

## 火山噴火予知連絡会

### 伊豆部会（第2回伊豆大島の火山活動に関する勉強会） 議事録

日 時：平成18年1月17日13時00分～17時25分

場 所：気象庁講堂

出席者

部会長：渡辺

出席者：藤井(敏)、森、上嶋、中田、武尾、平林、上総、村上、春日、鶴川、篠原、櫻井、横田、高橋、山岡、津久井、森田(地震研)、笹井(東京都)、西村(地理院)、藤田(防災科研)、川邊(産総研)、芹沢(代理：砂防部)

オブザーバー：大城、井上(文科省)、森、志茂、坂井(地理院)、吉、小山、服部、大谷(海保)、上田(防災科研)、福井、北川、坂井(以上 気象研)、小池(地磁気)、土井(震研)

事務局：山里、川原田、宮村、松島、長谷川、石森、加藤、齋藤、棚田、道端

横田：出席者の紹介。会議終了後、渡辺伊豆部会長と横田で簡単に報道に説明を行う。

事務局：席上配布資料の確認。

渡辺：資料は、行政文書として事務局で保存する。明らかな誤りなど、不適切な資料があれば御連絡いただきたい。

前回の宿題から議事を始める。今回用意された前回の宿題は次のとおり。

- ・産総研：カルデラ形成時の噴出物の分析結果について
- ・国土地理院：水準測量及び潮位観測結果について
- ・震研：三原山火口底の高度の変遷について

#### 【カルデラ形成時の噴出物の分析結果】：産総研

・これまでは1500年前にカルデラ形成がされたと言われている。その時の噴出物であるS2部層について、山元(産総研)が現在執筆中の論文からデータを引用して今回の資料を作成した。中村が行ったS2部層の粗粒堆積物の層序、一つの部層の細かい層序、岩相、構成、粒度組成等を検討し、そのS2部層をもたらしたのがどのようなものなのかということを考察した。

同時に、このS2部層の中に未炭化の木片が大量に含まれており、その年代を今回測定した。非常に少量でも非常に精度良く分析できるようになった。その結果、噴火年代は、A.D.340年頃で、これまでの値よりも200年ほど古くなった。これについてはもう少し検討が必要である。実は中村も最初は遺跡などからS2部層は1700年位前ではないかと論文に書いている。この年代についてはもう少し検討するが、古くなる可能性がある。

S2部層について細かく分けたものを図1に示したが、全体を6つのユニットに細かく分けることができた。このうち、中村が指摘した低温火砕流の大半はS2c及びS2dの2つのユニットに相当する。この2つのユニットとも本質物質を含んでおらず、噴火は水蒸気爆発であったと考えられる。このうち下位を占めるS2cユニットは主に谷地形に分布し、谷地形を平滑に埋め、大きなレキや細かい基質がその中にあるが、基質の部分は細粒の火山灰を大量に持っていて、非常に淘汰の悪いものである。

(図2の説明)

S2c は比較的細かいものが多く、淘汰が悪いという特徴を持つ。図2中では、磐梯山の1888年の噴火で出たラハール（熱泥流）の堆積物と同じところにプロットされる。おそらくこれは水を大量に含んだラハールとして再移動したものである。

S2d ユニットは全島どこにでも分布するが、これは旧地形の谷を厚く、尾根を薄く覆うという特徴を持つ。基質は粗粒～中粒の火山灰に富み、細粒に乏しい。これを図2にプロットすると S2c とは違い、少し淘汰の良いところにプロットされる。これは磐梯山 1888 年噴火のブラスト堆積物と非常に良く似た領域に分布する。以上から、S2d 堆積物は空気と火砕物が混合して流れ下った火砕物密度流（火砕流の一種）だと考えられる。粒径からこの火砕流の速度を推定すると、カルデラ付近で 100～150m/s、一番はなれた南北の海岸付近でも 30m/s 以上の速度を持っていたと推定される。

これらの堆積物をもたらした噴火を推定すると、高速の火砕流の発生はカルデラ陥没に山体内部の加熱地下水の急減圧による大規模な水蒸気爆発とその噴煙柱の崩壊によってもたらされたと考えられる。三宅島でも同じような小規模な物が出たが、この場合には本質物質が含まれており、安定な噴煙柱を形成し、高速火砕流を発生することができなかつたと考えられる。大島の場合には本質物質がほとんど含まれていないので、温度が低いために上昇しきれずに、地表に沿って流れたと考えられる。

このようなマグマ後退期に発生する火砕物密度流の発生の予測には、本質物質が噴煙の中にどれくらい含まれているかを知る必要があるが、これには時間がかかるので、ある程度リアルタイムに観測するためには、噴煙の温度や密度の連続分布を知る手法を確立する必要がある。

#### <質疑・応答>

- ・ マグマ後退期であるという理由は何か？
- ・ 基本的には中村の説による。S2 部層の最下部にスコリア及び溶岩流があり、時を経ずに（噴火間隔も侵食もなく）、その上に S2b、S2c、S2d、S2e、S2f が重なっている。本質物質を含むのは最初の S2a だけである。伊豆大島の他の噴火との比較でも、マグマが出ているのが最初の噴火でその後はマグマ後退期に発生したのだろうというこれまでの説を踏襲した。
- ・ たいした噴火もなくマグマが後退した跡に、水が流入して水蒸気爆発が起こったということか？
- ・ そういうことである。
- ・ 規模の割にどうしてマグマが少ないのかが気になる。
- ・ 自己閉塞加熱地下水の急減圧と、水が入り込んで加熱して爆発するというのは違うと思うが、自己閉塞加熱地下水の急減圧とはどういうメカニズムで、どういう風にして起こるのか説明していただきたい。
- ・ 資料作成者がいないので詳しいことは言えないが、イメージとしては、大規模な熱水性地下水が伊豆大島の地下にあった。三宅島の場合はその発達があまりなかった。
- ・ ハワイで同じような例があった。
- ・ 減圧のメカニズムがよくわからない。
- ・ ハワイの例というのは、1790 年のキラウエア火山の噴火で、当初マグマ噴火が始まって本質物質を出し、その後溶岩湖の水位が下がっていき、本質物質を含むマグマ水蒸気爆発が発生し、噴出物は専ら降下火砕物として周辺に堆積している。最後に本質物質を含まない噴火が発生し、その場合には周辺に低温の火砕流が発生している。そういう事例である。大島の場合も同じように解釈できる。2つの違う噴火様式があり、本質物の含有量の違いで起こる。これをどのようにモニタリングするかが課題である。
- ・ 大規模なカルデラを作る水蒸気爆発が起こったことから、大規模な急減圧により、何か大量のものが下に戻ったのか、または横に行ったというようなことをイメージされているのか。
- ・ もちろん伊豆大島では証拠はないが、そういうイメージである。

- ・三宅島の場合は小さな噴火があって、陥没イベントがあって、(低温の火砕流を起こす) 噴火があった。この場合もそう考えてよいのか。カルデラが山体崩壊で出来た可能性もある。噴火の後の推移だけを注目すればよいのだろうか。つまり、こういう規模の大きな噴火が起こるのは、ちょっとした噴火が起こった後に発生するという考え方でいいのか。何をモニタリングすればよいのか。
- ・実際にできるかどうか、やってみる意味があるかどうかは別として、噴火が起きて遠くまで高速で流れ下る火砕流が発生するかどうかを予測するためには、噴煙の温度や密度をかなり離れたところから連続的に観測する手法が必要であると考えられる。基本的に、温度が十分あれば安定して噴煙柱が上に上がっていくが、温度が低いために上昇しきれずに流れ下る、これをどう予測するかということである。
- ・それは、噴火後に噴出物のマグマ物質の量を調べることや、遠隔観測で噴煙の密度をどう調べるなどすることが良いということか。
- ・そのとおり。
- ・噴火が始まってからのモニタリング及び注目点を説明されたが、かつてカルデラが形成された時にこの前の三宅島のようなことが起こったのか、山体崩壊が起こったのか。大島のカルデラを作ったときのメカニズムをもう少し詰められれば良いと思う。いずれにしても、ハワイで見られたような山頂火道でマグマがドレインバックして、ちょっとした水蒸気爆発が起こる、ということとは違うのではないかという気がする。単なる後退ではなく、横に行って大量のものがなくなるということが起こらないとなかなか大規模なもの(陥没?) を起こしにくいのではないかという気がする。その辺を地質学的な側面、分析、地形等から今後突き止められれば良いと思う。

#### 【水準測量及び潮位観測結果】：国土地理院

- ・1986年の噴火時には、数10cmを超えるような非常に大きな変動があった(p1)。  
1979年～1982年で見える限り、共通性のあるパターンは見取れない。ただし、1979年～1980年では期間は短い、後に顕著になってくる、島の東部と西部が隆起をして波浮あたりが沈降するというパターンに見えなくもない。この一回だけなのでハッキリはしない。いずれにせよ、1979年～1982年ではあまり大きな地殻変動はなかったのかもしれない。1982年と1986年噴火の直前の間にデータがないので、噴火の直前にどのような前兆があったかという議論は水準測量のデータからはできない。したがって、1982年～1986年の噴火後間のデータは、噴火前の前兆と噴火時の変動が重なったものをみている。これの特徴は、既に紹介されているように、南東部に大きな地溝状の落ち込みがあった。  
噴火後の外周の観測データ(p2)。時期によって変化の早い遅いは多少あるが、空間パターンが共通で、基本的に島の南東部の波浮が北西部の岡田に比べて沈降しており、元町付近が隆起している。例えば1989年～1993年あたりでは、南部の波浮あたりが岡田に比べて落ち込んでいる。よく見ると落ち込んでいる両端、水準点10218は噴火のときに非常に落ち込んだ。波浮からやや西にある10226も細かく見ると周りに比べて沈降の速度が速い。これも期間を通してみると一時的なものではない。10218は傾斜の急な道路沿いにあり、地すべり的なローカルな変動を考えなければならないが、そのような点を除いても、この辺は沈降速度が大きいという一貫した性質がある。  
元町～外輪山～外輪山の北側～元町に戻ってくる路線(p5以降)の、噴火後のデータである。このデータで共通して言えることは、ほとんどの期間で元町に比べ外輪山は隆起しているが、2つだけ外輪山が沈降したことを示すデータがある。最初の1987～1988年の間と2000～2002年の間。後者は計測のエラーではなく本物かもしれない。その理由はGPSでも同様の傾向が表れているからである。  
島内にある4点のGPSの上下成分を時系列で表した(p18)。固定点を能登半島(二次的に変動のないところ)に取った。特に上の3点は2002年頃までは隆起していたが、2002年前後以降は速度が落ちたように見える。

島内の水準測量で見える 2001~2002 年間に見える外輪山の沈降はそれに対応している可能性がある。

加藤・津村の方法によって海流による変動を除いて、検潮所固有の上下変動を抽出した(p7)。例えば、伊東や油壺を見ると、伊東は長期間隆起しているが、顕著な変動はちゃんと見て取れるので、岡田が系統的に隆起していれば、その様子が出てくると思うが、1956 年からのデータでは、一貫して隆起したり、沈降したりしている様子は見られない。

1956 年以降の岡田の検潮データを見ると(p19)、1986 年のときは岡田が 10cm 内外、沈降したと言える。これは噴火時の地殻変動モデルに当てはめると、数 cm の沈降と出てくるので、整合していると考えている。それ以降では、データが暴れているので、どこで停滞に転じたか決めにくいですが、仮に 1999 年とすると、1987 年~1999 年では年 1 cm くらいの隆起になる。これを GPS と合わせてみると 5 mm と出てくるが、これは固定点の問題があるかもしれないので、岡田は 1987 年以降は年に 1 cm 内外の隆起をしているが、最近停滞しているらしい。気になるのは 1986 年の噴火以前であるが、このデータを信用すると、噴火以前も 1975 年頃に隆起している。それ以前は沈降していたらしい。もう少し詳しくみていきたい。

大島灯台と一等三角点「大島」の間の辺長の測定記録では、噴火の前はデータがまばらなので詳しい事はわからないが、伸びていたらしい。

#### <質疑・応答>

- ・ p6 の最近の上下変動の項で、2000 年の終わりごろから 1 年間、元町から見て外輪山が沈降気味であるとなっているが、辺長のほうでも 2001 年のまる 1 年くらいが停滞またはやや縮んでいるかもしれないと見えていたので、ちょうど対応していると考えている。
- ・ 2000 年の三宅島~神津島間の開口からは遅れる。理由はよくわからないが、それが収まってから、大島の山体の膨張なり、隆起が収まった。  
p9 の山腹の長基線の長期間の辺長変化について、1986 年の前のものを一本の直線でフィッティングしているが、1978 年の伊豆大島近海地震のところでも 2 点測定値があり、そこでオフセットがあるので、むしろその前のほうの勾配のきつい直線とそのあとの勾配の小さいものと 2 本に分けたほうが良い。
- ・ 伊豆大島近海地震の問題もあり、水準のデータで見ても 1979 年から 1982 年までは少し膨張が進んでいなかったように見える。1 本で引いているのは確かに不適切で、なにか揺らぎがあったかもしれない。しかし、どこで分けてよいかわからなかったので今回の資料では 1 本で引いた。
- ・ 非常に短期間でずれているので、オフセットしていると思う。  
潮位のデータを加藤・津村の方法で見たもので、岡田が 1986 年の前も後も系統的な変化をしていると示されたが、大島独自の上下変動を見るのに、この方法以外に、どこか近傍のあまり動いていない点との相対的な潮位変化を見るのと、どちらが信頼できるか。
- ・ 結論としては、どちらが良いのかわからない。たとえば南伊豆で見ると最近沈降傾向があり、近いところでは伊東があるが、それぞれ独自の変動をしているので、よくわからない。
- ・ 南伊豆基準で岡田を見たときに、1986 年噴火の数年前から数年後、特に 1988、89 年頃から 2000 年頃にはほぼ直線的に動いており、その後 2000 年頃からほぼ停滞している様子が見られていたので、それが本物かと考えていた。
- ・ 最近数年間は隆起が鈍化している様子が GPS でも見えている。データが暴れているが、そのバラつきを超えても見えている。
- ・ モデルフィッティング(p10)について、前回の議論で指摘されたのが、1988 年から 1994 年に島内で測量が行われていて、水平のデータを使ってこの期間の地殻変動を解析するようにということだった。  
以前に多田さんが学会で報告されたデータを用いて解析を行った。多田・小沢は水平のデータを用いて膨張

源を推定していたが、今回は水平変動と上下変動の両方を説明できるモデルを作成した。

p10に水平変動の解析結果を示している。水平変動データは、1つ茂木ソースで変動を説明できるが、その圧力源では上下変動が大きすぎる結果になった。一方、上下変動だけを使って推定し直したのが p11 の図である。この場合は茂木ソースがかなり北のほうにずれ、水平変動は実際の観測値より非常に小さい。以上から、1つの茂木ソースではうまくいかない。p12の図のように、等方的な変動があるのは間違いないので、茂木ソースがあるのは間違いないが、上下変動が合わない。南東部の沈降を再現するように、1986年噴火のときのダイクも念頭にいれ、深めにダイクを入れ、変動を説明するように推定したのが p13 の図である。水平変動も上下変動もぴったり合うわけではないが、両方ある程度説明できている。等方圧力源は6年間で、 $2.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、ダイクの規模はやや大きくなり  $9 \times 10^7 \text{ m}^3$  の体積増加があったという結果になった。それ以降の期間についても、等方膨張源と南東部のやや深めのダイクを組み合わせるとそれなりに説明できる。1年あたりに換算すると茂木ソースの膨張量が  $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、ダイクはその3倍程度。噴火の時も北西-南東走向のダイクが開口したと思われる、それ以降も生きたダイクが開口しているのではないかと思う。

- ・ここで述べているダイクの深さは噴火時のダイクに比べて深いのか？
- ・噴火時より深いと思われる。
- ・データをフィットさせるのに深くなったのか。
- ・深いのは間違いないと思うが、計算のやり方でどの程度深くなるかは多少違う。その一つの証拠と考えているのが p8 の水準の時間変化で、噴火時の変動に比べて噴火後にどう変わったのかをあらわしている。波浮の西にある 26227 は噴火時は隆起したが噴火後は沈降した。これは、噴火の時はダイクが浅かったので開いたときに隆起し、今は深いところで開いているので、沈降の場所が広がり沈降していると考えている。
- ・ダイクの体積が大きい、これは下限の深さで決まってくると思う。ダイクの方が体積が大きいことを積極的に示す観測データはあるか。
- ・きっちり決めるものはない。ダイクが必ず大きいかどうかは言えないかもしれないが、ダイクがあるのは間違いない。
- ・p12のダイク+茂木ソースの場合、上下変動で見たとき、だいたい合うが北東側がモデルより大きい。
- ・北東側部で合わないのは気になっている。2つのソースだけでどこまでいけるか、パラメータを探しきっていない。範囲を拡げて探す、それでも残ってしまうと禁じ手かもしれないが、もう1つソースを……。しかし、茂木モデル1つよりダイクを入れた方がかなり改善されると思う。

### 【三原山火孔底の高度変化について】：地震研究所

- ・1912年、1950年、1974年の噴火前には火孔底赤熱溶岩高度の上昇がみられる。ただし、高温ガスによる加熱の可能性もあり、赤熱溶岩がマグマ頭位であるかは疑問。地下では、マグマ頭位が上がってきていると思うが、火孔底そのものがマグマ頭位とはいえないと思う。実際の観測としては、1986年の噴火の後で山頂のピットクレーターが溶岩で満たされた。約1年の間に、約200mあった溶岩湖深さが、小さい噴火が1~2回あったにもかかわらず20m位しか低下しなかった。1年後には全部地下に戻ってしまったが、重力観測では、山頂火道のマグマが、1986年11月の山頂噴火の後で1km以上ドレインバックしたことが捉えられた。

### <質疑・応答>

なし。

### 【1986年噴火前後の前兆現象、そのレビュー】

#### ①気象庁

・当時の気象庁が観測していた、表面現象、火山性地震・微動、体積歪計のデータに基づき資料をまとめた。表面現象では、小さな噴火活動が1974年までであった。その後、噴火は休止した。1986年の噴火直前まで、比較的静穏な状態が続き、山頂付近の噴気活動に大きな変化はなかった。噴火の10日前の11月6日に現地調査を行ったが、特に顕著な変化はなかった。大島測候所の遠望観測では、1974年の噴火の後、少し噴煙が観測されたが、1986年の噴火の直前までは観測されなかった。

11月12日(噴火の3日前)に、三原山の火口壁に新しい噴気が出ているという発見者通報があり、現地調査を14日に行った。高さ100m位の新しい噴気を確認した。11日11時頃から噴気が活発化し、17時25分に火口の南東側から噴火が始まった。1950年の噴火とほぼ同じ場所である。

噴火の状態をまとめると、最初は南東壁からの溶岩噴泉活動、その後、三原山の火口が溶岩で満たされていく。そして、17日の中頃からストロンボリ式の爆発が1分に数十回のペースで発生する噴火形態となった。19日の夜に一時停止したが、20日から21日にかけて、間欠的に噴火し、21日の割れ目噴火に至った。この一連の噴火活動は23日まで続いた。

割れ目噴火の経過は、海上保安庁のヘリコプターから気象庁職員が目視観測を行った。まず、カルデラ内に割れ目(B火口)が形成され、山頂火口(A火口)で噴火が再開し、そして、カルデラの外側にも割れ目(C火口)が形成された。この噴火は11月23日9時43分まで続いた。12月18日、山頂火口(A火口)で噴火が再開。1987年11月16日、溶岩の逆流現象があり、爆発。18日も噴火があった。一連の活動は1990年までつづいた。

火山性地震・微動は、1975年以降は、比較的静穏な状態が続いていた。地震活動の図は、周辺部で時々活発な活動があったので、それらも含んでいる。1986年4月には島の北西部、8~9月にかけて、野増沖と岡田周辺で地震活動があった。

微動は、1986年の噴火では顕著な前兆現象の一つである。7月から間欠的に小さな微動が観測され始め、次第に発生の間隔が変化し、振幅が大きくなった。10月頃から発生間隔が乱れ、10月下旬から連続微動となり、振幅も更に大きくなっていった。噴火当日は次第に振幅が大きくなると共に、15日に入ってバースト的な微動が起こるようになって、最終的に噴火に至った。また、微動のエネルギーの積算でも、噴火に至るまでエネルギーが上がっていった。

山頂噴火の前兆現象としては、爆発的なストロンボリ式の噴火になった17日頃から微動の振幅が急激に大きくなって、19日頃まで続いた。そして、21日は割れ目噴火に伴う非常に大きな振幅の微動が発生した。

割れ目噴火の前兆現象としては、11月21日の割れ目噴火の約2時間前から地震が多発。割れ目噴火中は、非常に活発な地震活動があつて、震源が拡大することが確認されている。

翌22日、伊豆大島南方約15kmで最大地震(M:6.0程度)が発生した。

その後の単発的な噴火では、1987年11月の噴火で、7月頃から山頂直下での地震活動が活発化している。全体的にみると、最初の噴火に関しては、前兆現象として、ある程度明瞭なものは微動で、噴火に近づくにつれ、徐々に活発化する。割れ目噴火に関しては、2時間前くらいから急激に振幅の大きな地震の発生。そのあとの単発的な噴火では、微動・地震が活発化することが確認できた。また、興味ある現象として、カルデラの陥没・マグマの逆流のときに、数十秒の長周期の地震が観測された。

地殻変動では、大島測候所の体積歪計が、微動が始まった1986年の7月くらいから縮みのトレンドが増加した。ただし、同時に温度上昇が観測され、温度補正をすると歪みには殆ど変化がなかった。この温度上昇に関してはよく分からない。その後、山頂噴火まで大きな変化はなく、前兆らしき現象はなかった。一連の連続的な噴火が終わった11月20日頃から縮みだったトレンドが伸びに変わった。割れ目噴火のときは、地震が増え始めた14時台から延びていたトレンドが縮みに変化し、また、逆に伸びに転じるという、複雑な変化が観測された。これは、伊豆大島の歪計だけでなく、東海、南関東の歪計にかなり広範囲に記録された。

前兆現象とは少し外れるが、興味ある現象として、微動に伴う歪のステップが12月17日に観測され始め、その後、何年か微動が観測された間にステップの変化が捉えられた。最近の歪計のデータに大きな変化はない。地中温度は、経年的に上昇しているが、この理由はよく分からない。

#### <質疑・応答>

なし。

#### ②地震研究所

・地震の回数について、大島測候所の記録を1965年くらいまで遡って読み直し、S-P2秒以内(大島の半径10kmくらい)の地震回数を調べた。年間回数は1960年代半ばは10~20回くらいだったのが、1978年くらいにかけて、数百回と10倍以上増えているという系統的な変化がみられた(1978年に大島近海地震があって、前震・余震が非常に多く発生したがこれは除いた)。

辺長測量では1980年くらいまでは、カルデラを挟む測線で伸びの傾向がみられる。その後、かなり鈍化している。1986年の噴火の2年くらい前はやや縮みの傾向。

野増の全磁力の観測では1978~1980年まで異常な減少があった。

以上のことから、1980年頃まで大島は全体的に膨張していて、それによって、周辺の地震も段々増えてきたと考えられる。地下に圧力源を置いて大島を膨張させ、それによるピエゾ磁気を考える。大島の地殻表層部は帯磁しているが、ある程度の深さになると、温度が高くて磁性を持たない。圧力源は磁性を持たない領域にある。適当なパラメータを仮定して、計算すると、大島全島で全磁力は減少ということになる。ある程度深い所を中心として、膨張していたとすれば、大島全体が異常な全磁力の減少を起こすということは、一応説明できる。1980年頃に膨張が止まったために、全磁力の異常な減少も止まった。

以上が10年スケールでの1986年噴火の前兆現象についての資料である。もっと短期的な前兆現象は非常に明瞭に現れている。

1974年の小さなストロンボリ式の噴火の後には、火口底が冷えるのに対応するように、三原山の南側の全磁力観測点で全磁力が増えていた。ところが、1980年の終わり頃をピークに、その後は減少のトレンドに変わった。特に1986年に入ると、減少の勾配が急になる。つまり、火口直下浅部で熱消磁がおこり、加速したと考えられる。火口を挟むような測線で、見かけの比抵抗の観測を1975年から行っていたが、トレンドが変わったのが1980年頃であった。1974年の小噴火の後、見かけの比抵抗は増加トレンドであったが、1980年頃からゆっくり減少傾向に転じていた。噴火の直前2年間では、火口に近い電極A、火口から一番遠い電極C(p32)では、系統的に変化し、山頂火道をマグマが上昇してきて火口直下の浅い所に、ある程度広がりをもってそこに溜まったとすれば、変化は説明できる。電極Cのグラフでは8月下旬から特に大きな変化をしている。微動の起こり始めと対応が良い。

微動は、噴火の前の7月上旬から起こるようになる。発生間隔が一定で規則正しく発生した。噴火の直前になると、振幅が大きくなり数回バースト的に発生し、噴火が始まった(p33)。発生間隔は最初3時間、そして2時間、8月下旬から間隔、振幅とも乱れるようになり、10月24日以降は小さな振幅で連続微動となった。微動の発生場所を5点のアレイ観測で求めた。体積的に振動するようなソースを仮定すると、三原山直下で深さ400~600mで発生することが分かった。

1986年噴火の前の地震活動は、8月は北西の山腹で多発、9月になると野増付近でM3~4クラスの規模の大きい地震が発生。体積膨張を伴うような、全点押しメカニズムを持つ地震であった。

以上のことをまとめると、1980年頃に何かトレンドの変化があって、それが大島周辺あるいは全体的な現象と火口直下の比較的浅い所の現象とが時間的に対応している。これは、1980年以前にマグマが蓄積して、そ

の後上昇し始めたと仮定すれば両方とも説明は可能である。

<質疑・応答>

- ・1986年のマグマが貫入した頃は、比抵抗は低い状態であるが、深い所からマグマが上昇し始めたのは1980年頃か。
- ・そうだと思う。1980年以降、比抵抗の減少傾向は非常に明瞭である。

③防災科技研

- ・1983年3月、島の南東部の波浮にボアホール傾斜計を設置。1986年9月末、御神火茶屋に現地収録型ボアホール傾斜計を設置した。波浮のデータは11月初めに南北成分に変化がみられた。それ以前は特に異常な変化はない。火口に近い御神火茶屋では、波浮でみられた変化はなかったため、波浮観測点の固有の変化であり、火山性の変化ではないという認識である。1年くらいのやや長期で見ると傾斜計に変化はみられなかった。11月15日から噴火が始まったが、そこから傾斜計に変化が現れる。15～19日まで、カルデラ北西に収縮源、19～21日14時まではカルデラ北西が膨張源となる。21日の割れ目噴火直前では、14時30分くらいから、傾斜計に明瞭な変化がみられた。噴火後は、変動が収まるような変化となった。1986年12月、1987年11月の2回の噴火は、傾斜変化は小さいが噴火の数時間前から変化を捉えている。解析をやり直してみると、15～19日の収縮源は茂木ソースで深さ2km、円柱火道モデルで2.5kmに求まった。割れ目噴火の岩脈の再解析では、14時30分から噴火の30分前まで上端の深さが400m。噴火30分前から噴火まで上端の深さが100m。浅い所の岩脈の開口で説明できる。

<質疑・応答>

- ・円柱火道モデルの下端は？
- ・深さ7kmくらい。

④東京都

- ・全磁力観測では、11月21日から23日にかけて、西海岸の野増とカルデラの南側にある双子山で顕著な変化が現れた。双子山の変化を解析すると、割れ目噴火の2時間くらい前から急激に全磁力が減少する。割れ目噴火の最盛期は一時停滞。その後、21時頃から再び減少に転じ、23日まで続いた。これら全磁力の変化を、一つのダイク（山科モデルなど）によるピエゾ磁気では説明できない。三つのダイクを考えると説明できる。残留したマグマから発泡が起こるシナリオを考える場合、南東部の貫入ダイクの位置をきちんと求めておくことが重要である。

<まとめ>

- ・GPS、水準測量などで観測されている地殻変動がなぜ起こっているか、原因を調べるのが重要であるが、1986年の割れ目噴火に伴う、開口割れ目の形成がどうであったかをできるだけ精度よく決める必要がある。また、今もマグマが入りつつあるのかなどを解明することが課題になっていると思う。

<1986年噴火時の映像を紹介>

【伊豆大島の広域の地殻変動】

①気象庁（広域の地震活動）

- ・広域の地震活動から見て何がいえるのかについての検討資料（p7以降）とこれまでの研究成果の一部を掲載



しており、ここでは周辺での地震活動について広域応力場との関係について述べている(p20)。74年の伊豆半島沖の地震以降、少し伊豆半島周辺で銭洲にかけて、断層系が少し見えている。震源分布が島弧沿いにみえる(p8)。追加資料では、86年以前と87年以降の時系列(南北方向)を掲載している。74年伊豆半島沖、78年の伊豆大島近海の地震などM6以上は赤で表示している。86年の大島噴火や83年の三宅島噴火の頃、それ以前にもM6クラスのものが出てきている。過去の噴火をみても大島の噴火が特に地震活動によって制御されているようにはみえない。三宅の噴火についても、周辺の地震活動と必ずしも関係していないようにみえる。広域的な場での地震活動からは噴火活動との関係が見えなかった。

<質疑・応答>

- ・90年以降、大島や、神津島、新島付近で地震が増えているように見えるが？
- ・検知力は変わっていない。90年以降新島や神津島の付近で地震活動が活発になったのではないかと思われる。78年以降、大島の北側では地震活動がやや活発になり始めているが、南のほうでは活動が低いように見える。83年の三宅の噴火あたりから、周辺の活動は始まっているが、大島付近では活発でないように見える。このあたりの地震活動を模式的に示したものが、溝上(2000)で3つのエリアに分けて解釈している。

②国土地理院(広域の地殻変動)

- ・広域で目立つのは、2000年の新島-神津島の8月のイベント。対応したものが伊豆大島でも2000年後半から2002年にかけてみえる(p25の12番の基線)、2000年の短期間の変化の後、伸びから3年間くらい停滞している。しかし、これらの変化がすべて大島起源ではなく、何割かは神津島起源のものもある。推測になるが、テクトニックな変動は無視してはいけない。例えば、この辺のプレート境界におけるカップリング等の影響で、伊豆大島島内の変動は年間3mmくらいと推定される。正確な議論をしていくにはテクトニックな変形を考える必要がある。上下変動に関しては周囲のテクトニックな影響はない。大島周辺の活動が2000年の前後に変わったというのは、基本的には応力変化で説明できる。神津島の周辺でダイクが開いて北東-南西方向の応力場が増加しマグマが上がってきぬなくなった。2000年以降、銭洲の地震活動が停滞したのは、ダイクが開いた応力変化で説明できる。広域に見ると大島だけでなく、2000年以降、2003年に房総沖で、2004年に三重会合点付近でスロースリップがあった。2000年以降で見ると伊豆大島以外にもイベントが起こっていることが挙げられる。

<質疑・応答>

- ・年間あたりの速度にしてある？それが定常的に。
- ・定常的に周辺の断層がくっついていることによって起こる。
- ・島内は相対的に、北東-南西に伸びている。その量は2~3mmある。2000年以降の4~5年くらいの10分の1くらい？
- ・どうして(島の)西側のところで変動量が大きいのか？(ベクトルが)北を向いたりしているのか？
- ・断層がくっついているので、近傍では大きな変位が認められる。相模トラフ側にも置いている。フィリピン海プレートと関東地方のプレートのほかに伊豆半島は、マイクロプレートを使っている。
- ・周辺の応力場の変化は大島に対して影響は大きいのか？
- ・あまり変わらない。
- ・実際に動いているのは、下のほうが動いているのですか？深い部分が固着しており上が動いているから上盤が動くという意味？
- ・深い方はずるずる動いている。浅い方は固着している。バックスリップの考え方。地殻変動を計算するとき

- は、滑っている方は計算に入れなくて、固着している方だけを考える。いろんな変形を説明できる。
- ・上が固着していて、伊豆半島側とくっついている訳ですね。浅いほうが固着しているとすると、なぜ変位量が大きいのか？浅い方が固着しているとすると、北向の変位ベクトルに比べて大島が属している中側が小さいのはどうしてか？
  - ・ベクトルの固定点を大島側にとっているから、大島が小さい。断層の西側で、ベクトルが急変しているが固着の影響でひずみが大きい。断層から離れるにつれて、変位の傾きが小さくなっている。
  - ・赤い点を基準にして示しているわけですね？三宅—神津の開口の変位の影響が、大島では北東—南西方向に開口を押しとどめる変化と言われたが、大島では影響は歪としては南北方向では？
  - ・北東—南西の応力の成分を考えると、圧力の増加する成分にはなっている。
  - ・それと直行するほう（成分）はもっと増加するのでは？
  - ・圧力が増加しても上がってこなくなくなる（？）
  - ・むしろ差応力が大きくなると思うが。
  - ・垂直方向の応力差。弾性体に垂直力にグラリエント、噴火に水平応力の作用力は大きくなるのか？計算しないとわからない。
  - ・水平方向の差応力はむしろ大きくなるのでは
  - ・プレート境界では、プレートがするする動いているときは応力の変化はない。伊豆大島は0である。固着すると変位がある。
  - ・大島の島内への影響するものは、このモデルでは効いていないのか？
  - ・関東周辺のGPSデータを取り入れ、モデルに当てはめて計算している。このベクトルは内挿的なものである。伊豆大島には茂木ソースを置いてモデル化しているが、理論計算値には茂木モデルの影響は除いている。断層の影響だけで効いている。速度は2000年よりも前のものを使っている。
  - ・プレッシャーソースは小さい？数倍だろう。マグマだまりにあった茂木ソースを広域で考えているときは無視していいか？
  - ・周りの断層で伊豆大島にどれだけの影響を与えるかを計算している。
  - ・伊豆大島に与える広域的な応力の変化は、マグマを想定した物に比べ小さくてあまり影響ないという理解でいいか。
  - ・島内の変形を考えた場合は、マグマの影響が優勢だが、ダイクの走る向きは広域の場をみる必要がある。
  - ・2000年前後の応力の変化は？
  - ・神津島の余効の変化が続いているので難しいが、やってみる。
  - ・大島の山体膨張のレートが、2000年前後で小さくなってしまったが、三宅—神津島の開口変位の2000年以降の現象を組み込んだ大島周辺の変形モデルで、2000年前後で分けた場合、どのような影響がでてくるのか？
  - ・p21の南伊豆—新島、南伊豆—神津島で、2000年以前と以後でトレンドが明らかに違う。測線が長いので、ここで何か大きな変動があった、これと伊豆大島の中の変動が結びつくというのが質問の趣旨だと思うが。
  - ・今のところなし。今後の計算に期待したい。
  - ・p21の図で、南伊豆—神津島のほうは新島—神津の北を中心としたローカルの影響で距離が延びているかもしれない。縮む方がわかりやすいが伸びているようだ。新島が北へ動くと距離が伸びる？
- 新島—神津の開口変位、神津島の北を中心とした膨張変形等を考えると、新島の北または東方向へ移って距離が伸びるので、2000年以前の南伊豆—新島の変動は応力場の絶対的な変形では可能性がある。大島の2000年前後の変化を見るには、三宅—神津島間の2000年以降の開口変位と、神津島の北のローカルな変動の両方を考えないと応力場の全体的な変位は捉えられない。
- ・2000年以前の水平変位速度を示す。伊豆半島北部固定点にして、新島が北に動いている、南伊豆が北西に動

いているので若干の伸びである。式根島の東を中心に膨張している。三宅島、伊豆大島も膨張しているので、島の中心にも茂木ソースをおきたい。また、この付近には、ソースが多くありこれらを考慮していく必要がある。

- ・応力場の変動では大島への影響を評価するには難しい。他に手はないか？
- ・変位速度で、2000年以後のものはないのか？
- ・2002年～2004年のもので、このころ伊豆大島の膨張が見られない。
- ・気象庁が1960年～地震活動の時間的な変化、地理院が2000年前後の伊豆半島から三宅島にかけての変位を示した。GPSから2000年前後で伊豆大島の膨張の様子が変化したことはわかるが、大島周辺の応力場の変化を求めるのはいろいろなファクターがあり、unknownファクターは出てくるか？
- ・2000年前後で広域の応力場が変わっているかもしれないという議論があったが、それが伊豆大島にどう影響を与えているかを確かめてみる。
- ・伊豆諸島のデータまで含めると大変なので、主として相模、駿河トラフなどの固着の変化で、伊豆大島周辺の応力場の変化を計算して、2000年前後で何か変化がないか確かめてはどうか。

#### 【大島および周辺の海底地形、地磁気全磁力異常図】：海上保安庁

- ・1986年12月に「たくよう」で周辺の地形と音波探査、地磁気、重力の観測を実施。海底地形はナノマルチビーム測深器（水深の70%をカバー）を使い、得られたデータを補完して作成。音波探査の結果はアナログであるのでデータのコピーを提供できる。地磁気は北西、南東海域で強い全磁力異常。  
海底地形図は1986年調査の物で古いが、北西側に高まりが島から伸びている、南東方向にも高まりが伸びている。地形図は日本測地系で作成しており、世界測地系にすると4～500mくらいずれる。  
来年度、浅海用の測深器で計測を検討している。

#### <質疑・応答>

- ・海域の精査をやってもらうことに期待する。北東側で傾斜があつて、古い火山体もあり、大半が崩れてなくなっていると思われるが、どう崩れているか読みとれるのではないか。また、滑ることによりカルデラが形成されるのかの検証にもなるのではないか。
- ・地形の北東、相模トラフの斜面のあたりにある地形で、およそどのあたりの深さが重要か？（どの辺を詳しく見たらよいか？）優先順位をつけて調べたいが。
- ・精度良くやれば、ところどころ、流山とか斜面で引っかかった古い山体部分が沈み込むのも見えてくる。

#### 【噴火シナリオについて】

- ・次の噴火に向けてどういうシナリオが考えられるか。それぞれのシナリオに対して、現在の観測体制、データは充分か？どのような点に注目して調査観測をやったらいいか？について議論していきたい。  
過去のカルデラ形成も重要であるが、一番可能性が高いのは山頂噴火、山頂付近での割れ目噴火だろう。伊豆大島周辺の地震活動、地殻変動、山体膨張と山頂火口直下の前兆現象の観測データを踏まえて、作業仮説(モデル)を考えた。1980年頃までは、深部のマグマ上昇で、マグマの蓄積があり山体膨張、理由はわからないが1980年頃、膨張が止まり、浅部へのマグマの上昇が始まった。しかし、深部からの供給は止まっていない。マグマだまりの供給と流出がキャンセルして山体膨張が鈍化した。引き続き、浅部でマグマまたは高温の火山ガスにより海水面付近で温度上昇、見かけの電気比抵抗が増加から減少、全磁力で帯磁傾向が消磁傾向。山頂噴火で次回も起こるとすれば、中期的には山体膨張の変動分布・速度の変化。短期的には山頂火口直下でこれまでの見られた現象が観測されるであろう。重力は噴火前のデータはないが、マグマが上昇してくる

予測に使えるのではないか。山頂火口周辺で、精度のよい地殻変動の観測をすれば、マグマの上昇を捉えられることができるのではないか。以上が山頂噴火のたたき台としてのシナリオ。

割れ目噴火やダイクの貫入については、マグマが動き始めると地震の震源分布の移動や地殻変動から追跡する事は可能であろう。ただし、前兆現象が起こり始めたときでも、割れ目噴火がどのあたりに起こるかを予測するのは難しいだろう。今後、山体膨張の特徴を見ていく必要がある。ポイントは変動分布の中心は必ずしも山頂直下ではなく、現在の茂木モデルのソースはカルデラ北部で、86年の前兆地震の震源域とほぼ同じところにある。これも何か意味があるのではないか。これまでも紹介があったが、現在の起こっている変動を説明するモデルとして等方膨張的なソースと割れ目開口的なソース、両方あったほうがいいと言われていたが、両者の量比、時間的な変化が重要と思われる。2000年前後で山体膨張が鈍化しているので、その意味。あとはカルデラ陥没。

#### <質疑・応答>

- ・p36で、山頂噴火のモデルでマグマだまりが8-10km、地殻変動のソースでは2-4kmにあるのだが、この違いはどう考えたらいいか。同じものを見ているのか？
- ・シナリオのたたき台の8~10kmは、カルデラの観測点や北側観測点など限られたネットで1987年~1990年くらいまでの辺長の伸びをフィッティングすると、カルデラの西よりで深さ8kmくらいが合う。また、自然地震の構造探査のデータにもよっている。もう一つは、地理院のデータ(p13)では、1988年~1994年の期間で等方圧力源+ダイクで等方圧力源の深さは6km。
- ・深さを変えてもあまりパターンはあまり変わらない。ここでは6kmとしているが、4~7kmの間はずれてもあまり感度はない。±2km程度で見えていただきたい。地震や電磁気のデータと比べる場合は、仮定している剛性率、層構造、地形などを考慮しなければいけない。
- ・1980年からパターンが変わった。1980年からマグマが浅い所に移動した。この移動はインターミットtentな移動なのか、連続的な移動なのか？
- ・年1回の測量なので、よくわからない。
- ・マグマの供給レートが低いからインターミットtent、もっと上がったときには連続？このような違いは出てくるのか。インターミットtentな時に、たまたまレートが大きくなったときに噴火が起こるのか？
- ・カルデラ内の地震活動と山体膨張の変動速度がよい対応関係があるが、2004年にあったような数ヶ月カルデラの中で浅い地震が増加し、変動が加速し、その後縮むような変動は1986年後には目立たなかった。ただし、1986年以前はカルデラ内の地震はほとんどなかった(観測期間は2年くらいだが)。
- ・傾斜変動で1986年11月15~19日の期間に収縮した場所を推定すると深さ2km。必ずしも、今膨張している深さ4~6kmのマグマだまりと一致しなくてもいいが、A火口からマグマが出て収縮したのであれば、今後、シナリオを考える時にそこが膨張することも考えられるので、1986年の傾斜変動が深さ4~6kmの収縮で説明できるのか検討している。
- ・第1回目の勉強会で報告されたように、割れ目噴火と山頂噴火は違うマグマ。今日の議論で、割れ目噴火を起こしたほうは2km、メインは8kmにあれば理想的だが。それだけの分解能はない？
- ・観測事実として、1986年11月21日に始まった割れ目噴火の直前の地震活動は、B、C火口列より東側が震源域で、今考えている等方的な膨張源に近い場所にある。震源は深いもので4~5km。B火口の割れ目噴火を起こしたマグマがもともとあった場所は、地震のあった直下と推定される。
- ・1950年噴火は7月に噴火が始まり約一ヶ月で終わっている。地磁気の伏角の大きな変化は噴火最中に起こった。その場所は山頂直下ではなく、割れ目火口の直下で深さ5km、直径2kmのダイポールで近似している。51年までメインの変化が続くが、その後の噴火では、そのような地磁気変化は観測されていない。活動が始

まった最初の頃にマグマが貫入したものを地磁気が捉えたのではと考えている。その1950年に入ったマグマが86年に出てくるのは、岩石学におかしいかどうか聞きたい。

- ・岩石学では短いスケールの分解能はないが、20年くらい溜まったあとに出てきてもおかしくはないと思う。A火口からB火口に噴火が移るときに、防災科研の傾斜で同じ所で収縮から膨張に変わっているが、Bに変わるときの変化が現れていると考えていいか。
- ・p39とp3で、20日から地震活動は静穏化し、同じ頃に膨張に転じる。A火口の火道が目詰まりし、それまで効果的に収縮していたところが膨張。必ずしも、膨張する必要は無い？圧力を上げればよい？
- ・p26の歪計の時間変化で21日14時25分に縮みに変わり32分に伸びに転じたとあるが、これをモデルによるシュミレートした研究がある。これによると、垂直にダイクが貫入すると歪計が縮み、浅いところで水平に伸びていくと歪計が伸びる。深さはある程度コントロールできるが、歪計は1点しかないから難しい。

### 【まとめ】

- ・事務局で各機関の報告をまとめて、噴火前、直前の変化を時系列に並べることにする。
- ・北西部が鍵だから、そちらを重点的に。
- ・震源データは気象庁データだけでは不十分なので震研の協力を頂き整理したい。モデルフィッティングも防災科研、地理院と共に検討する。
- ・1986年以降、現在の活動をどうみるかという点については、噴火後1～2年してから山体膨張は基本的には続いているが、2000年以降鈍化。GPS整備後は経年的に膨張しているが、1～2年周期で加速減速の波が見られる。火口直下の浅いところに起因する地磁気、電気抵抗の変化は、冷却に伴う帯磁傾向が続いていたが、最近鈍化。観測点が少ないから詳細はわからないが、山頂から南に離れた観測点では減り始めたように見える。これらの推移を見ていく必要がある。今のところ火口直下の浅いところで微動は起こっていない。
- ・1980年頃にあったことが2000年の頃に対応するか。モデルで北東側上下変動が合わない事について検討をする。11月15～21日の変化をどのように捉えるか、モデル的に説明可能か。
- ・出てきたマグマの組成は違う、割れ目噴火の前兆地震の震源域は現在の膨張源とほぼ同じという事実はあるが、山頂噴火が終わったあと割れ目噴火に至った因果関係をモデル化するのは難しい。モデルを決めるには元々のマグマだまりの位置を決め、B火口からの噴火を起こしたマグマが別とした場合その位置を決め、それらがどのような関係があるか決めなくてはならない。
- ・モデル化は難しいと思う。次の噴火は86年と同じものが起きるとは限らない、割れ目噴火かもしれない。事実関係を整理したうえでもう一度議論した方がよい。
- ・本日の記者説明は今回の流れを説明する予定。

### <議事要旨について確認>

- ・次回の予知連で大島勉強会の中間報告をする。