

衛星データを用いた火山噴火活動と植物活性に関する調査解析

後藤 健介* ・ 後藤恵之輔**
岸上 正寛*** ・ 後藤 松生*Analysis of Vegetation Activity before and after the Volcanic Eruption
by Using Satellite Data

by

Kensuke GOTO*, Keinosuke GOTOH**, Masahiro KISIGAMI***

and Matsuo GOTO*

Japan has eighty-three active volcanoes and is among the most severely affected countries by volcano eruptions in the world. Also in the year 2000, Usu volcano and Miyake Island erupted on March 31 and July 8, respectively and these eruptions influenced largely to the lives of residents and the industrial section. Developing forecasting technologies of eruptions, not fully established by present, will provide us large social benefits. In this study, the possibility of predicting volcanic eruption was investigated using change in vegetation activity before and after the eruption in Usu volcano area by using satellite data. The result shows that vegetation activity near volcano dropped before eruption.

1. はじめに

活火山とは、現に活動している火山の意であり、その数は世界各地に約8000ヶ所、とりわけ環太平洋地域に500ヶ所以上が集中している。日本においては83の活火山が分布しており、活火山地域の面積は全国土の約10%にも上っている¹⁾。このことから、日本は世界でも有数の火山国であることが分かる。2000年においては、3月31日に有珠山が、7月8日には三宅島が噴火している。

火山の存在は、豊富な地下資源や観光などによって周辺地域の住民に大きな活力をもたらすが、ひとたび火山が噴火すると、人的被害の発生や地域社会への多大な損害を引き起こすという二面性を有している。有珠山地域では、噴火活動により周辺の観光施設が立ち入り禁止区域に指定され、農林水産業においては、降灰による収穫量の減少などの被害を受けている。また三宅島においては、現在も全島民の避難生活が続いている。このように、火山の噴火は住民の生活に大きな

影響を与えるばかりでなく、1990年からの雲仙普賢岳噴火災害のように、多くの犠牲者を出す最悪の結果を招いてしまうこともある。このような被害の発生を最小限にとどめるため、そして火山地域に生活する上での火山との共存の必要性から、これまであらゆる角度から火山の噴火予知に関する研究が進められてきた。しかしながら、現時点において、噴火予知技術は十分に確立されていないといえる。

そこで、広域性を有し、かつ反復観測が可能な衛星リモートセンシングを用いることにより、活火山地域の噴火前後の植生変化を解析することで、火山噴火の前兆現象による植生変化からの噴火予知の可能性を検討した。今回は研究対象として、2000年有珠山噴火を取り上げ、同地域の火山噴火前後の植生変化を解析した。

2. 2000年有珠山噴火の概況と災害経過

図-1に研究対象地位置図を示す。有珠山は、北海道

平成13年4月20日受理

* 大学院海洋生産科学研究科 (Graduate School of Marine and Engineering)

**大学院生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

***西都市役所 (Saito City Office)

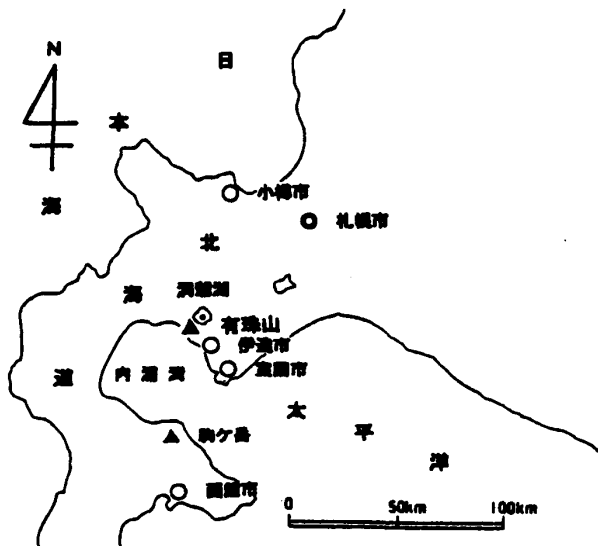


図-1 研究対象地位置図

の南端に位置する内浦湾と、カルデラである洞爺湖に挟まれ、伊達市、虻田町、杜智町にまたがる活火山である。この活火山は、直径約6kmの外輪山と溶岩円頂丘および潜在円頂丘とからなっており、外輪山の頂部には径約2kmの円形の火口がある。この中に大有珠と小有珠の二つの溶岩円頂丘がある。有珠山の過去の火山活動は、1911年から1977年までの67年間に少なくとも11回を記録している。11回目の噴火であった1977年の噴火では、有珠山頂カルデラ内から軽石が高度1万2000mまで噴き上がる爆発を起こし、以後、1週間で15~20回の噴火が断続的に起こっている²⁾。

1977年以来、23年ぶりの噴火が起こったのは、2000年3月31日午後1時10分頃であった。噴火の前兆現象として、3月27日から火山性地震が始まり、3月29日には、1時間あたり100回の火山性地震を記録した。3月30日には、有珠山の周辺で100m以上にわたる断層や地割れ群が確認された。今回の有珠山噴火では、初めて噴火予知に成功したといわれているが、この理由としては、これまでの有珠山の噴火前の現象が一様であったこと、これまで丹念に有珠山の噴火の研究が押し進められていたこと、住民の有珠山噴火に対する認識が進んでいたことなどが挙げられている³⁾。

今回の2000年噴火は、有珠山頂北西側の山麓一帯で起こっており、3月31日の噴火後、4月1日に2度目の噴火が起こり、新たに噴火口が出現した。その後も活発な活動が続いたが、5月22日にマグマ活動が低下しており、有珠山噴火が終息の方向に向かっていることが火山噴火予知連絡会から発表された。7月10日には、マグマの供給がほぼ停止しており、火山活動は徐々に低下していくといった見解が発表され、現在に至っている⁴⁾。

3. 調査および解析方法

3.1 植物活性度による火山噴火の予知法

火山噴火の前兆現象には、火山性地震の群発、火山周辺での地殻変動、火山の噴気、地熱、温泉などの温度や噴出・湧水量の変化などがある。今回の噴火では、火山性地震の増加、地下水の自噴などの前兆現象が報告されている⁵⁾。これらの前兆現象は、地中の地下水位の変動や地中における亀裂の発生などを引き起こし、さらに地中におけるこれらの微妙な環境の変化は、樹木などの植物の活性状態に影響を与えている⁶⁾。したがって、火山周辺地域の植生には、その火山の噴火の前兆現象による地中の微妙な変化が早期に表れているのではないかと考えられる。そこで、火山周辺における植生の活性状態の推移から、火山噴火の予知を行うおうとするものである。

3.2 衛星データによる解析方法

リモートセンシングでは、対象物から反射あるいは放射される電磁波のエネルギーを測定するが、その対象物によって反射あるいは放射の特性は異なってくる。これを分光反射特性という⁷⁾。植物の分光反射特性は、その植物の活性状態によって異なる。植物の活性状態が良い場合、近赤外域においては高い反射を示すが、活性状態が下がっていくと、反射も低いものとなっていく。このような植物の分光反射特性を用いることによって、植物活性度を調べることができる。また、本研究では、有珠山地域の噴火前から噴火後にかけての植物活性の変化を調べるために、噴火前のデータとして (a) 1996年10月11日、(b) 1997年9月4日、(c) 1998年9月29日、(d) 1999年10月9日、(e) 1999年12月15日、(f) 2000年2月9日、(g) 2月15日、のデータを、また噴火後のデータとして、(h) 2000年4月3日、(i) 4月10日、(j) 5月19日、(k) 6月16日、(l) 9月4日のデータを、それぞれ解析した。

今回の解析には、地球観測衛星LANDSAT-5号/TMセンサー、およびSPOT-1,2号/HRVセンサーの衛星データを用いた。TMセンサーは、可視光域から赤外域の波長域にBAND 1からBAND 7までの波長帯を持つ。空間解像度は30mであるが、熱赤外の波長帯を持つBAND 6では120mとなっている。HRVセンサーは、マルチスペクトルとパンクロマチックの2つのモードを持っているが、今回の解析では、マルチスペクトルモードのデータを使用した。マルチスペクトルモードでは、可視光域から近赤外域の波長域にBAND 1からBAND 3までの波長帯を持つ。空間解像度は、各BANDとも20mとなっている。

植生指標の算出に必要となってくる赤色光域あるいは近赤外域の波長帯のBANDは、TMセンサーではBAND 3およびBAND 4にあたり、HRVセンサーにおいてはBAND 2とBAND 3に相当する。

解析手順としては、まず衛星データから対象地の切り出しを行う。切り出した衛星データに解析の前処理として、画像の幾何的な歪みを補正する幾何補正、空気中の大気の影響を除去する大気補正の各処理を行う。そして、植物活性度を算定式から算出するのであるが、今回の解析には、正規化植生指標NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を用いた、NDVIの算定式は以下ようになる。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ここで、IR：近赤外域のBANDのCCT値 (LANDSAT / TM：BAND4) (SPOT / HRV：BAND3)、R：赤色光域のBANDのCCT値 (LANDSAT / TM：BAND3) (SPOT / HRV：BAND2) である。なお、本研究では上式で得られる値を127倍した後、127を加えた値を用いて結果を表示する。

こうして得られた植物活性度の分布より、噴火前から噴火活動期にかけての有珠山地域の植生変化を明らかにする。

4. 解析結果と考察

4.1 衛星データの解析結果

1) 有珠山噴火前

画像-1 (a) ~ (1) は、有珠山の火山噴火約4年前から現在までの、有珠山地域における植生指標NDVIの解析結果である。なお、水域にはマスク処理を行い、解析範囲から除外している。これらの画像のうち、画像-1 (a) ~ (g) は噴火約4年前から噴火直前のものである。

画像-1 (a) に示す、1996年10月11日 (噴火の約4年前) からは、日射の関係から南側斜面のNDVIが高く、また有珠山頂ではNDVIが低いことから、植生は少ないことが伺える。

画像-1 (b) の1997年9月4日の場合は、1996年 (画像-1 (a)) と比べると、山岳地域にあたるNDVIが全体的に高くなっている。これはデータ観測時期が、1996年に比べ約1ヶ月早いものであることによる季節的な影響と考えられる。

1998年9月28日の有珠山地域を示す画像-1 (c) からは、1997年 (画像-1 (b)) と比較して、今回の噴火地域である有珠山頂北西側の山麓一帯のNDVIが低下していることが分かる。これは、有珠山山腹などのNDVIの変化状態から考えると、季節的な影響とは考

えにくく、この地域で噴火の前兆による環境の変化が生じたものと考えられる。

画像-1 (d) の1999年10月9日においては、有珠山東部から北西部にかけてNDVIが極端に低い地域が広がっていることが分かる。これは雲の影響によるもので、雲が電磁波の反射や放射を遮っているためである。雲による影響を受けていない地域を見ると、1998年のNDVI画像 (画像-1 (c)) においてNDVIの低下が確認された噴火地域について、この画像でも周辺の有珠山山腹よりもNDVIが低くなっていることが分かる。

画像-1 (e)、すなわち1999年12月15日のNDVI画像では、分布している色の種類が少なくなっており、NDVIの分布範囲が狭くなっていることが分かる。ここまでのNDVI画像では、有珠山頂や都市域では、黒色や青色といった活性の低い色を表していたのに対し、1999年12月15日のNDVI画像では活性が若干高くなっている。また、逆に有珠山山腹ではこれまで画像に比べ、活性が低下していることが分かる。しかし、NDVIの分布の仕方は、これまでと同様に、有珠山山腹より有珠山頂及び都市域の方が低くなっている。このようなNDVIの分布になった理由としては、積雪による影響が考えられる。

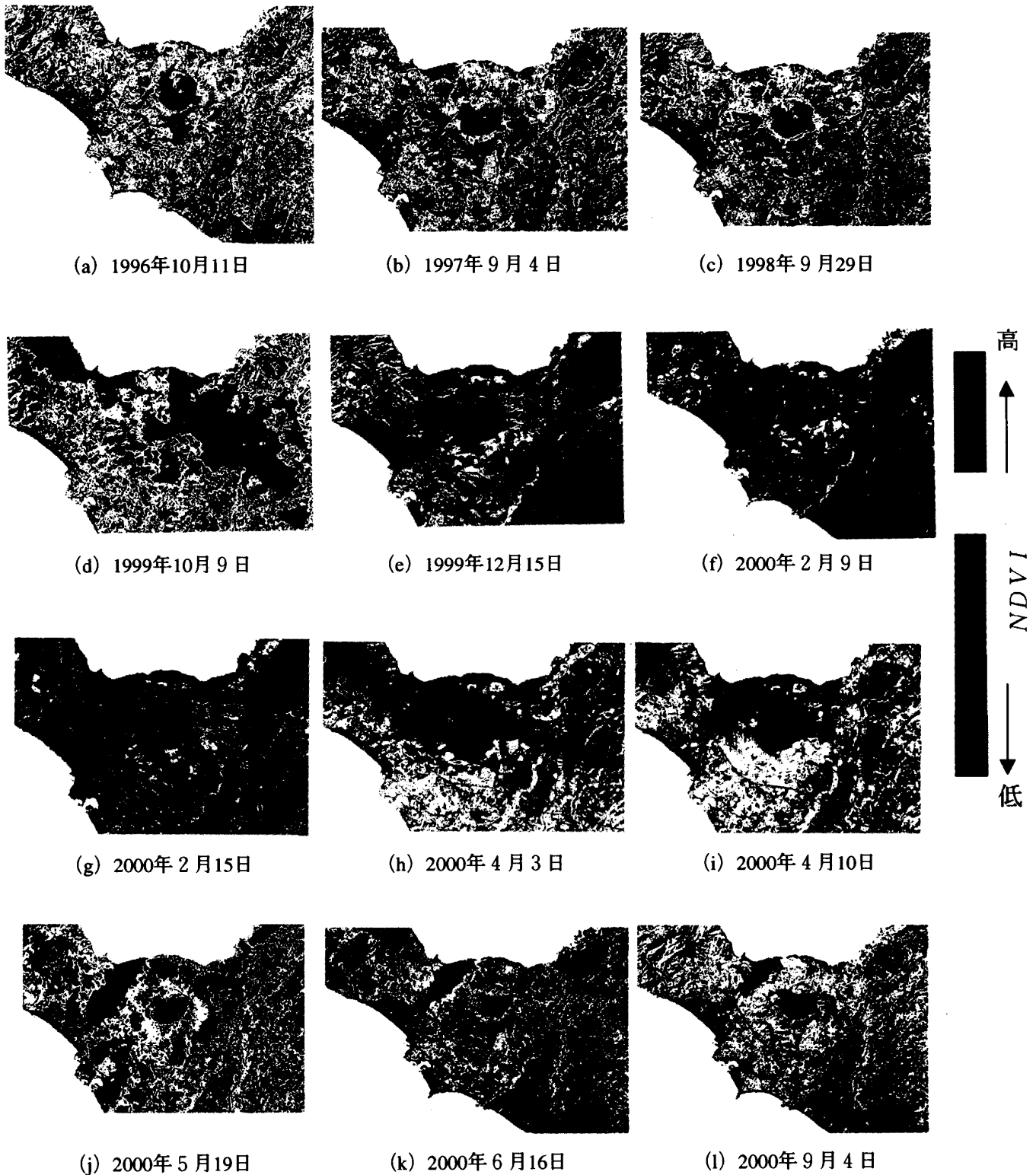
2000年2月9日のNDVI画像 (画像-1 (f)) においても、積雪と考えられる影響によって全体的にNDVIが低く、分布も狭くなっている。2000年の噴火地域についても、1999年 (画像-1 (e)) と比較してさらにNDVIが低下していることが分かるが、これも積雪の影響によるものであって、噴火の前兆現象によるものではないと推察される。

画像-1 (g) に示す2000年2月15日のNDVI画像は、2000年2月9日 ((f)) と同じようにNDVIが低くっており、積雪による影響が大きい。

2) 有珠山噴火後

画像-1 (h) ~ (1) は、火山噴火直後から火山活動が低下している現在までの植生指標NDVIの解析結果である。

画像-1 (h) は、火山噴火開始から4日目の2000年4月3日の有珠山地域のNDVI画像である。この画像を見ると、NDVIの分布範囲が1999年12月15日、2000年2月9日、2000年2月15日に比べて広がっていることが分かる (画像-1 (e) ~ (g))。噴火地域では、噴火による影響でNDVIが低下しているのが分かり、有珠山でも降灰などの火山活動の影響によってNDVIが低下していることが分かる。噴火地域以外の地域では、NDVIが高くなっており、積雪による影響も小さくなっていると考えられる。



画像-1 有珠山地域のNDVI画像

有珠山噴火から11日目の2000年4月10日の状態である画像-1 (i) では、有珠山南側斜面のNDVIが上昇している。降灰や火山活動による影響を受けている有珠山頂から噴火地域にかけては、2000年4月3日(画像-1 (h) 参照)と同様にNDVIは低い値を示しているが、噴火地域の火口部分と思われる箇所では、噴煙の影響により、さらに低くなっている。

噴火直後に比べ、火山活動が低下している2000年月5月19日の画像-1 (j) では、NDVIは全体的に高くなっていることが分かる。噴火地域から南部にかけては、噴煙の影響によってNDVIが低くなっている。噴火地域で噴煙の影響を受けていない所を見ると、NDVIはさらに低下していることが同える。

マグマ活動の低下が発表されてから約1ヶ月後であ

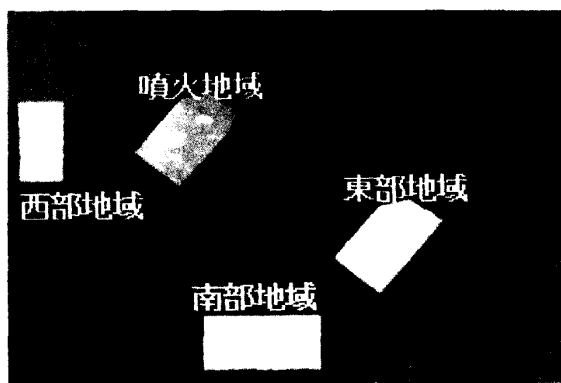


図-2 解析地域の範囲

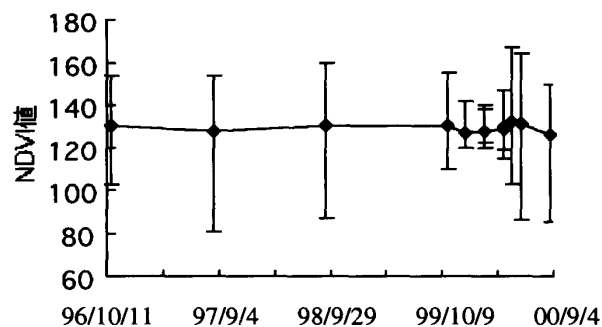


図-3 有珠山地域全体のNDVIの推移

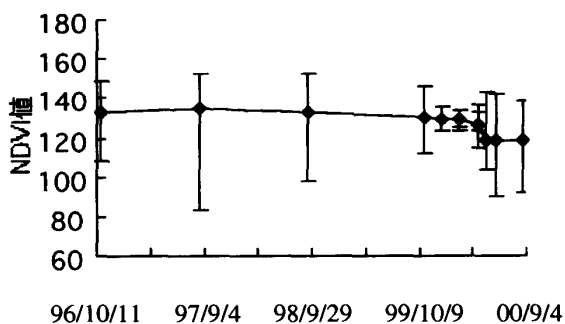


図-4 噴火地域におけるNDVIの推移

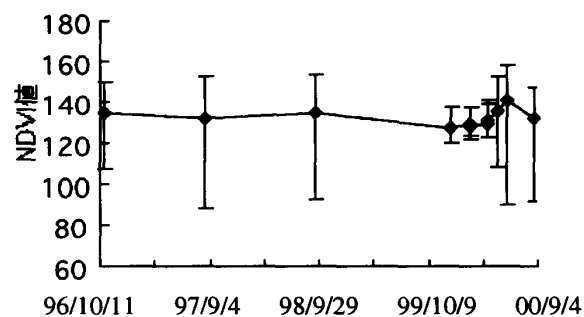


図-5 東部地域におけるNDVIの推移

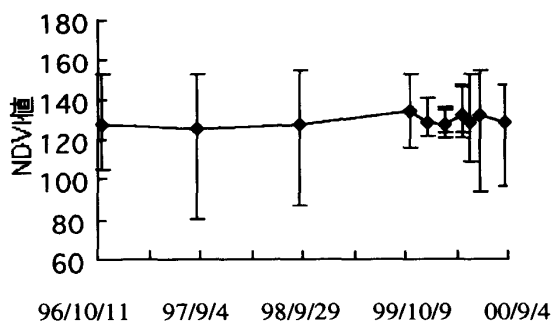


図-6 南部地域におけるNDVIの推移

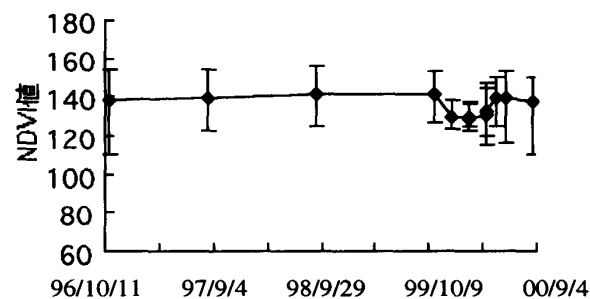


図-7 西部地域におけるNDVIの推移

る2000年6月16日の画像-1 (k) では、有珠山山腹でのNDVIが2000年5月19日 (画像-1 (j)) と比較して、さらに高くなっている。しかし、噴火地域である有珠山頂の北西部では、依然、NDVIは低いままである。この画像からは、噴火地域は噴煙の影響を受けておらず、噴火活動により植生が被害を受けていることが分かる。

マグマの供給停止が発表されてから約2ヶ月後の2000年9月4日の画像-1 (l) では、有珠山のNDVIが全体的に低下していることが分かるが、これは2000年6月16日からの季節的な変化であると考えられる。噴火地域においては、2000年6月16日の画像と比べると、NDVIが上昇しており (画像-1 (k))、この地域の植生が回復傾向にあることが分かる。

4.2 有珠山地域におけるNDVIの推移

解析したNDVI画像から、NDVIの推移をより具体的に検証するために、有珠山地域全体と特定地域におけるNDVIの最大値、平均値、最小値の推移をグラフに示した。

図-2に解析対象とした範囲を示す。解析対象地域として、2000年有珠山噴火における噴火地域、噴火地域と植生の類似している地域である。東部地域、有珠山近郊の麓であり火山活動による避難勧告対象地域となっていた南部地域、火山活動による避難勧告対象地域に指定されなかった西部地域の計4地域を選定した。図-3～図-7には、各解析地域のNDVIの経時変化を示している。

まず、図-3に示す有珠山地域全体について噴火前

のNDVIの推移を見てみると、1996年10月11日～1999年10月9日までは、最大値・最小値の幅に違いはあるものの、平均をとればほぼ一定であり、変化は見られない。また、最大値・最小値の幅の違いは季節的な変化によるものと考えられる。1999年12月15日～2000年2月15日にかけては、最大値と最小値の幅が狭くなり、平均値も低下しているが、これは積雪による影響が大きいと考えられる。噴火後のNDVIは、最大値および最小値の幅も徐々に広くなり、平均値も上昇しているが、2000年9月4日には再び低下している。

図-4の噴火地域では、噴火前の1996年10月11日～1997年9月4日にかけては、一旦平均値が上昇しているが、1997年9月4日～1999年10月9日にかけては低下傾向にある。これは、季節的な変化とも考えられるが、画像-1(b)～(c)から分かるように、噴火地域とその周辺を比べると噴火地域においてNDVIが低下していることが明らかである。これは、噴火地域において火山活動（すなわち噴火前の活動）の影響が植生に及んでいたためと考えられる。1999年12月15日～2000年2月15日にかけては、さらに低下しているが、これは噴火活動による影響と言える。

図-5に示す東部地域では、噴火前は、1997年9月4日の平均値がやや低下しているものの、1998年9月29日にかけてはほぼ一定である。1999年10月9日における最大値および最小値の幅の減少と平均値の低下は、雲の影響によるものであると考えられる。1999年12月15日～2000年2月15日にかけては、他の地域と同じように雪の影響による変化と考えられる。噴火後のNDVIの推移を見てみると、最大値・最小値の幅も広がり、平均値も上昇している。その後、2000年9月4日には1996年10月11日～1998年9月29日にかけての値とほぼ同じ値になっている。

図-6に示した南部地域について見てみると、噴火前の1996年～1999年にかけては、平均値が上昇していることが分かる。これは、噴火地域のNDVIが低下しているのとは対照的である。1999年12月15日～2000年2月15日にかけては、雪の影響による変化と考えられる。噴火後においては、2000年5月19日の平均値が低下しているが、これは雲の影響によるものである。2000年5月19日を除いては、他の地域と同様の変化を示している。

図-7に示す西部地域には、噴火前の1996年10月11日から1999年10月9日にかけて平均値が上昇しており、南部地域と同じような傾向になっている。1999年

12月15日～2000年2月15日にかけては、雪の影響による変化と考えられる。噴火後については、他の地域と平均値が上昇し、2000年9月4日には下降している。

以上のことから、有珠山噴火前から噴火後にかけての有珠山地域における植物活性を解析した結果、噴火地域においては、噴火前の1997年からNDVIが低下傾向にあり、逆に有珠山麓の南部地域および西部地域では、NDVIは上昇傾向にあることが明らかとなった。

5. まとめ

今回の調査では、植物活性に着目して解析を行った結果、火山活動による影響が噴火前に植物活性の変化に表れている可能性が確認できた。したがって、噴火の前兆は環境に敏感な植生に変化を及ぼすと考えられ、本研究で提案している手法が噴火予知に十分適用できるものと考えられる。この提案手法には、広域性と周期性を有する人工衛星データの利用が効果的である。また人工衛星データは地表面温度の解析なども可能であることから、その他の火山噴火予知技術との併用により様々な視点から調査することで、より明確な前兆現象の確認でき、それが火山噴火の予知精度を上昇させるものと考えられる。しかし、季節変化の影響を考えていく必要があり、これを除去するとともに、さらに定量的にNDVIの変化を見ていけるようにすることを、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 松林正義：火山と砂防，鹿島出版，p. 1，1991.
- 2) 同上，p. 165.
- 3) 荒牧重雄：噴火予知と避難，Civil Engineering Consultant，第211号，pp. 13-14，2001.
- 4) 廣瀬 亘・田近 淳：2000年有珠山の噴火とその被害，応用地質，第41巻，第3号，pp. 150-154，2000.
- 5) 佐藤 努・太田英順・秋田藤夫・鈴木敦生・松島喜雄：2000年有珠山噴火の直前に起きた地下水の自噴，地質ニュース，551号，pp. 20-26，2000.
- 6) 後藤恵之輔：衛星リモートセンシングによる地すべりの危険度評価と発生予測：地すべり災害発生危険箇所の把握に関する諸問題論文集，日本地すべり学会，pp. 55，1990.
- 7) 日本リモートセンシング研究会編：図解リモートセンシング，日本写真測量学会，pp. 12-19，1992.