

地震と火山噴火 過去に学ぶ自然界からのメッセージ

Relation between Earthquakes and Volcanic Eruptions -Messages from the Natural History -

*大島 治¹*Osamu Oshima¹

1.なし

1.none

地震と火山噴火の関係、これはプレートテクトニクス成立以来提起された古くて新しい問題である。中村一明(1971)以来、(1)プレートの圧縮応力の高まりによりマグマが絞り出されて火山噴火が起きる>それでも不十分で圧縮応力により逆断層を生じ地震が起こる、(2)プレート内の圧縮により地震が起きる>受け手側のプレートの圧縮により噴火が起きる、2つの可能性が「鶏と卵」の関係のように捉えられたまま、個々の事例に明解な回答が与えられてきてはいないように見受けられる。

2011. 3. 11の巨大地震直後から「巨大地震の後には必ず大噴火が起きる」との声が少なくない。近過去の事例が添えられている。1960年チリ地震の際は両者の関係は特に明瞭であった。しかし2004年スマトラ地震の例はどうだろうか。かなり遠方の火山まで関与が考慮されている。2011東日本大震災の際は、これまで圧縮場にあり長期にわたり逆断層の卓越地域だった東北地方が一気に「開放」されて一時的にせよ正断層地域に転じ、日本海溝付近の海底は50m余りも東に動いたことが示された。これだけの大きな変動に地下のマグマはどう対応するのか。個人的直観は、「マグマは地下で拡がるスペースを与えられた。カルデラづくりの準備が一步進んだ」であったが、正解は如何なものだろう。東北地方の地下に熱い指先が多数上昇しているとする、そのうちの何本かは地表への出口を求め、また何本かは地下空間でマグマ溜まりを拡げる作業に移り、どちらも「正解」なのかもしれない。

日本の地震・火山噴火の歴史を見ていると、近くは18世紀、遡れば9世紀の状況がより現在に参考になるところが多い。地震(+津波)において、869年貞観地震津波(東北、日本海溝)>878年元慶地震(関東直下)>887年仁和地震津波(近畿、南海トラフ)の9年間隔の事例は歪み開放の連鎖として理解し易い一方、火山噴火では、1100年以上沈黙を続ける神津島(838年)、新島(886年)や、活発な三宅島・伊豆大島、そして富士山が大噴火しており、地震との対応を考えると、むしろ、この時期に伊豆・小笠原海溝沿いの巨大地震はなかったのか?地震の見落としはないか?の疑問も生じさせる。三宅島・八丈島の東岸に津波堆積物の可能性を秘める隆起円礫層が見出されることは、今後精査に値するかもしれない。

伊豆諸島方面における最近の火山動向、即ち、約2500年ぶりにカルデラを生じた三宅島(2000年)、約565年ぶりに割れ目噴火を起こした伊豆大島(1986年)、連鎖的に小規模ながら海底割れ目噴火を起こした東伊豆(手石、1989年)、そして最近の西之島の噴火などは、伊豆小笠原海溝を境とする太平洋プレートのフィリピン海プレートへの圧縮、やがて巨大津波地震の前兆として捉えられないだろうか。南ほど沈み込みの角度が高く、津波地震発生確率は低いながらも、過去を精査しつつ推移を見守る必要があるのではなかろうか。日本・世界の地震・噴火史の関連を出来る限り紐解いてみたい。

キーワード：地震、火山噴火、自然史、火山地質

Keywords: earthquake, volcanic eruption, natural history, geology

白頭山2002年～2005年火山活動と2011年東北地方太平洋沖地震とは関係があるのか？

Is there any causality between the 2002-2005 volcanic activity of Baitoushan volcano and the 2011 Tohoku M9 earthquake?

*谷口 宏充¹

*Hiromitsu Taniguchi¹

1.東北大学東北アジア研究センター

1.Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

はじめに

2003年ごろ、中国や朝鮮からの連絡を受けて、白頭山で火山活動が活発化していることを知るようになった。国内外の協力を得て検討を進めたが、一つ気になることがあった。以前、869年の貞観地震と白頭山10世紀噴火との関連を耳にしたことが有る。無関係ではないと言うのだ。そのような中で3.11巨大地震が身近で発生した。そこで生まれたのは2002年～2005年の白頭山における火山活動と3.11巨大地震との関係、また、両者の過去はどうであったのかと言う疑問である。

日本、中国、朝鮮やロシアなど、広大な東北アジアにおける地震や噴火などの時間的な関係に焦点をあてた研究は少ない。しかし宇佐美（1974）は日本と朝鮮半島における有感地震を古文書に基づいて整理し、弱いながら両者の間には相関があることを示唆した。その中で最も明瞭な1700年頃には日本、朝鮮や中国でも史上最大規模の地震や富士山・白頭山での噴火が発生していた。

近年の白頭山噴火の歴史

町田（1981）による10世紀噴火に関する研究以降、東北アジアの研究者たちによって古文書や年代測定に基づき近年の噴火年代が報告された。“10世紀噴火”の年代についてはウイグルマッチング法や湖底堆積物などから940年前後の値（奥野他、2010など）が報告されている。また中国における噴出物の¹⁴C年代測定（Chichagov et. al., 1989）や地質調査（中川他、2004）に基づき、10世紀噴火の前860年頃に噴火（9世紀噴火）があったことが示されている。この噴火の火山灰は北海道森町においても発見されている（中川他、2012）。また10世紀以降の活動を調べるため、古文書に基づき確実だと思われる噴火年代を選び出した。その結果、最近の噴火は1373年、1597年、1702年、1898年、1903年の5回である。これらの内、1373年噴火は山麓からの玄武岩マグマによるものである。他の4回は外来水が関与した可能性の高い山頂噴火で、その内、1597年は規模が大きいが、残りのより新しい3回は極めて小規模な噴火と判断した。

日本の巨大地震と白頭山噴火活動との時代的相関

先に示した5回の噴火の内、1898年から一連と判断される1903年を除いた1373年、1597年、1702年と1898年の4回の活動について、日本における最近接巨大地震との時代的相関の検討を行った。どれだけ時間的に近接しているかを見るため、地震と噴火との前後関係は軽視した。その結果、年代差（噴火年代－地震年代）の平均値は1.3年、標準偏差は7.2年であり、3σでの年代差は - 20.4年～22.9年となった。東アジアで懸念された近い将来の白頭山噴火については、“日本における巨大地震と白頭山噴火との歴史経緯”、“最近のマグマ蓄積”、“日本と同じ広域応力場の変化”に基づき、可能性はあると判断した。もし2011年東北地方太平洋沖地震に関連して噴火が発生するならば、それは3σの確率で1991年～2034年となる。現実には今までに発生していないので、残りの2034年までが99%とした。しかしこの判断は、2002年からのマグマ性流体上昇による異常をどう評価するかで異なる。過去4回のケースと同じ時間関係は成立していたが、マグマ量が少ないなどの理由で噴火未遂に終わった、と考えるべきかも知れない。もう少し量が多かったら、最近3回と同じ小規模噴火になっていたのではないだろうか。この時間関係を869年の貞観地震にも適用すると、貞観地震に対応する白頭山噴火の年代は849年～892年であり、今まであまり知られていなかった“9世紀噴火”の存在とも調和的であった。

キーワード：白頭山、東北地方太平洋沖地震、時代相関関係

Keywords: Baitoushan volcano, 2011 Tohoku earthquake, Time correlation

東北日本弧、後期新生代カルデラ群の特徴

The characteristics of the Late Cenozoic calderas in the northeastern Japan arc

*吉田 武義¹、プリマ オキ²、工藤 健³

*Takeyoshi Yoshida¹, Oky Dickey A. Prima², Takeshi Kudo³

1.東北大学大学院理学研究科地学専攻、2.岩手県立大学ソフトウェア情報学部、3.中部大学工学部共通教育科
1.Institute of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Faculty of Soft, and Inf. Science, Iwate Prefectural University, 3.Department of Natural Science and Mathematics, Chubu University

The uplift of the present Ou Backbone Range began in the island-arc period at 10 Ma, and was associated with an increase of horizontal compression. Between 8 and 1.7 Ma, active felsic volcanism created more than 80 calderas associated with subordinate andesites to basalts in the northeastern Japan arc (Ito et al., 1989; Yamamoto, 1992; Sato and Yoshida, 1993; Sato, 1994; Yoshida et al., 1999; Prima et al., 2012). There are two peaks in caldera formation interrupted by a short period of dormancy at 5-4 Ma, which is related to a short transgression, and the number and size of collapse calderas decreased from the late Miocene to the Pliocene.

These late Cenozoic calderas have an average diameter of about 10 km and an average aspect ratio of 1.24 in diameter. They are divided into three groups related to their diameter size (about 5, 10 and over 14 km), and are mainly classified into piston-cylinder type with subordinate funnel type. The spatial and size distributions of calderas are comparable with those of the Cretaceous granitic plutons from the Kitakami Mountainland in northeast Honshu. The collapse of such calderas would have formed in a neutral to weakly compressive stress field (Sato and Yoshida, 1993; Sato, 1994), and this would have resulted in the rise of felsic magmas into the crust where large intra-crustal magma chambers were formed (Yoshida et al., 1993; Aizawa and Yoshida, 2000; Aizawa et al., 2006). It has been argued that the regional stress field controlled the volcanic activity in the northeast Japan arc (Sato and Yoshida, 1993; Yoshida et al., 1993, 1997, 1999, 2014; Acocella et al., 2008), and that basaltic magmas derived from the mantle wedge, underplated and stagnated near the Moho, which acts as a density barrier (e.g. Ryan, 1987; Takada, 1989). These magmas would then have fractionated, re-mobilized or re-melted from solidified mafic precursors or the pre-existing arc crust, to form the felsic magmas in the inland area of the northeast Japan arc, with a thick crust (Sato and Yoshida, 1993). Such an event is confirmed by the existence of large felsic effusives in the eastern margin of the back-arc basin rift system (Yamada et al., 2012). During the neutral stress condition between 13.5 and 10 Ma, the felsic magmas would have risen diapirically through the ductile lower crust owing to their buoyancy (Aizawa and Yoshida, 2000; Aizawa et al., 2006), and the mode of ascent would have changed in the brittle upper crust to dyke or sheet. An increase in the compressional stress field occurred between 10 and 8 Ma, and it is likely that this increase led to the formation of sills and laccolithic shallow reservoirs in the upper crust (Sato and Yoshida, 1993; Aizawa and Yoshida, 2000). The regional change in the stress field was, therefore, the major control of caldera-dominated volcanism with laccolithic shallow reservoirs that occurred in the earlier half of the island-arc period. Felsic magma at this level could then have intruded along subsurface low-angle thrust sheets, and it is possible that magma migration along the thrust sheets caused the uplift of the Ou Backbone Range (Sato and Yoshida, 1993; Sato, 1994; Yoshida et al., 1993, 2014).

The clockwise rotation of SW Honshu (Otofujii and Matsuda, 1983) and the collision with the Kuril forearc sliver (Kimura, 1986) caused an oblique (NE-SW trending) compression of the northeast Japan arc during the Miocene to Pliocene, and triggered felsic magmatism along the areas of localized

extension (Acocella et al., 2008). After about 5 Ma, the Pacific plate accelerated (Pollitz, 1986). Pollitz(1986) suggested that the change in Pacific plate motion introduced a large component of compression normal to the Japan trench. This strong ENE-WSW compression closed the caldera-feeding systems and favoured the development of stratovolcanoes with deeper magma plumbing systems directly connected to the basaltic mantle source region.

キーワード：後期新生代カルデラ群、東北日本弧、珪長質火山活動

Keywords: Late Cenozoic calderas, northeastern Japan arc, felsic volcanism

雲仙火山1991-1995年噴出物中の苦鉄質包有物の鉱物化学組成の多様性の起源とマグマ供給系
Variation of mineral chemistry of mafic inclusions in the 1991-1995 dacite of Unzen volcano: variable degree of annealing of microlites in low temperature stagnant magma reservoir and its implications for the magma plumbing system

*佐藤 博明¹、ホルツ フランソワ²、ボツチャルニコフ ローマン²、中田 節也³、ベーレンス ハラルド²
*Hiroaki Sato¹, Francois Holtz², Roman Botcharnikov², Setsuya Nakada³, Harald Behrens²

1.神戸大学、2.ハノーバー大学、3.東京大学地震研究所
1.Kobe Univ., 2.Hannover Univ., 3.Univ. Tokyo, ERI

Mafic inclusions in the 1991-1995 dacite of Unzen volcano show chemical and textural variability, such that bulk SiO₂ contents range from 52 to 62 wt.% and fine to coarse microlite textures. In this paper we show variations of mineral chemistry of hornblende and plagioclase and classify the mafic inclusions into type-I, type-II and type-III; i.e., type-I includes high-Mg plagioclase and low-Cl hornblende as microlites, and type-III includes low-Mg plagioclase and high-Cl hornblende, and type-II has intermediate mineral chemistry. Type-I mafic inclusions tend to show finer-grained in the matrix, have slightly higher bulk rock SiO₂ contents (56-60 wt%), compared with the type-III mafic inclusions (SiO₂=53-59 wt%), but overall bulk rock compositions are similar to the basalt-dacite eruption products of Quaternary monogenetic volcanoes around Unzen volcano. The origin of the variation of mineral chemistry in mafic inclusions is interpreted to reflect the different degree of diffusion relaxation of minerals in low temperature dacitic magma reservoir; i.e., older intrusion produced mafic inclusions, whose constituent minerals were subsequently annealed at low-temperature to be in equilibrium with the rhyolitic melt (type-III), whereas the latest intrusion retained high-temperature mineral chemistry corresponding to those of the type-I mafic inclusions. Mg contents of plagioclase are modeled in terms of temperature and X(An) for hydrous Unzen magma, suggesting that plagioclase microlite in type-III initially crystallized at high temperature subsequently reequilibrated in low temperature stagnant magma reservoir. Compositional profiles of MgO in plagioclase suggest that older mafic inclusions spent at least several hundred years for annealing at ca. 800°C in the stagnant magma reservoir before incorporation into mixed dacite of the 1991-1995 eruption of Unzen volcano. A magma plumbing system that afforded variably annealed mafic inclusions in 1991-1995 dacite of Unzen volcano is discussed and illustrated.

キーワード：雲仙火山、苦鉄質包有物、マグマ供給系

Keywords: Unzen volcano, mafic inclusions, magma plumbing system

岩石学的に見た伊豆大島火山のマグマ供給系

Petrological constraints on magma plumbing system beneath Izu-Oshima volcano

*浜田 盛久¹*Morihisa Hamada¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構地球内部物質循環研究分野

1. Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

[はじめに]

伊豆大島火山は、伊豆弧の火山フロント上の活火山である。伊豆大島火山の噴出物の層序は3つに大別され、40,000年よりも古い噴出物から成る泉津層群、40,000~1,500年前（カルデラ形成時）までの噴出物から成る古期大島層群、それ以降現在までの噴出物から成る新期大島層群である。新期の伊豆大島火山においては、18世紀までは噴出量が数億トン規模の噴火がおよそ100年から150年に1回の割合で12回起こった。これらのうち、巨大地震と密接な関係があると考えられている噴火は、838年ごろから886年ごろにかけての9世紀の約50年間に相次いで起こった3回の噴火である（津久井ほか, 2008）。19世紀以降は、噴火量が数千万トン以下という、従来よりも規模が一桁以上小さい噴火が30年から40年に1回の割合で起こっている。このサイクルに従えば、直近の噴火である1986~1987年噴火から既に30年が経過しているため、近い将来、再び噴火する可能性が高まっている。ただし、その噴火が、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震が引き金となって噴火することになるのかどうかは不明である。本講演では、伊豆大島火山の火山岩の岩石学的研究から、伊豆大島火山のマグマ供給系についてどこまで分かっているかを概説し、近い将来に予測される噴火に備えるための基礎的な情報を整理する。

[伊豆大島火山のメルト組成のバリエーション]

伊豆大島火山の噴出物には、高Al/Siトレンドと低Al/Siトレンドを見出すことができ、火山岩の組成バリエーションはこれら2つのトレンドの間にある。このことから、液は、高Al/Siトレンド上の液と低Al/Siトレンド上の液の混合物であるか、高Al/Siトレンドを導く結晶分化作用の条件と低Al/Siトレンドを導く結晶分化作用の条件の中間的な条件下で導かれたか、のいずれかであると考えられる(Hamada et al., 2014)。実験的研究(Hamada and Fujii, 2008)に基づくと、高Al/Siトレンドは~3 wt% H₂Oを含む未分化メルトの、低Al/Siトレンドはほとんど無水の未分化メルトの結晶分化作用として説明することが可能である。

[伊豆大島火山のマグマの含水融解実験]

伊豆大島火山の火山岩をはじめとする島弧ソレアイトは、しばしば、Caに富む斜長石 (An>90, ただしリムはAn~75) を斑晶にもつ。Hamada and Fujii (2007)は、伊豆大島火山の比較的未分化な2種類のマグマ (MA43とMA44, MgO~5 wt%) の含水融解実験 (1~6 wt% H₂O) を行い、晶出する斜長石の組成に及ぼすメルトの組成と含水量の効果を調べた。MA43は高Al/Siトレンド上の比較的未分化な液組成であり、MA44は低Al/Siトレンド上の比較的未分化な液組成を代表する。MA43試料を含水融解したところ、1~6 wt% H₂Oの条件下で斜長石がリキダス相であり、含水量の増加に伴って、斜長石の晶出温度が低下する結果が得られた。斜長石の組成は、無水に近い条件下ではAn80であったが、含水量の増加に伴ってCaに富むようになり、メルトの含水量>3 wt%ではAn>90であった。MA44試料を含水融解したところ、低含水量 (<2 wt%) 下では斜長石がリキダス相であったが、さらに含水量が増加すると単斜輝石がリキダス相として晶出した。斜長石の組成は、無水に近い条件下ではAn70であり、含水量の増加に伴ってCaに富むが、メルトの含水量が~4 wt% H₂OでAn80に留まった。すなわち、Caに富む斜長石 (An>90) は、高Al/Siトレンド上の液からはメルトの含水量>3 wt%で晶出できるが、低Al/Siトレンド上の液からは、含水量に関わらず晶出できない。一方、Caに乏しい斜長石リム (An~75) は、高Al/Siトレンド上の液からは晶出できないが、低Al/Siトレンド上の液からは晶出できる。従って、Caに富む斜長石は、高Al/Siトレンド上の液から晶出した後に低Al/Siトレンド上の液に取り込まれたものと考えられる。

[結論]

伊豆大島火山の液組成には、高Al/Siトレンドと低Al/Siトレンドを見出すことができ、火山岩の組成バリエーションはこれら2つのトレンドの間にある。高Al/Siトレンドは3 wt% H₂Oを含む未分化メルトが、低Al/Siトレンドはほぼ無水の未分化メルトが結晶分化作用を行うことによって導くことが出来る。地下4 kmの深

度にあるマグマ溜まり（含水量～3 wt%）から地表付近（ほぼ無水メルト）に至るまでの火道中で、メルトは H_2O に飽和しており、深度に応じて含水量の異なる条件下でそれぞれ結晶分化作用が同時進行していると考えれば、伊豆大島火山のマグマ供給系を岩石学的に説明することができる。

キーワード：伊豆大島火山、マグマ供給系、実験岩石学

Keywords: Izu-Oshima volcano, Magma plumbing system, Experimental petrology

富士火山のマグマ溜りと深部構造

Deep Structure of Fuji volcano

*高橋 栄一¹、中島 淳一¹*Eiichi Takahashi¹, Junichi Nakajima¹

1.東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻

1.Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

2011年3月11日に起きた巨大地震の影響で日本列島の火山の多くが活動を再開する準備段階にあると推察される。比較的速やかに活動を開始する玄武岩質火山がある一方、数10年かけてマグマ溜りの温度を上げ大規模な噴火を起こす珪長質マグマの火山もあるだろう。来るべき火山活動の活性化過程を読み解くためには我々は火山の深部構造とそのダイナミクスに関する理解をそれぞれの火山について高めることが何より重要であると考えられる。

火山活動史と噴出物の岩石学的研究を結びつけることにより火山のマグマ溜りについてある程度の推定を行うことが可能である。マグマ溜りの時間発展をも推定できる場合がある(例:有珠火山に関する東宮の一連の研究など)。しかしながら、島弧成層火山においては斑晶鉱物の示すマグマ溜りの位置は地殻浅部(深さ3~10 km)がほとんどで地震学トモグラフィーから推定される下部地殻の巨大なマグマ溜りの情報を得ることは極めて困難である。

富士火山はプレート境界に位置する巨大な成層火山で火道がフィリピン海プレートとユーラシアプレートをまたぐ位置に存在するという意味で世界的見ても極めてユニークな存在である。宝永噴火の噴出物を実験岩石学的に研究した結果、噴火前の玄武岩マグマは深さ25 kmの下部地殻マグマだまりに位置したことが判明した(浅野ほか、2012年火山学会)。この講演では富士火山の深部構造を地震トモグラフィー、実験岩石学、富士火山活動史から検討し、富士火山の噴火とテクトニクスの関係を考察する。

キーワード: 富士火山、プレート境界、深部構造

Keywords: Fuji volcano, plate boundary, deep structure