

研究紹介

富士宮地質図幅による富士火山研究計画

高田 亮¹ 山元孝広² 宮地直道³

Akira TAKADA, Takahiro YAMAMOTO and Naomichi MIYAJI (2000) A review: Project of Fuji volcano using quadrangle mapping of Fujinomiya. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (9), p. 451-457, 4 figs.

Abstract: Fuji volcano has developed on a collision zone, so that the tectonic boundary conditions are important for the evolution of its volcano. Generally, a volcano more than 100 km³ accumulates excess stress generated by dike intrusions, and increases in gravitational instability. The volcano starts to acquire a stress relaxation system. Fuji volcano has evolved into this stage. If the stress relaxation system does not work well, the volcano accumulates magma beneath it, and results in a large-volume eruption. Unlike the normal, polygenetic, basaltic volcanoes, Fuji volcano has commenced eruptions more than 1 km³. After fissure eruption sites had converged toward the summit with oscillation during the period of 0-A.D. 1000, the central eruption phase had started. A question remains whether the 1707 Hoei eruption means a start of flank eruption phase or just a fluctuation in the central eruption phase. It is an important problem how to release the accumulated stress in the case of Fuji volcano. We propose plans for a study of Fuji volcano using quadrangle mapping of Fujinomiya. (1) We will make clear the stratigraphy of lava flows from the Younger Fuji volcano in the Fujinomiya area in detail. (2) We will study the mode of emplacement of deposits from the Older Fuji volcano. (3) We will evaluate the degree of stress coupling between the volcanic activity of Fuji volcano and tectonic stress change such as the activity of the Fujigawa faults system.

要 旨

富士火山は衝突地域に発達しているため、マグマ供給系の境界条件の時間変化は、富士火山の今後の進化に重要な意味をもつ。一般に火山体積が100km³を超えると、山体内部の応力の蓄積量が大きくなり、重力不安定も大きくなり、山体はその応力を緩和するシステムを獲得しはじめる。富士火山はこの条件が整っている。応力緩和のシステムが機能しなくなると、マグマ蓄積が進み大規模噴火へ到る可能性もあり注意が必要である。富士火山は、一般の玄武岩質複成火山と違って、「最大噴火規模」が1 km³を超える噴火をある時期起こしているのも特徴である。富士火山では、西暦0年-1000年の期間、噴火割れ目位置は山麓から山頂付近に移動した。西暦約1000年からは中心噴火卓越の時代である。宝永の噴火は、割れ目噴火の時代の始まりなのか、中心噴火の時代の揺らぎなのだろうか。現在山体内に岩脈によって蓄積され

ているはずの余剰応力の緩和過程が重要な問題である。上記の問題点を含めて富士火山研究の課題を、富士宮図幅を利用して解決するための戦略を解説する。(1)富士宮地域に広く分布する新富士火山の溶岩流について、高精度で噴火履歴を復元すること、(2)富士宮地域に広く分布する古富士の堆積物を少しでも明らかにすること、(3)火山応力変動史と富士川断層系を含むフィリピン海プレート収束域周辺の断層活動史との関連性の程度を明確にすること、が重要な課題である。

1. はじめに

相模湾では、フィリピン海プレートが本州弧のユーラシアプレートに沈み込み、箱根火山-富士火山周辺では、伊豆半島を含むフィリピン海プレートがユーラシアプレートに衝突していると考えられている (Yamazaki, 1992 など)。富士火山のマグマ供給系はフィリピン海プレート内に発達し、火山体は2プレートの衝突地域に成長している。富士山南西麓には、日本でも指折りの変位

¹ 地質調査所環境地質部 (Environmental Geology Department, GSJ)

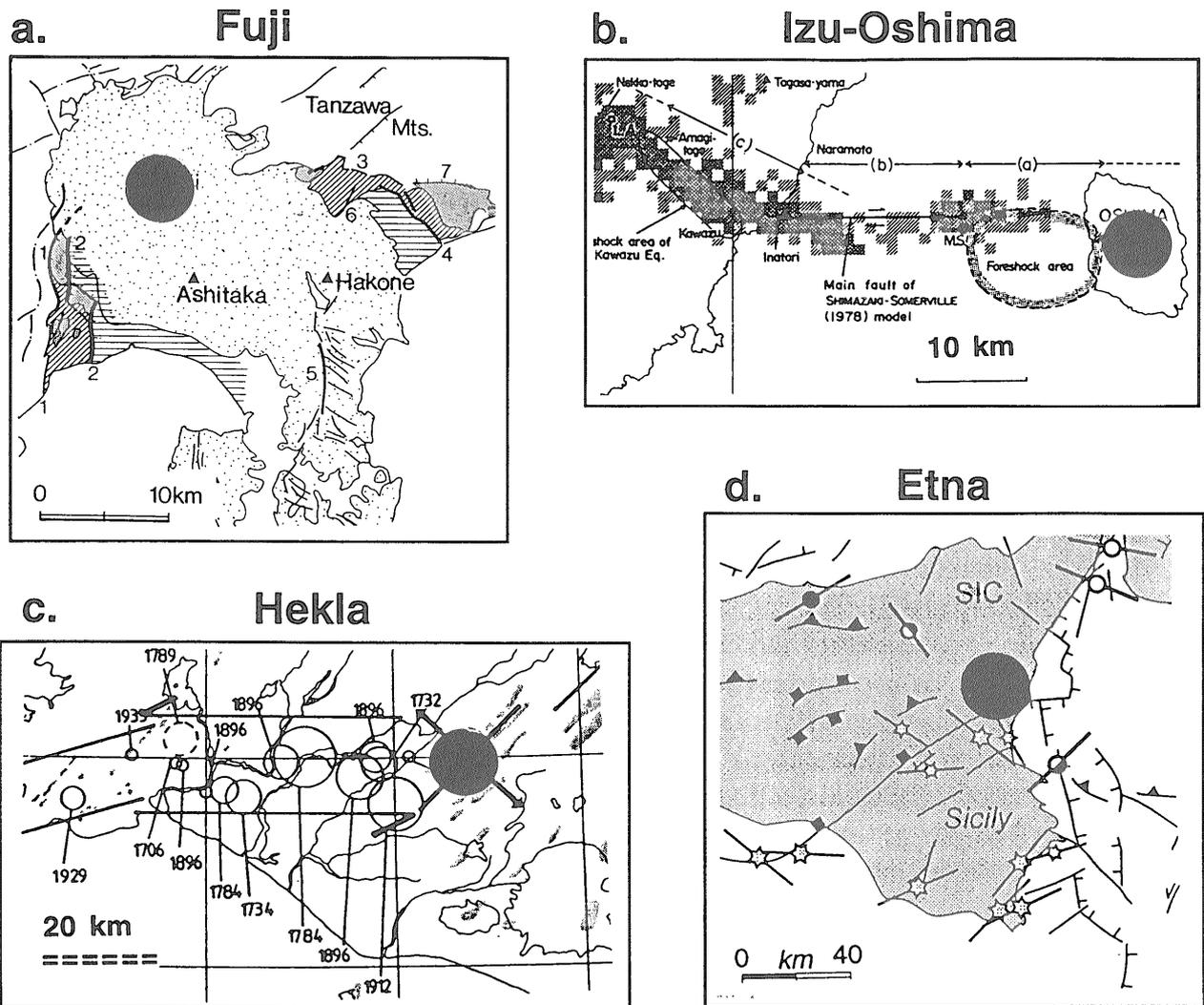
² 地質調査所地質部 (Geology Department, GSJ)

³ 静岡県農業試験場 (Shizuoka Prefectural Agricultural Experiment Station)

Keywords: Fujinomiya, Fuji volcano, Fujigawa faults system, basaltic volcano, lava flow, fissure eruption

量を誇る富士川断層系が活動してる(第1図a)。富士火山は、約10万年にわたって玄武岩質マグマの活動が続き、火山体規模が400km³に及んでいる日本で最大級の成層火山である。プリニアン噴火などの爆発的噴火を頻繁に起こす特徴もある。富士山周辺は、火山とともに断層活動でも第一級の活動地域である。本論では、前半に玄武岩質火山の成長史からみた富士火山の進化過程の位置づ

けを行い、富士火山の中長期応力変動史の概略と問題点を指摘する。後半は、富士火山研究の課題を上記の問題点を含めて、富士宮図幅を利用して解決するための戦略を解説する。富士宮図幅の研究プロジェクト(平成11-15年)は、観測強化地域に指定されている南関東・東海地域の地域地質の基礎情報を提供するために行われている。本地域の活断層・活構造等の地震テクトニクスを理



第1図 火山(黒丸)と周辺の活動的断層系の例。a:富士火山と富士川と断層系(数字の1, 2)(Yamazaki,1992)。b:伊豆大島火山と1978地震(右横ずれ; M=7.0)の震源分布図(津村ほか, 1978)。地震は伊豆大島西部から始まったと推定されている。1986年の噴火では、約560年ぶりにカルデラの外にも割れ目噴火が発生した(Takada, 1997)。c: Hekla火山と南アイスランドサイズミックゾーン(SISZ)(Iceland南部)(Stefansson and Halldorsson, 1988)。全体としては左横ずれのSISZでは、M=7クラスの地震が頻発している。図の数字は地震発生前の時間変化とよい相関がある(Takada, 1997)。d: Etna火山と周辺の断層系(Sicily島, Italy)(Montone *et al.*, 1999)。Etna火山東部の正断層系や南部の横ずれ断層系の活動(M>7)の地震が活発で、割れ目噴火位置の時間変化とよい相関がある(Takada, 1997)。

Fig. 1 Examples of active volcanoes (solid circle) and adjacent active faults. a: Fuji volcano and Fujigawa faults system (1, 2) (Yamazaki, 1992). b: Izu-Oshima volcano and 1978 earthquake swarm (right-lateral slip fault; M=7.0) (Tsumura *et al.*, 1978). c: Hekla volcano and South Iceland Seismic Zone (SISZ) (left-lateral slip faults; Max M=7.0) (Stefansson and Halldorsson, 1988). d: Etna volcano and adjacent normal faults east of the volcano, and strike-slip faults south of the volcano (Max M>7) (Montone *et al.*, 1999). The time-space relations between eruption sites and adjacent earthquakes are discussed on the time series diagrams of Takada (1997).

解するためには、富士山を含めた活火山と地震活動との関連も重要な項目の一つである。

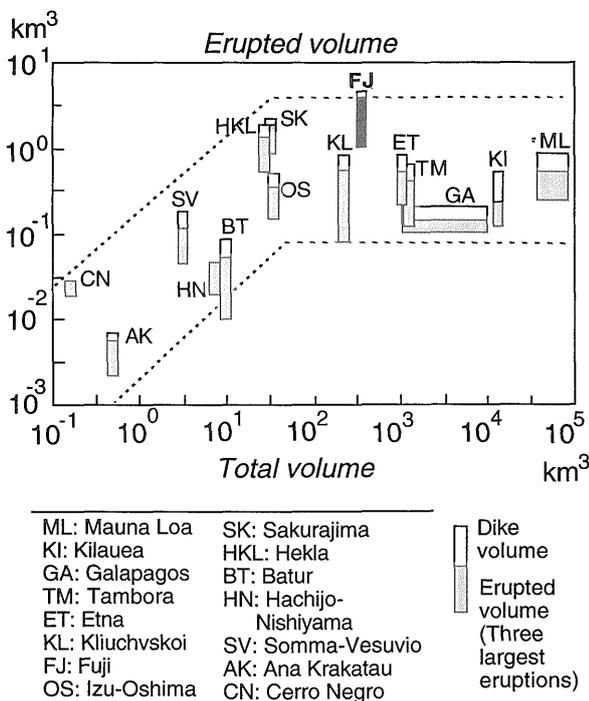
2. 玄武岩質火山の成長史からみた富士火山

世界の玄武岩質の複成火山と単成火山は、地殻応力とマグマの供給量という2つの境界条件で分類できる (Takada, 1994)。富士火山では、伊豆大島火山や東伊豆単成火山群より地殻の引張が小さくマグマ供給率がより大きい。もし、富士火山で地殻応力がより引張に、またはマグマ供給率が減少すれば、富士火山は単成火山になる可能性もある。富士火山は衝突地域に発達しているので、マグマ供給系の境界条件は安定しない可能性もあり、境界条件の時間変化は、富士火山の今後の進化に重要な意味を持つことになる。

第2図は、噴火規模を縦軸に、火山体積を横軸に両対数プロットしたものである (高田, 2000)。単成火山群

の噴火規模は火山体積に関係ないが、複成火山の噴火規模は火山体積の影響を受ける。ただし、この関係は玄武岩質マグマの噴火にのみ適応できる。火山の年齢の1割程度の最近の期間では、一回の噴火の最大噴出量「最大噴火規模」は、火山体積が100km³以下の場合、単調に増加する。Ana Krakatau 火山 (Indonesia) や Cerro Negro 火山 (Nicaragua) のような幼年期の火山では、噴出量や噴出間隔が小さい。火山体成長とともに、山体内部の応力の蓄積量が増大し、噴火リズムの強弱が大きくなり、「最大噴火規模」も年齢とともに増加する。火山体が100km³前後に成長すると、山体内部の応力の蓄積量が大きくなり、山体はその応力を緩和するシステムを獲得しはじめる。山体崩壊や火山体内及び近傍での断層活動が活発となる。伊豆大島火山や Hekla 火山 (第1図 b, c) はこれに相当する。火山体積が1000km³を超えると、「最大噴火規模」は0.1-1km³の範囲におさまる。応力蓄積と応力緩和のシステムが安定するためである。Etna 火山 (第1図 d) はこの例に相当する。

火山成長の典型的な例が、火山成長を束縛するものが周辺にない Hawaii などの海洋島の火山である。自分自身が山体崩壊を起し、また、断層系により山体は破壊し、蓄積された応力は緩和していく。火山周辺のテクトニックな断層系を利用して、蓄積された応力を開放していると思われる火山もある (第1図 b, c, d)。例えば、幅1mの岩脈が100年に一回貫入したとすると、1万年で合計100枚岩脈が貫入し合計100m火山は拡大しなくてはならない。岩脈貫入による余剰応力は、岩脈の水平規模程度の範囲では減衰が少ない。マグマ供給系や山体の水平規模は10kmから50kmに及ぶ。よって、これと同等の範囲に岩脈拡大に相当する十分な応力・歪をもたらすことになる。伊豆大島では、西側に横ずれ断層系があり、割れ目噴火の頻度を制御しているかもしれない (Takada, 1997)。1978年の地震は伊豆大島西部から始まったと推定されている。1986年の噴火では、約560年ぶりにカルデラの外にも割れ目噴火が発生した。Hekla 火山では、その西側に全体としては左横ずれの南アイスランドサイズミックゾーン (SISZ) が発達しており、M=7クラスの地震が頻発している。1912年の地震により地殻応力が開放されると、1913年の噴火では遠方まで岩脈が貫入した (Takada, 1997)。Etna 火山では、その東側の正断層群や、南側の横ずれ断層系が火山体拡大に活用されていると思われる。島弧の火山は、火山成長を束縛するのが存在するために、火山の寿命以前に成長の限界が来ることがある。応力緩和のシステムが機能なくなると、Tambora 火山 (Indonesia) のように、マグマ蓄積が進み大規模噴火へ到る可能性がある (Takada *et al.*, 2000)。また、マグマ供給系周辺の地殻の温度上昇により、地殻の再溶融が進む可能性もある。火山成長に伴い噴火現象やマグマ供給系の構造が複雑化し、二次-三次構造



第2図 最大噴出量一成長量図 (高田, 2000)。縦軸では、火山の年齢の1割程度の最近の期間で、一回の噴火の最大噴出量「最大噴火規模」を、横軸では、火山の成長度を示す火山体積を示している。灰色ないし黒の縦棒は上位3噴火の「最大噴火規模」の範囲である。白の縦棒は、推定された岩脈の貫入量である。

Fig. 2 Variation in the maximum erupted volume with volcano growth (Takada, 2000). The horizontal axis represents the range of erupted volumes of the three largest eruptions during the last 10% of the volcano life (shaded bar), and range of estimated dike volumes (open bar), respectively.

が現れてくる。

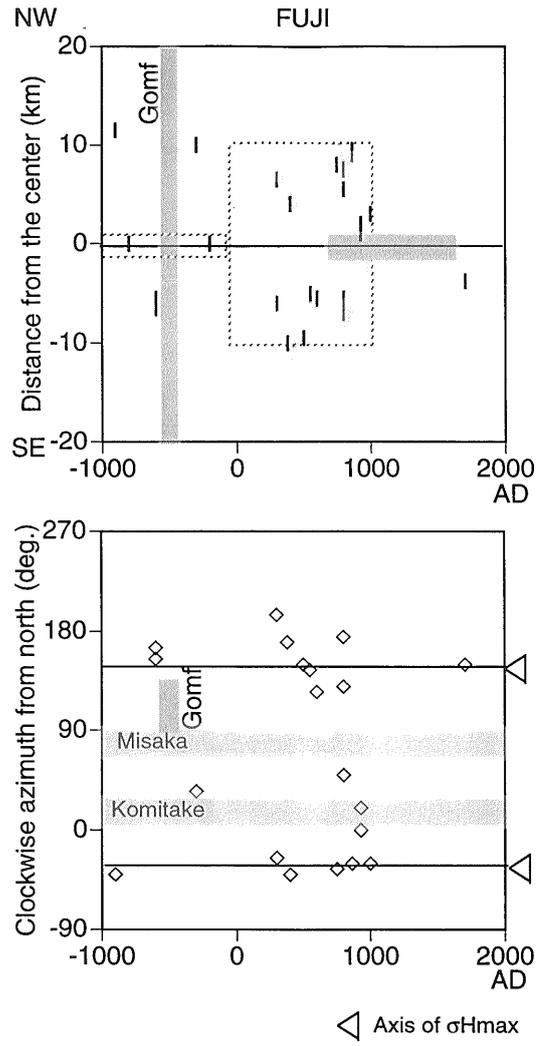
エトナ火山, クリチェフスコイ火山やハワイの火山と比べると, 富士火山は「最大噴火規模」が 1km^3 を超え例外的部類にはいる(第2図)。山体体積も 400km^3 で, 重力不安定も起こっていると思われるし, 岩脈貫入による応力も蓄積されているはずである。富士火山の成長史のうちで大部分を占める古富士には, これらの富士火山の進化の謎が隠されている。富士山の南西側に発達している富士川断層系, 富士火山の成長にどう貢献しているのだろうか。

3. 富士火山の中長期応力変動

割れ目噴火位置が時間変化することを利用して, 火山の応力変動史を読み取る試みがなされている(Takada, 1997)。側噴火の位置は山頂に移動し山頂噴火の時代が続き, 火山体内かその周辺で断層活動などの応力緩和により, 再び側噴火が始まる。このような中心噴火と側噴火を10-1000年程度の時間間隔で繰り返す規則性のある火山がある一方, 噴火位置を不規則に変える火山も存在する。これらは境界条件により様々なパターンが現れる。これに応じてマグマの供給量や噴出量も変動する(Takada, 1999)。しかし, 応力緩和機構が働くと, マグマ上昇は抑制されマグマ溜りにマグマが蓄積される結果となる。第3図(高田, 2000)は, 富士火山で既存データ(宮地, 1988; 都司, 1992; 上杉, 1993)をもとに作成した最近3000年間の割れ目噴火の時系列図である。割れ目噴火位置を火山中心からの距離で表現した上図は, 縦軸の正の領域が北西側山腹を, 負の領域が南東側を示している。割れ目噴火位置を北を0度として時計回りの方位で表現したのが下図である。火山体内に岩脈貫入による余剰応力が蓄積されていない場合は, 噴火割れ目は広域応力場で期待される方位で起こる(第3図で三角形をつけた直線)。御坂山地や小御岳のような古い基盤や火山では, 新しい岩脈は一般に避けて貫入する傾向があるので(Takada, 1997), 火山体の特定の方向だけに非対称な噴火割れ目も生ずるので注意を要する。

紀元前1000年からの約1000年間中心噴火が卓越したが, 例外的に遠方の割れ目噴火があった(大室山など)(宮地, 1988)。山体中心付近では応力緩和が十分進んでいないため, 中心を大きく避けて遠方にマグマが貫入した場合と, 中心噴火で蓄えられた溶岩湖のマグマが地下に逆流し遠方まで貫入した場合が考えられる。中心噴火卓越期に後者が原因で山麓の割れ目噴火が起こる例は, Kilauea 火山で1840-1960年間に数例観測されている。御殿場泥流(Gomf)はこの時期に発生した(宮地, 1988)。

西暦0年-1000年の期間, 噴火割れ目位置は振動しながら山頂付近に収束した。富士火山では, 宝永火口壁に露出する山頂を向く走行をもつ岩脈群や, 山頂周辺には多



After Takada(1997), compiling data from Miyaji (1988), Uesugi (1993), and Tsuji (1992)

第3図 富士火山の噴火位置時系列図(高田, 2000)。Takada(1997)を簡略化してある。基礎データは, 宮地(1988), 都司(1992), 上杉(1993)による。上図は, 割れ目噴火位置を火山中心からの距離で表現した図。縦軸の正の領域は北西側山腹を, 負の領域は南東側を表している。下図は, 割れ目噴火位置を火山中心に時計回りの方位で表現したもの。Gomfは御殿場泥流の時期(上図)とその方位(下図)を表す。

Fig. 3 Time-series diagrams for eruption sites of Fuji volcano, representing the distance of eruption sites from the summit (upper) and clockwise azimuth from the north (lower) (After Takada (1997)). Positive values of distance from the summit are on the north-western flank; negative values are on the southeastern flank. Rectangle surrounded with dotted lines represents positions where a major part of eruptions occurred. Gomf: Gotenba debris avalanche. Light gray areas represents the azimuths of the Misaka mountain and Komitake volcano, which are far older than Fuji volcano. Data compiled from Tsuya (1968), Miyaji (1988), and Uesugi (1993).

くの放射状岩脈群が観察されている(津屋, 1968)。北西側と南東側が交互に側噴火して、時間とともに噴火位置が中心に近づくのが理想的モデルであるが、現実はもっと複雑である。約西暦1000年頃の噴火割れ目の方位は、北西から北側—北東側へ移動している。西北西2500m付近にも割れ目噴火が起こった可能性も指摘されている(小山, 1998)。火山体での応力蓄積が示唆される。約西暦1000年からは中心噴火卓越の時代である。

宝永の噴火は、割れ目噴火の時代の始まりなのか、中心噴火の時代の揺らぎなのだろうか。珪長質マグマの活動も伴い富士火山としては例外的である。いづれにしても1000年前の割れ目噴火以後、山体内には岩脈による余剰応力が蓄積されているはずである。これが1000年間で自然に緩和されるのか、断層や山体崩壊などでカタルフィックに起こりうるのか重要な課題である。

4. 富士宮図幅を利用した富士火山研究の課題

4.1 新富士火山の定量的な活動史を構築

富士宮地域には、1万年前後の多量の溶岩流が存在し、津屋(1968; 1971)によりそれらの分布や岩石学的記載がまとめられている。最近では、小川(1986)により、溶岩流の分布の再調査が進められている。しかし、本地域は風上側に当たり、広域火山灰や富士火山の火山灰は数少なく、テフクロロジーの手法適用には限界がある。宮地(1988)によれば、新富士火山の旧期には、富士火山は目立ったテフラ噴火をしていないにもかかわらず、短期間の間に多量の溶岩噴出をおこしたとされている。一回の噴火の噴出量も1 km³をこえるものが報告されている。これは、前述したように第2図からするとともに大きく異常な値である。新富士旧期はマグマ供給量が平均値より高かった可能性もある。しかし、各溶岩流の噴出時期や噴出量などの定量的データは得られていないし、活動様式なども明らかにされていない。炭素同位体法による多量の年代測定が必要である。新しい溶岩流に覆われた地域では、層序確立と噴出量を推定するための溶岩流の厚さ測定には、ボーリングコアの解析は欠くことのできないものである。既存のボーリングコアを利用して層序学的研究(宮地ほか, 1998)や岩石学的研究(富樫ほか, 1997)もおこなわれた。これらの試料は、地質調査のための試錐でなく地球物観測のための試錐であったため、ボーリングコアの回収率が65%前後と高くない問題があった。

本研究で、富士山麓標高約950m地点に平成11年度に行われた深さ150mの試錐(GS-FJM-1)では、平均で86%の回収率を確保できた。しかも、土壌や泥流堆積物などの未固結堆積物も連続サンプルを得ることができた。約1万年間の連続セクションが得られたと推定している。結果は現在解析中である。平成12年度には、前年

度よりさらに山麓部で試錐の予定である。地表調査により得られた溶岩の分布や多くの年代測定値をもとに、約1万年より新しい富士火山の活動史が構築されつつある。以上の研究で得られた富士火山の定量的層序は、富士川断層系の活動度評価のためにも有効に利用できる。

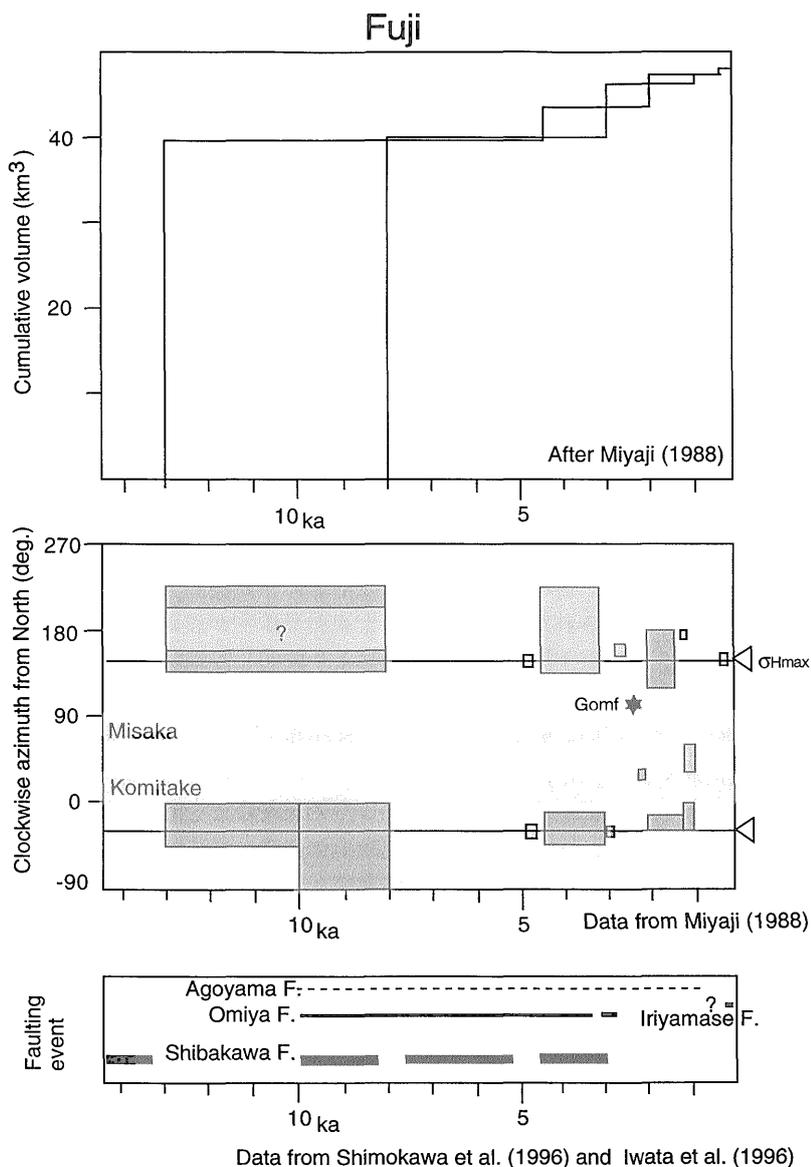
4.2 古富士火山の火山活動様式

古富士火山の層序は、テフクロロジーの手法により、富士東麓ないし東方で行われた(町田, 1964a, b; 上杉, 1990)。これらにより約10万年前から富士火山が活動を始めたと推定されている(町田, 1964a, b)。しかし、一般成層火山では、山体形成や崩壊を繰り返して火山体は成長していると考えられている。降下火砕物の情報だけでは、火山の成長史は解けない。古富士火山の堆積物の分布は、大部分が山麓に限られている。そのなかでは、富士宮地域は、古富士の溶岩流が露出していること、解析された沢沿いに古富士泥流堆積物が連続露出すること、富士川断層系の活動により隆起した地域により古い古富士泥流堆積物が露出していることから、古富士火山の火山活動復元には最も条件が良い地域である。約1万年以前は、氷期に入っておりこれらの特徴的な堆積物が山麓に期待される。しかし、これだけでなく、山体形成に関わった複数の溶岩流や山体崩壊の堆積物がこの地域には残存していてもよいはずである。本研究は、このような視点からも、富士火山を眺め直したい。富士宮地域は、砂防ダム工事も進んでおり、これらの新鮮な大露頭を利用して、現在、古富士の堆積物の解析が進んでる。

4.3 富士火山応力変動史復元

新富士火山の定量的な活動史を構築し、側噴火の時期もできるだけ明らかにしなくてはならない。側噴火位置にも重要な意味がある。例えば、富士宮地域は富士火山の南西麓に位置し、広域応力場から期待される北西—南東の噴火割れ目群のトレンドからは外れる。しかし、すでに数回の側噴火が報告されている(津屋, 1968; 1971)(第3図)。これは火山体の局所応力が大きくなった特殊な場合に起こる可能性がある。南西麓の噴火口列を検討すると、富士火山の山頂方向を向いているので、広域応力場に支配された平行なトレンドをもつ単成火山ではありえない。

第3図によれば、富士火山は山体体積が約400km³あり、応力を緩和する仕組みが働いているべきであるが、今のところ山体内に大規模な断層系は見つかっていない。御殿場泥流を除くと大規模な山体崩壊も報告されていない。また、後述する富士側断層系にも距離が近く、この断層とのカップリングの興味が持たれる(第1図a)。第4図では、これまでに報告された富士川断層系の活動履歴(Yamazaki, 1992; 下川ほか, 1996; 岩田ほか, 1996)と富士火山の活動史を比較している。両者の関係



第4図 富士火山の活動と富士川断層系の活動との関係。積算の噴出量図(上)(宮地(1988)を一部改編)。割れ目噴火位置の方位図(中)(基礎データは宮地(1988)による)。断層活動図(下)(基礎データは下川ほか(1996)、岩田ほか(1996)による)。富士火山の活動と富士川断層系の活動ともに、比較のためにはより高精度のデータが今後必要である。

Fig. 4 Cumulative erupted volume of Fuji volcano (upper), time series diagram for the eruption sites representing clockwise azimuth from north (middle), and time series diagram of activity of Fujigawa faults system activity (lower). The other explanations are the same as those in Fig. 3. Date from Miyaji (1988), Shimokawa *et al.* (1996), and Iwata *et al.* (1996).

を議論するためにはより精度のよい地質調査が期待される。もし、本当に、緩和するシステムがないのなら、火山の長期成長の一般的な歴史から眺めると(第2図)、将来大規模な崩壊や、断層系の発達が起こりうるといえるであろう。また、緩和機構が働くなると、後述するような割れ目噴火の時間変化を伴いながら、マグマ噴出が制御されてマグマ溜りにマグマが蓄積し大規模噴火に到たるストーリーも考えられる。

1707の宝永噴火は1707年11月23日に始まったが、それに先立つこと49日前の10月4日には宝永地震(M=8.4)が起こっている。この2つの事件の隣接性は、噴火と地震の関連について多くの議論を起している。富士川断層系だけでなく広範の断層運動と噴火の力学的関係なども残された問題である。

5. ま と め

富士宮図幅を利用した富士火山研究の課題は、富士火山や富士川断層系の活動の将来予測に重要な意味を持っている。新富士火山の定量的な層序は、富士火山の中長期の将来予測だけでなく、富士川断層系の履歴復元のための基礎データを与えるものである。長期の火山活動史からみると火山は重力不安定であり、山体内には岩脈貫入による応力蓄積が進んでいる。いかにこの不安定が解消されているのか、いかにこの応力が緩和されているの重要なポイントである。古富士の堆積物の研究も重要である。富士側断層系とのカップリングにも興味を持たれる。富士火山の岩石学的研究からのマグマ供給系のモデル化が進んでいるが(富樫ほか, 1991; 高橋ほか, 1991), 本研究で得られた成果は、これらのマグマ供給系の復元にも大いに貢献すると思われる。伊豆弧の衝突と沈み込みが起こりつつある不安定なテクトニクスにおかれてい

る富士火山は、マグマの供給率や地殻応力も変化する可能性があり、様々な視点でのテクトニックなモデルをたてながら監視が必要であろう。

文 献

- 岩田孝仁・小澤邦雄・稲葉晴伸 (1996) 富士川河口断層帯, 入山断層系に関する調査. 平成7年度・平成8年度地震調査研究交付金成果報告会予稿集, 科技庁, 219-223.
- 小山真人 (1998) 歴史時代の富士山噴火史の再検討. 火山, **43**, 323-347.
- 町田 洋 (1964a) Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史(その1). 地学雑誌, **73**, 298-308.
- 町田 洋 (1964b) Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史(その2). 地学雑誌, **73**, 337-350.
- 宮地直道 (1988) 新富士火山の活動史. 地質学雑誌, **94**, 433-452.
- 宮地直道・安井真也・角田明郷・富樫茂子・遠藤邦彦・鶴川元雄 (1998) 富士火山吉原観測井のボーリングコアの層序と岩石学的特徴. 防災科学研究報告, **58**, 105-120.
- Montone, P., Amato, A., and Pondrelli, S. (1999) Active stress map of Italy. *Jour. Geophys. Res.*, **104**, 25595-25610.
- 小川賢之輔 (1986) 富士市域の地質及び地形. 富士市の自然, 富士市域自然調査報告書, 富士市, 3-582.
- 下川浩一・山崎晴雄・水野清秀・井村隆介 (1996) 富士川断層系のトレンチ掘削等による活動履歴調査. 地質調査所研究資料集, no. 251, 1-48.
- Stefansson, R. and Halldorsson, P. (1988) Strain release and strain build-up in the south Iceland seismic zone. *Tectonophysics*, **152**, 267-276.
- Takada, A., (1994) The influence of regional stress and magmatic input on styles of monogenetic and polygenetic volcanism. *Jour. Geophys. Res.*, **99**, 13563-13573.
- Takada, A., (1997) Cyclic flank-vent and central vent eruption patterns. *Bull. Volcanol.*, **58**, 539-556.
- Takada, A. (1999) Variations in magma supply and magma partitioning: the role of tectonic settings. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **93**, 93-110 (1999)
- 高田 亮 (2000) 玄武岩質火山の比較研究からみた富士火山の進化段階. 月刊地球, **22**, 529-534.
- Takada, A., Yamamoto, T., Kartadinata, N., Budianto, A., Munandar, A., Matsumoto, A., Suto, S., Campos Venuti, M. (2000) Eruptive history and magma plumbing system of Tambora volcano, Indonesia. Research on Volcanic Hazard Assessment in Asia, *Report of ITIT Projects, AIST*, 42-79.
- 高橋正樹・長谷川有希絵・津久井雅志・根本靖彦 (1991) 富士火山におけるマグマ供給系の進化: 全岩化学組成の視点から. 火山, **36**, 281-296.
- 富樫茂子・宮地直道・山崎晴雄 (1991) 新富士火山初期の大きなマグマだまりにおける結晶分化. 火山, **36**, 269-280.
- 富樫茂子・宮地直道・安井真也・角田明郷・朝倉伸行・遠藤邦彦・鶴川元雄 (1997) 古富士火山末期から新富士火山にわたるマグマの組成変化—富士吉原火山活動観測施設のボーリングコアの岩石化学的性質. 火山, **42**, 409-421.
- 都司嘉宣 (1992) 富士火山の噴火, 万葉から現代まで. 築地書館, 261p.
- 津村健四朗・唐鎌郁夫・萩野泉・高橋正義 (1978) 1978年伊豆大島近海地震前後の地震活動. 地震研究所彙報, **53**, 675-706.
- 津屋弘達 (1968) 富士火山地質図 (5万分の1), 富士火山の地質 (英文説明書), 地質調査所, 23p.
- 津屋弘達 (1971) 富士火山の地形・地質, 富士山—富士山総合学術調査報告書, 富士急行, 127p.
- 上杉 陽 (1990) 富士火山東方地域のテフラ標準柱状図—その1: S-25~Y-114—. 関東の四紀, **16**, 3-28.
- 上杉 陽 (1993) 富士火山のテフラ層序学的噴火予測. 第四紀研究, **32**, 271-282.
- Yamazaki, H. (1992) Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, central Japan. *Bull. Geol. Soc. Jpn*, **43**, 603-657.

(受付: 2000年6月16日; 受理: 2000年7月26日)