

1989年7月の伊豆半島東方沖海底火山噴火と噴出物 —正体を現した群発地震の黒幕—

曾屋 龍典¹⁾・宇都 浩三²⁾・山元 孝広³⁾・須藤 茂¹⁾・富樫 茂子²⁾・中野 俊³⁾・
Tatsunori SOYA Kozo UTO Takahiro YAMAMOTO Shigeru SUTO Shigeko TOGASHI Shun NAKANO
阪口 圭一⁴⁾・吉川 清志¹⁾・水野 清秀¹⁾・高田 亮¹⁾・小野 晃司¹⁾
Keiichi SAKAGUCHI Kiyoshi KIKKAWA Kiyohibe MIZUNO Akira TAKADA Kōji ONO

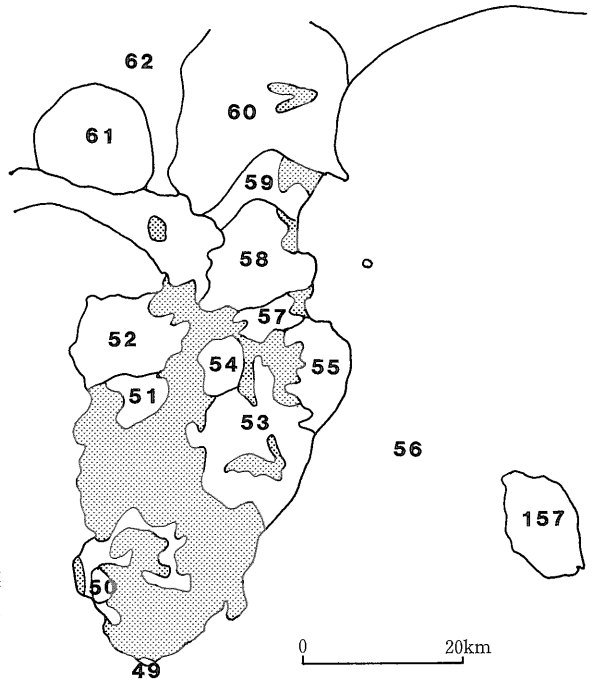
1) 環境地質部・2) 地殻化学部・3) 地質部・4) 地殻熱部

1. はじめに

1989年6月30日に伊豆半島東方沖を震源域とする群発地震が始まった。その後有感地震が多数発生し 7月9日には被害地震が2度起こった。7月11日には火山性の微動が観測された。7月13日には 群発地震の震源域で有史以後初めての噴火が確認された。

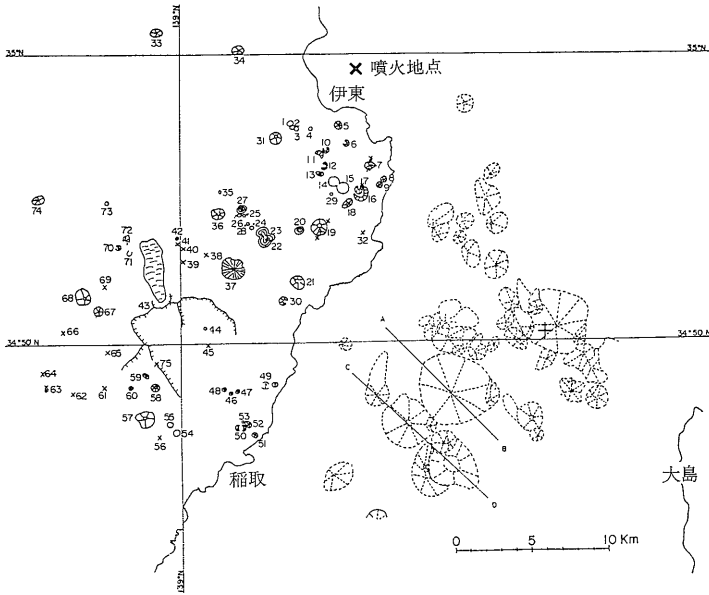
伊豆半島東方沖を震源域とする群発地震は 1978年からほぼ毎年1回の割合で起きている。今回の群発地震は これまでの一連の群発地震全体の震源域の北西部で起こり 陸域に近く 震源の深さがこれまでのものと比較してやや浅いという特徴を持っている。また これまでの群発地震の起こり方 群発地震に伴う伊東市の南方の地域を中心とする長期的な隆起 全磁力の変化などから これらの群発地震はマグマ活動に伴うものではないかと考えられ マグマ貫入のモデルなどが提案されていた。しかしながら群発地震の原因は構造的なものであるという考え方もあった。ただこの地域は東海地震のための観測強化地域内であるため 密な観測網が敷かれていた。

伊豆半島は ほとんど全てが火山岩から出来ている。伊豆半島の最も古い地層は 湯ヶ島層群であるが 湯ヶ島層群やその上位の白浜層群はともに新第三紀の海底火山の噴出物である。また 伊豆半島には湯河原 多賀 宇佐見 天城等の成層火山が多数分布しているが(第1図) これらの成層火山は陸上で活動した火山である。伊豆半島で最も新しい火山は 伊豆半島東部に散在し 大室山に代表される76の小規模な火山および伊豆半島の東方海域に分布する海底火山の群である(第2図)。これらの火山群は近接した地域にあり 噴火活動の様式やマグマの性質などに共通性があることから「東伊豆単成火山群」と呼ばれている(荒牧・葉室 1977, Hamuro 1985)。1989年7月13日の海底噴火の起こった場所はこの東伊豆単成火山群の分布地域の北端にあたり 地質的にも新しく火山が噴火してもおかしくない場所であった。



第1図 伊豆半島付近の地質略図
番号が付いているのは第四紀の火山。アミ部は新第三紀の火山岩類。49:南崎, 50:蛇石 51:棚場
52:達磨 53:天城 54:天子 55:大室山火山群(東伊豆単成火山群) 56:東伊豆沖海底火山群 57:宇佐見 58:多賀 59:湯河原 60:箱根 61:愛鷹 62:富士 157:大島。小野ほか(1981)

7月14日に著者らが採取した噴出物の検討結果によれば 今回の海底火山の噴火は 玄武岩マグマによるマグマ水蒸気爆発であり その玄武岩の化学組成は 過去に噴出した東伊豆単成火山群の玄武岩とよく似ている。したがって 今回の海底火山の噴火は 東伊豆単成火山群で歴史時代初めて確認された噴火であることが明らかとなった。



第2図 東伊豆単成火山群の分布図
 ×は 1989年噴火の手石海丘の位置 荒牧・葉室(1977)に加筆

第1表 伊豆半島東方沖の群発地震・噴火の経過

この報告では 各観測機関の観測結果なども参考にしながら 7月14日に著者らが採取した噴出物の検討結果とそれをもとにした噴火のモデルについて述べる。

なお今回の一連の地震・噴火活動の経緯を第1表に簡略化して示した。

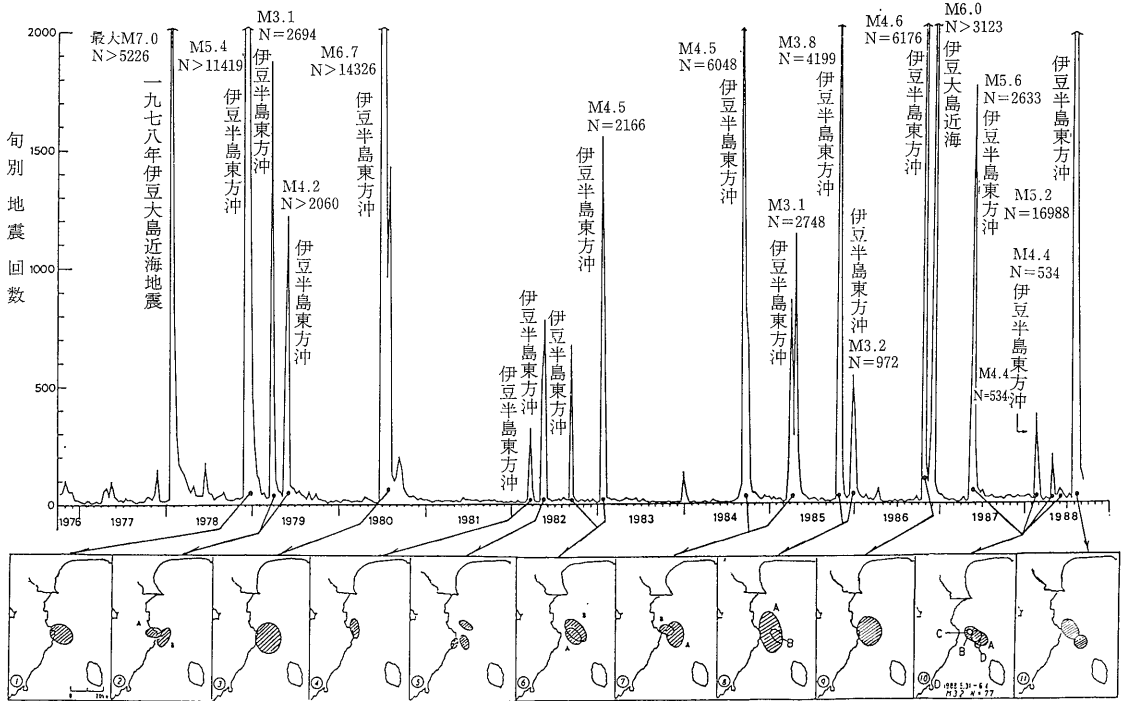
2. 大室山は一回の噴火で出来た火山である

—東伊豆単成火山群—

伊豆半島の東部には伊東市街の南にある大室山や小室山などの若い火山が多数存在している。この一つ一つの火山は一回の噴火で出来た火山である。一回の噴火と言うと誤解を受けるかもしれない。正確にはある時噴火が始まり 周辺地域に火山灰を降らすとともに粒径の大きな火山弾などが火口の周囲に積もり 小山を作る。同時あるいはその後小山の麓から溶岩を出しやがて噴火は次第に衰えてやむ。この噴火期間は 数時間であったり 長い時には1-2年間あるいは10数年間であったりする。その火口からは 再び噴火しない。これが一回の噴火で 正確には一噴火輪廻で出来た火山である。このような一回の噴火で出来た火山を単成火山と呼び 富士山のような複成火山と区別している。伊豆半島東部の大室山を中心とする地域や天城山の周辺には この様な単成火山が分かっているだけでも76火山ある(第2図)。これらの火山の大多数は 玄武岩ないし玄武岩質安山岩の火山で 一部デイサイト-流紋岩質火山がある。しかし 両者の中間的組成の中

6月30日	群発地震開始
7月4日	地震数急増
5日	M4.9
6日	M5.2
7日	M5.2
9日	M5.5(最大)
10日	地震は減少傾向
11日	20:38-21:48 微動発生
12日	間欠微動続く
13日	測量船「拓洋」海丘を確認
	18:29 微動開始
	18:33 振幅大きくなる
	18:36-45 「拓洋」6回の爆発を目撃
14日	軽石漂着確認
15日	「マンボウ」地形調査

性ないし酸性安山岩類はこれまでのところ噴出していない。荒牧・葉室(1977)および葉室(1978)により 東伊豆単成火山群の詳細な噴火史が明らかにされている。それによると 同火山群の大多数の火山は過去約4万年間に噴出したもので その総噴出量は約 $2.5 \times 10^9 \text{m}^3$ で



第3図 伊豆半島東方沖の地震活動と震源域 気象庁地震予知情報課 (1989)

ある。もっともそのうちの約3分の1にあたる $9 \times 10^8 \text{m}^3$ は、火山群中最大の大室山火山から噴出しており一つの火山の平均的な噴出量は約 $10^6 - 10^7 \text{m}^3$ である。これまでの東伊豆単成火山群の活動の歴史から単純に計算すると伊豆半島東部において約500年に1つの割合で火山が噴火し形成されその噴出量は千年あたり $6 \times 10^7 \text{m}^3$ ということになる。

3. 伊豆半島東方沖の群発地震と伊豆半島東部の地殻変動

伊豆半島の周辺では1974年の伊豆半島沖地震 (M 6.9) 以降、群発地震が多発している (第3図)。

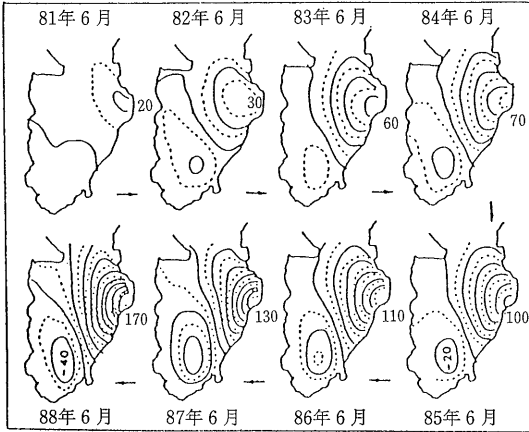
群発地震活動の最中に規模の大きな地震が発生して災害を起こしたこともある。たとえば1978年伊豆大島近海地震 (M7.0) 1980年伊豆半島東方沖地震 (M6.7) などがそれである。1978年伊豆大島近海地震は1月に起きたがその年の11月から伊豆半島東方沖の群発地震が発生した。その後この震源域でほぼ1年ごとに繰り返し群発地震が起きている。群発地震の活動期間は最も短いもので4日間というのがあるが1980年の群発地震は6月10日 - 10月10日までの4カ月間続いた。活動期間中に発生する地震回数は当然のことな

が活動期間が長いほど多く1978年1980年1988年の群発地震の地震回数はそれぞれ1万回を越えている。

またその中で起きる最大地震の規模も大きく1978年 M 5.4 1980年 M 6.7 1986年 M 6.0 1988年 M 5.2 などの最大地震が起きている。

伊豆半島では東海地域の地震予知のための各種の観測が行われている。国土地理院は1978年以降毎年1回の水準測量および光波測距観測を繰り返し実施しており伊東市南部を中心とする伊豆半島東部が伊豆半島東方沖の群発地震と対応して隆起していることを明らかにしている。細かく見ると隆起中心は1981年から1982年には伊東市の西の冷川峠付近であった。その後隆起の中心は伊東市の南方に移動し隆起量は1988年からやや大きくなった。隆起の中心は伊東市富戸城ヶ崎海岸付近で1980年から1988年の10年間に17cmも隆起している (第4図)。上下変動と同時にこの地域では顕著な地殻の水平変動も起きている。

1987年までの10年間に小室山-初島 徳永村-初島の距離が20cm伸びている。これはこの地域が北東-南西に伸びていることを示している。この事から多田・橋本 (1988) は地殻深部からマグマ溜まりにマグマが上昇してマグマ溜まりが膨張するために地殻の隆起



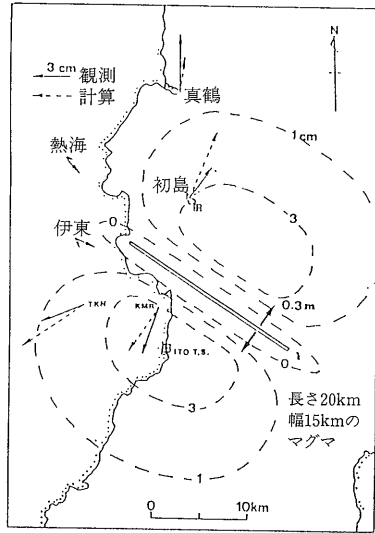
第4図 1980年から1988年までの上下変動の積算値
1980年から各年までの総変化量。単位 mm。
石井 (1989)

が起り マグマ溜まりの膨張に伴う応力あるいはマグマが地殻を押し広げ 地殻を破壊し そのために地震が発生すると考えた(第5図)。同様のことを 島崎(1988)も考えているが 1930年の群発地震や地殻の隆起はマグマの上昇によるとする Kuno (1954) や Nasu (1935) の考えを参考している。

東大地震研究所のプロトン磁力計による全磁力の連続観測では 1984年から伊東市吉田 伊東市新井で全磁力が減少していた。その後 吉田では減少が停止したが新井の減少はその後も続き 熱海市初島の増加が顕著となってきた。これらの観測結果から伊豆半島東部と初島との地下数kmの所で熱消磁または開口割れ目による圧消磁が起きていると考えられた。

今回の群発地震のおよそ1年前の1988年7月26日から8月25日のほぼ1カ月間にわたって 伊豆半島東方沖で活発な群発地震が発生した。この間に発生した地震回数は16,988回で有感地震回数は285回に達し 最大地震はM5.2であった。この多数の有感地震を伴う群発地震と8月の低温のため伊東市を始めとする伊豆半島および伊豆諸島の観光地は観光客のあいつぐキャンセルで大きな経済的被害をうけた。

溝上ほか(1988 1989)は 1984年および1988年の伊豆半島東方沖の群発地震を 震源域の北西延長方向の熱海と南東延長方向の伊豆大島で観測し 群発地震中の一群の地震にマグマの貫入によるクラックの伝播と考えられる震源移動を見出した。それは ある地点で群発活動が開始すると同時に震源が平均速度 0.4m~0.7m/secで移動し 1~2 km 離れた地点に達する。その地点でその後2~3時間群発活動が継続して一連の活動は

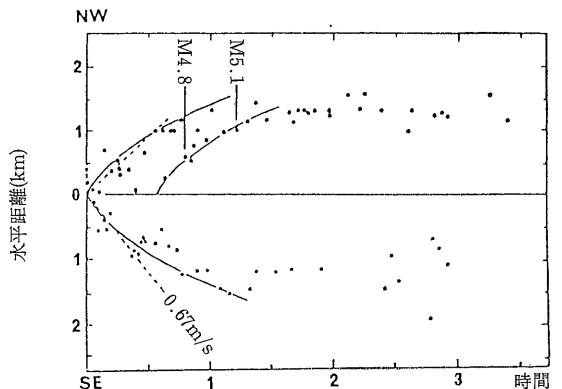


第5図 伊豆半島北東部における観測水平変動と計算水平変動
多田・橋本 (1989)

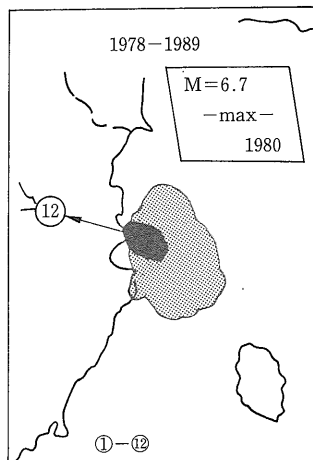
終息する。震源の移動方向は この地域の主圧縮軸と同じ北西-南東線上である。

すなわち 粘性が 10^9 ポアズ程度のマグマがある地点から北西方向にある時には南東に割れ目を作りながら1~2 km 貫入するというモデルである(第6図)。伊豆大島の1986年11月21日の割れ目噴火でも割れ目噴火が始まると震源は北西に移動したことが報告されている(山岡ほか 1988)。

今回の群発地震の約1カ月前の1989年5月21日から6月12日まで伊豆半島東方沖で小規模な群発地震が起きていた。この群発地震は 今回とほぼ同じ震源域での活動であったが 有感地震がなかったため住民も気がつか



第6図 1988年7月の伊豆半島東方沖地震における震源移動
溝上ほか (1989)



第7図 1989年伊豆半島東方沖の群発地震の震源域 アミ部は第3図の①-⑫の震源域を重ねた範囲、⑫の黒色部は今回の群発地震の震源域。 気象庁資料

ないほどであった(最大地震 M2.6 地震の総数も1,217)。

4. 1989年の伊豆半島東方沖の群発地震と地殻変動等の観測

今回の伊豆半島東方沖の群発地震は 6月30日から始まった。震源域はこれまでの群発地震の震源域の北西

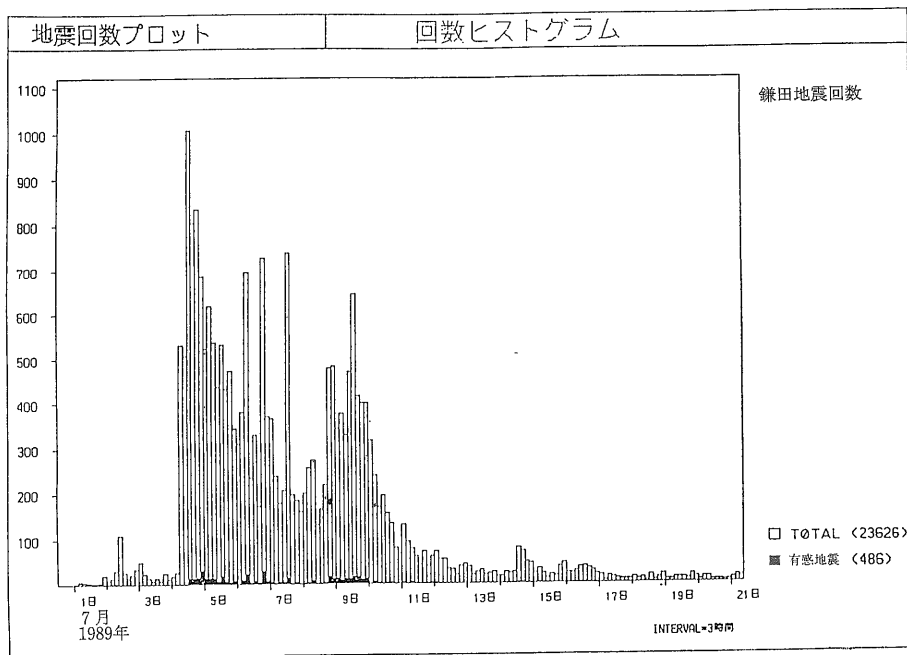
部で これまでの群発地震に比べて最も陸に近い所であり また 震源の深さもこれまでの群発地震に比べて5 km 前後と浅い(第7図)。地震の発生回数は群発地震が始まった当初には1時間当たり数回から数10回であったが 7月4日9時頃から急増し 12時過ぎからは有感地震が発生し始めた。5日には M4.9 6日には M4.3 7日には M5.2の地震が発生した。しかしながら活動は8日昼頃まで次第に低下していった(第8図)。

8日昼過ぎから地震の発生回数は再び増加し 9日に今回の群発地震で最大の M5.5の地震が2つ連続して発生した。この最大地震の発震機構は ほぼ東西の右横ずれ断層で 伊東市宇佐見地区で崖崩れ 道路の損壊 石積の崩壊 屋根瓦の落下等の被害が多数出た。また家具の転倒 落下などにより21人が軽傷を負った。

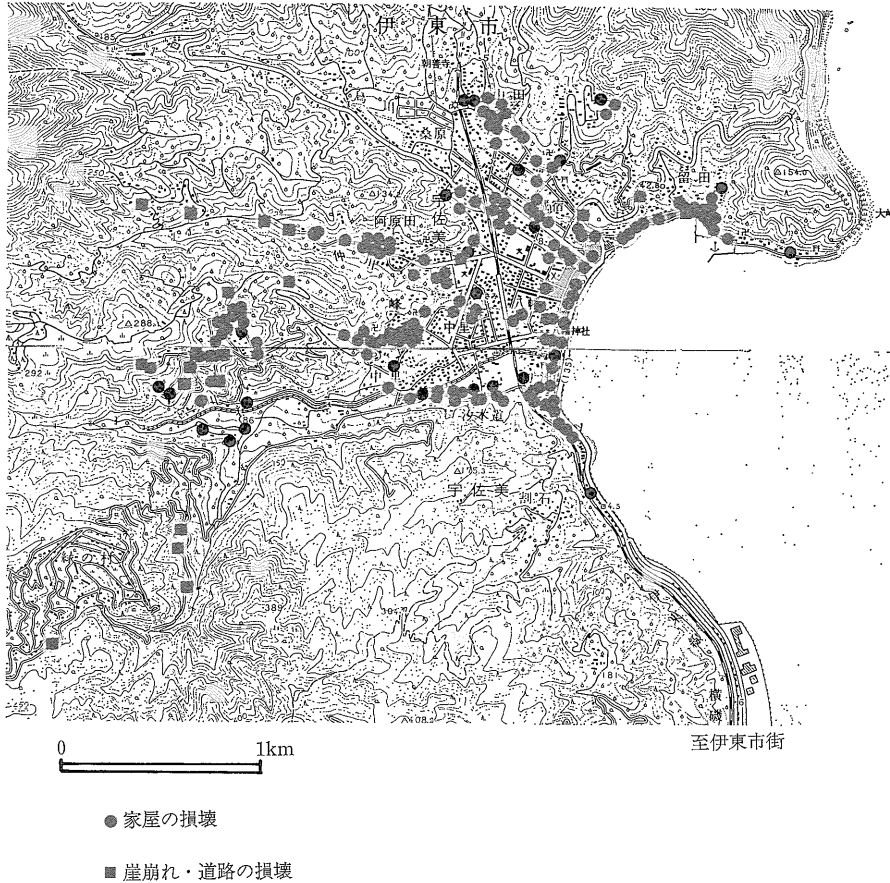
10日から11日にかけて地震回数は減少する傾向を示した。

7月4日から11日にかけて これまでの変動を加速するような大きな地殻変動が起きた。東大地震研究所の光波測距観測によれば この期間に川奈崎-初島間の距離は23 cmも伸びた。国土地理院の水準測量では 隆起の中心が伊東市の市街に移動し 群発地震開始前より8 cmも隆起していることが判明した。伊東市川奈の国立防災科学技術センターの傾斜計は 大きく東南東が沈降する変動を観測した。

11日20時38分頃から突然微動が観測され始めた。微



第8図 1989年伊豆半島東方沖群発地震の3時間ごとの地震回数 気象庁資料



第9図 1989年7月9日の地震 (M 5.5) による伊東市宇佐見地区の被害分布図

動の振幅は次第に増大し 約1時間継続した。

その後は 継続時間が1～2分の微動が間欠的に発生し 12日にもこのような状態が続いた。火山噴火予知連絡会は 17時に拡大幹事会を開き 「微動は地下のマグマの活動による可能性があると考えられる」という会長コメントを発表した。

地質調査所は 微動発生直後の11日夜 曾屋と須藤の2名を現地調査に派遣した。2名は12日早朝に伊東市宇佐美に到着 9日のM 5.5の地震の被害状況を調査した。特に 被害は宇佐美地区を東西方向に横切る東西3km×南北2kmの比較的狭い範囲で著しかった(第9図)。地形的には急傾斜地で被害が大きく(写真1)また平地では屋根瓦の落下が著しかった(写真2)。また寺院では石塔などの回転や転倒が多くみられたが(口絵写真1)寺院の本堂などは瓦屋根であるにもかかわらずほとんど被害を受けていなかった。屋根瓦の落下被害は最近建てられた民家に多かった。道路の損壊は盛土部の崩壊によるものが多く 地表では断層の延長部と考

えられるような割れ目やズレは認められなかった。このことは今回の群発地震の震源が陸域には及んでいないことと調和的である。

伊東市にはこの時点では 災害対策本部は組織されておらず 市民部生活安全課が市民からの問い合わせなどに対応していた。静岡県からは地震対策課や防災関係の職員が伊東市に応援に来ていた。これまで静岡県では いつ起きてもおかしくない東海地震の対策を検討してきたが 伊豆半島東部での火山の噴火の対策はまったく考慮されていなかった。私達は 生活安全課長 県震災対策課の人達と火山噴火の可能性 噴火の様式 災害の要因の予測等について話し合った。その内容は 「火山噴火の可能性が高く 噴火地点は群発地震の起きている所である可能性が高いが 噴火地点の予知のためにはもっと密度の高い観測が必要である。噴火の様式は マグマ水蒸気爆発が考えられ その場合 噴石と火砕サージによる被害の発生が考えられる。噴石は火口から3-4kmの範囲が危険区域となり 火砕サージは



写真1 急傾斜地での崩壊
宇佐見地区、7月13日撮影。

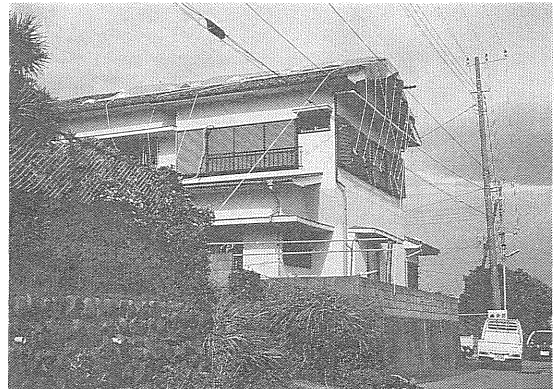


写真2 屋根瓦の被害
宇佐見地区、7月12日撮影。被害家屋の屋根には青いシートがかけられ、遠目にも被害家屋の分布が確認された。

6-8 kmの範囲が危険区域となるであろう。マグマ水蒸気爆発が起きたら必ず火砕サージが発生するとは限らないが、最悪の場合には発生すると言うことで災害対策を検討する必要があるだろう」ということであった。

12日 13日と有感地震の発生は少なく、海上にも異常は認められず、また振幅の大きな微動を体験することも無かったため、13日昼に一旦伊東を離れた。

5. 海底火山の噴火、噴出物は軽石か

13日18時29分に再び振幅の大きい微動が始まり、18時33分にその振幅が非常に大きくなり、18時48分まで続いた。この時、海上保安庁の測量船「拓洋」は群発地震の震源域を調査していたが、18時33分に衝撃音を感じ、36分過ぎに海面がドーム状に盛り上がり、黒煙が上がるのを目撃した。このマグマ水蒸気爆発の経過は「至近距離での目撃記録である本号の「伊東沖海底火山噴火に遭遇して」に詳細に記載されている。

テレビでは、マグマ水蒸気爆発に特有の黒い噴煙が繰り返し放映され、振幅の大きな微動が続いていることを報じている。TBSの映像には、マグマ水蒸気爆発に特有の岩塊を先頭に煙が尾を引く噴煙（コックスティル）が見られた。また、伊東市への立入りが規制され、国道135号が通行止めになっていること、海岸に近い住民は伊東市の指定した避難場所に避難し始めていることが報道されている。

午後9時30分に、曾屋、宇都、山元の3名が現地に向きつけばを出発した。伊東市には、14日午前1時30分頃に到着した。市街には人の姿はほとんどなく、車も走っていない。市の職員は非常招集がかけられ、殆ど全員が席についている。12日に伊東市は「災害警戒本部」を設置したが、その事務局である市民部生活安全課

の職員は、全員緊張している。市民からひっきり無しにかかる電話の応答や連絡を取り合う声で騒然としている。静岡県から派遣された職員の数も増え、派遣職員の控室も騒然としている。私達もこの部屋で待機した。気象庁火山室に私達が伊東に到着したことを伝えると、下鶴火山噴火予知連会長から「静岡県警から宇佐見地区で新たな亀裂が見つかった」と情報が入った。現地調査をしてほしいと言う依頼があった。伊東署に行き現地調査から戻った警察官から状況を聞くと、その場所は私達が13日午前道路の割れ目を見た場所である。気象庁の情報ではその地域で割れ目が発見された時刻頃には地震活動もなかった。結局、9日の地震で出来た割れ目に13日に降った雨水が入り、路床の砂を流し出したことにより、割れ目が拡大した事が判明した。

市役所に戻るとやや静かになっている。有感地震微動の発生も少ないこともあって一部の職員を帰宅させたが、それでもまだ400人も待機している。残っている職員は仮眠の準備をしている。私達も県派遣職員の控室で折り畳み椅子に座ったままで仮眠する。といっても、ただ目を瞑っているだけである。

14日朝6時のNHKニュースが始まった。前日の伊東沖の爆発のおさらいが終わって、伊藤解説委員が「今朝、伊東の海岸に軽石が漂着した。軽石はデイスイトあるいは流紋岩で爆発的な噴火をする……」と話している。聞いた瞬間「本当に軽石か？ 軽石ならまずい、とにかく海岸に行ってみよう」と、すぐに海岸の海水浴場に行った。海岸には、地元の人や報道関係の人が集まっている。地元の人々は海岸に打ち寄せられた魚を集めている。エラヤロの中に細かい軽石が一杯詰まっている。静岡県水産試験場の調査では、ほとんどの

魚は浮袋が破裂していた。噴火で水深100m前後にいた魚が海面に一気に押し上げられたためとみられている。被害はマダイを中心にスズキ、メバルなどの底層魚である(読売新聞 7月15日朝刊)。住民の話では、漂着した魚の中には普段あまり見かけない種類の魚も多いという。

この付近の海岸の砂はもともと黒い玄武岩の砂である。ところがその黒い砂の上に白い砂が打ち寄せられている(口絵写真5)。捨ってみると確かに軽石である。昨日の噴火は軽石噴火だったのか。しかし軽石を拾い集めているうちに白い軽石の表面に黒い汚れのようなものが付いているのを見つけた。さらに軽石を集めると黒いのは汚れでなく、軽石を包んだ玄武岩であることが分かった。中には軽石のほぼ全周が黒い玄武岩に覆われ、お菓子のチョコボールのようになっている物もある(口絵写真6)。直感的に軽石凝灰岩が海底での爆発で細かく破碎され、それを玄武岩マグマが包み込んだのではないかと考えた。もしそうなら噴火を起こしたマグマは玄武岩質マグマであり、デイサイトあるいは流紋岩質の珪長質マグマではないということになる。

6. 海底で噴火が起きると

浅い海底での噴火の様式は、マグマの岩質に殆ど関係なく、マグマ水蒸気爆発である。それは、爆発の原動力が海水が気化したときの体積膨張であり、マグマに含まれている揮発性成分はあまり寄与しないだろうと思われるからである。しかし、海底の火山が成長し、火口が海面付近になると、噴火の様式はマグマの岩質に大きく依存するだろう。基本的には、噴火の規模の大小は、マグマの供給率によるが、火砕サージの発生とその規模は珪長質マグマの方が頻度が高く、また規模が大きくなるだろう。さらに成長して火山島の活動になった場合には、玄武岩質マグマの噴火では火砕流の流出の可能性は小さいが、珪長質マグマの活動では火砕流の発生の可能性は大きくなる。東伊豆単成火山群の一つで、およそ3,000年前にデイサイト質マグマが活動したカワゴ平火山では、最初に爆発的噴火により大量の軽石を噴き上げ、降下した軽石や火山灰は、周辺数10kmまでの範囲を広く覆った。引き続き火砕流が北斜面を流下した。この堆積物は、火口から13km以上離れた地点で厚さ数m以上あり、さらに下流の狩野川流域に流下したものと考えられている(荒牧・葉室 1977)。

この様に爆発を起こしたマグマの性質を知ることが、火山学的に極めて重要であるが、噴火の様式を予測し

災禍の予測とその軽減のための対策にとっても重要である。

7. どこで次の噴火を観測するか

噴火は、水路部の測量船によって手石島の北2km、伊東市の東約3-4kmの地点で起こったことがわかった。海図で見ると噴火地点の水深は約100mである。また噴出物の観察から今回の噴火は玄武岩質のマグマの活動であることがわかった。今後噴火が継続し、海丘が成長する過程を観察する事ができれば、火山学にとって貴重な財産になる。そこでまず地図上で、仮に火砕サージが発生しても安全で、いざという時にはより安全な所へ脱出が可能な場所を探し、その場所を見て回った。噴火が起きた海域を一望できそうな地点の多くは、急な斜面を登る細い道しかない。大きな地震が起これば道路は落石等で閉鎖されそうな所ばかりである。

結局、国道135号のバイパスで手石島がすぐ下に見える汐吹崎の上に車を停めて待機した。ラジオは30分おきに地震活動に関するニュースを流している。市民からの情報をそのまま流したと思われるニュースも含まれている。それは、噴火地点付近の海域から黒い噴煙のようなものが立ち昇っていると言うニュースである。驚いて双眼鏡で噴火地点付近の海面を見ると、確かに何かが黒く盛り上がっているように見える。しかも確かに時々黒い雲のような物がある。噴火地点を中心とする海域の上空を海上保安庁、静岡県警、報道機関のヘリコプターが多数飛んでいる。良く見ていると、沢山飛んでいるヘリコプターが、黒く盛り上がっているように見える海面に近づく度に薄い雲が上がる。よくよく見ると、雲のように見えたのは鳥の群れである。海面に鳥が集まっていて、それが海面上の黒い盛り上がりに見え、ヘリコプターが近づくとうる鳥が一斉に飛び立つため、遠くから見ていると煙の様に見えたのである。おそらく爆発でショック死した魚が浮いているため鳥が集まったのであろう。

前夜は一睡もしていない。車の中でうつらうつらしているとき地震があった。突然、ドスンと下から突き上げるような継続時間の短い地震で驚いて飛び起きた。15時30分頃であった。この地震はラジオのニュースで、網代で震度Ⅲ、東京でも震度Ⅰのやや大きな地震であったことを知ったが、震源に近いこの地点では、震度Ⅲよりもっと大きく揺れたように感じた。今回の群発地震では、有感地震の回数が多く、震源が浅かった事もあり、網代での震度と震源に近い伊東市での住民が感じる地震の強さにかかなりの差があったことは、新聞・テレ

びでも報道されている。14日はこの地震を含め5つの有感地震が起きただけで地震活動は低下の傾向を示した。

8. 騒音と混乱

翌15日は未明に2つの有感地震があっただけである。この日から海上保安庁の無人調査船「マンボウ」で海丘の調査が始まり取材のヘリコプターの数は増え伊東市周辺は一層騒がしくなった。また国土庁からの要請で航空自衛隊のジェット機が熱映像撮影のため低空で繰り返し飛行していることも騒がしさに拍車をかけた。昼前のニュースで『水路部の発表によると「マンボウ」の調査結果によれば海面下5mの所に反応が認められた』と伝えた。しかしその後『海面下5mに反応が認められたが海丘の成長としては早すぎる。海底からの泡に反応した可能性があり午後には再調査することになりました』と前のニュースは訂正された。またこの日の夕方突然「海底火山の活動により津波の心配があります。海岸付近の皆さんは万に備えて十分気をつけて下さい。なお…」と伊東市街の同報無線が繰り返し報じた。谷沿いにある伊東市ではスピーカーの音は斜面に反響して聞き取り難い。そのため何回か繰り返し放送したのであろうがなぜ今津波に対する警報の放送するのか何か異常でも起きたのかと思わせる放送であった。

丁度この頃宇佐美の海岸に近い海域で煙が上がった。双眼鏡で見ると細い煙で発煙筒の煙の様だ。「マンボウ」の調査中にも発煙筒が投下されそれを目標に調査をしていたので私達は海上保安庁のヘリコプターが何らかの目的で投下した物と考えていた。

ところが伊東市の市内では大変な混乱が起きていた。発煙筒の煙を見た市民から通報が入り消防車2台がサイレンを鳴らして宇佐美に向かう。パトロールカーも続く。そのような騒ぎがある中で聞き取りにくい同報無線が「津波に十分注意してください」と放送したのだから緊張している市民はまた新たに何事かが起きるのではないかと考えるのは無理からぬことである。伊東市役所には問い合わせが殺到したそうである。

この様な一種のパニックから調査をする側の反省として市民が緊張し注目している所での調査は緊急調査であれ市民に調査の目的・手法などを伝え調査のために更に不安を与えない配慮が必要ながあげられる。

翌16日の早朝地震ではなくジェット機の低空飛行

の爆音で目をさました。地震活動が低下しやっとな熱帯できるようになったらジェット機で起こされた市民から文句がくるのではないかとジェット機が熱異常の調査のために飛行していることは市民に伝わっているのかと心配になった。

14日採取しつくばの地質調査所に送った噴出物のうち黒色の玄武岩は化学分析のために使ってしまったのもっと採取して欲しいという連絡が届いた。静岡県震災対策課や市の人達と海岸に出てみると14日の朝より少なくなっていたがまだ残っている。昨15日に汐吹崎の海岸にもあまり多くはないが魚と一緒に軽石が浮遊していた。二度目の噴出物の採取は軽石に付着した玄武岩が沢山着いているものを選択的に採取した。周りにいた観光客も手伝ってくれたり海に浮いているのを網ですくってくれた人もいた。採取している目的を話したら一生懸命拾ってビニール袋に入れて大事そうに持って帰った人もいた。

また14日に東京新聞社が採取した軽石はその日のうちに地質調査所に持ち込まれその一部は分析試料となった。同日の夕方にはテレビ朝日により大型の試料が採取され噴出物の検討に大いに役立った。

9. 噴出物の検討-異常な軽石

7月13日の海底噴火で伊東市周辺の海岸に漂着した噴出物は大きさが1-2cm程度の白い軽石とそれを包むように付着している玄武岩であった(口絵写真6)。

つくばでは蛍光X線装置で主成分の化学分析ICP法による微量成分の分析薄片の顕微鏡観察軽石のガラスの屈折率の測定が行われていた。16日に採取した噴出物を含めて検討を進めた。

伊東市の海岸では軽石は様に白く見えた。しかし軽石の色は詳細に見ると白色から灰色まで連続的にある。また灰色の軽石は濃淡様々で縞状のものもある。軽石は一般に丸みを帯びているが一部にパン皮状火山弾の構造を持つものがある。軽石は良く発泡し気泡は特徴的にはほとんどが球形で気泡の大きさが揃っている(口絵写真9)。すでに述べたが一部の軽石は表面の一部または全周を厚さ1-2mmの黒色の玄武岩で覆われチョコボール状になっている。玄武岩に包まれた軽石はほとんど白色であり灰色のものは稀である。玄武岩に接する外側が白く中心部が灰色であるものも少量ある。軽石に含まれる結晶は斑晶状の斜長石角閃石などで灰色軽石には粘土鉱物を含む結晶片や新鮮な玄武岩と輝石安山岩の破片を含むものがある。軽石凝灰岩が一体のまま発泡したとみられる組織

第2表 1989年マグマ水蒸気噴火の噴出物の化学組成
主成分は蛍光 X 線分析：分析者 富樫茂子
微量成分は ICP 法：分析者 吉川清志

	軽石			玄武岩	
	IT0-1	IT0-2	IT0-3	IT0B1	IT0B2
SiO ₂ (%)	70.23	71.81	72.39	50.80	49.23
TiO ₂	0.38	0.45	0.36	0.88	0.89
Al ₂ O ₃	14.94	14.31	14.03	17.40	17.61
Fe ₂ O ₃	3.48	3.46	3.02	10.62	11.22
MnO	0.08	0.07	0.07	0.16	0.16
MgO	1.27	0.94	0.99	6.88	7.67
CaO	4.08	3.52	3.15	10.60	10.74
Na ₂ O	3.86	3.64	3.97	2.22	2.19
K ₂ O	1.63	1.74	1.97	0.35	0.17
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.05	0.10	0.12
Ba (ppm)	396	453	437	105	
Co	<15	<15	<15	39	
Cr	<10	<10	<10	152	
Cu	15	11	10	77	
La	9	10	9	3	
Ni	<25	<25	<25	60	
Pb	<40	<40	<40	<15	
Sc	11.8	10.7	9.5	34.8	
Sr	178	161	150	293	
Th	<10	<10	<10	<10	
V	65	61	42	289	
Y	28	29	30	16	
Zn	48	45	43	83	

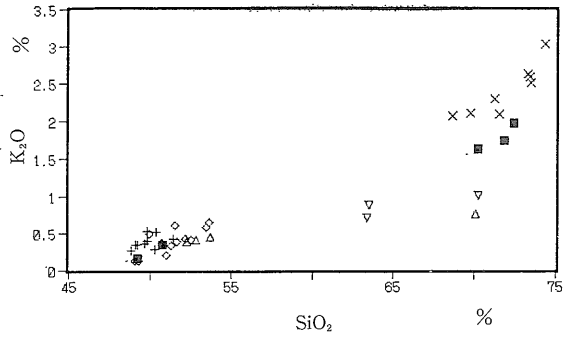
を持つ軽石塊も得られている。

海岸で採取された軽石は小さかったため 詳細な組織の検討はできなかったが 後に大きな試料が得られたことにより 軽石の材料は古い軽石凝灰岩であることが明らかにされた(口絵写真7 8)。

このように軽石に含まれる鉱物が結晶片であったり 粘土鉱物を含むこと さらに軽石凝灰岩の組織が認められることから 海底噴火の噴出物として採取した軽石は デイサイト質または流紋岩質の珪長質マグマから直接生成した軽石とは考えにくい。また マグマから生成した軽石は 気泡の大きさが不揃いで 球形のものは稀で 柱状に伸びていることが多く 気泡と気泡が連結していることも普通にある。この点でも採取した軽石は 異常である。

玄武岩は 斜長石 かんらん石 単斜輝石の大型の結晶と斜長石 輝石 鉄鉱 少量のガラスの石基からなる。石基鉱物はやや粗粒であり 海水に急冷されたはずの玄武岩としては 予想外であった。

玄武岩を2試料 軽石を3試料 化学分析した。(第2表)。玄武岩は SiO₂ が49-51%で 東伊豆単成火山群の過去に噴出した玄武岩とよく似た化学組成を示し



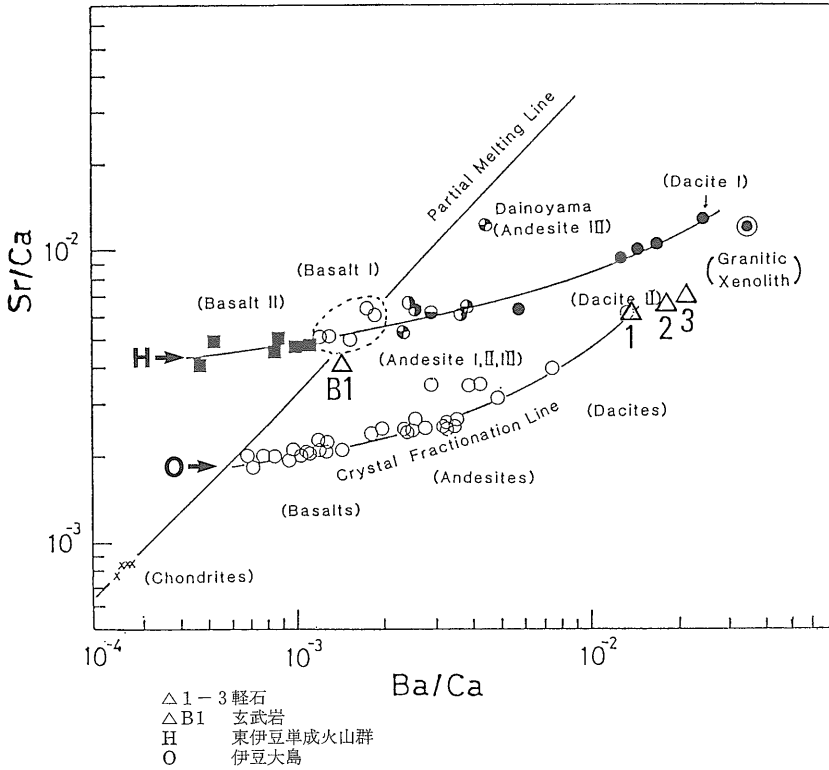
第10図 K₂O-SiO₂ 図
■ 1989年伊豆半島東方沖の海底火山の噴出物
◇ 東伊豆海底火山群(粟室ほか, 1980, 1983)
+ 東伊豆単成火山群北部の玄武岩(Hamuro, 1985)
x 東伊豆単成火山群中・南部の火山岩(Hamuro, 1985)
△ 伊豆大島火山(中野ほか, 1987)
▽ 浦根, 東京軽石

第10図 K₂O-SiO₂ 図

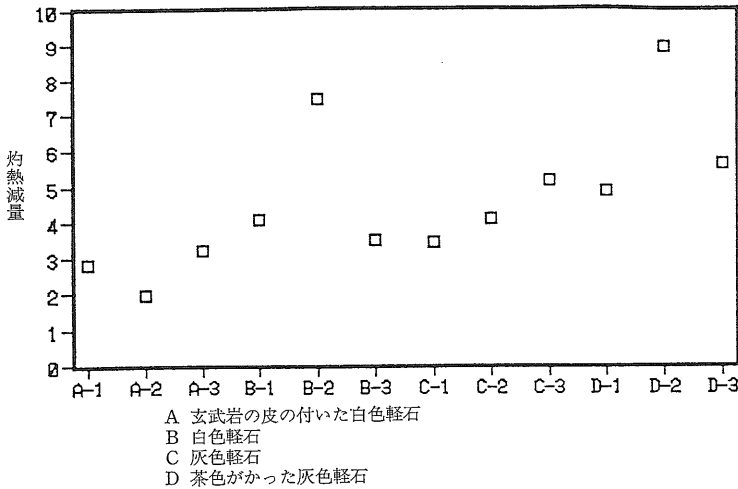
伊豆大島1989年の玄武岩に比べると明らかに異なり SiO₂ 全鉄 TiO₂ がやや低く Al₂O₃ MgO Na₂O にやや富んでいる。軽石は SiO₂ が70-72%のデイサイトであり 軽石の色の違いによる化学組成の差は認められなかった。この軽石の組成を東伊豆単成火山群の珪長質岩と比べるとアルカリ 特に K₂O が低い(第10図)。微量元素のうち Ca Ba Sr で見ると玄武岩は東伊豆単成火山群の北部の玄武岩の組成と同じであるが デイサイト軽石は東伊豆単成火山群の分化曲線に乗らない(第11図)。軽石には数%の灼熱減量が含まれる。灼熱減量は 主にガラスを水和している水の量で 新鮮なガラスは少ないのが普通である。そこで白色軽石から灰色軽石までの12試料の灼熱減量を測定した。白色軽石の灼熱減量は 2-4%であったが 灰色混じりから灰色軽石ではおよそ5%であり(第12図) 灰色軽石の方がガラスの水和の程度が大きいことを示している。このこともまた 軽石が今回の噴火でマグマから生成したものでないことを示している。

伊東市周辺の海岸に漂着した軽石及びそれを包む玄武岩の検討から

- ① 軽石は 化学組成から東伊豆単成火山群の過去の噴出物とは似ておらず また直接マグマから生成したものでない。
- ② 玄武岩の化学組成は 東伊豆単成火山群の玄武岩と似ている。
- ③ 7月13日の噴火は 玄武岩マグマによるマグマ水蒸気爆発であった。
- ④ 軽石は 新しいデイサイトマグマから生成したのではなく デイサイトの軽石を含む堆積岩(軽石凝灰岩)が 玄武岩マグマの熱により発泡したものである。という結論が得られた。



第11図 SB systematics Hirano et al. (1982) に新分析値をプロットしたもの



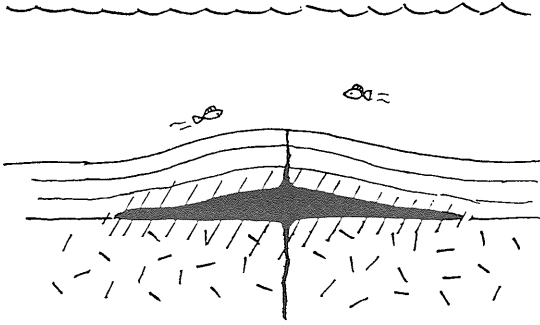
第12図 軽石の色と灼熱減量との関係図

10. 海底火山噴火は7月11日に始まった？

一噴火のモデル

伊東市周辺の海岸に漂着した軽石とそれを包み込んでいた玄武岩の正体が明らかになった。しかし 幾つか

の疑問点がある。その第1は 海の底にあった堆積岩をどうやって浮かせるかである。第2は マグマと海水が接触し マグマ水蒸気爆発を起こしたのであるから マグマは海水によって急冷され 石基はガラスが多く 石基鉱物はあっても細粒で 少ないことが必要でないか



固結度の弱い堆積物

軽石凝灰岩

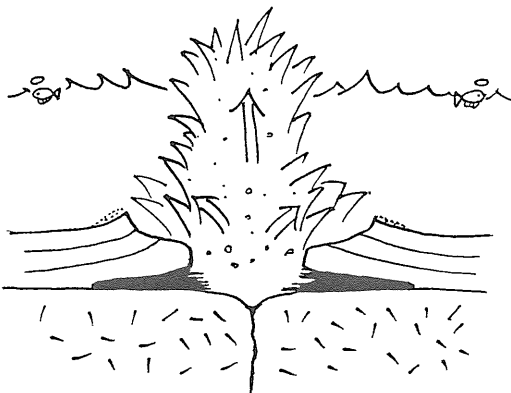
第13図 1989年海底噴火の模式図
7月11日—12日

という疑問である。

すでに述べたように 今回の群発地震の震源の深さはこれまでの群発地震に比べて浅い。川奈崎-初島間の距離の伸び 伊東市周辺の隆起 東伊豆の体積歪計の縮みなど 伊東市周辺の地殻変動は7月4日から9日にかけて起こり この間の変動の解析からマグマはきわめて浅いところを上昇したと考えられている (たとえば防災科学技術センター 毎日新聞8月8日付朝刊)。7月9日のM5.5の最大地震以後 群発地震はそれまでより さらに浅いところで起きている。

7月11日夜の火山性微動が観測された時点で玄武岩マグマは 地下から上昇し 噴火現象を起こしたかも知れない。しかし その噴火現象が海面上に現れたかどうかは不明である。同時に 海底の固結度の低い堆積物とその下位の地層との間に玄武岩マグマがレンズ状に貫入したと考えられる (第13図)。

マグマが貫入した地層には 間隙水に富んだデイサイト質の軽石凝灰岩があり 軽石 火山灰は水和していた。貫入したマグマの周囲にはマグマの熱により水蒸気膜が生じ 地層中の間隙水とマグマとは直接接するこ

第14図 1989年海底噴火の模式図
7月13日の噴火

1989年10月号

とがないので この段階では マグマ水蒸気爆発は起きない。このような状態は マグマと水との界面が衝撃波などで乱されない間は安定を保っている。この間にマグマの熱により地層は加熱され 間隙水は蒸発し 同時にマグマの表層部の温度も若干低下して結晶化が進む。

軽石には 400-500℃ 以上では分解してしまう緑泥石などの鉱物が存在していることから この加熱は短時間であったことが推定できる。7月12日には振幅の大きい火山性微動が間欠的に発生した。この火山性微動ともなってマグマがさらに貫入したかも知れない。貫入したマグマとその周囲の水蒸気膜はこのときも安定を保っていた。

海上保安庁水路部の測量船「拓洋」は 7月13日の噴火に遭遇する前に噴火地点に高さ25mの小型の海丘が存在していたことを観測している。

7月13日 それまで安定していたマグマと地層中の間隙水の関係が たとえば新たなマグマの上昇あるいはマグマの逆流によって乱され 両者が混合し マグマ水蒸気爆発が始まった。一旦爆発が始まるとそれは急速に系全体に伝播する (第14図)。軽石質の堆積物中の水には ガラス中に水和して含まれている水と間隙水との2種類がある。間隙水に富む堆積物の破片がマグマに捕獲されると 水の急激な気化により爆発してしまい 軽石にはならない。今回得られた軽石は 安定な水蒸気膜の内側で間隙水が蒸発して乾かされた堆積物の破片がマグマ水蒸気爆発の際にマグマに捕獲され上昇する際にガラス中の水和水が気化し発泡したものと考えられる。

11. 終わりに

日本には 77の火山が活火山として観測 監視の対象となっている。活火山とは 現に噴火している火山のほか 歴史時代に噴火の記録があるか 火山周辺に硫気孔などの噴気活動がある火山を云う。気象庁のまとめ

た日本活火山総覧には 大室山として東伊豆単成火山群が活火山として登録されている。しかし 東伊豆単成火山群には噴火の記録もないし 周辺には温泉はあるが噴気活動もない。活火山として扱われた理由は久野先生の見識であった。今回の噴火により東伊豆単成火山群は 名実ともに活火山となった。しかも 今回の噴火は歴史時代初めての住民の多い市街地近くの海底噴火であった。

謝辞

現地調査では 伊東市市民部長土方 昱氏 稲葉貞夫課長と生活安全課の方々 静岡県総務部地震対策課伊野盛夫課長と岩田孝仁氏および伊東市に派遣されてきた静岡県職員の方々にお世話になった。

東京新聞社及びテレビ朝日からは採取された試料を提供して頂いた。東京大学地震研究所荒牧重雄教授 藤井敏嗣教授 金子隆之氏および東京大学理学部川邊禎久氏には噴火のモデルの検討に参加して頂き 建設的な意見を頂いた。また藤井敏嗣教授からは 海丘の潜水調査の結果を教えて頂いた。それは 噴火のモデルの修正に有益であった。

地質調査所地質標本館試料調整課佐藤芳治氏には難しい軽石の薄片を多数作って頂いた。以上の方々感謝する。

参考文献

- 荒牧重雄・葉室和親 (1977) 東伊豆単成火山群の地質—1975—1977 中伊豆の異常地殻活動に関連して— 震研彙報 vol. 52, p. 235-278.
- 葉室和親 (1978) 大室山火山群の地質 地質雑 vol. 84, p. 433-444.
- Hamuro, K. (1985) Petrology of the Higashi-izu monogenetic volcano group, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, vol. 60, p. 335-400.
- 葉室和親・荒牧重雄・加賀美英夫・藤岡 換太郎 (1980) 東伊豆

- 沖海底火山群—その1— 震研彙報 vol. 55, p. 259-297.
- Hirano, M., Hamuro, K. and Onuma, N. (1982) Sr/Ca-Ba/Ca systematics in Higashi-izu monogenetic volcano group, Izu Peninsula, Japan. Geochem. Jour., vol. 16, p. 311-320.
- 石井 紘 (1989) 最近の伊豆半島の上下変動の特徴について 地震学会講演要旨集 1989年春季大会 p. 160.
- 気象庁地震予知情報課 (1989) 伊豆半島およびその周辺の地震活動 (1988年5月~10月) 地震予知連絡会会報 vol 41, p. 227-242.
- Kuno, H. (1954) Geology and petrology of Omuroyama volcano group, north Izu. Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, vol. 9, p. 241-265.
- 溝上 恵・荻野 泉・勝俣 啓 (1988) 伊豆半島 東方沖の群発地震活動とマグマの貫入 地震学会講演要旨集 昭和63年度秋季大会 p. 50.
- 溝上 恵・荻野 泉・勝俣 啓 (1988) マグマ貫入によるクラックの伝搬と震源移動 (伊豆半島東方沖 および伊豆大島の例について) 地震学会講演要旨集 1989年春季大会 p. 43.
- Nakamura, K. (1974) Preliminary estimate of global volcanic production rate, Proc. Conference Utilization of Volcano Energy, Hilo, p. 273-287.
- Nasu, N. (1935) Recent seismic activities in the Idu Peninsula. (Part 2). Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Imperial Univ., vol. 13, p. 400-416.
- 小野晃司・曾屋龍典・三村弘二 (1981) 日本の火山 (第2版) 地質調査所.
- 島崎邦彦 (1988) 伊豆半島沖の岩脈貫入仮説 地震学会講演要旨集 昭和63年度春季大会 p. 330.
- 多田 堯・橋本 学 (1988) 伊豆半島東北部の異常地殻活動の原因について (2)—マグマ溜まりと開口割れ目—地震学会講演要旨集 昭和63年度春季大会 p. 139.
- 多田 堯・橋本 学 (1989) 伊豆半島東北部の異常地殻活動の原因について (3)—開口割れ目モデルと1988年夏の活動—地震学会講演要旨集 1989年度春季大会 p. 41.
- 山岡耕春・渡辺秀文・坂下至功 (1988) 1986年伊豆大島噴火前後の地震活動 火山 vol. 33 伊豆大島火山1986年噴火 p. S91-S101.