

### (3) 1995年10月以降の噴火発生メカニズム

1995年の噴火におけるマグマの関与について、波多江・他(1997)は、1995年12月に発生した2度目の水蒸気噴火に際して噴出した火山灰に、新鮮な発泡ガラスが含まれていたことを指摘し、新しいマグマに由来する本質物質である可能性が高いことを示した。

なお、それ以前の1995年10-11月に噴出した火山灰中には発泡ガラスが含まれていないこと、それ以降の1996年1月以降の火山灰中にも発泡ガラスが含まれるが、火口内に残留していたものが再び噴出した可能性があることを示唆し、本質マグマの新たな関与を示すものではないことを示している。

江原・藤光(1996)は、10月11日の噴火は、深部からの火山ガスの供給が徐々に増加する中、最大噴気孔(C領域)の地下流路が何らかの原因で閉塞し、高温噴気が地表にでることなく周囲の水を加熱・気化させながら周辺地域の地下に拡大し、高温蒸気化した火山ガスを含んだ地熱流体が新火口周辺の流路に遭遇し、ついに噴火に至ったと推定している。噴火後、火山体中心部は一貫して収縮傾向を示し、マグマ上昇に伴う山体の膨張が検出されていないことから、噴火後にマグマが上昇した可能性は少なく、10月11日の最初の噴火前に既にマグマが定置されていた可能性を指摘している。

須藤(1997)は、不安定な状態で地下からの供給と地上からの放出の平衡状態が長期間保たれていたが(図4.18)、何らかの原因で地下からの供給が勝った状態が継続したか、地上からの放出が減少したか不明であるが、この両者が複合して、硫黄山山体内部に熱水流体が蓄えられ、山体の強度を超え、熱水流体の脱出口を求めた結果噴火したと指摘している。また、地震観測の結果から九重山の北の飯田高原の地下約6kmに直径約10km規模のマグマ領域が推定されている(この領域は低重力異常地域と一致していることも明らかとなっている)ことから、1995年噴火にマグマが関与したものであれば、マグマに何らかの挙動があれば地震活動が検出できると期待されるが、これらに関する地震活動は検出されていないことを示した。

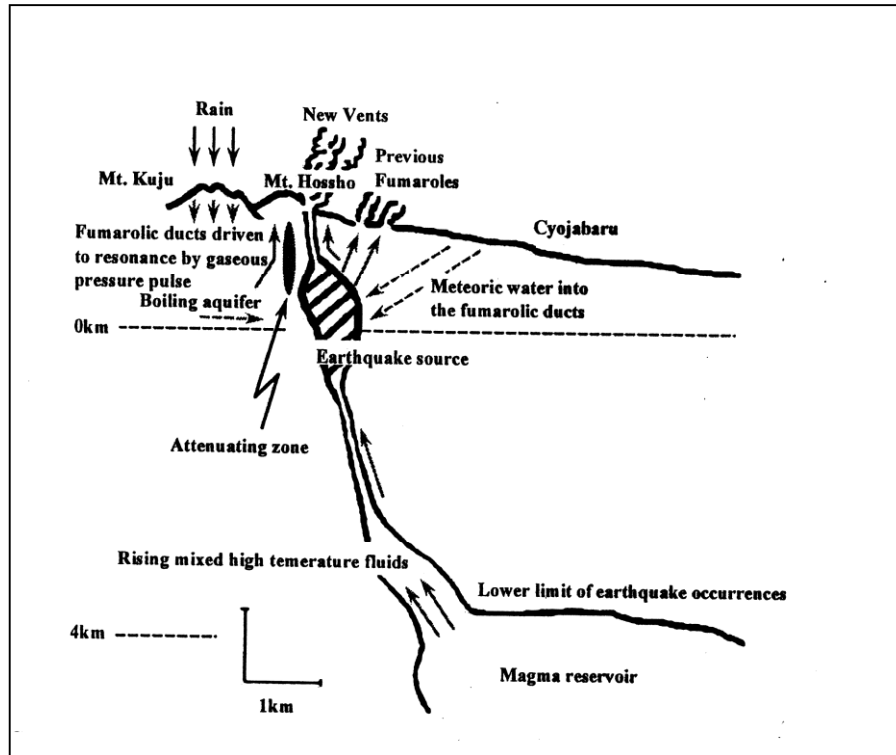


図 4.18 1995 年硫黄山噴火の概念モデル

(Sudo *et al.* (1998) より引用)

一方で、橋本・他 (2002) は、硫黄山における地磁気全磁力の連続観測の結果から、1995 年 10 月の最初の水蒸気噴火の直後から、硫黄山が一貫して冷却帯磁の傾向を示していることを明らかにした。帯磁源の位置は在来噴気地帯の南縁部、すなわち、新火口列を含む噴気地帯の中心部で、地表からおよそ 200-400m の深さとしている。このため、地下浅部に顕著な温度上昇を与えない程度の少量のマグマが水蒸気噴火をトリガーした後、短時間のうちに飛散したか深部に後退した可能性を完全に否定することはできないものの、ある程度まとまったマグマの関与は否定的であるとした。これは、水蒸気噴火時に数百 m の浅部までマグマ頭位が上昇していたとすれば、火道内のマグマが冷却されてもキュリー点温度を下回るまでは無帯磁の状態であって磁化変化を生じず、火道周辺部ではマグマの熱によって温度が上昇するため消磁されると予測されるのに対し、1995 年 10 月の水蒸気噴火の直後から地磁気が冷却帯磁を示したためである。

したがって、橋本・他 (2002) は、この噴火の直接的熱源が地下浅部に貫入した熔融マグマである可能性は低いとし、1995 年のイベントは、深部からの揮発性流体による定常的な熱供給と、従来からの噴気活動に伴う熱放散の枠組みの範囲内で発生した周期的な現象の一部であった可能性が高いとした。また、硫黄山の帯磁源は、噴火以後ほとんどその位置が変化していないことから、九重硫黄山では、噴気の放出に伴って地下浅部で冷却が進行しているものと推定した。

江原 (2008) は、1995 年の噴火が、単なる水蒸気噴火ではなく、以下に示す理由によ

って、マグマが上方移動（貫入）したが地表には到達しなかった、いわゆる「噴火未遂イベント」であった可能性を指摘している。

- ① 2度目の12月18日の噴火で火山灰層中に占める新鮮な発泡火山ガラスの割合が最初の噴火に比べ急増した（波多江・他、1997）こと
- ② 1995年4月から8月にかけて、九重山周辺部から中心部に向けての震源の深さの移動（深さ6kmから4km程度にかけて）が生じたと考えられる地震観測結果が存在すること、火山ガス中のHCl放出量の急増が観測されていること（糸井・他、2000）
- ③ 翌年1996年3月末に火山中心部深さ3-4km深でM2を越える地震の群発的期間があったこと。そしてその後、小規模ながらも火山体の膨張が発生したこと。九重山中心部の地下温度から推定すると、この深度では600°Cを越えることが推定され、普通の脆性破壊による地震の発生は困難であること

#### (4) 1995年噴火の前兆現象

1995年の噴火に関する前兆現象については、噴火前に定常的な観測体制がなく、短期的な観測がなされていたに過ぎないため、余り詳しいところはわかっていない。

須藤・他(1996a)は、九重火山に噴火前定常的な観測点が無かったことで前兆現象が検知できなかった恐れもあるが、広域地震活動等のそれらしき現象がないとしている。一方で目撃談によれば、10月11日の午前中に、九重ハイランドホテルから噴気地点より2筋の噴気が昇るのがみられ、午後には4筋となった。午後5-6時頃にかけて、噴火地点に黒煙が昇るのがみられ、また、すがもり小屋で午後5時半頃突風を感じ、午後6-7時頃に鳴動・岩のぶつかる音・地鳴りを聞いている。午後8時頃になって九重山南の久住町で降灰が確認されている(須藤、1996)。阿蘇中岳(噴火口から南西約28km)に設置されている空振計や産山村田尻牧野(噴火口から南南西約9km)に設置されている地震計では17時30分~18時頃にかけて異常があったことが記録されていることから、これら記録に表れる直前(少なくとも午前中)には、噴気の活発化等があったようである。

また、江原・藤光(1996)では、少なくとも以下のような現象が明らかにされている。

硫黄山の噴気地域(A、B、C領域)の代表的温度変化は、以下に示すように、1960年以降観測されており、1980年代の中頃から上昇傾向を示していたことが知られている(図4.18の左)。

- ・A、B領域の噴気温度変化は、1960年代から少しずつ上昇し、1980年頃にピークに達し、その後低下に転じた。しかしながら、1980年代の中頃から再び上昇に転じていた。
- ・C領域の噴気温度変化は、1960年代初め以降低下していたが、1980年の中頃から温度は上昇に転じた。

また、定量的な観測結果ではないが、1990年以降、通常は、ほとんど白っぽい噴気のなかに、青味がかかった噴気が噴出するのがしばしば認められるようになっていた。これは、SO<sub>2</sub>放出量の増大を反映していることと理解されていた。

一方、ほぼ同じ頃、噴気地域直下の微小地震活動は1980年代中頃までと比較して1988年に急激に減少し、それ以降低調な期間が続いていた(図4.19の右)。

これらの噴気活動の活発化、地震活動の低調化は、別府-島原地溝における張力場が強まることで、基盤内の亀裂が開口傾向となり、マグマから分離上昇するマグマ性流体がより上昇しやすくなった結果だと考えられている(以上、江原・藤光、1996)。

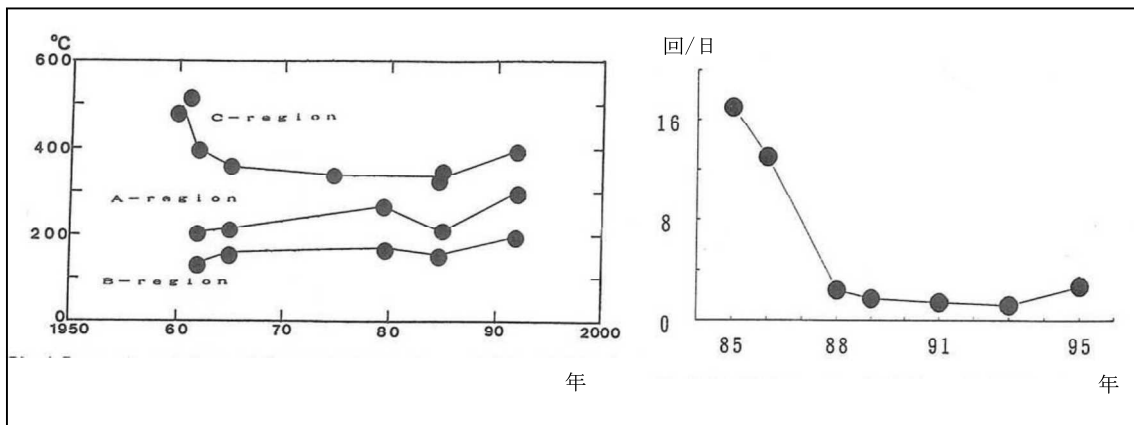


図 4.19 硫黄山の噴気温度及び噴気地域直下の微小地震活動の経年変化

(江原・藤光 (1996) より引用、左：噴気温度、右：微小地震の発生回数)

HCl (塩化水素) 放出量が、噴火の 2.5 ヶ月前の 1995 年 7 月 28 日に、それ以前の安定した値から約 3 倍以上に急増したことが知られている (図 4.20、糸井・他、2000)。

また、糸井・他 (2000) は、噴気地帯の中央を流れる沢の最上流部から湧出していた強酸性の水の流量が 1995 年 5 月以降減少し、7 月 28 日には湧出が停止していたこととあわせて、地下深部から供給される火山ガスの温度の上昇に伴い、浅層が高温化するとともに、地下水の供給が妨げられ同時に火山ガス中のマグマ性水蒸気の割合が増加したこと、マグマ頂部と地表を結ぶ新たに形成された通路を通じてガスが地表に短期間で移動したことを示唆した。

江原 (2007) は、地震観測の結果から、1995 年の 4 月から 8 月にかけて、九重火山中心部の深さ 6km から 4km 深に震源が移動したと推定されるデータが明らかとなったことと合わせて、マグマの上昇に伴って脱ガスが進行した可能性を指摘している。

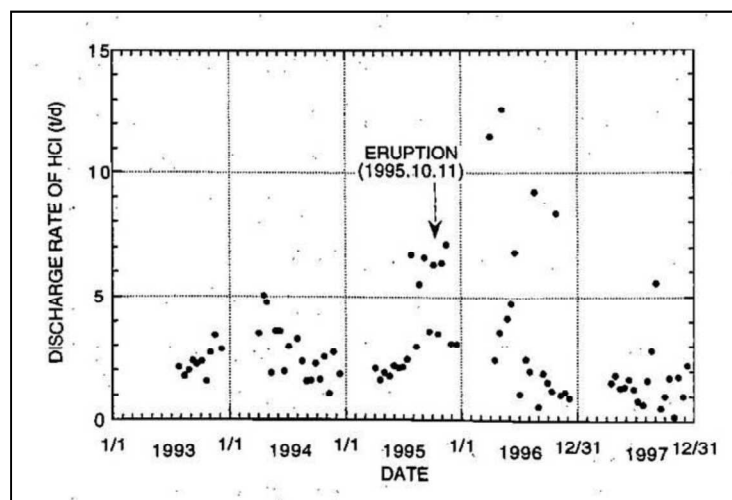


図 4.20 硫黄山の噴気地域における HCl (塩化水素) 放出量の経年変化

(糸井・他 (2000))

## (5) 1995年以降の活動概況

「(2) 1995年10月硫黄山噴火における主な土砂移動実績」、「(3) 1995年10月以降の噴火発生メカニズム」に示したように、1995年10月及び12月の噴火以降は、1996年及び1997年に地震が多発した時期もあったが、その後は活動が低下するとともに、引き続き静かな状態が続いている（「平成28年（2016年）の九重山の火山活動（福岡管区気象台地域火山監視・警報センター）」等）。また、平成19年12月1日に、噴火予報（噴火警戒レベル1、平常）が発表されて以降、特に状況の変化もなく、予報警報事項に変更はない。

以下に、「平成28年（2016年）の九重山の火山活動（福岡管区気象台地域火山監視・警報センター）」をもとに、近年の活動概況を示す。

### ・噴煙の状況

硫黄山付近では、噴煙活動に特段の変化はなく、白色の噴煙が噴気孔上300m以下で経過している（図4.21）。

### ・地震・微動活動の状況

火山性地震の発生回数は少ない状態で経過している（図4.21）。  
火山性微動は近年観測されていない。

### ・地殻変動活動の状況

GNSSの連続観測では、坊ガツルー牧ノ戸峠、星生山北山腹一坊ガツル、星生山北山腹一直入Aの基線で、2012年頃から伸びの傾向が認められる（図4.22）。

### ・地殻変動活動の状況

7月25-27日に実施した現地調査では、2014年の観測からみられていた硫黄山付近の熱消磁傾向が継続しており、地下の熱活動がやや高まっている可能性がある（図4.23）。

このように、火山活動に特段の変化はなく静穏に経過しており噴火の兆候は認められないが、GNSS連続観測によると、一部の基線で伸びの傾向が認められ、全磁力観測では消磁傾向となっており地下の熱活動がやや高まっている可能性が指摘されている。

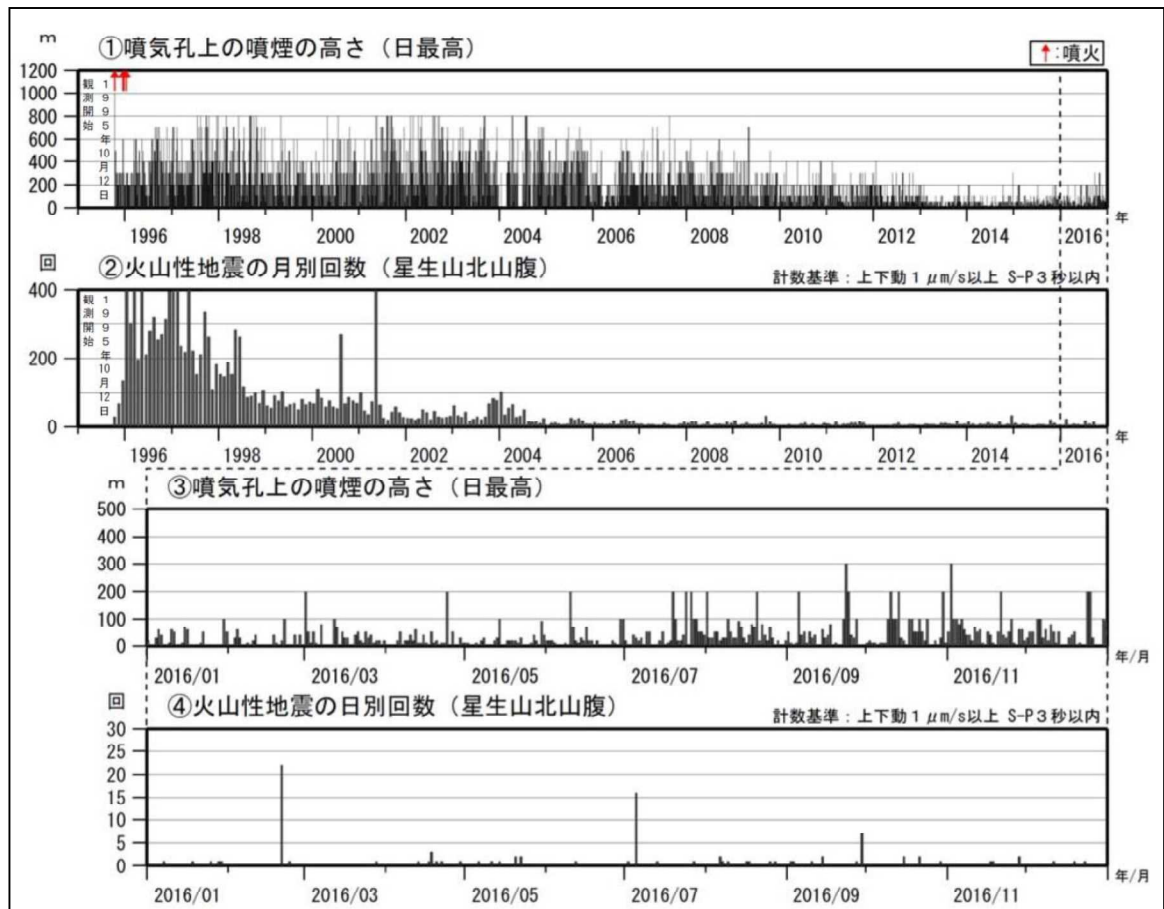


図 4.21 九重山における日最高噴煙高度及び火山性地震の日別回数

(1995年10月～2016年12月)

(「平成28年(2016年)の九重山の火山活動(福岡管区気象台地域火山監視・警報センター)」より引用)

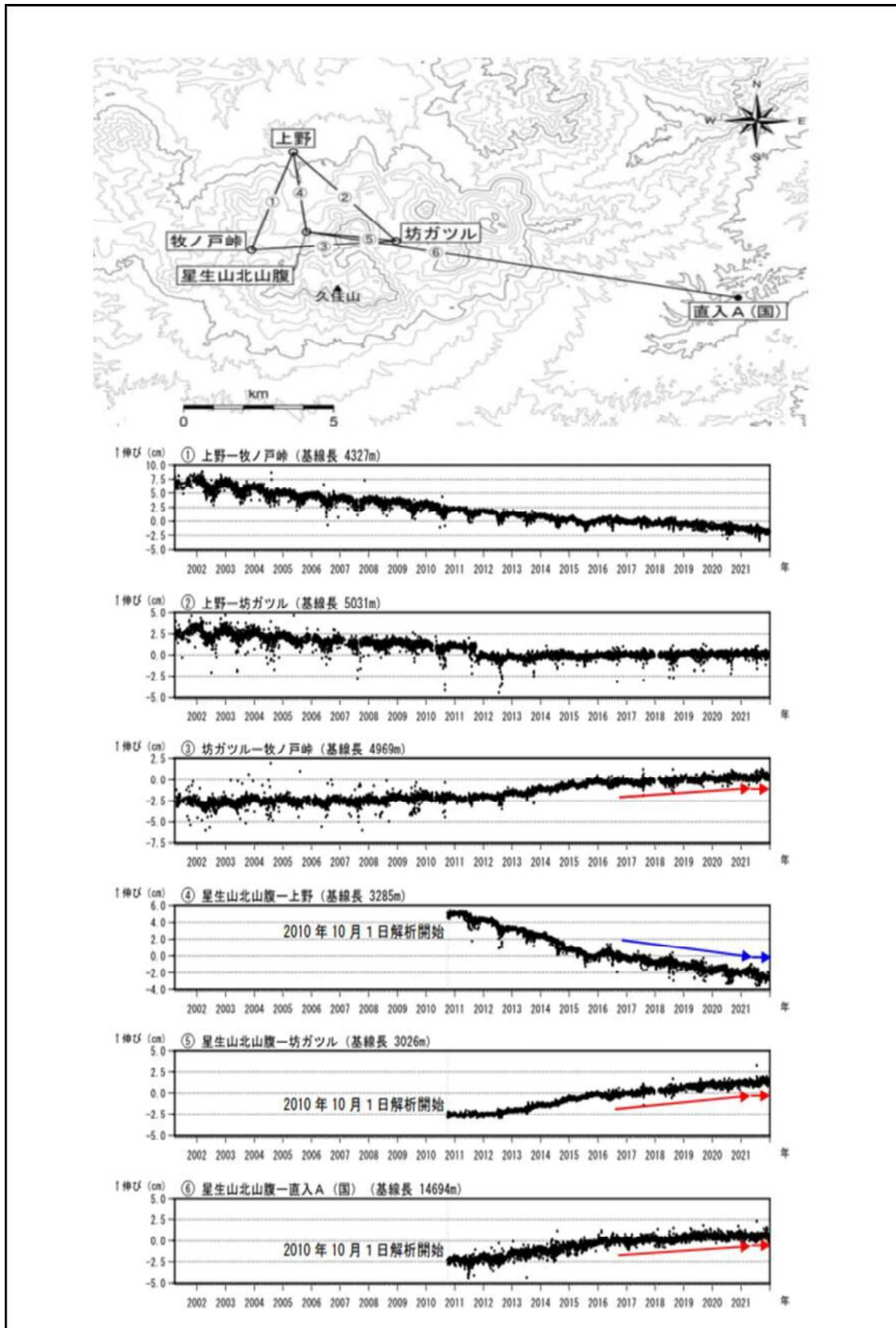


図 4.22 九重山における GNSS 連続観測による基線長変化 (2001 年 4 月～2021 年 12 月)  
 (「令和 3 年 (2021 年) の九重山の火山活動 (福岡管区気象台地域火山監視・警報センター)」より引用)



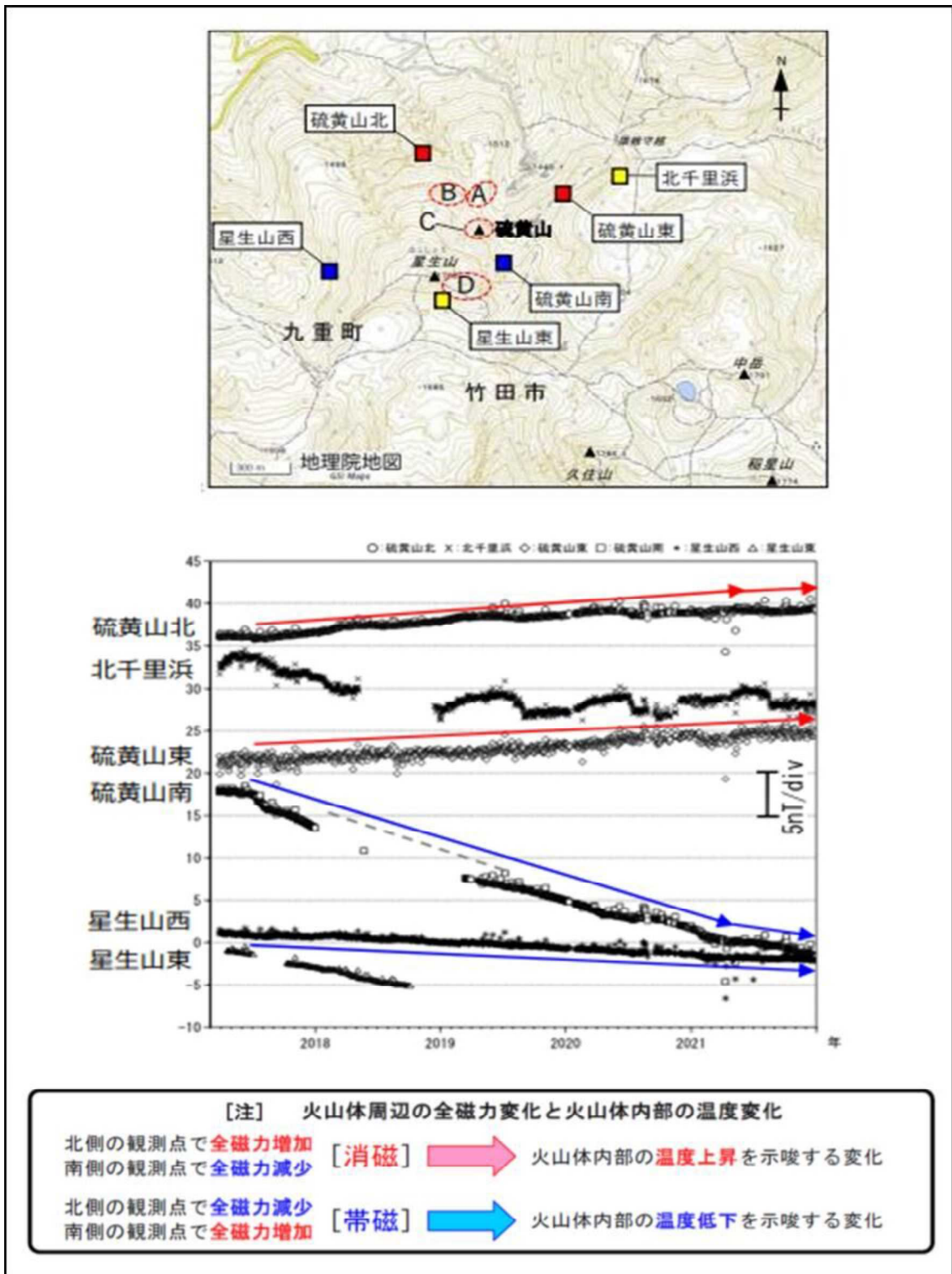


図 4.23 九重山における繰返し観測による全磁力の変化 (2017年3月~2021年12月)  
 (「令和3年(2021年)の九重山の火山活動(福岡管区気象台地域火山監視・警報センター)」より引用)

これらのことから、歴史時代の噴火及び 1995 年の噴火をはじめとする最近の噴火の概要を簡単に整理すると、以下のようになる。

- ・ 歴史時代の 4 回の噴火（1662 年・1675 年・1738 年・1777 年）は、いずれも硫黄山を中心とした噴気活動の異常現象を示すものである。
- ・ 九重山近傍の地質調査の結果からは、最近 5,000 年間の小規模な水蒸気噴火の発生頻度は活動間隔が、およそ 200-500 年程度である。
- ・ ただし、小規模な水蒸気噴火は、地層として残らないものも多く、水蒸気噴火の頻度は、上記推定より大きい可能性が高いと想定される。
- ・ 1995 年の前兆現象としては、十数年前からの噴気活動と地震活動の異常、数ヶ月前からの HCl（塩化水素）放出量増加、噴火直前（数時間前）の噴気活発化等が認められた。
- ・ 1995 年の噴火は、それ以前の記録に残されている 4 回の噴火（もしくは噴気活動の異常現象）と比較し、はるかに大規模な水蒸気噴火であった。
- ・ 1995 年の噴火は、地下からの供給と地上からの放出の平衡状態が崩れ、高温蒸気化した火山ガスを含んだ地熱流体が新火口周辺の流路に遭遇し、噴火に至ったと推定されている。
- ・ 1995 年の噴火直後から、硫黄山の地下では噴気の放出に伴って冷却が進行している。また、火山ガス放出に伴うと考えられる長期的な収縮が観測され、現時点では火山活動が活発化するような兆候は認められない。
- ・ しかしながら、GNSS 連続観測によると、一部の基線で伸びの傾向が認められ、全磁力観測では消磁傾向となっており地下の熱活動がやや高まっている可能性がある。

#### 4.1.5 九重火山地下の熱構造

これまでの研究成果から得られている九重火山地下の熱構造について、「火山の熱システムー九重火山の熱システムと火山エネルギーの利用ー（江原、2007）」等より引用し、以下に整理した。

##### (1) 九重火山の深部温度

一般に火山地域では、地殻熱流量が高いことが知られている（地球上の平均値は約 60-70 mW/m<sup>2</sup>、火山地域では 100 mW/m<sup>2</sup> 以上のことが多い）。九重山周辺では 100-250mW/m<sup>2</sup> 程度の特徴的な高熱流量地域となっていることが知られており、この高熱流流量異常域の範囲は、九重山を構成する個々の火山体を包含する地域にほぼ一致している。地震波トモグラフィによる地震波速度構造の解析からも、九重山下の近く、上部マントルは周囲と比較して明瞭な低速度異常域の存在が知られていることから、あわせて九重山下にマグマ溜りが存在することの反映だと推定されている。

なお、1995 年の噴火直後は、新火口である d 火口からの水蒸気放出量が圧倒的に多かったが、2003 年 7 月には活動を停止した。これと対照的に、噴火前から存在していた噴気地域からの水蒸気噴出が増加している。このため噴火後 10 年以上の長期にわたって、噴火前の数倍に達する放熱量が維持されていることが明らかにされている。自然放熱量のうち、90%以上は噴気によるものであり、このような大量の熱の放出は、火山体内部で冷却が進行していることを示している。また、冷却している実態は、地殻変動観測の結果と合わせて考慮すると、新たに貫入したマグマではなく既存の高温部分が冷却していることが推測されている。

## (2) 温度観測

1995年噴火以降の噴気温度観測では、最初の噴火（10月11日）から2回目の噴火（12月18日）までは代表的な火口及び噴気孔の温度はいずれも上昇傾向にあったが、その後いずれも低下に転じ、消長はあるが大局的には温度低下傾向にあることが明らかにされた（図4.24）。これは、2回目の噴火以降、火口周辺から流入する多量の地下水が地下から上昇する火山ガスと混合することによって生じたものと考えられる。

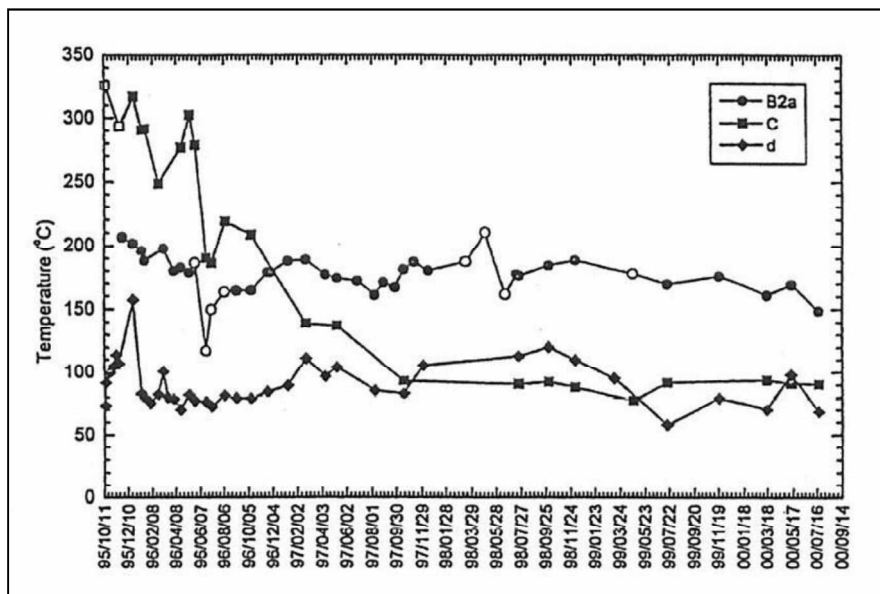


図 4.24 硫黄山の噴気温度の経年変化

(江原 (2007) より引用)

同様に、噴火前から存在していた噴気孔の温度変化も、噴火後ほぼ一様に低下傾向にあることが明らかにされた。

また、互いに 300m 程度離れ、別の噴火領域に属する噴気も、温度の時系列パターンが非常に良く似ていることから、地下では共通の原因に規定されていると判断された。すなわち、地表では様々な位置にある噴気孔から火山ガスが放出されているが、地下では共通の火山ガス供給路が存在しており、上昇するにしたがって適宜分岐するような関係にある可能性が考えられている。

なお、噴火 5ヶ月前（1995年5月）に噴火地点の赤外線映像の撮影が行われていたが、既存の噴気地域以外何ら異常は検出されていなかった。

### (3) 硫黄山の噴気活動

硫黄山周辺の噴気地域は、火山体中心部の直径約 500m の範囲に広がり、1995 年の水蒸気噴火以前は、A 領域（長者原からみえる噴気地帯）、B 領域（長者原からはほとんどみえない）、C 領域（長者原からみて A 領域の裏側（南側））にあり、長者原からは A 領域の背後にみえる噴気）と名づけられた 3 地域に分けられていた。

1995 年 10 月に発生した水蒸気噴火によって、C 領域の南方約 300m の星生山東山腹に a (a1、a2、a2'、a3)、b、c、d、e という新たな火口列が形成された。なお、新しい火口が生じた領域は D 領域とも呼ばれている（図 4.25）。

噴火発生後には、a 火口群は比較的早期に活動を停止した（ただし、a2' は弱いながらも長期間噴出を続けた）。次に e、そして 2003 年 7 月には噴火最大の水蒸気噴出量を誇っていた d 火口の噴出が停止した。2005 年にはいつてからは、c 火口の活動はほとんど停止した。b 火口からは依然として白い噴気が放出されているが、噴出力（噴出速度）は非常に弱いものとなっている。すなわち、1995 年の噴火に伴って形成された小火口群からの水蒸気の噴出はほとんど静止したこととなった。

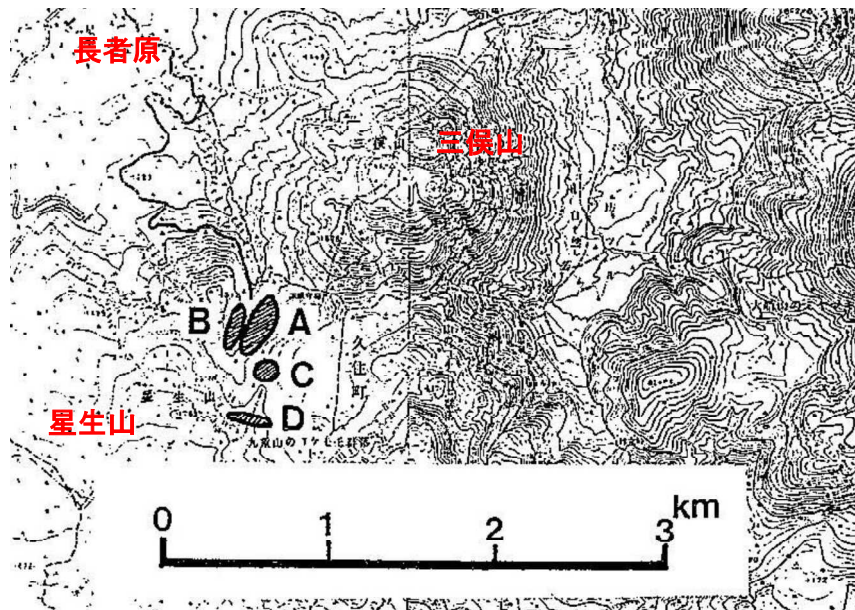


図 4.25 硫黄山近傍の噴気地帯の分布

（江原・藤光（1996）より引用）

#### (4) 硫黄山の地震活動

九重山周辺では地震活動の活発な地域が 2 箇所（九重山硫黄山周辺及び大岳・八丁原地域周辺）存在している（図 4.26）。いずれも深部からの地熱流体の上昇が予測される地域である。九重山硫黄山直下浅部では、微小地震活動が極めて活発である。震央位置は硫黄山の噴気活動地域（直径約 500m）とほぼ一致し、震源の深さはごく地表近くから、地表下 1.5km 程度までである。この地域では基盤の深度が 1.5-2km と推定されており、地震は主として火山岩類の中で発生していると推定されている。

1995 年噴火前後の地震活動の時系列的な変化については、1986 年以降低下していた地震活動が、直前に群発地震が発生する等活動度が高まり、噴火後は次第に活動が回復した。1997 年頃から 1 日 6-8 回程度発生するほぼ定常的な活動状態となり、2001 年以降の活動はほぼ一定となっていることが明らかにされている（図 4.27）。

また、相対的に深い地震が増加する傾向にあるが、これは、火山体の冷却に伴い、深部で脆性領域が拡大し、深部での地震発生が可能になったことが考えられている。

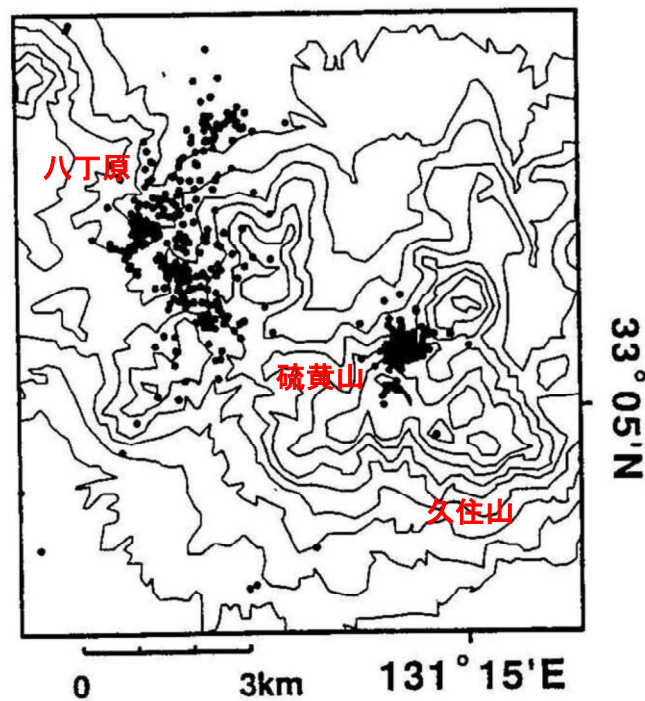


図 4.26 九重地域の地震活動

(田中・他 (2000) より引用)

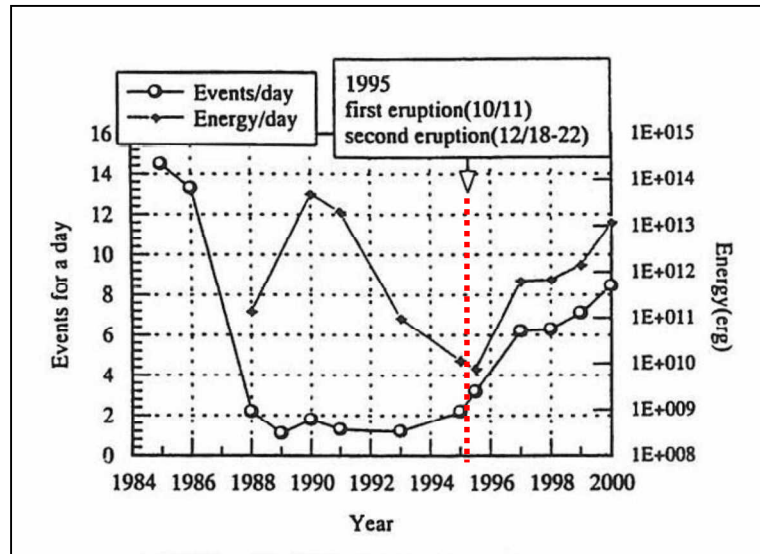


図 4.27 硫黄山での地震活動の経年変化

(江原 (2007) より引用)

### (5) 硫黄山の電氣的地下構造

図 4.28 に示すように、硫黄山噴気地域直下には、垂直的な低比抵抗域が存在することが知られている (Mogi and Nakama, 1993)。これは、火山性 (熱水) 流体の垂直的な上昇を反映していると推定されている。また、この他にも垂直的な低比抵抗帯がいくつか存在しており、噴気地域直下の低比抵抗域は同時に微小地震の多発ゾーンでもあり、地下には様々な場所で断裂構造が発達していると考えられている。

なお、地表から放出される高温噴気凝縮水あるいは温泉水は、地表水とマグマ水 (マグマ中に含まれる水あるいはマグマから分離して生じた水を主成分とする液体) との混合したものであることが、水の酸素・水素同位体比研究から明らかにされている (Mizutani et al., 1986)。また、地表から地表水が浸透する領域は地形等から直径 5km 程度の範囲と考えられている。

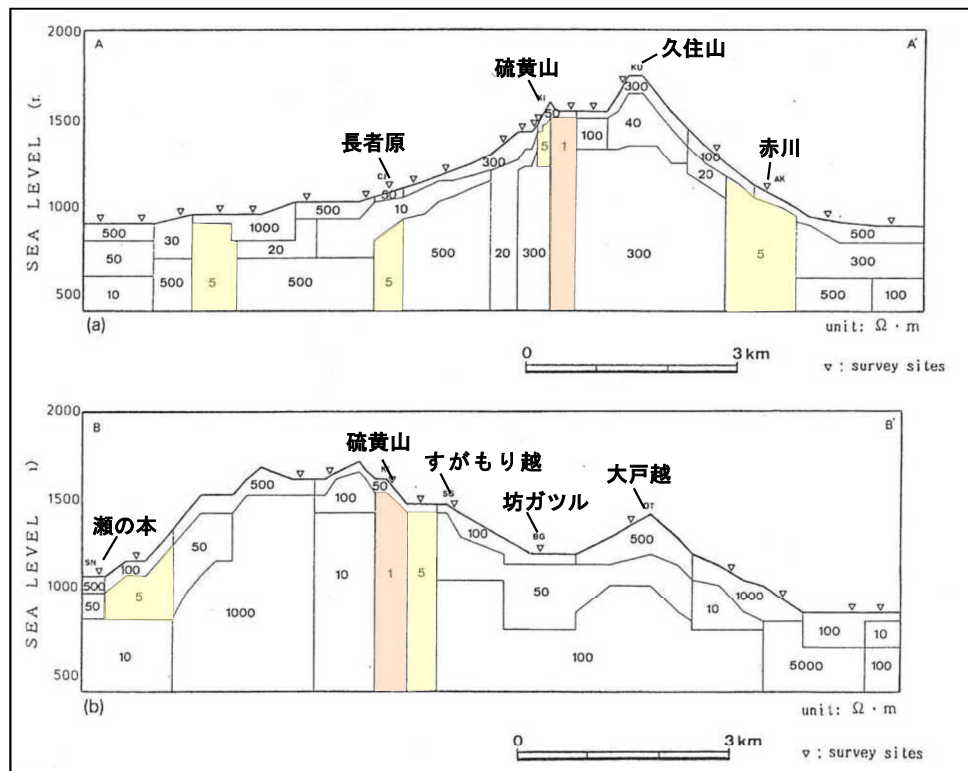


図 4.28 九重山下部の比抵抗分布

(Mogi and Nakama (1993) より作成)

(  は、比抵抗が1以下、  は比抵抗が1-5 の範囲)



## (6) 地震波速度構造

Sudo and Matsumoto (1998) は、地震波による 3 次元速度構造解析の結果から、九重山の北部と南部に lowVp 領域が存在し、低重力異常域に一致していることを示した (図 4.29)。吉川・他 (2003) は、海面下 4km において、熔融マグマの存在を示唆する lowVp・lowVs 領域が、九重山の北部と南部、大岳・八丁原地熱地域にみられることを示した。吉川・須藤 (2004) 及び Yoshikawa and Sudo (2004) は、八丁原地域では、深さ 3.5km に花崗岩の基盤が存在し、その下 5-8km にかけては熔融マグマの存在を指摘している。さらに下部の 11km においては、九重火山南部においてマグマ溜まりが存在する可能性を指摘している (図 4.30)。

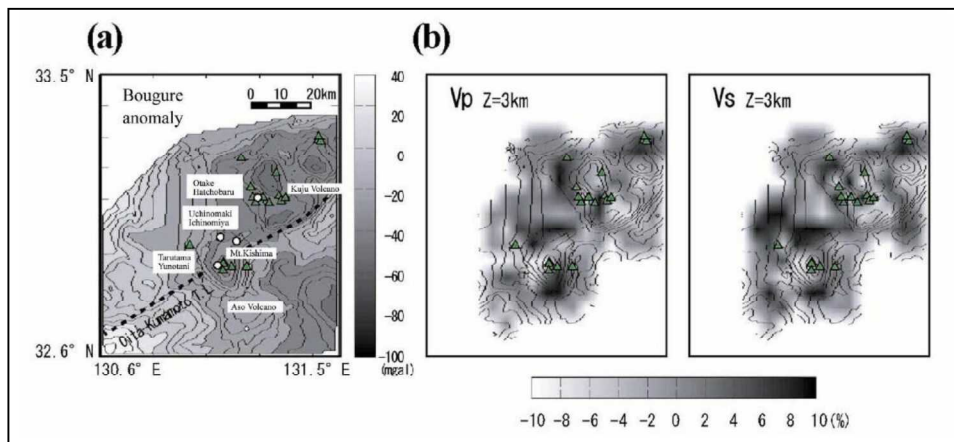


図 4.29 重力異常域と地震波速度構造

(吉川・他 (2003) より引用)

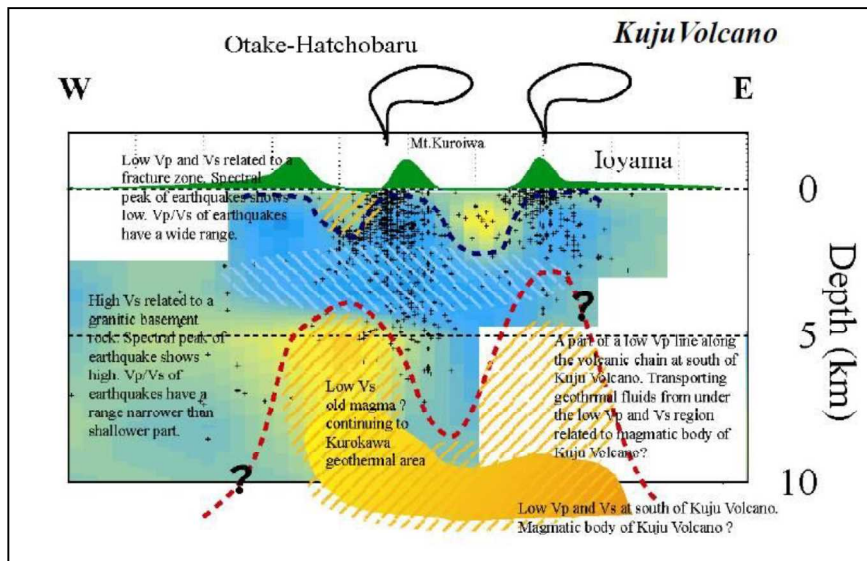


図 4.30 地震波速度構造から得られた地熱構造モデル

(吉川・須藤 (2004) より引用)

### (7) 硫黄山地域の熱過程モデル

以上で示した内容と熱流量（マグマの冷却）のシミュレーション結果から、1995年噴火前には、図 4.31 に示すような九重山硫黄山地域地下の熱過程概念モデルが提示されている（江原、1981；江原、1992）。

このモデルでは、噴火前には、地下から供給されるマグマ性流体（ほとんどは  $H_2O$ ）と地表から流下していた天水が地下（噴気地域地下の深さ約 2,000m 程度までの領域）で混合し、気液 2 相状態の対流ゾーン（火山熱貯留層）を形成し、最終的には地表から噴気・温泉となって流出していることが示されている。また、水蒸気噴火後は、火山体内部の流体を含めて火山体構成物資が一気に大気中に放出されることで、火山体内部の圧力低下とそれに伴う周囲からの大量の地下水流入が、火山体を冷却させていることが示されている。

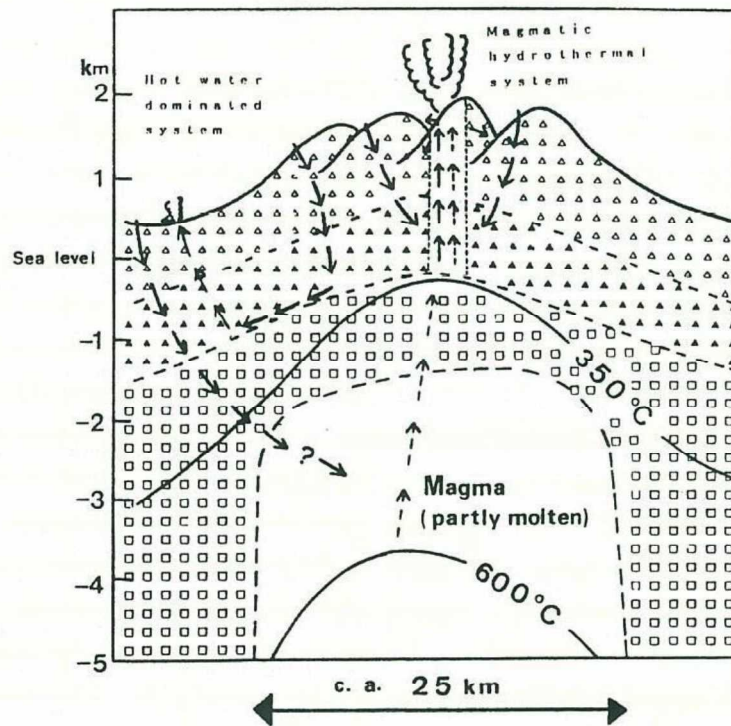


図 4.31 九重火山地下の熱構造モデル

（江原（1992）より引用）

なお、九重山では、大規模な火砕流噴火の後、1,000-2,000年に一度の割合で溶岩ドームを形成するような噴火が繰り返されている。また、火砕流噴火時にはマグマ溜まりの上面の深度は4km深程度であったが、熱伝導計算から地下約5km深の現在の温度は約400-700°Cで、現在では7km程度まで後退していることが示されている。このような深部での融解の発生は、より深部の地震波の減衰に関する研究からも支持されている(須藤・他、1996b)。

このことから、熱伝導的に冷却するマグマから分離したマグマ性流体(大部分はH<sub>2</sub>O)は次第にマグマ溜まりの天井に蓄積され、時間の経過と共に蓄積されたガスは圧力を増加し、それはやがて周囲を構成する岩盤の強度を超え噴火が生じると考えられている。その際マグマの進む方向は、たとえば既に固化した高密度の火道を避けて上昇する等、地下構造に規制されて、ランダムになると考えられている。また、マグマ天井部へ集積した火山ガスの圧力が1,000-2,000年程度の間隔で、周辺岩盤の強度を超えると推定され、溶岩ドームを形成するような噴火活動は間欠的に生じることになる。

一方、マグマ溜まりからの脱ガスは、マグマの中心に近い部分の天井部で生じるので、火山体からのガス放出は火山体の中心部に限られているのであろう。九重山における火山性地熱流体の上昇経路を反映する変質帯の発達は九重火山群の中心に位置する星生山周辺に限られている(図4.32)。

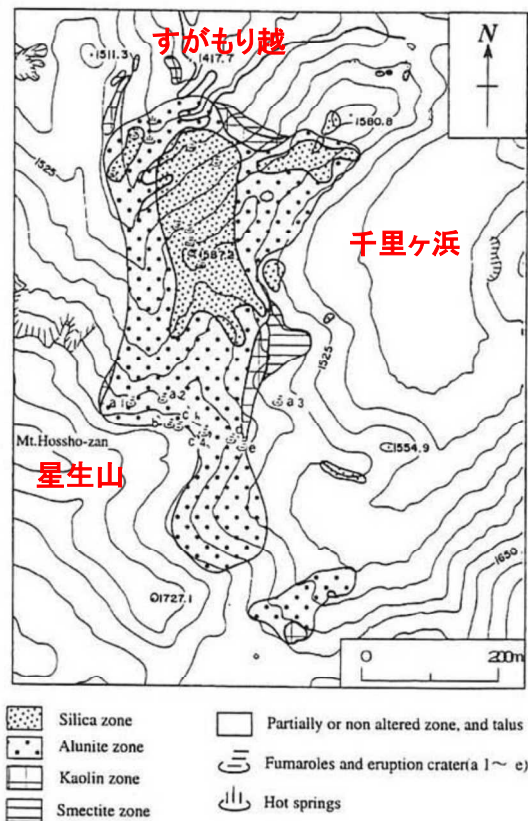


図 4.32 九重山における変質地域の分布  
(Kohmatsu and Taguchi (2001) より引用)

このことから、マグマから放出されるマグマ性流体はかなりの長期間にわたって（少なくとも数万年にわたって）火山体中心部から継続的に放出され続けられていると考えられる。このように、九重山の中心部（硫黄山周辺）ではマグマ熱水系が発達し、長期間にわたって維持されていると考えられる。

硫黄山噴気地帯周辺においては、噴火後から繰り返し光波辺長測量と GPS (GNSS) を使用した観測が実施されており、硫黄山付近の噴気地帯を中心に一貫した山体の収縮が認められている（吉川・須藤、2003；斎藤・他、2003 等）。吉川・須藤（2003）によれば、最も大きく変化した測線で、約 6 年間で 70cm 以上も収縮し、多くの測線でほぼ直線的な変動の変化が現在も継続している（図 4.33）。斎藤・他（2003）は、推定した収縮源の位置及び震度が、図 4.31 に示した九重山硫黄山地域地下の熱過程概念モデルの上部に相当することから、高温・高圧の熱水や蒸気が噴気として過剰に放出されることでこれらが減少した結果だと推定した（前述したように 2012 年頃から、一部の基線で伸びの傾向が認められる）。

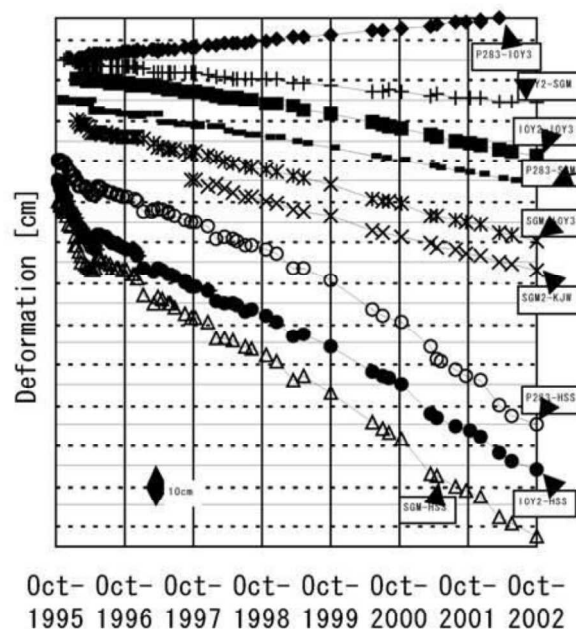


図 4.33 硫黄山周辺の GPS (GNSS) 観測結果  
 (吉川・須藤 (2003) より引用)

また、山体収縮の力源の中心位置が硫黄山噴気地帯の地下約 500-600m 付近であること、観測期間中の体積減少率はほぼ一定であること等が解析され、この収縮は、噴気の過剰な放出によって亀裂や空隙が閉じる方向に働いた結果生じた可能性が指摘されている（図 4.34）。

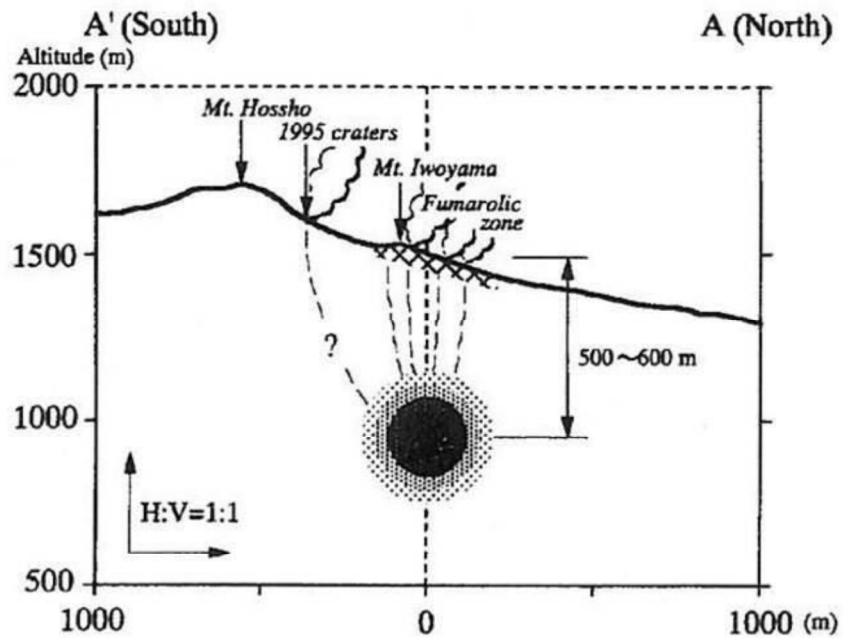


図 4.34 GPS (GNSS) 観測等によって推定されている硫黄山直下の収縮源  
 (斎藤・他 (2003) より引用)

以上、九重火山地下の熱構造について、整理すると以下のようなになる。

- ・ 今から 5 万年前の大規模な火砕流の噴火後、九重山の下に残されたマグマは熱伝導的に冷却を続け現在に至っている。1995 年噴火以降も、噴気によって大量の熱が放出され、火山体内部で冷却が進行している。
- ・ 上面深度が地下 4km から 7km まで後退したマグマ溜まりから分離したマグマ性流体（大部分は H<sub>2</sub>O）は、次第に天井に蓄積されていると考えられる。
- ・ 1,000-2,000 年程度の間隔で蓄積された火山ガスが岩盤の強度を超えると噴火が開始する。その際、既に固化した高密度の火道等の地下構造に規制されて、マグマが上昇することで、地域的にランダムに溶岩ドームが形成される。
- ・ 一方、現在でも地殻温度が最も高温部分の直上の地表に硫黄山が存在している。これはマグマ溜まりからの脱ガスがマグマの中心に近い天井部で生じるため、火山体の中心部にマグマから放出されるマグマ性流体の上昇通路があり、高温噴気地帯を形成しているためと考えられる。
- ・ 硫黄山地域の地下には直径 500m、深さ 2km 程度の高透水性ゾーンが発達している。この透水性ゾーンは深部のマグマからマグマ水及び熱伝導により熱が供給されている。
- ・ 地下に浸透した地表水は高透水性ゾーン内でマグマ水と混合し、高温地熱貯留層を形成し、最終的には地表から噴気及び温泉として流出している。
- ・ このようなマグマ熱水系のシステムは、少なくとも数万年にわたって維持されており、マグマから放出されるマグマ性流体は火山体中心部からかなり長期間にわたって継続的に放出され続けられている。
- ・ 硫黄山直下で起きている継続的な収縮が限界に達すれば、割れ目が形成され、熱水対流系との通路が形成されることで水蒸気噴火が発生する可能性がある。

1995 年噴火前後における火山活動の推移図を、Sudo *et al.* (1998) 等より整理し、図 4.35 に示す。

また、1995 年噴火時における各機関の対応を、表 4.8 に示す。

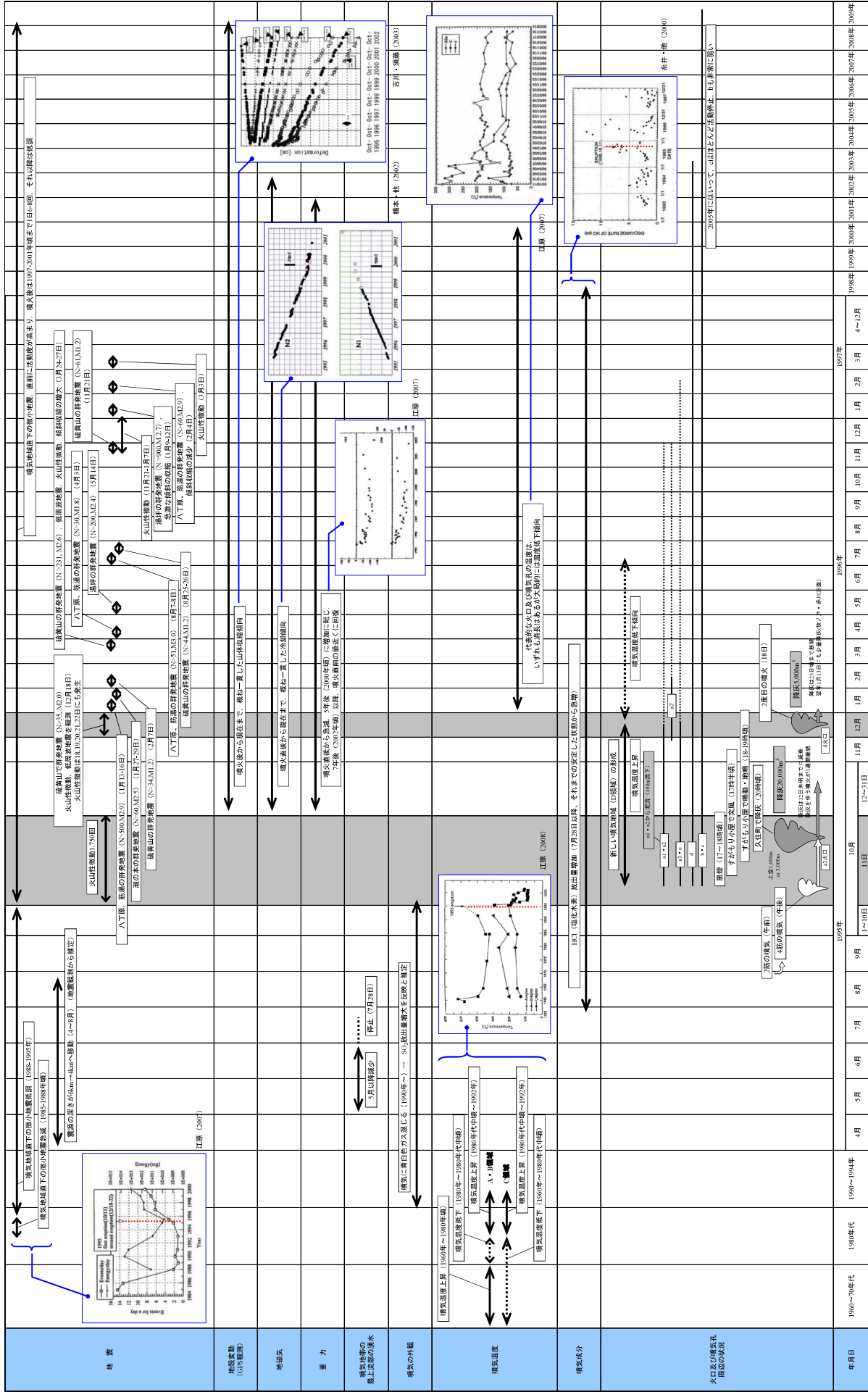


図 4.35 1995年噴火前後の火山活動の推移図





## 4.2 九重山における噴火シナリオ

### 4.2.1 噴火実績の整理

九重山における約 15 万年間の火山活動は、古い時代ほどその詳細が不明となり、活動時期を細分するだけの情報量はないと考えられる。このため「九重山で想定する土砂移動現象」は、主に噴出物に関する情報が豊富になる 1.5 万年前以降の活動を考慮し設定する。

現象毎の発生頻度を、表 4.9、表 4.10、図 4.36 及び図 4.37 に示す。

表 4.9 九重山で発生した現象の頻度（マグマ噴火に伴うもの）

現象	発生場所	約1.5万年前 ～ 約1,700年前 の発生回数	推定噴出量 (m <sup>3</sup> )
溶岩流・溶岩ドーム	九重山群中央～東部	12	5.0×10 <sup>7</sup> ～1.2×10 <sup>9</sup>
溶岩流＋降下火砕物	大船・星生・三俣山・平治岳周辺	4	1.3×10 <sup>8</sup> ～3.0×10 <sup>9</sup>
溶岩流または溶岩ドーム＋火砕流	九重山群東部（黒岳）	1	1.61×10 <sup>9</sup>
火砕流	九重山群中央部（長者原周辺）	1	2.4×10 <sup>8</sup>
降下火砕物	大船山周辺	2	4.0×10 <sup>7</sup> ～5.0×10 <sup>7</sup>
岩屑なだれ	九重山群中央部（飯田高原周辺）	1	6.1×10 <sup>8</sup>

\*）発生頻度は、約1.5万年前から現在まで（15,000年間）で算出。

表 4.10 九重山で発生した現象の頻度（マグマが直接関与しないもの）

現象	発生場所	推定噴出量	回数	備考
降下火砕物	硫黄山周辺	2.5×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> (1995年10月,12月)	9	・水蒸気噴火を主体とする小規模爆発 ・伊藤・他（1997）より5000年間で8回（4,300、3,600、3,300、2,400、1,900、1,700、1,500、1,000、600年前）＋1995年噴火＝9回
火山泥流	白水川源頭部	4.8×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	1回以上	・噴火に伴う降灰後の降雨で発生 ・1995年噴火で発生
土石流	北千里ヶ浜・鳴子川・白水川	不明	5	・噴火に伴う降灰後の降雨で発生 ・北千里ヶ浜で、1,500年前以降に3回＋白水川で、昭和18年と23年の2回