

インドネシア・グントール火山における最近の火山活動の評価

井口正人・石原和弘・江頭庸夫・山本圭吾・
イガン スタウイジャヤ*・グデ スァンティカ*・
オニー スガンダ*・ムハマド ヘンドラスト*

*インドネシア火山調査所

要 旨

インドネシア・ジャワ島西部にある Guntur 火山では、最近約 150 年間噴火が発生していないが、火山性地震の活動は活発であり、山頂付近と西部の Kamojang カルデラ付近に火山性地震が分布する。Kamojang カルデラ付近の地震は、北東から南西方向に直線状に分布し、震源の深さは 5-10km である。発震機構は南北伸張、東西圧縮となる横ずれ型のメカニズム解となる。一方、山頂付近の地震は、火山列に沿って北西-南東方向に分布し、震源の深さは 5km 以下と浅い。マグニチュードも 1 以下と小さい。正断層または逆断層型の発震機構をもつ。1997 年 5 月から山頂直下の深さ 2~5km において火山性地震の発生頻度が増加したが、5 月 29 日、10 月 7、8 日のように発生頻度が高いときはすべて逆断層型となる。一方、山頂の南 2km に設置された傾斜計により、地震活動の活発化と同期して山頂方向の地盤の隆起が観測された。山頂方向の地盤の隆起現象は、南東山麓の水準測量によっても確認されている。これらのことから、1997 年 5 月以降の地震活動は、山頂部の火山列に沿う断層において発生している。また、火口直下で圧力の増加があり、圧力源の直上の地盤が押し上げられ、その結果として逆断層型の地震が発生したと解釈される。1997 年 5 月~11 月の地震活動度を 1991 年以降の地震活動の推移の中で評価してみた。地震活動の活発化は 1992 年 5 月~7 月、1993 年 5 月~8 月にもみられる。この 3 期間の活動の増加に共通してみられることは、主として山頂直下において地震が多発したこと、また、Kamojang カルデラ周辺で活動が活発化したことである。1997 年 5 月~11 月における山頂直下での地震の放出エネルギーは 1992 年と 1993 年の活動と同程度であり、今回の活動は Guntur 火山において、1~数年の間隔で繰り返される $10^{15} \sim 10^{16}$ erg の規模のエネルギーの放出を伴う地震活動の活発化の 1 つであるといえる。

キーワード：Guntur 火山、火山性地震活動、震源分布、発震機構、地盤変動

1. はじめに

Guntur 火山は、インドネシアのジャワ島西部、バンドン市の南東 35km にある安山岩質の火山群である。最高峰は Masigit 山 (標高 2249m) であり、付近には Gandapura, Putri, Gajah, Agun, Picun などの古い火山体が存在する。Guntur 火山群の南西部には、Kamojang, Darajat などのカルデラがある。Masigit 山から南東方向には Parukuyan, Kabuyutan, Guntur などのドームや火口が列をなす。噴火地点は、Gandapura, Masigit から南東へ移動したとされており (Zaennudin and Purbawinata, 1997), 最近の噴火活動は、山頂部において最も南東に位置する Guntur 火口 (標高 1950m) において発生している。記録によれば 1690 年から 19 世紀中頃まで Guntur 火口において、爆発的噴火や溶岩流出が繰り返されたが (Kusmadinata, 1979), 1843 年以後、約 150 年間噴火は発生していない。

インドネシア火山調査所は、Guntur 火山の活動を監視するために、1986 年から地震の連続観測を開始した。1989 年には、Guntur 火口から 0.8km 東の CTS に観測点を移設し、高感度地震観測を継続している。その結果、Guntur 火山の表面活動は静穏であるが、火山性地震は月平均 20 回程度発生しており、多いときには 1 ヶ月に 60~70 回に達することが明らかになった。しかしながら、その震源位置については、短期間の臨時多点観測では (Rasjid et al., 1989; Team seismik seksi instrumentasi/seismik subdit analisa gunungapi Direktorat Vulkanologi, 1990; Kastiman Sitorus, 1991) 震源分布の形状を得るには至らなかった。

京都大学防災研究所は、1993 年にインドネシア共和国鉱山エネルギー省鉱物資源総局と共同研究を開始した。火山活動研究センターはインドネシア火山調査所と共同して 1994 年 10 月には、火山性地震の震源決定を目的として Guntur 火山の東南~南西部に 3 地震観測点を増設した (井口・他, 1996)。また、精密震源決定と発震機構を求めることを目的とした臨時多点観測を 1995 年 12 月~1996 年 2 月また 1996 年 10 月~1997 年 6 月に実施した (井口・他, 1996; Suantika et al., 1997a; Suantika et al., 1997b)。その結果、Guntur 火山周辺では、火山性地震は火口直下の深さ 5km までと Kamojang カルデラ周辺の深さ 10km までに分布することが明らかになった。また、Kamojang カルデラ周辺では、発震機構は横ずれ型になるのに対し、山頂火口周辺では正断層あるいは逆断層型となる (Suantika et al., 1997a; Suantika et al., 1997b)。

1994 年 10 月に地震観測点を増設してからも、地震

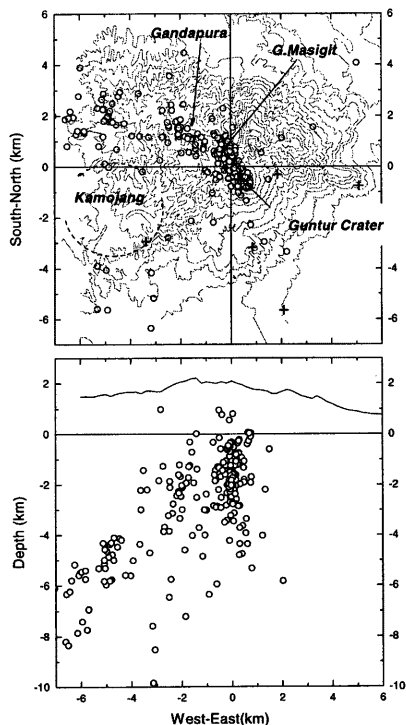


Fig.1 Hypocenter distribution at Guntur volcano during the period from November 1994 to December 1997. Upper and lower figures show epicenter distribution and vertical cross-section projected on the east-west plane.

発生回数が 1 ヶ月に 20 回以下と比較的静穏に推移してきたが、1997 年 5 月には火山性地震の発生頻度が 1 ヶ月に 55 回と増加した (Iguchi et al., 1997)。本稿では、1997 年 5 月以降における火山性地震の活動の活発化を最近 8 年間の地震活動推移と比較検討し、地盤の変形等を考察することにより、火山体内部での活動を推定する。

2. 震源分布と発震機構

1994 年 11 月から 1997 年 12 月までの火山性地震の震源分布を Fig.1 に示す。震源位置は、P 波速度 2.76km/s の半無限均質構造を仮定し (Rasjid et al., 1989), P 波初動の着震時から決定した。また、使用した観測点は常設の 4 点である。観測点の位置および観測システムについては井口・他 (1996) を参照されたい。これまで

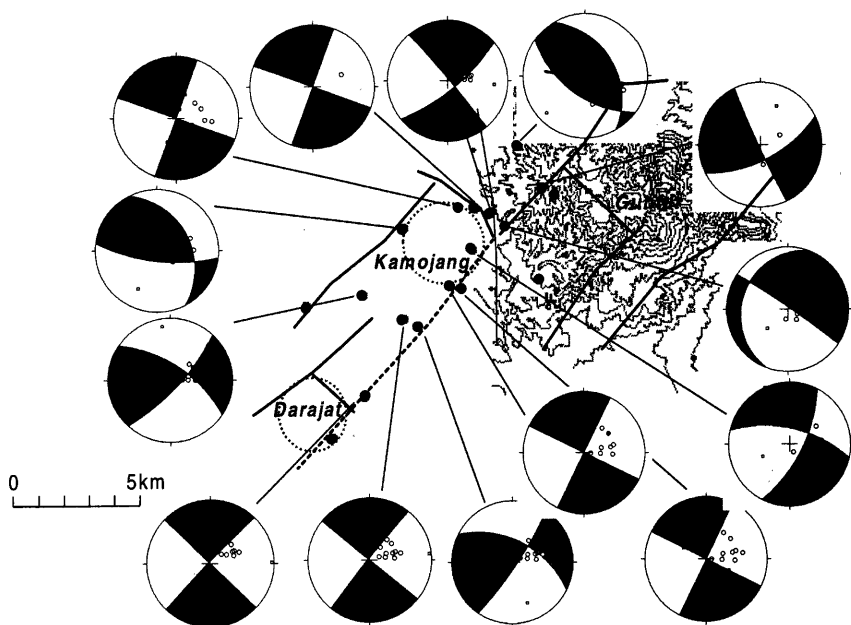


Fig. 2 Focal mechanism of volcanic earthquakes in Kamojang area, west of Guntur summit. P-wave first motions are projected on the upper hemisphere of the focal hemisphere. All diagrams are equal-area projection. Solid and open circles denote push and pull of the first motions. Solid and dashed lines are faults (Alzwar et al., 1992). Hatched circles represent epicenters determined by more than 7 stations in the temporary observation from December 1995 to February 1996.

の観測で明らかとなったように、Guntur 火山周辺に発生する地震は、山頂直下の深さ 5km 以浅に分布するものと、Kamojang カルデラ付近の深さ 5-10km に分布するものに分けられる。3 年間のデータを蓄積することにより、山頂部における地震の南東-北西方向の配列が明瞭になった。すなわち、山頂直下の地震は、Guntur からカブユタン、パルクヤン、Masigit と続く南東-北西方向の火山列の直下に位置する。また、Masigit 山よりも更に北西方向のガンダブラ火口周辺において発生する地震もある。山頂部では、一番南東に位置する Guntur 火口よりも更に南東に発生する地震はない。深さについては 2-5km に決まるものが多い。

臨時多点観測により求めた火山性地震のメカニズム解を Kamojang カルデラ周辺 (Fig.2) と山頂付近 (Fig.3) に分けて示す。P 波初動の押し引きを上半球に等積投影した。発震機構の決定に用いた観測点数は、Kamojang カルデラ周辺の場合が、7-11 点、山頂部の場合が 6-7 点である。Kamojang カルデラ周辺の場合

は横ずれ型となるものが多い。Kamojang カルデラ周辺の地震は、北東-南西方向に直線的に分布すること (井口・他, 1996; Iguchi et al., 1997), この地域の断層は北東-南西方向に走向するものが多いこと (Alzwar et al., 1992) を考えると、震源球を分割する 2 つの節面のうち、北東-南西方向の節面が右横ずれを起こした可能性が高い。一方、山頂部の地震では、観測点数が少ないため、節面の方位を決めるのは困難であるが、横ずれ型の解を得ることは難しく、正断層あるいは逆断層型になる。P 軸と T 軸が、Kamojang カルデラ周辺の地震の場合、どちらも水平方向となるのに対し、山頂部ではいずれかが鉛直方向となる。

3. 1997 年 5 月-11 月の地震活動

山頂火口から 0.8km 離れた CTS 観測点における火山性地震の月別の発生頻度および積算発生回数を Fig.4 に示す。4 点観測を開始した 1994 年 11 月以降、1997 年 4 月までは、1 ケ月の発生回数は 20 個以下で

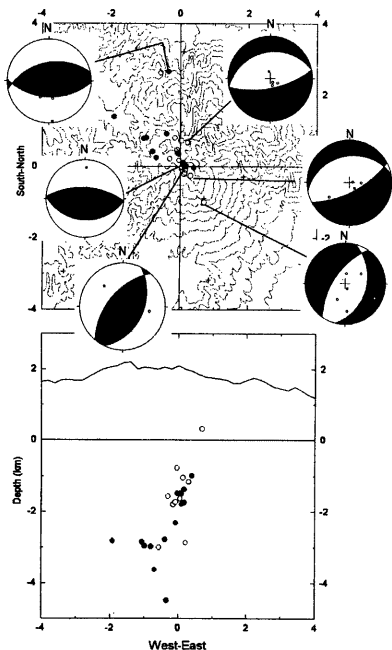


Fig. 3 Focal mechanism of volcanic earthquakes in the summit area. P-wave first motions are projected on the upper hemisphere of the focal hemisphere. All diagrams are equal-area projection. Solid and open circles denote push and pull of the first motions.

あったが、5月は55個と急激に増加した。6月は更に69個と増加し、10月には108個の地震が発生し、今回の活動のピークに達した。特に、5月29日には18個、10月7日には8個、8日には13個の地震が発生した。その後、11月には58個、12月には34個と減少した。

1995年～1997年における年別の震源分布をFig.5に示す。山頂部およびKamojangカルデラ周辺において地震が発生しているが、1997年の震源分布では、特に、山頂直下の深さ2-5kmに集中して発生していることがわかる。1997年5月以降の地震活動の活発化は山頂直下を震源とするものである。1997年10月には、Guntur火口からMasigit山に至る南東-北西の地震列の更に北西のGandapura火口周辺で地震活動の高まりが見られた。

Fig.6に1996年10月以降に山頂直下に発生した地

震のうち、発震機構が求まったものについて正断層型と逆断層型に分けて発生回数を示した。正断層型、逆断層型のいずれも発生しているが、1997年5月29日と10月7-8日にみられるように、地震の発生頻度が高いときは、逆断層型の地震が発生するようである。

4. 地盤変動

次に、この地震活動の活発化した期間の地盤変動についてみる。Guntur火口から南へ2kmの地点に地上据置型の傾斜計（Applied Geomechanics 701-2）を地下1m深に設置して1995年10月末から連続観測を行っている。傾斜計からの信号は1分に1回A/D変換され、無線で山麓の観測所へ伝送され、パソコンに収録される。Fig.7に1996年11月以降の傾斜変化を示す。この観測点は山頂火口のはほぼ真南に位置するので、北上がりの傾斜変化は、火口方向の地盤が隆起したことを示す。南北方向の成分に注目してみると、1997年5月までは10 μ radの変動しかないが、5月末から、山頂方向（北）の地盤が隆起する変動が始まっている。山頂方向の地盤の隆起の開始は、地震活動の活発化と時期を同じくしている。9月中頃に観測計器の故障のため、一時観測が中断したが、それまでは4 μ rad/月の割合で山頂方向の地盤の隆起が、続いた。10月25日に観測を再開したが、それ以後も隆起が続いている。東西方向の成分についてみると1997年7月まで、緩やかに西側が隆起したが、8月以降は7 μ rad/月の割合の東上がりに転じている。東西および南北成分と併せると、1997年5月から7月までは、北西方向が、また、8月以降は北東方向が隆起したように見える。いづれにしても火山性地震の発生頻度の高いときに、Guntur火山体方向の地盤が隆起しているようである。

Guntur山体の地盤の隆起は水準測量によっても確認されている(Yamamoto et al., 1998)。測量路線は、Guntur火山の南東および南山麓に設置されており、総延長は11kmである。測定は1996年8月、1997年8月および11月になされた。南東山麓では、火口に近い方向の地盤の隆起量（4mm）が大きい傾向が見られる。一方、南山腹のPutri山の南では30mm以上の沈降が見られ、測線全体にわたる変動を1つのモデルで説明することは困難である。Guntur火口に比較的近く、山体に直接的設置されていると思われる南東山腹では、傾斜変動と同様なGuntur山体方向の地盤の隆起が見られた。

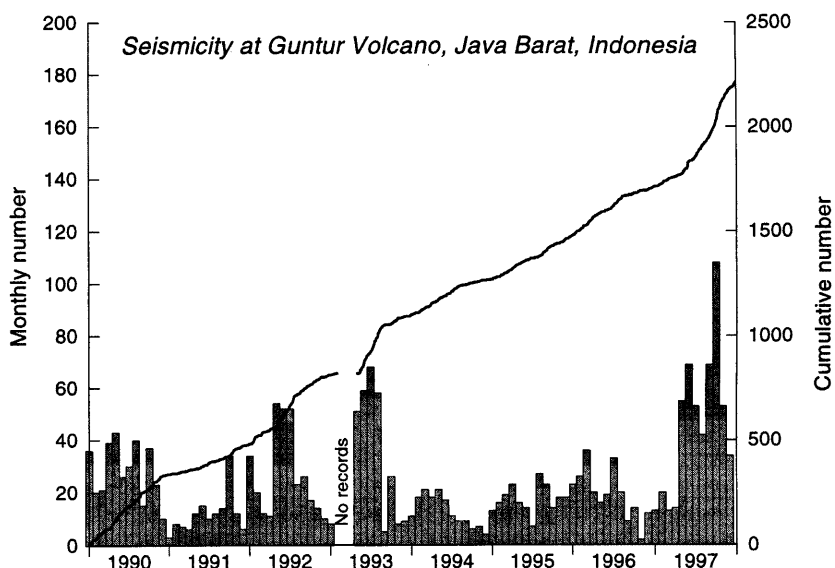


Fig. 4 Seismicity at Guntur volcano. Monthly numbers of volcanic earthquakes are shown by histogram and cumulative number is represented by line graph.

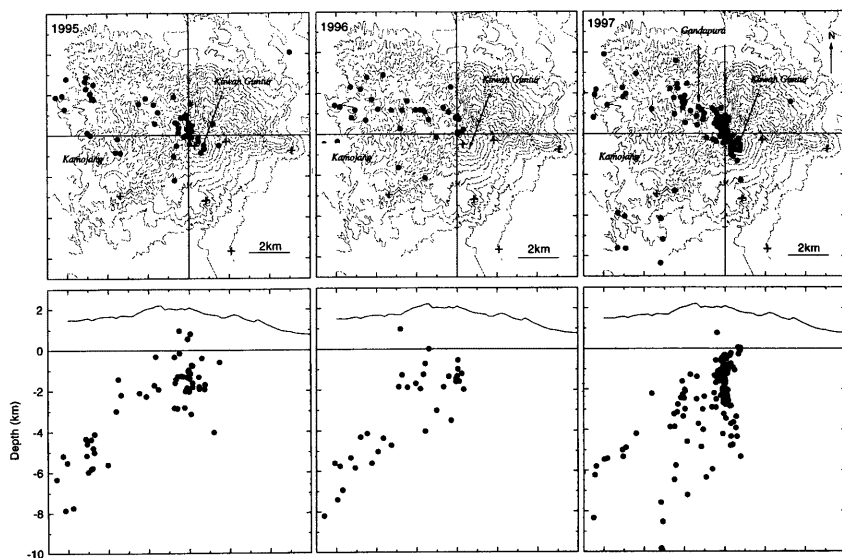


Fig.5 Hypocentral distribution in 1995, 1996 and 1997. Top: Epicenter distribution. Bottom: vertical cross-section projected on east-west plane.

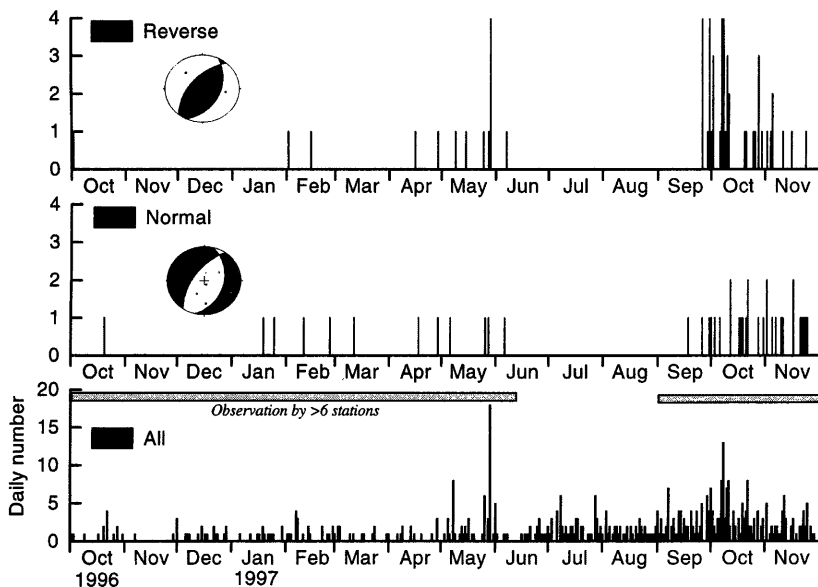


Fig.6 Daily number of volcanic earthquakes of reverse and normal fault types. Volcanic earthquakes originating beneath the summit area are counted.

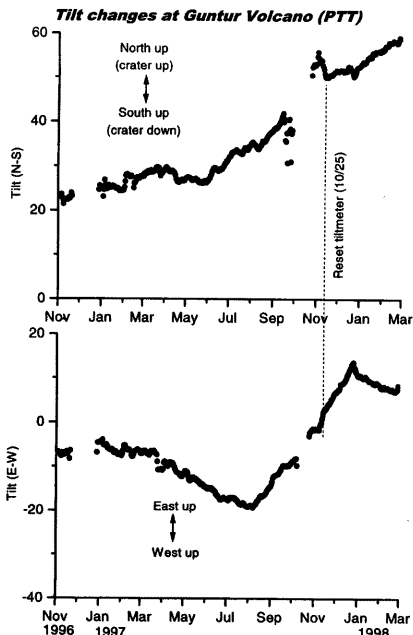


Fig. 7 Tilt change from October 1996 to February 1998.

The tiltmeter is located 2 km south of Guntur crater.

5. 1990 年以降の地震活動との比較

1997 年 5 月～11 月の地震活動を 1990 年以降の Guntur 火山の地震活動の中で比較してみる。月平均の発生回数は 20 個で、長期的に見ると 0.75 個/日の頻度で発生している。月別の発生回数が 40 個を越えたのは 1992 年 5～7 月、1993 年 5 月～8 月および 1997 年 5 月～11 月である (Fig.4)。地震の個数からみると 1997 年 5 月～11 月の活動は、最近 8 年間に於いて最大のものである。

次に、地震活動を火山性地震の放出エネルギーから評価してみる。山頂の Guntur 火口周辺の火山性地震はマグニチュードが小さく、上限は 0.7 程度であるが、火口から西方に離れるとマグニチュードの上限は大きく、 $M=3$ 程度の地震も発生しており (井口・他, 1996)、場所によりエネルギーの放出率が異なることが予想される。そこで、震源位置により、山頂直下と、西部 Kamojang 周辺とに分けてエネルギー放出量を見積もってみた。1994 年 10 月以前は CTS 観測点のみなので、同観測点の S-P 時間により震源位置を推定した。1994 年 11 月以降の 4 観測点による震源決定では、CTS 観測点における S-P 時間が 0.75 秒以下のものが、山頂を中心とする南東-北西方向の地震群に含まれる。ま

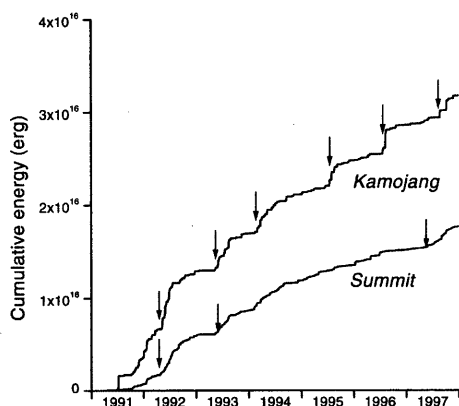


Fig. 8 Change in cumulative seismic energy release since 1991

た、0.75 秒以上となるとそれよりも西方に位置するものが多い。そこで、S-P 時間が 0.75 秒未満のものを山頂火口直下の地震、0.75 秒以上の地震を西部 (Kamojang カルデラ周辺) の地震として処理した。マグニチュードはインドネシア火山調査所により、最大振幅と卓越周波数から決定されている (Suantika, personal communication)。ただし、いくつかの比較の規模の大きい地震については、最大振幅となる位相が振り切れているので、振動継続時間 (t_{FP}) と振り切れていない最大振幅から決められたマグニチュード (M_{VSI}) の経験式を下記のように得た。

$$M_{VSI} = 2.024 \log_{10} t_{FP} - 1.816$$

この式を外挿することによりマグニチュードを決め直し、Gutenberg-Richter の式からエネルギーを求めた。

1991 年以降の地震についてインドネシア火山調査所の観測結果に基づき地震の放出エネルギーを見積もり、その積算値を Fig. 8 に示した。Kamojang カルデラ周辺の地震については、平均的に 3.5×10^{15} erg/年の割合で地震エネルギーが放出されている。一方、山頂火口の周辺では、エネルギーの放出率は、およそ 2.5×10^{15} erg/年と半分程度である。

1991 年以降、地震の発生頻度で山頂部の地震エネルギーの放出率が高くなったのは 1992 年 5~7 月、1993 年 5~8 月、1997 年 5~11 月である。これらの期間では、山頂火口および Kamojang カルデラ周辺の両方

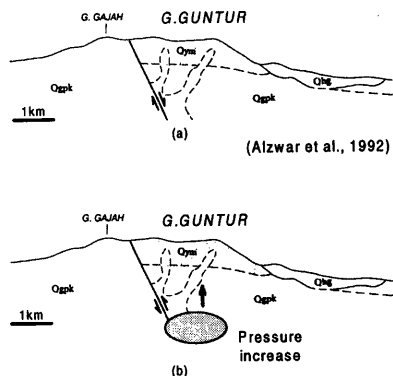


Fig. 9 (a) Geologic structure around Guntur volcano (Alzwar et al., 1992). (b) Inferred internal activity at the time of increase in seismicity since May 1997.

で地震エネルギーの放出率が高くなっていることが分かる。1995 年と 1996 年にも Kamojang カルデラ周辺での地震活動の活発化が見られたが、この時は、山頂火口直下での地震活動は低いままであった。1992 年 5~7 月、1993 年 5~8 月、1997 年 5~11 月の 3 期間について放出エネルギーを Table 1 にまとめた。山頂直下の放出エネルギーは 3 期間とも 2×10^{15} erg とほぼ同程度である。Kamojang カルデラ周辺では 1997 年 5 月から 11 月の地震活動度は、1993 年 5~8 月と同程度のエネルギー放出量であり、1992 年 5~7 月の活動よりも小さい。1990 年以降では 1992 年 5~7 月の地震活動が最も活発であったといえる。

6. 議論とまとめ

1997 年 5 月から 11 月にかけて Guntur 火山の山頂直下での地震活動が活発化した。地震観測および地盤変動観測から得られた結果をもとに山頂直下の地下の力学的状態を考察してみる。Bronto et al. (1982), Alzwar et al. (1992) によれば、山頂部での、Guntur から Masigit 山に続く南東-北西の火山列と平行に断層が存在する。山頂直下での地震はこの断層に沿って発生したものである。これらの地震のメカニズム解は精度よく求められなかったで、メカニズム解から推定される節面の方向が地質図に示された断層の方向に一致しているかどうか確認できないが、山頂部での地震のマグニチュードは 1 以下と微小であること、狭い領域に、正

Table 1 Seismic energy released in 1992, 1993 and 1997

	Summit	Kamojang	Total
May-July, 1992	2.47	5.01	7.48
May-August, 1993	2.07	3.45	5.52
May-November, 1997	2.21	2.78	4.99

(unit: 10^{15} erg)

断層型の地震と逆断層型の地震が混在することから考えて、破碎帯が南東-北西方向に連なっている可能性が高い。

Fig. 9 に Guntur 山頂直下の 1997 年 5 月以降の力学的状態を推定してみた。傾斜変動および水準測量の結果によれば、山頂付近の地盤が隆起したことが推定され、山頂部直下に増圧源が存在すると思われる。山頂部では、正断層、逆断層いずれも発生するが、発生頻度が高いときは、逆断層型の地震だけである。地下での圧力の増加により、その上の地盤が持ち上げられ、逆断層型の地震が発生したものと解釈される。

最近 8 年間のインドネシア火山調査所による火山性地震の連続記録からみると 1997 年 5 月～11 月以降の活発化と同程度あるいはそれ以上の活動が 1992 年 5 月～7 月、1993 年 5 月～8 月にもみられる。当時は、震源決定はなされていないが、最近の震源分布と S-P 時間から考えると、マグニチュード 1 以下の微小地震が火口浅部で多発し、また、西部の Kamojang カルデラ周辺においても比較規模の大きい地震が発生したと推定される。Guntur 火山では 10^{15} ～ 10^{16} erg の規模の地震活動の活発化が 1～数年間隔で繰り返されてきたのであろう。1997 年 5 月～11 月の地震活動の活発化は 1～数年の間隔で繰り返される活動の 1 つであると結論される。

山頂での地震活動が活発化したときに、同期して西部の Kamojang カルデラ周辺でも地震エネルギーの放出率が大きくなることは、Kamojang カルデラ周辺の応力場の変化が、山頂付近にも及んでいるのかも知れない。また、今回の地震活動の活発化した期間に火山性微動が頻繁に発生した。1992 年 5 月～7 月および 1993 年 5 月～8 月の期間でも、振動継続時間が 1 分程度の紡錘形のエンビロープをもつ低周波のイベントが多数発生した。地震活動の活発化に伴い、火口内浅部での流体の動きの活発化を反映したものかもしれない。いづれにしても同火山を取り巻く広域的な地震および地盤変動の観測と火山体内の熱水系の動きを把握することができると総合的な観測が必要であらう。

謝 辞

Guntur 火山での観測においては、インドネシア火山調査所 Wimpy Tjejep 所長をはじめ、R. Sukhyar 火山解析部長、Suratman 火山観測部長、火山調査所の職員各位にご協力いただいた。観測点の設置および観測システムの維持については Guntur 火山観測所の Mamad Sumarna, Rohana, Ade Koswana の 3 氏の努力によるところが大きい。Surobo 火山物理課長、Ackmad Zaennudin 火山化学課長との議論は有益であった。また、観測器材のインドネシアへの通関にあたっては UNESCO ジャカルタ事務所の橋爪道郎博士およびインドネシア共和国大蔵省に御助力いただいた。観測計器の日本からの輸送にあたり日本航空運行事務の小野寺三朗氏（現エアフライトジャパン）、藤堂憲幸氏には大変お世話になった。また、傾斜計のテレメータ装置については、京都大学理学部橋本武志博士と田中良和助教授に製作をお願いした。本研究に要した経費は国際共同研究事業費、科学研究費補助金（国際学術研究（共同研究）：課題番号 08044077 代表者田中寅夫）、在外研究員旅費（山本圭吾）により賄われた。以上、記して御礼申し上げます。

参考文献

- 井口正人・石原和弘・高山鉄朗・グデ スァンティカ・ウィンビー チェチュップ・ラデン スクヒヤール・イガン スタウィジャヤ・オニー スガンダ (1996): Gentool 火山における地震活動, 京都大学防災研究所年報, 39号B-1, pp.161-171.
- Alzwar, M., Akbar, N. and Bachri, S. (1992): Geological map of the Garut and Pameungpeuk quadrangle, Jawa. Geological Research and Development Center.
- Bronto, S., Sutawidjaja, I.S., Zaennudin, A., Effendi, W. and Supri, Y. (1982): Pemetaan geologi kompleks G. Guntur kabupaten Garut, Jawa Barat. No. 75/DV/82, Direktorat Vulkanologi.
- Iguchi, M., Sutawidjaja, I.S., Suantika, G. Suganda, O.K. and Ishihara, K. (1997) Increase in seismic activity in 1997 at Guntur volcano, West Jawa, Indonesia, Proceedings of International Symposia on Natural Disaster Prediction and Mitigation, Kyoto December

- 1997, 109-116.
- Kastiman Sitorus (1991): Laporan pengamatan dan penyelidikan seismik G. Guntur, Kabupaten Garut, Jawa Barat. Proyek pengamatan/pengawasan dan pemetaan gunungapi Direktorat Vulkanologi 1990-1991, pp.1-20.
- Kusumadinata, K. (1979): Catalogue of References on Indonesian Volcanoes with Eruptions in Historical Time. Volcanological Survey of Indonesia, pp. 190-200.
- Rasjid, S. A., Kusma and Samid (1989): Laporan Penyelidikan Kegempaan Komplek Vulkanik G. Guntur - Papandayan, Januari - Maret 1989, Proyek penyelidikan Gunungapi dan panasbumi, Direktorat Vulkanologi, pp.1-81.
- Suantika, G., Suganda, O.K., Iguchi, M. and Ishihara, K. (1997a): Hypocentral distribution and focal mechanisms around Guntur volcano, West Java, Indonesia. Ann. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No.40, IDNDR, S.I., pp.5-11.
- Suantika, G., Suganda, O.K., Iguchi, M. and Ishihara, K. (1997b) :Hypocenter distribution and focal mechanism of volcanic earthquakes around Guntur volcano, west Jawa, Indonesia, Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, No.22, Bandung 16-17 October, 1997
- Team seismik seksi instrumentasi/seismik subdit analisa gunungapi Direktorat Vulkanologi (1990): Laporan penyelidikan seismik G. Guntur, 9 Mei - 22 Juni, 1990, Direktorat Vulkanologi, pp.1-22.
- Yamamoto, K., Eto, T., Ishihara, K. and Hendrasto, M. (1998): Ground deformation as revealed by precise leveling survey at Guntur volcano in Indonesia, 科学 研究費報告書 (国際学術研究 (共同研究)「ジャワ 島西部レンバンおよびチマンデリ両断層の活動度 と構造の研究」: 代表者田中寅夫) (印刷中)
- Zaennudin, A. and Purbawinata, M.A. (1997): Hazard Assessment of Mt. Guntur, West Java, Proceedings of International Symposia on Natural Disaster Prediction and Mitigation, Kyoto December 1997, pp.101-107.

Evaluation of the Recent Activity at Guntur Volcano, West Java, Indonesia

Masato IGUCHI, Kazuhiro ISHIHARA, Tsuneo ETO,
Keigo YAMAMOTO, Igan S. SUTAWIDJAJA*, Gede SUANTIKA*,
Ony K. SUGANDA* and Muhamad HENDRASTO*

*Volcanological Survey of Indonesia

Synopsis

Guntur is a volcano-complex, West Java, Indonesia and is located 35km SE of Bandung. Explosive eruptions and lava flows were repeated at Guntur Crater since 17th century, however, no eruption has occurred for 150 years after the 1843 eruption. Volcanological Survey of Indonesia began to monitor the volcano by a seismometer at a station 0.8 km east of the summit crater. In 1994, 3 seismic stations were added to determine hypocenters in collaboration with DPRI, Kyoto University. Volcanic earthquakes are located in the summit area (aligned from SE to NW along the volcano line from Guntur to G. Masigit) and Kamojang area west of the summit. In Kamojang area, earthquakes are distributed from Gandapura (NE) to Darajat caldera (SW) at depth of 5-10 km, with the strike slip mechanism, similarly to tectonic earthquakes in inland area. In contrast, volcanic earthquakes beneath the summit are shallower (<5km) with normal or reverse fault mechanism. The magnitudes are smaller (<1) than those in Kamojang ($M < 3$). In recent 8 years, the number of volcanic earthquakes increased in May-July 1992, May-August 1993 and May-November 1997 and the seismicity increased in both summit and Kamojang area. The seismic energy release in these periods is comparable to each other. The volcanic earthquakes since May 1997 were concentrated at depth of 2-4 km beneath the summit. Many earthquakes occurred on 29 May and 7-8 October successively. The focal mechanisms of them are

reverse fault-type. The seismicity increase coincided with upward tilt to the direction of the summit crater. The precise leveling survey in August and November 1997 shows the ground near the summit was elevated. Tilt and leveling data suggest the ground around summit area was inflated due to minor pressure increase at shallow part beneath the crater. The increase in seismicity at the summit area may be caused by shear fracture influenced by the pressure increase. Reverse fault-type earthquakes in swarms suggest uplift of the ground above the pressure source. The increase in seismic energy released in 1997 is comparable to the previous seismic activity. From the estimation of seismic energy, we may conclude that the 1997 seismicity increase may be one of the phenomena repeated in the time interval from one to a few years.

Keyword: Guntur; volcanic earthquake; hypocenter; focal mechanism; ground deformation