

オープンエア・ミュージアム
山口の火山

-阿武單成火山群と青野火山群-

萩市立萩図書館



111800512

永尾 隆志

54

2



1 山口の火山の分布。阿武单成火山群は青色で、青野火山群は赤色で示している。また、青野火山群は全ての火山体の名前を示しているが、阿武单成火山群は代表的なものだけにした。3D地形図は、国土地理院数値地図50mメッシュ(標高)を使用して作った。俯角45°、高さの強調3倍、南東からの光で北を望む(森福洋二作成)。

阿武单成火山群

2 笠山火山（菊ヶ浜から望む）。山口県で最も新しい火山。平らな部分が溶岩台地、中央の高まりがスコリア丘。溶岩台地は約1万年前、スコリア丘は約8800年前に噴火した。2003年には活火山の基準が変わり笠山は活火山に認定される予定。（図39）



3 イタリア ストロンボリ火山のストロンボリ式噴火。(図27)
<http://www.educeth.ch/stromboli/photos/photo00b/icons/82.jpg>





5 萩六島のうちの相島、羽島、尾島、肥島（左から）。それらが独立した火山。海面下にも火山が存在する。（図45, 46）



6 田床山から見た鶴江台（玄武岩の溶岩台地）（写真の左）と笠山（中央）。（図42）

7 溶岩堤防（笠山西海岸）（図53）

8 1枚の溶岩流（笠山北海岸）。厚さ約3m。笠山の溶岩台地は、このような溶岩流が何枚も積み重なってできている。（図54）

9 アクリンカー。溶岩流の下底でガスが抜けてガサガサになっている。8と同じ場所。（図55）

10 笠山の玄武岩質安山岩。白い粒が石英。横幅15cm。

11 江戸時代の石切場のノミの跡（笠山北海岸）。

12 川に流れ込んだ溶岩（田万川町上小川）。下から当時の川底の礫、溶岩が水と接触してできたガラス、柱状節理の発達した玄武岩溶岩。（図36）



13 スコリア丘（伏馬山、むつみ村）。（図25）

14 川を堰き止めて湖をつくったスコリア丘と溶岩流（阿武町宇生賀）。（図33）

15 阿武単成火山で唯一の溶岩円頂丘（鍋山、福栄村）。（図38）

16 マグマの混合の証拠（むつみ村千石台）。玄武岩マグマと流紋岩マグマが混ざって安山岩ができた。灰色の部分が安山岩、黒い部分が混合から取り残された玄武岩。横幅20cm。（図30）

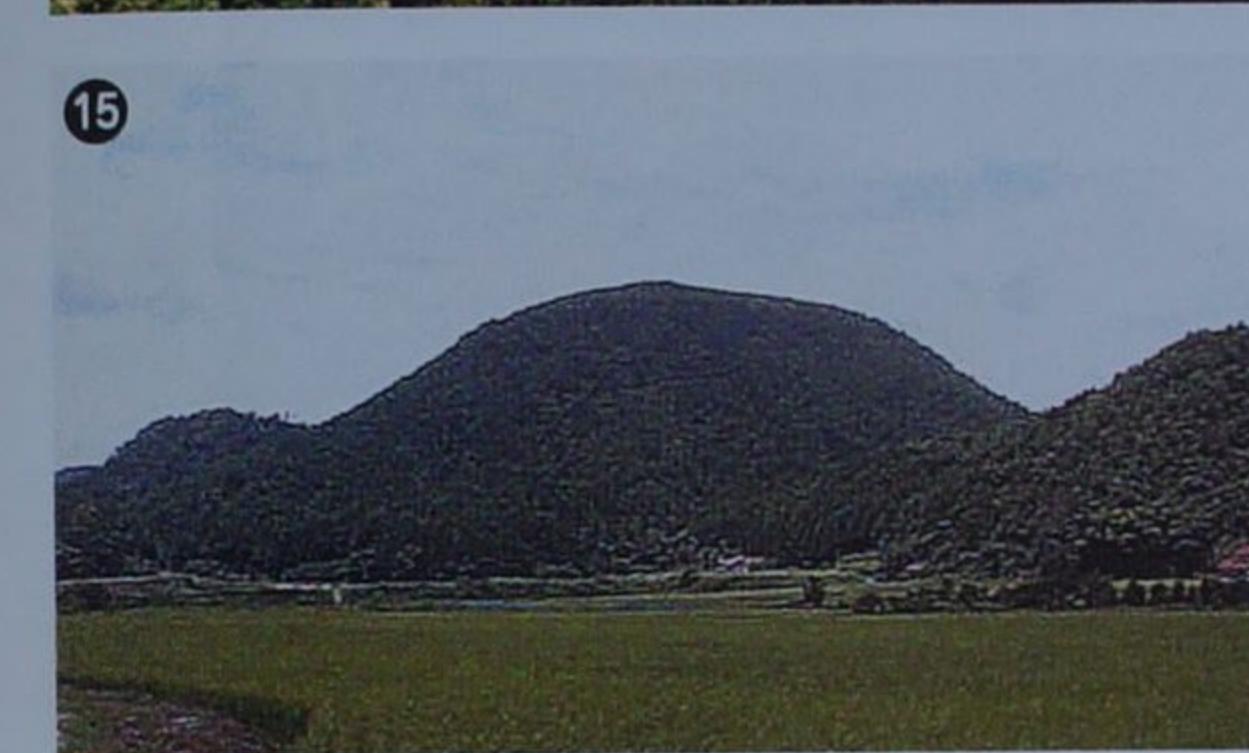
17 安山岩マグマに運ばれてきた地下深部の岩石—グラニュライト（阿武町宇田島）（山口県の岩石図鑑、1991）。赤い部分が安山岩。横幅8cm。（図56）



13



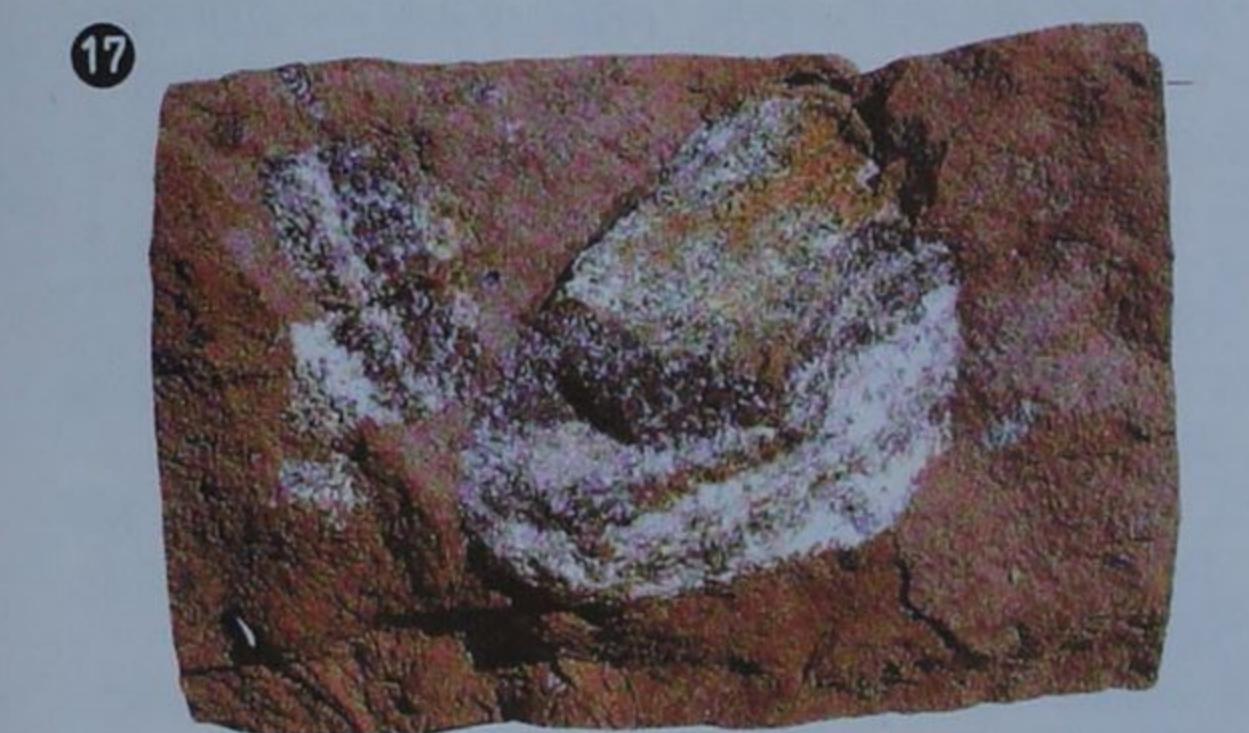
14



15



16



17

青野火山群



18



19

18 溶岩円頂丘群（阿東町）。左から三原山、段原山、野坂山、青野山。（図17）

19 あまり浸食されていない溶岩円頂丘（鍋山、島根県日原町）。（図17）

第1章 山口の火山—阿武单成火山群と青野火山群



20 潜在円頂丘（十種ヶ峰、阿東町）。表面は1億年前の火山岩で覆われているが、内部には溶岩ドームが存在している。

21 溶岩円頂丘（千石岳、徳地町・新南陽市）。

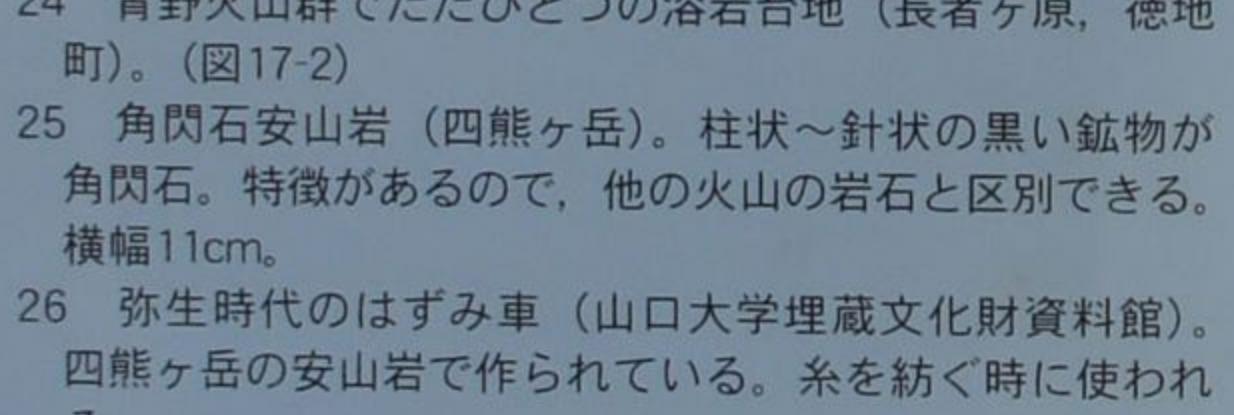
22 溶岩円頂丘（金峰山、徳山市・鹿野町）。

23 山体崩壊を起こした溶岩円頂丘（四熊ヶ岳、徳山市）。（図17）

24 青野火山群でただひとつの溶岩台地（長者ヶ原、徳地町）。（図17-2）

25 角閃石安山岩（四熊ヶ岳）。柱状～針状の黒い鉱物が角閃石。特徴があるので、他の火山の岩石と区別できる。横幅11cm。

26 弥生時代のはずみ車（山口大学埋蔵文化財資料館）。四熊ヶ岳の安山岩で作られている。糸を紡ぐ時に使われる。

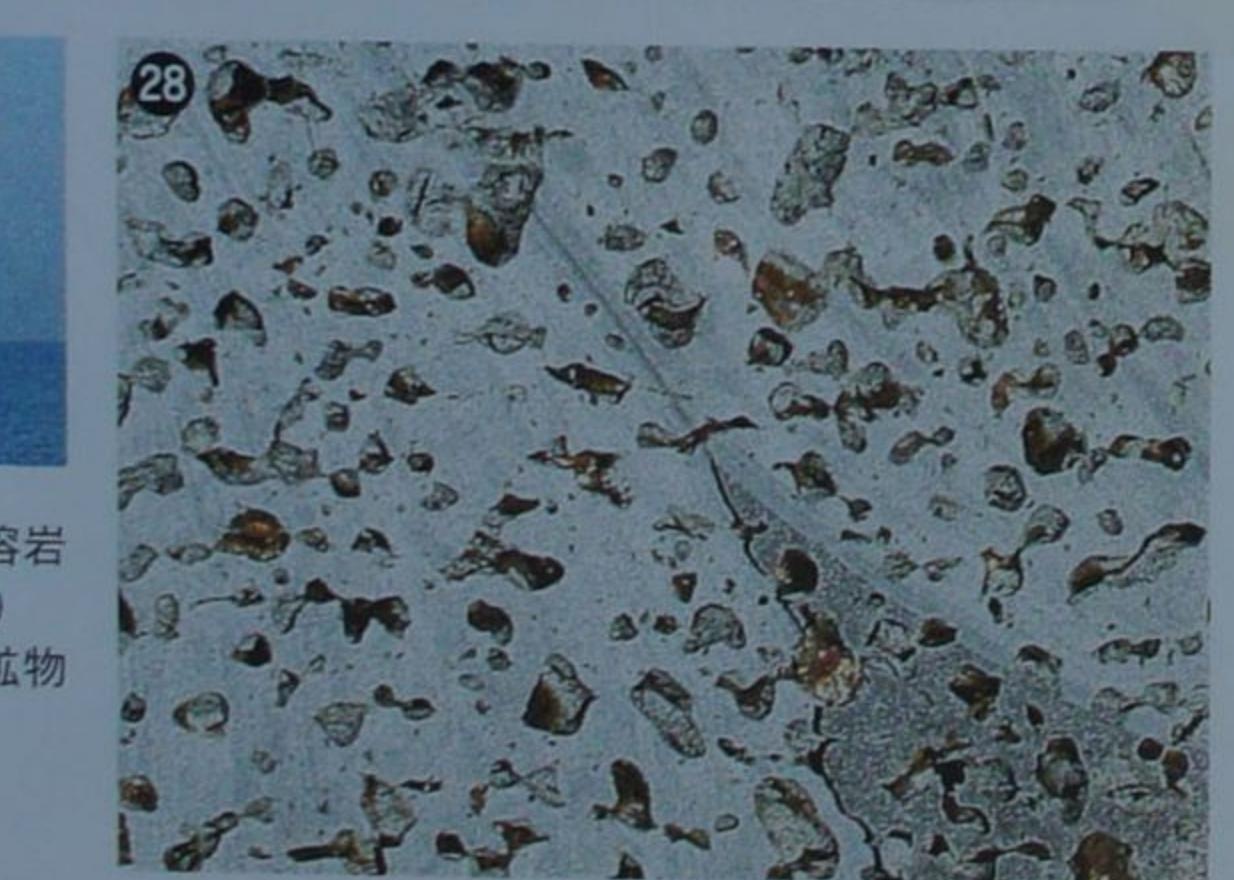


下関火山群



27 六連島火山（下関市）。120万年前に噴火した玄武岩の溶岩台地。同じような溶岩台地が下関市椋野にもある。（図57）

28 雲母玄武岩（六連島）。国指定の天然記念物。褐色の鉱物が金雲母。マグマ中のガスから結晶した。横幅10cm。



日本にはたくさんの火山がありますが、プレートの沈み込みとともに生じたマグマの噴火によって形成された島弧火山（青野火山群）と地球の深部から沸き上がってきた熱い物質が融けてできたマグマの活動によって形成された火山（阿武单成火山群）が接して分布しているのは山口県だけなのです。さらに、火山地形や火山現象を勉強するのに最適な場所です。最近、阿武单成火山群のなかには1万年あるいはそれよりも新しい火山があることがわかりました。これは、「世界基準」では活火山になります（2001年3月にNHK「さわやか自然百景」で全国に放送されました）。現在、日本でも気象庁と噴火予知連絡会が「活火山」の基準を「過去1万年に噴火した火山、または、現在、噴気活動の活発な火山」にしようと検討している最中です（2002年4月現在）。

1. はじめに—火山とは？

日本列島にはたくさんの火山があります。火山は、地下のマグマや火山ガスが地表に噴出して作られたものです。例えば、1990～1995年の雲仙普賢岳、2000～2001年の有珠火山の噴火や今も活動を続けている三宅島火山などを思い浮かべればよくわかります。世界中の火山を研究している人たちの間では160万年より新しい第四紀という時代に噴火した火山にだけ、「有珠」火山などと固有名前をつけることができるという約束があります。しかし、地球の歴史が始まって以来、火山活動は絶え間なく続いているのですから、誤解を生みやすい表現です。しかし、「‥火山」といえば、第四紀の火山を意味しますから、それ以前の火山には、活動した時期の名称をつけて、第三紀の火山とか古生代の火山という風に呼ぶとよいでしょう。ところで、火山のなかでも、「過去2000年間に噴火した火山、または、現在、噴気活動の活発な火山」を「活火山」と呼んでいます。これは気象庁が決めたことですが、どうも科学的根拠に基づいて決められたものではないようです。国際的にはおよそ過去1万年に噴火した火山を活火山として認めています（Francis, 1993；スミソニアン博物館(Simkin et al., 1981)）。さて、火山はマグマの活動によって作られます。マグマというのは、主に、ケイ素と酸素からできている高温の液体のことをいいます。マグマはもともと地下の「マントル」と呼ばれる酸素、ケイ素、マグネシウムに富む物質（カンラン岩とよばれ、おもにカンラン石と輝石という鉱物からできています）が融けてできたものです。火山とは地下にあったマグマが「火口」から噴出し、それが火口のまわりにたまてできた地形的な高まりのことです。マグマは、地下のどこにでもあるわけではなく、地球の表面をおおっているプレートが作られる場所（中央海嶺）やそれが沈み込む場所（海溝）のマン

トルが溶けてできます。また、ハワイのような「ホットスポット」という高温のマントルが地下から湧き上がっている場所でもマグマが作られます。日本列島の下には海洋プレート（海洋底）が沈み込んでいますから、地下でマグマが作られています。このため日本では火山活動が盛んなのです。噴火によって火口から放出されるものは、高温の液体のままのマグマ（溶岩）や泡立ったマグマのしづく（軽石やスコリア）であったり、すでに固まった溶岩であったりします。「溶岩」という言葉は融けた状態のものにも固まった状態のものにも使います。溶岩や軽石が粉々になったものが火山灰です。溶岩は直接火口から流れ出て溶岩流になります。火山灰は噴火の時に、火口から直接上空に吹き飛ばされて遠方に降り積もったり、溶岩のかけらと一緒に火口から直接地表を流れ下ったりします。火山は溶岩と火山灰などの噴出物が積み重なってできたものです。これらの噴出物のことを「火山岩」といいます。火山岩は熱いマグマが地上に出てきて急に冷やされたものですから、結晶がゆっくり成長することができません。このため、火山岩は非常に細かい結晶やガラスからできています。それに対して、マグマが地下の深いところでゆっくり冷え固まった「深成岩」では、結晶がじゅうぶんに成長できるため、大きな結晶の集まりだけになります。墓石などに使われる結晶の粒がはっきりとした白っぽいみかげ石（花こう岩）がその例です。火山岩はそれを構成する鉱物の種類や大きさ、化学組成などでさらに細かく分類されています。マグマはいったん地下数kmの深さに溜ります。これを「マグマ溜り」といいます。何らかの理由でマグマ溜りよりも、マグマの体積が大きくなると、マグマ溜り（主に天井の岩石）が壊れ、泡立って軽くなったマグマが上へ移動して噴火が起こります。マグマの体積がマグマ溜りより大きくなる原因としては、(1)マグマから結晶ができると同時に、マグマ中に溶け

込んでいた水などがガス化して（泡立って）全体が膨張すること、(2)別のマグマが下から無理やり注入してくること、(3)ガス混じりのマグマが地震によって揺さぶられてマグマが膨張すること、(4)マグマ溜り自身が外から無理やり押しつぶさ

れそうになる、などが考えられています。一回の噴火が終わり、次の噴火が起こるまでの休みの期間は火山によってまちまちです。規則性があるよう見える火山では、次にいつ噴火しそうかを大ざっぱに予測することができます。



図1 山口県の第四紀火山の分布 (永尾, 1992)

2.「山口の火山」を理解するためにもう少し詳しく勉強しましょう

さて、火山のことを簡単に勉強してきましたが、山口県には、本当の意味の火山、つまり地球の歴史の中で最も新しい時代「第四紀」の火山はあるのでしょうか？ 図1を見て下さい。山口県にも、「阿武单成火山群」と「青野火山群」という立派な火山が存在しています。しかし、残念（？）なことに、現在活動している火山はありません。

ところで、現在の地球上で、火山はいたるところにあるのでしょうか？ 実は、火山が活動する場所は次の3つの場所（タイプ）に限られています（図2）。

① 中央海嶺型火山：1つめはプレート同士が離れる所で、深い割れ目ができ、その割れ目を埋めるためにマントルの深いところからマグマが供給されます。いいかえればここはプレートが作られる場所ということになります。太平洋や大西洋の海底にそびえる大山脈は、海嶺と呼ばれていますが、ここは、マントルからマグマがわきだしてくるところで、海底火山がたくさんでています。大西洋のアイスランドはこの海嶺が陸にあらわれたところでたくさんの火山があります。ここで噴出する岩石は「中央海嶺玄武岩」と呼ばれています。

② 沈み込み帯の火山：2つめは、陸のプレートと海のプレートが衝突し、海のプレートが陸のプレートの下に沈み込む所で日本列島はその代表的

な場所のひとつです。ここでは地下100kmくらいのところで、プレートの上部のマントルが融けだしてマグマができます。これが地表にわきだして火山ができます。火山は、このプレートが沈み込む海溝に沿って、1列あるいは2列の帶を作りて分布しています。那須火山帯とか霧島火山帯といったものです。専門家は、「沈み込み帯の火山」あるいは「島弧火山」と呼んでおり、玄武岩と安山岩が主体です。

③ ホットスポット型（プレート内）火山：3つめはホットスポットと呼ばれる場所で地球の深いところから熱い物質がわき上ってくる所です。ここでは、長い間、マントルのずっと深いところから、マグマをわきだし続けているところです。海洋地域では、ホットスポットは動かないけれども、プレートが動いていくので、プレートの上にのっている火山は、やがて、ホットスポットから離れてきます。そうすると、ホットスポットの上に新しい火山ができます。このようにしてできたハワイ諸島では、ホットスポットから離れるにつれて、火山の年代は古くなります。大陸のホットスポットの火山は、フランスやドイツ、中国東北部に分布しています。このような場所で活動する火山は、玄武岩が主で「プレート内玄武岩」と呼ばれています。おもしろいことに、この3つのタイプの火山は、それぞれ異なる特徴をもっており、岩石の種類・組み合わせや化学組成などが、異なっています（図3）。

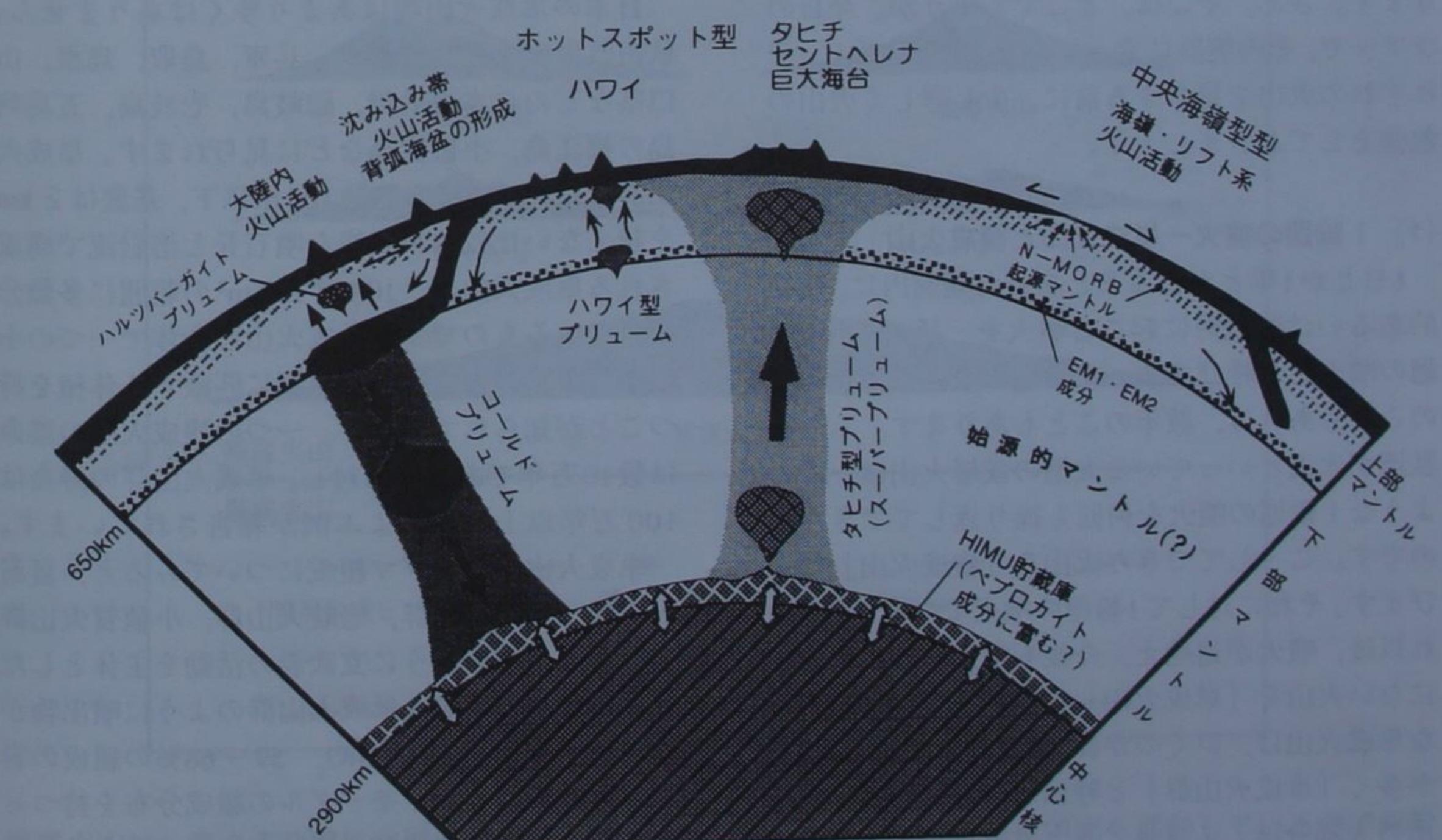


図2 火山ができる場所（火山のタイプ）（巽, 1995）

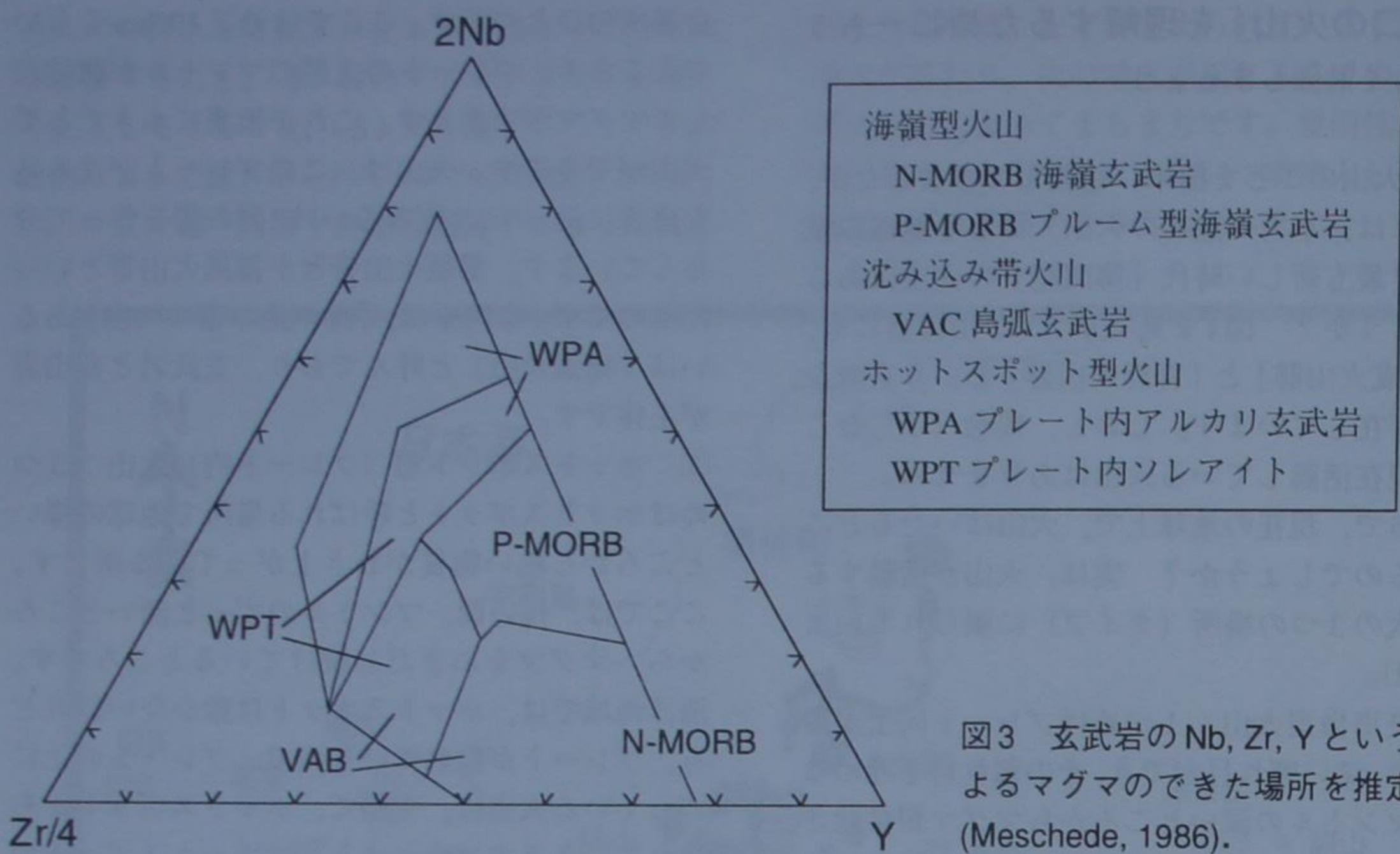


図3 玄武岩のNb, Zr, Yという元素によるマグマのできた場所を推定する図 (Meschede, 1986).

さて、山口県に分布する2つの火山群は、上に述べたどのタイプなのでしょうか？山口県も日本列島の一部ですから、2つの火山群は、プレートの沈み込みに関係しているのでしょうか？青野火山群は、プレートの沈み込みに関係した火山ですが、阿武単成火山群は、実はホットスポットに関係した火山なのです。何と、山口県では、地球上の3つのタイプの火山のうちの2つも見ることができます。さらに、沈み込むプレートとホットスポットの境界が、山口県に存在することになります。さて、そこは、どこでしょうか。今日のツアーで、その境界に立ってみましょう。次に、それぞれの火山を見学する前に、少し詳しく火山の勉強をしておきましょう。

(1) 1輪廻の噴火—単成火山と複成火山

1日とか1年とかあるまとまった期間内に、連続的あるいは断続的に起こる噴火を一括して「1輪廻の噴火」と呼びます。1輪廻の噴火は、数時間のこともあります、数年こともあります。ふつう私達が火山といっている大型の成層火山は、このような1輪廻の噴火を何回も繰り返してきたものです。こうしてできた火山を「複成火山」と呼びます。それに対して1輪廻の噴火で形成され、それ以後、噴火が途絶え、今後も噴火が起りそうにない火山を「単成火山」と呼びます。このような単成火山は、いくつか群をなして存在することが多く「単成火山群」と呼ばれています。単成火山の大部分は、スコリア丘と玄武岩質溶岩流のベアカ、安山岩質の溶岩円頂丘か、あるいは両者が

混在しています。そして、単成火山の多くが、両側から引っぱられている場所（引張応力場）に生じています。阿武単成火山群は、スコリア丘と玄武岩質溶岩、そして安山岩～デイサイトの溶岩円頂丘（平頂丘）からできています。青野火山群は、安山岩～デイサイトの溶岩円頂丘からできています。つまり、山口県では、単成火山群のすべてのタイプを見るることができます。

(2) 日本の単成火山群

日本の単成火山群はあまり多くはありません。秋田県男鹿半島、京都府、兵庫、鳥取、島根、山口県などの日本海沿岸、隠岐島、壱岐島、五島列島の福江島、小値賀島などに見られます。単成火山群とは、一般に高さ数100m以下、基底は2kmを越えない比較的小規模な噴石丘と溶岩流で構成される単成火山が、 $100 \sim 10^4 \text{ km}^2$ の範囲に多数分布しているものです。単成火山群全体で一つの小型から中型の複成火山の体積に匹敵する体積を持つことが知られています。一つの複成火山の寿命は数10万年であるのに対し、単成火山群の寿命は100万年以上にもおよぶ例が報告されています。

単成火山群のマグマ組成についてみると、目潟火山群、神鍋火山群、壱岐火山群、小値賀火山群や鬼岳火山群のように玄武岩の活動を主体としたもの他に、東伊豆単成火山群のように噴出物が幅広い組成幅を持ち、 $\text{SiO}_2 = 59 \sim 68\%$ の組成の岩石が存在しないバイモーダルの組成分布を持つものや、阿武単成火山群や壱岐火山群のように、アルカリ系列の岩石とともに非アルカリ系列のマグ

マが噴出しているものなどさまざまなタイプが存在します。

(3) 単成火山が生まれるところ

単成火山群は、複成火山があまりない場所にあります。複成火山は、プレートが沈み込む海溝に近い場所、つまり地殻が圧縮を受けている場所（圧縮応力場）に多く見られます。このことから、単成火山群の多い日本海側は、沈み込み帯から遠いために、圧縮を受けていないか、逆に引っ張られている場所と考えることができます。阿武単成火山群は、 20 km^2 ほどの面積の中に、40個ほどの単成火山が集まっています。これらはいっせいに噴き出したものではなく、200万年以上の長い時間をかけて、ひとつひとつ誕生しました。最も新しい火山は、8800年前に活動しています。ですから、将来、萩市の近くの、これまで火山がなかった場所で噴火が始まつて、新しい火山ができる可能性がないわけではありません。

(4) 火山地形—火山のかたち

火山は周囲より高まっているものが多く、その高まり（火山体）は噴火のときに噴出した物が火口のまわりに積み重なってできたものです。爆発力が強いと、噴出物が広範囲に薄くまき散らされて、爆発源のくぼんだ火口だけが目立つことがあります。きわめて多量の噴出物が放出されると、

火口のまわりが大規模に陥没して巨大な凹地がつくられます。これをカルデラといいます。カルデラは山ではありませんが火山の一形態です。日本語の「火山」には山という文字が含まれていますが、英語の "volcano" に山の意味は本来含まれていません。火山の中には、同じ火道を使って何回も噴火する複成火山と、それまで何もなかったところに新しく火道をあけて噴火を始め、噴火が終了するとその火道がすぐに閉じてしまい、そこから再び噴火することができる単成火山があります。複成火山は大きくて複雑な火山体をつくりますが、単成火山の火山体は小さくて単純です。単成火山はふつう群れをなします。複成火山の山腹や山麓に寄生して生じたもの（たとえば富士山の山腹に多数見られるスコリア丘）を従属単成火山群とよび、複成火山とは無関係に生じたものを独立単成火山群とよんで区別しています。独立単成火山群は、ひとつの複成火山に対応する単位です。複成火山の中心火道は煙突状ですが、単成火山の火道は板状（ダイク=岩脈といいます）です。単成火山がひとつ地表でつくられたことは、地下で一枚のダイクが貫入したこと意味します。単成火山は、ダイクと地表面との交線である噴火割れ目に沿って火山体が並んだものです。このために単成火山は一方向に伸張していることが多いのです。ただし噴火が長い時間継続した場合には、噴火割れ目の一ヶ所に噴火口が集中してそこから

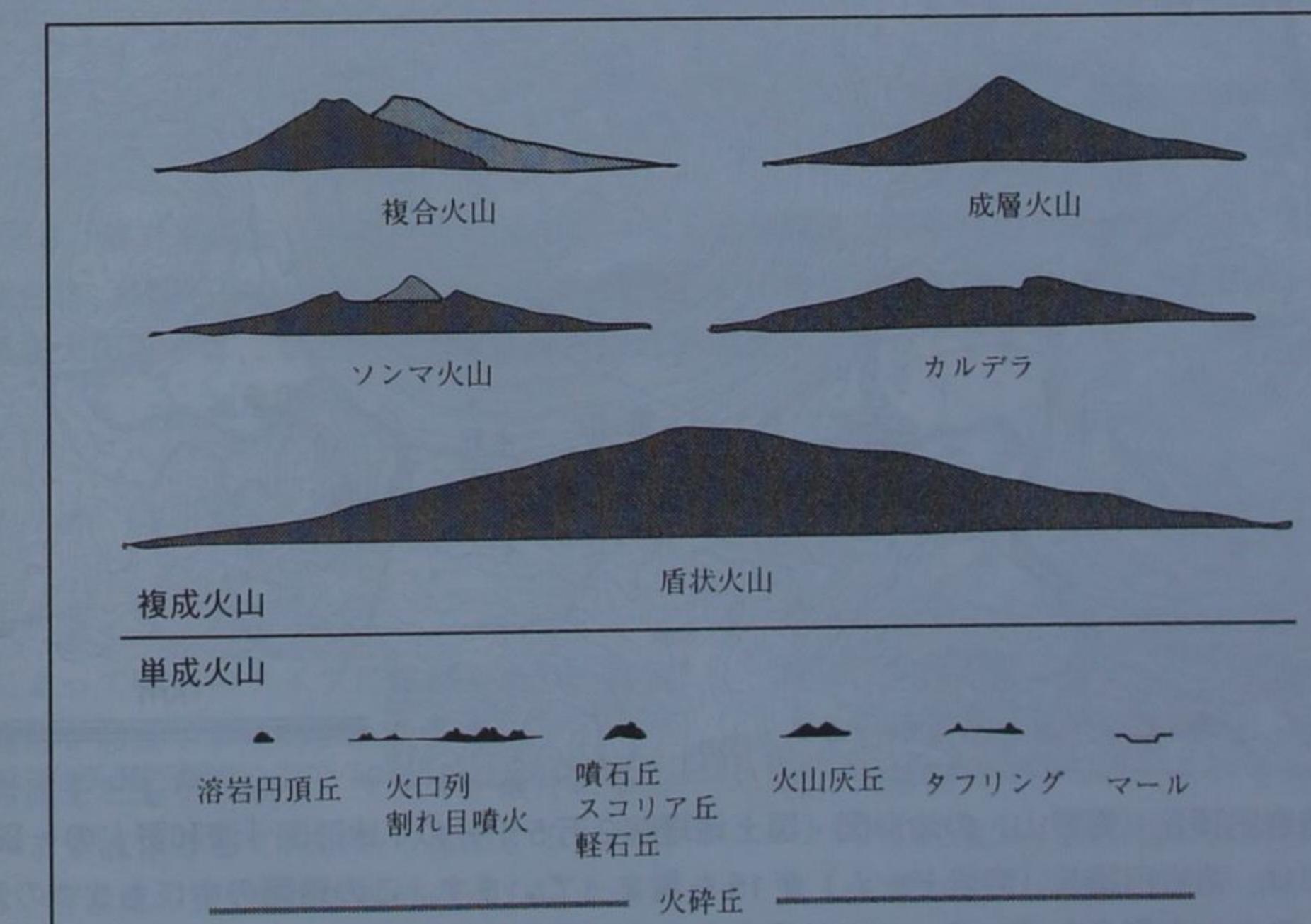


図4 火山の形態（中村一明, 1989）

複成火山は、高さを2倍に、単成火山は4倍に誇張しています。複成火山は何回も活動しているので非常に大型の火山であり、単成火山は1輪廻の活動なので火山体が小さいのです。

多量のマグマが放出されることになりますから、結果としては点対称に近い火山体がつくられます。

地形の研究をしている金沢大学の守屋さんは、阿武单成火山の平坦な地形をすべて溶岩平頂丘と呼んでいますが、私は次のように考えています。昔から、安山岩やデイサイトがつくるドーム状の地形を溶岩円頂丘（溶岩ドーム）（図5）と呼んでいます。ところが、阿武单成火山群の安山岩やデイサイトは、ドーム状の地形を示さず平らな台地状の地形を示しています。私は、このような地形

に限って“溶岩平頂丘”（図6）と呼ぶべきだと思っています。したがって、玄武岩が作る平坦な地形は、従来から呼ばれている“玄武岩台地”あるいは“溶岩台地”と呼んだ方が良いと思います。溶岩平頂丘も溶岩台地と呼べば良いわけですが、溶岩円頂丘をつくるはずの安山岩やデイサイトが溶岩台地を作るという“特殊性”を考慮して、“溶岩平頂丘”と呼んだら良いと思います。この名称こそが、阿武单成火山群を特徴づけるものだと思います。

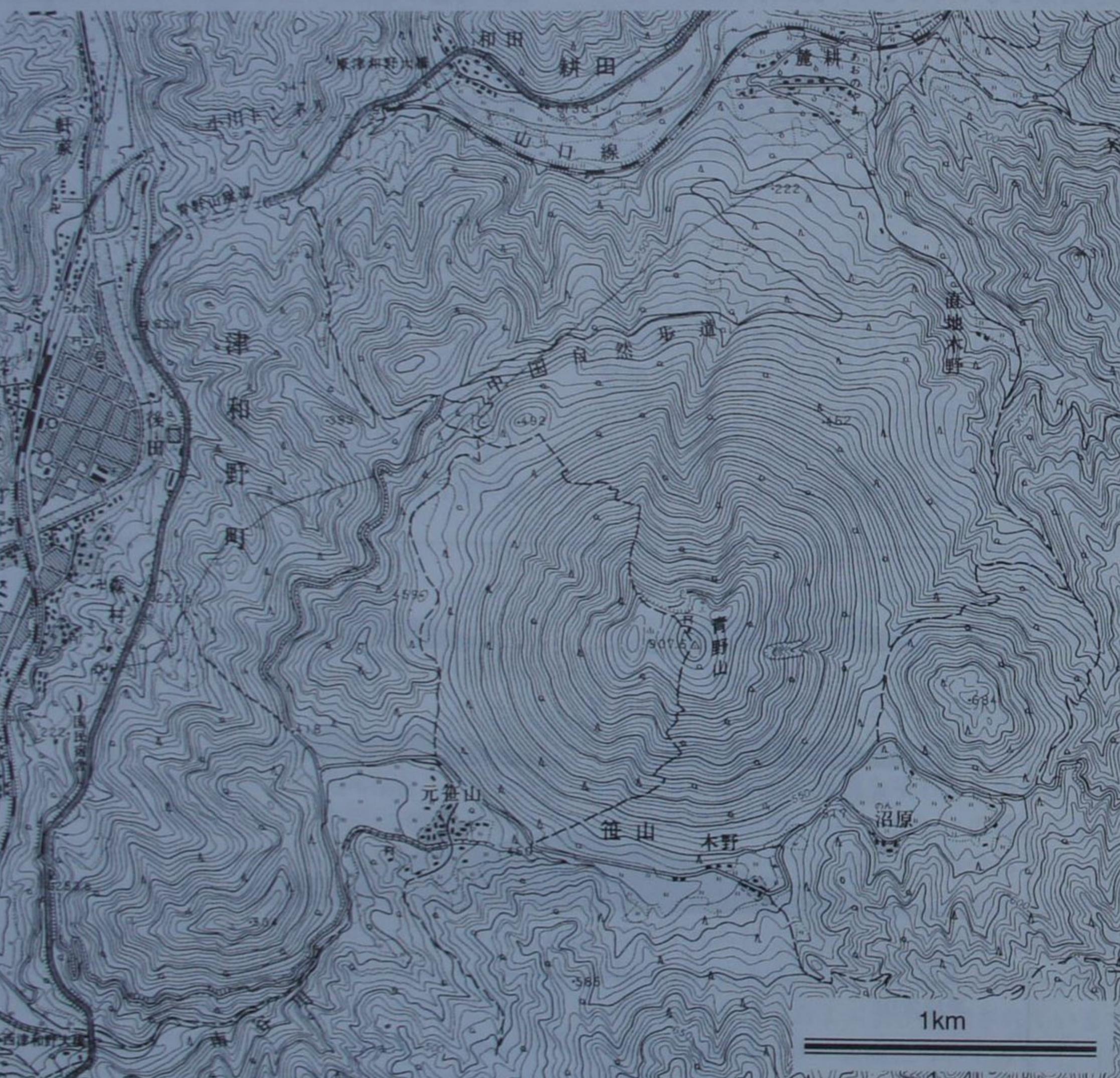


図5 溶岩円頂丘（青野山）の地形図（国土地理院2万5千分の1地形図「津和野」の一部）
青野山の周辺には、溶岩円頂丘（溶岩ドーム）が15も集まっています。この地図の中にも5つの溶岩ドームが見えます。きれいな形をしている、つまり浸食をあまり受けていない山体は、青野山とその東の縁の小さな溶岩ドーム（地形図には名前がありませんが沼原の北側の小青野山）です。しかし、地図を良く見ると青野山の北側は大きく崩れ（山体崩壊）、崩れた土砂がすそ野にたまって緩やかな斜面を作っているのがわかります。



図6 溶岩平頂丘（羽賀台）の地形図（国土地理院2万5千分の1地形図「越ヶ浜」の一部）
羽賀台は、角閃石安山岩でできています。角閃石安山岩は溶岩円頂丘を作ることが多いのですが、阿武单成火山群では、なぜか平坦な台地（溶岩平頂丘）を作っています。

(5) 噴火のタイプ

火山によって噴火のタイプには癖があり、特定の火山地形を形成する傾向があります。

① 溶岩流をともなう噴火 マグマが破片にならず、そのまま液体として火口から流出するのが溶岩流です。溶岩流の流れ方は、粘性の違いによって様々なものがあります。玄武岩質溶岩のように低粘性の（流れやすい）ものは、液体と同様な動きをするのに対して、デイサイト質溶岩のような高粘性の（流れにくい）ものは、むしろ固体の岩塊が

徐々に動くように振る舞います。溶岩流の流走距離は、粘性が低いほど、また噴出量、噴出速度が大きいほど長くなります。

② 火碎物（マグマの破片）をともなう噴火
・ハワイ式噴火 低粘性の玄武岩質溶岩が、噴泉として割れ目から噴出するタイプです。このような噴火による薄い溶岩流が積み重なって楯状火山（図4）がつくられます。ガスの量は必ずしも少ないわけではありませんが、爆発的な噴火はしません。しばしば溶岩湖を作ります。

・ストロンボリ式噴火 比較的粘性の低い玄武岩質または安山岩質玄武岩マグマが、間欠的に爆発を繰り返すような噴火のタイプです。1秒以下から数十分ごとに、開いた中心火口からマグマのしぶきまたは赤熱した火山弾が爆発とともに空中に放出され落下します。火口の周囲には、円錐状の火碎丘（スコリア丘）（図4）ができます。

・ブルカノ式噴火 島弧の安山岩質火山の中心噴火活動で、単発的ないし数十分程度の間隔で間欠的に爆発が起こる噴火のタイプです。個々の爆発においては、短時間に高速のガスが放出されます。噴出物の多くは、爆発前に半分固まっていた本質岩片か類質岩片です。火山弾は、パン皮状のものが多く、角張った外形を示しています。そのなかには数mに及ぶものがあります。また、この噴火では、火山弾や火山礫に加えて数mm以下の細粒の火山灰が大量に作られるため、黒色の噴煙をあげます。

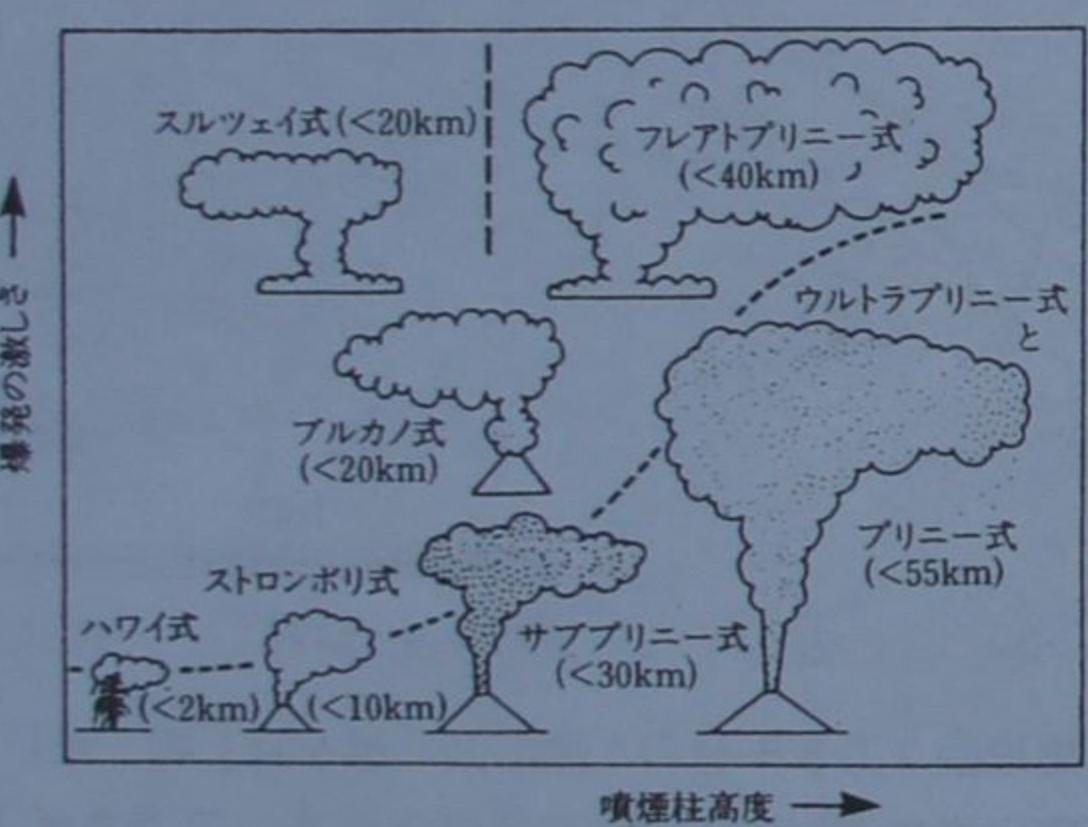
・ブリニー式噴火 数十分から1日程度の間、比較的定常に、火碎物とガスを1秒間に100m以上の

高速で噴出し、成層圏に達する巨大な噴煙をあげるタイプです。多くの場合、安山岩～流紋岩質マグマの噴出によるものです。大規模な降下軽石、スコリア、細粒火山灰を伴います。

・火碎流 火山灰や火山弾、火山岩塊などが高温の火山ガスや取り込んだ空気と一緒にとなって、時速数十～100km以上の高速で斜面を流下する現象を火碎流といいます。

火碎流には、中心火口から火山灰などが上方に、噴煙として放出され、その一部または全体が崩壊して斜面を流れ下るものと、成長しつつある溶岩円頂丘や溶岩流の先端が破壊または崩壊して発生するものに分けられます。

③ マグマ水蒸気爆発 マグマに地下水などの外來水が加わると、水から水蒸気に相変化することによって著しく体積が膨張するために、爆発的な噴火をおこします。マグマと水の接触のしかたは、地下水の供給、間隙水をもつ岩石の浸食、海水や湖水の火口へのマグマの注入の3種類があります。



噴煙の高さと爆発の強さの関係（宇井、1997）
Walker(1973)にCas and Wright(1987)が加筆したもの

ひとくちメモ 岩石の年代をはかる (1) カリウム-アルゴン (K-Ar) 法

^{40}K は、12億5千万年たつとその半分が ^{40}Ar になります。これを半減期といいます。この性質を利用して岩石や鉱物の年代をはかります。くわしい計算式は省略しますが、岩石や鉱物中の ^{40}K と ^{40}Ar を測定することで年代がわかります。試料中の ^{40}K を求めるためには、炎光光度計や原子吸光光度計を用いてKを測定し、 ^{40}K を計算で求めます。 ^{40}Ar は試料中のAr同位体比と量を質量分析計で求めます。

この方法の利点は、(1) Kは岩石や鉱物中に普通に含まれる元素なので、適用できる試料の種類が多い。(2) ^{40}K の半減期が12億5千万年なので、原理的には地球生成時から1万年程度までの広い年代範囲にわたって測定できる。(3) 試料中のArが放射性起源 ^{40}Ar 以外には大気のArの同位体比と等しいという仮定を満たす限り、1個の試料で年代が測れる。(4) Arは希ガスなので、大気や水などに含まれるAr以外の存在量は少なく、試料中の微量のArの測定ができる。などです。

兼岡（1998）による

3. 山口の火山—阿武单成火山群と青野火山群

阿武单成火山群は、アルカリ玄武岩からなる單成火山とカルクアルカリ安山岩からなる单成火山とが一つの独立单成火山群を構成しています。阿武单成火山群は玄武岩の溶岩流やスコリアと角閃石安山岩～デイサイトからなり、特徴的な火山地形をしていることで有名です。たとえば、日本海に面した萩の港には鶴江台、中ノ台、狐島、笠山などの玄武岩の溶岩台地やスコリア丘、さらに海上に浮かぶ羽島、大島などの平らな頂部をもつ溶岩平頂丘があります。また萩市の北東部には、丘陵性山地からなるおよそ20km²の地域に溶岩平頂丘やスコリア丘が散在しています。スコリア丘は伏馬山など15個ほどあります。そのほとんどは底径500m前後、比高100m前後の小さなもので、形成前後に流出した薄い溶岩流を伴っています。溶岩平頂丘は底径が500m程度の小さなものから3kmに達するものまでありますが、その比高はいずれもあまり変わらず100m程度です。これは溶岩の粘性があまり大きくなく、比高が100m前後に達するとそれ以上厚くなることができず、横に広がったことを示しています。阿武单成火山群の玄武岩はマントルの部分融解で生じたアルカリ玄武岩質マグマが、地表に流出して冷却・固結したものです。しかし、安山岩はこれらの玄武岩質マグマと流紋岩質マグマが、地下のマグマ溜りあるいは火道で混合した結果つくられたものと考えられています。ちなみに、流紋岩マグマは、地下約30km

の下部地殻（グラニュライトという岩石でできています）と呼ばれる部分が、玄武岩の熱で部分的に融かされてできたと考えられています。阿武单成火山の玄武岩は、ホットスポットに関係した火山岩の化学的特徴を示す二酸化チタン(TiO_2)、二酸化カリウム(K_2O)、三酸化アルミニウム(Al_2O_3)などに富んでいます。阿武单成火山群の活動は、大きくわけて二つの時期があります。古い方の火山活動は、約200万年～150万年前まで前期阿武单成火山活動と呼びます。また、新しい方の火山活動は後期阿武单成火山活動で約80万年前から8800年前まで続きました。前期阿武火山活動は中川の溶岩台地と杉原から長尾にかけての溶岩台地を形成したアルカリ玄武岩の活動です。後期阿武单成火山活動は、アルカリ玄武岩の活動とそれに伴ってカルクアルカリ安山岩～デイサイトが活動しています。アルカリ玄武岩の活動は後期阿武单成火山活動の期間すべてにわたっていますが、カルクアルカリ安山岩～デイサイトは40万年以降になって活動を開始しています。また、阿武单成火山群の噴出年代と噴出量の関係をみると、後期阿武单成火山活動は完全に終了したとは考えられず、今後この地域で火山活動がおこる可能性が残されています（図7）。

最近になって、秋田大学の高島 熟さんとの共同研究で、阿武单成火山群のK-Ar年代測定法で若すぎて測れなかった試料について熱ルミネッセンス法で測定したところ驚くような若い年代がされました。

ひとくちメモ 岩石の年代をはかる (2) 热ルミネッセンス(TL)法

結晶内の電子は放射線の照射により価電子帯（安定状態）から伝導帯（エネルギー吸収状態）へ励起され、最終的には結晶の歪みなどにより形成された電子トラップに捕獲されます（準安定状態）。このトラップ電子は加熱により価電子帯に戻りますが（蓄積エネルギー放出）、その時の発光がTLです。発光は受けた放射線量に比例するので、発光量を測り、既知線量の人工照射の発光量と対応させることで地質時代を通じて試料が受けた放射線量（パレオドース、paleodose=PD）を求めることができます。さらに、試料採取地点が1年間に受けている放射線量（年間線量、annual dose=AD）を求めれば、PD/ADでTL年代が決まります。ADは、岩石中の放射性元素および宇宙線からの吸収線量の合計です。U, Th, Kを分析しその値から求めます。

$$\text{年代 } t = \text{蓄積線量 (PD)} / \text{年間線量 (AD)}$$

石英は(1)発光が強く、(2)安定していることに加え、(3)内部に放射性元素を含まないことから、年間線量の評価が単純に行えます。さらに、火山岩の場合には、時間の始まりが高温の噴火（実際は冷却時）であり、その時のTL蓄積量がゼロであることから、年代値算出手順も簡単で解釈が容易です。

石英を使用した火山岩では、条件の良い場合は数百年から300万年が測定でき、良好な年代値が期待される最適年代範囲は2～3万年から50万年程度です。

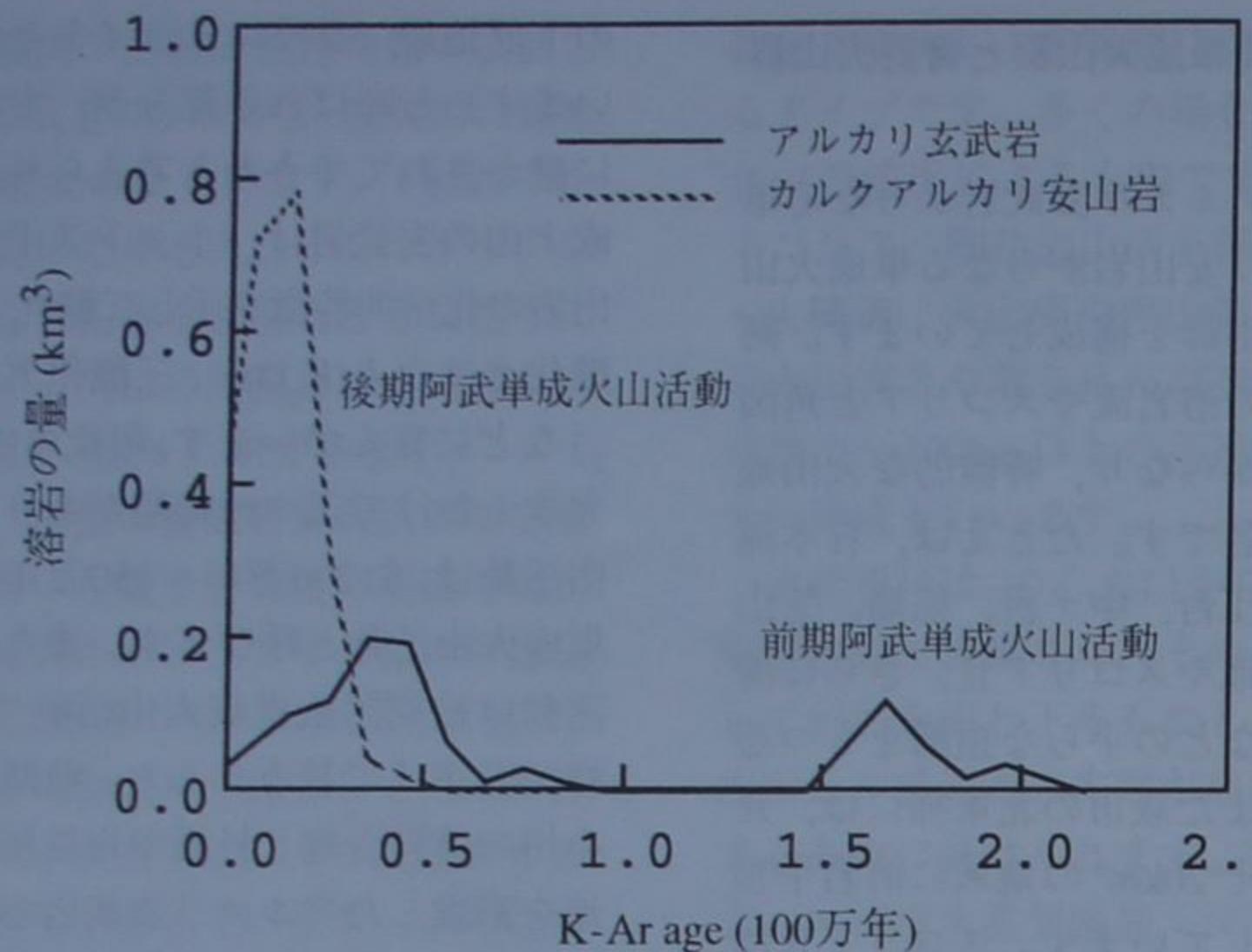


図7 阿武单成火山群の噴出年代と噴出量の関係（角縁ほか、2000）

阿武单成火山群の活動は、大きくわけて二つの時期があります。古い方の火山活動は、約200万年～150万年前まで前期阿武单成火山活動と呼びます。また、新しい方の火山活動は後期阿武单成火山活動で約80万年前から8800年前まで続きました。前期阿武火山活動は中小川の溶岩台地と杉原から長尾にかけての溶岩台地を形成したアルカリ玄武岩の活動です。後期阿武单成火山活動は、アルカリ玄武岩の活動とそれに伴ってカルクアルカリ安山岩～デイサイトが活動しています。アルカリ玄武岩の活動は後期阿武单成火山活動の期間すべてにわたっていますが、カルクアルカリ安山岩～デイサイトは40万年以降になって活動を開始しています。また、阿武单成火山群の噴出年代と噴出量の関係をみると、後期阿武单成火山活動は完全に終了したとは考えられず、今後この地域で火山活動がおこる可能性が残されています。

青野火山群は、大山火山、三瓶火山、青野火山群、姫島火山、両子火山、由布・鶴見火山、九重火山へとつながる火山の帶をつくっています（昔は、熊本県の金峰火山、長崎県の雲仙火山も含まれていましたが、最近の研究でこれらの火山はプレートの沈み込みと関係がないと考えられるようになりました、現在では除外されています）。

中国地方の大山火山、三瓶火山は、大規模な火碎流が発生しましたが、山口県の火山は、火碎流を流さず、溶岩が盛り上がった溶岩円頂丘（溶岩ドーム）をつくりました。火山を構成している岩石は黒雲母を含む角閃石安山岩～デイサイトです。具体的な分布は、青野山の南の徳佐盆地の中にお椀を伏せたような形の山がならんでいます（山口から津和野へ向かう国道9号線の車中からよく見えます）。野坂山、段原山、三原山などです。さらに南へ下り徳地町と新南陽市の境界にある千石岳、徳山市の金峰山、四熊ヶ岳へと続いていきます。徳地町の長者ヶ原もこの火山帯に属する火山で、山頂近くには、爆発でできた窪地（爆裂火口）があります。青野火山群の火山は全て溶岩円頂丘ですが、長者ヶ原だけは溶岩台地を作っています。これらの溶岩円頂丘は一回のマグマの活動で形成

されたもので、1990年～1995年に噴火した雲仙普賢岳の溶岩ドームの成長速度を参考にすると短期間おそらく数カ月～1年程度ででき上がったものと思われます。青野火山群は、北部地域のものは、溶岩円頂丘の形態が良く保存され、南に行くほど火山体が解釈され、山体崩壊物が見られるようになります。

青野火山群の岩石について鎌田ほか（1987）によって以下のようなK-Ar年代が報告されています。四熊ヶ岳 70万年（±8万年）、千石岳 100万年（±5万年）、金峰山 60万年（±20万年）、長者ヶ原 <20万年、野坂山 46万年（±5万年）、雲井峰 <20万年、青野山北 23万年（±1万年）、地倉峠 128万年（±6万年）、鍋山島 <20万年です。最近、大阪市立大学の古山勝彦さんが、より精度の高いK-Ar年代測定法を用いて測定しました（古山、1997）が、もっとも若い年代は地倉沼で9万5千年（±4万1千年）でした。青野火山群の活動は、約128万年前から10万年頃まで続いたことになります。

青野火山群を作っている安山岩やデイサイトは、アダカイトと呼ばれる特殊な岩石で、中国地方の下に沈み込んでいるフィリピン海プレート（海洋底）そのものが融けてできたものです。

第2章 「オープンエア・ミュージアム

山口の火山」ガイドブック

山口の火山を観察する代表的なコースを紹介します（図8）。半日から1日で、代表的な火山地形や火山現象を見ることができます。すべて、車が通れる道路の近くですから、簡単に観察することができます。また、読んでいただけでも山口の火山を楽しんだり、勉強したりすることができます。

さあ、出發です→①阿東町市場（青野火山の溶岩円頂丘（ドーム）、潜在円頂丘、山体崩壊など）→②阿東町台山付近（深部から上昇してくるアセノスフェアと沈み込むプレートの境界。阿武单成火山群の台山溶岩平頂丘と嘉年のスコリア丘）→③むつみ村片俣（アブサロカイトという珍しい岩石）→④むつみ村伏馬山（スコリア丘）→⑤むつみ村千石台（溶岩平頂丘とマグマの混合）→⑥阿武町

このコースは、朝から夕方まで、まる1日を想定しています。時間に余裕がない場合は、⑥の次は⑦か⑧～⑬を選びましょう。

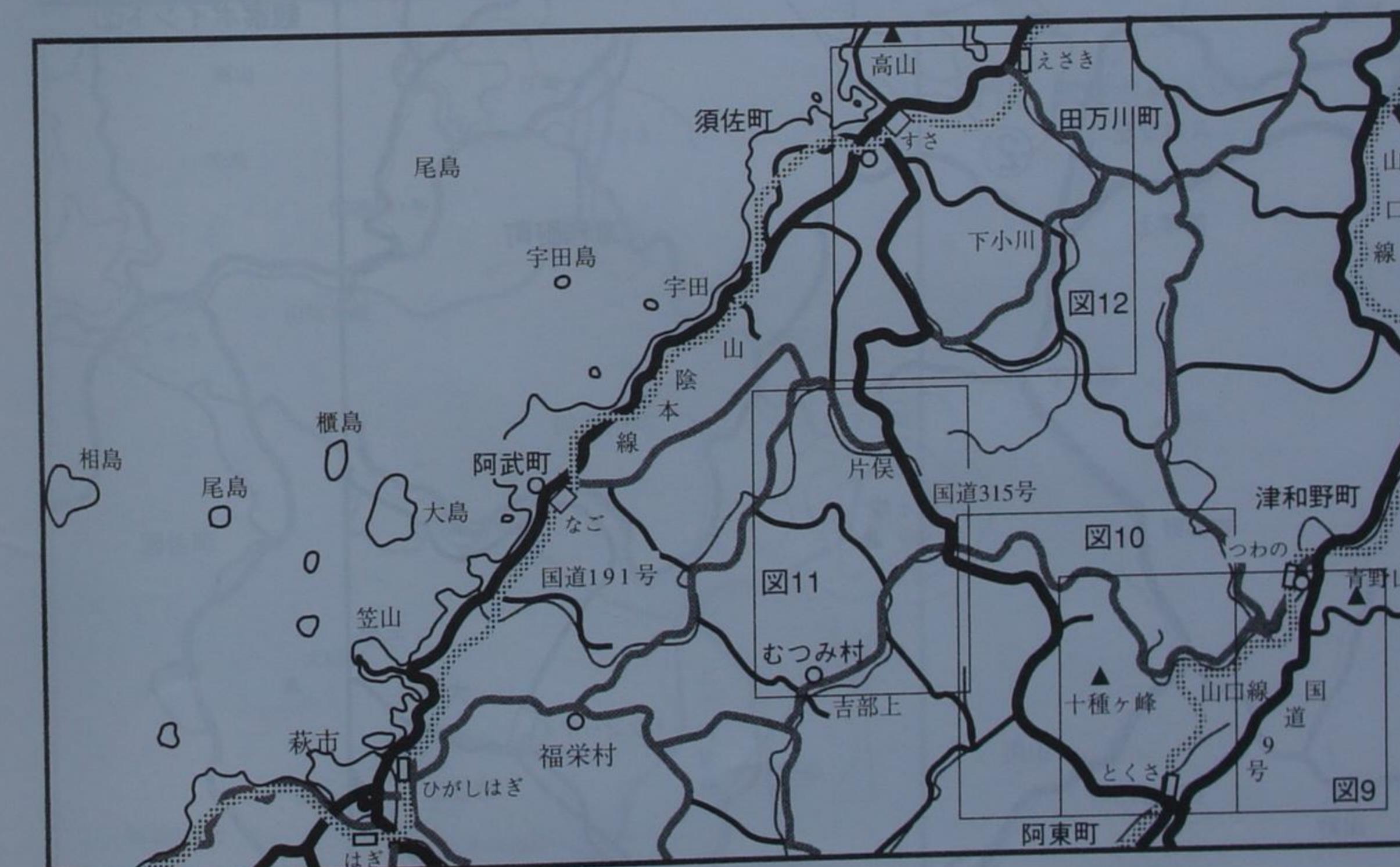


図8 模式的な観察ルート

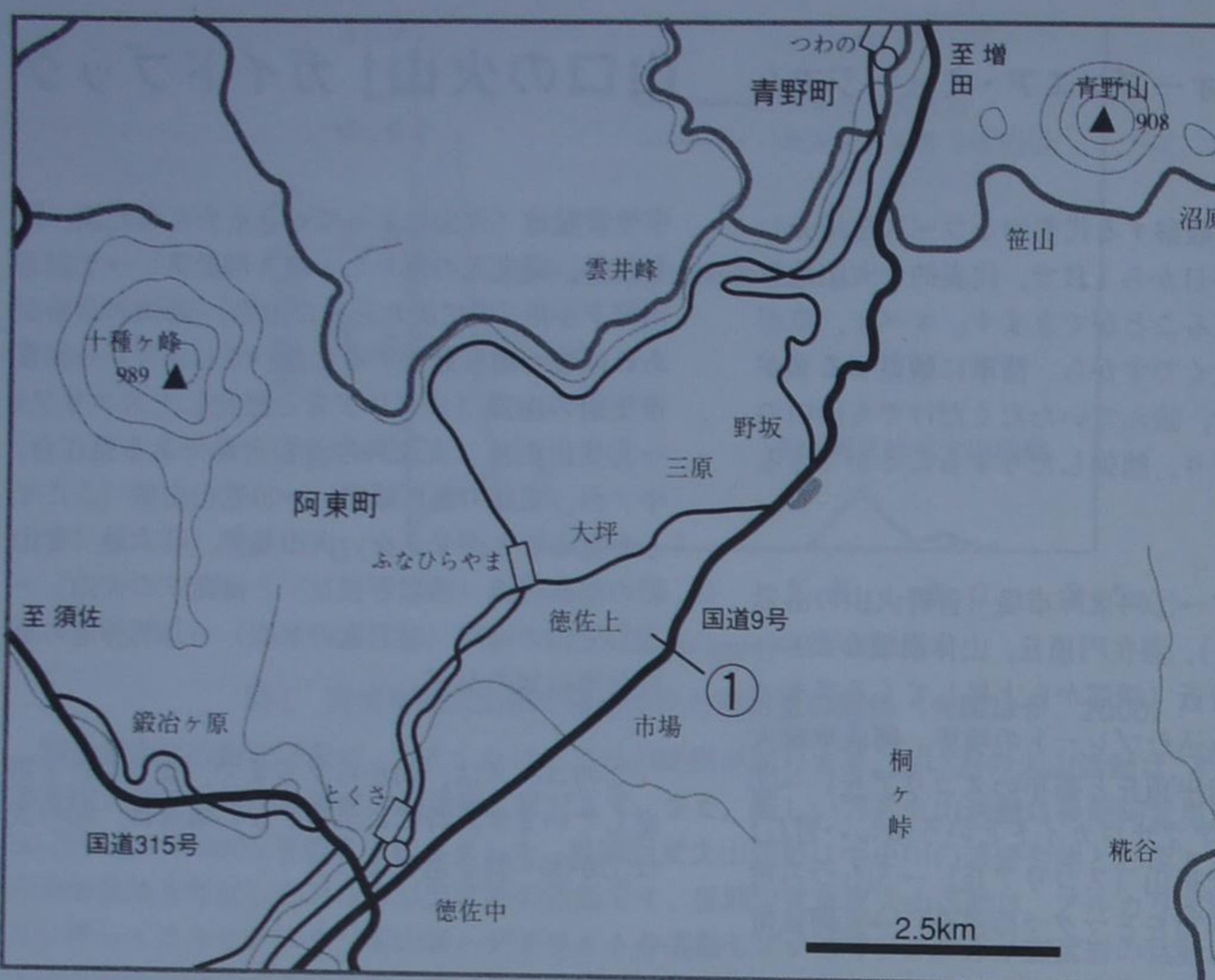


図9
観察ポイント①

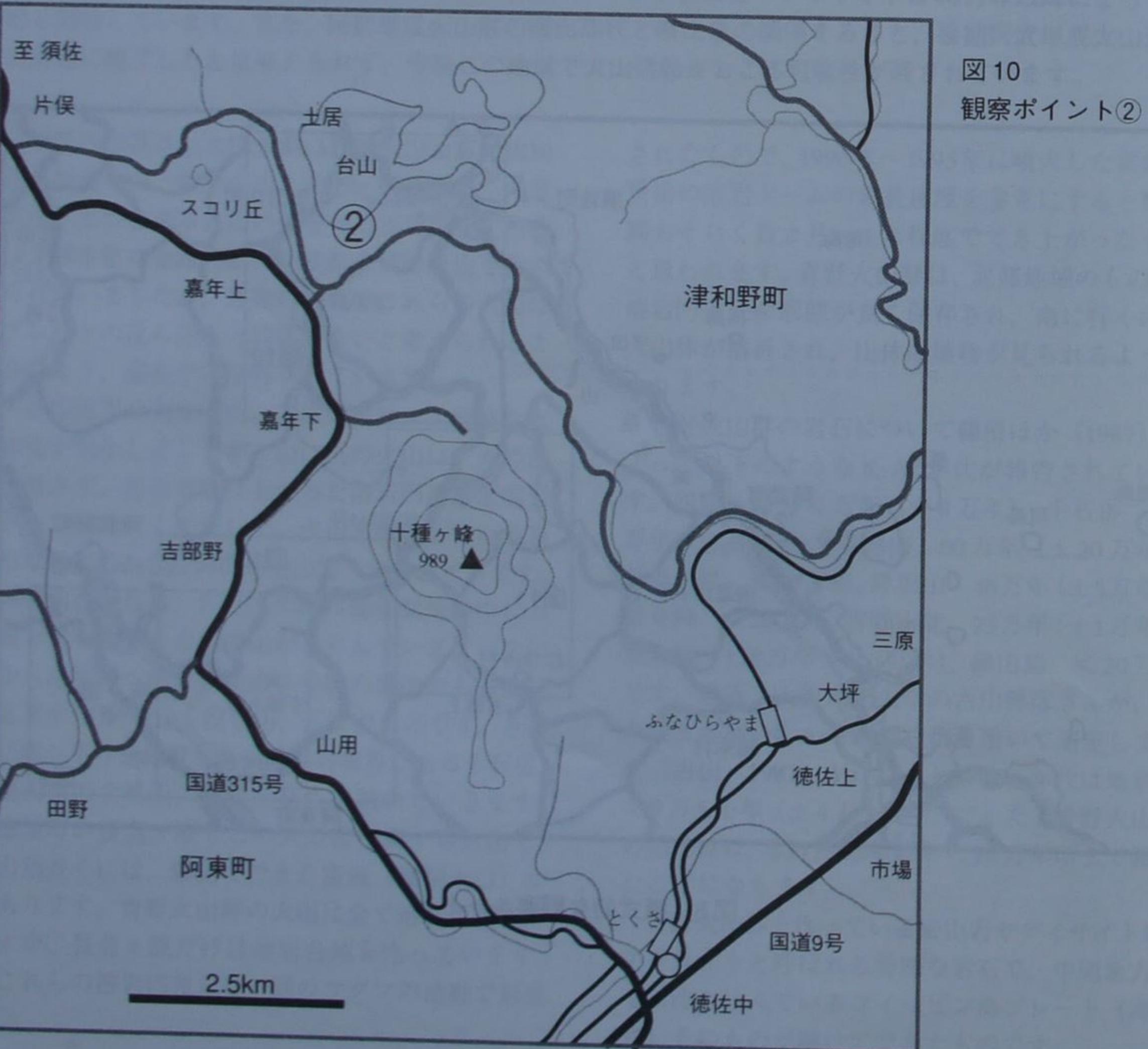


図10
観察ポイント②



図11
観察ポイント③, ④, ⑤, ⑥



図12 観察ポイント⑦

観察ポイント①-1 阿東町市場（図9）

青野火山群の溶岩円頂丘（溶岩ドーム）を観察しましょう。そして10万年前のマグマの活動を思い浮かべましょう。

くみどころ

- ・青野山を中心として15の火山が知られています。農協の倉庫からは、青野山、野坂山、段原山、三原山、觀音山、船平山が見えます。
- ・なぜ溶岩円頂丘ができるのでしょうか？マグマの粘り気が火山の形をきめ、マグマの粘り気はマグマの中の珪酸（ガラス瓶の主成分）の量で決まると考えられています。
- ・ひとつの山はどれくらいの期間でできたのでしょうか？雲仙（平成新山）や昭和新山を例に考えてみましょう（昭和新山では1年間に250-200m溶岩ドームが成長しました）。
- ・青野山でも大規模な山崩れ（山体崩壊）がありました。地形図で調べて見ましょう（図5）。
- ・青野火山群を作ったマグマはどうやってできたのでしょうか。

くみどころ

- 一回の噴火の末期に、揮発性成分をほとんど失ったデイサイトあるいは流紋岩マグマがゆっくりと火道を上昇してくると、溶岩が火口から盛り

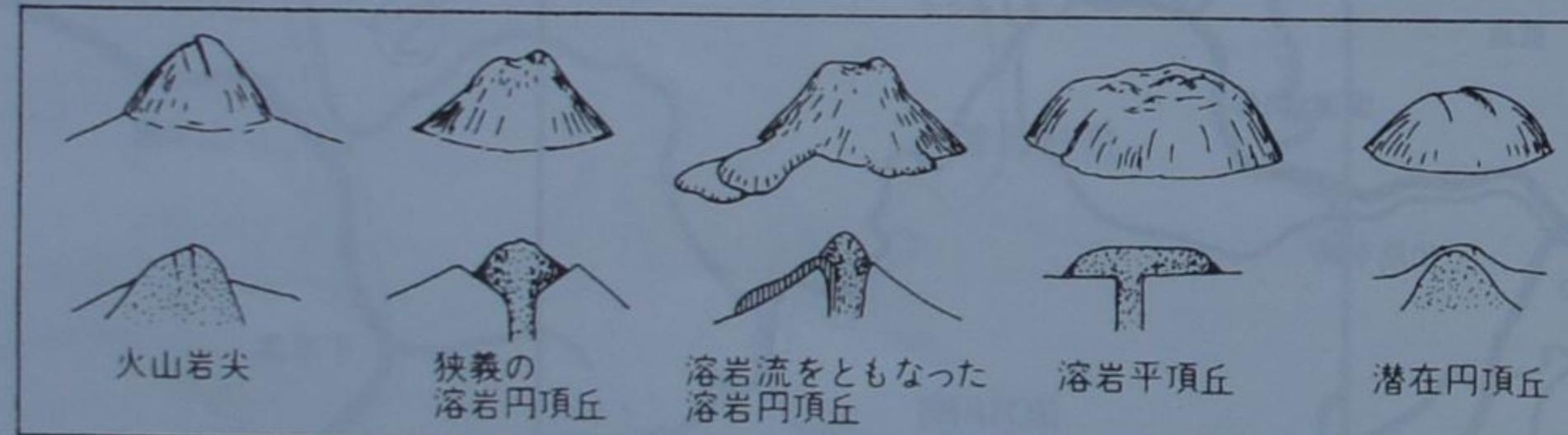


図13 溶岩円頂丘の分類(守屋, 1983)

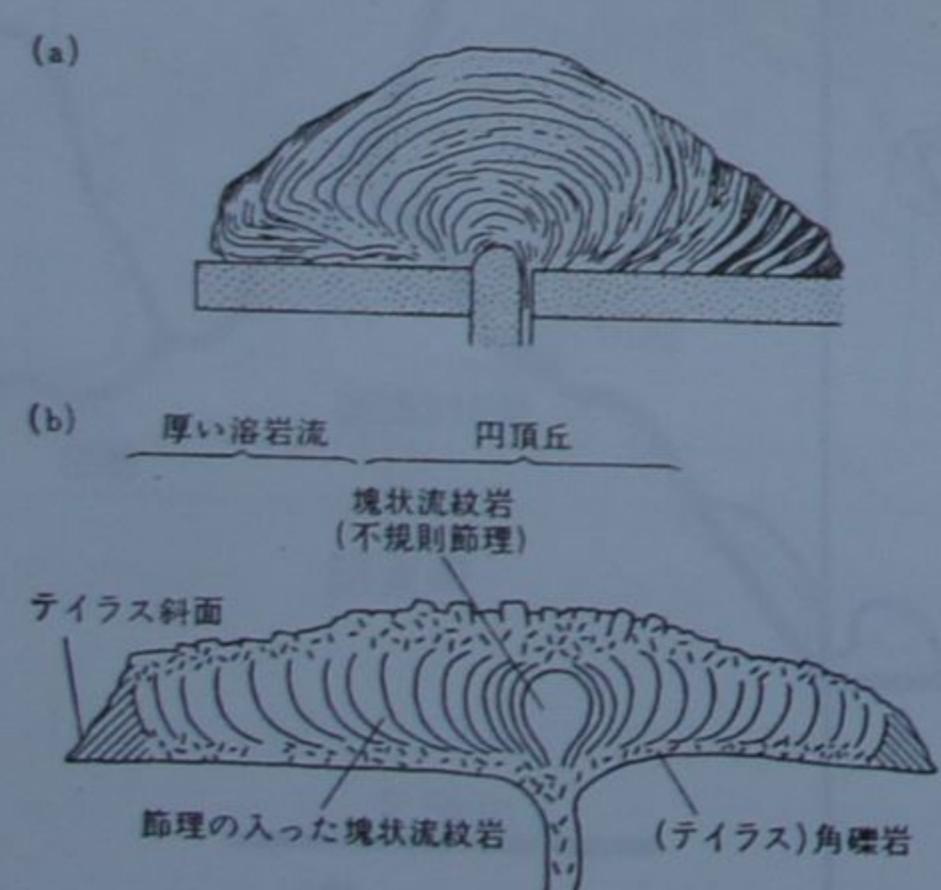


図14 溶岩円頂丘の断面（荒牧・宇井, 1989）。
(a)バテによる実験、(b)タラウエアの観察に基づく

上がってドーム状の高まりをつくります。これを溶岩円頂丘（溶岩ドーム）といいます（図13）。玄武岩あるいは安山岩マグマの場合は、火道がふさがらないかぎり、噴火終了後マグマはふたたび地下深所へ戻ってしまいますから溶岩ドームはつくれられず、火口がひらきます。揮発性成分を保持したままのマグマが半固結状態で上昇してくると、できたばかりの溶岩ドームが重力崩壊してブレー式熱雲が生じやすいようです。とくに噴火初期には警戒が必要です。溶岩ドームの急斜面は不安定ですから、冷却に伴って少しづつ崩れ落ち、スコリア丘と同様の崖錐斜面を周囲につくります。溶岩ドームの内部には、内側へ次々にマグマが供給されたことを示すタマネギのような縞模様がみられることがあります（図14）。このような内成ドームに対して、マグマが上へ上へと積み重なってできたものを外成ドームといいます。外成ドームの中には、長い休止期を挟んだ複数回の噴火でつくられた複成火山もあります。雲仙岳1991-1994年噴火で観察されたように、溶岩ドーム形成の過程でマグマ噴出率が減少して、外成から内成に変化することもあります。大地を押し上げながら上昇して、地表にマグマが露出しなかったものを潜在円頂丘といい、一枚の岩盤が天を突いて高く成長すると火山岩尖（溶岩塔）とよびます（図13）。

図15に青野山周辺の溶岩円頂丘の分布を示します。狭い範囲にこれだけの溶岩円頂丘が集まっている例はあまりありません。図16には図15を上空から見た図（鳥瞰図）を示します。

図17には、青野火山群のいくつかの火山体を示しています。浸食の違いによって溶岩円頂丘の形が変わっていくのがわかると思います。

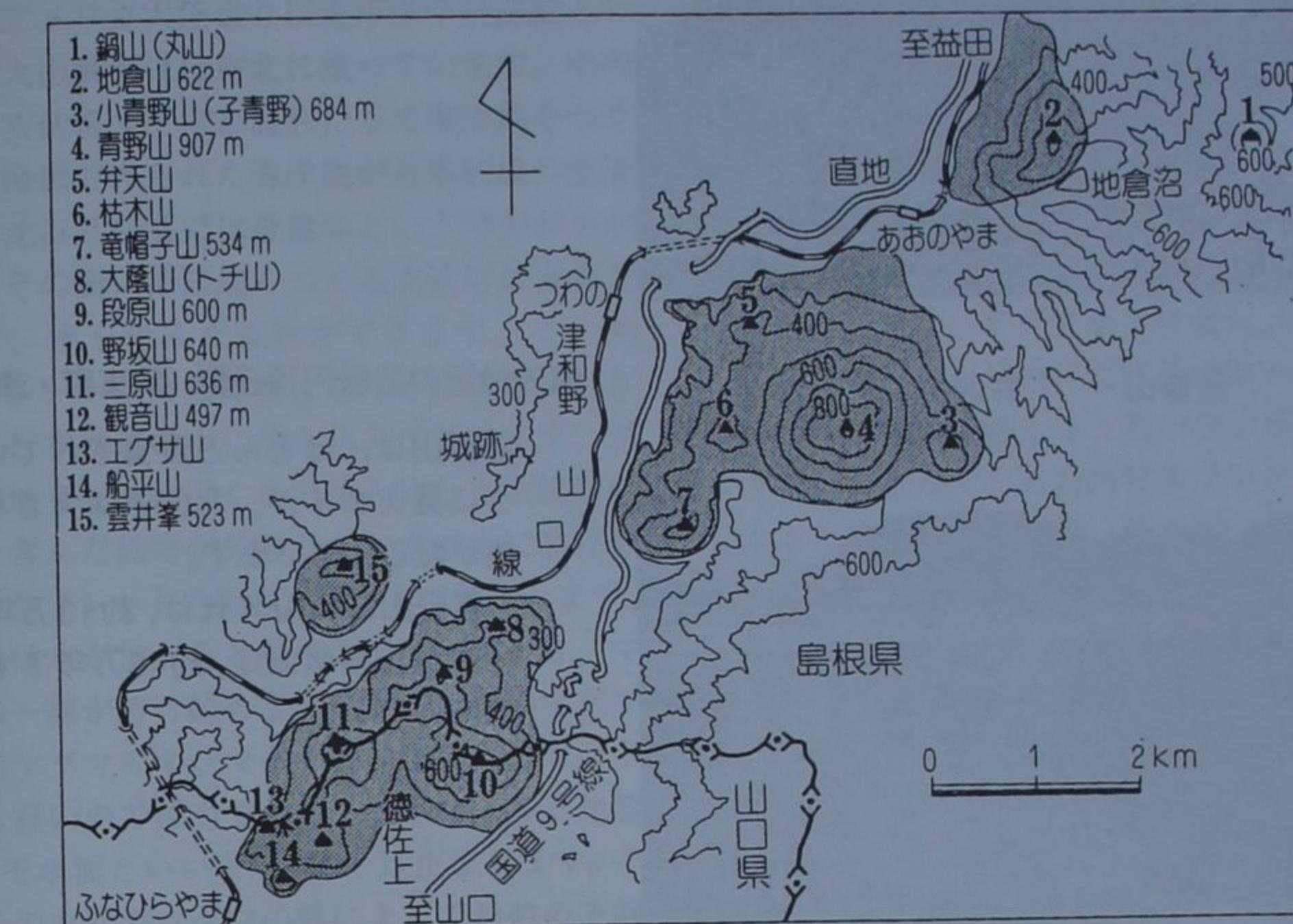


図15 徳佐周辺の溶岩円頂丘群（山口県地学のガイド, 1984）

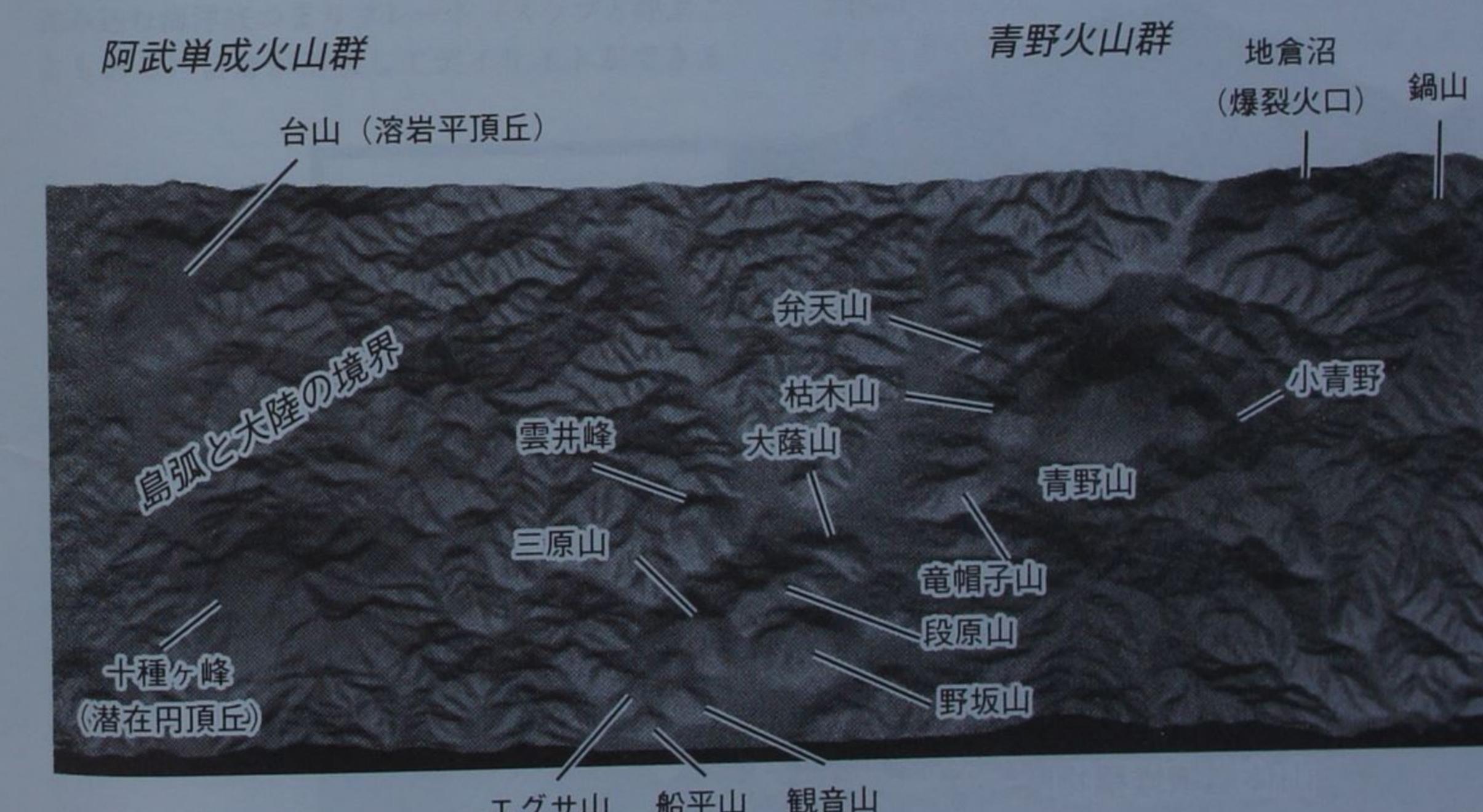


図16 徳佐周辺の火山の3D図

国土地理院数値地図50mメッシュ（標高）を用いて作成。俯角55°、高さの強調1.0倍、南からの光で、南から北を見ています。十種ヶ峰は、潜在円頂丘で、マグマは地上に顔を出しているません。



鍋山 (島根県日原町)

浸食が進んでいない新しい溶岩円頂丘



徳佐付近の溶岩円頂丘群 (阿東町・津和野町)

青野山は、ほとんど浸食されていないよう見えますが、北側では大きな山体崩壊が起こっています。

青野山のK-Ar年代は、約13万年 (古山, 1997), 野坂山は、約46万年です (鎌田, 1987)



円山 (鹿野町)

ガリー浸食が始まっています。



四熊ヶ岳 (徳山市)

山体崩壊が進み、溶岩円頂丘の形が壊れています。山麓には、山体崩壊物が堆積しています。K-Ar年代は、70万年 (鎌田, 1987), 約45万年 (古山, 1997) です。

図17 青野火山群の溶岩円頂丘の地形発達

解説: アダカイト

少しむずかしい!

さてここで、青野火山群のようにプレートの沈み込みに関係したと考えられている火山をつくる岩石 (マグマ) のでき方について見てみましょう。太平洋のアメリカ大陸よりに太平洋中央海嶺という海底の大山脈がほぼ南北に走っています。その海嶺から玄武岩マグマが流れだして海洋底をつくります。海嶺で作られた海洋底が日本列島の海溝に移動し沈み込むまでは数億年という時間がかかります。その間に海洋底をつくる玄武岩は海水との反応で、水を含んだ鉱物ができます。また熱かったプレートが冷えて重くなりその重さに引きずられて日本列島の下に沈み込みはじめます。プレートが地下100km近くまで沈み込むと玄武岩の中の水を含んだ鉱物が分解して、水や水に溶けやすい元素をプレートの上のマントルに放出します。マントルは水が加わると融ける温度が下がり、マントルの一部が溶け始めます (図18)。このマグマは玄武岩マグマです。マグマは、まわりのマントルよりも軽いので浮力で上昇し、マントルと地殻の境目 (モホ面といいます) で一旦止まります。そして、その玄武岩マグマの熱によって地殻の下部が溶かされて青野山を作っている安山岩～デイサイトマグマができると考えられています。ところが最近になって、DefantとDrummond(1990) が、沈み込む海洋底つまりプレート (スラブと呼ぶこともある) 自身が溶融してデイサイトができる

(図19) という論文を発表しました。このようにしてできたデイサイトは、特徴的な化学組成 (珪酸 (SiO_4) 56wt%以上, 酸化アルミニウム(Al_2O_3) 15wt%以上, イッテルビウム(Yb) 1.9ppm以下, イットリウム(Y) 18ppm以下, ストロンチウム(Sr) 400ppm以上, ストロンチウム/イットリウム比 20-40以上, ストロンチウム同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 0.7040以下)をもっており、スラブが融けてできたと思われるデイサイトが、最初に発見されたアラスカのアリューシャン列島のアダック島 (火山) の名前をとてアダカイトという名前がつけられました。また、アダカイトは若い、つまり熱いスラブが沈み込む地域にだけ見つかっています。現在の日本列島で考えると若いフィリピン海プレートが沈み込んでいる西南日本でアダカイトが見つかる可能性があります。そこで、私たちは青野火山群に焦点をしぼり研究をしたところ、青野火山群のデイサイトは、アダカイトにきわめて類似していることがわかりました。このことは、青野火山群のデイサイトは、フィリピン海プレート自身の一部が融けてできたことを示すものだと考えていました。島根県から山口県に分布する青野火山群は、いま世界的に注目されているアダカイトの日本での典型的な例だということです。また、2年前から、沈み込むプレートによって引きずり込まれた海溝堆積物が融けることによってフェルシック (SiO_2 に富んだ) マグマができ、そのマグマが上昇する途中でマントルと反応して Mg に富んだ安

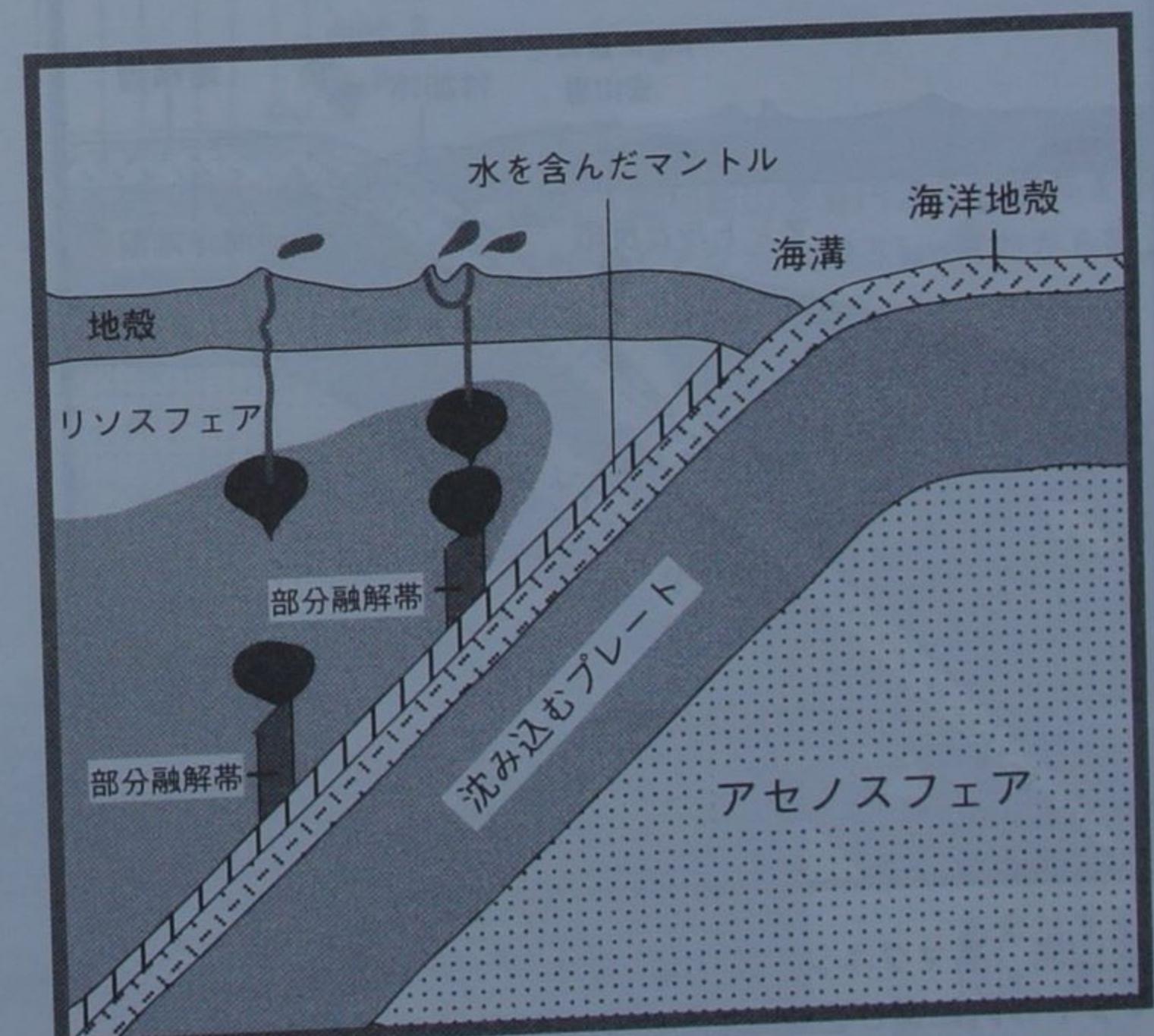


図18 沈み込むスラブ上のマントル (マントルウェッジ) が融けて島弧玄武岩マグマができる
(巽, 1995 を改変)。

山岩ができるという考えもでてきました。その代表例として瀬戸内火山岩類(高マグネシア安山岩、サマカイト)があげられています(図20)。

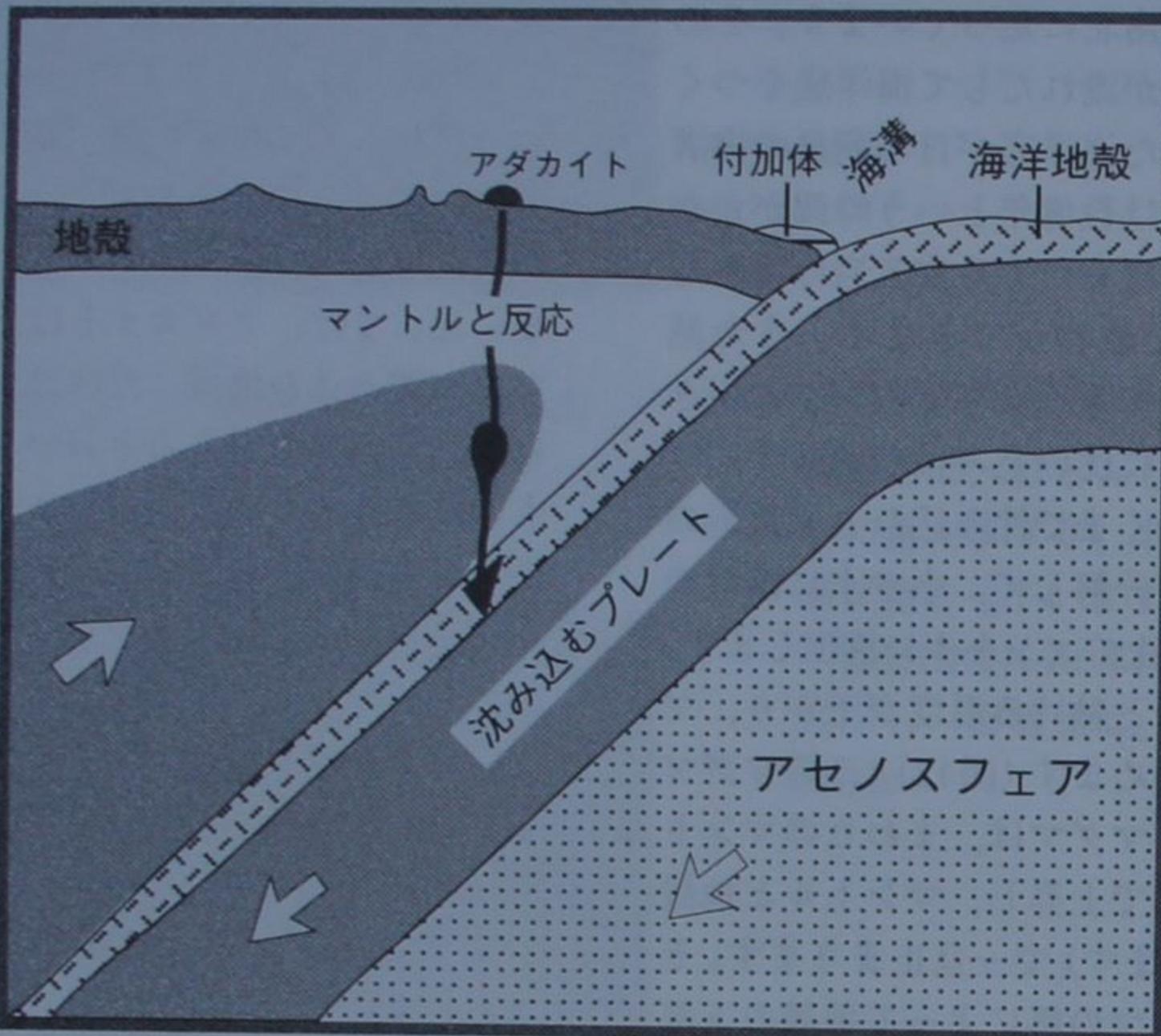


図19 青野山火山群のマグマのできかた。沈み込んだ海洋底が融けてシリシックな(SiO_2 に富んだ)アダカイトマグマができます。そのマグマが通り道のマントルと反応してMgに富む安山岩ができることもあります。

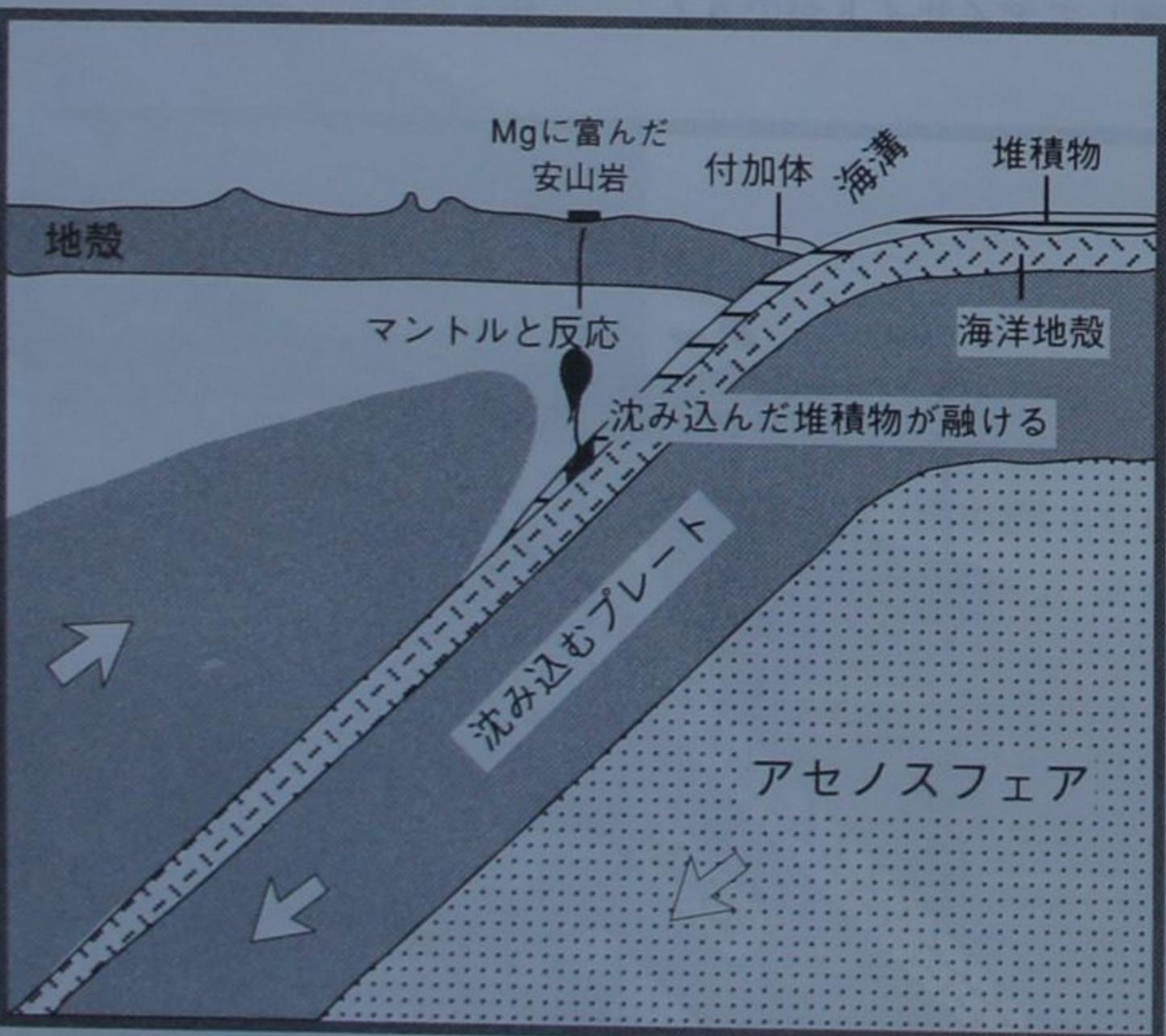
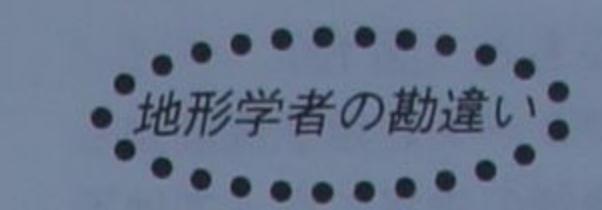


図20 瀬戸内火山岩(高マグネシア安山岩)のできかた。沈み込んだ堆積物(海溝にたまつた土砂がマントル内に運び込まれた)が融けてシリシック(SiO_2 に富んだ)マグマができます。そのマグマが通り道のマントルと反応してMgに富んだ安山岩ができます。

観察ポイント①-2 十種ヶ峰一地表に出られなかったマグマがつくった山(潜在円頂丘)(図9)

<みどころ>

・潜在円頂丘とはどのようなものでしょうか。十種ヶ峰は、白亜紀の火山岩でできていますが、ドーム状の地形をしています(西側から見るとドームの形がよくわかります)。重力の正の異常のデータから判断すると、内部には青野火山群に属する溶岩円頂丘が隠されているのではないかと考えられています。このような、火山は、「潜在円頂丘」と呼ばれており、北海道の有珠火山の明治新山(四十三山=よそみやま=明治43年にできた)が有名です。その後できた昭和新山は、麦畑の中に突然現れ(麦畑山ヲ生す)、成長して溶岩円頂丘となりました。その成長過程は、郵便局長の三松正夫さんによって克明に記録され、「ミマツダイアグラム」として、世界の火山学者に賞賛されました(図21)。



「日本の火山地形」(守屋以智雄 著 東京大学出版会)第2刷に、以下のようない文があります。「第2刷にあたって... 脇坂・村上両氏からは十種ヶ峰が溶岩円頂丘ではなく、磁気測定などから潜在円頂丘の可能性が強いとのお便りをいただいた。」たしかに、地形図を見ると、十種ヶ峰は、大きな溶岩ドームのように見えますが、十種ヶ峰の頂上は、約1億年前の火山岩でできています。現地に行かないで地形の特徴だけで決めてしまったことが勘違いの原因と考えられます。また、守屋さんは、十種ヶ峰を阿武(单成)火山(群)に入れていますが、潜在円頂丘であるとすれば、青野火山群に入れるべきでしょう。

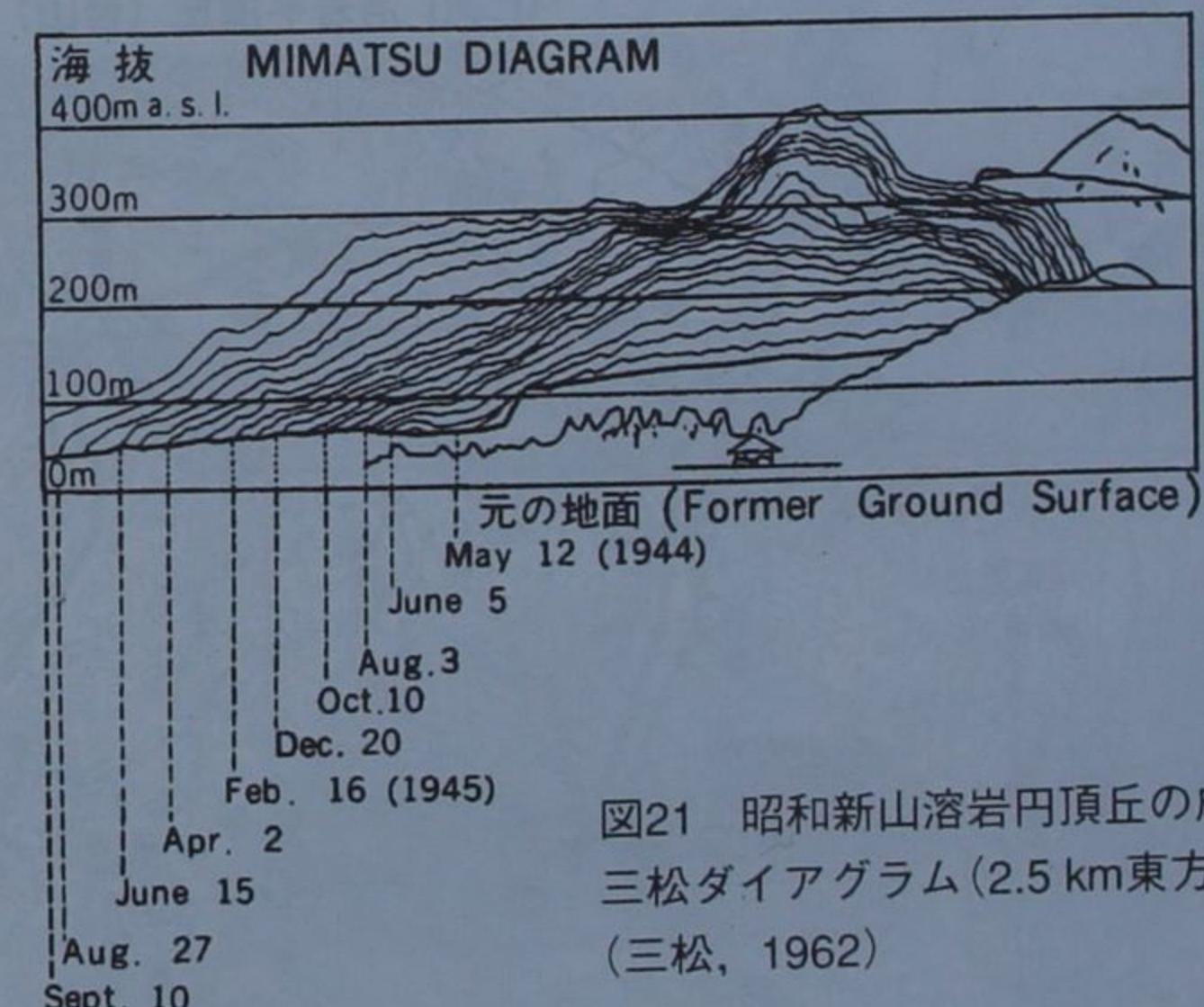


図21 昭和新山溶岩円頂丘の成長を示す
三松ダイアグラム(2.5 km東方から観測)
(三松, 1962)



図17-2 長者ヶ原(徳地町)は、青野火山群の他の火山と異なり溶岩台地を作っています。山体の浸食はありませんK-Ar年代は、約16万年(古山, 1997)。

観察ポイント② 台山のふもと（図10）

沈み込むフィリピン海プレートと地下深部から沸き上がってきた高温の物質の境界に立って地下の成り立ちを考えてみましょう。

くみどころ

・阿武单成火山に属する約2万年前に噴火した台山（溶岩平頂丘），約18万年前の嘉年スコリア丘と青野火山群に属する潜在円頂丘の十種ヶ峰の地形を比べてみましょう（図22）。



図22 嘉年のスコリア丘、台山の溶岩平頂丘と十種ヶ峰の地形図（国土地理院5万分の1地形図「徳佐中」を使用）

十種ヶ峰は、潜在円頂丘です。嘉年のスコリア丘・台山の溶岩平頂丘と十種ヶ峰の間に島弧と大陸の境界があることになります。

・両方の火山群は水平距離でどれくらい接近しているでしょうか。

・青野火山群と阿武单成火山群の接点－両方のマグマが混じってできた火山もあります。

阿武单成火山群の活動は、200万年前から8800年前まで続きました（永尾ほか、未公表）。一方、青野火山群は、128万年前から約10万年まで活動しています（鎌田ほか、1987；古山、1997）。青野火山群は、沈み込むプレートに関係した火山で、阿武单成火山群は、地球の深部から上昇してきた

マントルダイアピル（アセノスフェア）に由来した火山です。このように全く異なるタイプの火山活動が、ほぼ同じ時期に、たった数kmしか離れていない地域で起こったというのは、世界的に見て

も非常にめずらしいことです。

図23に阿武单成火山群と青野火山群の関係を示すモデルを示しました。

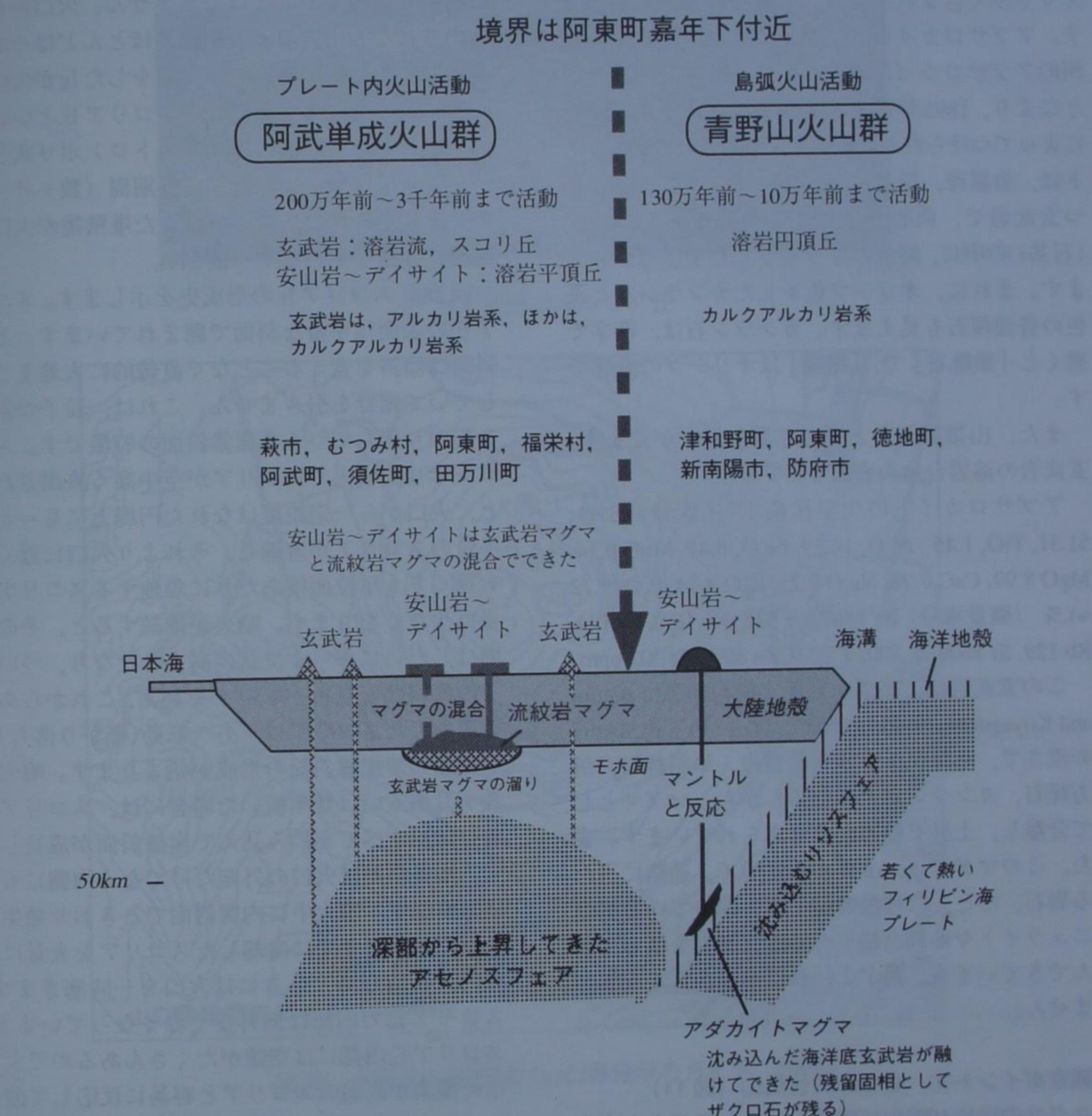


図23 青野火山群と阿武单成火山群の関係（永尾、原図）

青野火山群の活動は130万年前～10万年前まで、阿武单成火山群の活動は、200万年前～8800年前まで続きました。すなわち沈み込み帯の火山活動とマントル深部から上昇してきた熱い物質（アセノスフェア）が融けてできたマグマに由来する阿武单成火山活動が同時に起こった時期があったのです。このようなことが起こった場所は世界的にみても非常にめずらしいのです。

アダカイトは、斜長石と角閃石を特徴的に含み、沈み込む海洋地殻が250万年よりも若い沈み込み帯に限って分布します。アダカイトの化学的特徴は、太古代のアルミニウム富化カウル質岩と似ているので、地球史における大陸地殻の形成に重要な役割を果たしたと考えられています。

観察ポイント③ むつみ村片俣（図11）

日本ではここでしか見ることができない玄武岩アブサロカイト

片俣のアブサロカイトは、金雲母を含んだマントルの一部が融けてできた玄武岩で、 K_2O が Na_2O よりも多く含まれており、日本では珍しい岩石です。アブサロカイトは、アメリカのワイオミング州のアブサロカ（Absaroka）地域で見つかったことにより、1895年にイディンゲスという岩石学者によってつけられた名前です。片俣のアブサロカイトは、金雲母、普通輝石、カンラン石を斑晶に持つ玄武岩で、肉眼ではザラザラした灰色の基質（石基）の中に、褐色のキラキラした金雲母が見えます。まれに、オリーブ色をしたカンラン石と黒色の普通輝石も見えます。カンラン石は、漢字で書くと「橄欖石」で、「橄欖」はオリーブの意味です。

また、山頂に上ると平らな景色が広がります。玄武岩の溶岩台地の表面なのです。

アブサロカイトの化学組成：（主成分） SiO_2 51.51, TiO_2 1.45, Al_2O_3 14.29, Fe_2O_3 8.47, MnO 0.14, MgO 8.99, CaO 7.78, Na_2O 2.25, K_2O 3.74, P_2O_5 0.72 wt.% （微量元素）Ba 1567, Cr 546, Nb 10.0, Ni 144, Rb 129, Sr 1609, V 300, Y 22.0, Zn 89.0, Zr 302 ppm

この玄武岩は、高温・高圧実験の結果（Tatsumi and Koyaguchi, 1989）、1170°C, 17kb（地下約50km）の深さで、起源マントル（金雲母、単斜輝石、斜方輝石、カンラン石からなる）から、マグマとして分離し、上昇を始めたと考えられています。また、このマグマは、上昇する途中で、通路に当たる岩石、たとえば地殻の最下部を作っているグラニュライトや地殻上部をつくる花崗岩を壊して運んできています。運がよければ見つかるかも知れません。

観察ポイント④ むつみ村伏馬山（図11）

マグマの破片が空中に噴き上げられてできた火山スコリア丘（ストロンボリ式噴火）

<みどころ>

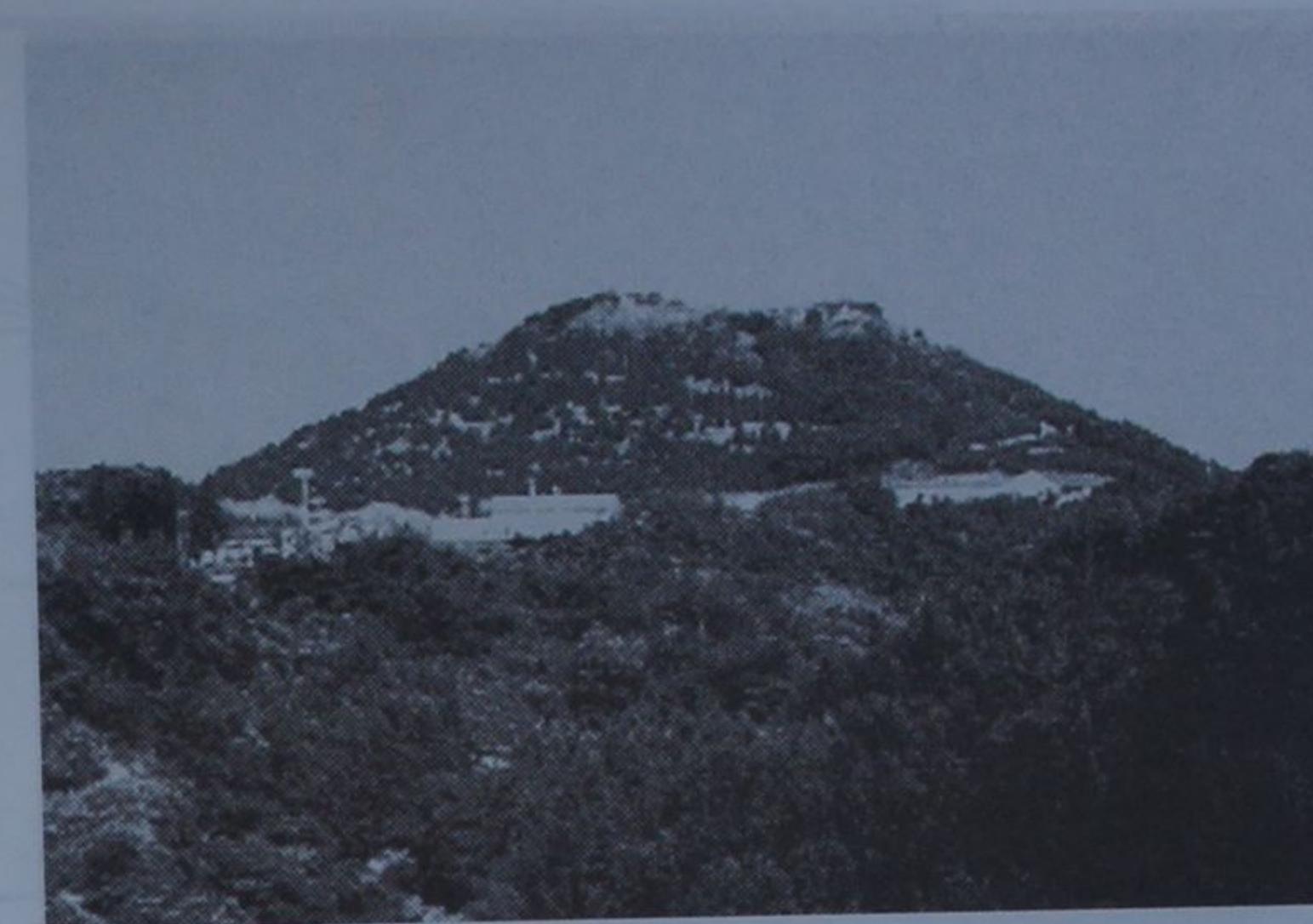
- ・伏馬山スコリア丘と溶岩流・溶岩の噴泉と溶岩の川
- ・伏馬山は、阿武单成火山群の中で最も大きいスコリア丘で、比高が140mあります（図25, 26）。
- ・中腹と山頂で、スコリア丘を構成する堆積物が観察できます。

・また、伏馬山の展望台からは、溶岩平頂丘の西台、東台、千石台やいくつかのスコリア丘が見られます。

<スコリア丘のできかた>

高さが10kmより低い噴煙柱や噴泉は、テフラを広範囲に拡散することはできません。火口から噴き出される火山岩塊と火山礫のはほとんどはそのままわりに落下して円錐形のかたちをした丘が火口の周囲に形成されます。これをスコリア丘といいます。そして、この噴火様式をストロンボリ式といい、爆発は強弱を繰り返して長期間（数ヶ月～数年）継続するので、よく成層した堆積物が火口の周囲に分布しています（図27）。

図28にスコリア丘の形成史を示します。スコリア丘の表面は平滑な斜面で囲まれています。その斜面は傾斜を変えることなく直線的に大地まで達していて裾野を引きません。これは、粒子が斜面を転がり落ちてつくる崖錐斜面の特徴です。ストロンボリ式噴火でスコリアが空中高く放出されると、火口から一定距離はなれた円周上にもっとも多量のスコリアが着地し、それより火口に近くても遠くても単位面積あたりに着地するスコリアの量は少くなります。噴火が継続すると、その円周はしだいにドーナツ状の高まりとなり、ついにその傾斜は安息角（約30°）を超え、これからあとに着地したスコリアは下方へ転動（転がり落ちる）を開始して崖錐斜面の形成が始まります。噴火が数ヶ月あるいは数年続いた場合には、スコリアの着弾域のすべてをのみ込んで崖錐斜面が成長します。崖錐斜面は火口の外側だけでなく内側にも形成されます。噴火中に内側斜面でときおり発生する斜面崩壊はすでに冷却したスコリアを大量に火口内に供給して、ときには火口を一時塞ぎます。スコリア丘の内部は例外なく赤くなっています。スコリア丘内部には空隙がたくさんあるので大気中の酸素が高温のスコリアと容易に反応して酸化し、赤くなります。ただし、迅速に放熱する表層のスコリアは、十分な酸化が完了する前に冷却してしまうので黒いままで。大気あるいは大地に急速放熱した黒いスコリアで上下を薄く包まれた赤いスコリア丘はひとつの冷却単位を構成しています。しかし、この黒のマントルは1m程度の厚さしかないので、強い風でこのマントルが吹き払われると、内部があらわになって赤いスコリア丘が見えるようになります（町田・白尾, 1998）。



アズマ
図25 伏馬山スコリア丘

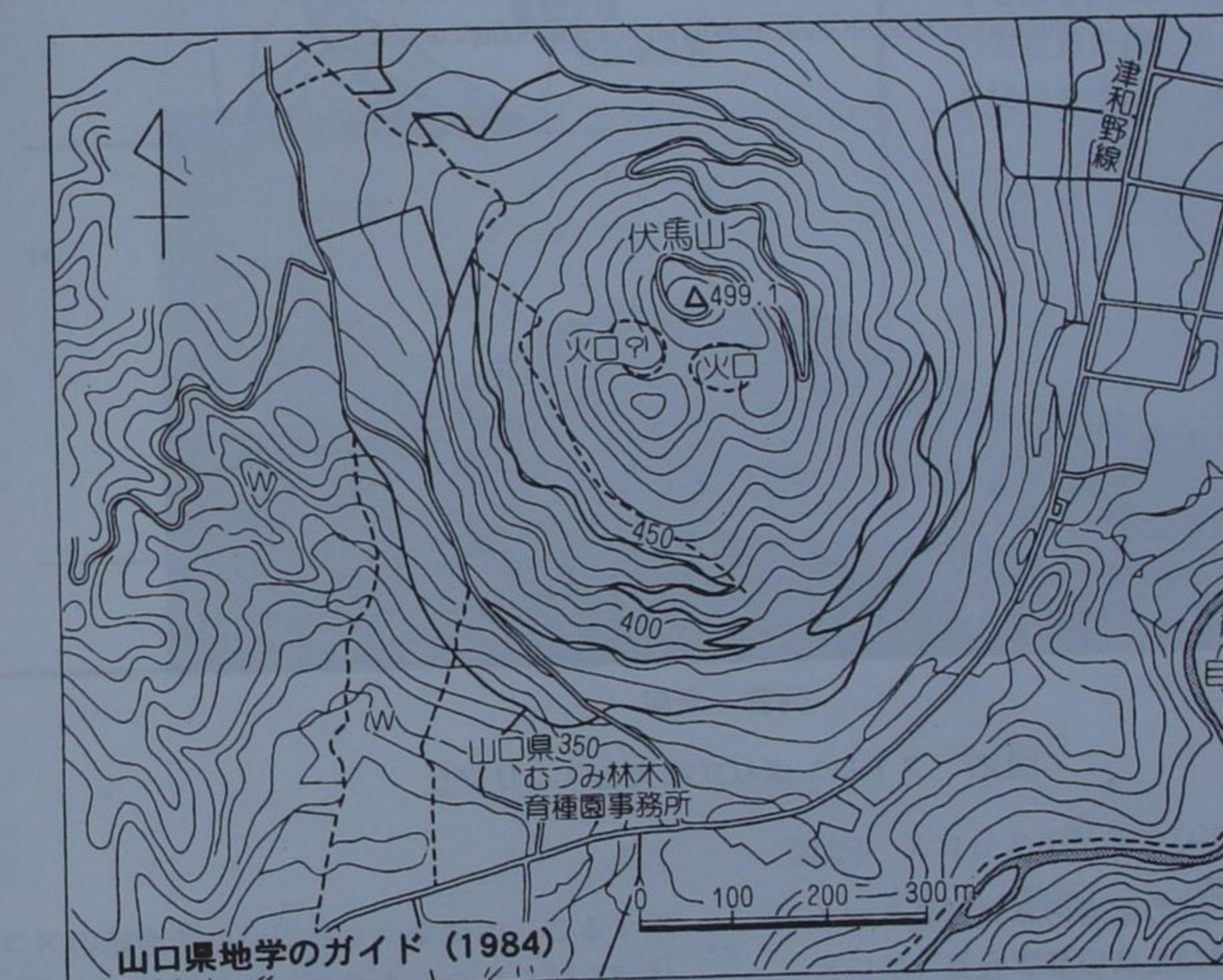


図26 伏馬山の地形図（山口県地学のガイド, 1984）

一口メモ：伏馬山下部溶岩—アルカリ玄武岩溶岩

ラー組織（粒状の鉱物が集まっている様子）を示し、カンラン石・単斜輝石・斜長石・不透明鉱物からできています。

伏馬山下部溶岩の化学組成：（主成分） SiO_2 47.37, TiO_2 1.63, Al_2O_3 14.99, Fe_2O_3 10.09, MnO 0.16, MgO 9.87, CaO 10.52, Na_2O 3.09, K_2O 1.22, P_2O_5 0.38 wt.% （微量元素）Ba 475, Co 43.2, Cr 417, Cu 42.4, Ga 16.0, Nb 27.5, Ni 151, Rb 27.7, Sr 998, V 219, Y 19.4, Zn 98.5, Zr 125 ppm



ストロンボリ火山、イタリア（2000年10月13日）
http://www.educeth.ch/stromboli/photos/photo00b/icons/82.jpg



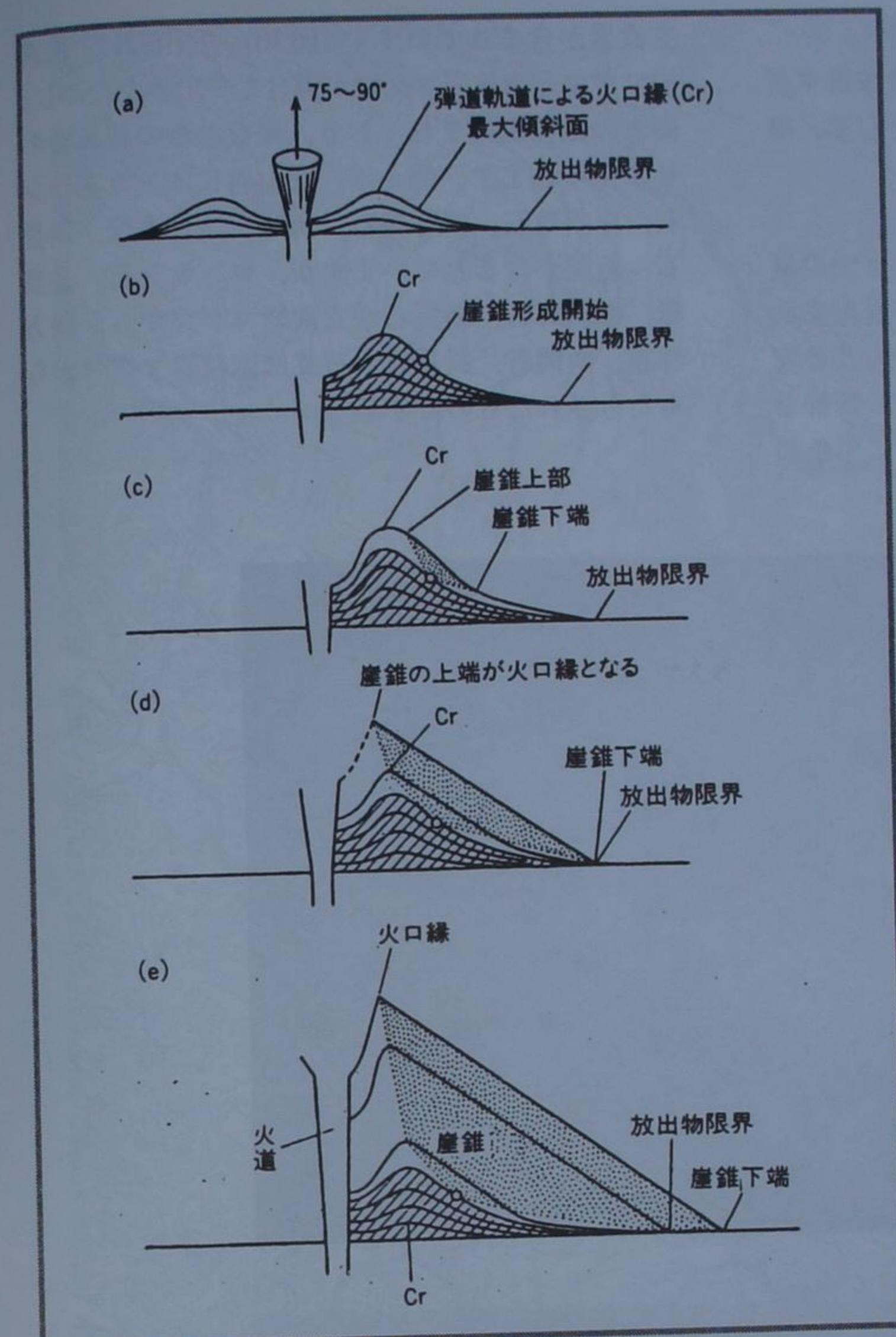
阿蘇・米塚

図27 ストロンボリ式噴火とスコリア丘

<スコリアよりも下部の溶岩の年代が新しい！！
—溶岩流の上に浮いたスコリア丘>

伏馬山の下部溶岩とスコリア丘の年代を測って見たところ、下部溶岩の年代が新しいことがわかりました。このような例は、東伊豆单成火山群の大室山でも知られており、町田・白尾（1998）によると「マグマ中の揮発成分が少なくなると、空中へのスコリアの噴出から溶岩の流出に移行する。スコリアの密度 $0.4\text{--}0.8\text{g/cm}^3$ に対して溶岩の密度は約 2 g/cm^3 と大きい。またスコリア丘はスコリアが積み重なっただけの脆弱な構造であるため、溶岩は山頂の火口縁までわざわざ上昇してから流出することはまれで、多くの場合、山体の一部を突き破って流出する」そうです。山体を突き破って溶岩が流

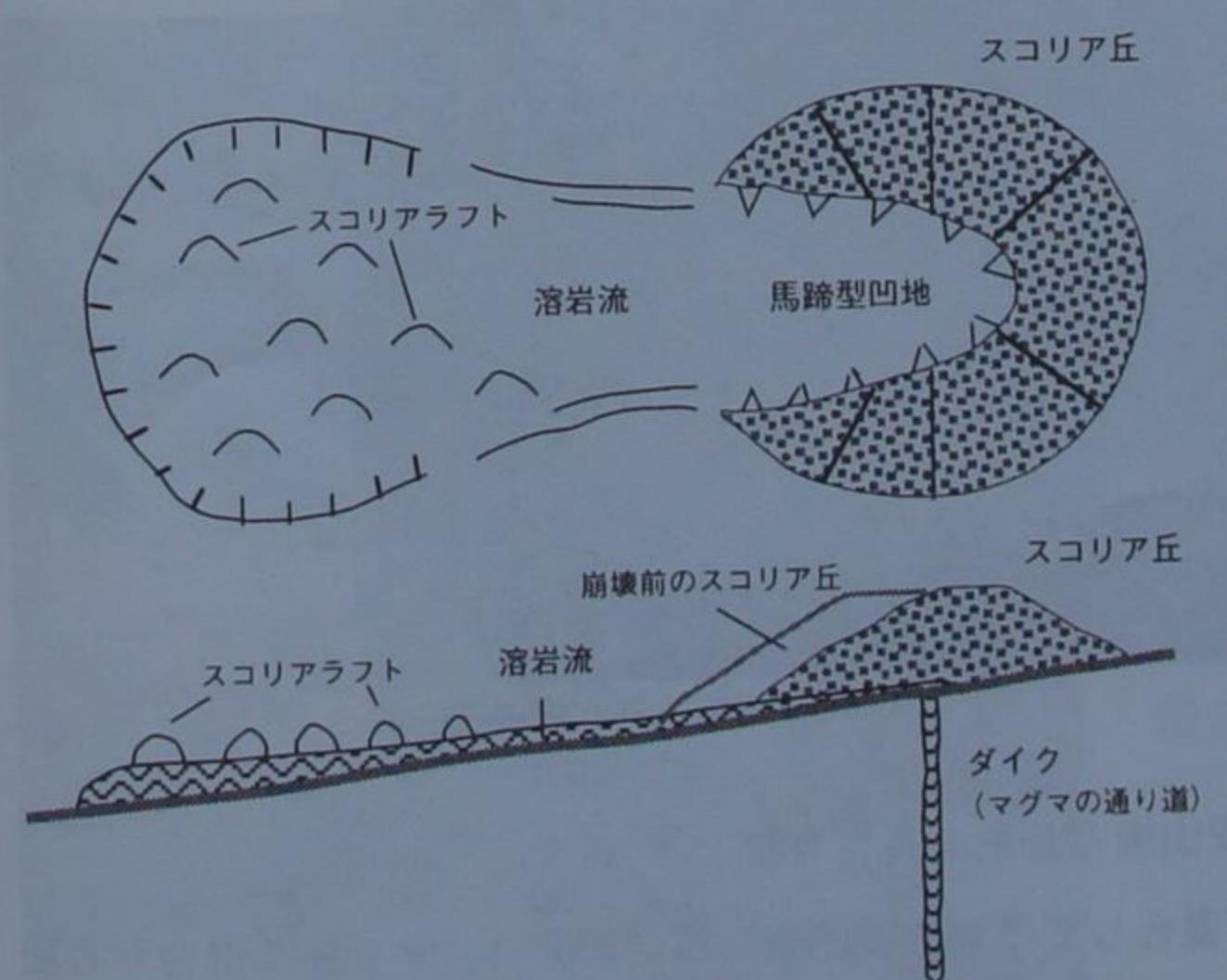
出すると、山体をつくっていた非溶結のスコリアはばらばらになりますが、スコリア丘芯部の溶結部分は崩れずにスコリア・ラフト（ラフト raft は、いかだ、流木を意味します）として溶岩流の上にのって移動します（図29）。また、溶岩の皮で丸く包まれたものは溶岩ボール(lava ball)といいます。溶岩ボールは、噴火割れ目から火の泉がカーテンのように上がったことの証拠です。噴き上がったマグマのしぶきは割れ目火口の縁にスコリア丘を一時的につくります。火口から溢れ出す溶岩流がそれを下流へ運びます。このようなことは、揮発性成分に富んだマグマが噴出する噴火初期に限って起こり、溶岩ボールをもつ溶岩流は例外なくアラ溶岩です。伏馬山にもどこかにスコリアラフトが残っているかもしれません。



- (a) 第1段階：スコリアは火道から 75° ～ 90° の角度の弾道軌道で打ち上げられて着地し、低い火口縁をもつリング状の地形ができます。
- (b) 第2段階のはじまり：最大傾斜角が安定角（ 30° ）を超えるようになると崖錐（斜面をずり落ちて停止した堆積物）ができるはじめます。
- (c) 第2段階：崖錐による斜面が上方と下方に広がります。
- (d) 第3段階のはじまり：崖錐の下端が弾道軌道による放出物の限界に達します。
- (e) 第3段階：スコリア丘の成長はすべて崖錐によってまかなわれるようになりますので、スコリア丘の傾斜は 30° の安定角を保った相似形のまま成長を続けます。

図28 スコリア丘の形成史
(町田・白尾, 1998)

図29 スコリア丘とスコリアラフト
(早川, 1996)



スコリア丘の形成中あるいは形成直後に液体のマグマが火道を上昇していくことがしばしばあります。マグマの密度はスコリア丘の山体の密度より大きいので、すり鉢状の火口内をマグマが満たして火口縁から溢れだすことはなく、スコリア丘と大地の境界面に沿って最大傾斜方向へ移動して、その裾から地表に湧き出して溶岩流となります。そのとき、湧き出し口の上のスコリアの一部は溶岩流にのって浮かんで運び去られて、最大傾斜方向に開いた馬蹄形凹地が生じます。溶岩流に浮かんで運ばれたこのようなスコリア丘の断片はスコリアラフト(scoria raft)といいます。溶岩の皮で丸く包まれたものは溶岩ボール(lava ball)と呼ばれます。

観察ポイント⑤ むつみ村千石台（図30）

マグマの混合の証拠—玄武岩マグマと流紋岩マグマ混じって安山岩マグマができます。そして、噴出して溶岩平頂丘を形成します。

千石台では、玄武岩マグマと流紋岩マグマの混合でできた安山岩と、混合から取り残された玄武岩マグマ(basaltic inclusion)が観察できます。この安山岩は、風化のために灰色に見えますが、新鮮なものは黒色です。黒色～灰色の安山岩中に黒色の

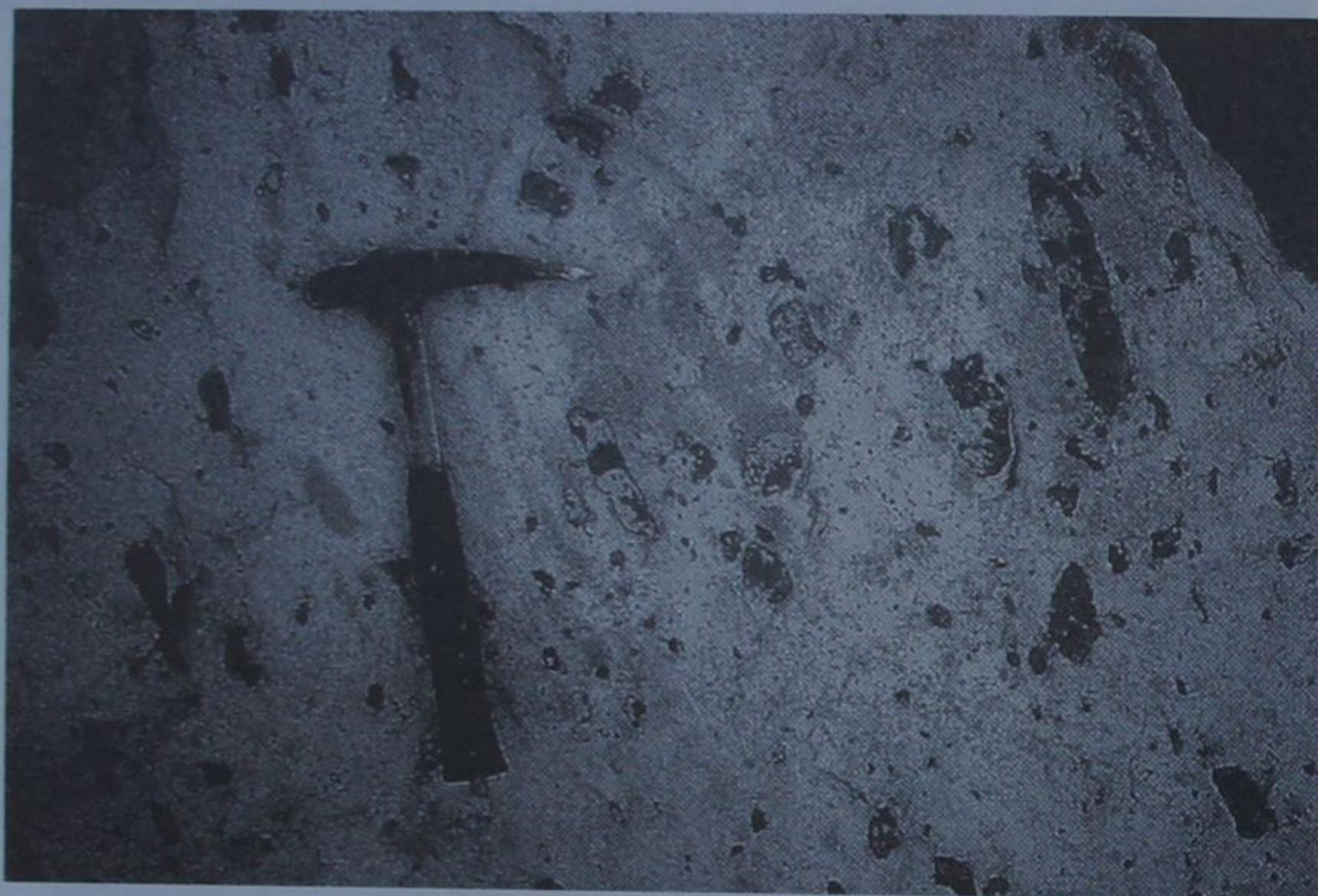


図30 千石台安山岩と玄武岩質包有物

灰色の部分は、玄武岩マグマと流紋岩マグマが混合してできた安山岩。黒い部分は、マグマの混合から取り残された玄武岩マグマが固まったものです。

玄武岩が含まれています（図30）。安山岩は、玄武岩マグマと流紋岩マグマが混合してできたために、両方の鉱物が含まれており、変な鉱物の組み合わせが見られます。例えば、安山岩には、カンラン石、単斜輝石、斜方輝石、角閃石、金雲母、斜長石、石英が含まれていますが、カンラン石、金雲母、単斜輝石、斜長石が玄武岩マグマから、斜方輝石、角閃石、斜長石、石英は流紋岩マグマからもたらされたものです。



図31-1 千石台溶岩平頂丘の地形図（国土地理院2.5万分の1地形図「長門広瀬」の一部）
千石台は、安山岩からできている台地で溶岩平頂丘と呼ばれています。ここでは、いたるところでマグマの混合を示す図30のような岩石が見られます。新鮮なものはほとんどありません。道路工事などの際に新鮮なサンプルがとれます。千石台の南東の吉部上では、スコリア丘を見るることができます。

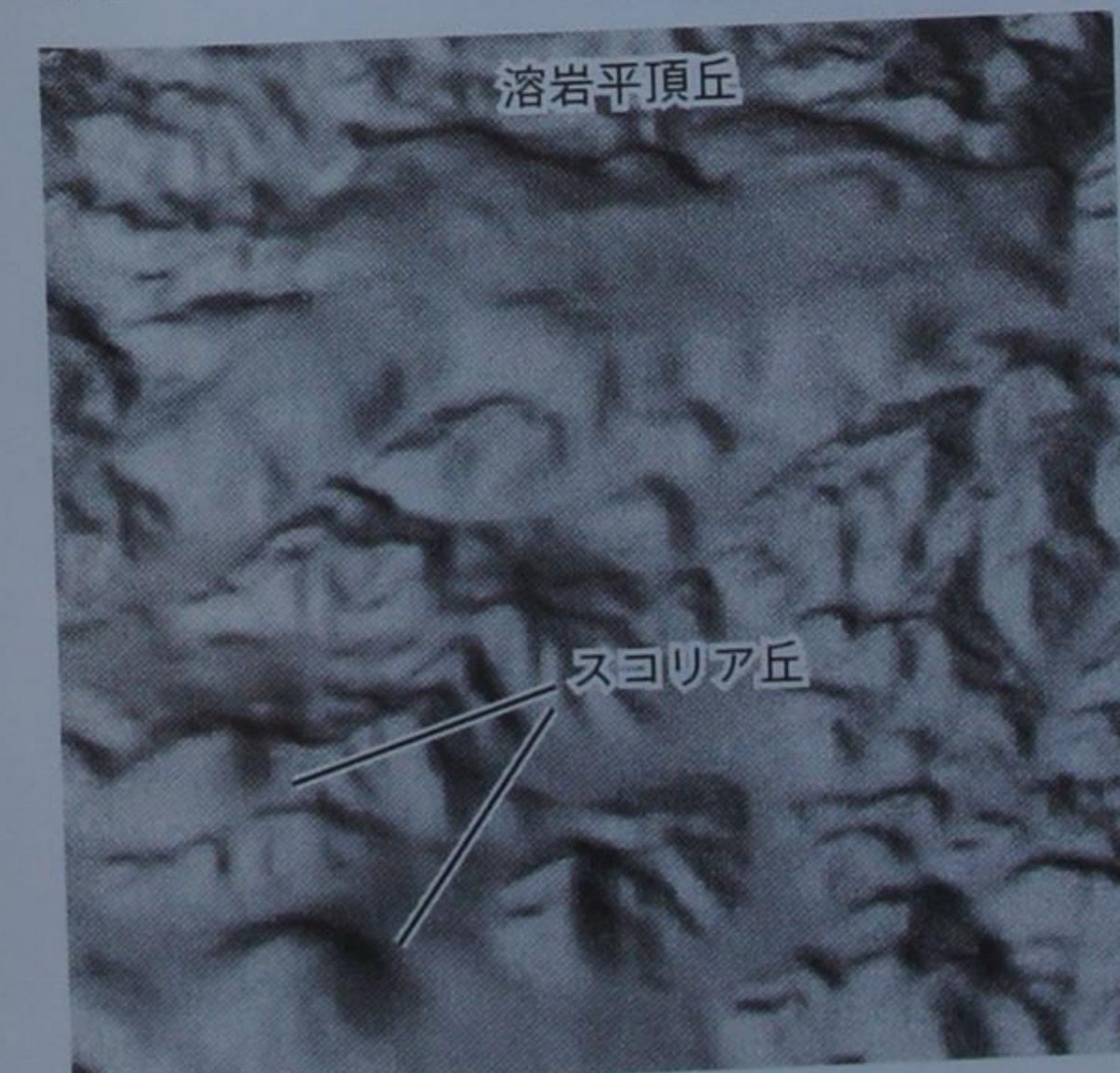


図31-2 千石台溶岩平頂丘とスコリア丘の3D図
国土地理院数値地図50メッシュ（標高）をもとに作成。俯角50°、高さの強調2倍、南東からの光で西を望む。

マグマの混合

マグマが固まってできた岩石を火成岩といいます。そのなかで地表または地表近くで固まったものを火山岩といいます。火山岩はその色によって、大きく3つのグループに分けることができます。黒い色をした玄武岩、白色をした流紋岩、中間の灰色を示す安山岩です。普通は、玄武岩マグマから安山岩マグマ、さらに流紋岩マグマと次々に組成を変えていきます。これをマグマの分化といいます。ところが、このようなルールを無視して、玄武岩マグマと流紋岩マグマが混じり合って、両者の中間的な組成の安山岩マグマができるという

のが、「マグマの混合」という考え方です(図32)。つまり、黒い絵具(玄武岩マグマ)と白い絵具(流紋岩マグマ)を混ぜると、灰色(安山岩マグマ)ができるということと同じです。白と黒の絵具の割合を変えると、両者の間の様々な色を作ることができます。この場合、白い絵具と黒い絵具を“端成分”と呼びます。阿武单成火山群では、このようなことが起こっていると考えられており、特に、今から20万年前に、大規模に起こったようです。千石台では、玄武岩マグマと流紋岩マグマが完全に混じらず、安山岩の中に、玄武岩マグマが黒い玉として残されています。このような現象が見学できるのは、日本ではここだけと言っても良いでしょう。

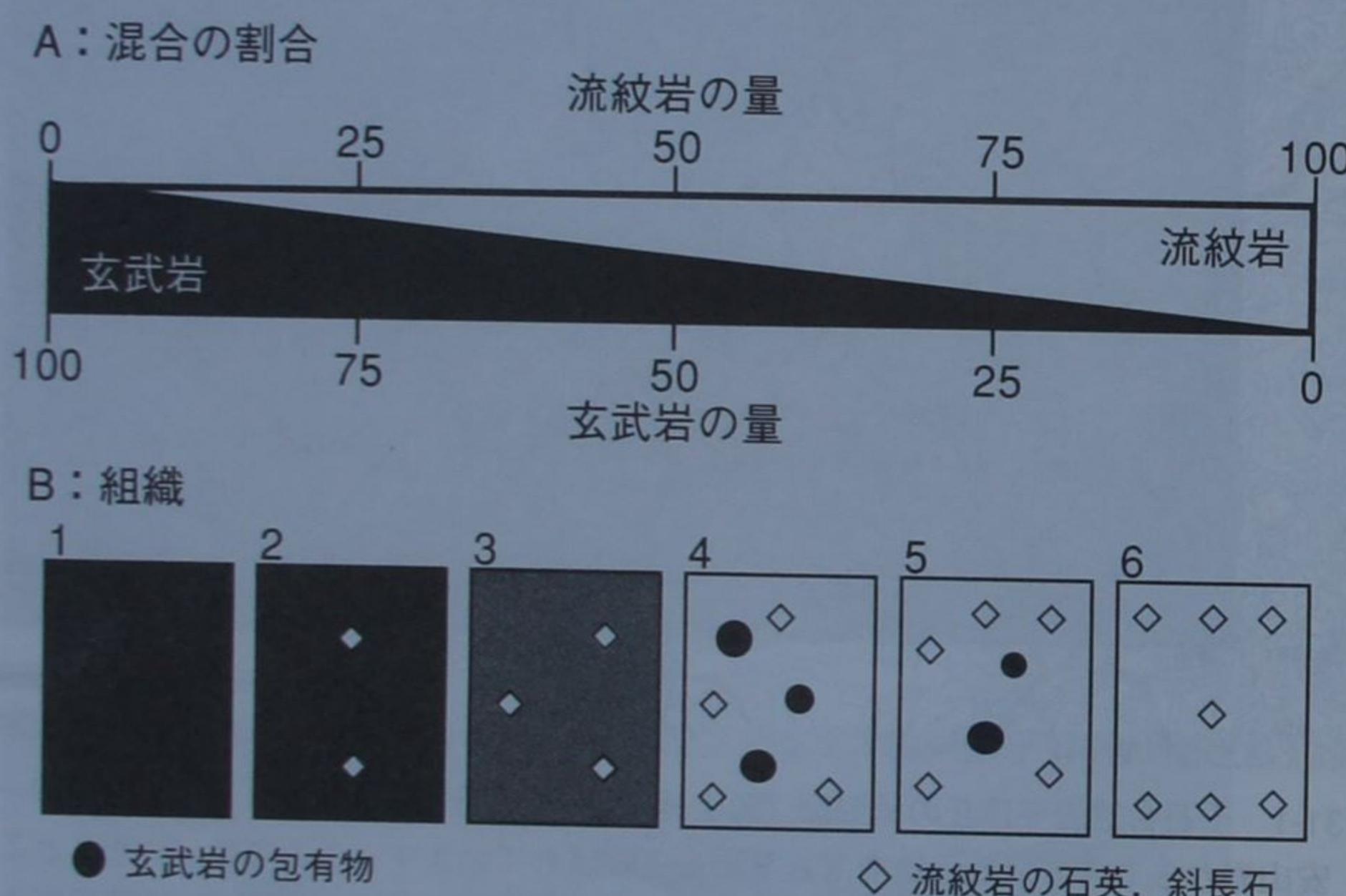


図32 マグマの混合(Koyaguchi, 1986 を改変)

A. 玄武岩マグマと流紋岩マグマは理論的にはどのような割合でも混合することができます。B. 地殻の中の低温の流紋岩マグマ溜りに熱い玄武岩マグマが注入する場合。1から6へ混合する玄武岩の量が少くなります。2と3では流紋マグマの斑晶の石英や斜長石が認められ、6へ向かってその量がだんだん増加します。4と5では、マグマの混合から取り残された玄武岩マグマが塊として見られます。

観察ポイント⑥ 阿武町宇生賀（うぶか）(図11)
火山でせき止められた湖

くみどころ

- ・宇生賀盆地をせき止めた火山はどれでしょう。地形図で確認しましょう。そして、浸食されていない火山地形を観察しましょう(図33, 34)。
- ・火山ができる川の流れがほぼ直角に曲げられました。地形図で確かめましょう(図34)。

・埋もれ木はどうやってできたのでしょうか(図35)－台風と洪水の証拠

くみどころ

- ・宇生賀盆地をせき止めた火山はどれでしょう。地形図で確認しましょう。そして、浸食されていない火山地形を観察しましょう(図33, 34)。
- ・火山ができる川の流れがほぼ直角に曲げられました。地形図で確かめましょう(図34)。

見られます(図35)。ふつう、埋もれ木は、立木のまま保存されていますが、宇生賀のものは倒れた杉の木が、宇生賀の湖に流されてきたのでしょうか。

くみどころ

宇生賀盆地をせき止めた火山の年代

宇生賀盆地をせき止めて湖をつくった火山(図33)の年代は、K-Ar法という年代測定法では新しすぎて測定できませんでした。しかし、宇生賀の西にある単成火山は火山地形と溶岩の分布から、スコリア丘とその麓から流れ出した溶岩流が当時の谷を流下した様子が読みとれます。溶岩流の東には、この火山が形成されたために河川がせき止められてできたと思われる湖にたまつた堆積物(湖成層)による平坦地が観察されます。また、湖成層からは埋もれ木が多数産します。このような溶岩による河川のせき止めによって形成されたと思われる地形は、阿武单成火山群の他の山体でも確認されています(藤・宇井, 1984)。宇生賀盆地の有機堆積物の¹⁴C年代として、地下100cmで6600±75年BP、地下300cmで15500±175年BP。また地表下60cmの埋もれ木を測定し、3100±90年BPが報告されています(畠中・三好, 1980)。また彼らは100cm~300cmまでの堆積速度を計算し、堆積物最下層520cmまでの年代を推定すると25000年BPになると議論しており、せき止めに関与した宇生賀の西の火山体の形成年代を数万年前であるという見積もりは妥当であるとみてよいでしょう。

ちなみに、最近、秋田大学の高島 熊さんによると測定された熱ルミネッセンス年代によると

この火山の年代は約2万7千年でした。

くみどころ

くみどころ

「約6600年前の縄文時代前期に、山陰地方の日本海側ではソバを栽培していた可能性が高いことが、塙田松雄・米国ワシントン大教授たちの調査でわかった。その時代の堆積物から、ソバの花粉や焼き烟を裏付ける小さな墨の破片が大量に見つかったためだ。これが事実なら、日本の農耕の起源は少なくとも1600年以上遡ることになる。世界の農耕の起源を研究している塙田さんたちは、山口県阿武郡宇生賀の水田の堆積物を、4mの深さまでボーリングして取り出して調べた。ここはかつて湖や湿地だったため、水田の下には過去を物語る花粉などが時代順に重なっているからだ。まずそれぞれの深さの堆積物の年代を、放射性炭素を利用した方法で測った後、年代ごとの堆積物に含まれる樹木や草本、作物の花粉と、樹木の葉などが燃えた炭片の大きさを調べた。炭片の調査は、周辺で焼き烟農耕があったかどうかを推定する武器で、焼き烟をしていれば、大きな炭片は近くに落下する。塙田さんたちの調査では、7700年前ぐらいから、やや大きめの炭片が目立ちはじめたと同時に栽培アワやキビなどイネ科植物のものと見られる花粉が見つかり、この時期に周辺で焼き烟が始まった可能性が考えられた。これだけでは農耕の証拠としては弱いが、6600年前になると、確実な証拠がみつかった。イネ科植物に加え、栽培性のソバの花粉が大量に検出された。」

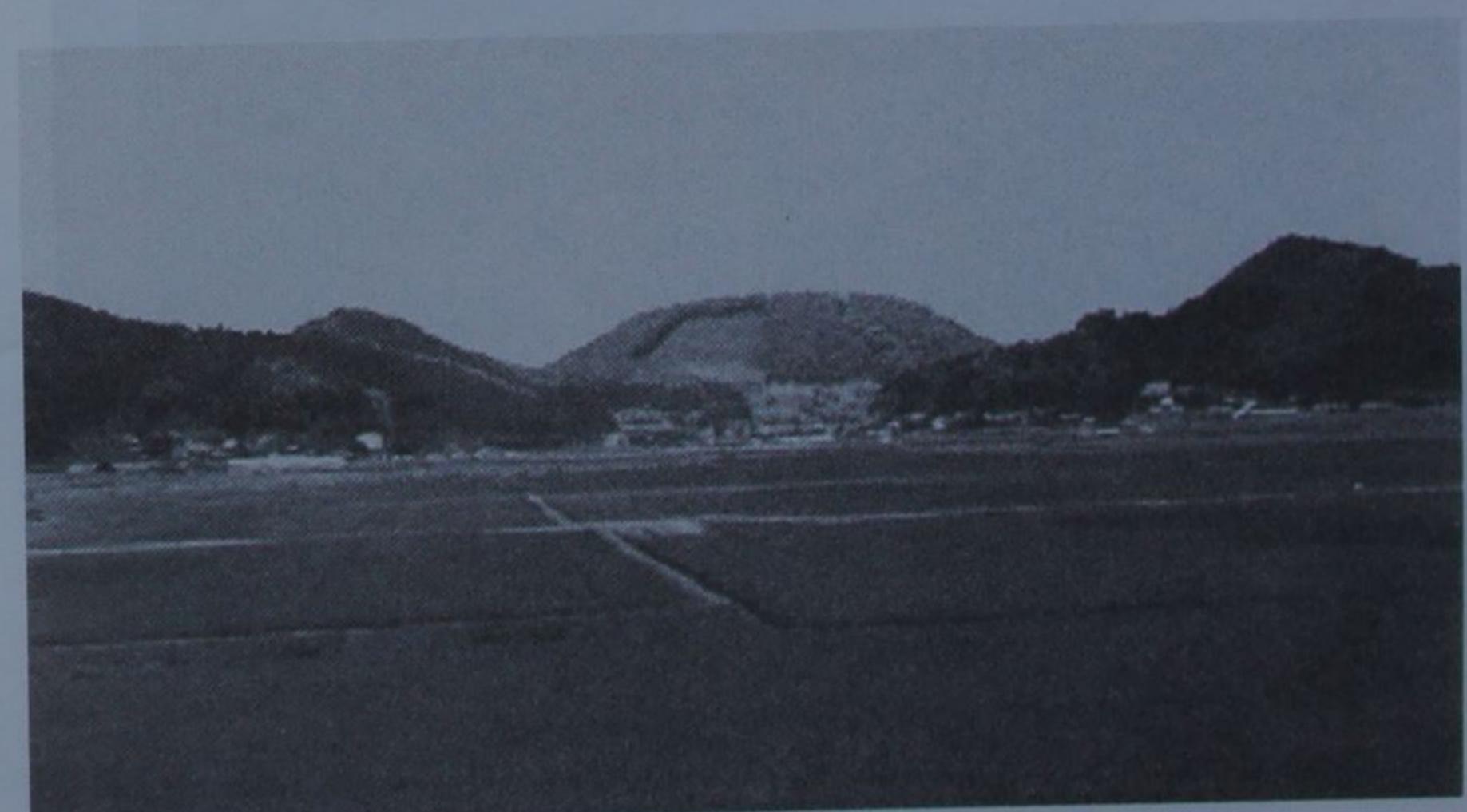


図33 宇生賀盆地をせき止めた火山



図34 宇生賀盆地の地形図（国土地理院2.5万分の1地形図「長門広瀬」の一部）

火山で川が堰き止められて流路が北（地図では上）の方に曲げられています。南には、やや解析されたスコリア丘である権現山があります。



図35 宇生賀の埋もれ木
杉の木のにおいかすかに残っています。遠くに見えるのは、西台の溶岩平頂丘です。

観察ポイント⑦ 田万川町上小川（図12） 未固結の河川堆積物を覆う玄武岩溶岩

田万川町上小川では、川に流れ込んだ溶岩を観察することができます（図36）。村上（1993）によると、下位から基盤岩の中生代安山岩（3m以上）、河床礫層（1.5～3m）、河床砂層（1.5～3m）、水中火碎堆積層（0.1～2m）、玄武岩溶岩（5～15m）の順に重なっています。水中火碎堆積層は、全体として0.1～2mの厚さです。構成物の主体は、径5～30cm大の火山礫と礫間を埋める細礫・粘土から

なります。礫はすべて気孔に富み、しかもその大部分は一部あるいは全部にガラス質の周縁相をもっています。ガラスは、高温のマグマが、急速に冷却された時にできますから、この堆積層は、熱い溶岩が浅い水中に流入し、急に冷やされてガラスができたり、マグマ中のガス成分が一気に放出されて気孔の多い玄武岩になったのでしょう。溶岩流は、カンラン石玄武岩からなり、きれいな柱状節理（図36、37）が見えます。上流の豊ヶ淵でも、見事な柱状節理が観察できます。

柱状節理は、厚い溶岩が冷却の過程で収縮して



玄武岩溶岩が、川の中に流れ込み、急冷して破碎し、ガラスの破片などからなるハイアロクラスタイトができました。このことで川の水が蒸発し、ハイアロクラスタイトの上を溶岩が流れました。



上の写真の全景。玄武岩溶岩には柱状節理が発達しています。

図36 未固結の河床堆積物を覆う玄武岩溶岩（上小川）

できます。柱状節理の断面はふつう六角形です。節理は冷却面に垂直で、低温側から、高温側へ向かって、つまり外側から内側へ向かってできます。溶岩の上面と下面からは、上部コロネードと下部コロネードができます。それがぶつかった部分をエンタブラチュアといいます（図37(b)）。この名前は、ギリシャ建築の柱の飾りの名前を使ったも

のです。

また、斜面を流れた溶岩には、冷却面に平行な板状節理と呼ばれるものがあります（図37(c)）。これは、剪断応力によって作られると考えられています。九州では、厚い溶岩全体に板状節理が発達する特異な産状を示す「洪水安山岩」が広く分布しています。

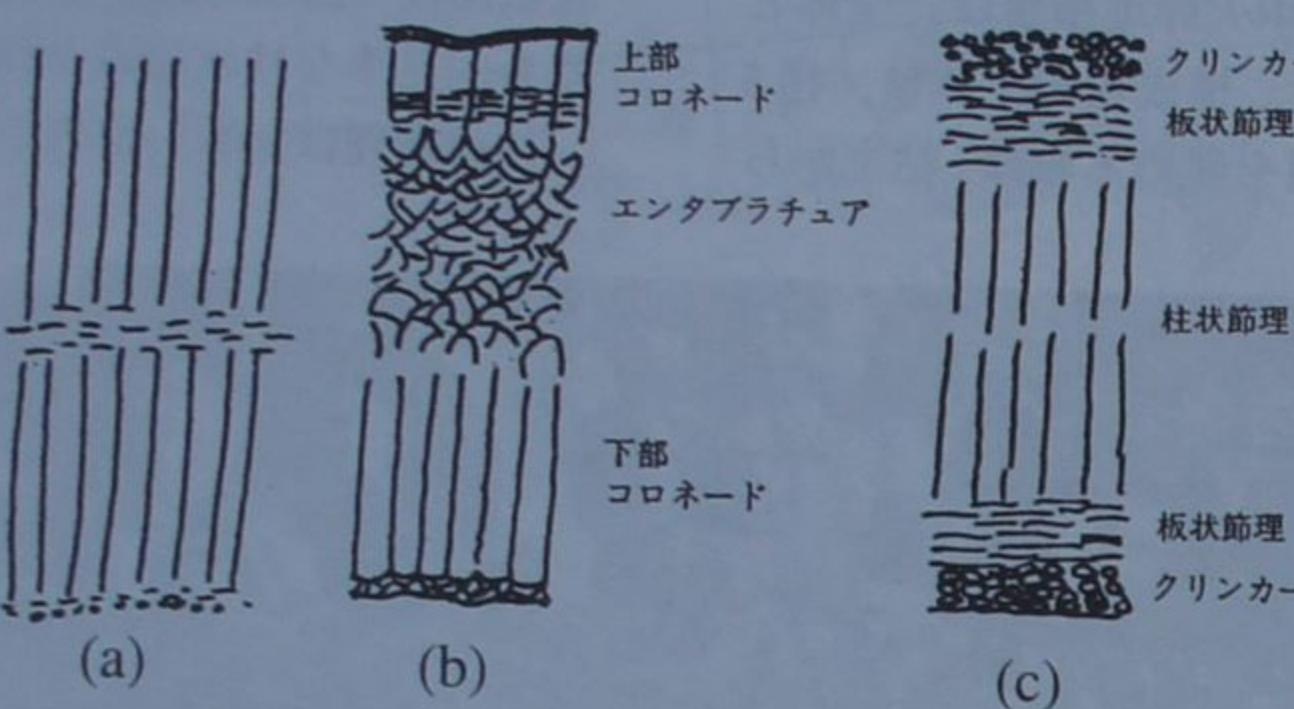


図37 溶岩の節理（規則的な割れ目）（荒牧・宇井, 1989）

(a) 柱状節理(柱状で断面は六角形が多い)。須佐町畠ヶ淵では、大きな六角形の断面が川床で見られます。溶岩が冷えるときに収縮してできると考えられています。(b) 柱状節理の各部分の名前。ギリシャの神殿の柱の部品の名前を使っています。(c) 板状節理。溶岩の下部と上部には板状の割れ目ができることがあります。九州の安山岩には、200mの厚さの溶岩全体に板状節理が発達していることがあります。

阿武单成火山群は、玄武岩の溶岩台地、スコリア丘や安山岩～デイサイトの溶岩平頂丘からできていますが、福栄村の鍋山だけは角閃石安山岩が溶岩ドームを作っています（図38）。この安山岩

は、玄武岩に特徴的なカンラン石を含んでいるので、玄武岩マグマとシリシックマグマの混合でできたものと考えられます。

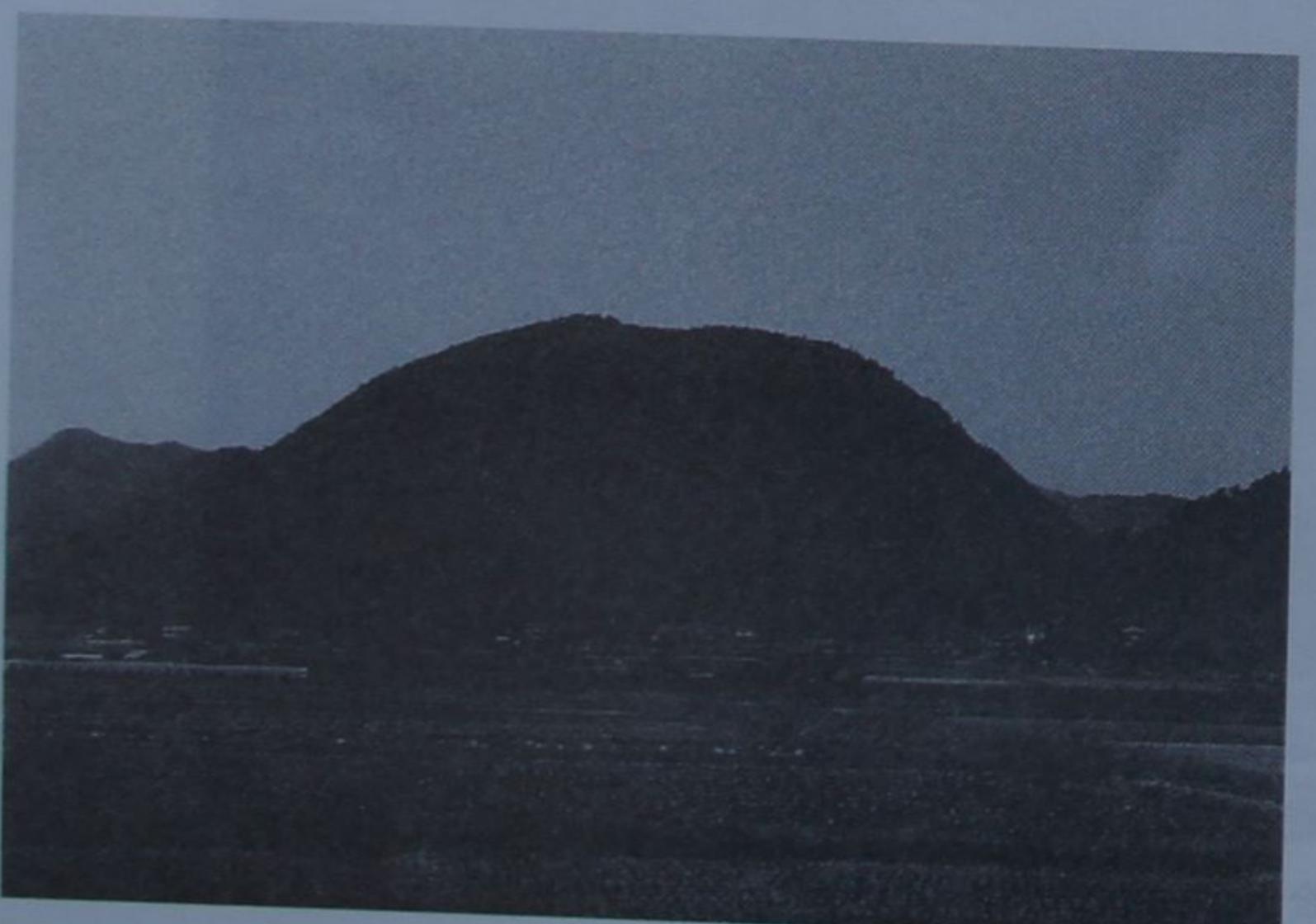


図38 阿武单成火山群でただひとつの溶岩円頂丘
(福栄村 鍋山)

角閃石安山岩でできています。

観察ポイント⑧ 萩市・笠山山頂（図47）

笠山のスコリア丘は、8800年前に噴火した阿武单成火山群でもっとも若い火山です。“世界基準”では活火山になります！！

くみどころ

- ・笠山山頂のスコリア丘（図39）はどうやってできたのでしょうか？—ストロンボリ式噴火（図40）
- ・笠山のスコリアはなぜ赤いのでしょうか（図41）？
- ・スコリアの層はどちらに傾いていますか？
- ・スコリア層の中からスコリアは簡単に取り出せますか？

スコリアとは、黒い軽石と考えて下さい。マグマが、空中に放出されたときに、マグマ中に溶け込んでいた揮発性成分が、いっきにガスになりマグマ中から放出され、空隙の多い岩石になったものです。軽石は、デイサイト～流紋岩質のマグマ、スコリアは玄武岩～安山岩質のものです。普通、軽石は白色、スコリアは黒色をしています。しかし、笠山のスコリアは赤い色をしています。それは、スコリアが高温で酸化したからです。スコリ

アと空気中の酸素が結びついて、2価の鉄が3価の鉄になり赤い色になったのです。笠山のスコリア中には、カンラン石という鉱物が含まれています。カンラン石は、 $(Mg, Fe^{2+})_2SiO_4$ という化学式で示されます。カンラン石に含まれている鉄は2価の鉄ですが、スコリアが酸化されることによって、3価の鉄になりカンラン石の結晶構造から弾き出されてしまいました。その結果、カンラン石の中には相対的にMgが多くなり、純粋の Mg_2SiO_4 （フォルステライト）になりました。弾き出された3価の鉄は、赤鉄鉱 (Fe_2O_3) になり、カンラン石の割れ目に沿って存在しています。

スコリア丘は、スコリアが降り積もってできたものですから、スコリア同士の結合力は弱いのが普通です。ところが、笠山のスコリア丘のスコリアは、お互いにくつき合っているようです。これは、降り積もったスコリア内部に熱が蓄積され、一部が溶けてお互いに接着された状態になったからです。スコリア丘は、世界中に数千個も発見されています。スコリア丘の高さは、まれに200～300m以上になることもあります。若いスコリア丘のスロープの角度は33°前後です。笠山のスコリア丘の傾斜角も、ほぼ同じ角度です。

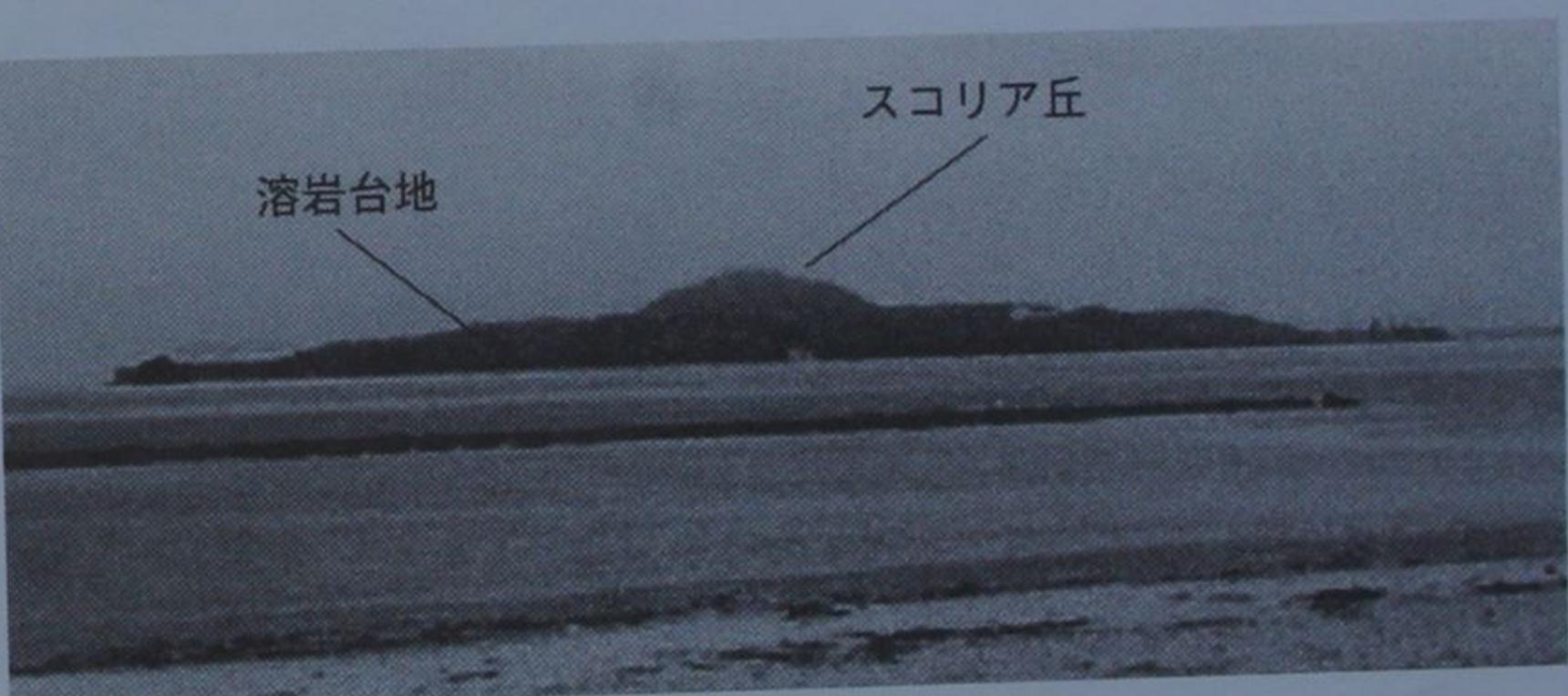


図39 菊ヶ浜から見た笠山火山

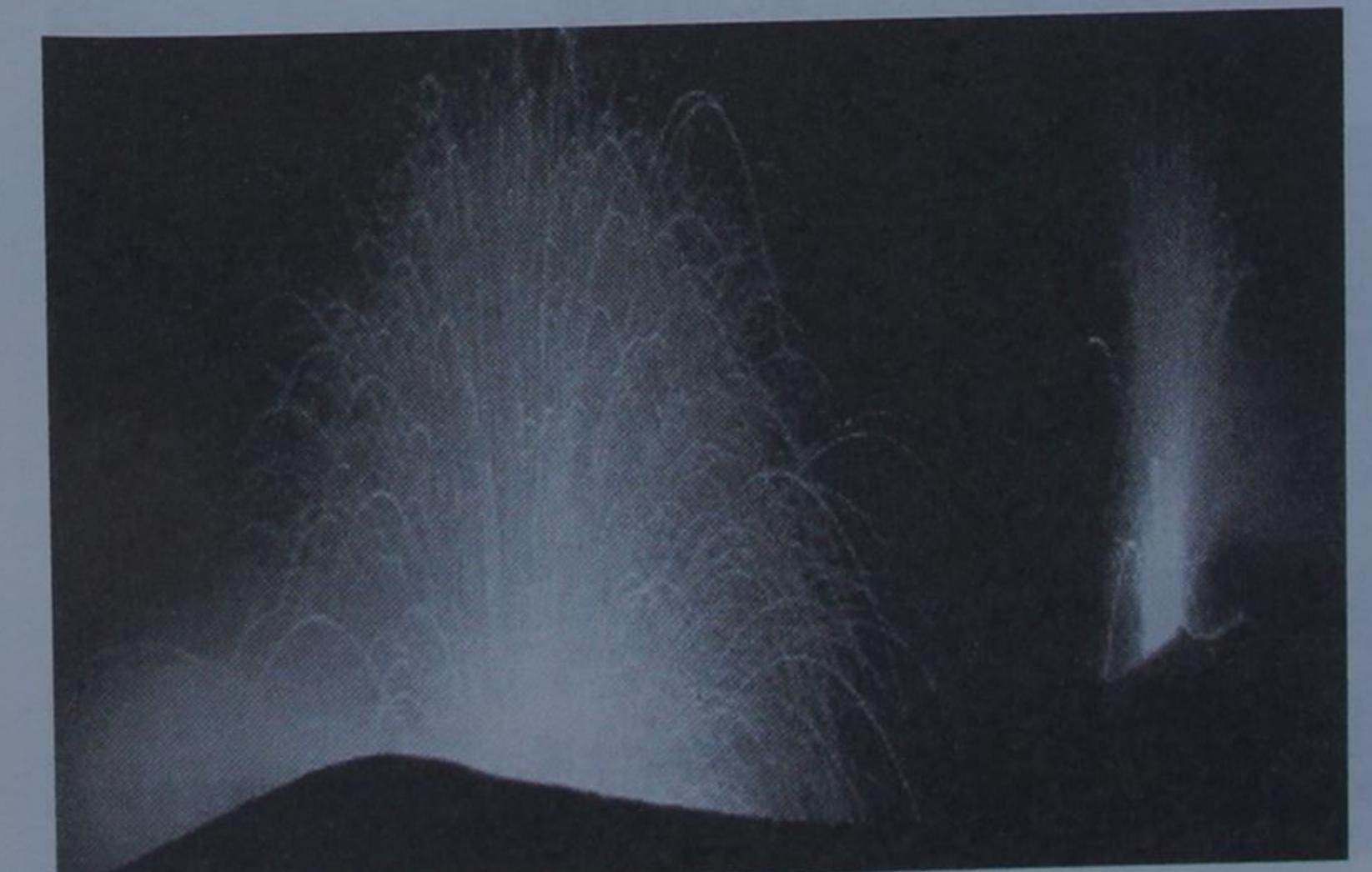


図40 ストロンボリ式噴火
イタリア・ストロンボリ火山
の噴火（1996年4月27日）

<http://www.educeth.ch/stromboli/photos/photo96/icons/b65.jpg>



図41 笠山山頂のスコリア層
(高温酸化によって赤くなっています。)

観察ポイント⑨ 笠山山頂からの風景（図47）
鶴江台、中ノ台、狐島、鶴山一小規模な玄武岩の溶岩台地

くみどころ>

・島の地形はどのような特徴をもっていますか？

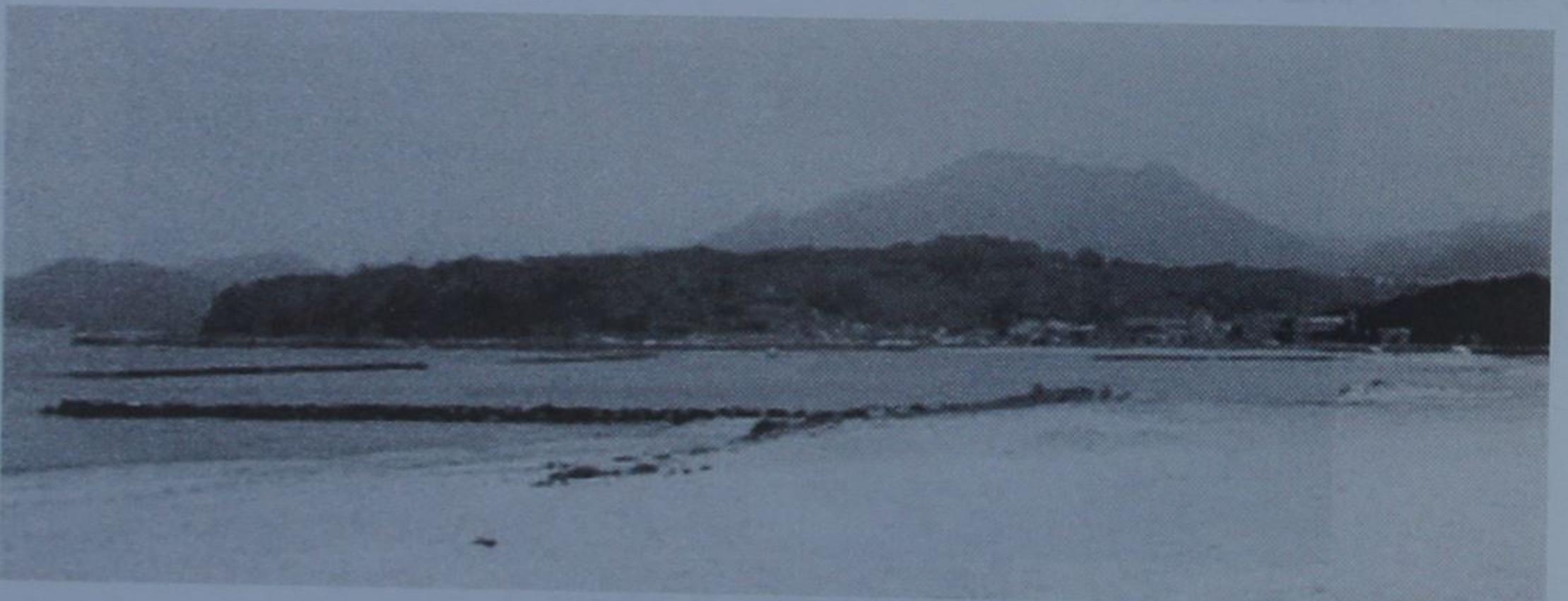


図42 菊ヶ浜から見た鶴江台（玄武岩の溶岩台地）



図43 中ノ台（玄武岩の溶岩台地、笠山山頂から）



図44 狐島（玄武岩の溶岩台地、笠山山頂から）

観察ポイント⑩ 笠山山頂からの風景（図47）
萩六島一海に浮かんだ安山岩の溶岩台地（溶岩平頂丘）

くみどころ>

- ・玄武岩の溶岩台地は普通に見られますが、安山岩の溶岩台地（溶岩平頂丘）はめったに見ることができません。
- ・ひとつひとつが独立した火山です。
- ・もともとは陸上で噴火した火山です。
- ・氷河期に噴火した火山？

笠山の山頂展望台から見える台地状の島（大島、櫃島、肥島、尾島、羽島、相島）（図45）は、ひとつひとつの島が、溶岩平頂丘と呼ばれる独立した火山です。羽島は、 SiO_2 が 53% 程度の玄武岩質安山岩ですが、ほかは安山岩～デイサイトです。噴

火が起きた時期は、氷河期であったので、今より海面は低く、陸上の噴火でした。萩六島の平坦な地形は、海水の浸食によってできたのではないかと質問されることがあります。しかし、内陸にも同じ様な岩石からできた溶岩平頂丘が存在しますから、萩六島の地形は、最初からのもの（初生的）です。ちなみに笠山の溶岩台地が形成された約1万年前の海面の高さは、今よりも 60m 程度低かったようです。したがって笠山は、海拔 60m の台地の上に溶岩が噴出したものと思われます。1万年よりも新しくなると次第に海面は上昇し現在の高さに近づきました。1万年より古くなるとだんだん海面は低くなり今から2万年前には約 120m ほど低かったと推定されています。海面の高さは、1万年より新しい時代のことはよくわからいますが、それ以前のことはよくわかりません。

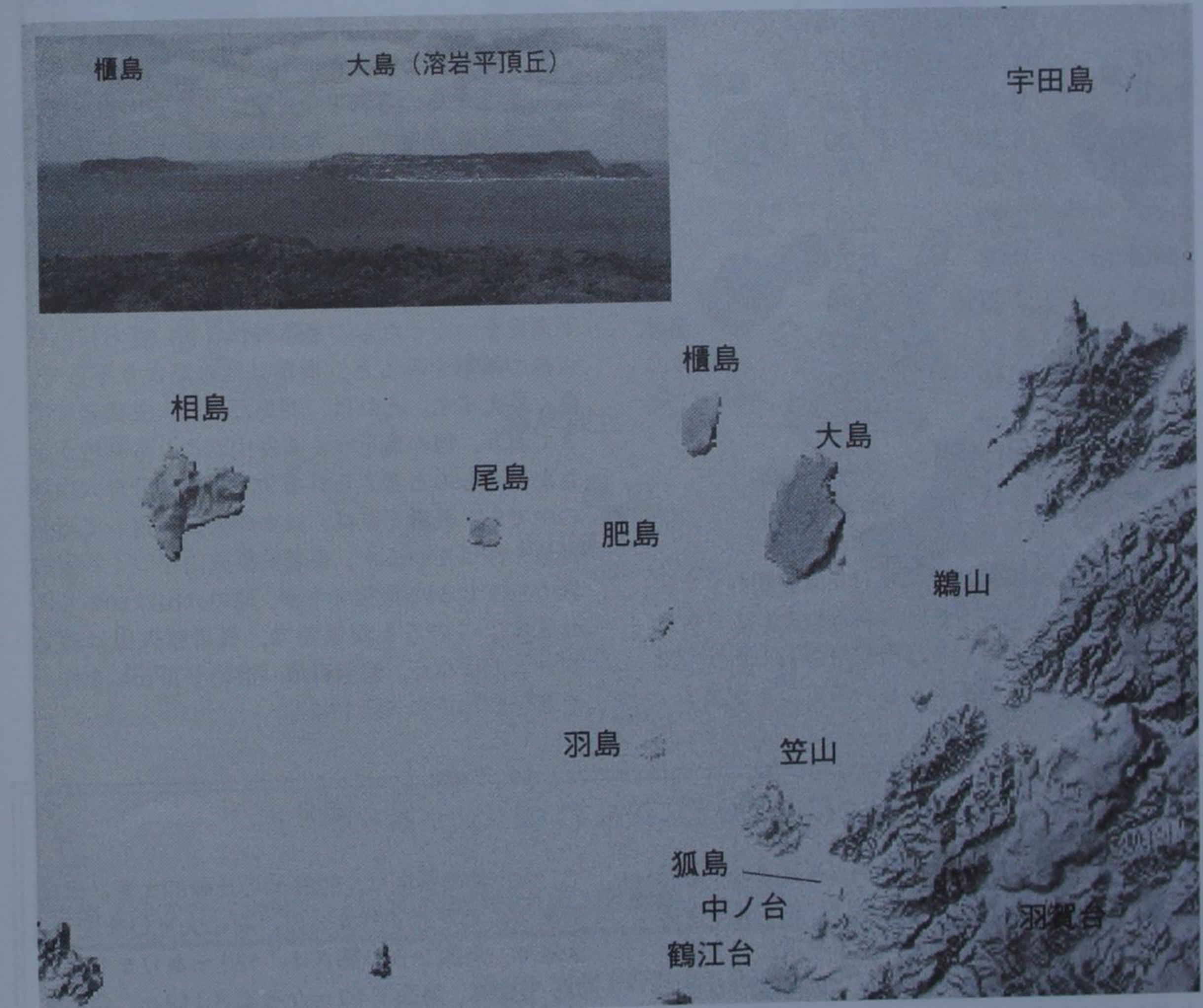


図45 萩六島の地形
国土地理院数値地図50mメッシュ（標高）をもとに作成

青野山 vs. 萩六島、羽賀台—教科書に嘘が書いてある?

このパンフレットのはじめの方で火山の形を決めるのは、マグマの粘性だと書きました。つまりマグマの粘り気が大きいとドーム状の地形をつくり、サラサラだと溶岩流となって流れ、場合によっては溶岩台地をつくります。そしてマグマの粘性を決めるのは珪酸(SiO_2)の量だと教科書に書いてあります。ところが、この決まりが当てはまらないのが阿武单成火山群の安山岩~デイサイトです。 SiO_2 が60%近くもあるのに、台地状の地形を作っています。金沢大学の守屋さんは、このような地形を「溶岩平頂丘」と名付けました。ちなみに、青野火山群の安山岩~デイサイトは、ドーム状の地形を作っており、溶岩円頂丘と呼ばれています。比較のために青野山と萩六島の大島の岩石の化学組成を比べてみましょう。

	青野山	大島
SiO_2	61.54	59.32
TiO_2	0.46	1.52
Al_2O_3	18.28	17.00
Fe_2O_3	1.43	3.01
FeO	2.79	2.60
MnO	0.08	0.20
MgO	2.42	2.40
CaO	5.24	6.47
Na_2O	4.40	3.32
K_2O	1.69	2.29
P_2O_5	0.12	0.23
Total	98.45	98.36

両方の岩石の珪酸(SiO_2)の量はあまり変わりませんね。教科書には嘘が書いてあるのでしょうか? 萩六島(羽島を除く)や内陸部の溶岩平頂丘でのき方はどのように考えたら良いのでしょうか?

萩六島のほかにも海面下に沈んでいる火山があった!!

海上保安庁水路部(1996)の「5万分の1沿岸の海の基本図 青海島」によれば、萩六島や宇田島および笠山などの沿岸部の溶岩平頂丘や溶岩台地は、海岸段丘(現在は海面下)上に噴出したことがわかります。さらに、海面下には10程度の火山体が存在するようです。特に、相島は海面下75mの海底から、海面上157m、つまり高さ232m

私は、次のように考えています。ヒントはマグマの粘性(粘り気)です。シリカすなわち珪酸(SiO_2)はラテン語で火打ち石を意味します。この SiO_2 の含有量が増えるとマグマの粘性が高くなるのはなぜでしょうか? マグマ(珪酸塩メルト)は $[\text{Si}-\text{O}]$ (SiO_4 四面体)の結合が基本構造をつくっていますが、 $[\text{Si}-\text{O}-\text{Si}]$ の結合する力の強弱で粘性は変化します。溶融した SiO_2 に金属酸化物を加えると、 $[\text{Si}-\text{O}-\text{Si}]$ は金属原子が加わることで連続構造が途切れてしまいます。金属結合が弱い場合でも、その影響を被らないところよりは結合力が弱くなります。結合力の低下はすなわち、粘性の低下を意味します。すなわち、珪素(Si)以外の金属元素、とりわけ鉄(Fe)やマグネシウム(Mg)を多量に含む玄武岩溶岩では、珪酸(SiO_2)が少ないせいで $[\text{Si}-\text{O}]$ 結合が金属元素によって断ち切られた状態となっています。そのため、粘性は低くなります。つまり、 SiO_2 分子の重合度が低いということです。また、水や K_2O などのアルカリ元素が $[\text{Si}-\text{O}]$ の結合を切ることも知られています。青野山の溶岩円頂丘をつくる安山岩と大島の溶岩平頂丘をつくる安山岩も SiO_2 の量は60%程度です。常識的に考えると大島も溶岩円頂丘を作るはずです。しかし、実際はそうはなっていません。たぶん、大島の安山岩は K_2O が多く含まれているので、そのために $\text{Si}-\text{O}$ の結合が切られ、粘性が低くなり溶岩円頂丘ではなく溶岩平頂丘をついたものと思われます。さらに、萩六島の地形をみると、羽島は他の島より平らで、薄く見えます。それは、羽島だけは、玄武岩でできており、他の島をつくる安山岩よりも粘性が小さかったものと考えられます。また、青野火山群の中でも、長者ヶ原は、ほかの火山と違って溶岩台地を作っています。長者ヶ原火山をつくる安山岩の SiO_2 は54%前後ですが、他の火山は60%もあります。このことが原因で、長者原火山は溶岩ドームではなく、溶岩台地(溶岩平頂丘)を作ったと思われます(図17-2)。

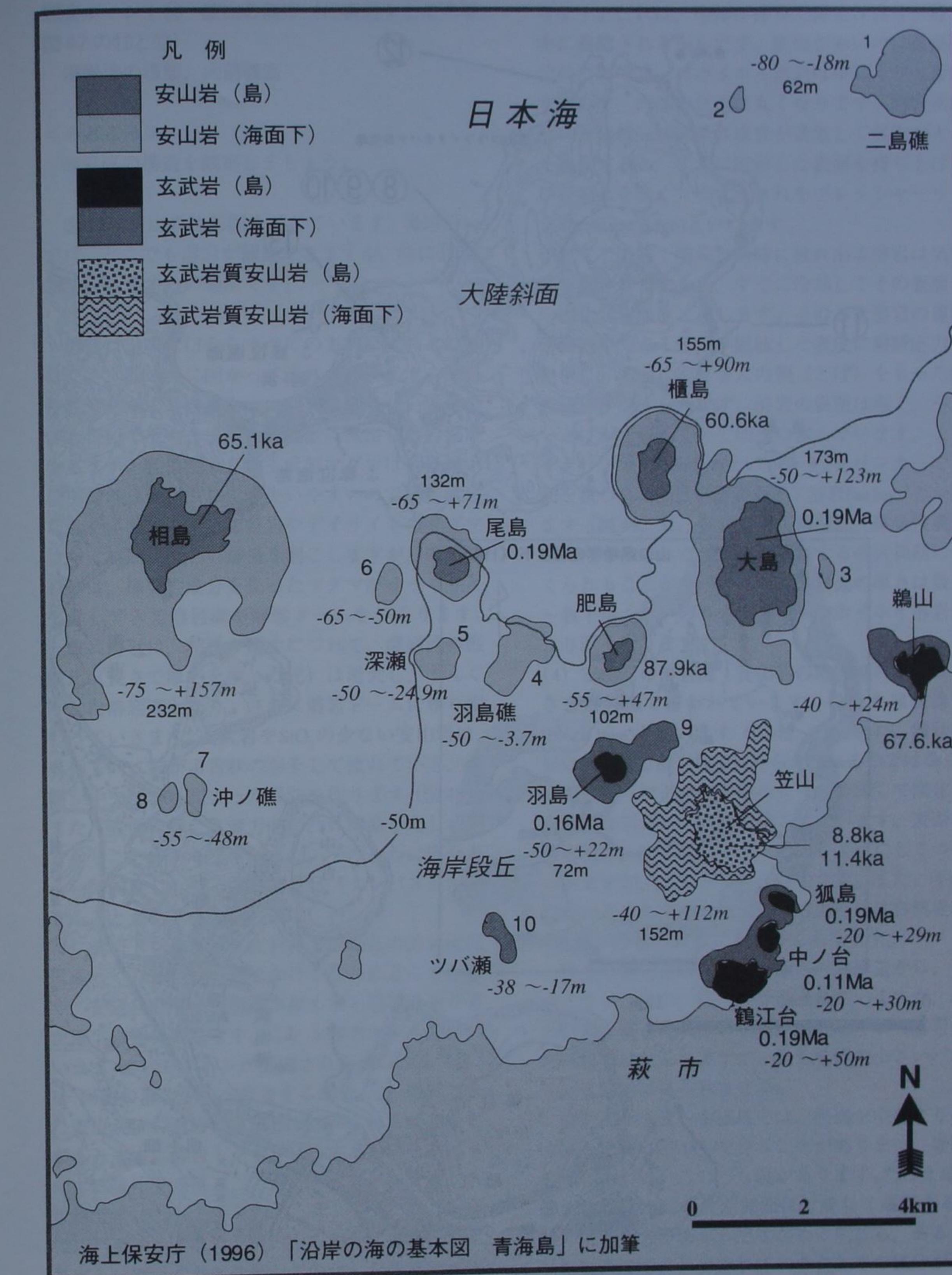


図46 海面下の火山の分布

萩六島は、それぞれが独立した陸上で噴火した火山です。これらの火山体は、現在の海面下にも広く分布しています。また、海面上に山体が現れていない火山も存在しています。

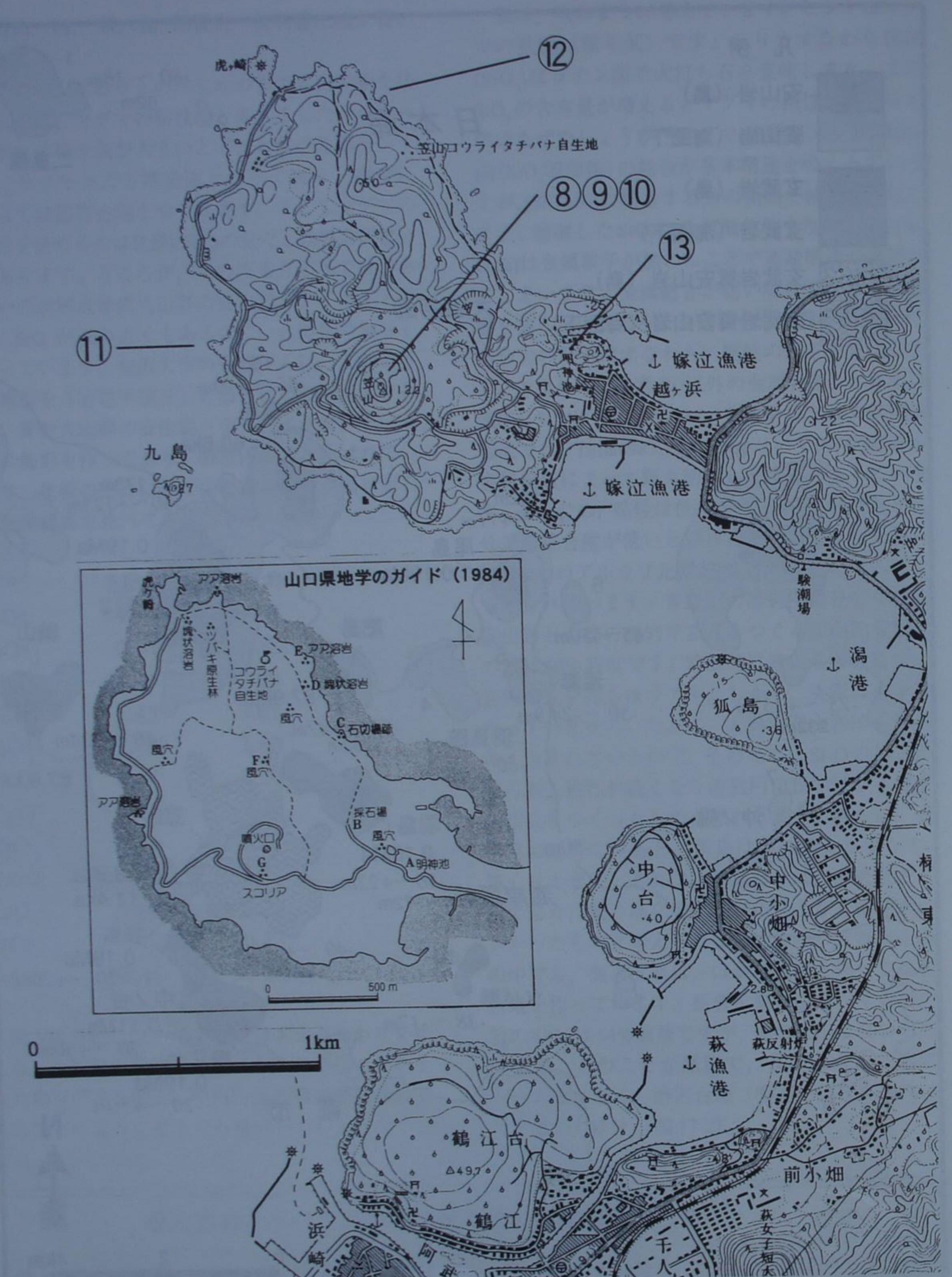


図47 笠山周辺の地形図 (国土地理院2万5千分の1地形図「越ヶ浜」の一部)

笠山は、玄武岩質安山岩の溶岩台地とスコリア丘からできています。鶴江台、中ノ台、狐島は、玄武岩の溶岩台地です。

観察ポイント⑪ 笠山の海岸 (代表的なところは
図47の⑪と⑫)

溶岩流の種類、内部構造

<みどころ>

・溶岩流の構造を観察しましょう。

図47に笠山の地形図を示しています。海岸沿いでは、どこでも溶岩が観察できますが、特に⑪と⑫は、おすすめの場所です。

溶岩は、噴火口からすべての方向に流れることはなく、低い方に向かって流れていきます。揮発性成分をあまり含まないマグマは、激しい爆発を伴わないでそのまま静かに地表に流出し溶岩流が生じます。粘性が小さい玄武岩マグマは上昇途中に揮発性成分（ガス）を失いやすいので溶岩流になりやすいのです。流紋岩やディサイトのマグマは噴火初期に激しい爆発を起こしますが、噴火後期には、揮発性成分を失ったマグマがゆっくりと上昇してきて溶岩流や溶岩ドームをつくります。一般に溶岩は、粘性が増すにつれて、溶岩流の縦横比（長さで厚さを割った比）は増大し、ずんぐりした溶岩流となり、さらに溶岩ドームに移り変わっていきます。玄武岩やSiO₂の少ない安山岩は、進行方向に拡がる舌状の形をして流れていき、両側が中央部より高まった堤防を作ります（図48）。また、表面には、下流方向に凸に湾曲したしづわができることがあります。また、そのしづわに直交あるいは斜交した引っ張り割れ目（クレバス）ができることがあります。

(1) 溶岩トンネル：玄武岩の火山からの溶岩流出はゆっくりと長い時間をかけて行われることが多く、安定した噴火状態が実現すると溶岩の通り道が地下に確保されます。これを溶岩トンネルといいます。溶岩トンネルが形成されるプロセスには、1) 両側の溶岩堤防が接着する場合、2) 流れてきた表皮が狭い通路に集積してつくられる場合などがあります。溶岩トンネルは、高温溶岩を冷却させずに遠くまで運ぶことができる効率のよいシステムです。

(2) パホイホイ溶岩：火口から静かに地表にあふれ出し、ゆっくりと冷却して固化した玄武岩溶岩は、表面がなめらかなパホイホイ(pahoehoe)溶岩になります（図49, 50, 51, 表1）。パホイホイ溶岩の一枚一枚はたいへん薄いのです。ハワイの盾状火山の陸上部分は、このような数十cmの厚さの溶岩が何万枚も積み重なってできています。最後まで液体だった中心部に気泡が集中していることがあ

ります。これは、冷却に伴って揮発性成分が液体中に濃縮されるからです。底面が赤いのは高温酸化のためです。パホイホイ溶岩はゆっくりと冷却するので、内部の気泡は丸くなります。溶岩流内部の液体部分に揮発性成分が濃集して気泡が大きく成長すると、すでに固結した表面を持ち上げてひび割れをつくります。これをプレッシャーリッジ(pressure ridge)といいます。

(3) アラ溶岩：噴泉と同時に流れ出る溶岩は気化熱を奪われますから、すぐに冷却してその表面から固化臨界温度に達します。そのとき溶岩の運動が継続中であると、半固結した表皮に剪断応力が働いて、表面にたくさんの刺（とげ）をもった溶岩破片がつくられます。溶岩の表面は粗く、小さいとげが密集していて凹凸に富んでいます。これをクリンカー(clinker)といいます。クリンカーで表面を覆われた玄武岩溶岩をアラ溶岩(aa lava)といいます（図49, 51, 表1）。アラ溶岩は、揮発性成分をたくさんもったマグマが噴出する噴火初期につくられることが多いのです。溶岩流の厚さは数m～数十mくらいのものが多く、パホイホイ溶岩流より厚くなります。

(4) 安山岩の溶岩流：安山岩の溶岩流の表面は大きな溶岩塊で覆われています。これを塊状溶岩(block lava)といいます（図49, 51, 表1）。塊状溶岩は内部まで溶岩塊でつくられているのではなく、高温の液（マグマ）がゆっくりと冷却して固化した緻密な岩体が、内部に隠されています。表面の溶岩塊は、アクリンカーと同じようにしてつくられますが、はるかに大きいのです。また、平滑な面が目立ちます。安山岩の溶岩流には自然堤防（図48）が見られることがあります。

陸上の溶岩流は、その外観と内部構造から、パホイホイ、アラ、塊状に分類されていますが、その特徴を表1に示します。笠山では、アラ溶岩と塊状溶岩は見られますが、最も粘性の小さいパホイホイ溶岩は見られません。

溶岩流の上流～中流域では、両側が中央より高まった堤防（図48）を作ることができます。堤防のでき方にはいろいろな説があります。たとえば、溶岩流に浮かぶ岩片が側面に付着して成長する、繰り返し溶岩があふれ出るために生じる、あるいは溶岩流の中央部が流れてしまうとその部分が薄くなり、両側に堤防（図53）ができる、などです。笠山の溶岩堤防はどのようにしてできたのでしょうか。

また、溶岩流を細かく見ると、いろいろな構造が見られます（図52）。

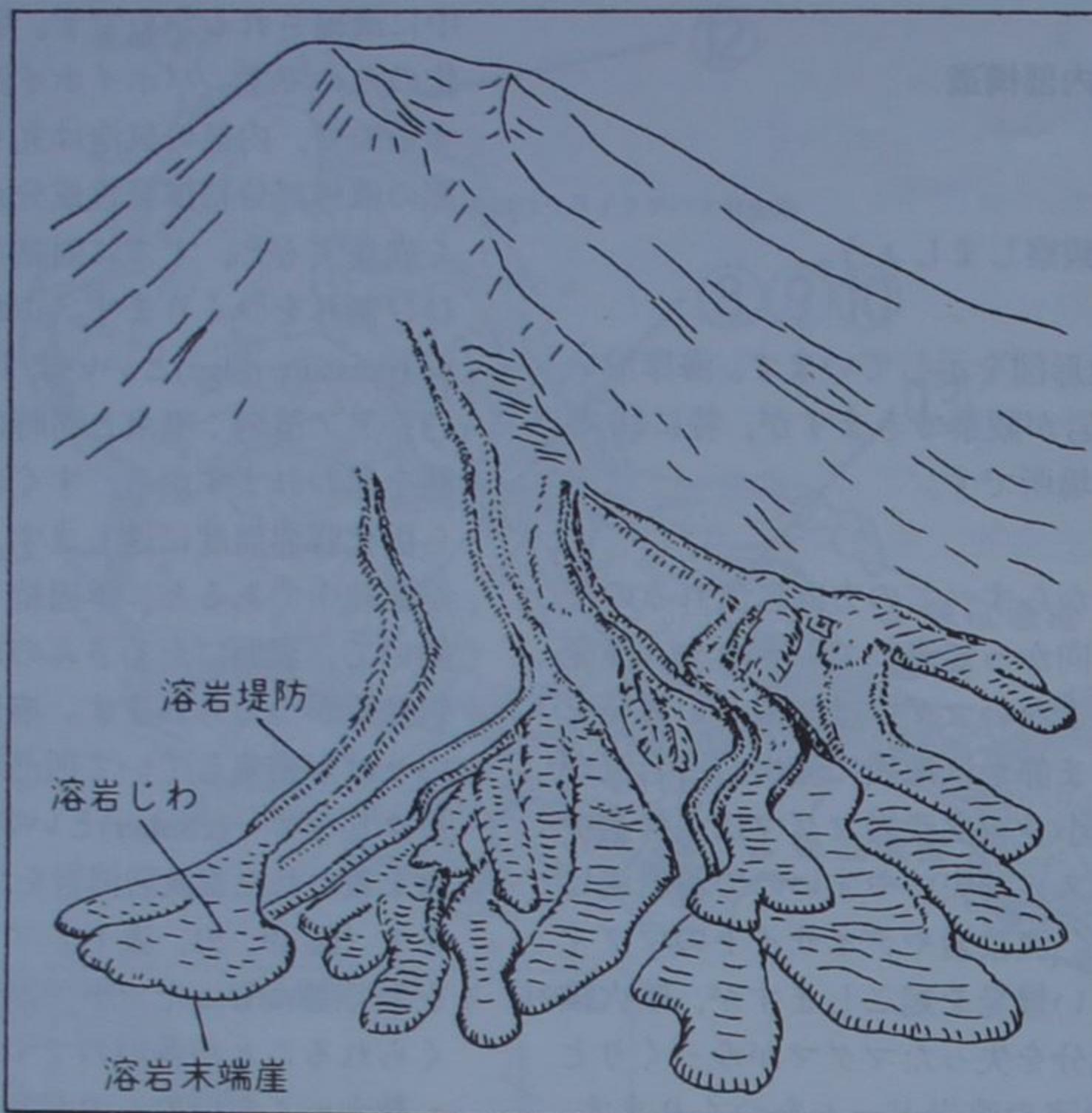


図48 舌状溶岩流の微地形(守屋, 1983)

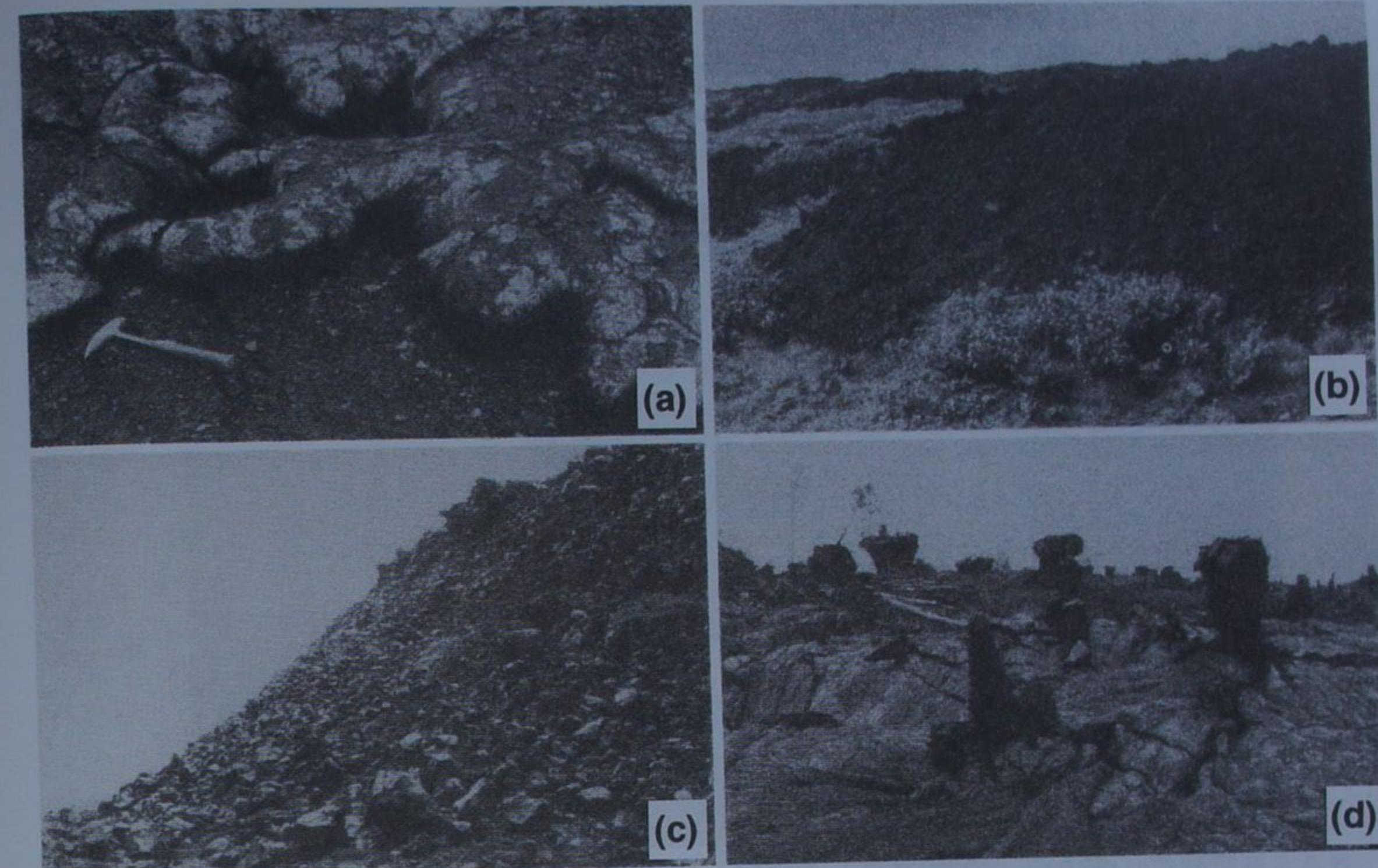


図49 溶岩流の形態(荒牧・宇井, 1989)

(a) パホイホイ溶岩。袋状の先端部(キラウエア火山), (b) アア溶岩。クリンカーで覆われた溶岩流の先端部。厚さは2m(伊豆大島1950年溶岩), (c) 塊状溶岩。岩塊の集合からなる厚さ15mの溶岩流の先端部(浅間山1783年鬼押出溶岩), (d) 溶岩樹型(キラウエア火山)。

表1 代表的な溶岩流のタイプ(荒牧・宇井, 1989)

環境 名 称	陸 上			水 底
溶岩の組成	パホイホイ溶岩	アア溶岩	塊状(ブロック)溶岩	枕状溶岩
平均の厚さ	玄武岩質	玄武岩質, 安山岩質	玄武岩質, 安山岩質, デイサイト質, 流紋岩質	玄武岩質(安山岩質, デイサイト質)
流下速度	0.2m~数m 最大40km/h以上	1~十数m 数km/h以下	10~数十m以上 遅い	数m以上 不明(遅い)
表面の特徴	平滑でガラス質, 丸味を帯びた扁平な袋状, 板状, 繩状, ローソクの滴状など。	粗く, 小さいとげが密集して, 凹凸に富む, ガラス質だが多孔質で砕けやすい, クリンカーの集合からなる。	平滑な破断面からなる多面体の集合, 厚い溶岩流の場合は岩塊の直径も大きくなる。	丸味を帯びた袋状または円筒状の團塊または一部破碎する場合も多い。
内部の構造	上表面から下底面まで連続, 上部に気泡濃集, 一部ブリスター, 溶岩チューブ, 溶岩トンネルを生成, 気泡は円形に近い。	上表面と下底面はクリンカーの集合からなる, 中央部は連続的で, 厚い場合には柱状節理を示す, 気泡は横円形や変形したものが多い。	上表面と下底面は多面体の岩塊の集合からなる, 中央部は連続的で, 厚い場合には柱状節理を示す, 気泡は不規則な形を示す。	上部團塊とその隙間を埋める細粒物質の集合からなる, 細粒物質は火山灰や非火山性堆積物で, その量は大きく変化する, 各團塊の直径は数十cmから数mのものが多い, 團塊はパホイホイ溶岩の袋に似て, 互いに連絡することが多い, 表面はガラス質, 中心部は放射状, 同心円状の割れ目が発達する。
温度・粘性	高い・低い	中間・中間	低い・高い	高い・低い(場合が多い)
溶岩流の長さ/厚さ	50~1000以上	10~500	8~100 厚い溶岩流 (8以下は溶岩円頂丘)	不明



図50 パホイホイ溶岩(中国東北部 五大連池火山)

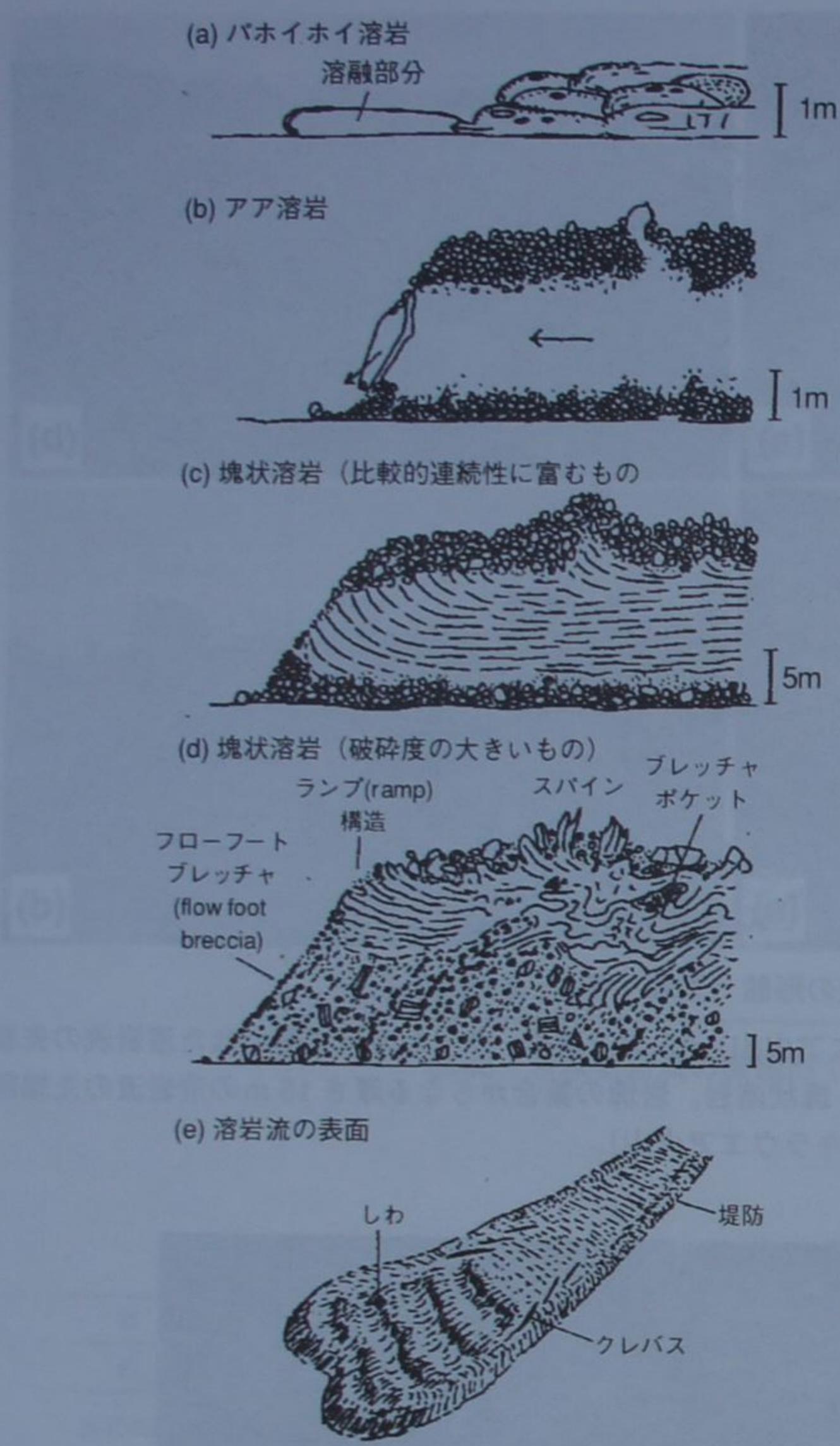


図51 溶岩流の内部構造を示す模式断面図
(荒牧・宇井, 1989)

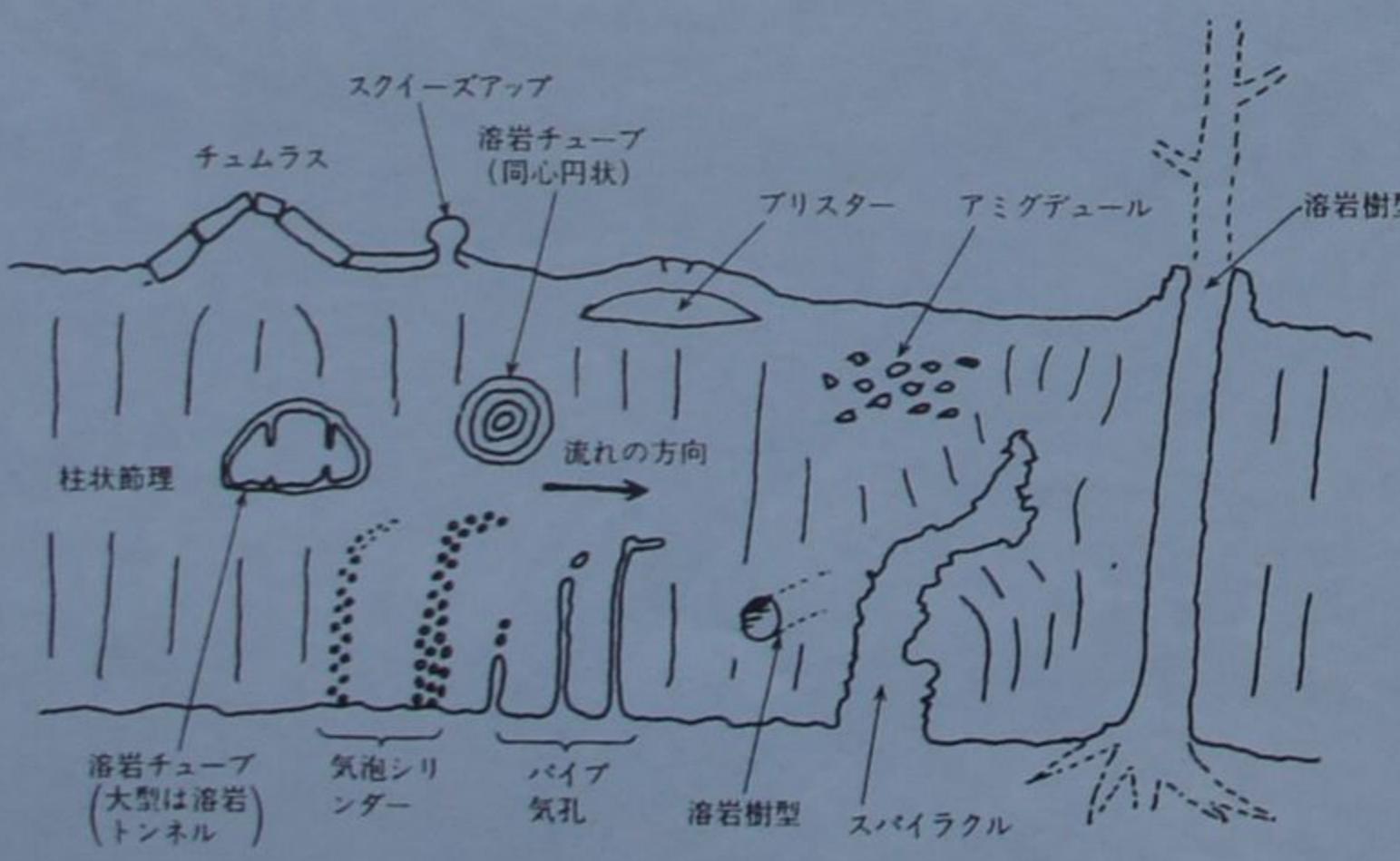


図52 溶岩流に見られる種々の構造 (荒牧・宇井, 1989)



溶岩堤防には垂直に近い板状節理が発達しています。溶岩の内部はブロック状の節理がみられます。溶岩の表面は浸食され、内部が現れています。



写真的右側(写っていない)にも、同じ溶岩流の溶岩堤防があります。溶岩流の表面は浸食されて、内部があらわれています。

図53 笠山西海岸で見られる舌状溶岩と溶岩堤防 (図47の⑪)
溶岩がまだ熱い段階で、溶岩流の中央部が流れてしまい、その部分が薄くなり、両側に堤防ができたと考えられます。この玄武岩は、鉄に富んでおり、そのために石基のガラスは液体不混和現象を起こし、鐵に富む液滴の部分と鉄に乏しい部分が、顕微鏡で観察できます。このような現象は、月の玄武岩ではじめて発見されました。

観察ポイント⑫ 笠山海岸（図47）

一枚の溶岩は薄い一笠山は何枚の溶岩でできているのでしょうか？

＜みどころ＞

・溶岩の下底と表面が観察できます（図54）。下部は溶岩が流れるときにこわれてブロック状になっています（アクリンカーと言います）（図55）。表面はガスが抜けて穴だらけです。溶岩の厚さはどれくらいありますか。笠山は何枚くらいの溶岩流でできているのでしょうか？

溶岩は、火口や割れ目から溢れ出し、地形的に低い方に向かって流れます。1回に流れる溶岩の



1フローユニット
(1枚) の溶岩流の
拡がり



図54 笠山の1フローユニット(1枚)の溶岩流(アア溶岩)

厚さは数mから数十mです（1フローユニットといいます）。したがって、笠山の溶岩台地は、何枚もの溶岩が重なり合って作られているのです。図54に1回で流れ出た溶岩の写真を示しました。溶岩の下底と上面は、ガスが抜けてガサガサになっています（図55）。このような溶岩をアクリンカーと呼ぶことがあります。

また、溶岩の流れる距離はマグマの粘性などの物理的な条件によって決まりますが、その到達する距離は数百mから数kmですが、500kmも流れた溶岩も知られています。

溶岩の流れる速さは、最大1秒間に10m位ですが、地表面の傾斜によっても違ってきます。



図55 溶岩流の下部 (アクリンカー)

観察ポイント⑬ 笠山明神池（図47）

風穴一夏は冷たい風、冬はもっと冷たい風が吹き出してくれる？

＜みどころ＞

・風穴はブロック状溶岩のところに限られています。風穴のでき方を考えて見ませんか。

・風穴の近くには寒冷地のシダが生えています。風穴から吹き出してくる冷気は、夏は17℃前後ですが、2001年1月19日に測ってみたところ、外気より冷たい2℃の風が吹き出していました。普通に言われているような、1年中同じ温度ではないようです。

ひとくちメモ：宇田島－地下深部物質の宝庫

宇田島は、28万年前に噴火した火山（角錐ほか、2000）ですが、多数の捕獲岩（マグマの通り道を作っている岩石がマグマによって壊され地表まで運ばれてきたもの）を含んでいます。特に、重要な捕獲岩は、下部地殻を構成しているグラニュライトという変成岩です（図56）。グラニュライトは重いので、マグマが動いていないと沈んでしまいます。宇田島の安山岩は、多くのグラニュライトを含んでいますから、それが沈まないような高速で上昇してきたものと思われます。



山口県の岩石図鑑 (1991)

図56 安山岩とグラニュライトの捕獲岩

おわりにー火山が作った山口の大地

いまは噴煙こそ上げていませんが、山口県には約70もの火山が分布しています。現在、活火山は気象庁によって「過去2000年間に噴火した火山、または、現在、噴気活動の活発な火山」と決められています。しかし、世界には数千年～数万年ごとに噴火を繰り返す火山があることが知られており、気象庁と噴火予知連絡会は世界の基準にあわせて「活火山は、過去1万年に噴火した火山、または、現在、噴気活動の活発な火山」と国内の基準を変える準備をしています。新しい基準によると阿武火山群には「活火山」が存在することになります。

また、阿武単成火山群と青野火山群は、数kmしか離れていないにもかかわらず、マグマのでき方や噴火の様子が全く異なっています。このような場所は、世界的にもまれなのです。さらに、ここでは、マグマの混合や溶岩流の構造などの火山現象や典型的な火山地形を比較的簡単に見ることができます。まさに、この地域は、「自然が作った火山博物館」あるいは「オープンエア・ミュージアム」といえるでしょう。

今回紹介した観察ポイントは、車で簡単に行けるところです。大学生や一般の方はもとより、小中高の生徒さんにも理科や地理の教材として十分に利用価値のあるものだと思います。

さて、このパンフレットで紹介した以外にも、火山があります。下関火山群の六連島火山(図57)と棕野火山です。これらの火山は、約120万年前に噴火し玄武岩の溶岩台地をつくりました。特に、六連島火山は、国の天然記念物に指定されている雲母玄武岩で有名です。

さらに、昔にさかのぼると次のような火山の活

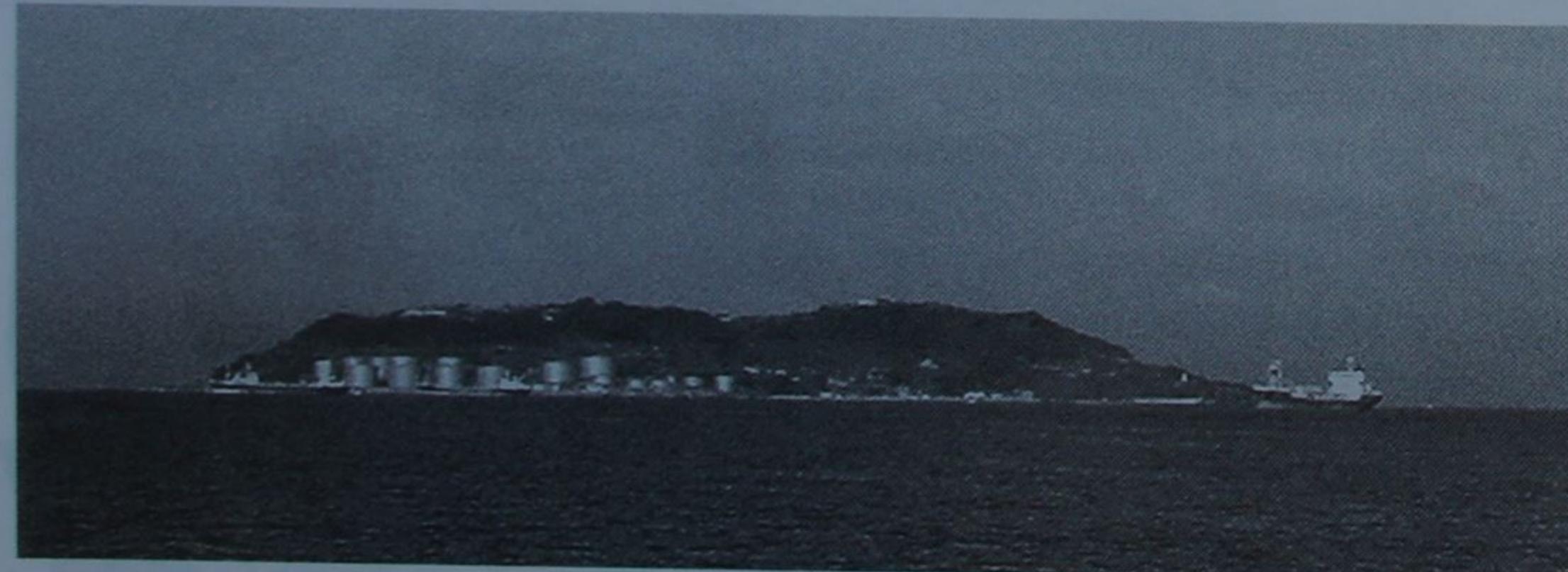


図57 国の天然記念物である雲母玄武岩で有名な下関市・六連島は120万年前に噴火した火山で、溶岩台地をつくっています。

動がありました。

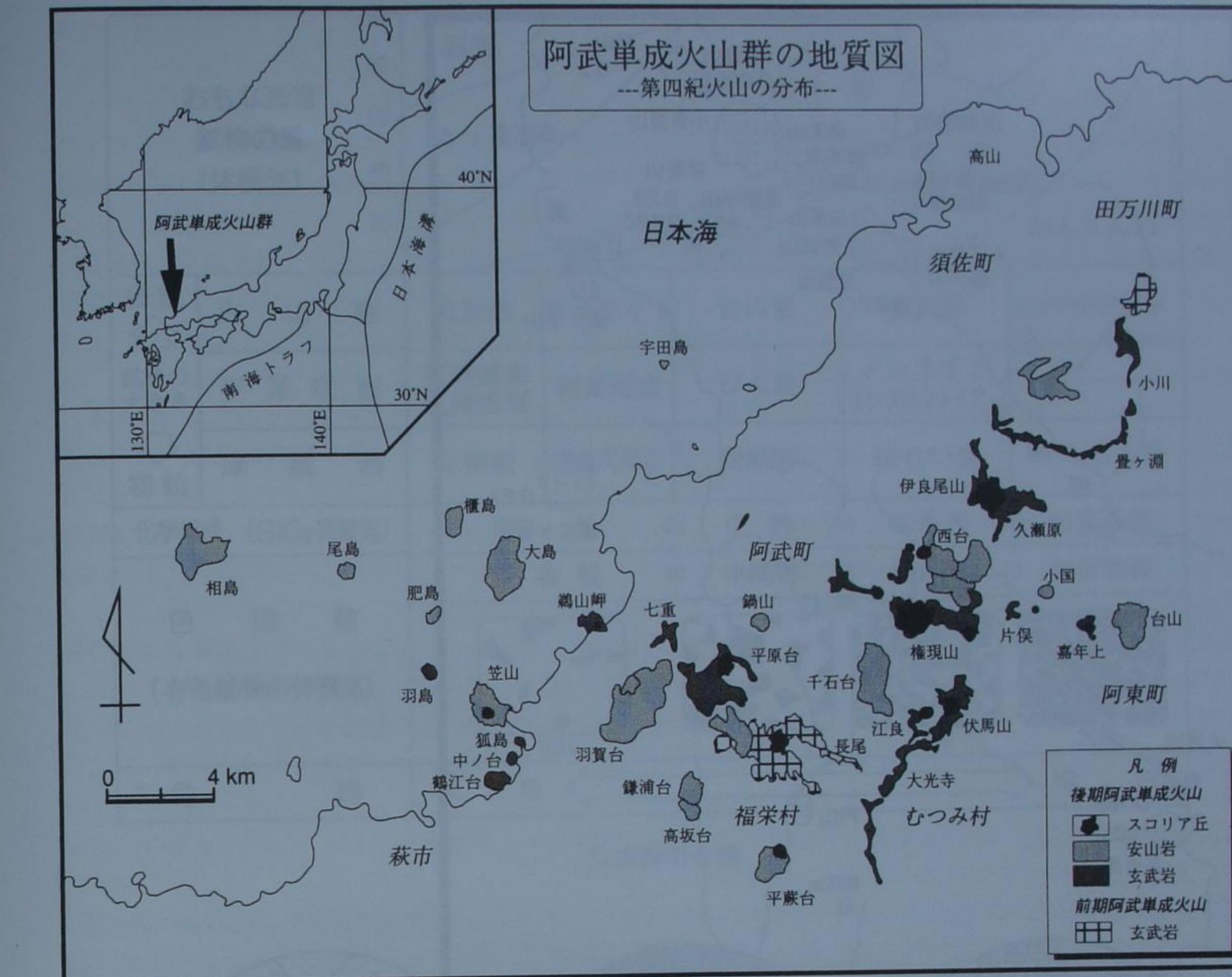
広島県との県境の冠山～冠高原地域では約800万年前に玄武岩、安山岩、デイサイトが噴出しました(冠高原火山岩)。このデイサイトは、サヌカイトと良く似た岩石で縄文人の石器として使われていました。見島や角島、日本海側の向津具半島などでは、1000万年～780万年前に中国地方や北部九州、アジア大陸の縁辺部で活動したものと同じアルカリ玄武岩マグマが流れ出し溶岩台地を作りました(山陰火山岩)。

また、瀬戸内地域にも約1300万前に活動したMgに富む特殊な安山岩(サヌカイト)が分布しています。この火山岩は、約1300万年前に、日本海が割れて拡大し、日本が大陸から離れた時期に、日本列島ができたばかりのプレートの上にのし上がったためにプレートの沈み込みがはじまり、そのことが原因となってマグマができました。最近、この安山岩のもとになったマグマは、日本列島から海溝に流れ込んだ土砂が、プレートと一緒に日本列島の下に引きずり込まれ、それが融けてできた珪酸に富むマグマが、地表に噴き出すまでの通り道にあるマントルと反応してできたと考えられています(瀬戸内火山岩)。

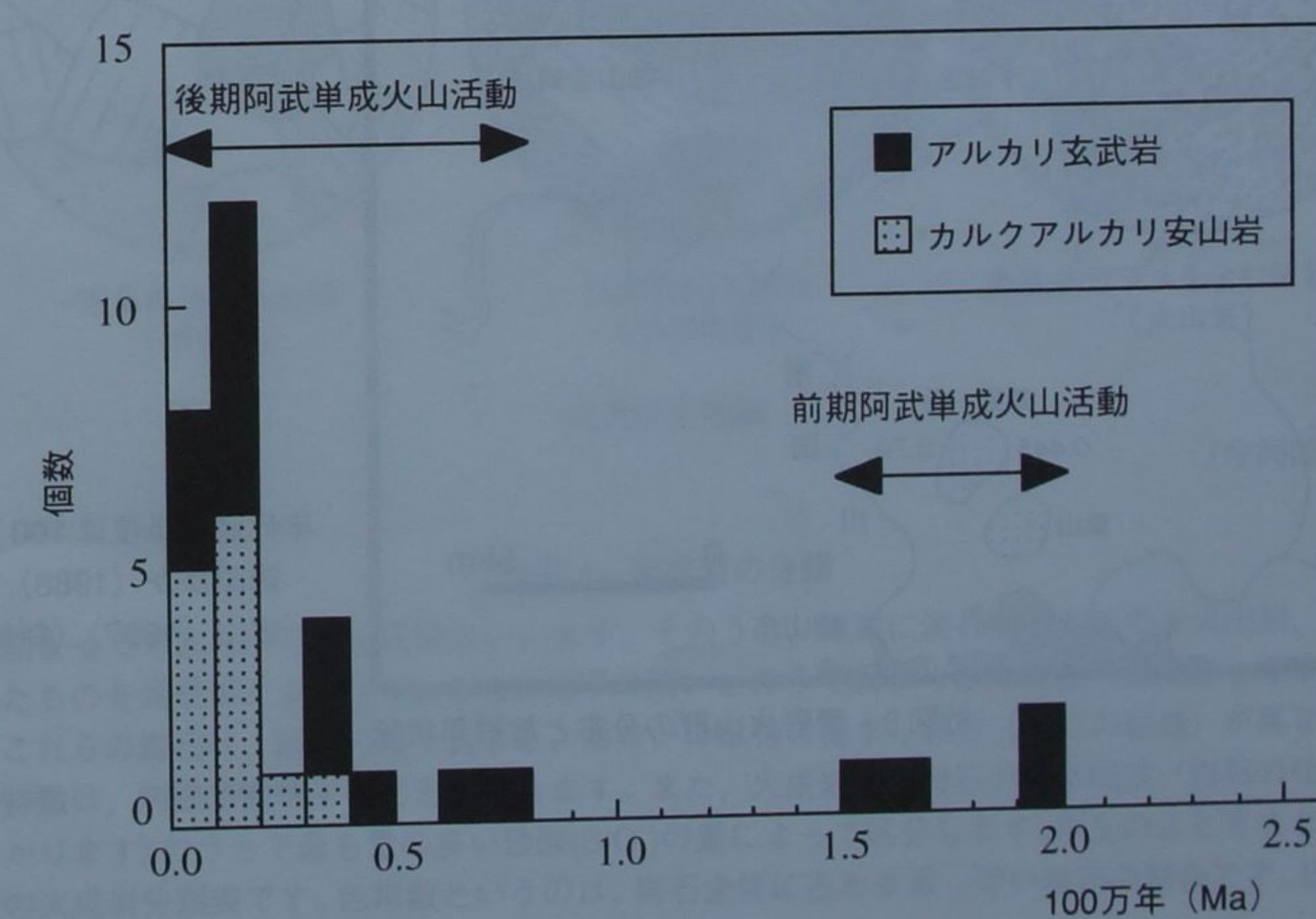
さらに、3600万年～2700万年ぐらい前に、日本列島がまだアジア大陸の一部であった時、プレートの沈み込みによってできたマグマの活動でできた火山岩が今岬、津黄や田万川町付近に分布しています(田万川火山岩)。

同じように、約1億年前、プレートの沈み込みに伴って起きた火碎流を伴う大規模な火山活動が、長門海峡など山口県の広い範囲に分布しています(白亜紀火山岩)。

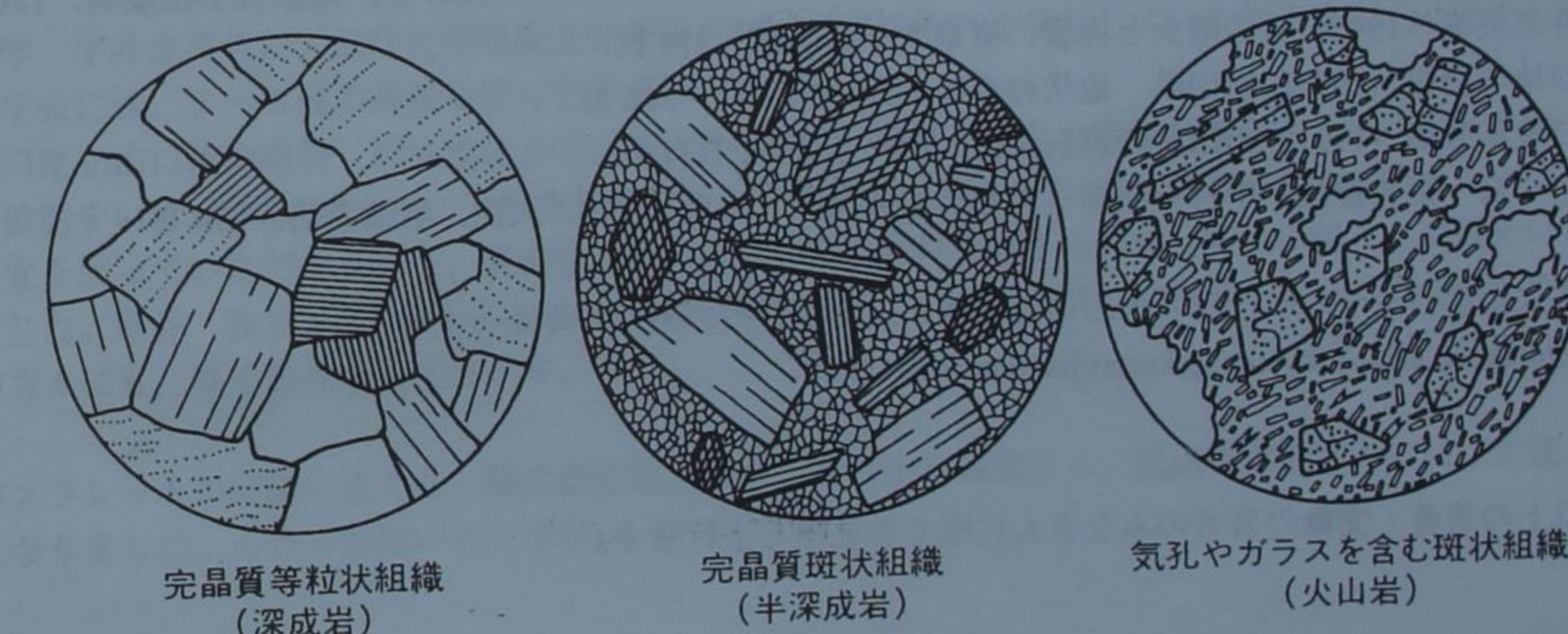
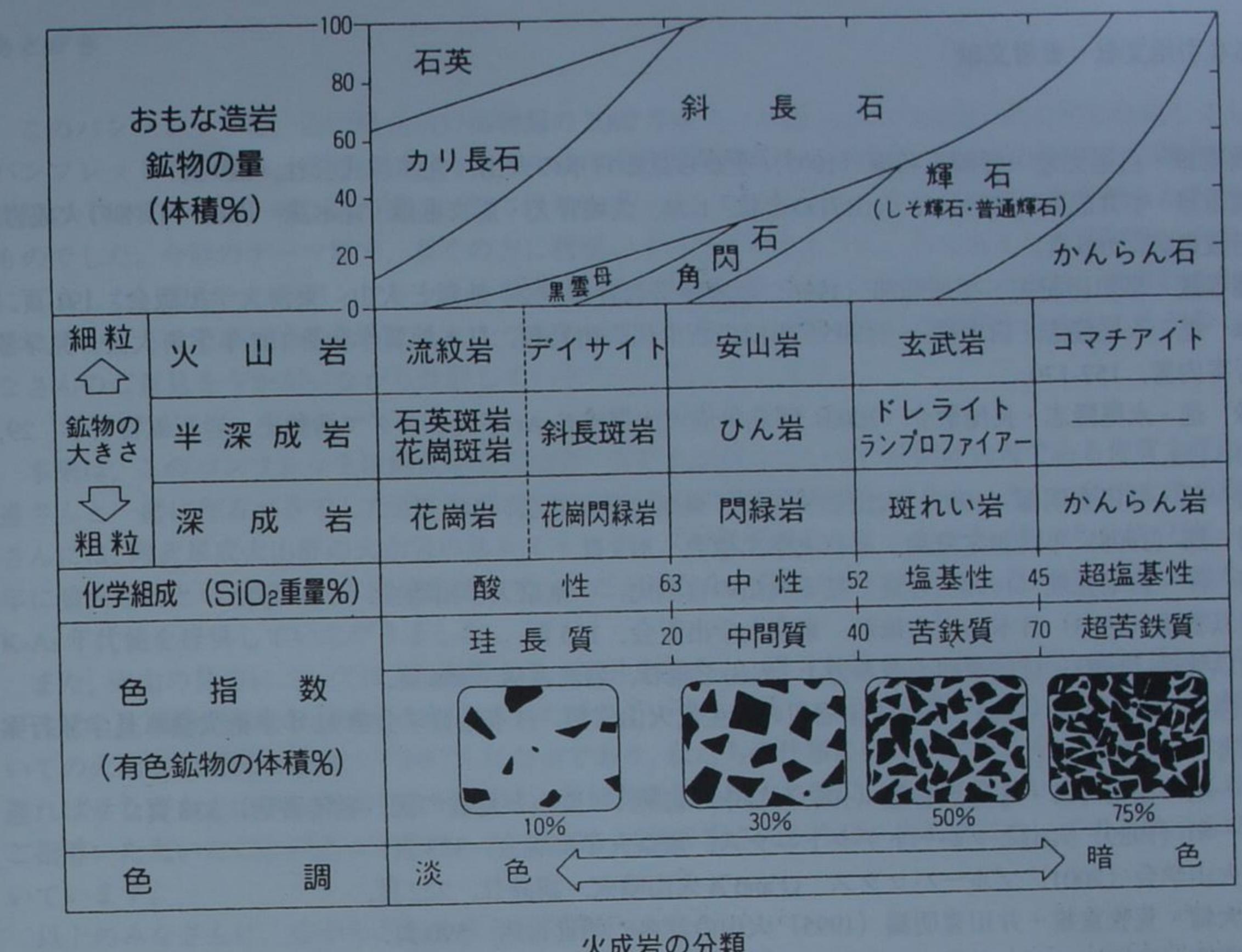
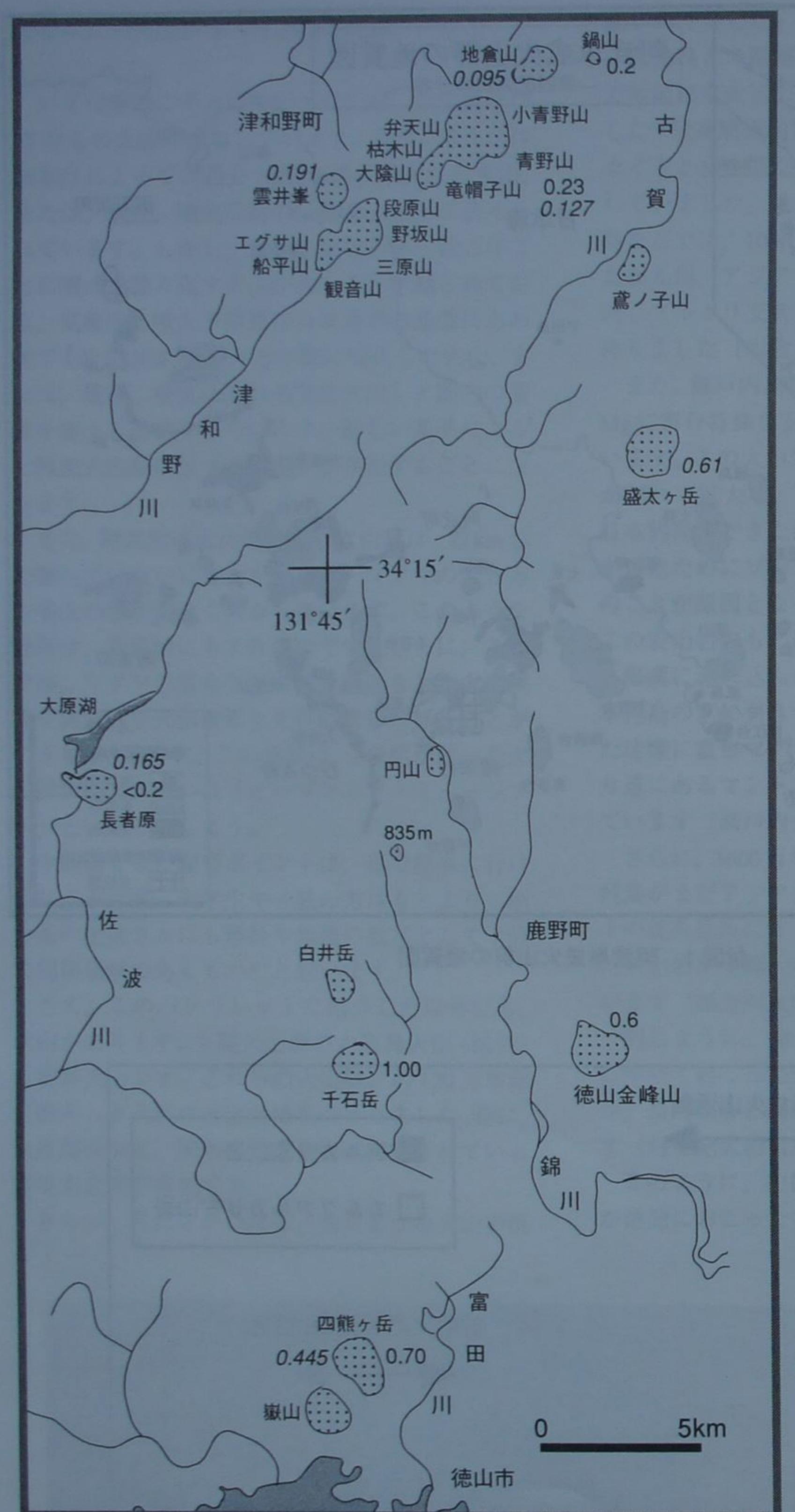
このように、山口県は、ずっと昔から火山活動が活発におこったところなのです。



付図1 阿武単成火山群の地質図



付図2 阿武単成火山群の火山岩のK-Ar年代値の頻度分布(角縁ほか、2000)



付図4 火成岩の分類

マグマが固まってできた岩石を火成岩といいます。そのうち、地表に流れ出したものを火山岩、地下深部で固まったものを深成岩とよびます。また、地下の浅いところで固まったものを半深成岩と呼ぶことがあります。これらの岩石は、鉱物の形や大きさ、あるいは鉱物の集まり具合（岩石の組織）が異なっています。この特徴は、肉眼で観察することができます。また、火成岩は、岩石の化学組成（岩石の化学分析をするとわかります）のうちで最も量の多い珪酸(SiO₂)の量によって区分します。以上のことをまとめて作ったのが上の火成岩分類表です。色指数というのは、岩石全体に占める黒っぽい鉱物の割合です。珪酸(SiO₂)が多いほど黒っぽい鉱物が少ないことがわかります。

おもな引用文献・参考文献

- 荒牧重雄・白尾元理・長岡正利編 (1997) 空から見る日本の火山. 丸善株式会社. 219頁.
- 荒牧重雄・宇井忠英 (1989) 1. 火山岩の産状. 1-24. 久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎編 日本の火成岩. 岩波書店. 206頁.
- 安藤雅隆・早川由紀夫・平原和郎 (1996) 新版地学教育講座2 地震と火山. 東海大学出版会. 191頁.
- 角縁 進・永尾隆志・白木敬一 (1995) 山口の新生代火山岩類. 日本地質学会第102年学術大会 見学旅行案内書, 157-170.
- 角縁 進・永尾隆志・長尾敬介 (2000) 阿武单成火山群のK-Ar年代とマグマ活動史. 岩石鉱物科学, 29, 191-198.
- 兼岡一郎・井田喜明編 (1997) 火山とマグマ. 東京大学出版会. 240頁.
- 兼岡一郎 (1998) 年代測定概論. 東京大学出版会. 315頁.
- 町田 洋・白尾元理 (1998) 写真で見る火山の自然史. 東京大学出版会. 204頁.
- 守屋以智雄 (1983) 日本の火山地形. 東京大学出版会. 135頁.
- 守屋以智雄 (1992) 自然景観の読み方1 火山を読む. 岩波書店. 166頁.
- 永尾隆志・半田正敏 (1985) 萩市笠山周辺の新生代火山岩類. 日本地質学会第92年学術大会 見学旅行案内書, 157-170.
- 中村一明・松田時彦・守屋以智雄 (1987) 日本の自然1 火山と地震の国. 岩波書店. 338頁.
- 中村一明 (1989) 火山とプレートテクトニクス. 東京大学出版会. 323頁.
- 日本火山学会 (2001) ブルーバックス Q and A 火山噴火. 講談社. 222頁.
- 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明編 (1995) 火山の辞典. 朝倉書店. 590頁.
- 谷口宏充 (2001) マグマ科学への招待. 裳華房. 179頁.
- 巽 好幸 (1995) 沈み込み帯のマグマ学—全マントルダイナミクスに向けて. 東京大学出版会. 186頁.
- 宇井忠英編 (1997) 火山噴火と災害. 東京大学出版会. 219頁.
- 山口地学会編 (1984) 山口県 地学のガイド. コロナ社. 316頁.
- 山口地学会編 (1991) 山口県の岩石図鑑. 第一学習社. 224頁.
- 横山 泉・荒牧重雄・中村一明編 (1979) 岩波講座 地球科学7 火山. 岩波書店. 294頁.
- 日本火山学会ホームページ「火山のQ & A 火山学者に聞いてみよう」
<http://hakone.eri.u-tokyo.ac.jp/kazan/jishome/VSJ1.html>

以上の著書・文献の著者のみなさんに厚くお礼申し上げます。

あとがき

このパンフレットは、山口県立山口博物館の2002年度テーマ展「山口の火山」のために作成しました。パンフレットの原型は、すでに1999年8月の萩市中教研理科部会の研修会、2001年6月の山口県立山口博物館の「地質めぐり」の「案内書」として作られていました。しかし、それはコピー機を使った手作りのものでした。今回のテーマ展で、多くの方に利用していただけるように、きちんとした印刷物にすることにしました。また、このパンフレットを参考に、市民のみなさんが、気が向いたときに、気軽に火山の見学にでかけることができるようにもしたつもりです。しかし、内容については不十分なところが多く、みなさんのご意見をうかがいながら改訂していきたいと思っています。

本来は、このパンフレットは阿武单成火山群・青野火山群についての共同研究者である佐賀大学の角縁進さんと一緒に作るべきでしたが、時間の制約があり私の責任で作成しました。また、秋田大学の高島勲さんには、阿武单成火山群の火山岩の熱ルミネッセンス年代を測定していただき、笠山火山が1万年～8800年に噴火したという驚くべき結果をだしていただきました。島根大学の木村純一さんには、萩六島などのK-Ar年代値を提供していただきました。

また、火山の見方については、北海道大学 宇井忠英さん、勝井義雄さん、日本大学 高橋正樹さん、神戸大学 佐藤博明さんに日頃から教えていただいている。特に、宇井忠英さんは、阿武单成火山群についての火山学的研究を最初に手がけられた方であり、私たちの仕事に興味を示してくださいました。私が、遅ればせながら火山学に興味を持ったのも、雲仙普賢岳の噴火の際に、宇井忠英さんから、2週間にわたり指導いただいたことがきっかけでした。また、高橋正樹さんからは、岩石学についてのご教示もいただきました。

以上のみなさんに、心からお礼を申し上げます。

また、今回のテーマ展では、山口大学 澤井長雄さん、今岡照喜さん、佐賀大学 角縁 進さん、北海道大学 宇井忠英さん、山口大学埋蔵文化財資料館には展示資料を貸与していただきました。また、日本火山学会には、テーマ展の後援を快く引き受けいただきました。

山口県立山口博物館長 川崎俊征さん、学芸員 亀谷 敦さんはじめ職員のみなさんにはひとかたならぬお世話をいただきました。山口大学機器分析センター長 増山博行さん、技官の森福洋二さんにも数々の便宜を図っていただきました。群馬県立自然史博物館の野村正弘さんには、展示に関してお教えいただきました。亀谷 敦さんには、パンフレットの原稿を読んでいただき誤りを指摘していただきました。以上の方々にも、厚くお礼申し上げます。

パンフレットの印刷にあたり、株式会社桜プリント社の小林健志さん、渡辺美津枝さんには、大変お世話になりました。心から感謝いたします。

2002年3月31日

オープンエア・ミュージアム 山口の火山 -阿武单成火山群と青野火山群-

www.english-test.net

●著者／久保隆吉

●著者／水尾隆志
●発行・販売／株式会社桜プリント社
〒753-0051 山口市旭通り1-1-6

● 永尾隆志 2003

オープンエア・ミュージアム
山口の火山
-阿武單成火山群と青野火山群-

永尾 隆志

2002年1月20日 発行
●著者 永尾 隆志 〒753-8512 山口市旭町田1677-1 由田大学農業分野センター ●E-mail:mathmag@yamaguchi-u.ac.jp

●発行・販売 株式会社佐藤プリント社 〒753-0051 山口市旭通り1-1-6 ☎083-922-1712

©永尾 隆志 2002

定1

Y4

N

1

2

3

4