

衛星リモートセンシングによる火山灰堆積厚把握手法について

日本工営（株）	正会員	中川和男
独立行政法人土木研究所	正会員	山越隆雄
高知大学農学部	正会員	笹原克夫
国土交通省北海道局		竹内正信
北海道開発局室蘭開発建設部		長原 融

はじめに

噴火後の火山では、斜面上に堆積した火山灰のため雨水の浸透が妨げられ、その後の降雨時に土石流が容易に発生するようになる。これまでの報告事例によると、流域の一定の面積が数十 cm 以上の火山灰で覆われた溪流で土石流が発生するようになると経験的に言われており¹⁾、噴火後の火山において周辺の火山灰堆積厚分布を調べることは、土石流の発生する危険性を評価する上で重要なことであるといえる。これまでは、噴火後に現地調査を行い、数多く火山灰堆積厚を調査し、まとめてきた。しかし、この作業は、労力、時間の要する作業である上、噴火中の火山に接近するため危険を伴う。そのため、噴火中の火山における降灰堆積状況を把握するには、安全に広域を調査可能なリモートセンシング技術を利用することが望ましい。

火山灰の堆積範囲の把握に対してリモートセンシング画像を適用した事例は数多くあり、その適用性が高いことはすでに明らかである。しかし、火山灰の堆積深の把握を目指した研究は数少ない²⁾。これらの研究では、降灰の程度に応じて植生の分光反射特性が変化することを利用し、植生の有無および活性度と関係の深い可視光および近赤外線帯域の反射を観測したデータを用いることによって火山灰堆積厚の差の把握に成功している。ここでは、これらの研究の成果をうけ、同様の手法を2000年7月に噴火した三宅島に適用し、衛星画像から得られる情報が防災情報に資するか否かを検討した。

検討方法

解析には Terra MODIS の画像を利用した。この画像は、植生活性度の評価に利用可能なバンドの空間分解能が 250 m であり、毎日観測が可能な衛星である。植生活性度を評価可能なセンサーは、観測対象域が雲や噴煙で覆われていると全く情報が得られなくなってしまう。しかし、日本の

ように雲のかけやすい気候条件下においては、被雲されていない画像が得られる可能性は高くない。したがって、数少ない観測機会を逃さないためにも、高頻度で地上を観測できる衛星を利用しなければならない。一方、IKONOS をはじめ近年高空間分解能が進んでいるが、火山灰堆積状況の把握は、現地調査によって 1km² につき数点という程度の割合で堆積厚を計測し、そのデータに基づいて等厚線図が得られているという状況にあることを考えれば、使用する衛星画像の空間的な分解能は数百 m 程度で充分であると考えられる。そこで、本研究では、空間分解能が 250 m であり、毎日観測可能な Terra/MODIS センサー画像を用いることとした。

使用するデータは、三宅島で火山灰を伴う噴火活動が始まった2000年7月に得られた画像と噴火前の画像とした。三宅島上空に雲が少ないこと、かつ三宅島周囲の解像度が低すぎないことに留意し、噴火前の画像として、2000年5月9日のもの、噴火後の画像として、2000年7月19日のものを選択した。

検討結果

衛星画像によって噴火活動による植生の被害度を評価する指標として(1)式のような関係式を定義し、これを NDVI の減少率 ($NDVI$) と呼ぶことにする。ここでは NDVI の減少率と降灰量の関係を調べた。

$$\Delta NDVI = \frac{NDVI_{before} - NDVI_{after}}{NDVI_{before}} \times 100(\%) \quad \dots (1)$$

ここに、 $NDVI_{before}$ は噴火前(2000年5月9日)の画像データから算出した NDVI であり、 $NDVI_{after}$ は噴火後(7月19日)の画像データから算出した NDVI である。

なお、NDVI は式(2)で表される正規化植生指標のことで

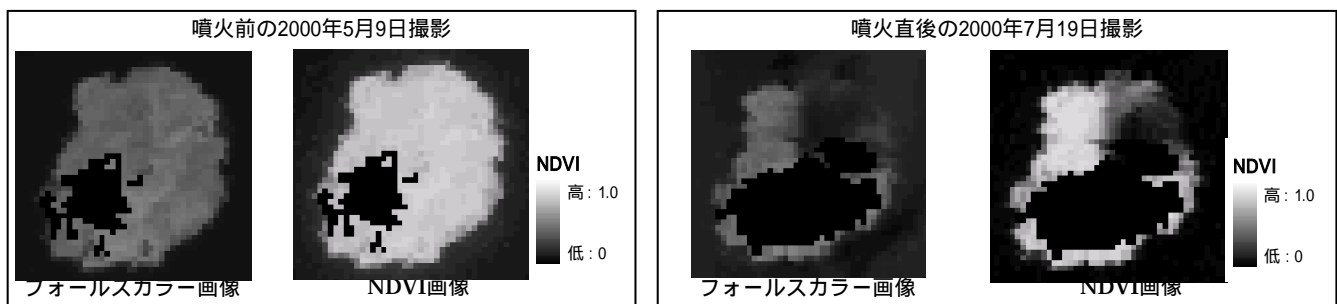


図1 噴火前後の Terra/MODIS データ(250m 分解能)

キーワード：火山灰，衛星リモートセンシング，MODIS，三宅島

連絡先：〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4 TEL03-3238-8215 FAX03-3262-4451

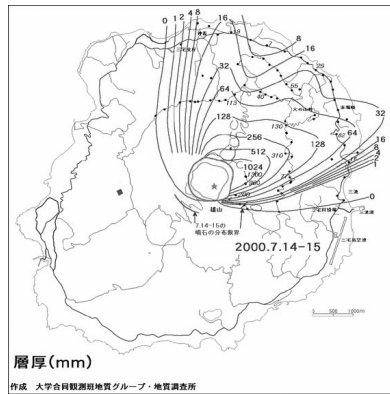


図2 2000年7月14-15日の噴火による噴出物の分布
(大学合同観測班地質グループ・地質調査所作成,
2000)

ある。

$$NDVI = \frac{IR - RED}{IR + RED} \quad \cdot (2)$$

ここに、IR：近赤外波長の観測強度、RED：赤色波長の観測強度である。

NDVI はもともと植生の活性度を表す指標であり、植生以外の領域で NDVI の変化を調べることにあまり意味はない。そこで、植生の領域のみを調査対象とした。また、植生の領域であっても、それぞれの画像において雲や噴煙が存在する場合はマスク処理により調査対象から除外している。雲や噴煙の抽出にはフォールスカラー表示、およびトゥルーカラー表示の画像を使用した。図1に雲や噴煙の領域にマスク処理をした NDVI 画像を示す。

大学合同観測班地質グループ・地質調査所による現地調査によって得られた火山灰堆積厚のアイソパックを図2に示す³⁾。このアイソパックは、2000年7月14~15日にかけて噴火・堆積した火山灰の等層厚線図である。この図を参照し、MODIS データと同じサイズの降灰量データを作成した。このとき、2つの等層厚線に囲まれる範囲をひとつの領域とみなし、その中間値を降灰量として採用した(例えば32mmと64mmの等層線に囲まれる領域の降灰量は、すべて中間値である48mmとした)。図3は NDVI の変化率と降灰量の関係を示したものである。

図3によれば、降灰量が増加するにつれて NDVI の減少率が増加するが、降灰量が10cm程度以上では、それ以上火山灰の堆積厚が大きくても NDVI の減少率は増加しなくなるように見える。火山灰が10cm程度堆積したことによって、植生指標がこれ以上減少しないレベルまで減少したことになる。これは、植生が完全に火山灰によって覆われたか、死滅したかを意味すると考えられる。

ここで検討した事例の場合、降灰量が10cm程度までは NDVI の減少率と降灰量との間には比較的良好な相関関係がある。仮に指数関数で両者の間の関係式を求めると、比較的良好な相関係数で図3中に示すような式によって近似される。究極的には、噴火後に衛星画像を取得して NDVI 減少率を求め、このような回帰式を作成することによって、NDVI の減少率から降灰堆積厚分布を求めたい。しかし、

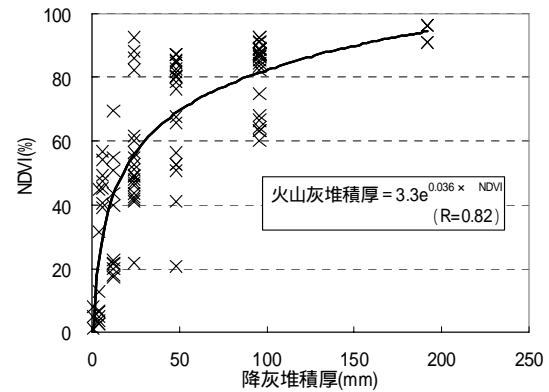


図3 降灰量と NDVI の減少率の関係

図3を見ても分かる通り、NDVI 減少率が60%の場合に対応する降灰堆積厚は24~96mmとかなり広い幅があることから、火山灰堆積厚を推定するにはかなり大幅な誤差を覚悟しなければならない。また、衛星画像によって火山灰堆積厚分布を求めようとする段階で図2に示すような火山灰堆積厚分布図は無い。実際には、人間が近づける範囲内において火山灰堆積厚が計測されるものと考えられるため、図3に示される点の数はずっと少なくなり、推定精度がさらに著しく減少する恐れがある。

一方、図2にも示されているように、衛星画像に写らない範囲や、もともと植生が生えていない範囲では、上記の方法で火山灰堆積厚を得ることはできない。そのような範囲を補完する手法の開発が必要である。

おわりに

本研究で用いた Terra/MODIS センサーによって三宅島が本格的な噴火活動を開始した7月8日以降1ヶ月の間に比較的被雲率の小さい画像が5枚取得できた。これは、1週間に1回以上の頻度で三宅島の観察が可能であったことを示す。また、NDVI の減少率を評価することにより、三宅島の2000年7月14-15日噴火の事例では、10cm程度までの火山灰堆積厚と NDVI の減少率の間に比較的良好な相関があることを見出した。しかし、NDVI 減少率から火山灰堆積厚を求める際にはかなり大きな誤差を覚悟しなければならない。また、今回は堆積してから4日後の画像を用いたが、火山灰が噴出、堆積してからこれ以上時間が経過すると、降雨による火山灰の洗脱や、再萌芽などが生じ、NDVI の減少率と火山灰堆積状況の間の相関関係が劣化することが予想される。それなりの精度を求めるのであれば、噴火後なるべく早い時点で画像を得る必要があると考えられる。

参考資料

- 1) 例えば、富士山ハザードマップ検討委員会(2004)：富士山ハザードマップ検討委員会報告書，240p.
- 2) 例えば、深山ほか(1979)：航空機 MSSデータによる有珠山噴火農地被害のデジタリ解析，写真測量とリモートセンシング，Vol.18, No.1, p12-22.
- 3) 大学総合観測班・地質調査所(2000)：三宅島2000年噴火の噴出物の堆積状況，<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/nakada/ash.html>