

島弧の火山帯

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉村, 新 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00025311

島弧の火山帯

杉 村 新*

I はじめに

1993年6月13日に、第30回総会を記念し表題の講演をさせて頂き、光栄に思っている。

今回は、その講演の概要を記し(II)、その中から2つの点(IIIとIV)について講演の一部を再述し、かつ言い足りなかったことを加筆しておこうと考える。講演全体の再現は、紙数の関係もあり、また忘れてしまった部分もあるので、今回は勘弁して頂くことにする。

II 講演の概要

すでにどなたかによって、講演の要約が、本誌第68号P.49に書かれている。僅か10行ほどの間によくまとめられているので、お急ぎの向きにはそちらをお読み頂ければよいと思う。そこに「亡くなった鮫島さんをしのび、彼の代わりに話したい」と私が冒頭で述べたと書いてある。「代わりに」なるとは到底思えないが、私はその日はピンチヒッターとして出場したという意識が、まずあった。

それで、私の提唱したシリカ指数(θ 値)を用いてニュージーランドの火山帯を紹介した鮫島(1975)の論文に言及しなければならないと思った。次に、私の集中講義などの時の習慣で、なるべく外国で写したスライドを、講演の合間にお見せしたいと思い、その対象として1970年に行ったフィリピンのタール火山と、1976年に行ったニュージーランドの火山とを考えた。話の筋としては、私が今まで力をいれてきた「日本の火山帯」の話をしたかと思っていたが、上記のように日本からはみ出す話になるので、「島弧の火山帯」という柄にもなく壮大な表題になってしまった。講演の初めに杉村(1993)の島弧研究史のコピーを配布したが、その中で直接必要な部分は(8)熱流量、(9)火山の分布、(10)火山岩だけであった。

次に、当日私が目の前に置いてしゃべるのに役立てたノートを抜粋して以下に記す。

0. 序言、1. 2つの火山帯と火山前線、2. 従来の火山帯との関係、3. 島弧海溝系のメンバーとしての火山帯(以上の1~3についてはIIIで述べる)、4. 体積の分布、5. 化学的特徴の分布、6. 熱流量との関係: 以上で日本の火山帯についての1970年ごろまでの私の考えをまとめたが、その考えの大枠は今でも崩れていない(例えば小林, 1986)。7. 世界における火山の分布、8. ニュージーランドの火山帯、9. シリカ指数、1) 火山前線と背弧域とのちがい、2) 火山帯によるちがい、3) θ や I・II・III型などは何を示しているか(上の5と9はIVで述べる)、10. 台湾・ルソンの火山帯、1) マニラトラフよりの沈みこみ、2) タール火山、11. 結語。以上でスライド47枚(うち写真は11枚)、OHP21枚を使った。

*東京都世田谷区桜上水1-18-9、元神戸大学理学部教授

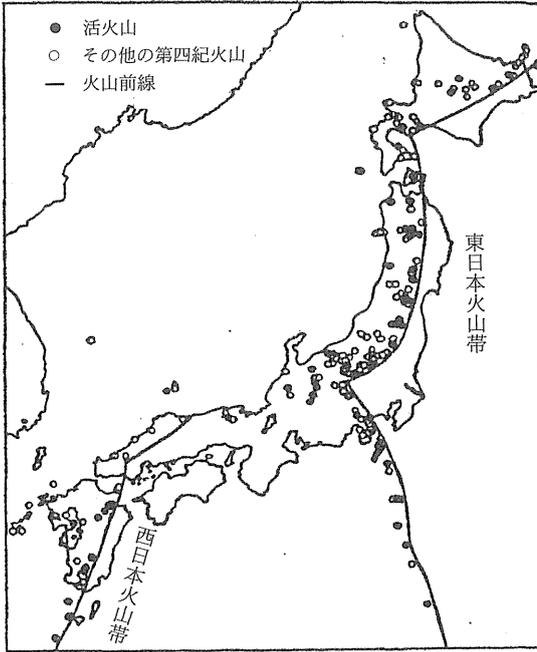


図1 日本の火山帯

III 東日本火山帯と西日本火山帯

1 火山帯と火山前線

日本の火山帯は図1のように2つあって、それぞれの東の（海溝がわの）へりは火山前線と言う。東日本火山帯は千島から北海道を経て南へ延び伊豆小笠原諸島に至る。西日本火山帯は山陰の大山に始まり九州を通して南西諸島に至る。このような火山帯区分に関連した解説として3つの著書を挙げる。

- 1) 笠原慶一・杉村 新編 (1991)「変動する地球」の P.159～181 (杉村記)、
- 2) 杉村 新・中村保夫・井田喜明編 (1988)「図説地球科学」の P.38～40 (中村一明記)、
- 3) 中村一明・松田時彦・守屋以智雄著 (1987)「火山と地震の国」の P. 5～8 (多分中村記)。

3冊とも岩波書店出版で、3)は現在出版休止中であるが1) 2)は注文すれば今でも手に入る。3)の解説のおわりには、「海溝側へむかって火山の分布が突然なくなる境界は火山前線とよばれる。いまでは世界中で使われている（この）ことばは杉村新が唱えたものである。」と記されている。



図2 日本付近の大地形

千島—東北日本—伊豆マリアナという東日本島弧系と、千島海溝—日本海溝—伊豆マリアナ海溝の海溝系とが対応し、西南日本—琉球という西日本島弧系と、南海トラフ—琉球海溝の海溝系が対応している。綱川・竹内、1983の図そのまま。

2 島弧という言葉の理解

島弧は弧状列島ともいう。日本付近における島弧は図2の太線で示される。講演の時に配布したコピー (杉村、1993) には、次のように述べている。

「島弧という用語の本質的な部分は、第1に弧の凸側に海溝を伴い火山活動・地震活動・地殻変動が活発に起こっている地帯だということであり、第2にこれらの地学的諸現象が非対称的な帯状配列を示すということであると考える。」「島弧は弧状をした列島があればそれを呼ぶというのではない。島弧という用語はさまざまな地学的現象を含んでいる。その意味でいえば、本州弧というものは存在しない。」

このような意味での島弧が世の中で本当に理解されているのだろうか。ある人は、「日本列島が島弧の地形をしていることは地図を見るだけで明らかである。」と言った。この場合の地図は、図2のような等深線の入ったものを意味していると思われるが、一般の人は図1のような海岸線だけの地図を思いうかべる。すると（上記のように否定されている）本州弧

という地形が島弧の地形だと思ってしまう。千島海溝・日本海溝・伊豆小笠原海溝・南海トラフ・琉球海溝の地形は、島弧という言葉の理解の上で第一級の重要性を持つものである。

火山前線は、日本では火山帯の東のへりであるが、世界中の島弧の火山帯に一般的に言えることは「海溝がわの」へりである。海溝と火山前線とは、200 km ぐらいの間隔を保ったままほぼ平行に走っていることに注目してほしい。

なお、図 2 の太線は島弧の「地形」の中心線を表しているのであり、概して火山前線の位置と重なるが、西南日本弧のように位置が離れてしまっている場合もある。

3 従来の火山帯区分からの脱却

従来の火山帯区分とここで言うのは、北から千島・那須・鳥海・富士・乗鞍・大山・霧島^{だいせん}というような区分のことを指している。この区分の源は 1888 (明治 21) 年にまでさかのぼることができる。よく知られているパターンに落ち着いたのも 1902 (明治 35) 年のころである。そういう昔の学者の遺物を、なぜ後生大事に半世紀以上もの長い間守り続けてきたのか、私は理解に苦しむ。

そのような古くさい区分は、今や地学的意味をほとんど失っている。その好例を図 3 に示す。a は勝井 (1961) による岩系区分であり、b は従来の火山帯区分である。岩系とは火山の玄武岩質初生マグマの化学組成の型のことで、火山岩の系統分類を意味する。その分布が、図 3 a の A と B の 2 つの破線によって 3 つの「く」の字の形の地帯に見事にわけられていることがわかる。一方、図 3 b は単純に火山が地理的に並んでいる地帯を示したにすぎない。そのため、図 3 b の区分が、図 3 a の科学的区分とはあまり関係のない無意味なパターンになっているのである。

勝井 (1961) と同じような岩系区分は、日本およびその周辺について、久野 (1960) によって示された。その図に火山前線を書き加えて配布コピー (杉村、1993) の第 2 図になっているが、ここに図 4 として再掲する。

図 3 a や図 4 に示したような岩石学的根拠のほか、「火山」と称する時には第四紀の火山に限るといような層序学的根拠や、前項 2 で述べた大地形、次項 4 で述べる地球物理学的根拠にもとづいて、杉村 (1957;1960) は、日本の火山帯を東日本火山帯と西日本火山帯との 2 つにまとめた。

このような区分は、科学的であるだけでなく、一般の人々に余計な暗記を強いることがない。たとえ

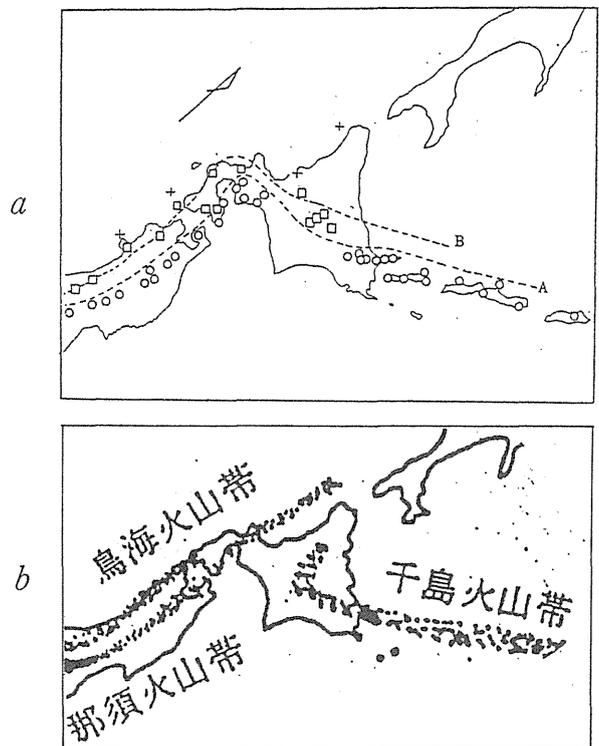


図 3 初生マグマの型の分布 (a 図) が、従来の火山帯 (b 図) といかに合わないかを示す

a : +印はアルカリ玄武岩マグマ、四角印は中間型マグマ、丸印はソレイアイトマグマに由来する火山。
勝井 (1961) を一部省略。杉村 (1974) より再掲。

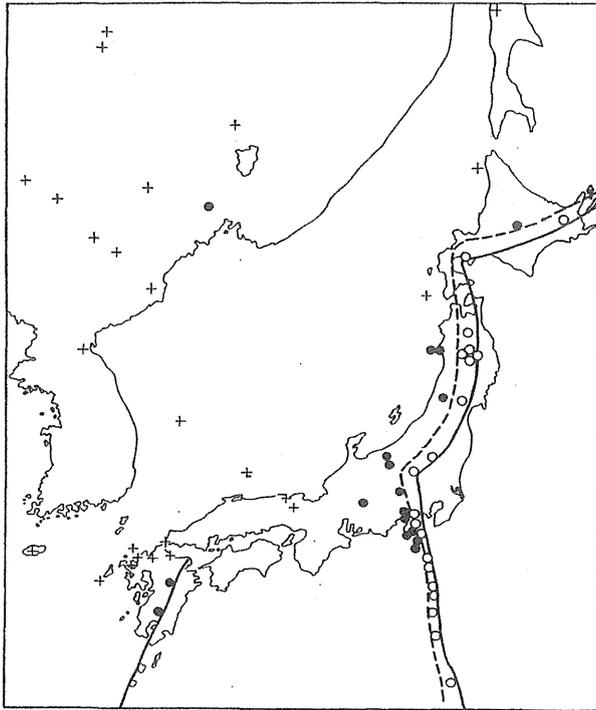


図4 初生マグマの型の分布と火山前線

+印はアルカリ玄武岩マグマに由来する新生代の火山, 黒丸は高アルミナ玄武岩に由来する第四紀の火山, 白丸はソレイアイトマグマに由来する第四紀の火山, 破線は黒丸と白丸の境界, 以上久野 (1960) による。太い実線は火山前線。
杉村 (1993) より再掲。

ば図3 aの北海道北端の日本海側に+の印があるが、これは利尻島の利尻火山である。これが従来の火山帯のどれに属するかは、図3 bのようなものを覚えておかなければ、すぐには言えない。従来の火山帯は地理的な位置を示すのに役立つと言う人もいるが、利尻の場合、那須火山帯に属するというよりは、北海道北端の西にあると述べた方が、人々には余程わかりやすい。

もちろん、高校の地学教科書にはどの社のものにも、随分前から新しい2つの火山帯が載っている。しかし、学校でちゃんと教えているのだろうか。というのは、新聞やテレビでは未だに何々火山帯などと述べているからである。学校で教えていれば、こういう場合必ず誰かがマスコミに文句をいうはずである。

私は、学校で従来の火山帯をまる暗記させる愚をやめ、2つの火山帯をきちんと教えることを願って、今までにもいくつかの解説を書いた。少し古いが、ここには1つだけ挙げておく。: 杉村、1961 a。

4 地震・熱流量やプレートとの関係

図5は東北日本弧を直角方向に横断した断面図で、配布コピー (杉村、1993) の第1図とほとんど同じである。図中の地名などが英語でなく日本語になっている。ここには「火山のフロント」と書いてあるが、火山前線は火山フロント、火山のフロント、火山帯のフロントなどいろいろな呼びかたがある。

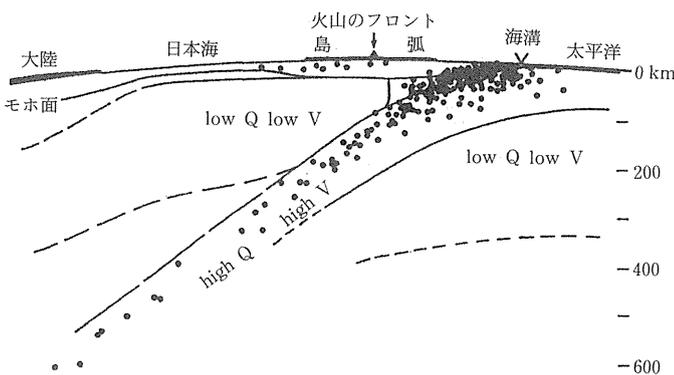


図5 東北日本を横切る断面

黒丸は震源, low Q, high Qは地震波が減衰しやすい, しにくいを示し, low V, high Vは地震波の速度が低い, 高いを意味する。
宇津 (1974) による。深尾 (1988) より再掲。

low Q low V とある部分がアセノスフェア、high Q high V とある部分がリソスフェアである。high Q high V と記入してないが大陸から島弧に至る地球表層部 (モホ面により上下に区分されている) もリソスフェアであり、こちらは「大陸プレート」と一括されている。一方、high Q high V と記入してある方のリソスフェアは太平洋プレートで沈みこんだ部分はスラブである。

図5に明らかなように、スラブの中では深いところまで地震が起こっている。地表から深く

なれば一般には高温となり、岩石はやわらかくなって断層を作らずに変形する。つまり地震は起こらない。ところが、太平洋プレートのように1年に数 cm 以上の速い速度で沈みこんでいると、深い所までスラブは低温のままなので、岩石はもろい。したがって変形する時は岩石は破壊され地震を起こす。これが震源の深い地震（深発地震）の起こる理由だと考えられている。

次に図5のような地下構造と熱流量との関係を示す。先に挙げた笠原・杉村編「変動する地球」の P.168 を見てほしい。また温泉の泉温が火山前線を境に異なるのは著しいことである（杉村、1960、1993）。温泉分布と火山分布は大局的には一致している（中村ほか、1987）が、紀伊半島南部などを考えると、温泉の分布と高熱流量域の分布とがほぼ重なると言った方がよい。

その熱流量の分布を図6に示す。図6でわかるように、東日本火山帯では火山前線の海溝がわ（東側）が低熱流量域であり、火山帯がわ（西側）が、火山帯のみならずオホーツク海・日本海および伊豆小笠原諸島西方の四国海盆に至るまで広く、高熱流量域になっている。

両域の間に 1.5 HFU の等値線が走っていて、これがほぼ火山前線の位置と一致しているのは著しいことである。1.5 HFU という値は、熱流量の世界平均に近い値である（世界平均はもう少し高い）。

西日本火山帯でも、九州以外では、1.5 HFU の等値線が火山前線にほぼ一致する。九州の火山前線のあたりは、1.5 HFU と 2.0 HFU との間であり、1.5 HFU から大きく外れる値の熱流量ではない。

さて本題に戻り、日本の火山帯を東日本火山帯と西日本火山帯とにまとめる提唱（杉村、1957）は、プレートの考え出現の 1967 年を遡ること 10 年前であった。今のことばで提唱の理由を表現すると、「太平洋プレートの沈みこみに関係してできたのが東日本火山帯で、フィリピン海プレートの沈みこみに関係してできたのが西日本火山帯である」と簡単に言うことができよう。

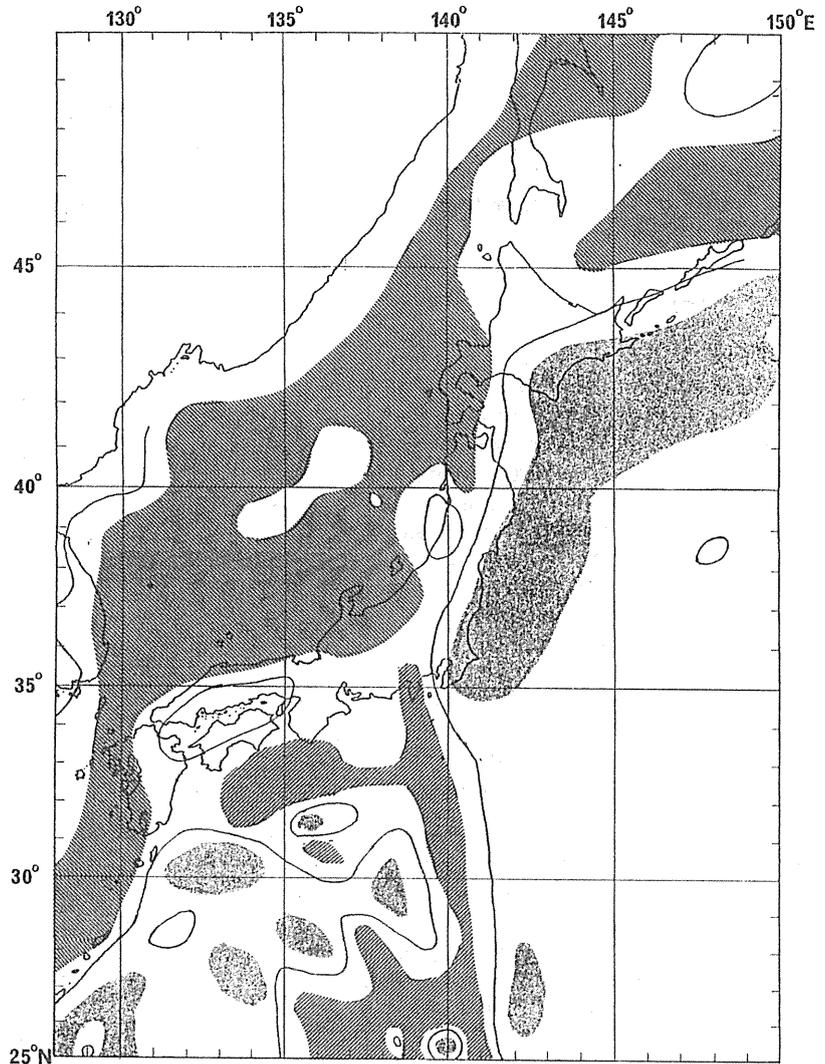


図 6 日本付近の熱流量分布

黒色部 >2.0 HFU, 灰色部 <1.0 HFU, その間を走る実線: 1.5 HFU の等熱流量線。1 HFU = $1 \mu \text{ cal} / \text{s} \cdot \text{cm}^2 = 41.87 \text{ mW} / \text{m}^2$ 。
渡部 (1972) を一部省略。

IV 環太平洋におけるシリカ指数等の分布

1 マグマの化学に関する帯状配列：日本の場合

「島弧の性質のなかで、欧米の教科書にほとんど記されていない重要な性質として、マグマの化学に関する帯状配列がある。最初の論文は富田（1932、1935）であると考えられる。富田は、安山岩を代表とする島弧の火山帯と、そうでないアルカリ岩石区とを区別して図示した。（中略）これを受けて、大塚（1938）は、島弧の重要な特徴である海溝・重力異常・深発地震等と結びつけ、カルクアルカリ岩は浅い部分のテクトニクスに関係し、アルカリ岩は深いところから上ってくるマグマに由来するのであろうと述べた」（杉村、1993）

その後、久野（1952、1959、1960）、勝井（1959、1961）、久城（1961;久城・久野、1963）などの研究を経て、久野（1966）が図4のように、玄武岩マグマの、島弧を横切る化学的なががいとその帯状配列を示すに至った。以上のくわしいいきさつは、杉村（1993）に述べてある。

図4の説明に、久野（1960）による岩石区にもとづくを書いてある。その1960は1966の誤植ではない。杉村（1967）が原稿を書いた1966年には、久野（1966）の論文は未発表で、私はその内容を知らなかった。私は久野（1960）のデータを用いて図4を画いたのである。

火山前線と久野の岩石区とをあわせて示した図は、杉村（1967）のこの図が最初であるが、同様の図は、都城・久城（1977）の著書のP.170に載っている。こちらの方には久野の1966の方のデータが用いられている。

2 シリカ指数

図ではないが、印刷の便宜上図7としたのは、前にも引用した杉村（1957）の講演要旨である。自分で言うのは気がひけるのだが、私がその後いくつかの論文（代表的なのは杉村、1960）に述べたことの中で最も肝心な部分が、1957年に既に、適切に要約されている。

この要旨の文章について静岡の因縁で一言余談を記す。11行目の「ハッキリ」は普通ひらがなで書くのだが、私は若いころはカタカナで書いていた。これは旧制静高での恩師望月勝海先生に倣ったものである。

ここでは θ の値をソレイ岩質傾向と呼んでいる。ソレイ岩とはソレイイト tholeiite のことで、その頭文字の th をとって

8. 火山岩のソレイ岩質傾向と地球物理的諸現象との関連
東大地質 杉村 新

日本およびその附近における地球物理的諸現象の地理的な分布は、琉球—九州にそうものと、マリアナ—東北日本—千島にそうものと、2つの帯状構造をしめす。地球物理的諸現象としては、1. 深い地震の震源の深さ、2. 浅い地震のエネルギー、3. 海溝、4. 重力異常、5. 弾性波の速度、6. 温泉の泉温、7. 火山とくに活火山の密度、の地理的分布を図示した。いろいろの理由から、従来の火山帯区分のかわりに、この方向にそう2つの火山帯にまとめてしまうことを提唱した。火山帯の東のへりは火山が密集しており、境界が比較的ハッキリひけるので、かりに“火山帯のフロント”と呼ぶ。

火山岩の本源マグマの性質は、アルカリ玄武岩質のものからソレイ岩質のものに至るまで、連続的に変化すると考えられるので、それを数であらわすことをこころみた。粗い近似であるが、

$$\theta = \text{SiO}_2 - 47(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$$

ただし、 SiO_2 は重量%，他はモル比の値を、火山岩の分析値からもとめると、1つの火山についてはほぼ一定の値になるので、これをもつてその火山をつくつた本源マグマのソレイ岩質傾向とする。そうすると、 θ は“フロント”のところで最大となり、そこを遠ざかるにしたがつて小さくなる。等値線のもようは、150 km~250 kmの深さの地震の等深線のそれに似て、両者は同じ位置にはばかきさつてくる。

図7 日本火山学会春季大会で、1957年5月11日に講演した時の要旨

θ という符号を採用した。

マグマの分化が進むにつれてシリカ (SiO_2) の割合が増える。分化の進行を $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$

という量で代表させ、経験的に求めた 47 を掛けて、それをシリカの量から差し引いて分化以前の状態に戻す、というのが θ の示す意味である。分化以前のシリカの量という意味で、後にシリカ指数と名づけた。

図7の中の式と同じであるが、次のようになる。

$$\theta = \text{SiO}_2 - 47 \frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

ただし、 SiO_2 は重量%、他はモル比 (分子比)。

ここで分数の項はモル比で表す。原子量の和は大まかに $\text{Na}_2\text{O} : 62$ 、 $\text{K}_2\text{O} : 94$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 : 102$ であるから、たとえばピナツボ 1991 噴火の軽石 (小屋口ほか、1991) を例にとると、重量%は $\text{Al}_2\text{O}_3 16.10$ 、 $\text{Na}_2\text{O} 4.62$ 、 $\text{K}_2\text{O} 1.64$ なので、それぞれを上原子量の和で割ったものを、上式の分数に代入すると、モル比は 0.582 となる。 SiO_2 の重量%は 65.33 なので、結局 θ は 38.0 となる。ここで θ の小数点以下は 1 桁しか意味がないので、38.0 というのはそれ以下を四捨五入した結果である。

なぜこのようなモル比にしたか、の話は省略する。初めからこうしたのではなく、いろいろの変数を考え、このモル比が一番よさそうだという結論になった。その間、山崎正男氏には世話になったのを思い起こす。ノルムとの関係については、杉村 (1959 b) に記した。

ピナツボの軽石の θ が 38.0 ということは、マグマの分化以前のシリカが 38.0% ということではない。玄武岩質初生マグマには必ず若干のアルカリが入っているから、上式の第 2 項はシリカの量の“補正”としては差し引き過ぎである。しかし初生マグマのアルカリの量をいくらと仮定するよりは、仮定なしで初生マグマのシリカについての何らかの目安を求めた方がよいと考えた。

日本の火山に関する θ の分布を図8に示す。見る通り図4と同じように帯状配列を示す。個々の火山の θ 値を示す図も作った (杉村、1959 a) が、一目で傾向

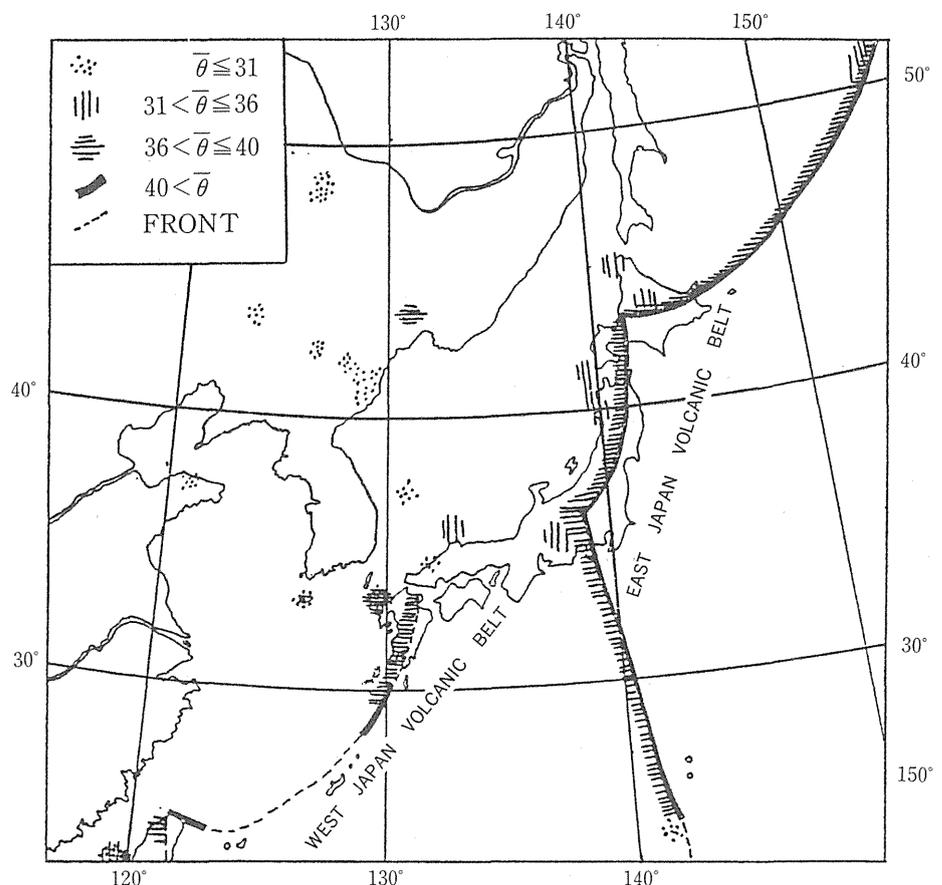


図8 日本付近のシリカ指数の分布
杉村 (1961 b) の図そのまま。

を知るには図8の方がよいと考えた。しかしこれでも、図としては図4の方が説得力があるので、私はマグマの化学に関する帯状分布を示す時は、たいてい図4を用いている。けれども岩系の区分よりは、 θ のような定量的表現の方がすぐれているという考えは、今でも変わっていない。

3 帯状配列：日本以外の場合

富田(1932、1935)が日本付近で指摘したのに続いて、オランダの学者たちがインドネシアで同様のことを指摘している(Van Bemmelen, 1938; Willems, 1940)。このうち Willems の図をここに紹介したかったがスペースがないのでやめる。そして大塚(1938)と似たような役割を果たしたのが Umbgrove(1947)であった。インドネシアにおけるマグマの化学に関する帯状配列はさらに、イタリアなどの火山の研究者として知られるスイスの Rittmann(1953、1958)によって数量的に表現された。Rittmann の指数は、有名な Peacock(1931)のアルカリ石灰指数に比べると優れていたが、マグマの分化との関連が不明瞭のきらいがあり、杉村(1957)はこれを克服するものとして前述の θ 値を提案した。

話が数量的表現のことに外れたが、日本・インドネシア以外の地域での帯状配列は、次にカムチャツカで認められた。カムチャツカの火山岩を研究した Tomkeieff(1949)は、日本・インドネシア・カムチャツカ以外でも、アリューシャン・アラスカ・ニュージーランド・ニューギニアで同じような

例を挙げた。Tomkeieff が環太平洋地域全体を見わたしてマグマの化学の帯状配列を帰納した最初の人であろう。その後、1950年代後半から1960年代にかけて、各地でこのような研究が進んだ。それらにより環太平洋地域のほとんどすべての島弧で同じ傾向が認められた。久野(1966)がこれを総括しており、それをまとめた図は、上田・杉村(1970)の第38図として紹介されている。これを参照されたい。

本節3の中で以上に述べたことの詳細や、ここに省略したことは、杉村(1968)に述べられている。

次に、 θ を用いて表現した2例を挙げる。1つは台湾の顔(Yen, 1963)の図である(図9)。これは杉村(1968)に再掲されている。ついでに書けば、顔滄波は、私がこの原稿を書き始めるつい1カ月ほど前の、1993年2月17日に亡くなられた。

もう1つは、講演の時に紹介した鮫島(1975)のニュージーランドに関する図である(図10)。ニュージーランドの第四紀火山岩は、Cole(1965、

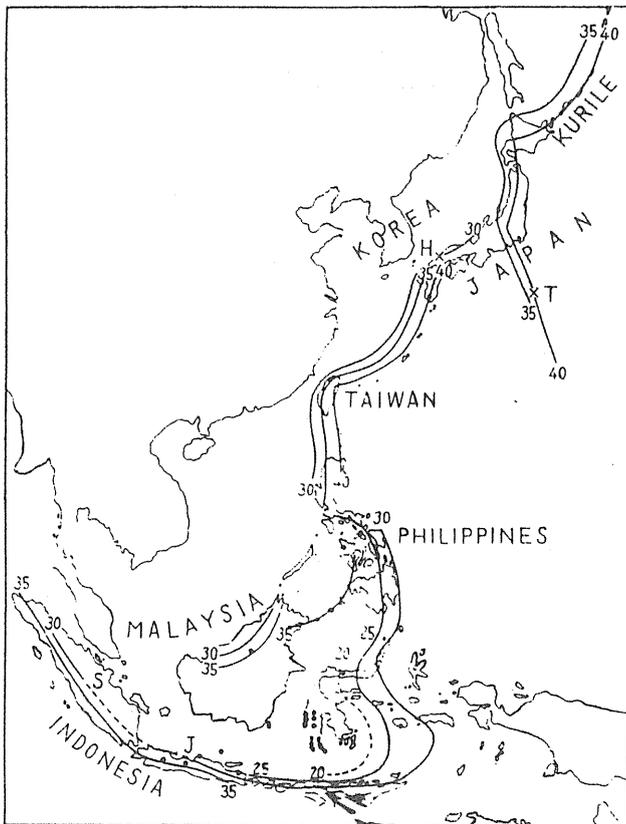


図9 東アジアのシリカ指数の等値線

Sスマトラ, Jジャワ, Fフローレス, H浜田, T鳥島。

Yen(1963)による。杉村(1968)より再掲。

1967) によって3つのグループの岩系にわけられているが、Coleの Mayor Island グループを別として、他の2つのグループについて鮫島は帯状配列を数値的に表現したものである。

4 火山帯によるちがい

東日本火山帯の火山前線における θ が、大部分の火山で41以上であるのに対し、西日本では40以下であることを、私は1960年代の学会講演で述べた。図4も同じことを示す。小林(1986)は一般に火山前線の初生マグマと沈みこむ海洋プレートの年齢とに、関係がありそうだということに注目した。小林の用いたマグマに関する指標は、柵山(1983)の発表したI・II・III型の岩系である。そこでまず、柵山の岩系を簡単に述べておく必要がある。

柵山は、マグマが分化する過程で、マグマ中の水の量が多くなればそれだけ、石英斑晶の晶出を相対的に遅らせる結果になると考えた。そのため、不連続反応系列で角閃石の斑晶が現れる前に早くも石英斑晶ができる場合をI型、角閃石斑晶後黒雲母斑晶前に石英斑晶のできる場合をII型、黒雲母斑晶以後にやっと石英斑晶が現れる場合をIII型とすると、この順にマグマ中の水の割合が多くなることになる。柵山は環太平洋域全体にわたり型をしらべた。その結果、ある火山帯をとり出すと、火山前線に近い火山では、Iまたはそれに近い型であり、火山前線から遠くなればなるほど、IIからIIIが分布し、先に述べた岩系の帯状配列と一致した。このことから、マグマ中の水の量も前線から背弧側へ行くほど増えるという帯状配列を示すと結論した。

小林(1986)は、柵山による型の分布から、火山前線だけを取り出してみると、火山帯によって異なることを指摘した。たとえば東日本火山帯のフロントでI型とI・II中間型、西日本火山帯のフロントでは、九州でIII、琉球でIIとなり、本節4のはじめに述べた θ の場合と同じことが言える。小林は環太平洋地域の16区域について火山前線での型と沈みこむプレートの年齢とを並べた表を作った。この表を見るとIは古いプレート、IIがその次、IIIは四国海盆のような若いプレートに対応している。

小林の関係を θ で示すと、年齢90~150 Ma : $\theta=40\sim42$ 、年齢60 Ma 以下 : $\theta=34\sim38$ 。前者はマリアナ・東日本・カムチャツカ等、後者は東南アジアや中南米等である。

V あとがき

講演の時は望月(1943)の「地殻不連続線」の分布地図を示し、それがプレート境界に一致していることから、望月の先見性に触れた。そして私の話とその分布図の範囲(大東亜圏)内に留まっていたこと、「島弧の火山帯」という以上世界全体を扱わなければならなかったと述べて、看板倒れになったことをおわびした。この文の場合も全く同じことが言える。特に今回は、紙数および時間的余裕がなく、講演の内容にも及ばない文となってしまった。

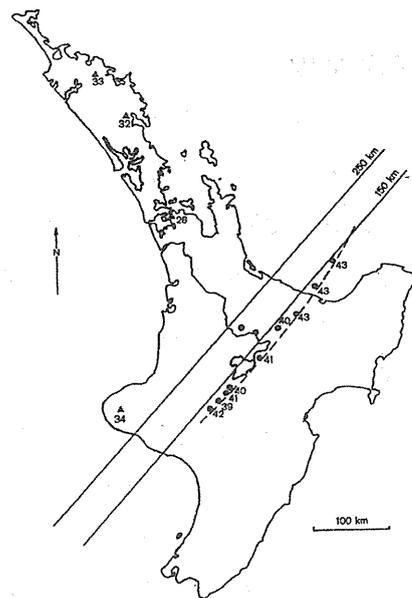


図10 ニュージーランド北島のシリカ指数

破線は火山前線、直線状の実線2本は深発地震の震源の等深線。鮫島(1975)の図そのまま。

〈引用文献〉

- Cole, J.W. (1965) : Int. Symp. Volc. ; (1967) : Bull. Volc., vol.30, p.189~197
- 深尾良夫 (1988) : 図説地球科学 (杉村・中村・井田編、岩波書店)、p.211
- 勝井義雄 (1959) : 北海道地質要報、No.38 ; (1961) : J. Fac. Sci. Hok. Univ. IV, vol.11,p.1
- 小林洋二 (1986) : 火山、vol. 30、特別号、p.137~152
- 小屋口剛博ほか (1991) : 火山、vol.36、no. 4、p.447~451
- 久野 久 (1952) : Trans. N.Y. Acad. Sci. II, vol.14; (1959) : Bull. Volc., vol.20, p.37
(1960) : J. Petr., vol.1, No.2, p.121; (1966) : Bull. Volc., vol.29, p.195~222
- 久城育夫 (1961) : Japan. J. Geol. Geogr., vol.32, no.1, p.31~37
- 久城育夫・久野久 (1963) : J. Petrol., vol.4, no.1, p.75~89
- 都城秋穂・久城育夫 (1977) : 岩石学III (共立出版)、p.170
- 望月勝海 (1943) : 大東亜地体構造論 (古今書院)、p.120
- 中村一明ほか (1987) : 火山と地震の国 (岩波書店)、p. 5 ~10
- 大塚弥之助 (1938) : Bull. Earthq. Res. Inst., vol.16, no.1, p.201~211
- Peacock, M.A. (1931) : J. Geol., vol.39, p.54~67
- Rittmann, A. (1953) : Bull. Volc., vol.14, p.45; (1958) : Bull. Volc., vol.19, p.41
- 柵山雅則 (1983) : J. Volc. Geotherm. Res., vol. 18, p.297~320
- 鮫島輝彦 (1975) : N. Z. J. Geol. Geophys., vol. 18, no.4, p.523~539
- 杉村 新 (1957) : 火山、vol.2, no.1, p.50; (1959 a) : 火山、vol.4,no.2, p.77~103
(1959 b) : 科学、vol.29, p.664; (1960) : J.Fac. Sci. Univ. Tokyo II, vol.12, p.133
(1961 a) : 理科教室 (国土社)、vol.4, no.3; (1961 b) : 地質雑、vol.67, p.292~300
(1967) : Bull. Volc., vol.30, p.319; (1968) : Basalts (ed. Hess & Poldervaart, John Wiley), vol.2, p.537~571; (1974) : 地球の物理 (丸善)、p.212; (1993) : 日本の地質学 100 年 (日本地質学会)、p.120
- 富田 達 (1932) : 地質雑、vol.39, p.609, p.675; (1935) : J. Shanghai Sci. Inst. II, vol.1
- Tomkeieff, S. I. (1949) : Bull. Volc., vol.8, p.87~114
- 綱川秀夫・竹内章 (1983) : 科学、vol.53, p.624 [再版 (1986) : 日本列島の形成 (岩波書店) p.202]
- Umbgrove, J.H.F. (1947) : The Pulse of the Earth (Martinus Nijhoff), 358 p.
- 宇津徳治 (1974) : 科学、vol.44, p.739
- 上田誠也・杉村新 (1970) : 弧状列島 (岩波書店)、p.81
- Van Bemmelen, R.W. (1938) : Mijnb. en Geol., vol.5, p.1~14
- 渡部暉彦 (1972) : 海底物理 (友田好文編、東大出版会)、p.149~169
- Willems, H.W.V. (1940) : Verhandel, Geol. Mijnb. Genootsch., vol.12, p.289~477
- Yen, T.P. (1963) : Taiwan Mining Industry, vol.15, no.3-4, p.1~21