

火山における土砂災害防止を目的としたリモートセンシングによる降灰状況把握手法について

独立行政法人土木研究所 ○山越隆雄、小山内信智、西本晴男
北海道開発局室蘭開発建設部 竹内正信、池上善晃
(財) リモートセンシング技術センター 富山信弘、米澤千夏

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、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く、そのようなものとして、深山ほか(1979)、山本ほか(1993)、そして菅野ほか(2002)による研究がある^{2,3,4)}。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り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化が進んでいるが、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層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 6 月 6 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

噴火活動により減少した NDVI の割合を示す指標として、(1)式のような関係式を定義し、これを NDVI の変化率 ($\Delta NDVI$) と呼ぶことにする。ここでは NDVI の変化率と降灰量の関係を調べた。

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

ここに、 $NDVI_{before}$ は噴火前 (2000 年 6 月 6 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。

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。

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。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

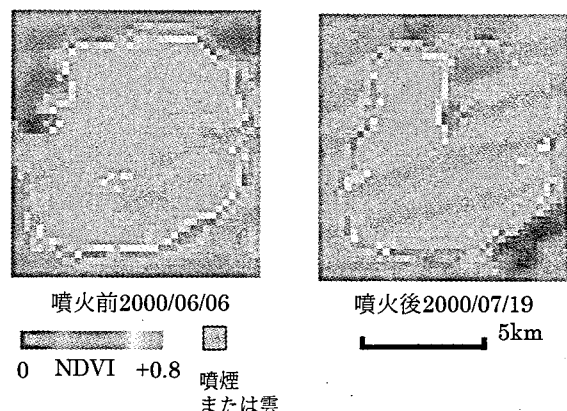


図1 雲および噴煙の領域にマスク処理を施した噴火前後の三宅島の NDVI 分布図

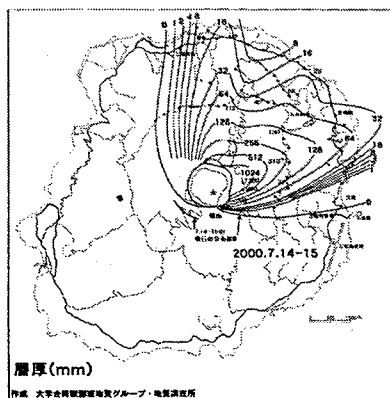


図2 2000年7月14-15日の噴火による噴出物の分布(大学合同観測班地質グループ・地質調査所作成, 2000)

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横軸について底を 2 とする片対数で表示したものである。なお、降灰量 0mm については対数で表現できないため、このグラフに降灰量 0mm の情報は反映していない。

図3によれば、降灰量が増加するにつれて NDVI の減少率が直線的に増加する。降灰量が 64~128mm 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。火山灰が 64~128mm 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。

したがって、この事例の場合、降灰量が 64~128mm 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り、衛星画像情報から降灰量の分布状況を把握できる可能性がある。しかし、64~128mm よりも厚い範囲での降灰深の変化は、植生指標の減少という観点から把握することは不可能である。平川ほか(2001)によれば、流域内に 128mm 火山灰が堆積した溪流においてその後の降雨時に泥流・土石流が発生したことが報告されている⁵⁾。結果的にこの事例においては、土石流の発生・非発生を分ける厚さまで火山灰堆積厚の変化を把握可能であったことになる。図4に NDVI の減少率分布図と三宅島島内の溪流流

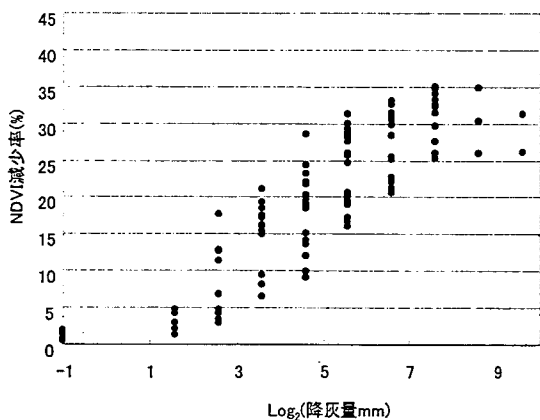


図3 降灰量と NDVI の減少率の関係

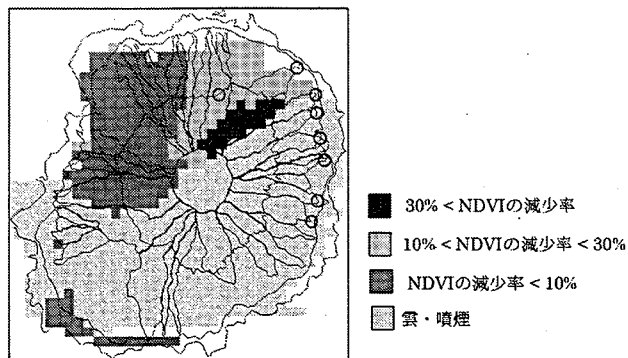


図4 6/6-7/19 の NDVI 減少率と溪流流域図の重ね合わせ結果 (○: 7月26~27日に土石流の発生した溪流)

域区分図を重ねた図を示す。この図中には、衛星画像が得られた 19 日の 1 週間後に降った雨によって発生した泥流・土石流の発生溪流を併せて示した。残念ながら泥流が発生した溪流はほとんどが雲によって覆われてしまっているが、島北東部の土石流発生溪流の分布を見ると、NDVI が 30% 以上減少した(即ち、植生が完全に火山灰によって覆われた)範囲と一致しているように見える。NDVI の減少率と土石流発生に直接因果関係を求めることは困難であるが、噴火直後で情報が希薄な状態では、溪流毎の相対的な危険度序列を決定するためのデータとして有用であるものと考えられる。

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、相対的に各溪流の泥流・土石流発生の危険性を表すデータの一つとして有用であることが示唆された。ただし、本手法は植生の活性度を利用するため、噴火前の時点で植生に覆われていない火山には本質的に適用できない。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、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、下川ほか(1989): 大正 3 年桜島大噴火が火山周辺域の侵食に及ぼした影響, 平成元年砂防研究報告会概要集, p.47-50.
- 2) 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ータ別解析, 写真測量とリモートセンシング, Vol.18, No.1, p.12-22.
- 3) 山本ほか(1993): 分光反射特性による火山灰の葉面堆積量の推定, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.13, No.3, p.44-52.
- 4) 菅野ほか(2002): 衛星データによる 2000 年有珠山噴火の降灰と森林被害の把握, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.22, No.1, p.89-95.
- 5) 平川ほか(2002): 三宅島の噴火後の二次泥流発生条件, 平成 14 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.16-17