

高分解能衛星画像を用いた浅間山 2004年9月1日噴火の 噴石着弾痕分布図

佐々木 寿*・向山 栄*

(2005年5月9日受付, 2005年12月30日受理)

Impact Crater Distribution Map of the Eruption of Asama Volcano on
September 1, 2004 Using High-resolution Satellite Imagery

Hisashi SASAKI* and Sakae MUKOYAMA*

Asama volcano erupted on September 1, 2004, and volcanic bombs, lapilli, and volcanic ash were ejected. The distribution of the volcanic bombs was investigated by using IKONOS high-resolution satellite imagery. IKONOS imagery with one-meter ground resolution enabled us to identify the distribution of the impact craters greater than three meters in diameter. Many impact craters are distributed northwestward, according to the distribution density chart of the impact craters. The crater shape of Asama volcano was analyzed by using DEM created from airborne laser scanner data, and the result shows that there is no obstruction in the crater area to prevent volcanic bombs to be projected at an angle of 63 degree that gives the maximum attainment distance (Iguchi *et al.*, 1983). It suggests that the shape of the crater did not affect the distribution pattern of the impact craters. The outline of the eruption can be understood based on the distribution pattern of the impact craters larger than three meters in diameter, which can be interpreted from IKONOS imagery.

Key words: Asama volcano, impact crater, high-resolution satellite imagery, remote sensing

1. はじめに

2004年9月1日20時02分、群馬県と長野県の県境にある浅間山で中規模の爆発的噴火が発生した。噴火の規模は1983年以来21年ぶりの大きさで、噴出した火山灰は北東方向に流れ、福島県北部太平洋沿岸まで達した(気象庁, 2004a)。また、軽井沢測候所に設置されている高感度監視カメラでは、高温の火山弾などが火口から2km程度まで飛散するのが観測され(気象庁, 2004a), 一部では山火事が発生した。

爆発的噴火により放出される火山礫、噴石等の分布は、一般的には噴出方向と火口形状に依存すると考えられる。したがって噴石等の分布範囲がどのような形状であるかは、噴石等による災害の傾向を把握するための重

要な情報である。しかし、今回の噴火による噴石等の分布範囲について、火口周辺の広範囲を対象として均一な手法により調査した事例は少ない。

近年、航空機レーザスキャナや高分解能リモートセンシング衛星の実利用が進み、地上分解能が数cmから1m程度の詳細な非接触調査が種々の応用分野で使われるようになっている。従来からリモートセンシング技術は、植生調査や表面温度分布調査等に用いられており、火山観測における有効性は確かめられている(浦井・他, 1999など)が、リモートセンシング技術の地上分解能が向上したことで、新たなレベルの調査精度の獲得や用途が可能となっている。また、噴火後の火山近傍は立ち入りが規制されることが多いため、安全に状況を把握する手法としても期待される。

本研究では、航空機レーザスキャナデータを用いて噴火前の火口形状を解析し、高分解能衛星画像データ(IKONOS衛星画像)を用いて、2004年9月1日噴火の噴石着弾痕の分布や山火事の状況について判読するとともに、2004年9月1日噴火の前後で火口形状が大きく変化していないとの仮定に基づき、噴火前の火口形状と噴

* 〒060-0807 北海道札幌市北区北7条西7丁目1-30

RICH7・7ビル

国際航業株式会社

Kokusai Kogyo Co., Ltd., RICH7・7BLDG, 1-30,
North7 West7, Kita-ku, Sapporo 060-0807, Japan

Corresponding author: Hisashi Sasaki
e-mail: hisashi_sasaki@kkc.co.jp

石着弾痕分布について考察した。

2. 航空機レーザスキャナによる噴火前の火口形状

2004年9月以前の火口形状を示すデータとしては国土地理院(1983)による火山基本図があるが、噴火より20年以上も前に作成されたものである。本研究では、2004年9月1日噴火の約2年前(2002年8月)に計測された航空機レーザスキャナによる地形データ(国際航業株式会社自主撮影)を用いて、2004年9月1日噴火前の火口形状について説明する。

2-1 航空機レーザスキャナの概念と計測条件

航空機レーザスキャナ(Airborne Laser Scanner, 以下ALSと略す)は航空機から地上に向けてレーザを照射し、地上から反射してくるレーザの時間差で地物の高さを計測するシステムである。レーザを照射する航空機の空間位置は、航空機に搭載したGPS(Global Positioning System)とIMU(Imertial Measurement Unit, 惯性計測装置)および地上のGPS基準局により正確な位置が把握でき、これらを解析することで地物の3次元座標を計測できる。

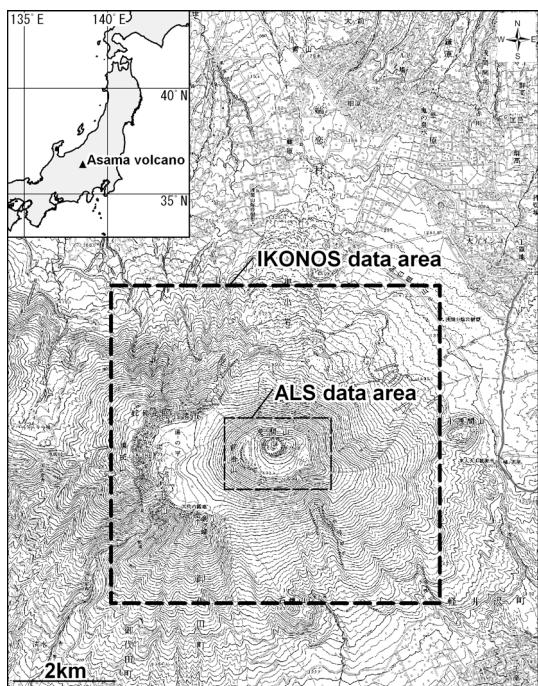


Fig. 1. Study area and the coverages of the high-resolution satellite imagery (IKONOS) and airborne laser scanner (ALS) data used in this study.

図1 調査位置図および使用データの範囲。

ALSの計測は、Table 1に示す計測諸元に従って実施した。レーザ計測点の垂直方向の計測誤差は±15 cm、水平方向は±30 cmである。対象範囲(Fig. 1)のレーザ計測点の密度は0.94/m²であり、レーザ計測点は1 m四方にはほぼ1点分布している。

計測したデータから雲などのノイズを除去し、ランダムに分布するレーザ計測点にTIN(Triangulated Irregular Network)を発生させ、標高を内挿して数値標高モデル(Digital Elevation Model, 以下DEMと略す)を作成した。作成したDEMの格子間隔は2 mであり、このDEMから等高線図を作成した(Fig. 2)。等高線図には標高に応じて着色したレイヤーを重ねて表示した。

2-2 噴火前の火口の状況

前掛山の山頂火口は2重であり、外側の火口は長軸(東西方向)が約1,300 m、短軸(南北方向)が約900 mの橢円形を呈する(Fig. 2)。この火口は、1108年の噴火の際、追分火碎流の噴出にひきつづいて起った山頂部の陥没によって生じたとされている(荒牧, 1993)。この火口の内に2004年9月噴火の火口である釜山火口が存在する。釜山火口は南北に潰れた橢円形を呈し、長径(東西方向)が約500 m、短径(南北方向)が約400 m、火口縁周長が約1,500 mである。

Fig. 2を見ると、釜山火口の火口壁は急傾斜であり、全体的に円筒状の形状を示すが、東から南にかけては円筒状の上部に緩やかな斜面が連続し、火碎丘の形状を呈する。

火口底の状況

Fig. 2によると、噴火前(2002年8月)の釜山火口の最深部は、火口中央ではなく、火口の北東側に位置していることがわかる。ALSで得られた火口底の最低標高は2,310.8 mであった。また、渡辺・他(2004)による2003年のデータでも同様の形状を示している。この最深部の位置は、實渕・鶴川(2004)が山体表面温度観測を実施

Table 1. Specifications of the airborne laser scanner observation.

表1 航空機レーザスキャナの計測条件。

Date	August 29, 2002
Laser pulse rate	24,000 Hz
Scanning rate	21.5 Hz
Laser scan angle (FOV)	20 degree
Laser swath width	915 m
Flight altitude	8,500 ft (2,591 m)
Flight speed	110 kt (204 km/h)
X, Y positional accuracy	±30 cm
Z positional accuracy	±15 cm

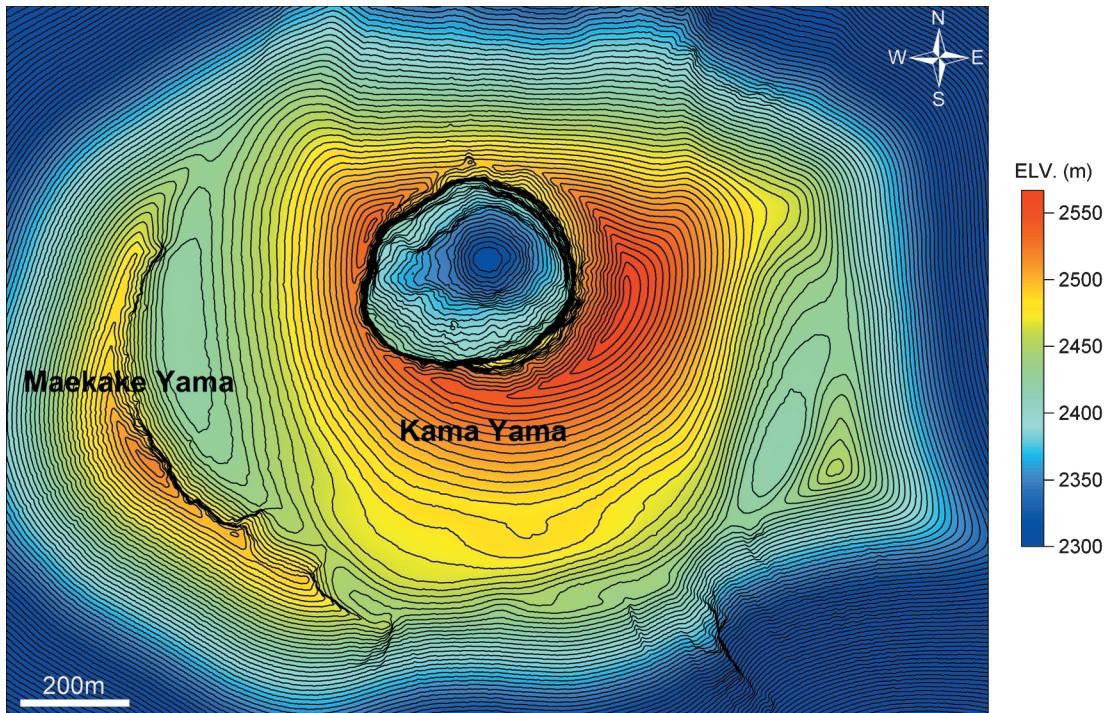


Fig. 2. Contour map of the top part of Asama volcano before the eruption based on the airborne laser scanner DEM. It was acquired in August 2002. The contour interval is 5 m. The surface altitude is displayed in rainbow color, and superimposed on the contour lines.

図 2 航空機レーザスキャナ(ALS)DEM から作成した噴火前の浅間山山頂部の等高線図(データ取得は 2002 年 8 月)。等高線間隔は 5 m であり、標高を虹色で表示して重ね合わせた。

した際に、最高輝度温度を記録した範囲とほぼ一致する。

国土地理院(1983)による火山基本図($S=1/5,000$)では、火口の最深部は中央部から西側にあり、記載している独立標高点の値は 2,320.4 m である。火山基本図が作成された 1983 年以降、火口最深部は火口内北東部に変化してきたらしい。

火口縁の状況

Fig. 2 で火口縁の等高線に着目すると、火口縁は北側が一番低く、次いで南西側が高いことがわかる。一方、火口の北西側と南東側は火口縁が高い。噴火前(2002 年 8 月)の火口底の最深部(2,310.8 m)と火口縁との比高差は、東側が最大で約 255 m、北側が最小で約 180 m である。火口北縁にある閉じた等高線は、1950 年 9 月の噴火で火口から投出された岩塊(通称千トン岩)の突起を示している。

3. 噴石着弾痕の分布

2004 年 9 月 1 日の噴火では、高温の岩塊を含む噴石や

火山礫が火口から噴出し、周囲約 2 km の範囲に飛散した(気象庁, 2004a)。その状況の一部は、気象庁の高感度監視カメラの画像によって捉えられ(気象庁, 2004a)、また噴火翌日に撮影された空中写真によって噴石が着弾した痕跡が観察されている(千葉・他, 2004)。気象庁が 9 月 3 日に実施した上空からの観測では、火口から約 2 km 以内の範囲に 3~4 m 径の噴石が多数落下しているのが確認され、それより外側にも噴石が落下したと考えられるクレーターを確認している(気象庁, 2004a)。さらに噴火直後の現地調査によって、火口から 4 km 地点では 3~5 cm 径の火山礫および 8 cm 径の軽石が確認され、火山礫は火口から 8 km 地点付近まで確認された(気象庁, 2004a)。

しかし、高感度監視カメラの画像は山体の全領域をカバーするものではない。また、現地調査の範囲は限定的で、特に火口から 2 km 以内は、立ち入り規制のため現地調査資料は乏しい。さらに噴火翌日の空中写真は被雲領域があるため、特に噴石の分布が多いと考えられる範囲において、必ずしも十分な情報が得られない。したがっ

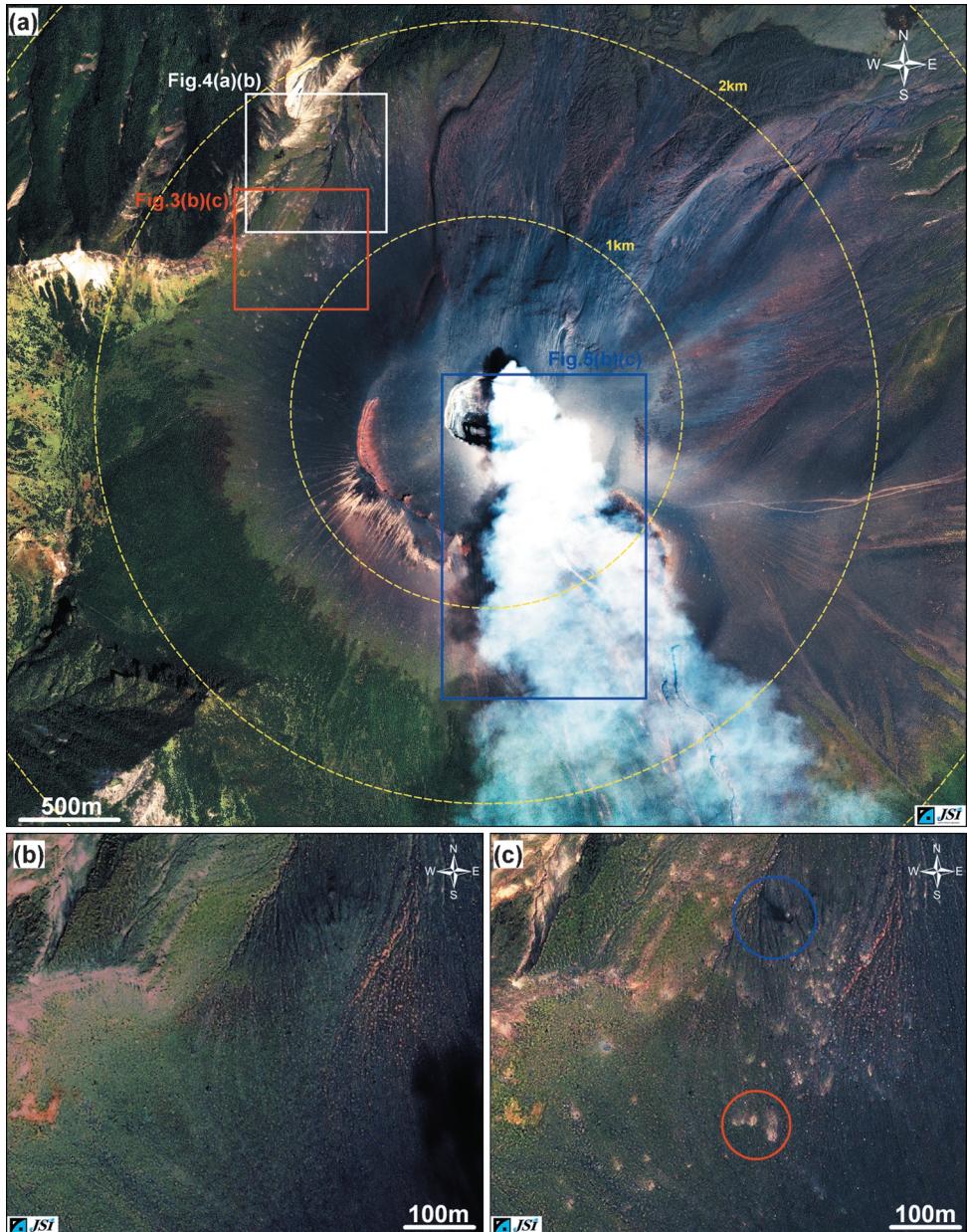


Fig. 3. IKONOS imagery of Asama volcano. (a) True color imagery of Asama volcano after the eruption on September 1, 2004. (b) True color imagery of an area on the slope of Asama volcano, which is about 1.2 km northwest of the crater, before the eruption. It was acquired on September 24, 2002. (c) True color imagery of the same area as (b) after the eruption on September 1, 2004. The data acquisition date is September 15, 2004. Red circle on the images indicates the typical impact crater. Blue circle on the images indicates the ray caused by volcanic bombs.

図 3 浅間山周辺のIKONOS衛星画像. (a) 2004年9月1日噴火後の浅間山周辺のトゥルーカラー画像. (b) 2004年9月1日噴火前のトゥルーカラー画像(データ取得は2002年9月24日). 火口から北西約1.2 km 地点. (c) 2004年9月1日噴火後のトゥルーカラー画像(データ取得は2004年9月15日). (b)と同じ地点. 赤丸は噴石着弾痕が分布する典型的な場所である. 青丸は噴石の着弾により飛散した物質が筋状の模様を呈する場所である.

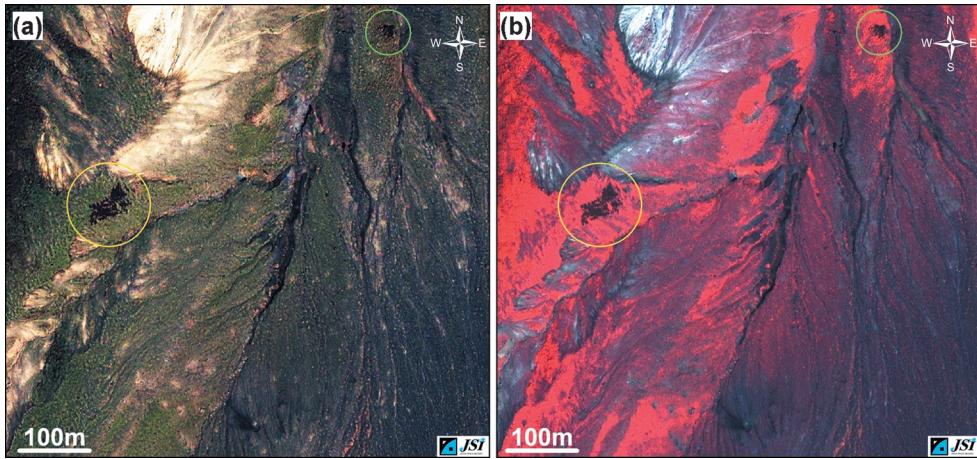


Fig. 4. IKONOS imagery of the northwestern side of Asama volcano. The date of acquisition is September 15, 2004. (a) True color imagery. (b) False color imagery. Circles on the images indicate forest fire areas.

図 4 浅間山北西斜面の IKONOS 衛星画像（データ取得は 2004 年 9 月 15 日）。(a) トゥルーカラー画像。 (b) フォールスカラー画像。円内は山火事の跡。

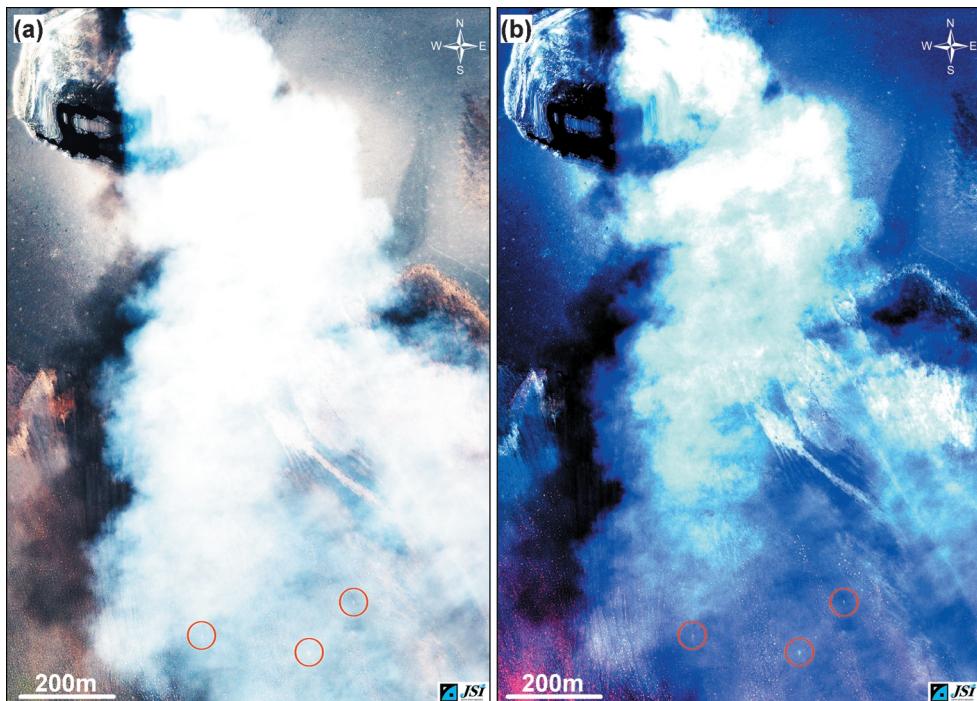


Fig. 5. IKONOS imagery of the south side of Asama volcano. The data acquisition date is September 15, 2004.

(a) True color imagery. (b) False color imagery. Note that the degree of transparency of the volcanic smoke shown in the left image is different from that in the right image. Red circles on the images indicate the impact crater.

図 5 浅間山南斜面の IKONOS 衛星画像（データ取得は 2004 年 9 月 15 日）。(a) トゥルーカラー画像。 (b) フォールスカラー画像。噴煙の透過度が異なることに注意。赤色円は噴石着弾痕。

て、火口周辺の全周にわたる範囲に対して均一に同じ調査手法によって噴石等の分布を面的に示した資料は、著者の知る限り作成されていない。

そこで本研究では、噴火後に撮影された高分解能衛星画像データを用いて、火口から約4kmの範囲全域を対象に、噴火直後に噴石等が着弾した痕跡および火災発生跡を判読し、噴火直後の噴石着弾痕分布図の作成を試みた。

従来のリモートセンシング技術では地上解像度が数十m程度の画像しか得られなかっただため、火山噴火による噴煙の状況や降灰域の抽出など広域的な状況把握に用いられることが多かった(浦井・他, 2001など)。しかし近年、従来の空中写真と比較して遜色ない肉眼判読ができる高分解能衛星画像データの入手が容易になり、大規模災害時の災害状況把握等に実際に利用されるようになっている(向山, 2004など)。

噴石等の分布を調査するにあたって、高分解能衛星画像データは個々の噴石等の形状を直接把握するのに十分な解像度を持たないが、飛散物質を含めた着弾痕であれば識別できる可能性が高く、広域的な分布の傾向を把握するのに有効な手法であることが期待できる。

3-1 IKONOS衛星画像の取得

本研究で用いた高分解能衛星画像データは、地球観測衛星IKONOSによって取得されたものである。IKONOS衛星画像は地上解像度が1mであり、1/10,000空中写真的肉眼判読と比較しても遜色ない分解能が得られる。また、ライプラリーデータが豊富であり、必要に応じて過去および将来のデータ比較がしやすいなどの利点がある。

今回使用したIKONOS衛星画像は、2004年9月1日噴火から2週間後の2004年9月15日10時43分に撮影されたものであり、噴煙が南方へたなびいているものの、雲の少ない良質な画像である(Fig. 3, 撮影範囲はFig. 1に示した)。9月1日の爆発後の火山活動としては、9月14日03時30分および13時31分のごく小規模な噴火、15時36分の小規模な噴火(小噴火)が発生しているが、噴石の飛散は観測されていない(気象庁, 2004a)。したがって、今回使用するIKONOS衛星画像は2004年9月1日噴火の噴石等の飛散状況を把握するのに適していると思われる。しかし、軽井沢測候所では噴火翌日の2004年9月2日から15日の間に6日間にわたり降水を観測しているため(2日: 16mm, 4日: 49mm, 5日: 66mm, 10日: 7mm, 14日: 3mm; 気象庁, 2004b), 降雨による影響を受けた状況を撮影しているものと思われる。また、噴火前の状況を把握するため、2002年9月24日に撮影されたIKONOS衛星画像を比

較資料として使用した。

3-2 IKONOS衛星画像の特徴

IKONOSは1999年9月に打ち上げられた商業衛星で、パンクロマチック(450~900nm), 青(450~520nm), 緑(520~600nm), 赤(630~690nm)および近赤外域(760~900nm)のセンサーを搭載している。IKONOSの観測頻度は、標準撮影(撮影角度: 通常15度以下)で約11日に1回、撮影角度を最大45度にした特別撮影の場合、約2日に1回である。IKONOS衛星画像の地上分解能はパンクロマチックで1m, マルチスペクトルは4mである。

本研究ではパンクロマチック画像とマルチスペクトル画像を合成して得られるパンシャープン画像を用いた。使用したIKONOS衛星画像は、日本スペースイメージング株式会社製品のデジタルオルソ・ライト画像(日本スペースイメージング株式会社ホームページ*)であり、地上分解能は1m、水平誤差は±3.5mである。

3-3 噴石等の認定手法

一般に噴石などが地表に着弾した場合、その衝撃により周囲にリムを持つ凹地状の地形が形成される。このような環状地形は、インパクトクレーターと呼ばれている。飛来した岩塊は地中に埋没することもあるが、粉碎されることもある。さらに地表の物質が飛散することによって、インパクトクレーターの周囲には細粒物質の飛散による放射状の模様が形成されることがある。月や惑星のクレーターの周囲には明度が高い同様な模様が見られ、光条(レイ)と呼ばれている。

早川(2004)によれば、今回の噴火では火口から約1.7km北西の地点で直径約1mの火山弾の着弾が確認されている。その写真から推定できるクレーターは直径数m程度である。さらにクレーターの内部は表土が掘り返され、周囲に飛散した表層物質とともに、変状のない部分とは異なる色調を示している。したがって噴石等によるインパクトクレーターのうち直径が数m以上のものは、IKONOS衛星画像上で周囲とは色調の異なる環状地形を示す、あるいは着弾による飛散物質を伴う等の特徴によって肉眼でも判読抽出が可能であると考えられる。また、インパクトクレーターが9月1日の噴火によるものかどうかは、噴火前の画像との比較を行うことにより確認できる。

本研究では噴石等の着弾によって形成されたと考えられる画像上の模様を噴石着弾痕と呼ぶ。噴石着弾痕の抽出事例として、火口から北西1.2km離れた斜面の噴火前後のIKONOS衛星画像の比較を示す。Fig. 3(a)は浅間山山頂付近のトゥルーカラー画像である。山体斜面に

*<http://www.spaceimaging.co.jp/>

は、褐色を呈する斑状模様が見られる。この斑状模様は 2002 年の IKONOS 衛星画像 (Fig. 3 (b)) では確認できないが、噴火後の IKONOS 衛星画像 (Fig. 3 (c)) では確認できる。斑状模様の典型的な場所を Fig. 3 (c) に赤丸で示した。Fig. 3 (c) の上部（青丸の範囲）には、暗色の筋状模様が認められる。筋が火口の逆方向に延びることと、この場所は植生が乏しく火災が発生したとは考え難いことから、この模様は噴石が着弾した際に生じた飛散

物質であると考えられる。これらの模様はいずれも噴石等に起因する着弾痕（噴石着弾痕）と判断できる。

Fig. 4 (a) は火口から北西側 1.5 km 離れた斜面のトゥルーカラー画像である。この斜面には噴石着弾痕が多数見られ、淡褐色の斑状模様を呈する。一方、Fig. 4 (a) の黄色円内に見られる濃い黒褐色の部分（約 25 m × 約 50 m）の位置は、早川 (2004) に示された植生の火災跡と一致しており、植生の変状を表していると考えられる。早

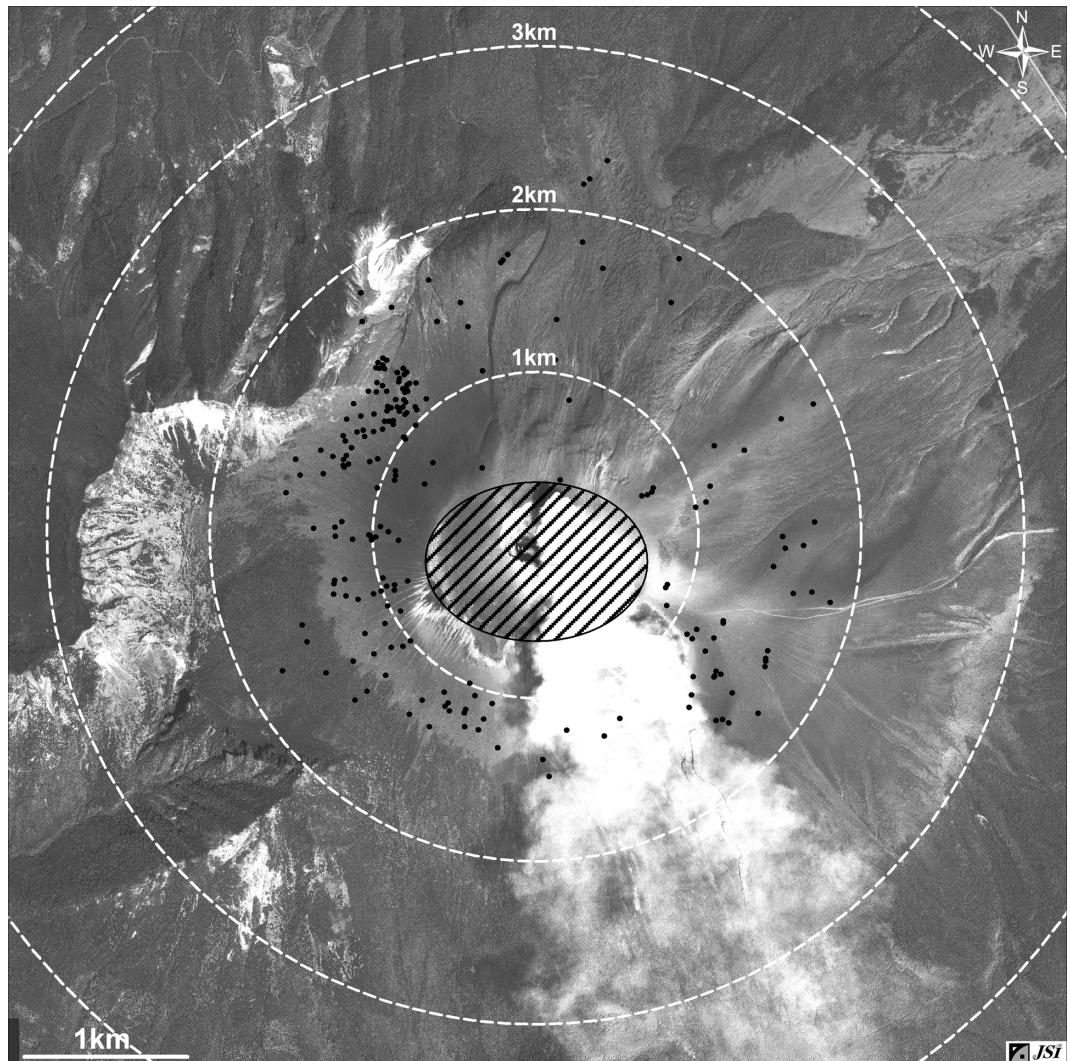


Fig. 6. A distribution map of the impact craters formed by the volcanic bombs ejected during the eruption of Asama volcano on September 1, 2004, based on the interpretation of IKONOS imagery. Hatched area was not analyzed. IKONOS imagery enabled us to identify the impact craters greater than three meters in diameter.

図 6 イコノス衛星画像で判読した 2004 年 9 月 1 日噴火の噴石着弾痕分布図。斜線部（前掛山火口内）は判読対象外。イコノス衛星画像を用いて直径 3 m 以上の噴石着弾痕が判読できた。

川(2004)によると、この地点ではガンコウラン-ミネズオウ群落が焼失し黒色の炭になっており、岩塊が散乱するとともに直径1mの火山弾がクレーターの中に残っていた。

植生が火災による影響を受けているか判断するため、フォールスカラー画像を作成した(Fig. 4 (b))。フォールスカラー画像は、近赤外線の反射に赤色をつけて表示しており、植生が繁茂する部分ほど赤く映るのが特徴である。Fig. 4 (b)の緑円内を見ると、Fig. 4 (a)では濃い黒褐色を呈した部分は周囲の植生がある場所と比べて黒い。これは、周囲より植生が乏しいことを示しており、火災が生じた箇所であると推定される。

以上のように、IKONOS衛星のトゥルーカラー画像により噴石着弾痕を判読し、トゥルーカラー画像とフォールスカラー画像の両方を用いることによって火災の跡を推定することが可能であることがわかった。

3-4 2004年9月1日噴火の噴石着弾痕分布図作成

3-4-1 噴石着弾痕分布図作成方法

2004年9月1日噴火による噴石着弾痕分布図をIKONOS衛星画像から作成した。噴石着弾痕分布図の作成は、IKONOS衛星画像をパソコンの画面上で1/2,500程度の縮尺で表示し、画像の肉眼判読により判別する方式をとった。判読に使用した画像は、画像処理ソフトを用いて、コントラスト等を補正した後、見えにくい部分は個別にパソコンの画面上でさらにコントラスト等を変化させ判読を行った。

噴石着弾痕であるか否かの判定基準としては、形状が円形・橢円形を呈し、周囲の地表と色調が異なることがあげられる。また、噴火前(2002年)と噴火後(2004年)のIKONOS衛星画像を比較し、地被変化の有無を確認した。トゥルーカラー画像のみでは噴石着弾痕か植生か判断しがたい場所については、フォールスカラー画像を用いて植生の活性度を判読することで、噴石着弾痕か植生かの判断ができた。噴石着弾痕は地表物質を飛散させているため、フォールスカラー画像を使うことで、周囲との土壤水分量などの違いがより明瞭になるためと思わ

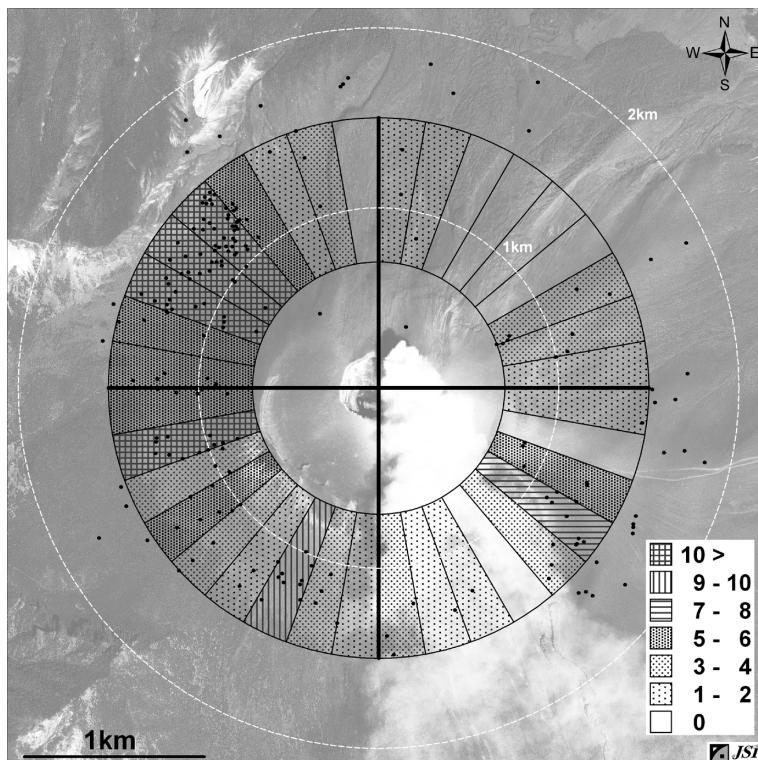


Fig. 7. Azimuthal density distribution of impact craters. This figure shows the number of impact craters in each direction within the radial region between 0.7 km and 1.5 km from the center of the crater.

図7 噴石着弾痕の方位別分布密度。半径0.7kmから半径1.5kmの範囲を対象に方位別に噴石着弾痕数を集計した図。

れる。また、南方にたなびく噴煙部分は、トゥルーカラー画像では判読が困難であるが、フォールスカラー画像では噴煙を透過しているため、山麓斜面が判読可能となった (Fig. 5)。

3-4-2 噴石着弾痕分布図

IKONOS衛星画像から作成した噴石着弾痕分布図を Fig. 6 に示す。前掛山の山頂火口内には過去の噴火による噴石が多数存在し、2004年9月1日噴火による噴石のみを抽出するのは困難であるため、判読対象外とした。

1/2,500程度の縮尺で判読可能な最小の噴石着弾痕の大きさは3ピクセル程度、すなわち直径3m程度であった。噴石着弾痕は植生限界より低い標高については判読することが難しく、木々が倒れ地表が見えている箇所しか判読することができなかった。

判読した噴石着弾痕は約200箇所であり、金山火口から2.3kmの地点まで認められた。直径3m以上の噴石着弾痕は火口から1km程度離れた地域に多数分布する。また、金山火口北西側の斜面に多数見られ、南西側、南東側でも確認できる。鬼押出溶岩が分布する北側では明瞭な噴石着弾痕はあまり見られない。また、2004年9月1日噴火の降灰の分布軸は北東であり（中田・他、2005），降灰が厚いのは部分的であると考えられる。降灰が火口から東側全体の斜面を広範囲に厚く被覆したとは考えにくく、東側の噴石着弾痕を見落とす可能性はかなり低い。

噴石着弾痕がどの方向に多く存在するのかわかりやすく表現するために、噴石着弾痕の方位別分布密度図を作成した (Fig. 7)。対象とする噴石着弾痕は、前掛山山頂

火口内を除く半径0.7kmから、植生限界より標高が高い半径1.5kmの範囲に分布するものとし、方位別（北を0度とし、10度毎）に噴石着弾痕数を集計した。Fig. 7を見ると3m以上の噴石着弾痕は、全体的に金山火口の東側より西側の方が多いことがわかる。特に北西方向(290~320度)、西南西方向(250~260度)に集中している。また、南東方向(120~130度)および南南西方向(200~210度)でも比較的多い。

4. 噴火前の火口形状と噴石着弾痕分布

金山火口の火口壁は北側が低く、火口の最深部は北東側に位置していた (Fig. 2)。IKONOS衛星画像を用いた判読によると噴石着弾痕は西側に多く分布している (Fig. 7)。噴出口の位置と火口縁の形状は、噴石の飛ぶ方向に影響を与えた可能性があると考えられる。そこで、噴火前の火口形状を解析し、噴石着弾痕の分布との関係を考察する。

4-1 火口形状の解析

ALSによるDEMを用いて、基準点から火口縁接点との見通し角度を計算した (Fig. 8)。2004年9月1日噴火の火口位置は明らかになっていないが、火口の北東部がすり鉢状を呈し最深標高を示すこと、最高輝度温度を記録した範囲（實渕・鵜川、2004）と一致することから、火口北東部に位置する火口最深部が噴火口であった可能性が高い。そこで、ALSで計測された金山火口最深部を基準点として見通し角を計算した。見通し角は、北を0度として10度毎（時計回り）に基準点を通る地形断面を作成して求めた。

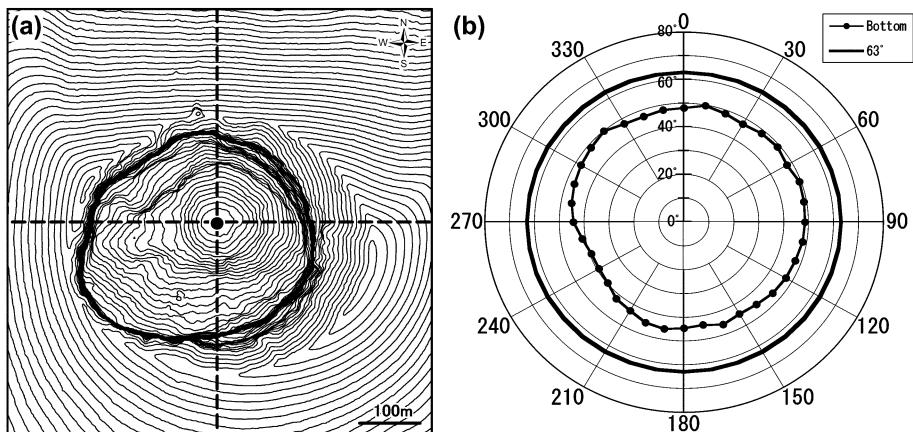


Fig. 8. Analysis of the shape of Kama Yama crater. (a) The study area and the position of the reference point.

(b) Angle between the reference point and the contact point of the crater edge.

図8 金山火口の火口形状の解析。 (a) 解析範囲と基準点の位置。 (b) 基準点と火口縁接点の見通し角度。

Fig. 8 (b) は方位別の見通し角度の計測結果である。参考のため、噴石の最大到達距離を与える角度 63 度（井口・他, 1983）を記した。火口最深部は火口の北東側に位置しているため、主に南西側の見通し角度が小さくなっている。計算された見通し角度より低い角度で放出された噴石は火口壁に阻まれるため、噴石が火口より等方的な分散をするならば、見通し角度が一番低い南西が最も放出されやすいであろう。

4-2 火口形状と噴石着弾痕分布の関係

Fig. 7 に示した噴石着弾痕分布図では、直径 3 m 以上の着弾痕は西側に偏っていた。火口形状と噴火口の位置が山麓への噴石分布に影響を与えた可能性があるが、見通し角度は全方位で 63 度以下である。よって、噴石の最大到達距離を与える角度 63 度で放出される噴石には火口壁は障害とならない。そのため、噴石着弾痕が西側に多数分布している原因は、西側以外に放出された噴石が低速であった、または西側以外に放出された噴石の放出角が低角または垂直に近かったなど、爆発時の噴石の飛散が非等方的であったためと推測される。

5. 衛星画像を用いた噴火状況把握の可能性

火山噴火の直後には危険が伴うため、火口周辺の調査は一般的には行なわれない。また、災害対策基本法第 63 条に基づく警戒区域が設定されることもあり、かなり広い範囲において火山近傍への立ち入りが規制されることもある。このような場合、噴石の分布など火口周辺での現象を面的に広く把握することは困難である。そのため、空中写真などの画像を用いた噴出物の調査がこれまで行われてきた。しかしながら、噴火活動が活発な場合、火口上空において航空機の飛行規制が行われることもあり、必要な情報が必要な時点で必ずしも得られるわけではない。また、空中写真判読には、多数の写真の現像焼き付けや判読結果の地形図への移写に時間を要し、写真図としての利用にもモザイク作成、オルソフォト化という手間を要するなど、作業の迅速性を制約する条件も少なくない。

しかし近年、高分解能リモートセンシング衛星のデータが入手しやすくなり、解像度の高い画像で火山噴火時の状況を把握できるようになった。地上分解能 1 m の衛星画像は、空中写真と比較して解像度が劣るが、今回行った IKONOS 衛星画像の判読では、直径 3 m 以上の噴石着弾痕を肉眼的に把握することができ、火口の全周における噴石分布の傾向を、迅速に把握することができた。また、近赤外領域の波長帯の画像を用いて、噴煙に覆われた領域において可視光波長帯では識別しがたい噴石着弾痕も判別できるケースがあることがわかった。し

たがって高分解能衛星画像は、噴火直後において防災対策を講じるための基礎資料を得る手段として、今後も活用が期待される。

6. まとめ

航空機レーザスキャナや高分解能衛星画像データを用いて、浅間山 2004 年 9 月 1 日噴火について検討を行った。

- ① 航空機レーザスキャナによるデータを用いて、噴火前の詳細な火口地形図を作製した。それによれば噴火前の火口最深部は火口中央ではなく火口北東側に位置していた。火口縁は北側が低く南東側が高い地形を示す。
- ② IKONOS 衛星画像を用いて噴石等による着弾痕（噴石着弾痕）の判読を行い、直径 3 m 以上の噴石着弾痕を判読することができることを示した。高分解能衛星画像の近赤外領域の波長帯の画像を用いると、火山弾による火災の跡や、噴煙に覆われた領域において可視光波長帯では識別しがたい噴石着弾痕も判別できるケースがあることが示された。
- ③ 噴石着弾痕の方位別密度を求めたところ、北西方に向が特に多いことがわかった。
- ④ 噴石着弾痕の分布と火口形状を比較検討した。結果は噴石着弾痕分布の異方性は火口地形の影響によるものではなく、噴出が非等方的であったことを示唆する。

謝 辞

国際航業株式会社空間情報統括部デジタルセンシングセンターのみなさんにはデータ取得およびデータ処理に多大な支援を頂きました。国際航業株式会社の森 大氏には、原稿の誤りや不備を指摘して頂きました。編集担当の植木貞人氏および査読者の浦井 稔氏からは多くの有益な指摘と助言をいただき、本報告は大きく改善されました。以上の方々に深く感謝いたします。

引 用 文 献

- 荒牧重雄 (1993) 浅間火山地質図 (1: 50,000), 火山地質図 no. 6, 地質調査所。
 千葉達朗・鈴木雄介・田中倫久 (2004) 空中写真からみた浅間火山 2004 年噴火の特徴. 日本地質学会第 111 年学術大会講演要旨 (増補版), S3.
 早川由紀夫 (2004) 2004 年 9 月 1 日浅間山噴火によって黒斑山北麓で発生した矮低木群落火災. 日本火山学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, 191.
 井口正人・石原和弘・加茂幸介 (1983) 火山弾の飛跡の

- 解析—放出速度と爆発圧力について—. 京都大学防災研究所年報, **26B-1**, 6–21.
- 實渕哲也・鶴川元雄 (2004) 火山専用空中赤外映像装置による浅間山の表面温度観測結果 (2003年10月16日観測, 幾何補正画像判読結果). 火山噴火予知連絡会会報, **86**, 31–32.
- 気象庁 (2004a) 特集1. 浅間山2004年噴火の概要. 気象庁 地震・火山月報 (平成16年9月).
- 気象庁 (2004b) 気象庁月報 平成16年9月. 気象業務支援センター, CD-ROM.
- 国土地理院 (1983) 火山基本図 浅間山II.
- 向山 栄 (2004) 平成16年新潟県中越地震の被災状況を IKONOS衛星画像で見る. 写真測量とリモートセンシング, **43**, 6, 2–3.
- 中田節也・吉本充宏・小山悦郎・辻 浩・卜部 卓 (2005) 浅間山2004年噴火と過去の噴火との比較による活動評価. 火山, **50**, 303–313.
- 浦井 稔・福井敬一・山口 靖・David C. Pieri (1999) ASTERによる火山観測の可能性とグローバル火山観測計画. 火山, **44**, 131–141.
- 浦井 稔・川辺禎久・伊藤順一・高田 亮・加藤雅胤 (2001) ASTERによる有珠火山2000年噴火に伴う降灰域の観測. 地質調査研究報告, **52**, 189–197.
- 渡辺信之・大木章一・矢来博司・村上 亮 (2004) 浅間山火口の航空機SAR画像. 写真測量とリモートセンシング, **43**, 5, 4–5.

(編集担当 植木貞人)