

## ピナツボ火山 1991 年噴火: MOS MESSR 画像による判読

金子 隆之

東京大学地震研究所

(1993 年 3 月 8 日受理)

### *1991 Eruption of Pinatubo Volcano: A photo interpretation of MOS MESSR images*

Takayuki KANEKO

Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan

(Received March 8, 1993)

#### Abstract

On June 9, 1991, Pinatubo volcano, located on the western side of Luzon island, the Philippines, started eruptive activity, which attained a climax on June 15. This study involved identifying distribution areas of the geological units which erupted during this activity and making a geomorphological map of the edifice using satellite images (MOS MESSR). The edifice of Pinatubo volcano has a diameter of c. 35 km. Four calderas (C1 to C4) and two dome-shaped rises (D1 and D2) are observed in the summit area. Caldera C1, situated on the southern side of the summit, shows an amphitheater-like shape which opens to the southwest. C2 and C3 are located on the gentle slope of the western side of the edifice and compose a duplicate-caldera complex. C4 is situated on the western flank of the summit dome (Pinatubo lava dome). The two dome-shaped rises (D1 and D2), located on the northern part of the summit, are inferred to consist of lava domes and their surrounding collapsed debris.

In the 1991 activity, large volumes of air-fall tephra and pyroclastic flow were erupted to the surrounding areas. Further, deposition of these erupted materials resulted in occurrence of a vast amount of lahar. The pyroclastic flow traveled more than 10 km away from the summit vent. It seems to be divided into main and marginal parts. The main part is composed of thick deposits or highly destroyed ground surface. The marginal part, mainly distributed on the outer side of the main part, consists of thin deposits or weak destroyed ground surface. The pyroclastic flow tends to accumulate in the topographic low areas. Most lahar was driven from the pyroclastic flow deposit distributed around the summit area and flowed along major rivers radiating to outlying parts. The most distant one ran more than 50 km. The distribution area of the lahar spread and expanded c. 1.5 times within four months from Jul. 5 to Oct. 23 1991. Two new lakes are found in the northeastern Sacobia and southern Marella rivers. They are thought to have resulted from damming up by the lahar. A caldera was formed on the northern side of the summit during the eruption. Based on the Oct. 23 image, this caldera has a size of 2.5 km × 3.0 km with a crescent-shaped lake in the center.

## 1. はじめに

1991年フィリピン、ルソン島西部に位置するピナツボ火山が噴火活動を開始した。6月15日に起きた噴火は、1912年のKatmai火山の噴火以来最大規模のもので、その噴煙柱は成層圏にまで達したことが報告されている (PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991; KOYAGUCHI and TOKUNO, 1993)。噴出量は少なくとも、降下堆積物が  $3 \text{ km}^3$ 、火砕流堆積物が  $7 \text{ km}^3$  と推定され (PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991)、これらは山腹～周辺の地域に厚く堆積している。さらに、雨期にさしかかったこともあり、火砕流堆積物などから土石流が発生し多くの災害を引き起こした。

本研究は1991年のピナツボ火山噴火直後の緊急調査 (1991年フィリピン、ピナツボ火山噴火災害の調査研究、代表者：藤井敏嗣) の一環として、日本の海洋観測衛星である MOS (Marine Observation Satellite, “もも”) の MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer) 画像 (以下 MOS 画像と略記) を判読したもので、噴火の際放出された火砕流堆積物、降下堆積物、およびそれらから発生した土石流堆積物の分布域を特定することを行った。ピナツボ火山の地質構造は、山体全域に渡る地質図が公表されていないこともあり、ほとんど不明のままである。火山の地質構造を明らかにすることは、将来の噴火の性質を予測する上でも重要と考えられる。そこで、MOS 画像は火山地形の判読に関して十分な分解能を有しているとは言い難いが、合わせて同画像から予察的な地形分類図を作成することを試みた。なお、本研究の結果を基にした火砕流の火山学的な考察については、稿を改めて詳しく報告する (金子・安田, 1993)。

## 2. 使用データ

1991年のピナツボ火山噴火直後～数ヶ月の期間において撮影された中で、解析に適する画像データは極めて限られている。入手可能な範囲では、MOS の画像のみであった。LANDSAT, SPOT など他の衛星画像は、いずれも雲量が多く判読に用いることができるようなデータは得られていない。MOS においても、ピナツボ火山がデータの公式受信範囲外に位置するため、使用可能な画像データは1991年7月5日、1991年10月23日 (Fig. 1(b), (c)) の2シーンのみである。これらは噴火間もない時期の噴出物の分布状況を記録している貴重なデータとなっている。本研究ではこれらと噴火前の1989年11月25日の MOS 画像 (Fig. 1(a)) を基に噴火噴出物分布状況の解析を行った。なお、MOS には MESSR の他に VTIR などのセンサーも搭載されているが、分解能が  $900 \sim 2700 \text{ m}$  (小泉ほか, 1987) と低く、本論のような目的には使用できない。

ピナツボ火山の地形判読に関しても、上記の MOS 画像 (7月5日を除く) を使用した。この場合、噴火直後の画像を必要としないため、MOS に限らず LANDSAT, SPOT など他の画像データの使用が可能である (空中写真は軍事上の制約から入手することが実質的に不可能となっている)。とくに SPOT のパンクロマティックモードの画像は分解能が  $10 \text{ m}$  と高く、実体視が可能であり、火山地形分類図を作成するには極めて有効である。しかしながら、これらの画像の価格は MOS 画像の10倍程度ときわめて高価 (1枚が数10万円以上) であり、本研究に割り当てられた予算の枠を遙に越えていた。さらに、SPOT では走査幅が狭いため必要な範囲をカバーするためには、ステレオペアを使用しない場合でも複数の画像を購入する必要が生じる。このような理由から、今回は MOS 以外の画像の使用は見合わせた。LANDSAT, SPOT あるいは JERS などの高分解

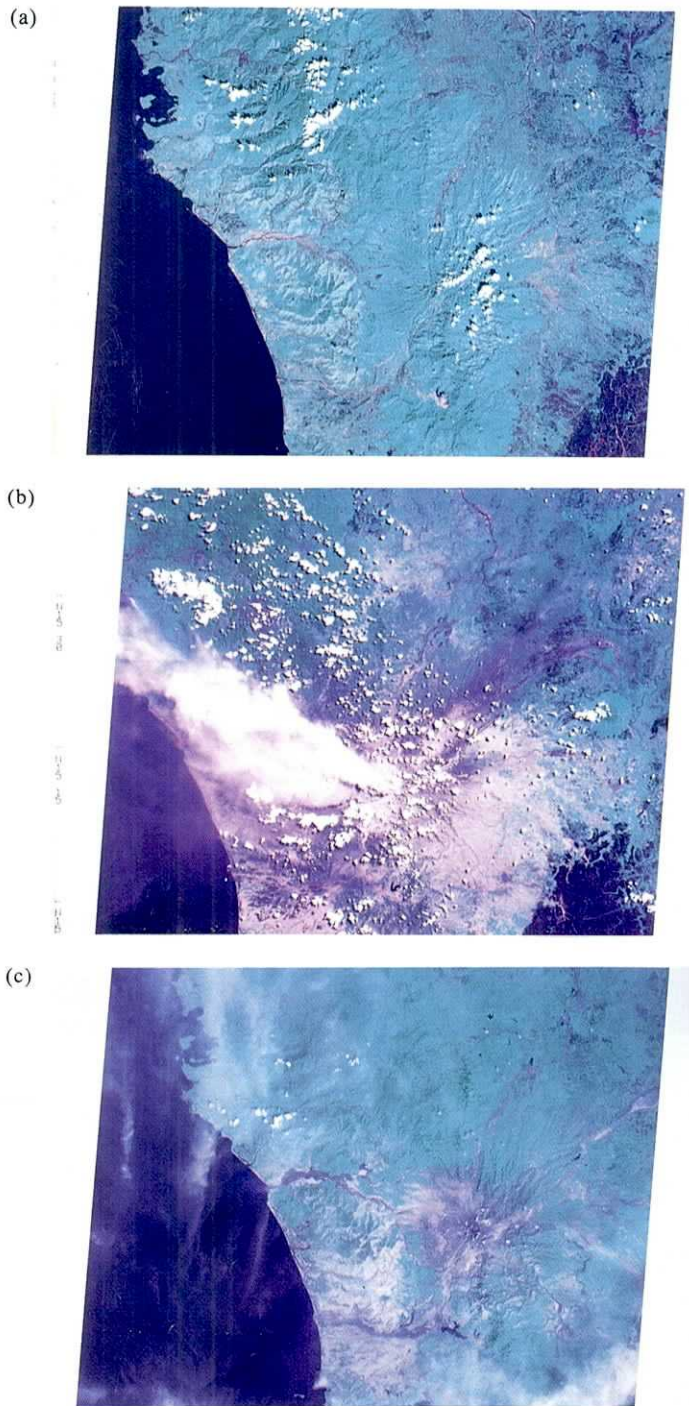


Fig. 1. MOS MESSR images of Pinatubo volcano and the adjacent areas.  
(a) Nov. 25, 1989 (before eruption), (b) Jul. 5, 1991, (c) Oct. 23, 1991.

能の衛星画像データを用いた解析は今後の課題としたい。

MOSは1987年に打ち上げられ、高度約909kmの太陽同期準回軌道を1日に約14回周回し、18日の周期で運動している(小泉ほか, 1987)。MESSRの走査幅は100kmで、地表面における空間分解能は50m、観測波長領域は $0.51\sim 1.10\mu\text{m}$ で4つのバンド(1;  $0.51\sim 0.59\mu\text{m}$ , 2;  $0.61\sim 0.69\mu\text{m}$ , 3;  $0.72\sim 0.80\mu\text{m}$ , 4;  $0.80\sim 1.10\mu\text{m}$ )に分けられている(同上)。判読にはバンド1を青、2を赤、4を緑に割り当てRGB合成し、590mmのナチュラルカラープリントとした画像を使用した。これは25万分の1のスケールに相当し、地上の50m(1ピクセルのサイズ)がこの画像上では0.2mmに表現されている。画像の実質的な分解能は、対象とするものの空間的な連続性や周囲とのコントラストにも依存し一義的に定義することは困難であるが、上記の画像であれば本論で問題とするkmオーダーの構造の判読は十分可能であると思われる。ナチュラルカラー画像を用いたのは、色調が人間の目が感ずる色に近く表現されているため、実際の火山堆積物や空中写真(カラー)からの類推が可能である点が有利と考えられたからである。

### 3. ピナツボ火山の予察的な地形分類

火山の地形分類図の作成については、航空機によって撮影された空中写真を用いる方法が確立されており(守屋, 1974)、一般に広く用いられている。衛星画像の写真判読は、基本的には空中写真と似ており、類似の手法を用いることができる。衛星画像から火山地形を判読する試みは、守屋(1985)、FRANCIS and WELLS(1988)などによって、いくつかなされている。一般に、衛星画像は縮尺が小さく小スケールの地形の判読は困難であるが、火山体とその周辺の地域までも1枚の画像の範囲に納めることができるため、山体の新旧関係やカルデラなどスケールの大きい構造を把握するのに有利な面もある。本研究では衛星画像を判読の基礎データとして用い、必要に応じて地形図(5万分の1, 25万分の1)を参照した。

ピナツボ火山の地形判読は、1989年11月25日と1991年10月23日に撮影されたMOS画像の590mmナチュラルカラープリントを実体視して行った(Fig. 1(a), (c))。同一シーンの画像であっても、衛星の撮影位置が僅かにずれることがしばしば起きる。このことを利用して、実体視機能を有しない衛星の画像でも撮影時期の異なる2つの画像の組合せを吟味すれば、実体視が可能となる場合がある。本論で用いた画像の組合せは撮影位置の違いが大きすぎるためか、必ずしも判読に適した組合せではなかったが、kmオーダー以上の規模の大きい構造の判読は行えた。本来は、複数の画像の中から実体視に最適な組合せを吟味し判読に用いるのが望ましい。しかしながら、画像の選定に十分な時間と予算を割くことができなかったこと、ここで用いた組合せでも予察的な地形分類図を作成するには十分な情報量を有すると考えられたことから、上記の2枚の画像を基に解析を進めた。

ピナツボ火山の基盤はオフィオライト層、堆積岩層からなるとされる(DELFIN, 1984)。MOS画像上では、この堆積岩からなるとされる領域上に南北性のリニアメントが発達しているのが観察される。このような構造は、主に基盤岩の作る尾根地形によってつくられている(25万分の1の地形図でも確かめることができる)。この方向は、火山の配列方向、マニラ海溝、フィリピン断層などとほぼ並行していることから、テクトニックな活動に関係している可能性が推定される。

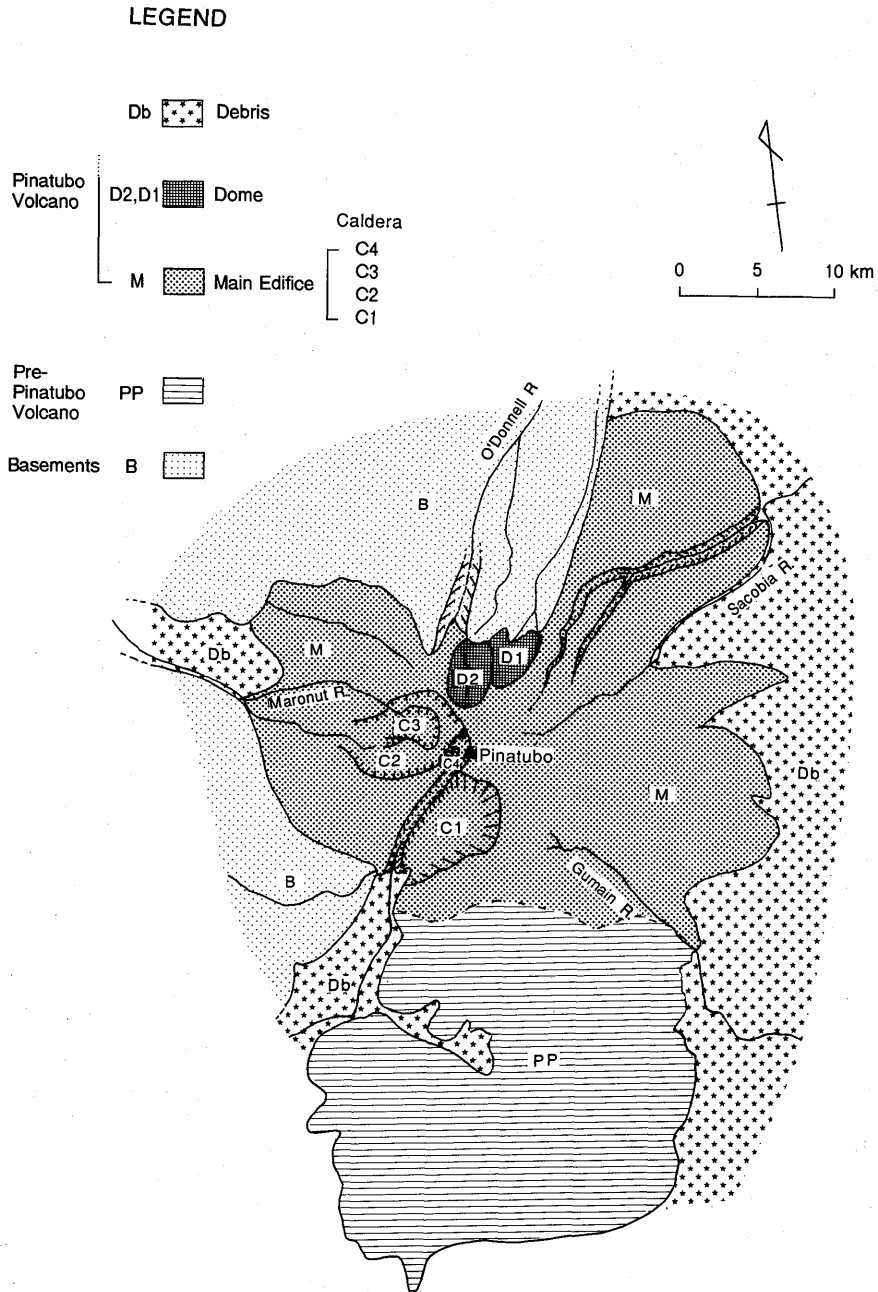


Fig. 2. Geomorphological map of Pinatubo volcano determined from MOS MESSR images taken on Nov. 25, 1989 and Oct. 23, 1991.

ピナツボ火山の山体は、東西約 35 km, 南北約 35 km (後述の先ピナツボ火山を含めると 55 km) の範囲に及ぶ。MOS 画像上でピナツボ火山は、ピナツボ山とその南部に位置する Balakibok 山を中心とする山体からなる独立した 2 つの火山の複合体のように見える。前者は比較的新しい地形面を有するのに対して、後者は開析が進んでいる。ただし、両者の境界を明確に指し示すことは困難であり、Fig. 2 に示したのはその大まかな位置である。ここでは、ピナツボ火山の範囲をピナツボ山を中心とする新しい山体に限ることとし、Balakibok 山を中心とする古い山体は先ピナツボ火山とした。DELFIN (1984) は、ピナツボ火山に多くの溶岩円頂丘が存在することを報告しているが、そのうちのいくつかは先ピナツボ火山に含まれる (これらは、MOS 画像上では、大きさの関係から溶岩円頂丘として識別できない)。以下では、今回の噴火活動を行ったピナツボ火山に限り記述を進める。

MOS 画像では、ピナツボ火山の山頂部付近に 4 つのカルデラ (C1~C4) と 2 つのドーム状の高まり (D1, D2) が存在するのが認められる。山体はピナツボ山を中心に形成されているが、北~北西部にかけては基盤の高度が高く発達が悪い。ピナツボ山の西側の地域一体及び東側の Sacobia 川南岸の地域では、平坦で浸食の程度が低い地形面が広がっている。また、この山体西側の地域ではより古い地形面がプラネーズとして残り、皿を伏せたような緩やかな丘をつくっているのが認められる (Maraza Hill など)。これらの部分は 5 万分の 1 の地形図では、周辺の河床から数 10~100 m 程度の比高をもつことが読み取れる。1991 年噴火による火砕流は、このような高みを避け流下した。

カルデラ C1 はピナツボ山の南部に位置し、約 8 km×5 km の大きさを有し南西に開いた構造をもつ。ピナツボ火山の中でも比較的开析の進んだ場所にあるため、このカルデラは 4 つのなかで最も古い時期につくられた可能性が高い。地形的には、山体崩壊によって形成された馬蹄形カルデラに似る。しかしながら、後の堆積物に埋められたためか、南西麓に流山地形は見いだせない。カルデラ C2, C3 は、ピナツボ山の西側の比較的平坦な地形面が広がる部分に位置し、多重のカルデラを構成している。C2 が約 8 km×5 km, C3 が約 4 km×3 km の大きさをもつ。C2 の北西、南西側の縁は、前述のプラネーズの南東および北東縁の崖と一致している。カルデラの凹みはせいぜい比高 100~200 m 程度である。これは、後の火砕流によって埋立られたためであろう。C3 付近を詳しく見ると、他にもカルデラ壁と思われる地形が断片的に認められ、さらに複雑な構造をなしているように見える。カルデラ壁に沿って河川が弧状に曲がっていることも観察される。C4 は、今回の噴火活動の中心となったピナツボ溶岩ドームの西斜面に位置し、約 3 km×1 km の直径を有する。これが火山活動に伴って形成されたものか浸食によるものかは不明である。

山体北部のドーム状の高まり (D1, D2) は、溶岩円頂丘に似た地形を呈するが、いずれも、5 km×3 km 程度と比較的大型である。中心付近に位置する溶岩円頂丘の崩壊物が周辺に厚く堆積し、このようなドーム状の地形がつくられたのかもしれない。

1991 年の噴火以前には、山頂部にピナツボ溶岩ドームと呼ばれる溶岩ドームが存在していた (DELFIN, 1984, Fig. 2 の C4 に隣接する黒三角)。MOS 画像上では、ここで用いた組合せが噴火前後に渡るもので山頂部分の実体視が不可能であったためこの判読はできなかったが、5 万分の 1 地形図上では明瞭な地形として識別される。

#### 4. 1991 年噴火噴出物の判読

今回のピナツボ火山の噴火で、大量の火砕流、降下堆積物が山体の周辺に堆積するとともに、それら（特に火砕流堆積物）を源とする土石流が発生した。判読は各堆積物の特徴的な色調や分布パターンを手掛かりに行ったが、場合によっては、噴火前の画像と比較し、色調の微妙な変化を吟味した。さらに、7月5日、10月23日の2時期の噴火後の画像を比較し、4ヶ月間の浸食の影響に対する違いなども考慮した。

一般に、肉眼による写真判読では、色調の識別に関してある程度感覚的・主観的な判断に頼らざるを得ない。より精度の高い判読を行うためには、デジタルデータを用い統計的に反射スペクトルの解析を行うのが望ましい。今回この方法を取らなかったのは、(1) 緊急調査としての性格上、短期間に解析を終了する必要があったこと、(2) 各火山噴出物の反射スペクトルに関する情報が全く蓄積されておらず、解析の基礎となるグラントゥールズがないこと、(3) 本研究で対象としているような山間部では、堆積した斜面の方向によって反射強度の違いが生じるため、地形による輝度補正を行うことが望ましいが、地形のデジタルデータも作成されておらず計算が困難なこと、などのためである。

以下に、7月5日、10月23日の MOS 画像から判読した各堆積物の特徴について記述し、Fig. 3 に各堆積物の分布を示す。

##### 4.1 火砕流堆積物

火砕流は高温の岩片や火山灰、ガスが混合した状態で火山の斜面を急速に流下するもので、その流路に当たる場所では激しい破壊を伴う。今回の噴火で発生した火砕流は、山頂から中腹にかけての広範な地域を破壊し、堆積物で厚く覆った。MOS 画像の分解能の制約から表面構造など細かなテクスチャーを読み取ることはできなかったが、火砕流の到達域はほぼ正確に把握することができた。

火砕流堆積物は、基本的に山頂を中心に半径 10km 程度の範囲に分布する。山頂からの到達距離が最も短い領域は南東部の約 8km で、ここでは地形的な高まりによって火砕流が遮られている。最も遠くまで及んでいるのは東部の Sacobia 川の峡谷で、約 15km まで流走している。詳しく見ると、7月5日と10月23日の画像で、それぞれ“灰白色／黒色”、及びこの外側に分布する“灰黒色／緑がかった黒色”を示す2つの領域に大別できる。ここでは、前者を火砕流主部、後者を火砕流周縁部と呼ぶことにする。どちらも地形的低所を好んで分布するように見える。

7月5日の画像では、火砕流主部とした灰白色を呈する領域が山頂の火口から全方向に広がっている（西側の一部は噴煙で観察できないが10月23日の画像で確認される）。10月23日の画像で見ると、この領域は黒色を呈し、火砕流によって植生は破壊されているか埋め尽くされていることがわかる。火口から7~8kmの範囲では、地形の凹凸による筋模様が観察されるが、これは火砕流の堆積が元の尾根地形（比高 200~300m）を完全に埋め立ててしまう程ではなかったことを示す。ここでは尾根の背部で堆積物が相対的に薄く（破壊は激しい）、鞍部により厚く堆積していることが推定される。7~8km 以遠では、比較的平坦な地形をもつ領域（Maronut 川流域、Santo Tomas 川上流の Mar-ella 川流域など）が広く分布し、そのような場所では、火砕流が一面に堆積しているように見える。火砕流主部は地形的に平坦な地域あるいは溪谷の鞍部に分布し、堆積物が厚く平坦な堆積面をつくっているか、堆積物自体は薄くとも火砕流の通過によって元の地

面が著しく破壊されている領域に対応すると考えられる。前者の場合、周囲との境界が比較的明瞭なことが多い(7月5日の画像)。末端部付近では、火砕流が地形的な低所を好んで流下している様子が良く観察される。山体北西部の Maronut 川と Balin Buquero 川に狭まれた地域では、この傾向が著しく先端部が何本にも分かれ細長く延びている。火砕流主部の到達範囲内でも地形的な高所であったため、これに覆われることがなかった地点が数ヶ所点在するのが認められる。

火砕流主部の外側に、これを取り巻くように火砕流周縁部が分布する。火砕流主部に比べ、周縁部は地形的にやや高い場所にも見られる。この分布域は、7月5日の画像では黒っぽい色調を呈するが、噴火約4ヶ月後の10月23日の画像ではやや緑がかかった黒色を示す。これは火砕流による破壊は受けているものの、植生の残されている部分が散在するため全体にやや緑色を帯びているものと解釈される。火砕流周縁部では主部に比べ堆積物が薄く、破壊の程度も弱いと考えられる。火砕流主部と周縁部の境界は必ずしも明確でない部分もあるが、Fig. 3には、そのおよその領域を示した。

6月15日の5時55分から、環状に全方向に広がるブラスト (lateral blast) が発生したこと (PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991) が報告されている。火砕流周縁部は、このブラストの到達域を一部含んでいることは十分考えられる。しかしながら、「火砕流堆積物と近接している場所でも樹木は立ち枯れた状態になっていることがほとんどで、St. Helens 火山 1980年噴火で見られたような強いブラストがあった形跡は見られなかった」(小屋口ほか, 1991) という報告から推測する限り、ブラストが火砕流周縁部形成の主因であったとは思われない。火砕流周縁部は分布面積が広く山頂から遠くまで及んでいることから、その大半がブラストによって形成されたとすれば、非常に激しい破壊の痕が広範囲に残されるはずである。

#### 4.2 土石流堆積物

土石流は、MOS 画像上では水分に富むためかやや暗い灰黒色を呈し、一般に溪谷や主要河川に沿って分布する傾向がある。総じて表面が平坦で、単調な見かけを呈する。噴火後の画像では、河川の多くは土石流が流入することによって幅が増し灰黒色の帯状になっている。このような点に着目し噴火前の画像と比較すれば、土石流の分布域を詳しく捕えることができる。

土石流堆積物は山腹に分布する火砕流堆積物から、主要河川に沿って放射状に分布する (Fig. 3)。長いものは、到達距離が 50km を越える (O'Donnell 川)。土石流の分布域は日を追って拡大する傾向にあり、7月5日から10月23日の4ヶ月間で、両時期の MOS 画像で重複して観察できる部分で比較すると、分布面積は約 1.5 倍となっている。10月23日の画像では、北東部の Sacobia 川、南部の Marella 川 (Santo Tomas 川上流) の2ヶ所で、土石流によるせき止め湖が形成されているのが確認される。これらは、7月5日の画像では確認されず、この約4ヶ月の雨期間に形成されたと考えられる。

山体南東部では厚い降下堆積物が認められ、それを起源とする土石流が発生していることも予想されるが、MOS 画像からはその様子を伺い知ることはできなかった。これは、沼地に堆積した降下堆積物が水分を含み土石流と同様の色となり、小規模な土石流と区別が困難となってしまうためと思われる。

#### 4.3 降下堆積物

降下堆積物は、噴火によって空中高く投げ出されたマグマが冷却され軽石や火山灰と



して上空から降下するという堆積形態をとる。このため、噴火時の卓越風の方向に流され、広い範囲に分布するという特徴をもつ。一般に、堆積物が薄い場合は、植生などが破壊されることは少ない。今回の噴火で火砕流の到達範囲より外側に見られる堆積物は、土石流を除けば降下堆積物であると考えられる。

降下堆積物に完全に覆われた地域は灰色を呈する。一方、降下堆積物が薄く一部地面

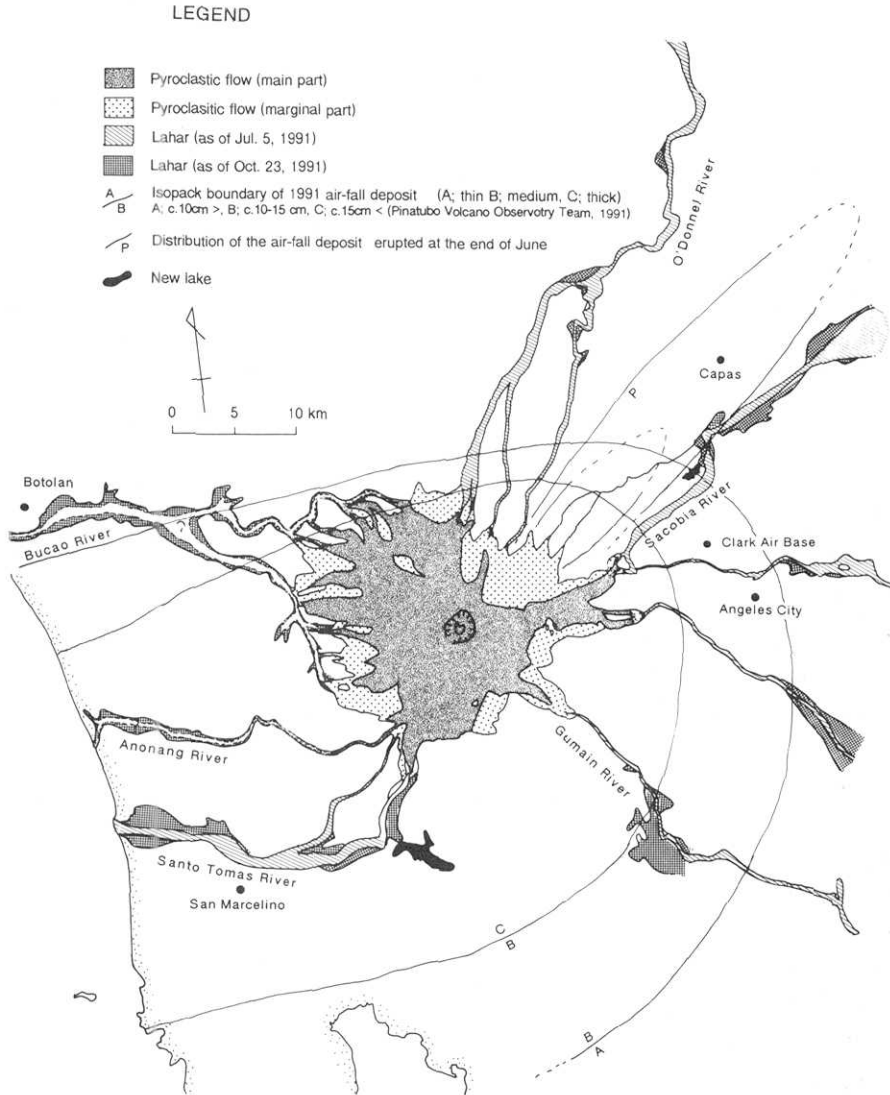


Fig. 3. Distribution map of the pyroclastic-flow, lahar and air-fall deposits during the 1991 eruption of Pinatubo volcano. The lahar deposits on the western side of the edifice (around the Bucao and Anonang rivers) were drawn using only the Oct. 23, 1991 image, because of eruption cloud cover on the Jul. 5, 1991 image. Hence, the distribution of the lahar deposits around these rivers as of Jul. 5, 1991 is not shown.

が透けて見える場所では、地面や植生の色と混じり合って、やや黒っぽい、あるいは緑がかかった色調となる。また、地形にも依存するが、地面が完全に降下堆積物に覆われてしまった地域でも、堆積物が薄ければ浸食による変化を受け易く、厚い場所ではその逆であることが考えられる。このような点を考慮すれば、堆積物の厚さを定性的に比較することがある程度可能である。

7月23日のMOS画像から、今回のピナツボ火山の噴火によって放出された灰色の降下堆積物が、周辺の地域に広く分布していることが読み取れる。全体として南西部に偏って分布する傾向がある。特に Santo Tomas 川周辺の地域は、噴火から約4ヶ月経過した10月23日の画像でも降下堆積物を示す灰色の領域がほぼ一面に認められ、堆積量が多大であったことが推定される。

試みに、以下の3つのランクに分けて降下堆積物のアイソパック図を作成した (Fig. 3).

- A; 7月5日の画像では植生の上に薄く降下堆積物の存在が認められるが、4ヶ月後の10月23日の画像では消えてしまった部分
- C; 7月5日の画像で降下堆積物によって一面が覆われ、またさらに、4ヶ月間の降雨、風にさらされても堆積物が残され10月23日の画像で灰色の領域が随所(場所によってはほぼ一面)に認められる部分
- B; 両者の中間的な部分

これは、地表調査から得られた結果 (PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991; KOYAGUCHI and TOKUNO, 1993) と概ね対応し、A; 10cm 以下、B; 10~15cm、C; 15cm 以上の領域に相当する (PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991)。

7月5日の画像では、北東方向に細長く伸びた黒色の降灰域が認められる。画像上で識別できる部分で、長さ約50km、最大幅約8km程度の広がりをもつ。中心付近には白色の部分が存在する。分布域が細く比較的遠くまで及んでいることから1回(?)のプリニー式噴火による堆積物である可能性が高い。堆積物の分布が明瞭で他の噴出物によって乱されていないことから、より末期の噴出物と思われる。比較的小規模なプリニー式噴火が、6月15日以降何度か繰り返されており (KOYAGUCHI and TOKUNO, 1993), Fig. 3 に示されているものはそのうちの1つと考えられる。この降下堆積物は、10月23日の画像では認められない。これは堆積物が薄く、この間の降雨、風などによって、かき消されてしまったことを示すと思われる。7月5日の画像が撮影された数日前に行われた現地調査で、上空からこの方向に降下堆積物の存在が認められている(小屋口、私信)。

#### 4.4 山頂部の地形変化

噴火以前のピナツボ山の山頂には直径約4kmのピナツボ溶岩ドームが存在していたが、今回の噴火活動によって失われ、その跡にカルデラが形成された。1991年10月23日のMOS画像から、このカルデラの直径は約2.5km×3.0kmで、中心付近に直径約1kmの三日月型の火口湖が観察される (Fig. 3)。

#### 5. おわりに

衛星写真を使用した利点としては、(1) 周回軌道を運動しているため、定期的な観測が可能である。このため、7月と10月の画像から、土石流による災害域の拡大状況など

を把握できた。(2) 広範囲に及ぶ今回の噴火噴出物の分布状況を、短期間かつ低コストで知ることができた。(3) 2 時期の画像を実体視することにより、大まかではあるが、初めて本火山の地形分類図を作成することができた。などが挙げられる。

本論で用いたものよりさらに分解能の高い画像(例えば SPOT, JERS など)やデジタル画像処理を利用すれば、より多くの正確な情報が得られることが期待される。火山の噴火といった現象は、現地調査が困難な場所でも起こりうる。地球観測衛星は、地球上のすべての地域をカバーしており、画像さえ得られれば、いつでも起きた火山噴火に対しても、噴火状況を分析することができる。今後、衛星画像は地表調査の前の予備調査、地表調査が困難な地域での噴火状況の解析などにおいて、さらに有効に活用されることが予想される。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって、藤井敏嗣教授(東京大学地震研究所)には研究の便宜を計って頂いた。小屋口剛博助教授(東京大学地震研究所)には現地の情報を教えて頂いた。Eddie L. LISTANCO 氏(東京大学地震研究所)には貴重なご意見を頂いた。鎌田桂子博士、Sandra G. GERONIMO-CATANE 氏(共に神戸大学理学部)には文献を教えて頂いた。尾崎史子氏(元東京大学地震研究所)には図版の制作の一部を手伝って頂いた。兼岡一郎教授(東京大学地震研究所)は草稿に目を通し不備な点を指摘して下さい。以上及び査読者の方々に深く感謝致します。なお、本研究の一部には、文部省科学研究費(総合研究(A), No. 03306021)を使用した。

## 参考文献

- DELFIN, F. G. Jr., 1984, Geology and geothermal potential of the Mt. Pinatubo. PNO-EDC Internal report. 36 pp.
- FRANCIS, P. W. and G. L. WELLS, 1988, Landsat Thematic Mapper Observations of debris avalanche deposits in the Central Andes. *Bull. Volcanol.*, **50**, 258-278.
- 金子隆之・安田 敦, 1993, Energy cone モデルによるピナツボ火山 1991 年火砕流の解析: Frothing 型噴火の可能性とマルチフローユニット型火砕流の Mobility. *火山*, **38**, 157-165.
- 小泉深吉・前田惟裕・佐藤英夫・綾部広一, 1987, MOS-1 の運用および衛星検証計画について. *日本リモートセンシング学会誌*, **7**, 45-72.
- 小屋口剛博・徳野正己・E. LISTANCO, 1991, フィリピン, ピナツボ火山の噴火, 1991 年 6 月 15 日. *火山*, **36**, 447-451.
- KOYAGUCHI, T. and M. TOKUNO, 1993, Origin of the giant eruption cloud of Pinatubo, June 15, 1991. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **55**, 85-96.
- 守屋以智雄, 1978, 空中写真による火山の地形判読. *火山*, **23**, 199-241.
- 守屋以智雄, 1985, 衛星写真, 航空写真による世界の火山の地形学的研究. 昭和 59 年度文部省科学研究費補助金(一般研究 C) 研究成果報告書, 41 pp.
- PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991, Lessons from a Major Eruption: Mt. Pinatubo, Philippines. *EOS*, **72**, no. 49, 545. 552-555.

## 要 旨

MOS MESSR 画像を目視判読し、フィリピン、ピナツボ火山の 1991 年噴火噴出物の分布状況の解析、及び地形分類図の作成を試みた。ピナツボ火山は東西約 35 km, 南北約 35 km の範囲に及ぶ。山頂部に 4 つのカルデラ (C1~C4) と 2 つのドーム状の高まりが認められる。この内 C1 は南西に開いた馬蹄形の崩壊カルデラ、C2 と C3 は西側斜面に位置し多重のカルデラ構造をつくっている。1991 年の噴火では、大量の火砕流、降下堆積物が山体の周辺に堆積するとともに、主に火砕流を源

とする土石流が発生した。火砕流堆積物は山頂を中心に半径 10 数 km の領域に分布する。これは色調と分布の特徴から、主部とそれを囲むように分布する周縁部に分けられる。両者の違いは、主部では相対的に堆積物が厚いか破壊の程度が高いのに対し、周縁部ではその逆となっていることに基づくと考えられる。土石流堆積物は山頂部に分布する火砕流堆積物から、主要河川に沿って放射状に分布する。長いものは到達距離が 50 km を越える。土石流の分布面積は 7 月 5 日から 10 月 23 日の 4 ヶ月間で約 1.5 倍に拡大している。北東部の Sacobia 川、南部の Marella 川の 2 ヶ所で、土石流によるせき止め湖が形成されている。山頂には直径約 4 km のピナツボ溶岩ドームが存在していたが、今回の噴火によって大部分が失われ、その跡にカルデラが形成された。1991 年 10 月の MOS 画像では、その中に直径約 1 km の三日月型の火口湖が観察される。