

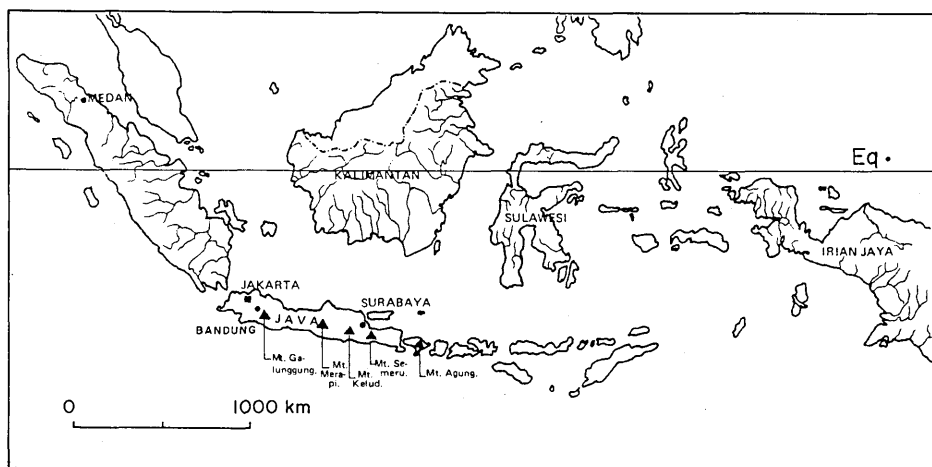
# インドネシア・ガルングン火山の噴火対策会議 (1982年9月20-25日)に出席して\*

北大理 横山 泉

## 1. はじめに

インドネシアには約130の活火山があり、常時いずれかの火山が活動中である。一般に火山体が大きく、火山噴出物の量も多く、かつ雨期には降雨量が多いので、火山噴出後に発生する火山土石流(ラハール, lahar)災害も大規模で、その頻度も高い。更に悪条件として、特にジャワ島は人口稠密のために、被害が大きくなる。これらに鑑み、インドネシアでは従来からも、ラハール対策が進んでおり、ラハールなる語は今や国際学術語になっている。また、わが国も国際協力事業団(JICA)を通して、砂防事業に対して技術及び器材の供与を続けており、この国でSabōとは砂防ダムのことを意味する。

インドネシア公共事業省では、メラピ火山(2,911 m, 噴火休止期間は平均5年)、ケルト火山(1,731 m, 約15年、火口湖水が噴出物と共に溢れる1次ラハールが発生したこともある)、スメル火山(3,676 m, 殆んど常時活動している)及びアグン火山(3,142 m, 約100年, 1963年大噴火)の4火山(第1図)においてVolcanic Debris Control Projectを設定して、ラハール対策に努めている。いずれの国でも同じであるが、限りある国の予算では、目前の災害対策に追われている。1982年4月に噴火したガルングン(Galunggung)火山は、1822年噴火に伴ったラハールによって死者4,000人という災



第1図 インドネシア全図  
Fig.1 Map of Indonesia.

\* Received Dec. 31, 1981

害記録があるが、その後この種の災害がなかったために、ラハール対策は施されていなかった。そして、火口から約17 kmの距離には、周辺人口を含めると150万人に及ぶタシクマラヤ(Tasikmalaya)市がある。ガルングン火山は4月以来、小噴出を含めると500回以上の噴火を繰り返して大量の火山灰を放出して、乾期の終る9月中も活発であり、次の雨期(10-3月)にはラハール発生は必至と憂慮された。既に1982年7月に、公共事業省及びインドネシア火山調査所(VSI)が協議して、JICA派遣の河川及び砂防の専門家に加えるに、筆者も10日間JICAから派遣されて、現地調査の上、ラハール対策及び火山観測についての意見をまとめた。その一部が第7図にも考慮されているようである。

インドネシアでは、既に1979年に、「国家災害救済連絡会」National Co-ordinating Board for National Disaster Relief (BAKORNAS PBA)が設置されて、自然災害に対応している。この連絡会、西ジャワ州政府、UNDP(国連開発計画)及びUNDR Oの主催によって、1982年9月20-25日に、「ガルングン火山の噴火対策全国会議」(National Workshop on Mt. Galunggung Volcanic Risk Management)がバンドンで開かれた。会議には、火山、土木、地質、衛生、気象、農業、経済、社会など火山災害に関係する専門家が総計約300人出席した。UNDPの要請により外国人も出席したが、火山関係では、アメリカ地質調査所(USGS)のDr. J. P. Lockwood(USAIDにより約4ヶ月間インドネシアに滞在して研究・教育に当たっていた)及びDr. C. Newhall、オーストラリアのDr. R. W. Johnsonと筆者であった。

開会に当って、4人の大臣の挨拶があった。参加者は次の5つの作業委員会に分かれた。

W. G. A: 火山学、地質学、隔測技術。

B: 物質面(土木工学、公共事業、水利学、気象学)。

C: 非物質面(公共情報、初期警報システム、搜索と救難、大量避難、大量給食、健康管理、避難所、衛生、教育、文化及び心理面)。

D: 農業、環境、経済、移住、労働力。

E: 行政及び組織。

この「対策会議」の正式報告は、1982年10月に次の3冊(英文)にまとめられた。

Part I. Basic report (p130)

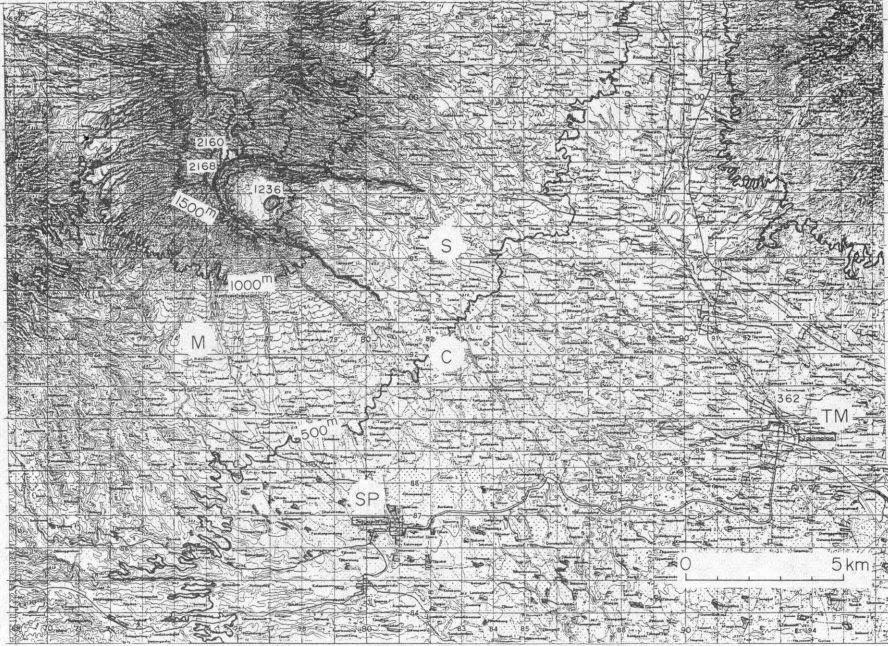
Part II. Annexes (各首長の挨拶, p89)

Part III. 参考論文(p45)

以下の報文は、主として火山噴火予知の立場から、「対策会議」及びその周辺の事情を記述した。資料は上記の正式報告にも拠っているが、大部分はインドネシア火山調査所(VSI)より得られたものである。記述に誤りがあるとすれば、筆者の誤解によるものであり、各位の御叱正を迎ぎたい。

## 2. ガルングン火山

本火山はジャワ島西部にあり、ジャカルタの南東約200 km、バンドンの南東約80 kmに位置している。近傍には、南東約17 kmにタシクマラヤ、北東約19 kmにガルートの都市がある。周辺に2つの活火山があり、1つは北西25 kmにあるグンツール(Guntur, 22回の噴火記録があり、最後は1847年)、他は西方約40 kmにあるパパンダヤン(Papandayan, 噴火記録は1772年、1923-25年)である。ガルングン火山



第2図 ガルングン火山とタシクマラヤ周辺の地形図  
 S : シナガル, C : チカササ, M : マラガンティ,  
 SP : シンガバルナ, TM : タシクマラヤ

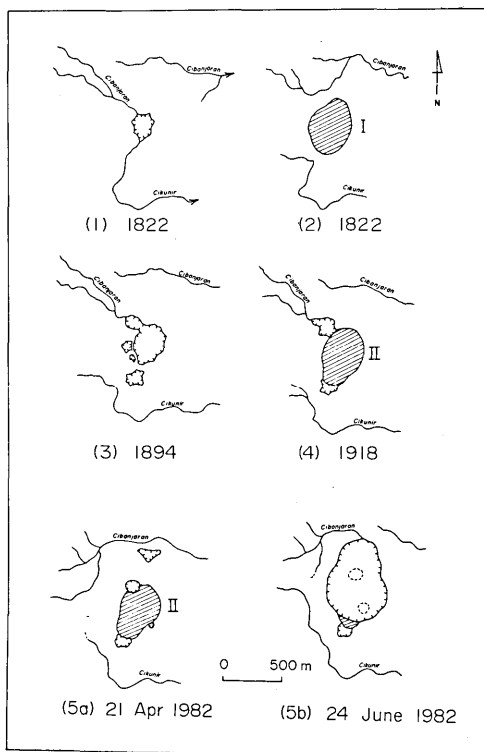
Fig.2 Topographic map of Galunggung volcano and Tasikmalaya area.

の地形図を第2図に示す。この火山は単一の円錐形ではなく、多くの峰がある。例えば、シアング (Siang, 2,168 m) やグンツール (Guntur, 2,160 m) などである。これらの山体の中央に、東南東に開いた  $2 \times 2.5$  kmの馬蹄形火口があり、その底面の標高は約1,130 mである。この爆発火口の形成は、1888年磐梯山や1980年セントヘレンズ火山と同様に、爆発に伴った大規模な崩壊の結果であり、数千年前と考えられる。その東南東方向のタシクマラヤの近くには、Ten Thousand Hills と称される高さ10~80mの“流れ山”が無数にあり、それらの間に溜池が多数あって養魚に利用されている。

ガルングン火山の火口の西側は比高約1,000 mのシアング山がそびえ、東縁は比高約70m、長さ約1,200 mの堤 (ワリラン Warirang 山と称される) で限られている。火口の中、東寄りに、高さ約85m、 $560 \times 440$  mのドーム (溶岩円頂丘, Jadi — 子供 — 山と称される) があったが、これは1982年5月17~19日の噴火によって破壊されて、現在、この部分が火孔となっている。このドームの形成及び破壊の歴史を図示するのが第3図である。ドームIは1822年に形成されて1894年に破壊され、ドームIIは1981年に形成されて今回破壊された。

ガルングン火山の火口を源とする川が2本あり、1本は北東へ流れるチバンジャラン (Cibancaran) 川で、他は南西へ流れるチクニル (Cikunir) 川である。火山噴出物はこれらの川に沿って洗い流される。(第4図)。

この火山の噴火史を活火山カタログ (1951) から次に引用する。



第3図 ガルングン火口内のドーム及び火孔の変化 (1822 - 1982)

Fig.3 Development of lava domes and craters in Galunggung crater during the activities of 1822 to 1982 after VSI.

1822 ○↑~☒+ 10月8-12日。  
火山の南東24kmまで $10^8 m^3$ のラハールでおおわれ、死者4,000人。

1894 ○↑~☒ 10月18-19日。

1918 ○↑△ 7月17-30日。

火口内のドームの形成は、樽前山、ベズミヤニ、セントヘレンズ火山のそれと酷似している。ドームの形成・破壊について、ガルングン火山と樽前山とを比較すると、次のようになる。

ガルングン

1822	ドーム I 形成	} 72年
1894	" 破壊	
1918	ドーム II 形成	} 24
1982	" 破壊	

樽前山

1804 - 1817	ドーム I 形成	} 64年
1874	" 破壊	
1909	ドーム II 形成	} 35
?	" 破壊	

なお、ガルングン火山のドーム II ( $85 \times 560 \times 440$  m,  $SiO_2$  56%) と樽前山のドーム II ( $134 \times$  径 450 m,  $SiO_2$  57%) とは、寸法及び化学成分でもよく似ている。

以上のように、ガルングン火山の活動は、磐梯山、ベズミヤニ火山、セントヘレンズ火山及び樽前山の活動のそれぞれに類似しており、研究面でも誠に興味深い。

### 3. 今回の噴火の経過

ガルングン火山は64年ぶりに、1982年4月5日未明に爆音と共に噴火した。山頂から約3km離れた部落では、4月4日22時頃地震を感じ、遅くなって地鳴りが聞こえ、白煙の昇るのが見えた。04時頃黒煙を伴って爆発した。噴火は16時頃まで続き、火山灰は山腹で厚さ25cmに達し、噴煙は北へ約250km漂移して、ガルト、バンドンにも降灰があった。この日、31,000人が避難した。

次いで、4月8日2108, M3.8の有感地震の23分後に噴火した。火砕流が60km/時で火口から約5kmの距離まで、南東山麓、チバンジャラン川に沿って流れた。この火砕流堆積物の末端内部の温度は、数日後で約400℃であった。火砕流は、この後も数回出たが、5km以遠には到達しなかった。

1982年12月15日までの主なる噴火を示すと、第8図下段のようになる。噴煙の高さは、3km以上を示すが、10月以降については未入手である(衰える傾向である)。これらの噴火のうち、5月17-19

日が最も激しく、8.5時間噴火が連続して、火口ドームの60%が破壊された。火口から約5 km離れたマラガンティ (Malaganti, 臨時観測所) に 1.5 kg のドーム破片が落下した。この後、6月3日の噴火まで連続微動が現われた。6月24-27日の爆発では、ドームの残存は10%となり、西方7~10kmに位置する部落に火出礫・火山灰が8~18cm降下して人家を破壊した。この後、避難住民の数は40,000人に達した。

その後、拡大された火孔からは噴火の度に火山灰が放出され、南東へ流れ出る3本の川の流域で、その堆積量は  $2 \times 10^8 \text{ m}^3$  に達した。8月以降は、噴火に先立って火映現象が認められ、マグマが地表に近いことを示唆している。USGSのDr. Lockwoodによれば、8月29日の噴火に際して放出された火山弾には流理構造が認められた。9月下旬の段階では、火孔に熔融溶岩はまだ視認されていない。溶岩がいつ地表に現われるか、ドームを形成するか、或は、しばらく(数ヶ月或は数年)この状態が続くか、或は、このまま活動を止めるか、が関心事であった。12月15日までの情報によれば、火孔の状態は9月下旬と余り変っていないようである。

今回の噴火に際しての、火口内の地形変化を示すのが第4図である。8月17日に撮影した航空写真によれば、火孔底の中央部やや東寄りに直径数10mの水溜りが認められた。1982年9月下旬の火孔は、500×700mのだ円形で、その底の深さは約100mで、底の南寄りに深さ250-300mの火道がある。

諸観測の結果から見た噴火の経過については、

#### 5. 観測成果 の項で述べる。

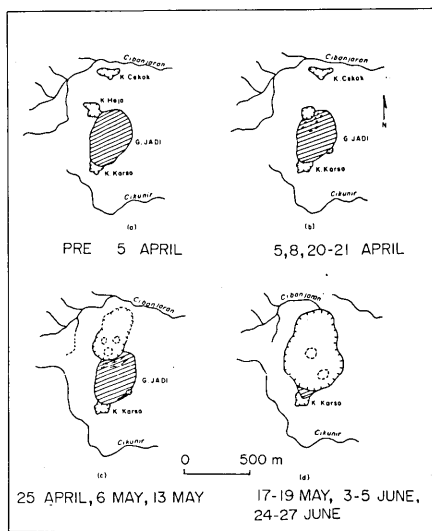
### 4. 噴火災害

インドネシアには約130の活火山があり、そのうちの10火山には監視体制があると称されている。一方、わが国の約70の活火山のうち17火山に気象庁或は大学の常時観測施設がある。インドネシア火山の観測施設は、後述するように、急速に近代化が図られている。

ガルングン火山のHazard Map (被害想定図)は既に1974年に作成されて、VSI (K. Kusumadinata編)の“Data Dasar Gunungapi Indonesia”「歴史時代に噴火したインドネシア火山のカタログ」(1979, pp. 820, インドネシア語)に収録されている。

今回のガルングン火山噴火の加害因子としては、火山放出物(岩塊, 火山灰), 火砕流及び二次的ラハールなどが考えられる。

1) 火山岩塊 4月5日の最初の噴火が比較的ゆるやかに始まったために、岩塊による被害は少なか



第4図 ガルングン火山のジャディ溶岩円頂丘 (ドーム)の破壊(1982)

Fig.4 Destruction of Jadi lave dome of Galunggung volcano during the 1982 eruption after VSI.

った。それでも、4月8日の噴火では、ドームから約5 km離れたシナガル (Sinagar) の部落では、火山岩塊で家が焼け、死者3人が出たという。

2) 火山灰 9月下旬まで大小300回に及ぶ噴火の度に放出された火山灰は、高空では航空機の運航を妨げ、堆積しては人家・田畑を破壊し、また、二次的ラハールの不安定土砂となっている。8月中旬までの火山灰の分布は、火口周辺で30m, 1 km離れて1 m, 5 km離れて15cm, 15km離れて3 cmであり、より広い分布を第5図に示す。火口から流出する主な3本の川 (Citanduy, Cimanuk, Ciwulan) の流域には、合計  $2 \times 10^8 \text{ m}^3$  の火山灰が堆積している。これらは、同じ川に沿って堆積した火砕流堆積物と共に、次の雨期にはラハールとなることが心配されている。メラビ火山の例では、噴火の次の雨期に新堆積物の20%がラハールとなるとされている。

航空機の被害は次の3件が知られている。

4月8日： ガルダ航空機が高度6 kmを飛行中、火山灰雲に遭遇して、風防ガラスを損傷した。

6月24日： 2050頃、BAジャンボ機は240人を乗せて、ガルングン火山の西南西150 kmを高度11 kmで飛行中、火山灰雲に入り、4ケのエンジンがすべて止まり、風防ガラスと翼面とに擦傷を受けた。また、その時、コックピットの中でセント・エルモの火が認められた。ジャンボ機は7.5 km降下したら、エンジンが再動して無事ジャカルタに着陸した。

7月13日： シンガポール航空ジャンボ機は230人の乗客を乗せて高度9 kmを航行中、火山灰雲の中を飛び、4ケのエンジン中3ケが止まったが、2.4 km降下して1つのエンジンを再動させて、無事ジャカルタに着陸した。

3) 火砕流 4月8日の噴火に際して、比較的小規模の火砕流が、火口から約5 kmの地点に達した。その後の噴火でも出たが、これより遠くへ達したものは無い。9月以降は発生していない。

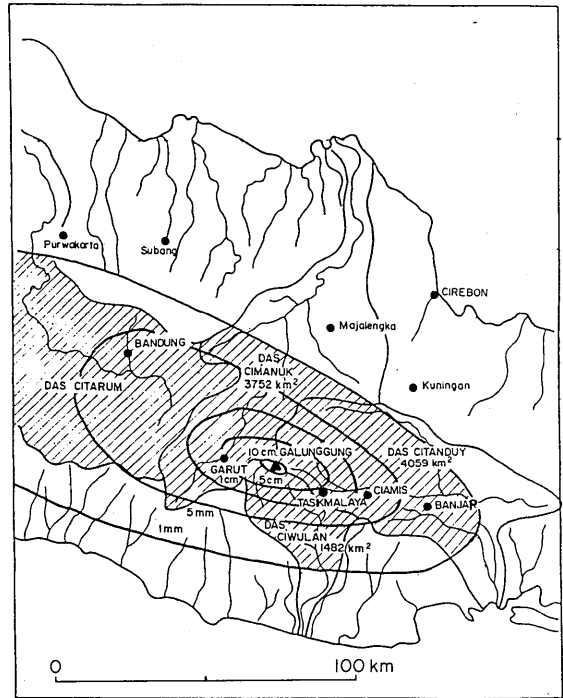
「対策会議」報告書によると、9月下旬現在までの被害は次のように評価されている。

タスクマラヤ統治区： 約75,000 haが被害を受け、被害総額は300億Rp。(ルピア,  $\times 0.4$ 円)。

ガルート統治区： 約12,000 ha, 約130億Rp.

チアミス統治区： 約94,000 ha, 約40億Rp.

直接被災した30,000人は現在、避難所に収容されている。約10,000人がスマトラへ移住した。この



第5図 1982年ガルングン火山噴火による火山灰の分布 (1982年9月現在)

Fig.5 Distribution of ashes from Galunggung volcano as of September 1982 after VSI.

他に、297,000人が間接に不利益を受けている。経済面・社会面における損失は測り知れないものがある。

さて、この火山の周辺で近い将来起こり得る大災害として最も恐れられているラハールについては、次のような問題点がある。

1) ガルングン火山は、インドネシアの火山の中では、噴火頻度が比較的少ない（記録は1822, 1894, 1918年の3回）ので、観測体制及びラハール対策が未整備であった。長期的な対策を樹立するためには、火山活動度の長期予測が必要である。

2) 1822年の噴火の際、ラハールで4,000人が死んだ事実がある。

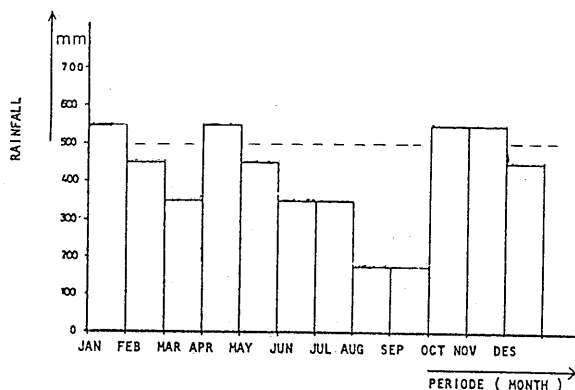
3) 1982年4月以来の噴火で、火山灰の堆積が累増した段階で、雨期（10～3月）に入るので、ラハールの発生の危険が甚だ高い。しかし、短期警報のための降雨予測の設備がない。

4) 周辺は人口稠密で、火口から流出する川に沿って、約17kmの距離にタシクマラヤ（Tasikmalaya）なる都市があり、その人口は約70万人、周辺を含めると約150万人が住んでいる。

今回の噴火開始後、現に、ラハールが小規模ながら発生している。4月5日以降、多少の降雨の後、ラハールが発生して、4月末には第7図に示すようにラハール堆積物が分布した。Sinagarでは、火口に源をもつBonjaraan川からラハールが溢れて、北側のLoseh川に達した。このまま放置すれば、雨期に入って大規模ラハールがタシクマラヤを直撃しかねない。チカササの東部でもラハールにより人家や耕地が荒廃に帰し、住民は退去した。

このように、ガルングン地域では、次の雨期にラハールの発生が予想されるが、その条件をわが国の有珠山土石流（1978年10月）と比較すると次のようになる。

	ガルングン火山	有 珠 山
噴 出 物	$2 \times 10^8 \text{ m}^3$	$8 \times 10^7 \text{ m}^3$
火山の基底	直径9 km	直径6 km
比 高	1,000 m	500 m
降 雨 量	500～600 mm（10月予想）	120 mm/月（実測）



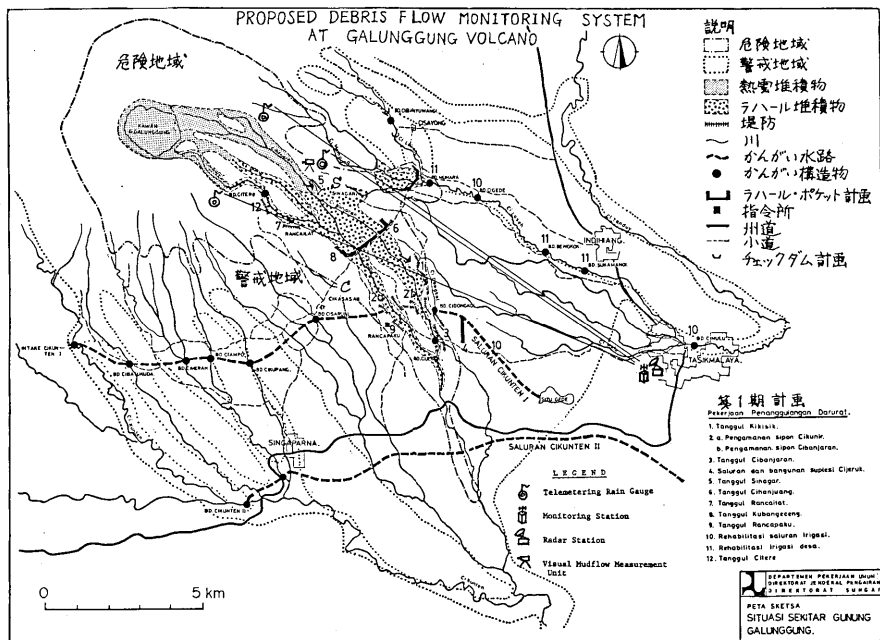
第6図 ガルングン火山地域の月別降雨量（1977～1981年の平均）

Fig.6 Monthly rainfall at Galunggung area averaged during 1977 to 1981 after IGM.

ラハール発生の直接の動機は雨の降りかたである。ガルングン地域における月別降雨量の1977 - 1981年の平均を第6図に示す。降雨強度の極値については、1958年12月に53 mm/h, 78 mm/d, 1959年1月に73 mm/h, 82 mm/d, 1959年2月に74 mm/h, 77 mm/dの記録がある。1978年10月24日の有珠山泥流に際しては、21 mm/10 minの強度であった。また、ガルングン地域の降雨は、普通、15 ~ 18時にあるので、二次ラハールの脅威は午後遅くか、夜になることが考えられる。

このような事態に対応して、インドネシアの公共事業省は、応急的な修復工事を実施し、1982年7月にラハール対策をたてた。この計画には、前述のようにわが国のJICAから派遣されている河川及び砂防の専門家が協力している。その計画の概要を第7図に示す(公共事業省河川局による)。来るべき雨期(10 ~ 3月)に備えての短期的対策であり、長期的対策はガルングン火山の活動の推移を見て立案されるであろう。JICAの援助計画は、ラハールの移動を事前に予測し、迅速にラハール警報を出すことを目的とし、移動型雨量レーダー1基(処理システム付)、無線雨量計3台、ラハール監視ビデオカメラ1台を設置する計画であり、また、これに伴って専門家が派遣される予定である。

さて、1982年12月15日までの実情は次のとおりである。1982年乾期は降雨が極端に少なく早魃が心配された。そして、10月の降雨は殆んど0、11月は最高30 mm/週、12月は平均して毎日4 ~ 5時間降雨があり、最高66 mm/時であった。ラハールは、9月及び10月には発生しなかった。11月には発生して、幾つかの堤防は溢れたが、まだ制御できた。12月には、タンクマラヤの場所によっては泥流におそわれ、多く堤防がこわされている。



第7図 ガルングン火山地域におけるインドネシア公共事業省のラハール対策計画

Fig.7 Countermeasures against lahars from Galunggung volcano planned by Ministry of Public Works.



## 5. 観測体制及び観測成果

ガルングン火山には常時監視の施設はなかった。この火山の最後の噴火が1918年であり、国内にはより活動頻度の高い火山が多数あるので止むを得ないことであつたと考えられる。ただし、1981年には約3ヶ月の臨時地震観測を実施したが、特に異常は認められなかった。噴火開始後、諸種の観測が実施された。

**目視観測** 火口から約6 km、火山を望見できるチカササ(Cikasasah)を基地として、既述のような噴火経過を観測した。

火口内を観察するには、航空機によるか、火口の南西縁(マラガンティから比高約1,000 m)に登山しなければならないが、航空機は余り利用されていない。次はVSIの報告である。

4月30日：ドームの北側にAnyar火孔(200×300 m)出現。

5月17日：火口底は熱泥でおおわれ、Hejo火孔は水で一杯。ドームは60%破壊。

5月31日：ドームは90%破壊、その跡に火孔(500×700 m)。火口底は静かで水も水蒸気もない。

7月1日：同上

7月24日：同上、硫黄昇化物増加。

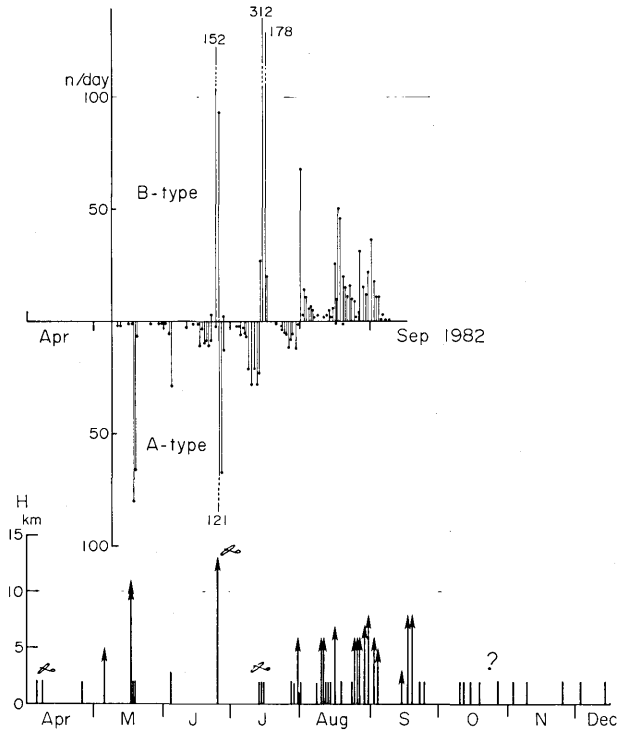
9月14日：火孔は700×900 mに拡大、深さは200～300 m、孔底の直径は75～100 m。

筆者も9月1日早朝、マラガンティから火口縁へ登って、火口をのぞいたが、前日03時頃噴火があつたためか、噴気及び砂けむりで視程が悪かつた。火孔では小規模な噴出が繰り返されていた。

**地震観測** 1981年7～9月に、S. A. Rasjid氏(VSI)が主となって、南東山麓Cipanasでトリバタイト地震観測を実施したが、地震総数261のうち、火山性は19で、残りはインド洋海岸の構造性地震であつた。

噴火開始後、5月始めから、VSIは、チカササとマラガンティとで、日本製電磁地震計(煤書き記録計、蓄電池使用)によるトリバタイト地震観測を始めた。辺長はすべて1～2 kmである。チカササは、いわゆる黄色帯(昼間は立入りは認められるが、夜間は立入り禁止)で、ノイズが多く、地震観測に不適当なことがわかつたが、ここから移転すると附近住民に不安を与えるので、動けない状況のようであつた。マラガンティの条件は良好で、ここでの地震観測がガルングン火山の活動をモニターする最良のものである。その努力と成果とは敬服に値する。VSIによる地震観測の結果を第8図に図示する。5月9日の観測開始から7月末までは、A、B型両方の火山性地震があつたが、8月以降はB型だけとなつた。マラガンティでは有感地震はなかつた。震源は火口下2～7 kmに分布していたが、次第に浅くなつてきた。なお、5月17～19日の噴火(ドーム破壊)以前は、火山性微動は断続的であつたが、それ以後は連続的となり、周波数1.5～3 Hz、次の噴火(6月4日)まで約15日間続いた。これらの地震現象と火山活動との関連は今後の研究課題の1つであらう。

さて、上記の観測とは別に、USGSは1981年からUSAIDによって、インドネシア火山の観測体制強化(設備の近代化、スタッフの養成)に協力を始めていた。地震観測や化学分析の器材を供与すると同時に、USGSの研究者が数ヶ月交替で、常に1人は駐在して指導に當っている。(このようなことは、米国自身の火山学研究に貢献するものと考えられる。)聞くとところによると、USGSの計画は、メラピ火山を主として、タンクーバン・ブラウ火山とクラカトア火山とに無線地震計を設置する計画であつた。メラピ火山の整備は1981年に済んだが、ガルングン火山の噴火によって計画を変更して、急拠ここに地



第 8 図 ガルングン火山の噴火活動と噴煙の高さ (H) 及び火山性地震の  
日別頻度 (1982 年)

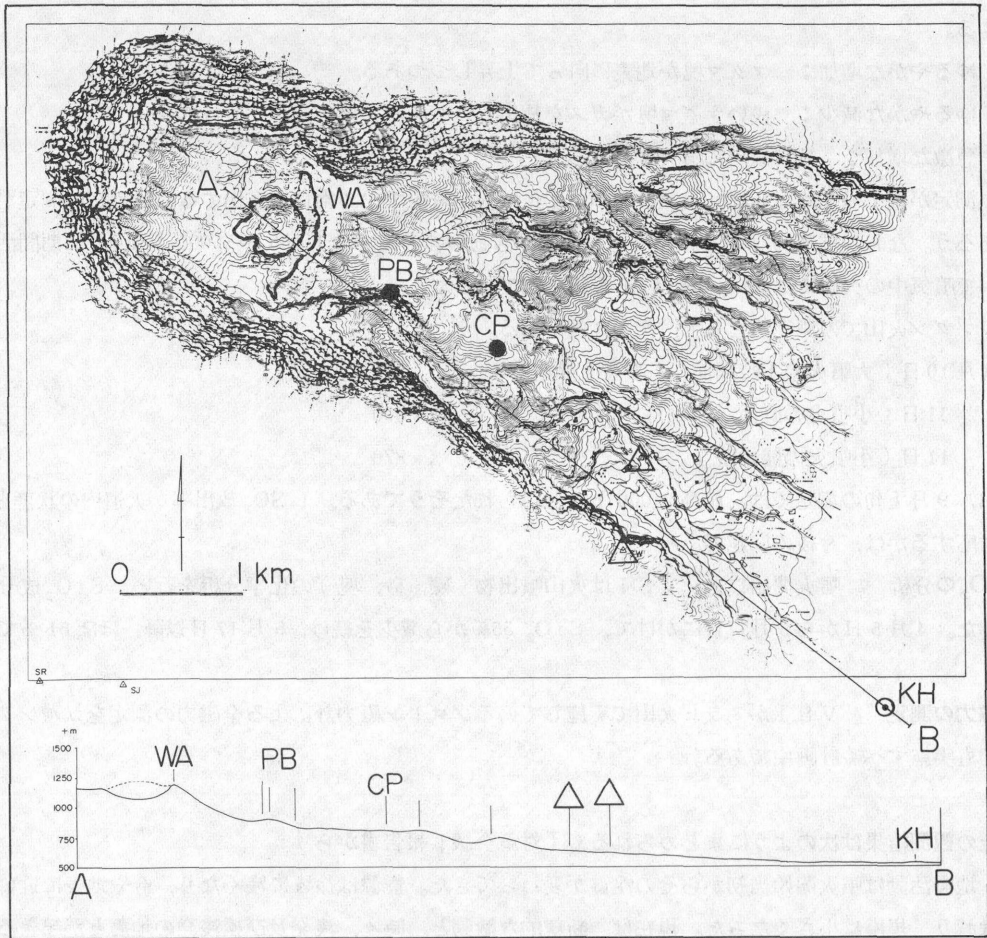
Fig.8 Eruptions of Galunggung volcano and their plume heights (H), and daily frequency of the volcanic earthquakes in 1982 observed by VSI.

震観測網を設置することにした。火口の東側に地震計を 3 台配置して、これをチカササにテレメータして、ここで蓄電池によりペン書きドラムに記録する観測網が 7 月末にできたが、8 月 9 日には受信点をタシクマラヤに移転し、地震計を 5 点に増加した。これらの観測結果については、9 月下旬現在で何も聞くことができなかった。

**辺長測量** VSI は 5 月 20 日から、USGS の供与による光波測距儀 (K & E Range Master III) を用いて、チカササから火口に近い 3 目標点を測定していたが、7 月 28 日以後は、Kubang Hurang (KH) から、Pasir Bentang (PB) と Cipanas (CP) とまでの辺長を測定している。後者の配置を第 9 図に示す。図中の三角形はドライティルトの測点を示す。辺長変化を第 10 図に示す。VSI によれば、噴火前に火口地域は拡大し、噴火後に縮小を示すというが ……。

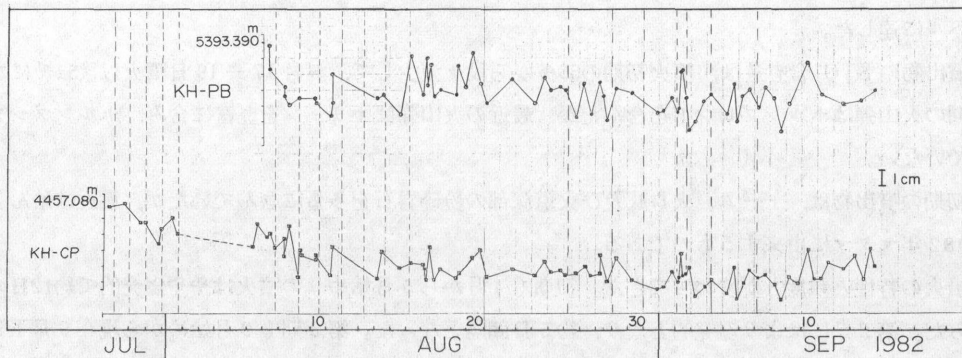
**SO<sub>2</sub> 放出率の隔測** 相関スペクトロメータ (COSPEC 5) はカナダ政府が購入して、UNDRO を通じてインドネシアに贈与された。ガルングン火山における測定は、1982 年 8 月前半に、UNESCO の mission (J. Carbonnelle & W. I. Rose) が主となり、VSI が協力して実施された。実測は噴火の休止期に行われた。以下は上記 mission の報告によるものである。

エトナ火山及びセントヘレンズ火山におけるデータから、SO<sub>2</sub> 放出量の時間変化については次のこと



第9図 ガルングン火山地域における辺長測量基線。三角形はドライ  
ティルト測点, WAはワリラン山を示す。

Fig.9 Baselines for precise length measurements at Galunggung  
area. Triangles show dry tiltmeter stations, and WA  
Warirang hill. (after VSI)



第10図 辺長変化(第9図参照)

Fig.10 Changes in length of baselines shown in Fig.9,  
after VSI.

と言える。

- 1) ゆるやかな増加： マグマ塊が地表に向かって上昇しつつある。
- 2) ゆるやかな減少： 浅いマグマ塊がガスを放出しつつある。
- 3) 急激な増加： 数日以内に噴火するだろう。

もし、測定が週1～3回ならば、上記最初の2変化は検出可能で、3番目を検出するには毎日の測定が必要であろう。なお、標準的なSO<sub>2</sub>放出率としては、活動中の火山では1,000～5,000 t/d、長期間活動休止中で噴気中の火山では50～300 t/dが得られている。

ガルングン火山での測定値として、次の3例がある。

8月10日（大噴火の1時間前）	噴煙上昇速度	4 m/s,	200 t/d
11日（小噴火の直前）	”	6 ”,	690 ”
11日（小噴火の開始時）	”	9 ”,	870 ”

なお、9月下旬の測定では、最高2,000 t/dと得られたそうである。（SO<sub>2</sub>放出率が火道内の状態と如何に対応するかは、今後の問題であろう。）

SiO<sub>2</sub>の分析 噴火開始以来、V S Iは火山噴出物（礫、砂、塊）の化学分析を行い、SiO<sub>2</sub>成分を定量した。4月5日から5月17日にかけて、SiO<sub>2</sub> 55%から減少を続け、5月17日以降、ほぼ51%である。

全磁力の測定 V S Iがメラピ火山で実施しているプロトン磁力計による全磁力の測定をガルングン火山でも実施すべく計画中である。

以上の観測結果は次のようにまとめられる（「対策会議」報告書から）。

- 1) 地震活動は噴火開始当初からその性質が変わってきた。震源は徐々に浅くなり、今や地表に近い。回数は減り、規模は小さくなった。現在は、断続的な微動と、時々、浅発及び極浅発の地震とが起きる。
- 2) 辺長測量の結果によれば、噴火前に少量膨張し、噴火直後に少量減少する。そして再び膨張が始まる。全体としての現状は、火孔から約2 km以内がゆるやかに膨張している。7月の測量開始以来、変形は火孔の近くに局地化してきた。
- 3) SO<sub>2</sub>放出率は、8月最後の週までは低かったが、その後、急増して、地表近くの玄武岩質マグマの標準レベルに達した。
- 4) 噴出物のSiO<sub>2</sub>含有量は、噴火初期の55%から段々減少して、5月17～19日噴火以後51%になった。初期の火山弾はホルンブレンドを含んだが、最近の火山弾はオリビンを豊富に含み、ホルンブレンドを含んでいない。
- 5) 初期の噴出物は、ドーム、火口底及び火道深部の粉碎岩石を多量に含んでいたが、最近は殆んど新しい1982年マグマに由来するものである。
- 6) 噴火の特性と頻度とが変わってきた。初期（4月から5月始め）の噴火はやや爆発的で約12日の間隔であった。第2期にはより爆発的となり、約5日間隔となった。第3期（9月始めから現在9月下旬）には爆発力は減じて、更に頻度が増加した。熱雲は5月始めには5 kmに達したが、8月末は2 km止りで、その後は発生していない。
- 7) 降灰はガルングン火山から数方向に堆積しているが、主として北西及び南西である。火山分布は前

述のとおり。

8) 熱雲堆積物は火口から5 km以内に堆積している。その平均厚さは5~10 mである。中規模の雨ラホール堆積物は最低12kmの距離まであり、その平均厚さは約3 mである。

9) 1918年ドームは破壊された。新しいドームは未形成である。

10) かって多くのラホールが発生して、“Ten Thousand Hills”の間を埋めた。大きい火口と多数の丘は有史以前の巨大崩壊によって生じたものである。タンクマラヤの町はこの地這り堆積物とその後のラホール堆積物との上に立っている。事態は過去より厳しくなっている。

〔註〕上記は“正式”結果であるが、筆者は、特に、1~4の観測項目について、それぞれ精密な測定と厳密な議論が不可欠である、と苦言を呈した。

## 6. 「噴火対策会議」における噴火予測

1982年9月の「噴火対策会議」は、既述のように、AからEまでの作業委員会で構成された。すべての議論の基本になるのは、ガルングン火山の活動の現況と将来の見通しであったことは当然である。ラホール対策のダムを建設するにも、今後の噴火次第でその大きさが決まるわけである。

将来の火山活動の推移を予測するための基本的な考え方は次のとおりである。

1) 火山現象の特質の1つである“ばらつき”の影響を避けて、なるべく正確に近い判断ができるように、可能な限り多種類の観測によって火山活動をモニターする。

2) この火山の過去の噴火例、及び同種の他火山の噴火例を参考にして、今後この火山で予想される活動形態(時期、形成、規模など)を列挙する。

3) 次に、モニターの結果の1つ1つを評価して、それぞれに対して、どの活動形態が最も高い確率で予想されるかを評価する。最終的に、それぞれの活動形態のスコアを総計すれば、総合的にどの活動形態が最も高い確率で予想されるかが決まる。

以上は、「誰にでもできる噴火予測」の方法であるが、根本になるモニターの結果が正確で、信頼できるものでなければならない。各事項についての判断や評価は、各人の火山学上の経験と学識とに大いに左右される。なお、モニターの結果が時間と共に変われば、すなわち、火山活動が変われば、予測される活動形態も変わることになり、噴火予測は時間の関数である。

さて、現在の一般的な火山活動のモニター項目を列挙すると、第1表ようになる。左欄は、或る時期と比較して、相対的な活発化或は鎮静化の評価を示す。ガルングン火山で1982年9月現在、実施しているものには下線を施してある。

ガルングン火山の今後の活動推移として可能性のある活動形態を、この火山の活動史と樽前火山の噴火例などを参考にして列挙すれば第2表ようになる。

1) マグマ水蒸気爆発或は火山灰噴出の現状が継続する： 前回の噴火記録によれば、2週間でドームが形成されているが、更に詳細な資料を吟味する必要がある。最近の有珠火山の噴火では、1978年7~9月の約3ヶ月続いた。桜島火山はマグマ爆発であるが、1955年から現在まで断続的に噴火しており、既に $10^8 \text{ m}^3$ の火山灰を噴出したと考えられる。

2) ドーム(溶岩円頂丘)の形成： 火孔を溶岩が満たす段階で終わる場合も考えられる。1909年樽前山噴火に際しては、ドームは48時間以内で形成された。ドームの破壊から次の形成まで、ガルングンで

第1表 火山活動のモニター(下線を施した項目はガルングン火山で実施)

Table 1. Monitoring of Volcanic Activity

Relative evaluation	Activity	
→ ● → ◐ → ○	Seismic activity	<u>freq./day</u> <u>hypocenter</u> <u>B-type/A-type</u> magnitude + <u>energy</u> (M-T diag.) high freq. earthq. + low f. eq. <u>tremors : ampl., duration, period</u>
	Deformation	horizontal(EDM), <u>topography</u> : photogrammetry tiltmeter(continuous), <u>"dry tilt"</u> vertical(level, theodolite ... upheaval of a dome)
	Thermal anomaly	airborne infrared (or multibands) imagery, experimental well (>100 m deep) : temperature, water-level.
	Volcanic gases	SO <sub>2</sub> (COSPEC), Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , HF: remote sensing or telemetering HCl ... continuous observation (GASPEC) Cl/SO <sub>2</sub> , Cl/F
	Volcanic ejecta	SiO <sub>2</sub> % juvenile material/old material <u>volume, distribution</u> (explosion pressure)
	Water & Hot spring	chemical components, pH, temperature
	Gravity changes	accuracy : ±20 μgal ≈ ±6 cm in elevation
	Geomagnetic changes	proton-precession-magnetometer ±1nT
	Electric resistivity changes	measuring span crossing an active crater (continuous or temporary measurements)

第2表 ガルングン火山で考えられる活動推移

Table 2. Possible Development of Activity of Galunggung Volcano

1. Continuation of phreatomagmatic or ash eruptions
  - Ref. 1. 1918 eruption of Galunggung volcano : July 17 ~ 30.
  2. 1977-1982 eruption of Usu volcano : 3 months.
  3. Sakurajima volcano : 1955 ~ , 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> ashes.
2. Formation of lava-dome ◡
  - Ref. 1. Galunggung volcano
 

1894	Destruction	>	24 yrs.
1918	◡		
1982	Destruction		
?	◡		
  2. Tarumai volcano
 

1874	Destruction	>	35 yrs.
1909	◡		
?			
3. Large explosion
4. Activity ceases.

は24年間、樽前山では35年間の火孔活動があった例もある。

- 3) 現在以上の大規模な爆発的な活動に発展することも、理論的には考えられる。
- 4) 現状の活動度が下降を続けて、やがて止まる。

以上に基ついて、一応、今後6ヶ月間に起こる可能性の考えられる活動形態として、第3表の最上欄に

IからⅥまで挙げてある。改めて、簡単に註を加えると次のようになる。

I. 現在程度の、比較的小規模な火山灰噴出が、同じような頻度で続く。

II. このような小噴火が続いた後に、流動性のある溶岩が先ず火孔を満たし、多分、火口底に溢出して数km東へ流れる。

III. 小噴火が続いた後に、粘性の高い溶岩が噴出して、ドームを形成する。

IV. 小噴火が続いてから、1, 2回の中規模な爆発的噴火が起こる。例えば、 $10^7 \sim 10^9 \text{ m}^3$ の岩屑を生じ、熱雲が10 km程度に到達する。

V. 破滅的噴火で、 $10^9 \text{ m}^3$ 以上の岩屑を生じ、大熱雲が10 km以上に達し、大量の火山灰が降下する。

VI. このまま噴火活動が止まる。

上記の2つ以上の組合せもあり得る。これらの活動形態をUSGSのDr. Newhallが図解したものを第11図に示す。第1, 2表及び既述したような諸観測の結果、活動の現況などを参考にして、A作業委員会に出席していた内外の関係者(地球科学に関係した人々であるが、火山学専門家は少ない)が、挙手によって意見表明したものをまとめたスコア表を第3表に示す。この結論として、(I)火山灰噴出を伴う比較的小噴火、及び(II)溶岩噴出という噴火形態が、並んで最もありそうだとした。

以上は9月下旬の議論であったが、12月中旬までの火山活動は(I)の形態で経過した。

## 7. おわりに

幸いにして、1982年末までには、ガルングンのラハール大災害のニュースは届いていない。しかし、現地での雨期は3月まで続くので、万一、ラハールが発生しても、今回の「対策会議」の効果が現われることを期待したい。

今回のガルングン噴火に際して、VSIのスタッフは旧式の地震計を用いてよく火山活動をモニターしたものと敬服する。その後、急拠、無線地震計、光波測距儀、相関スペクトロメータなどの近代機器が導入されたが、これらはまだ十分に利用しきれないうらみがある。これを契機とし、火山観測器材の近代化が図られるものと考えられる。既に述べたように、旧式地震計は昔の日本製であり、近代機器はすべて第三国製品で、第三国の供与である——ラハール警報のための雨量レーダーは日本製であり、日本の供与である——。他方、インドネシア火山学界は豊富な研究材料に囲まれながら、学究的人材層が薄いようである。その充実は、今後の教育の成果にまつほかないのである。吾々としては、少なくとも教育面で、望むらくは機材面でも、同国の火山観測・火山研究に協力すべきであろう。ガルングン火山の噴火がわが国の磐梯山や樽前山のそれと酷似している1例を見ても、このような協力は、わが国の火山噴火予知の向上にも役立つことは明らかである。

おわりに、お世話いただいたJICA及びUNDP当局に謝意を表します。また、データを提供していただいたVSI所長Dr. A. Sudrajat、現地で助言をいただいた建設省浜守厚博士に御礼申し上げます。

第3表 ガルングン火山で1ヶ月以内に起こりそうな噴火の形態（I～VI）とそれらの確率の評価

TABLE 3. LIKELIHOOD OF DIFFERENT ERUPTION TYPES DEVELOPING WITHIN THE NEXT MONTH \*)

	I	II	III	IV	V	VI
	Small ash producing eruption <u>a</u>	Lava extrusion	Dome extrusion	Moderate ash-producing eruption <u>b</u>	Large explosion <u>c</u>	Activity ceases
Seismic	4	4	3	2	1	2
Deformation	3	4	4	3	1	2
Volcanic gas	3	4	4	-	-	2
Volcanic ejection	3	4	1	-	-	1
Visual observ.	4	4	2	-	-	1
Historical information	-	1	4	-	-	3
Prehist. Record	-	3	3	3	2	-
Average	3.4	3.4	3	2.7	1	1.8
Prediction	most likely	most likely			least likely	

Score ratings: 1. Unlikely

2. Possible, but not very likely

3. Not at all surprising if it happens

4. Likely

- No inference

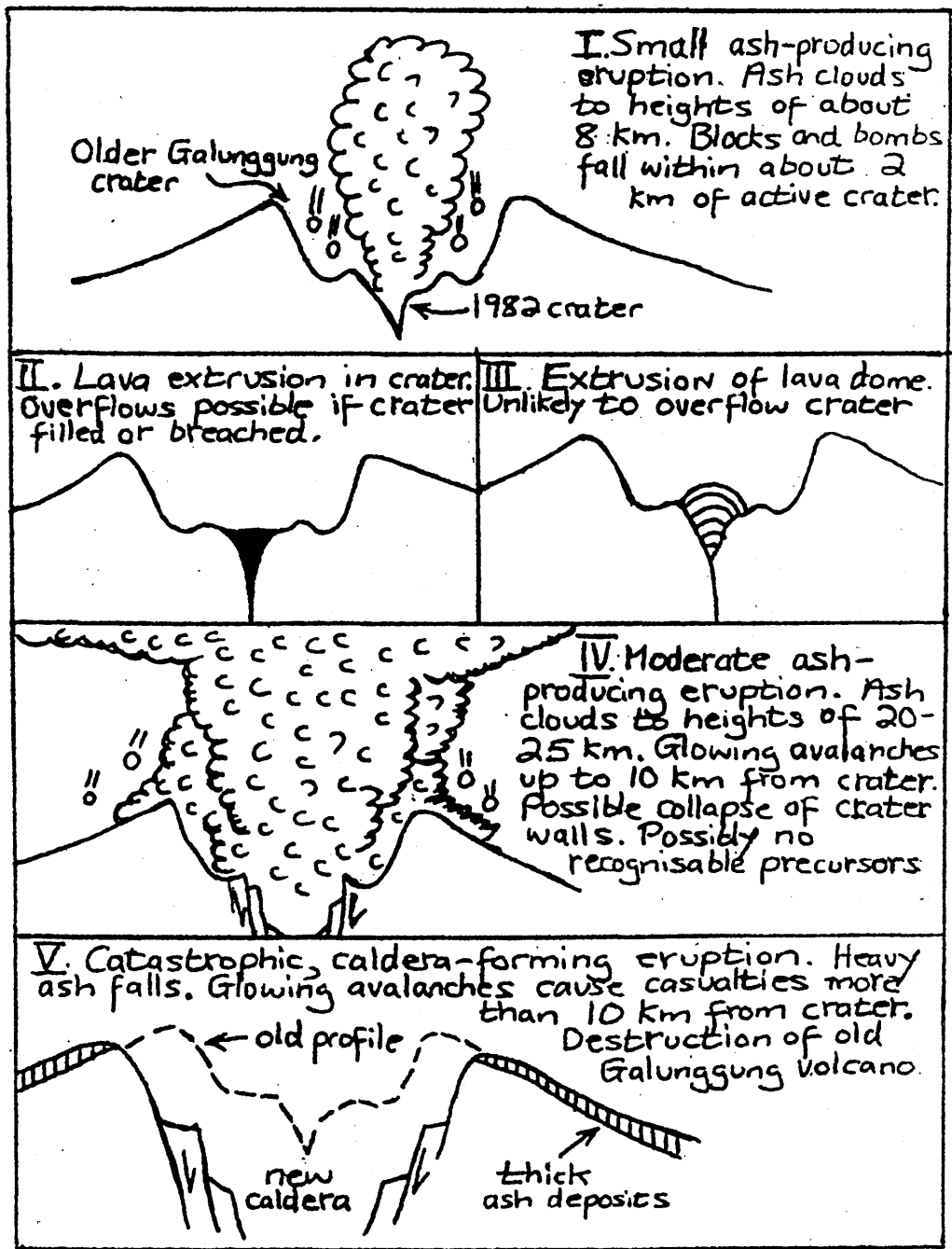
a Relatively small ash-producing eruptions similar to those that have taken place since April

b Significantly larger eruptions than any which have yet taken place, but not directly hazardous to human life more than 5 - 10 km from active crater

c Very large catastrophic eruption with lethal effects more than 10 km from crater

\*) As long as monitoring indications are the same as at present, these predictions will remain valid.





第11図 ガルングン火山で将来考えられる5つの活動形態の図解(第3表参照)

Fig.11 Five types of activity of Galunggung volcano listed in Table 3, after C. Newhall.