4 types as follows : (1) with a circular crater, (2) with a horseshoe-shaped crater, (3) whose summit has been separated into 2 mounds, (4) without any crater. The variety of the scoria cones in shape probably indicate their differences in age.

The total volume of the eruptive materials is estimated at about 200 km<sup>3</sup>. The eruption rate is 0.07 km<sup>3</sup>/1000 ys. The volcanic activities occurred once every 10,000 years in average. The volume of the materials yielded in every one eruption cycle is estimated at 0.7 km<sup>3</sup>.

The older scoria cones are mainly distributed in the southwestern part of the volcanic field, elongating to the direction of NW-SE. The younger cones are uniformly scattered in the whole region. The fact suggests that the volcanic field is extending northeastward.

### I はしがき

米国アリゾナ州からニューメキシコ州にかけて、第三紀末から現在まで活動した大小約20の火山地域が存在する (Fig. 1)。これらの火山地域の大部分は数10~数100のスコリア丘とそこから流出した玄武岩質溶岩流が集合して生じた溶岩原である〔一部に流紋岩質火砕流を大量噴出した Valles Caldera (Smith & Bailey, 1968), 安山岩質~玄武岩質の溶岩・火砕岩からなる成層火山~楯状火山やデイサイト質溶岩円頂丘が形成された Taos Plateau volcanic field (Lipman and Mehnert, 1979) や San Francisco volcanic field (Moore et al., 1976), 成層火山が形成された Taylor volcanic field (Crumpler, 1982) などがある〕。そのひと

つにアリゾナ州中東部の Springerville volcanic field がある。この火山地域を短期間ではあるが、調査する機会を得たので、この火山地域の地形の概要を報告する。

この火山地域についての研究はごく最近始まったばかりである。まず衛星写真などからその概要についてある程度明らかにされ(例えば Luedke & Smith, 1984, Chronic, 1983), 続いて詳細な研究がここ数年たらずの間に進行し (Aubele et al., 1986, Condit et al., 1987 など), 近く地質図も刊行される予定である。

この研究にあたっては Ronald Greeley, Jonathan Fink, David Crowne (アリゾナ州立大), J. C. Aubele, L. S. Crumpler (ブラウン大) の諸氏に多くの情報

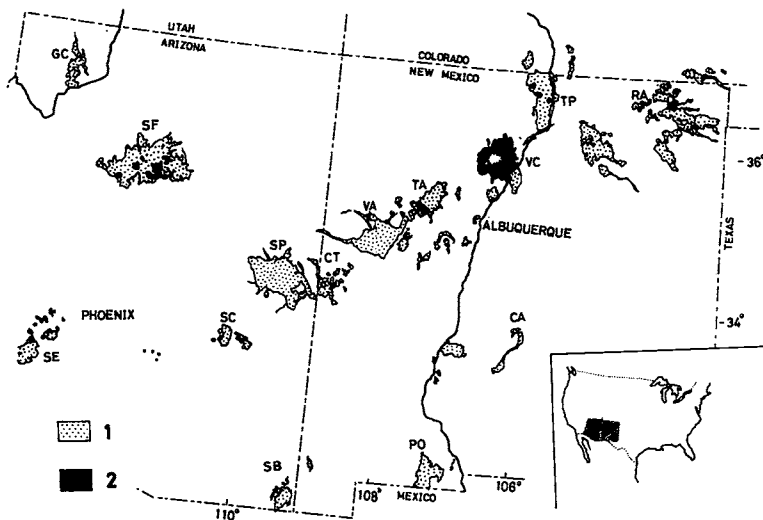


Fig. 1 Distribution of the volcanoes in the Southwest of USA (Simplified from Luedke and Smith, 1984).

1. Basalt fields 2. Andesite, dacite and rhyolite fields. CA: Carrizozo volcanic field. CT: Catron volcanic field. GC: Grande Canyon volcanic field. PO: Potrillo volcanic field. RA: Raton volcanic field. SB: San Bernardino volcanic field. SC: San Carlos volcanic field. SE: Sentinel volcanic field. SF: San Francisco volcanic field. SP: Springerville volcanic field. TA: Taylor volcanic field. TP: Taos Plateau volcanic field. VA: Valencia volcanic field. VC: Valles Caldera volcanic field.

をいただいた。白尾元理氏には現地でも多くのご助言をいただいた。ここで深く感謝の意を表したい。

## II 調査地域の地形・地質概要

コロラド州、ユタ州にひろがる広大なコロラド台地はアリゾナ州・ニューメキシコ州の北部まで達している。その西、南には Basin and Mountain Range がひろがり、両者の境界に沿って、ちょうどコロラド台地南縁を縁どるように Raton, Taos Plateau, Valles, Taylor, Springerville, San Francisco, Grand Canyon など10個ほどの火山地域が分布する (Oetking et al, 1967; Kelley et al., 1982; Baldrige et al., 1983)。

本論で取扱う Springerville 火山地域はこれらのひ

とつで、アリゾナ州中東部、ニューメキシコ州境近くにひろがる面積2500km<sup>2</sup>の溶岩原である。この溶岩原は二疊紀の堆積岩類からなる標高2000~3000mの高原地域に形成されている。南には8 Ma 前に活動した成層火山 White Mountain (Merrill & Péwé, 1977) を中心とする第三紀火山地域がひろがる。

この地域は冬季に若干の積雪をみるが、少雨地域のため流水による浸食は微弱で、凍結融解・風による面的浸食作用がわずかに働くのみで、第三紀以来の火山活動の跡を示す地形がよく残っている。

## III 溶岩原の地形的記載

Springerville 溶岩原の大部分は溶岩流が占めるが、大小、新旧、様々なスコリア丘が300個近く存在する。

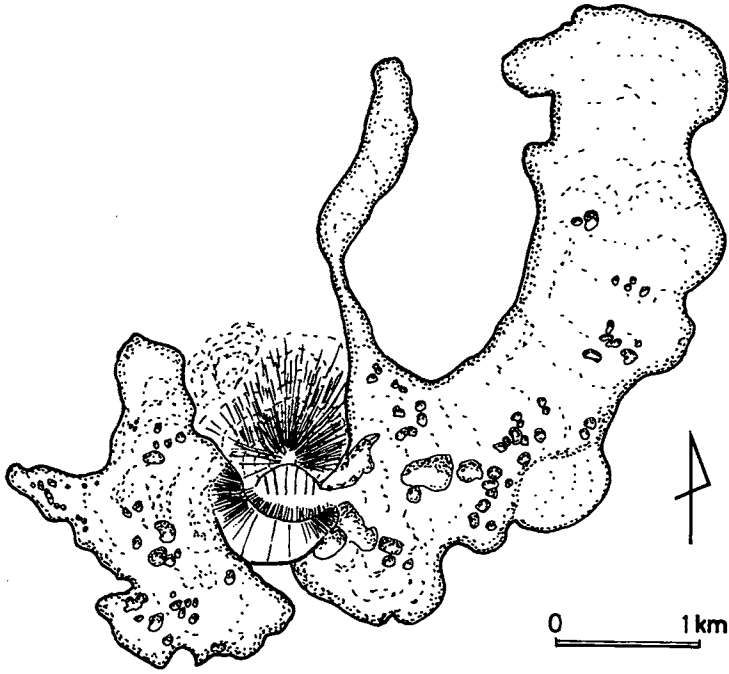


Fig. 2 Geomorphological map of 7268ft-high scoria cone and lava flow 15km northwest from Springerville  
Small mounds on the lava flow are rafted blocks.

それ以外に5個のタフリング・タフコーン、2個の楕状火山が存在する。これら形態・規模・分布などについてのべる。

### (1) 溶岩流の地形

#### a) 個々の溶岩流の平面形

アメリカの24000分の1の地形図は等高線間隔が20ft  $\approx$  6mのうえ、この地域が植生が少いこともあって精度が非常によい。そのため等高線から溶岩流の分布を決定することがほとんどの場合可能である。地形図判読から得られる溶岩流の平面形は、新しい溶岩流の空中写真から知られる水平図面と非常によく似ている。このことは溶岩が流出後ほとんど浸食されず原形を保っていること、それを地形図がよく表現していることを示している。

地形図判読のみから溶岩流の分布図を描くことが可能か否かについて、現地をチェックを行ったが、

いずれの場合でも溶岩の構造の特徴などから浸食はあまり行われておらず、地形図判読が有効であることが明らかとなった。

そこで地形図判読から分類図を作成し、溶岩流の区分を行った (Fig. 2)。

区分された溶岩流の平面形は、一般に斜面にしたがって溶岩流が流れたパターンをよく保持し、細長い。幅が1~3km、長さ5~10km程のものが多い。もっともより新しい溶岩流に覆われることが多いので、長さも幅も見かけより大きいと思われる。これらのパターンはアイスランド、ハワイなどの玄武岩質溶岩流とよく似ている。

#### b) 表面微地形

玄武岩質溶岩流の表面には tumulus, pressure ridge, sink, wrinkle など比高10m以下の様々な種類の起伏がみられる (Nichols, 1946, Macdonald,

1967, Greeley, 1982)。しかしそれらの起伏は年代が古くなるにつれ solifluction, wind erosion などによって失われ、平滑な表面に変化する。

これらの微起伏は地形図上では複雑に屈曲した等高線で表わされ、溶岩流表面が平滑になるにつれ等高線は単純でなめらかな曲線を描くようになる。また、その中間には等高線はなめらかであるが、小突起あるいは小凹地を表わす閉曲線が存在し、前二者の中間の年代を表わすと考えられる溶岩流もある。

特に Rafted block (Crater wall fragment) は溶岩流表面から10~30mの高さで突出していることが多いので、他の微起伏より後まで保存され、認識可能な場合が多い (Fig. 3)。

### c) 溶岩流の規模

この溶岩原では末端まで明瞭に追跡できる若い溶岩流は少いので、統計的に意味ある数値をあげることとはできないが、比較的若いいくつかの溶岩流の長さは10km程度のものが多い。

溶岩流の幅は1~2km程度が多く、平坦部では数kmの幅まで広がることもある。

溶岩流の厚さは末端崖、側端崖の比高から推定されるが、大部分が10mを越えず、5m前後のことが多い。台地縁に露出する溶岩は、厚さ数mの褐色火山灰層をはさんで数枚累重している場合が多くその合計は50mをこえない。1枚の溶岩流の厚さは5~10mのことが多い。しかしこのような露頭は噴出源



Fig. 3-1 Rafted blocks on the lava flow from 7219ft-high scoria cone in the western part of the Springerville volcanic field.

から離れた場所にあることが一般的で、噴出源近くでの厚さはわからないことが多い。

ニューメキシコ州の Taylor 火山の西麓にある玄武岩台地縁に半分浸食されたスコリア丘がある。台地を限る垂直の崖にはスコリア丘、火道、そこから流出した溶岩流の内部構造が明瞭に認められる。岩頸付近で Spatter と lava の境界は不明瞭であるが、lava の厚さはおよそ50m、それが500mも離れないうちに20m以下に激減する。これが一般的であるなら、ひとつの火道から流出する溶岩流の平均の厚さはおよそ10m、あるいはそれ以下と考えてよいだろう。もう少し多くの地域の同様の露頭観察を行って、火道からの距離と溶岩流の厚さの関係を明らかにする必要があるが、ここではとりあえず8mとすると、平均的な溶岩流の体積は0.16km<sup>3</sup>となる。もし1個のスコリア丘から1枚の溶岩流が流出すると仮定すれば、後述のようにスコリア丘は300個存在するので48km<sup>3</sup>となる。一方露頭で観察される累重した溶岩流の平均的厚さを30mと仮定し、Springerville 溶岩原の面積を2500km<sup>2</sup>とすれば、総体積は75km<sup>3</sup>となる。溶岩原は300万年間に継続的に浸食されてきたことを考えると、実際の総噴出量はより多かったと見なければならぬ。個々の溶岩流からの推定値と、溶岩原全体の面積・厚さから求めた値との間に若干の差違が認められるが多くみて総噴出量は100km<sup>3</sup>前後とみて差支えないであろう。



Fig. 3-2 A part of a rafted block on the lava flow from 7268ft-high scoria cone 15km southwest of Springerville. Note the stratification of spatters in the block.

## (2) スコリア丘

Springerville 溶岩原には300個近いスコリア丘が認められる (Fig. 4)。その形態・規模・分布などについて略述する。

### a) 形態

スコリア丘の形態分類については別紙で述べるつもりであるので、ここでは概要をのべるにとどめる。

この地域のスコリア丘は①円形火口を保持するもの②馬蹄形火口を保持するもの (Fig. 5)、③二つの峰に分かれてしまったもの、④尖頭をもつ単純な円錐形を示すものに大別される。

これらの形態的差違は大きくみて、スコリア丘の新旧と対応していると考えられる。円形火口が残るスコリア丘は新しく、火口が消失し単純な円錐形を示すスコリア丘は古いと考えてよい。しかし形成当時すでに円形火口ではなく馬蹄形火口になっていたものもあり (スコリア丘の一部が崩壊し、溶岩流によって流れ去るため) 必ずしも形態のみから年代が判定できるとはいえない。

しかし4段階程度に分けた大まかな分類では、これはあまり問題がないであろう。Fig. 6に各々の形態別の典型例を示す。

この溶岩原で円形火口を残すスコリア丘は9個認められる。しかしこれらから流出する溶岩流は2、3を除いて微起伏を残しているものではなく、San Francisco 火山地域の Bonito 溶岩流や Valencia 火山地域の McCartys 溶岩流などのような Holocene または歴史時代に噴出したと考えられるものは存在しない。

C. A. Wood (1980 a. b)によれば San Francisco 火山域では双峰、単純尖頭円錐丘は100万年以上に形成されたと考えられているが、そこから200km南東にあって気候・地形・標高等がよく似る Springerville 火山地域でも同様に考えることができる。この地域でもっとも古い年代値は3 Maで、もっとも新しいものは0.3 Ma (Condit, 1987)である。したがって尖頭円錐スコリア丘は2~3 Ma前、円形火口を保持するスコリア丘は数10万年前に形成されたもの

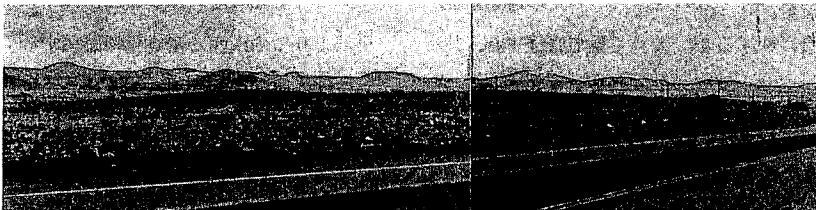


Fig. 4 Cluster of scoria cones near Springerville.

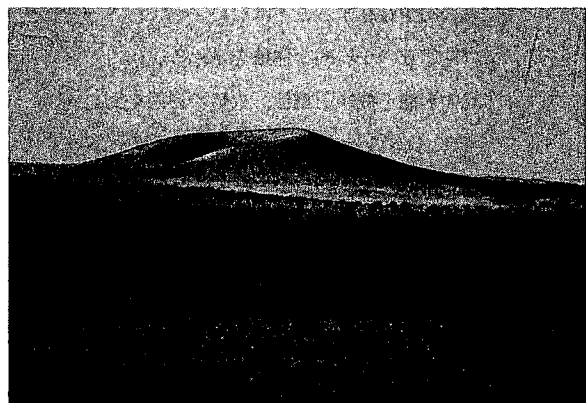


Fig. 5 7914ft-high scoria cone with typical horseshoe-shaped crater near Cerro Hueco Crater in the middle-northern part of Springerville volcanic field.

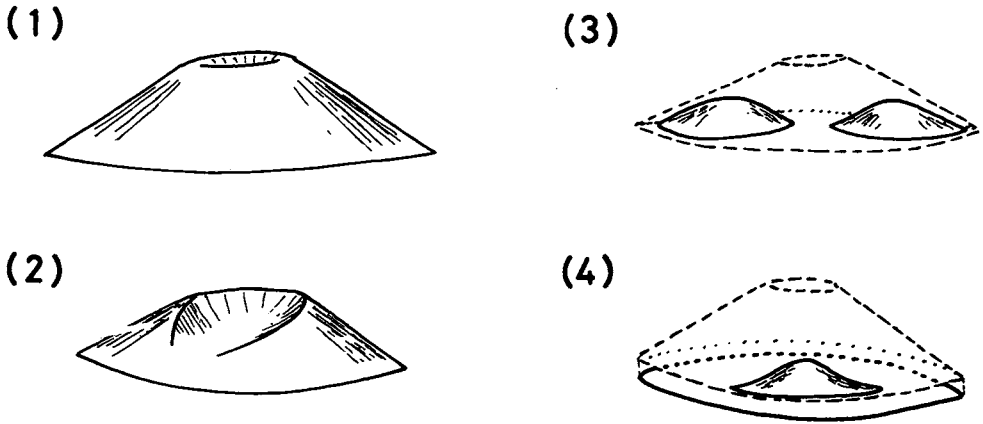


Fig. 6 Classification of scoria cones in shape.

- (1) Younger scoria cone with a circular crater.
  - (2) Younger scoria cone with a horseshoe-shaped crater.
  - (3) Twin mounds which are remnants of a scoria cone.
  - (4) Simple cone without any crater which is a remnant of an eroded scoria cone.
- Some of them may be volcanic necks.

と考えてよい。以上のことから Springerville 火山地域はここ300万年間、断続的に活動を続け、次第にその面積をひろげてきたものと推察される。

#### b) 規模

この地域のスコリア丘の規模についての詳しい記載は別の機会にゆずるが、大きく見て底径1km、比高150~200m程度の規模をもつスコリア丘が大部分を占める。この火山地域の中央部にある Cerro Montoso は底径2.5km、比高300m程で他に比べやや大きく、複成スコリア丘の可能性はある。しかし Taylor や San Francisco 火山地域のようにかなり大型の成層火山、あるいは楕状火山が存在することはない。

一個のスコリア丘の平均的な体積を求める。

スコリア丘の形態を截頭円錐形、火口の形態を倒立円錐形と考え、底径1km、比高150m前後、火口径400~500mとしてその体積を概算するとおよそ0.5km<sup>3</sup>となる。火口から周囲に飛散した火山灰層は数kmの範囲にわたって平均50cmの厚さで堆積したとすると0.1~0.2km<sup>3</sup>程度となる。スコリアが多孔質なことを考えて密度が溶岩の約半分とすれば、両者を合わせた体積は0.3km<sup>3</sup>となる。Springerville 溶岩原には

300個近いスコリア丘が存在するので、スコリア丘からの総噴出量は90km<sup>3</sup>となり、溶岩流の体積とほぼ同じになる。

#### c) 分布

スコリア丘は溶岩原全体にひろく分布するが、中央部よりやや南西に密集して偏在する (Fig. 7)。これは溶岩原の南西部地域が浸食により多く失われたためとも考えることができる。

スコリア丘の密集地域は北西-南東方向にややのびている。また明瞭な断層系や割目系、またそれらの存在を暗示するスコリア丘の直線的配列などはこの溶岩原ではみられず、溶岩原西部にある Marshall Mountain, Ziegler Mountain などのスコリア丘は北西-南東方向の断層で切られたと思われる地形を持ち (Fig. 8)、広域的な変動とこの溶岩原の形成が無関係でないことを暗示する。

2~3 Ma 前に形成されたとと思われる双峰または尖頭円頂丘は Springerville 溶岩原の南西半分に多く認められる。比較的新しい時代に形成されたとと思われる円形または馬蹄形火口をもつスコリア丘は溶岩原全体に平均して分布する。これは南西から北東へ

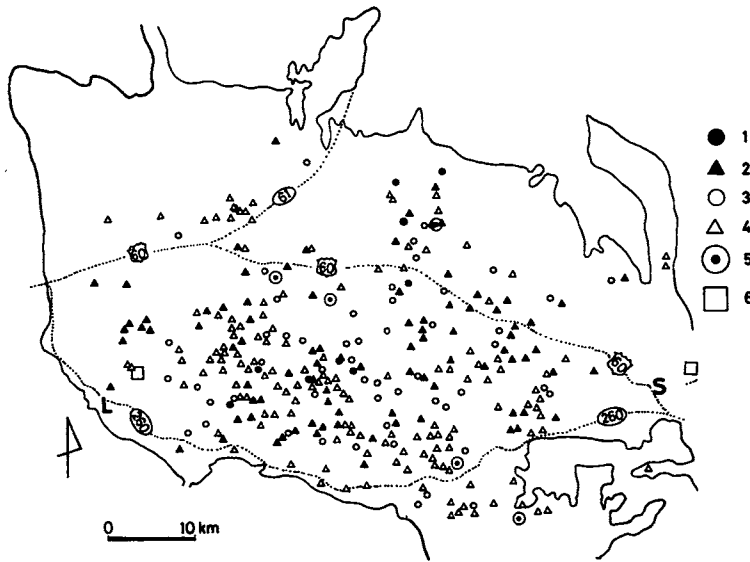


Fig. 7 Distribution of the eruptive centers in the Springerville volcanic field.  
 1. Younger scoria cones with a circular crater. 2. Scoria cones with a horseshoe-shaped crater. 3. Twin mounds which are remnants of one scoria cone. 4. Older simple cone without any crater. 5. Tuff rings or tuff cones. 6. Small shield volcano. L : Lakeside S : Springerville. Dotted lines and numbers represent highways and their route numbers.

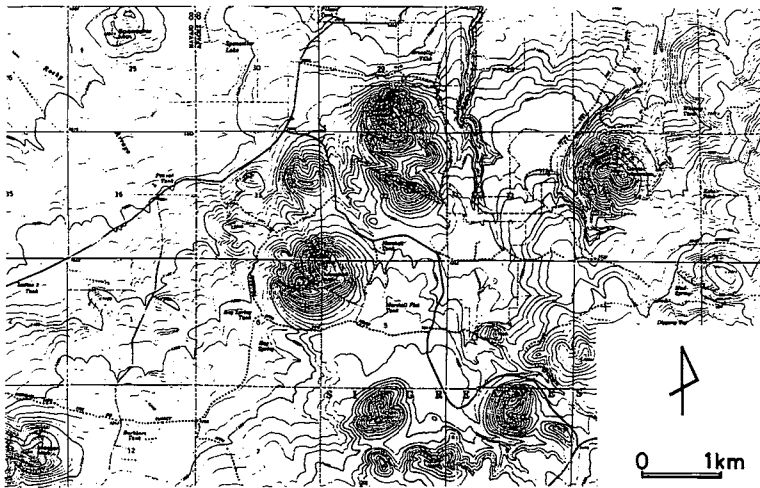


Fig. 8 Scoria cones probably cut by faults in the direction of NW-SE.

火山活動の範囲が拡大したことを物語る。

d) 個数

前述のように、Springerville 溶岩原には、全体で300個近いスコリア丘が数えられるが、これ以外に溶岩流あるいは新しいスコリア丘の下に埋没したスコ

リア丘が多数存在することが考えられる。しかしスコリア丘の比高が一般に150~200mあるのに対し、それをとりまく溶岩流の厚さが5~50mで、完全に埋没する可能性はまずないと思われ、現在地表に見られる個数がほぼ全体の個数に等しいと考えてよい。



### (3) タフリング・タフコーン

Springerville 火山地域にはタフリング・タフコーンは5個見出される。ひとつはLakesideの北東、国道61号線と60号線のJunctionの東南東約9kmの地点にあるものでLake Hole とよばれる直径750mの火口を持つ (Fig. 9)。その周囲は最高の西側が120m、最低の北東側が15mの比高をもつ火口壁にとりまか

れている。西側の火口壁の外側も120mの比高の直線的な急斜面からなり、その斜度、比高の大きさからこの外側の火山体はスコリア丘であると考えられる。したがってこの火山は噴火初期にストロンボリ噴火を行ってスコリア丘を成長させていたが、末期になってマグマ水蒸気爆発が起こり、スコリア丘の半分が失われ、タフコーン又はタフリングに似た地形が生

じたものと考えられる。またマグマ水蒸気爆発を起こした水の起源は多分融雪水であろう。この付近では標高が2100mを越えるので冬季にかなりの積雪をみる。マグマの熱が雪を溶かし、それが大量に地下に侵入してマグマと接触、大爆発を起こしたと想像される。このことから噴火は夏の無雪季に始まり、冬の積雪季まで継続したといえるかもしれない。

二つ目はGreerの南東約3kmにあるHay Lakeである。浸食により火口壁が変形してもとの円形をかなり失っているが、直径約800m、深さ30mの典型的なタフリングの地形を持つ。

Greerの北西9kmにあるNorton Reservoirも火口径1km、深さ30mの似たような地形をもつ典型的なタフリングである。

4番目のタフリングは、Springerville 火山地域の最高峰Greens Peak (標高10133ft)の北西6kmにあるHarris

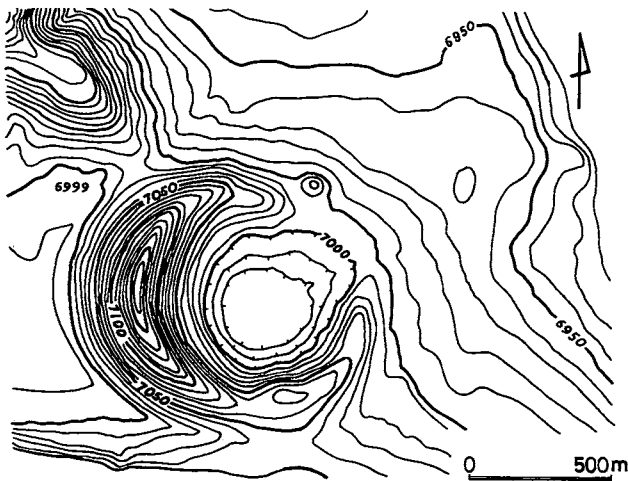


Fig. 9 Topographic map of Lake Hole pyroclastic cone.

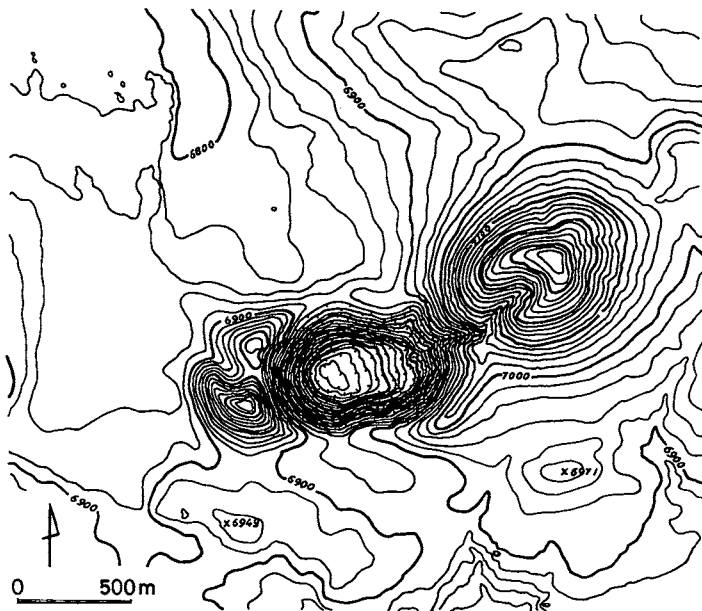


Fig. 10 Topographic map of Cerro Hueco explosion crater.

Lake である。西半分の火口壁（比高5～10m）はよく残っているが、北東はスコリア丘が存在し、南東はあまり明瞭でない。火口径は約800mである。

Harris Lake タフリングの西北西2kmに Juan Garcia Mountain がある。これは500m以上の火口をもつ底径1.3kmのスコリア丘である。スコリア丘としては異常に火口が大きすぎる。これも Lake Hole タフリングと同様の成因をもつかもしいない。

Springerville の北西30kmにある Cerro Hueco 火口 (Fig. 10) は東西1km、南北650mの楕円形の平面形をもち、深さは100～200mである。急な火口壁をもち地形的には非常に新しそうにみえる。この爆発は浸食が進んだ2個のスコリア丘の間で起こり、それらの一部を破壊した。

#### (4) 楯状火山

Lakeside のすぐ東と Springerville のすぐ北東に互いに似た形態、規模をもつ小型の楯状火山がある。

Lakeside 東方にある楯状火山は Blue Ridge Mountain とよばれる底径5.5km、比高約200m、平均傾斜4.6°の中心火山である。山頂はややゆるくなっており、その上は4個の小突起がある。これは楯状火山頂部に形成されたスコリア丘の残骸と考えられる (Fig. 11)。

Springerville 北東方にある Coyote Hilles は底径9km、比高約200mの小型楯状火山で、山頂にやはり3～4個のスコリア丘の残片と思われる小突起（比高10～20m）が残っている (Fig. 12)。ここから流出した溶岩流は四方に流れ、麓で平坦な地形を作ったが、現在急崖（比高40～50m）

に限られ台地化している。この崖の比高から考えて少なくともこの楯状火山の形成は1Ma以前、おそらく数Ma以前であろう。

しかし火口から四方へ流下したと考えられる溶岩流をいくつか細分し、その分布を示すことは地形図から可能にみえる。溶岩堤防、しわ、陥没孔、塚など微地形は消失しているが、ひとつの溶岩流の全体的な細長い高まりが溶岩流特有の屈曲を示しながら山頂部から四方へ幾条か放射状にのびているのが読

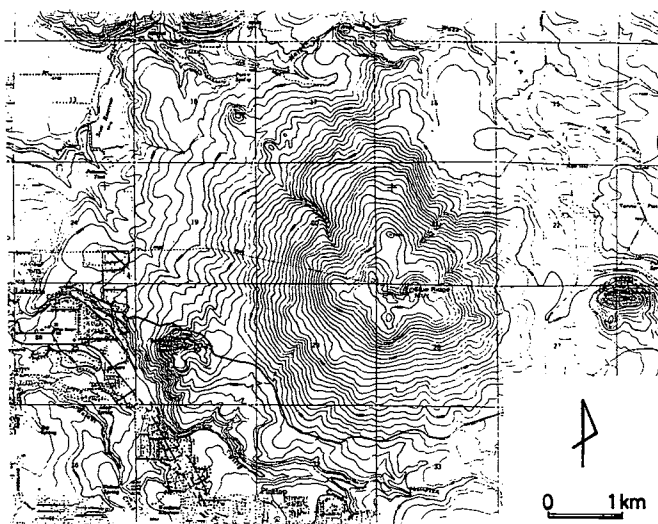


Fig. 11 Topographic map of Blue Ridge Mountain small shield volcano.



Fig. 12 Coyote Hills small shield volcano near Springerville.

みとれる(現地ではかえってわからない)。これらの溶岩流と溶岩流の境界の谷は後の流水による浸食作用で若干変形しているが、境界と谷とはほぼ一致しているとみてよさそうである。

これら橋状火山が多輪廻の噴火によるのか一輪廻の噴火によるのか地形的には明らかでない。

#### IV 考 察

前章でSpringerville 火山地域の地形的特徴を略述したが、ここではそれをもとに、この火山地域の噴火活動度、広域的な構造運動との関連について私見をのべる。

##### (1) 噴出量・活動度・活動周期

この火山地域はここ300万年の間に、前記の如く、各々100km<sup>3</sup>の溶岩流・降下スコリアを噴出したので総噴出量は200km<sup>3</sup>前後となる。したがってその活動度は0.07km<sup>3</sup>/1000年となり、日本の第四紀成層火山の活動度(守屋, 1979)の約1/10になる。

スコリア丘などSpringerville 火山地域の大部分の噴出中心が1輪廻噴火で生じた単成火山とすれば、およそ300万年間に300回前後の噴火が起こったことになり、平均して1万年に1回の割合で噴火が起こったことになる。これは白山や乗鞍など日本の中部地方の成層火山の活動周期500~1000年(小林ほか, 1982)にくらべ一桁長い。

##### (2) 広域的な構造運動との関係

Springerville 火山地域は北西-南東方向の断層によって切られていると考えられている(Eaton, 1981; Aubele & Crumpler, 1983)が、この方向はコロラド台地をとりまく境界線の方向とほぼ一致する。

地形的にこのような変動を示すものとして、数個のスコリア丘が北西-南東方向の断層によって切られているようにみえること、スコリア丘の密集地域が北西-南東方向にのびることがあげられるが、San Francisco, Taylor などの火山地域に見られるようなけん著な断層系・割目系、スコリア丘の直線的配列

などは、この地域に認められない。この事実はこの火山地域が北西-南東方向と北東-南西方向に連なる二つの“火山帯”の交点に存在することと無関係ではないだろう。

Tanaka et al. (1986)はSan Francisco 火山地域において新しい噴出中心ほど東に偏在する事実を北米大陸がホットスポット上を西進するため、と解釈した。Springerville 火山地域においても同様の解釈が成立するとAubele et al (1987)は主張している。

地形的にみて前述のように古いスコリア丘が南西部に密集し、新しいスコリア丘は北東部に万遍なく分布する事実は確かに上記の解釈に調和的である。ただ現時点ではコロラド台地が縁から次第に崩壊してBasin and Mountain Rangeに蚕食されていく過程で、その境界部に火山が生ずる、つまり火山の活動はコロラド台地内側へ向って移動するように見えるという考えも無視することはできないように思われる。

#### V おわりに

Springerville 火山地域の地形的概要をのべたが調査が不十分で、今後なお現地調査・空中写真判読などによる、より詳細な研究が必要である。今後、他の火山地域との比較も行い、ニューメキシコからアリゾナ・カリフォルニア南部につらなる火山地域全体の総括を行い、その地形的特徴を浮きぼりにし、さらには世界の火山の地形的分類のための一資料としたいと考えている。

#### 文 献

- 小林武彦ほか(1982): 中部地方の諸火山の沖積世小規模噴火, 火山, 2集, 27, 333.  
守屋以智雄(1979): 日本の第四紀火山の地形発達と分類, 地理評, 52, 479-501.  
Aubele, J. C. and Crumpler, L. S. (1983): Geology of the central and eastern parts of the Springerville volcanic field, Arizona. *Geol. Soc.*

- Ame. Abstracts*, **15**, 303.
- Aubele, J. C. et al. (1986) : K - Ar ages of late Cenozoic rocks of the central and eastern parts of the Springerville volcanic field, east - central Arizona. *Isochrome / West*, no. 46, 3 - 5.
- Aubele, J. C. et al. (1987) : Tectonic deformation of the late Cenozoic Springerville volcanic field, southern margin of the Colorado Plateau, Arizona. *Geol. Soc. Ame. Abstracts*, **19** ( in print ).
- Baldrige, W. S. et al. (1983) : Geologic map of the Rio Grande Rift and southeastern Colorado Plateau, New Mexico, and Arizona. in Riecker, R. E. ed. : *Supplement to Rio Grande Rift*. Ame. Geophys. Union.
- Chronic, H. (1983) : Roadside geology of Arizona. Mountain Press Publ. Co., 314 p., Missoula.
- Condit, C. D. et al. (1987) : Volcanic records of the Springerville volcanic field, east - central Arizona. *Geol. Soc. Ame. Abstracts*, **19** ( in print ).
- Crumpler, L. S. (1982) : Volcanism in the Mount Taylor region. New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 33rd Field Conference, *Albuquerque Country II*. 291-302.
- Eaton, G. P. (1979) : A plate - tectonic model for late Cenozoic crustal spreading in the western United States. in Riecker, R. E. ed. : *Rio Grande Rift - Tectonics and Magmatism*, Ame. Geophys. Union, 7 - 32.
- Greeley, R. (1982) : The Snake River Plain, Idaho. *Jour. Geophys. Res.*, **87**, 2705-2712.
- Kelley, R. W. et al. (1982) : *New Mexico highway geologic map*. New Mexico Geol. Soc.
- Lipman, P. W. and Mehnert, H. H. (1979) : The Taos Plateau volcanic field, northern Rio Grande Rift, New Mexico. in Riecker, R. E., ed : *Rio Grande Rift*, Ame. Geophys. Union, 289-311.
- Luedke, R. G. and Smith, R. L. (1984) : Map showing distribution, composition, and age of late Cenozoic volcanic centers in the western conterminous United States, 1 : 2,500,000. *U. S. Geol. Survey, Miscellaneous Investigation Series*, Map I-1523.
- Macdonald, G. A. (1967) : Forms and structures of extrusive basaltic rocks. in Hess, H. H. and Poldervaart, A., ed. : *Basalt, vol. I*. Wiley and Sons, 1-61, New York.
- Merrill, R. K. and Péwé, T. L. (1977) : The late Cenozoic geology of the White Mountains, Apache County, Arizona. *Univ. Arizona, Special Paper*, no. 1, 1 - 65.
- Moore, R. B. et al. (1976) : Volcanic rocks of the eastern and northern Parts of the San Francisco volcanic field, Arizona. *U. S. Geol. Survey, Jour. Res.*, **4**, 549-560.
- Nichols, R. L. (1946) : McCarty's basalt flow, Valencia County, New Mexico. *Bull. Geol. Soc. Ame.*, **57**, 1049-1086.
- Oetking, P. et al. (1967) : Geological highway map of the southern Rocky Mountain region. *Ame. Asso. Petrol. Geologists*.
- Smith, R. L. and Bailey, R. A. (1968) : Resurgent Cauldron. *Geol. Soc. Ame. Memoir*, no. 116, 613-662.
- Tanaka, K. L. (1968) : Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, **97**, 129-141.
- Wood, C. A. (1980a) : Morphometric evolution of cinder cones. *Jour. volcanol. Geotherm. Res.*, **7**, 387-413.
- Wood, C. A. (1980b) : Morphometric analysis of cinder cone degradation. *Jour. volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 137-160.