

# ASTERによる有珠火山2000年噴火に伴う降灰域の観測

浦井 稔<sup>1</sup> 川辺禎久<sup>1</sup> 伊藤順一<sup>2</sup> 高田 亮<sup>1</sup> 加藤雅胤<sup>3</sup>

Minoru URAI, Yoshihisa KAWANABE, Jun'ichi ITOH, Akira TAKADA and Masatane KATO (2001) Ash fall areas associated with the Usu 2000 eruption observed by ASTER. Bull. Geol. Surv. Japan, vol.52(4/5), p.189-197, 14 figs. 4 tables.

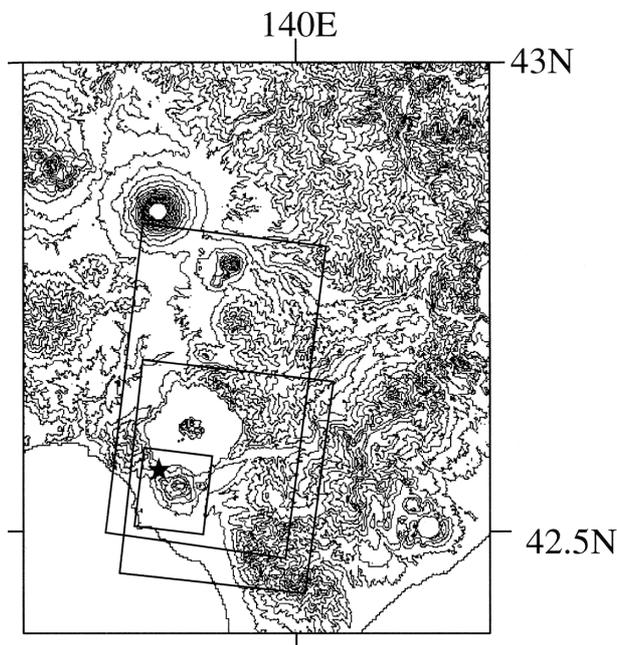
**Abstract** : Volcanic ash fall areas associated with Usu 2000 eruption can be detected as black stripes, including areas that could not be traced from field survey. The areas that have reflectance less than 0.6 derived from ASTER band 3 are corresponding to the ash fall areas over 8 g/m<sup>2</sup>. Visible to shortwave infrared reflectance of the volcanic ash have been measured under controlled moisture contents. It is possible to estimate the amount of volcanic ash deposits using the Volcanic Ash Reflectance Model based on the reflectance measurements of the volcanic ash.

## 要 旨

有珠火山2000年噴火に伴う降灰域は、地上調査では完全に追跡できない地域の降灰域も含めて、ASTERによって取得された画像に黒い帯として鮮明に捉えられた。ASTERのバンド3の反射率が0.6以下の地域は8g/m<sup>2</sup>以上の降灰域とほぼ一致した。現地で採取した火山灰資料について、可視～短波長赤外線における水分を制御した反射スペクトル測定を実施した。その結果、火山灰の反射スペクトル測定を基に構築された火山灰反射モデルを用いて反射率の低下から雪原に堆積した火山灰量を推定できる可能性を示した。

## 1. はじめに

有珠火山は2000年3月31日に、1977-78年の噴火以来22年ぶりに噴火を開始した。ランドサットやRADARSAT等の地球観測衛星はこぞって有珠火山の観測にあたった。1999年12月18日(米国太平洋標準時間)に打ち上げられたTerra衛星に搭載されたASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) センサ(Yamaguchi *et al.*, 1998)も、初期チェックアウト期間中にもかかわらず、有珠火山の観測にあたった。ASTERによって取得された画像には降灰域が黒い帯として捉えられた。Kishi and Yazaki(1981)は1979年の御岳山噴火の際にランドサットデータから降灰域の分布を求めた。また、Tsutsumi *et al.*, (1995) はJERS-1衛星のOPS画像から桜島の降灰域を抽出した。しかし、



第1図 研究対象地域の地形図。星印は有珠火山2000年噴火に伴う新しい火口群の位置を示す。小さい四角形は第3図、中くらいの四角形は第2図、大きい四角形は第6図の範囲を示す。

Fig. 1 Topographic map of the study area. A star indicates the location of the newly opened craters associated with Usu 2000 eruption. Small, medium and large rectangles indicate the extent of Fig.3, Fig.2 and Fig.6, respectively.

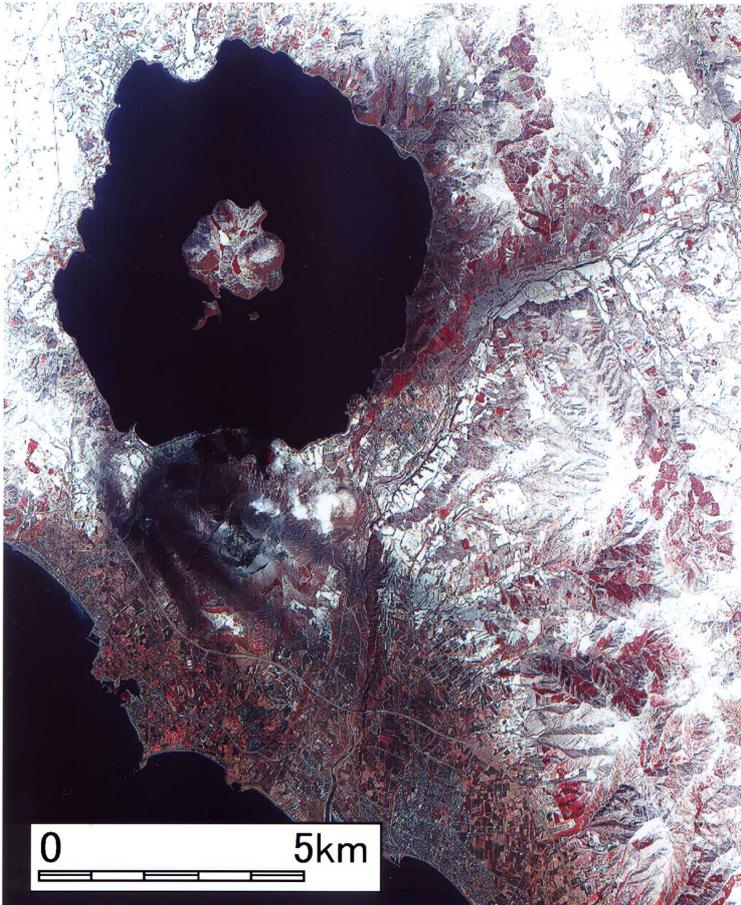
<sup>1</sup> 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience, GSJ)

<sup>2</sup> 深部地質環境研究センター

(Research Center for Deep Geological Environments, GSJ)

<sup>3</sup> 資源・環境観測解析センター (Research and Development Department, Earth Remote Sensing Data Analysis Center)

Keywords: ASTER, Usu Volcano, Volcanic ash, Reflectance spectrum, Remote sensing



第2図 2000年4月3日に観測された洞爺湖全域のASTER VNIR画像.

Fig. 2 ASTER VNIR image of entire Toya Lake observed on April 3, 2000.



第3図 2000年4月3日に観測された有珠火山付近のASTER VNIR画像.

Fig. 3 ASTER VNIR image of Utsunomiya Volcano observed on April 3, 2000.

第1表 ASTERの基本要求性能 (Yamaguchi *et al.*, 1998に加筆).

Table 1 ASTER baseline performance requirements (modified from Yamaguchi *et al.*, 1998).

Subsystem	Band No.	Central Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Band Width ( $\mu\text{m}$ )	Spatial Resolution (m)
VNIR	1	0.56	0.08	15
	2	0.66	0.06	
	3N, 3B	0.81	0.10	
SWIR	4	1.650	0.10	30
	5	2.165	0.04	
	6	2.205	0.04	
	7	2.260	0.05	
	8	2.330	0.07	
	9	2.395	0.07	
TIR	10	8.30	0.35	90
	11	8.65	0.35	
	12	9.10	0.35	
	13	10.60	0.70	
	14	11.30	0.70	
Stereo Base-to-Height ratio				0.6
Swath width				60km
Total Coverage in Cross-Track Direction by Pointing				232km
Distance between adjacent orbit				172km
Repeat cycle				16days

これまでの研究では、火山灰の反射スペクトル特性から降灰量を定量的に求めるための地表面モデルは提案されていない。このモデルの基礎研究として有珠火山2000年噴火に伴う火山灰の可視～短波長赤外域における反射スペクトル特性を測定した。今回の降灰は雪原に堆積したことから、含水量を制御した測定を実施した。本報告ではこの測定結果について報告する。

## 2. ASTERの機能と性能

ASTERはVNIR(Visible and Near-Infrared Radiometer)、SWIR(Visible and ShortWave-Infrared Radiometer)およびTIR(Visible and Thermal Infrared Radiometer)の3つの独立したセンサ(サブシステム)から構成されている。ASTERセンサの特徴についてはYamaguchi *et al.*(1998)やFujisada *et al.*(1998)に詳しく解説されているが、ここでは、現在運用中の衛星搭載型地球観測センサの中で最も一般的であると考えられるランドサット衛星(USGS and NOAA, 1984)に搭載されているTMセンサと比較しながら述べることにする。

### 2.1 観測波長帯

第1表に示すようにASTERは14のバンドを有する。これをTM(第2表)と比較すると、TMは2.1-2.5  $\mu\text{m}$ の波長域を単一のバンド(バンド7)で観測しているのに対してAS-

TERは5バンド(バンド5-9)に分割して観測していることがわかる。これは、粘土鉱物や炭酸塩鉱物がこの波長帯において特徴的な分光反射率を示すことを利用して、地表に露出するこれらの鉱物を識別・同定することを主な目的としている。また、TMは10-13  $\mu\text{m}$ の波長域を単一のバンド(バンド6)で観測しているのに対してASTERは2バンド(バンド13, 14)に分割して観測している。さらにASTERは8-10  $\mu\text{m}$ の波長域を3バンド(バンド10-12)に分割して観測している。これは、陸域での温度観測とシリカの含有量の違いによる岩石区分を主な目的としている。

### 2.2 空間分解能

VNIRサブシステムの空間分解能は15mでTMのそれより高いが、SPOT衛星のHRVセンサ(10m)やADEOS衛星のAVNIRセンサ(8m)にはおよばない。SWIRサブシステムの空間分解能は30mでTMと同等である。そして、TIRサブシステムの空間分解能は90mであり、地球観測衛星の熱赤外域センサとしては最も空間分解能が高い。

### 2.3 ステレオ観測機能

VNIRサブシステムは、第1表に示すとおり衛星直下を観測するバンド3Nと同様の波長帯で衛星後方を観測するバンド3Bを有する。バンド3Nと3Bのステレオ画像は10万分の1から5万分の1の縮尺の数値化地形図作成に利用できる。

第2表 ランドサットTMの観測波長域と空間分解能(USGS and NOAA, 1984に加筆).

Table 2 Spectral ranges and spatial resolutions for Landsat TM  
(modified from USGS and NOAA, 1984).

Band No.	Central Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Band Width ( $\mu\text{m}$ )	Spatial Resolution (m)
1	0.485	0.07	30
2	0.56	0.08	30
3	0.66	0.06	30
4	0.83	0.14	30
5	1.65	0.20	30
6	11.45	2.10	120
7	2.215	0.27	30

## 2.4 ポインティング機能

ASTERを搭載するTerra衛星は、ランドサット4,5,7号と同一の、16日回帰の太陽同期極軌道に打ち上げられた。隣接軌道間隔は赤道上空において約172kmであるが、ASTERの観測幅は60kmしかない。このため、衛星進行方向に直交する面内でセンサの視線方向を動かすことができるポインティング機能が設けられている。SWIR・TIRサブシステムは±8.55度以内のポインティング角度で衛星直下から±116kmの範囲内における幅60kmの地域を観測できる。VNIRサブシステムは±24度以内のポインティング角度で、斜め視観測ではあるが他のサブシステムより広い、±318kmの範囲内における幅60kmの地域を観測できる。

## 2.5 ゲイン切り替え機能

ASTERは、さまざまな輝度の対象を観測するため、ゲイン切り替え機能を有する。これまでの衛星のゲイン切り替えは全てのバンドのゲインを一括して切り替えることが多かったが、ASTERの場合は、それぞれのバンドのゲインが他のバンドから独立して設定可能である。特にSWIRサブシステムに設定可能なローゲイン 2は溶岩等の高温対象を観測するために設けられたものである(Yamaguchi *et al.*, 1998)。

## 2.6 緊急時の観測とデータ配布

火山噴火等の緊急事態が発生した場合には、観測要求をASTERサイエンスチームリーダーに提出することができる。日本時間の15時までにASTERサイエンスチームリーダーが必要と認めた緊急観測要求は翌日の5時以降の観測計画に組み入れることが可能となっている。また、この場合にはVNIRサブシステムを±24度までのポインティング角度で観測することによって、赤道上の回帰パターンは2-5-2-7日となる。従って、赤道上の対象を観測する場合、同一地点を平均4日に1回観測することが可能となる(Yamaguchi *et al.*, 1998)。北緯55度付近では、隣接軌道間隔が赤道上のその約半分になるため、±24度まで

のポインティング角度で観測することによって同一地点を平均2日に1回観測することが可能である。

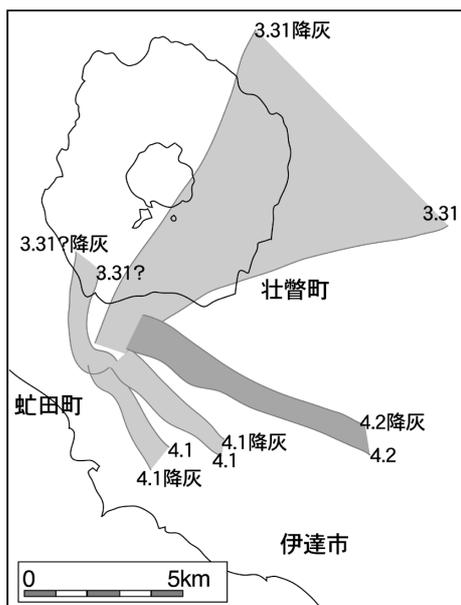
一般に、観測からデータ配布に要する時間は1週間程度であるが、緊急観測の場合には通信回線を用いてデータ転送を行うことによって24時間以内にデータを配布することが可能となっている。

## 3. ASTER画像に見られる降灰

3月31日から4月初旬にかけて金比羅山火口群と西山西麓火口群(第1図)から大量の火山灰が噴出した。国方ほか(2000)によれば、5月までの降灰の総量は少なくとも32万トンと推定された。

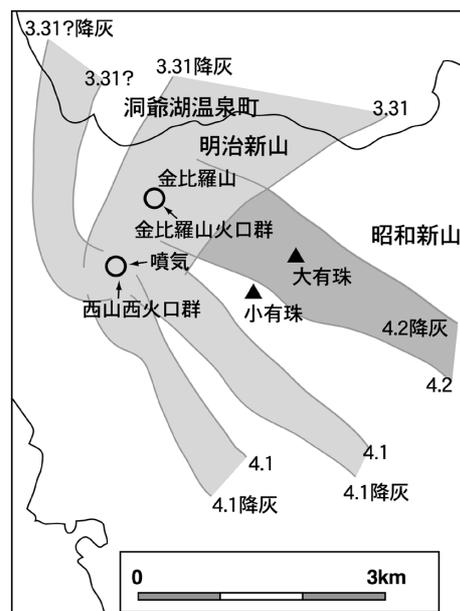
4月3日に撮影された洞爺湖全域のASTER VNIR画像を第2図に、有珠火山周辺の画像を第3図に示す。画像には、3月31日に噴火した国道230号線沿いの火口群及び4月1日に噴火した金比羅山火口群がはっきりと捉えられており、火口から立ちのぼる噴気も確認することができる。降灰域は、今回の噴火で開口した火口から、大きく分けて5筋に延びた黒い帯として写っている。それぞれの降灰は、現地調査の結果と照合することによって特定することができる。例えば3月31日13時過ぎの噴火の降灰域を、地上調査の結果と比較すると、ほぼ一致する。また、西山西麓火口群から北に伸びる降灰域は、はっきりとした目撃報告はないが、31日夕方からの南寄りの風に流された噴煙によるものと判断される。第4図に洞爺湖全域のASTER VNIR画像の解釈図を、第5図に有珠火山周辺の画像の解釈図を示す。このように、衛星画像からは地上調査では完全に追跡できない地域の降灰も明瞭に示されていることがわかる。

4月7日のASTER VNIR画像(第6図)には、有珠火山西部から北-北北西方向に伸びた降灰が、暗灰色～灰色の帯としてとらえられている。明瞭な暗灰色の帯は、有珠火山の北方約25kmの真狩村周辺まで追跡できる。洞爺湖西岸の国道230号線沿いにおける地表調査によると、積雪面上に堆積した火山灰量は微弱で、積雪面上には、凝集



第4図 2000年4月3日に観測された洞爺湖全域のASTER VNIR画像の解釈図.

Fig. 4 An interpretation of the ASTER VNIR image of entire Toya Lake observed on April 3, 2000.



第5図 2000年4月3日に観測された有珠火山付近のASTER VNIR画像の解釈図.

Fig. 5 An interpretation of the ASTER VNIR image of Usu Volcano observed on April 3, 2000.

した火山灰の塊(粒径数mm程度)が,散在している状態である(第7図). 衛星画像では,降灰層厚の薄い部分までは把握できていない場合があることに注意が必要である. 地質調査所や北海道大学などの総合観測班による現地調査の結果とあわせると,今回の衛星画像は,1平方メートルあたり16g~32g以上の降灰分布域を把握している. 室蘭地方気象台によると,伊達地域における4月3日-4月8日にかけての1時間毎の風向・風速変化記録によると,南-南東の風が吹いたのは,1) 4月4日の12時過ぎから17時頃までと,2) 4月7日の7時頃から12時過ぎまでである. 火山噴火予知連絡会合同観測班によると,洞爺湖西岸の観測点で4月4日の午後(16時から18時頃)に降灰が認められている. 従って,4月7日の衛星画像により確認された降灰は,4月4日の16時から18時頃に噴出したものである可能性が高い. 第8図に4月7日のASTER VNIR画像の解

釈図を示す.

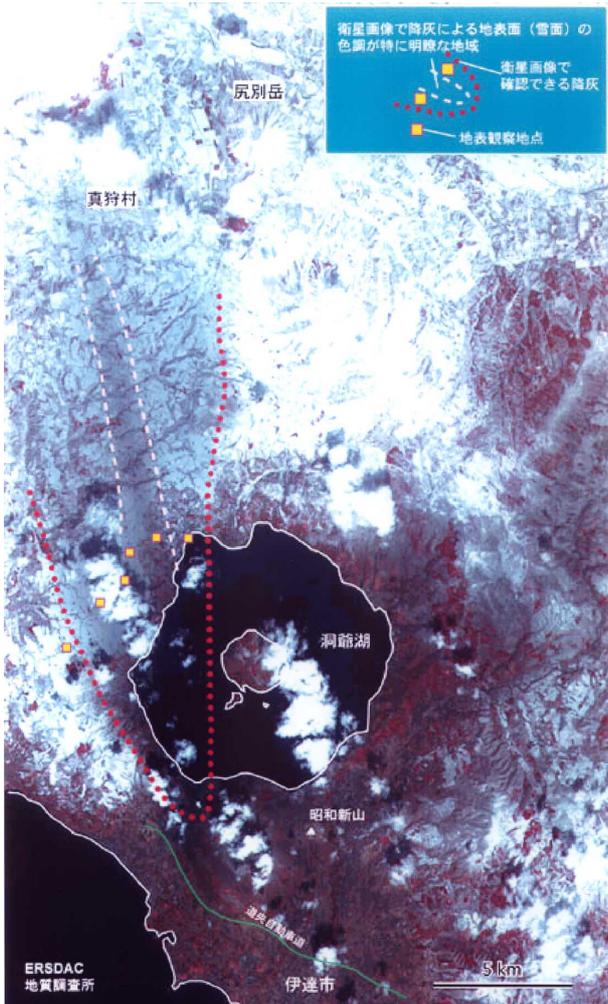
#### 4. 火山灰のスペクトル測定

本研究で使用した火山灰は2000年5月28日に,新しい火口群から北西に1-2km離れた,洞爺湖温泉のホテル天翔の洞爺湖側で採取した. 前日は雨であったため,火山灰はぬれていたが,15mmほど一様に堆積しており,雨や人による擾乱はなかったと推定される. 試料は約2.2kgの粘土状で多量の水分を含んでいた. 試料の一部(約0.9kg)に純水を加えて泥水を作り,1mm,0.5mm,0.25mm,0.125mm,0.063mmのふるいで篩い分けた. 0.063mm以上の火山灰は12日間室内で乾燥した. 0.063mm未満の火山灰は沈殿させた後,45℃のオープンで48時間乾燥した. 粒度分布を第3表に示す. これは国方ほか(2000)が火

第3表 有珠火山2000年噴火に伴う火山灰の粒度分布.

Table 3 Grain size distribution of volcanic ash associated with Usu 2000 eruption.

Grain size	Sample weight (g)	Ratio	Density (g/cc)
More than 1.0mm	2.22	0.00	N/A
1.0 - 0.5mm	23.82	0.04	N/A
0.5 - 0.25mm	77.17	0.13	1.25
0.25 - 0.125mm	87.27	0.15	1.27
0.125 - 0.063mm	58.83	0.10	1.26
Less than 0.063mm	348.4	0.58	1.06
Total	597.71	1	1.20



第6図 2000年4月7日に観測されたASTER VNIR画像。  
Fig. 6 ASTER VNIR image observed on April 7, 2000.



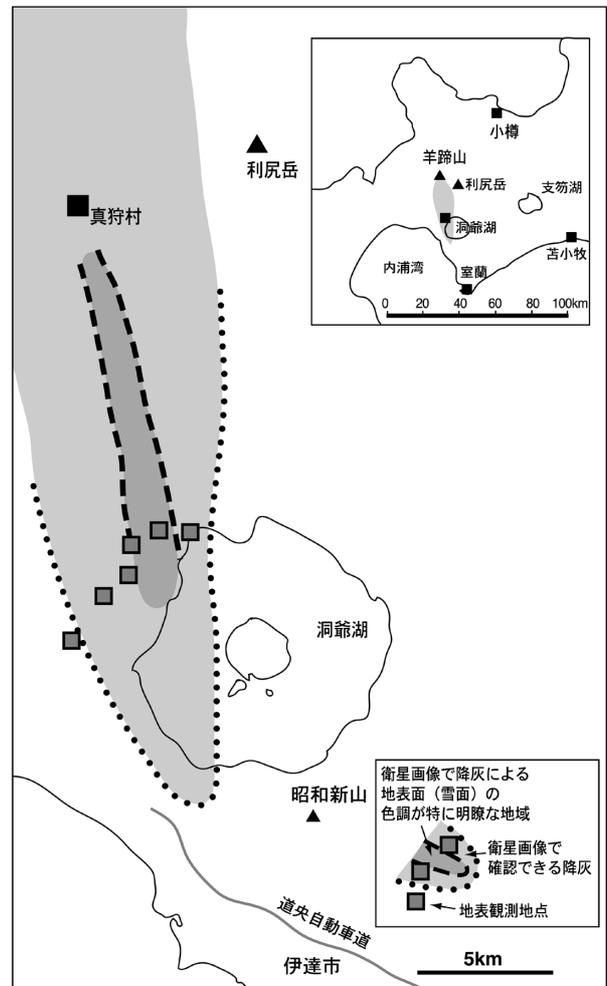
第7図 雪面上に降下した、凝集した火山灰の塊。写真は、サイロ牧場の北2km、図6で右から2番目の地表観察地点で、2000年4月8日に撮影された。

Fig. 7 Aggregates of volcanic ash on the snow. A photo was taken on April 8, 2000, at the second observation point from the right side in Fig. 6, 2 km north of Sairo Tenbodai.

口から8.4kmの地点で採取した火山灰の粒度分布にほぼ一致する。

スペクトル測定に十分な量を得ることができた0.5mm以下の試料および粒度分布に従ってもう一度混合した試料から50g秤量し、日本分光社製V-570型分光光度計に60mm積分球を取り付けて、400-2400nmの領域における反射スペクトルを測定した。このとき、標準反射板としてLabsphere社製のSpectralonを用いた。その後、各試料に重量比1%、2%、4%、8%、16%の純水を加え、反射スペクトル測定を繰り返した。水分が試料全体で均質になるよう、試料をビニール袋に入れて良く混ぜ合わせ、密封して2時間以上放置した後スペクトル測定を実施した。

第9図に乾燥した火山灰の粒度別反射スペクトル特性を示す。反射率は25%以下で粒子が細かいほど反射率が高いことがわかる。再混合した試料は、細粒の成分が多いため、0.063mm以下の試料の次に高い反射スペクトルを



第8図 2000年4月7日に観測されたASTER VNIR画像の解釈図。

Fig. 8 An interpretation of the ASTER VNIR image observed on April 7, 2000.

示す. 1400nm付近と1900nm付近に試料に含まれる水分による吸収帯が認められる. 2200nmにも粘土鉱物の特徴である吸収帯(例えばHunt and Ashley, 1979や浦井ほか1992)が認められる. 今回の火山灰はマグマと水蒸気が接触することによって生成した発砲のよい軽石のほかに, 変質した岩片や微細な粘土粒子が多量に含まれている. X線回折において, 石英, 斜長石のほか, スメクタイト, 緑泥石, 方解石, 黄鉄鉱, 沸石などが認められ, 細粒の試料ほどスメクタイト含有量が多かった(八幡, 2000). このため, 粒度毎に鉱物組成が異なることが予想される. Hunt *et al.* (1973)が測定したデイサイトの反射スペクトルと比較すると, その形状は似ているが絶対値は低い. これは変質した岩石が含まれているためと考えられる.

第10図に重量比16%の水分を付加した火山灰の粒度別反射スペクトル特性を示す. 反射率は, 乾燥試料に比較して低下し, 10%以下となっている.

細かい粒度(0.063mm以下)の火山灰は8%以下の水分ではほとんど反射スペクトルの変化は認められないが, 16%の水分では大きく反射スペクトルが低下する(第11図). 一方, 粗い粒度(0.5-0.25mm)の火山灰は8%の水分で大きく反射スペクトルが低下し, 水分が16%になってもあまり大きく変化しない(第12図). これは粒度が細かいほど表面積が大きいため, 多量の水分がないと粒子の表面をぬらすことができないためと考えられる.

### 5. 降灰モデル

降灰による放射輝度の低下と降灰量を関係付けるため, 雪上の降灰モデルについて検討した. 雪上の降灰の反射率は以下の式で表すことができると仮定する.

$$R_{\lambda} = (1 - f_a) R_{\lambda,s} + f_a R_{\lambda,a} \quad (1)$$

ここで $R_{\lambda}$ は観測波長 $\lambda$ における平均反射率,  $f_a$ は上空か

ら見た場合に火山灰が占める面積比,  $R_{\lambda,s}$ は雪の反射率,  $R_{\lambda,a}$ は火山灰の反射率である. 火山灰が長径 $r_1$ の円盤状の塊になる場合,  $f_a$ は以下の式であらわすことができる.

$$f_a = n \cdot 2 \pi r_1^2 \quad (2)$$

ここで $n$ は単位面積あたりの塊数である. 一方, このときの火山灰の単位面積あたりの重量 $W$ は以下の式であらわすことができる.

$$W = n \rho \frac{3}{4} \pi r_2 r_1^2 \quad (3)$$

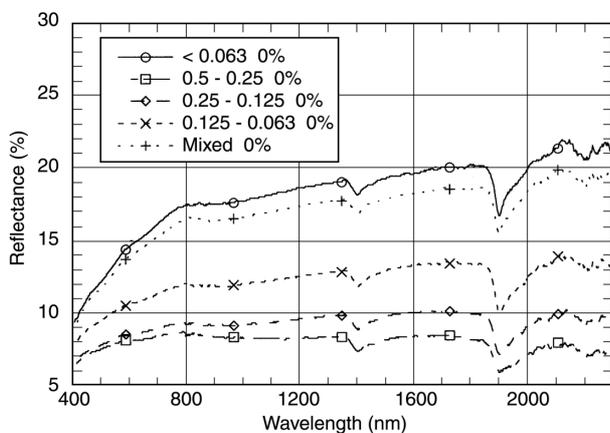
ここで $\rho$ は火山灰の塊の体積あたりの重量,  $r_2$ は火山灰の塊の短径である.

上記のモデルに第4表のパラメタを適用した結果を示す.  $r_1$ が2倍になると単位面積あたりの降灰量も2倍になることがわかる(第13図).

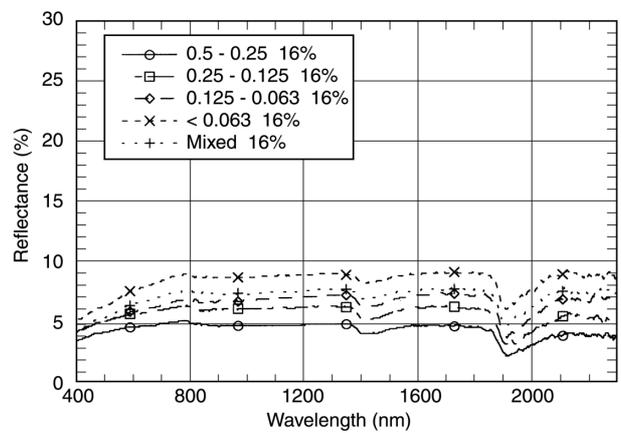
### 6. ASTER VNIRデータと降灰モデル計算結果の比較

降灰モデルを検証するため観測結果と比較した. 雪の反射率はASTER VNIRの波長域において0.7以上と考えられ, 他の地表物よりきわだって高いため, ASTER VNIRの画像を1km毎の領域に分け, その領域内の最高輝度をその領域の輝度とした. バンド1, 2の画像においては最高輝度の大半が飽和値であったため, バンド3を使用することとした. 水域の輝度値(20カウント程度)を反射率0とし, 平坦な雪原の輝度値(200カウント程度)を反射率0.8 (Wiscombe and Warren, 1980)として, バンド3の輝度を一次変換したものをバンド3の反射率とした.

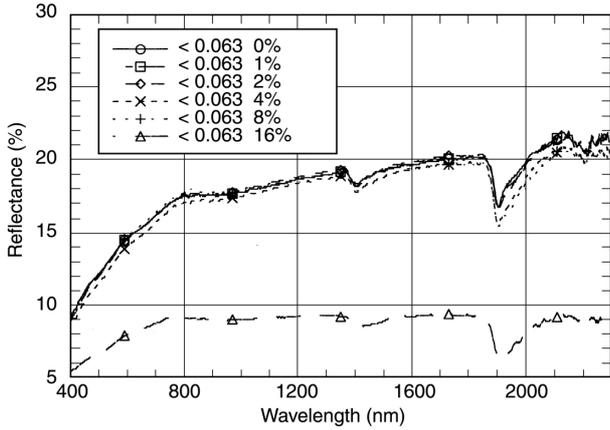
4月7日のバンド3の反射率(第14図)から, 洞爺湖の東岸から北東方向と洞爺湖の西岸から北方向に反射率が低下していることがわかる. 前者は降雪によって隠された降灰が融雪によって表面に現れたことによる反射率の低下かもしれない. 後者は4月4日の降灰による反射率の低下



第9図 乾燥した火山灰の反射スペクトル.  
Fig. 9 Reflectance spectra of the dried volcanic ash.

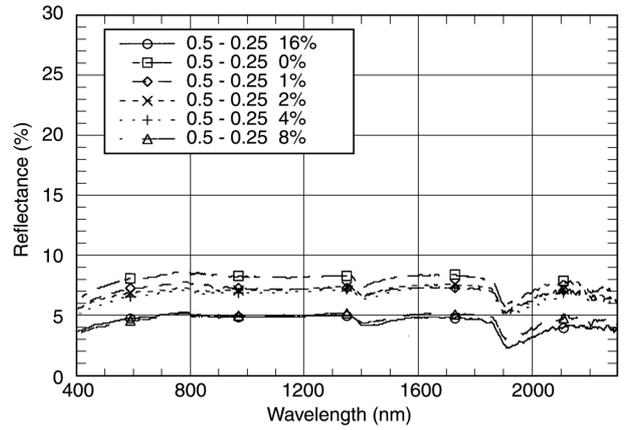


第10図 16%の水分を付加した火山灰の反射スペクトル.  
Fig. 10 Reflectance spectra of the volcanic ash added 16% of moisture.



第11図 細粒の火山灰に水分を付加した場合の反射スペクトル。

Fig. 11 Reflectance spectra of the fine grain volcanic ash added various amount of moisture.



第12図 粗粒の火山灰に水分を付加した場合の反射スペクトル。

Fig. 12 Reflectance spectra of the coarse grain volcanic ash added various amount of moisture.

第4表 火山灰反射モデルのパラメタ。

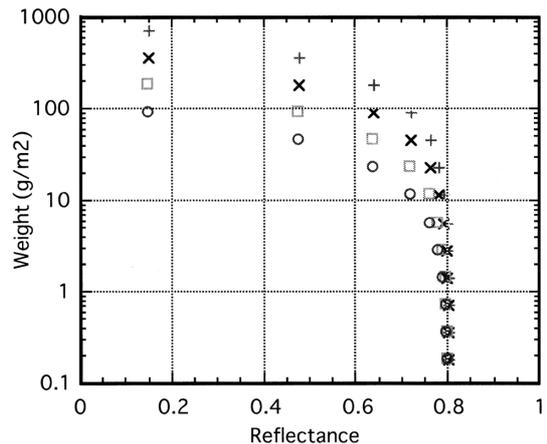
Table 4 Parameters for the Volcanic Ash Reflectance Model.

Parameter	Value
Wavelength : $\lambda$	0.81 $\mu$ m
Snow reflectance : $R_{\lambda, s}$	0.80
Volcanic ash reflectance : $R_{\lambda, a}$	0.08
Major axis length of volcanic ash clod : $r_1$	0.5, 1, 2, 4mm
Minor axis length of volcanic ash clod : $r_2$	$r_1/2$

と推定されるが、国方ほか(2000)の報告による32g/m<sup>2</sup>以上の降灰域と反射率が0.4以下の地域、および8g/m<sup>2</sup>以上の降灰域と反射率が0.6以下の地域がほぼ一致している。降灰モデルから計算される降灰量は、現地での観察を基に $r_1$ を0.5mmとすると、反射率0.4および0.6でそれぞれ50 g/m<sup>2</sup>, 25 g/m<sup>2</sup>であり、若干高めであるがオーダーは一致している。単純な面積比による反射率の低下のほかに、雪に微量の火山灰が混じることによる反射率の低下の影響があるかも知れない。

## 7. まとめ

衛星画像は降灰分布の概要を把握する手段として有効である。衛星画像からは地上調査では完全に追跡できない地域の降灰も明瞭に示されている。32g/m<sup>2</sup>以上の降灰域とASTERのバンド3の反射率が0.4以下の地域、および8g/m<sup>2</sup>以上の降灰域と反射率が0.6以下の地域がほぼ一致した。降灰モデルから計算される降灰量は、若干高めであるがオーダーは一致している。単純な面積比による反



第13図 火山灰反射モデルで計算した反射率と降灰量。○, □, ×, +は $r_1$ を0.5mm, 1mm, 2mm, 4mmとして計算した結果。

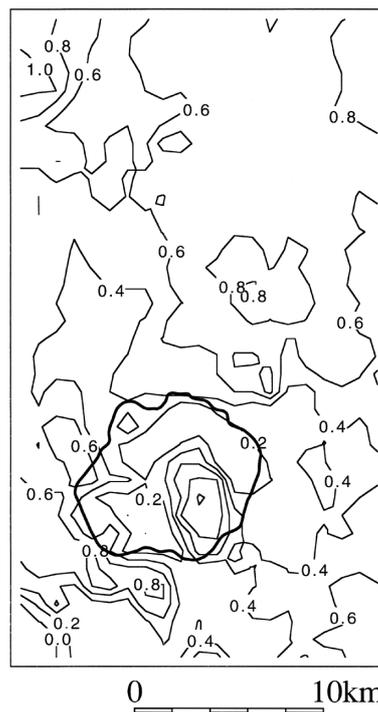
Fig. 13 Reflectance and ash weight calculated with the Volcanic Ash Reflectance Model. Circles, rectangles, crosses and pluses indicate the calculated results in the case of  $r_1$  equal to 0.5mm, 1mm, 2mm and 4mm, respectively.

射率の低下のほかに、雪に微量の火山灰が混じることによる反射率の低下の影響があるかも知れない。

**謝辞** 古野電気 of 増成友宏氏には本研究で使用した火山灰試料を現地で採集していただきました。地質調査所の池原 研氏には火山灰試料の処理にご協力いただきました。本論文で使用したASTERデータは経済産業省から提供されました。ASTERデータの所有権は経済産業省に帰属します。以上の方々に御礼申し上げます。

## 文 献

- Fujisada, H., Sakuma, F., Ono, A. and Kudoh, M. (1998) Design and Preflight Performance of ASTER Instrument Protoflight Model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, no.4, 1152 - 1160.
- Hunt, G. R. and Ashley, R. P. (1979) Spectra of Altered Rocks in the Visible and Near Infrared. *Economic Geology*, 74, 1613 - 1629.
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W. and Lenhoff, C. J. (1973) Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VIII. Intermediate Igneous Rocks. *Modern Geology*, 4, 237 - 244.
- Kishi, S. and Yazaki, S. (1981) Detection of volcanic ash fall area from Landsat MSS CCT data -Eruption of Mt. Ontake in 1979-. *Proceedings of the Fifteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 919 - 928.
- 国方まり・諸星真帆・長井大輔・大野希一・陶野郁雄・鈴木正章・遠藤邦彦 (2000) 有珠火山2000年噴火による降灰の分布と粒度組成. *日本火山学会講演予稿集2000年度秋季大会*, no.2, 186-186.
- Tsutsumi, K., Masumizu, T., Kinoshita, K., Ishiguro, E., Tanaka, S. and Sugimura, T. (1995) Investigation of the Dispersion of Volcanic Ash from Mt. Sakurajima and the Detection of Ash Deposit Area. *Final Rep. JERS-1/ERS-1 System Verification Program*, 2, 385 - 392.
- 浦井 稔・佐藤 功・二宮芳樹・古宇田亮一・宮崎芳徳・山口靖 (1992) 可視～短波長赤外域における粘土・炭酸塩岩の反射スペクトルとその特徴. *地質調査所報告*, 278, 11 - 26.



第14図 ASTERのバンド3から計算した2000年4月7日の地表面反射率。太線は洞爺湖の湖岸線。

Fig. 14 Surface reflectance map calculated with ASTER band 3 on April 7, 2000. A broad line indicates the shore line of Toya Lake.

- USGS and NOAA (1984) *Landsat 4 Data Users Handbook*. USGS, Alexandria, 86p.
- Wiscombe, W. J. and Warren, S. G. (1980) A Model for the Spectral Albedo of Snow. I: Pure Snow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37, 2712 - 2733.
- 八幡正弘 (2000) 2000年有珠火山のマグマ水蒸気-水蒸気爆発に伴う噴出物中の石質岩片組成. *日本火山学会講演予稿集2000年度秋季大会*, 2, 32 - 32.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T. and Pniel, M. (1998) Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, no.4, 1062 - 1071.

(受付:2001年1月10日; 受理:2001年1月10日)