

論文

三宅島雄山噴火による植生被害の衛星画像解析

西澤敦彦

摘要：東京都三宅島における雄山 2000 年噴火による植生被害状況を明らかにするために、噴火前 1999 年 12 月の空中写真から作成されたデジタルオルソデータ、噴火後 2000 年 7 月から 2001 年 10 月にかけて撮影された人工衛星データの画像解析により被害状況を明示的に画像化した。森林等植生面積について定量的な推移を把握し、被害の特徴を推定した。その結果、2001 年 10 月時点で、噴火前に全島面積の 86% を占めていた植生 4,761ha の 55% に当たる 2,627ha で埋没、流出、枯死、幹折れ、落葉、葉の褐色化、降灰の付着等により植生が失われたことが判った。一方、海拔高度別の植生面積の推移を見ると、噴火した 2000 年 7 月 8 日から 2ヶ月間ほどの大規模な噴火に伴う火山灰等噴出物と降雨による土石流によって、すさまじい植生破壊が起こり、海拔高度 300m 以上では植生 1,700ha のうち 96% が失われ、300m 未満では植生 3,100ha のうち 34% が失われた。その後、2001 年 6 月頃までは植生の回復が見られ、海拔 300m 未満では噴火前の 9 割まで、300m 以上 450m 未満でも 4 割程度まで回復した。しかし、それ以降は高濃度火山ガスや寡雨によると考えられる植生被害の再拡大が見られ、10 月時点で海拔高度 300m 以上では噴火前の植生 1,700ha のうち 93% が失われ、300m 未満では植生 3,100ha のうち 35% が失われた。

キーワード：三宅島、火山噴火、植生、リモートセンシング、衛星データ

1. はじめに

2000 年 7 月より始まった三宅島雄山の噴火は、過去 500 年間のものとは全く異なるタイプである(上條 2001)。大量の降灰とその後の雨による火山灰を含む土石流の発生によって、家屋等の被災の一方、森林、牧草地、畑、樹林地等における植生に多くの被害をもたらした。さらに、二酸化硫黄等の有毒成分を含んだ火山ガスは、世界でも例を見ない程大量に今も放出され続けている(気象庁プレス発表)。筆者が 2001 年 11 月に初めて三宅島を訪れた際に、港から雄山を見たときには植生被害に対するインパクトは受けなかったが、海拔 470m の雄山中腹の林道雄山環状線付近で、視点が上がるにつれ被害の甚大さに目を奪われた。一方、三宅島に関する情報は WEB でも多く見られ、写真や衛星画像等も公開されているものもあるが、植生被害について定量的な情報は見られなかった。そこで、本研究では、今回の噴火による植生被害がどの程度のものであるか、高分解能衛星の画像解析等によって、噴火後の森林等

の植生被害面積等を定量的に把握するとともに、噴火後の森林等の植生被害面積の推移を定量的に把握することを試みた。そして、画像化によって噴火による被害を分かりやすく示す手法を提示するとともに、文献、資料を基にして被害の特徴について考察する。

2. 方法

2.1 調査対象地域の概要

伊豆諸島の一つ、三宅島(面積約 55km²、周囲約 35km)は、相模湾南方海上、北緯 34° 05'、東経 139° 31' に位置する玄武岩質の円形の火山島で、中央に高さ 814m(2000 年噴火以前)の雄山がある。

2.2 使用データおよび解析方法

2000 年噴火前後における植生の有無状況を調べるために使用したデータを表 1 に示す。解析に使用したソフトウェアは ERDAS IMAGINE8.5、ARC/INFO8.1 および Arcview3.2a である。

2.2.1 噴火前の植生区域画像の作成

画像処理で噴火による植生被害を解析するために、噴火前後の画像は、同じセンサで撮影されたなるべく同質で詳細なデータが望ましい。しかし、今回噴火前のデータとして入手できたのは、カラー空中写真から作成されたデジタルオルソ（以下オルソ）および東京都都市計画地理情報システムの土地利用現況ベクターデータ（以下土地利用データ）であった。そのため、噴火後の衛星画像データと質をそろえるために、以下の処理を行った。パソコン画面上でオルソに土地利用データを重ね合わせ表示し、土地利用データの中で植生区域と考えられる「森林」、「樹林地(農業系)」、「採草放牧地」、「畑」を基準にして、オルソから目視判断して植生区域(立木地および草地等無立木地以外の区域)であると考えられるエリアをこれらに編入する一方、植生区域から開発された区域を非植生区域として手作業で丹念に土地利用データを修正した。例えば、土地利用現況カテゴリーが「原野」であっても、オルソ上で植生と判断された区域(のポリゴン)を分割して「森林」としたり、「港湾」や「独立専用住宅」という非植生区域であっても空港滑走路の周りの芝生や住宅の庭等の

植生区域を「その他植生区域」としたりした。そして、修正したベクターデータを海域でマスクした1mメッシュのラスターデータに変換した。

2.2.2 IKONOS データによる植生区域画像作成

噴火後の高品質で詳細な画像データとして入手できたのは、2001年10月撮影のIKONOS衛星データであった。本データは、幾何補正済みのデジタルオルソ・ライトであるが、噴火前データのデジタルオルソおよび土地利用現況ベクターデータと5~10m程度ずれているところがあったため、16点のGCP(地上基準点)をとり、RMS(Root Mean Square)エラーを0.5ピクセル以内として、3次たみ込み内挿法により1mメッシュでリサンプリングし、海域をマスクした。

植生が、葉緑素の吸収帯の赤色波長で低い反射率、葉の細胞構造により近赤外波長で高い反射率という特徴的反射パターンであること(日本リモートセンシング研究会 1992)を利用したNDVI(正規化植生指数)が Jensen(1986)、Tucker(1979)により提案されており、画像の各波長における輝度値を式(近赤外-赤)/(近赤外+赤)によって計算し、11bitデータであるIKONOSの特長を生かし、2048階調の範囲になるように整数倍した画像を作成した。また、主成分分析画像や

表 1 使用データ

噴火前

データ	撮影年月日	観測波長	空間分解能	備考
デジタルオルソ	1999/12/10	可視光線	1m	空中写真から林務課作成
土地利用現況、道路	1996~7(都都市計画局都市整備室作成)		(ベクター)	都市計画地理情報システム

噴火後

データ	撮影年月日	観測波長	空間分解能	備考
IKONOS 衛星(デジタルオルソ・ライト、パンシャープ)	2001/10/2	0.45~0.52 μm (青), 0.52~0.60 μm (緑), 0.63~0.69 μm (赤), 0.76~0.90 μm (近赤外), 0.45~0.90 μm (パンクロ)	4m(マルチスペクトル) +1m(パンクロ)	11bit (2048階調)
ASTER 衛星(VNIRセンサー)	2000/7/17,8/20, 9/3,11/8, 2001/4/1,8/23	0.52~0.60 μm (緑), 0.63~0.69 μm (赤), 0.76~0.86 μm (近赤外)	15m	8bit (256階調)
森林 GIS(森林計画図)	1999(都産業労働局林務課作成)		(ベクター)	
数値標高モデル	1983(噴火前)および 2001.1.16(噴火後)(国土地理院作成)		10m	

ISODATA 法による教師なし分類画像等の解析を行い、2001年11月19, 20日に行った現地調査結果およびトゥルーカラー表示、フォールスカラー表示のIKONOS画像と比較した。その結果、閾値を「平均値+標準偏差/2」で決定したNDVI画像が分類の適合性が良いと考えられたため、NDVI画像から1mメッシュの植生-非植生分類画像を作成した。

2.2.3 噴火前後の植生区域の比較画像等の作成

噴火前の植生区域画像と噴火後の植生区域画像の差画像を作成し、植生が非植生になった区域面積を求めた。その際、非植生が植生になった区域の噴火前のオルソ画像を検証し、林内の道路際等本来噴火前から植生域だったことを確認したので、噴火前データを修正した。また、東京都森林GISデータから作成したha当たり材積を画素値とするスギ、ヒノキ、クロマツの1mメッシュ画像と差画像を乗算し、被害を受けたスギ等針葉樹の被害面積および材積を求めた。

2.2.4 噴火前後の3次元鳥瞰画像の作成

三宅島を6図郭に分割して作成されたデジタルオルソについては、なるべく現実に近い色調になるようにモザイク処理した。IKONOS画像については、噴火前の画像と比較した際に植生部分の色調に違和感がなく、かつ、植生と非植生の区分を明瞭にするため、ヒストグラム平滑化処理によって色調を強調した。そして、国土地理院の技術資料D-1-No.377「三宅島等GIS用データ」(承認番号国地企調発第497号平成14年1月28日)の噴火前後の数値標高モデル(DEM)データを使用し、垂直方向を2倍に強調処理して3次元鳥瞰画像を作成した。

2.2.5 ASTERデータによる植生区域画像の作成

現地情報が少ない中で、植生被害面積の推移を推定するため、ASTER衛星データについて、前項で使用したDEMデータを使用して平面直角座標系で幾何補正し、10mメッシュに3次元たみ込み内挿法でリサンプリングし、海域をマスクした。ERDAS IMAGINE8.5の機能を用いて、各(ピクセル)スペクトラルを全体の平均輝度と同じとなるよう

にシフトさせるため、Normalizeの画像強調処理を行い、概ね9クラスのISODATA法による教師なし分類を行った。そして、原画像および擬似ナチュラルカラー処理を行った画像との比較、現地調査写真等によって、植生区域の推定を行い、最終的に2クラスの植生-非植生区域画像を作成した。続いて、前項の噴火前後の数値標高モデル(DEM)データを海拔0mから150mずつ5クラスに分類した10mメッシュの画像を作成し、作成したすべての植生-非植生区域画像とそれぞれ掛け合わせて、海拔高度別の各植生-非植生区域画像を作成し、ピクセル数により海拔高度別の植生および非植生面積を求めた。

3. 結果と考察

3.1 本研究で扱う植生被害の判断について

本研究では、前述のとおり、画像解析が中心であるので、植生区域および非植生区域は木本については葉の有無により判断される。したがって、火山灰が樹冠や葉の表面に全面的に付着した場合や落葉した場合は、枯死に至らずとも非植生区域と判断される。以下において、噴火後非植生と判断された植生については、埋没、流出、枯死、幹折れ、落葉、葉の褐色化等の状態に関わらず、「消失」または、「失われた」植生と記述する。

3.2 噴火前後の植生-非植生区域別面積

噴火前の植生-非植生区域画像を図1に、噴火後の画像を図2に示した。また、その差画像による噴火後に「失われた」植生区域の画像を図3に示した。本画像によって、植生被害区域が明瞭に判る。そして、分類画像の画素数より求めた噴火前後の植生区分別の面積を表2, 3に示した。その結果、噴火前の植生面積は全島面積の86%をしめる4,800ha弱であったが、噴火後「失われた」植生区域は2001年10月時点で元の植生面積の55%である2,600haに及ぶことが判った。植生区分内の区域別で、「消失」率では採草放牧地が98%減と殆どが被害を受けていたが、実面積では

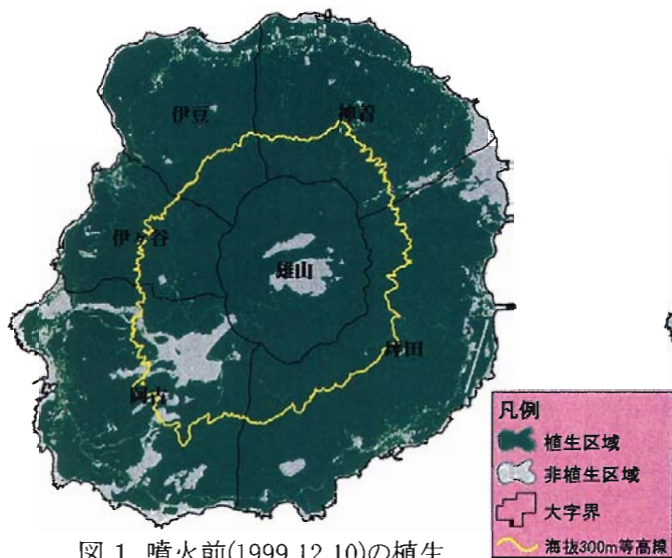


図1 噴火前(1999.12.10)の植生

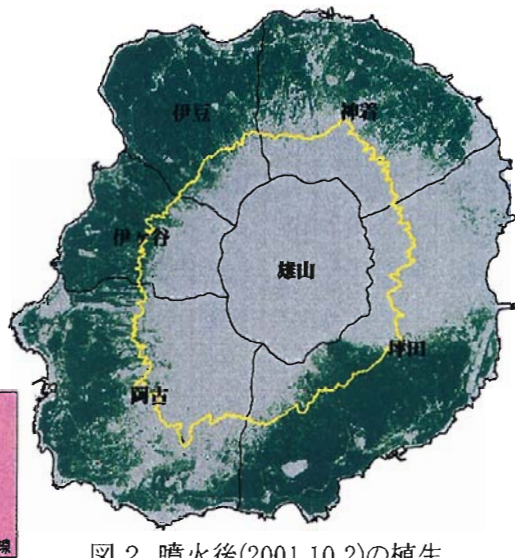


図2 噴火後(2001.10.2)の植生

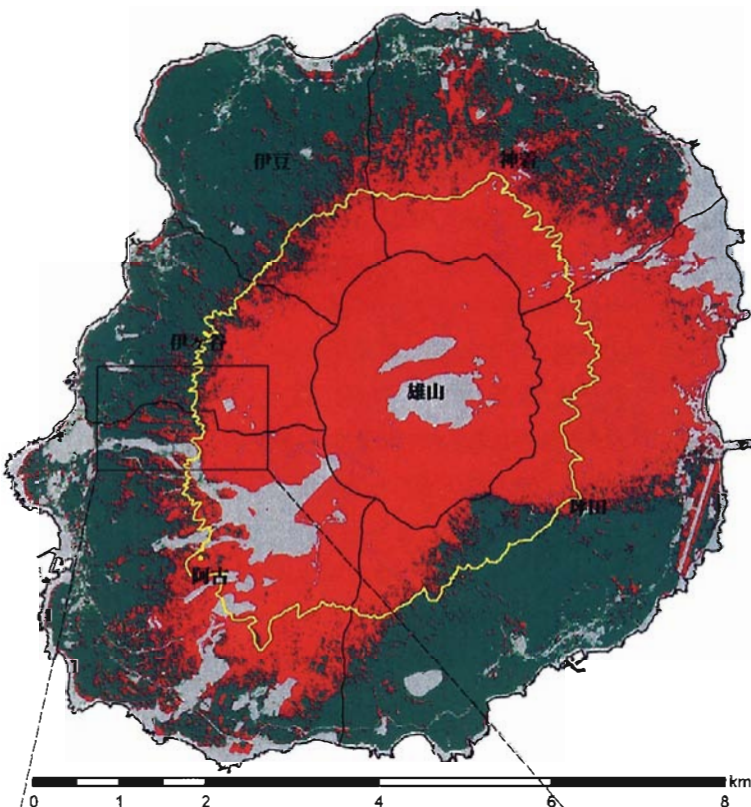


図3 噴火前後の植生区域の比較

表2 噴火前(1999年12月時点)の区域別面積

区分	区域	面積(ha)	面積率(%)	面積率(%)
植生	森林(立木地および植生区域)	4,370	92	86
	樹林地(農業系)	25	0	
	畑(温室含む)	180	4	
	採草放牧地	109	2	
	その他(市街地、空港施設内等)	77	2	
	(植生計)	4,761	100	
非植生	水面・河川	13	2	14
	原野・市街地等	761	98	
	(非植生計)	774	100	
全島	計	5,535		100

表3 噴火後(2001年10月時点)の区域別面積

区分	区域	面積(ha)	増減率(%)	面積率(%)
植生	森林(立木地および植生区域)	1,911	-56	39
	樹林地(農業系)	20	-19	
	畑(温室含む)	146	-19	
	採草放牧地	2	-98	
	その他(市街地、空港施設内等)	55	-29	
	(植生計)	2,134	(-55)	
	植生が失われた区域	2,627		47
非植生	水面・河川	13		14
	原野・市街地等	761		
	(非植生計)	3,401		
全島	計	5,535		100

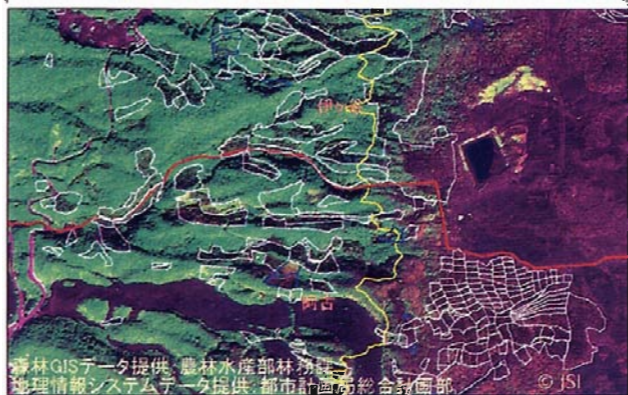
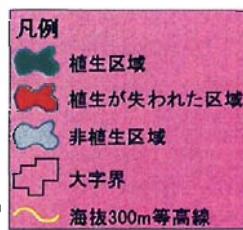


図4 スギ・ヒノキのGIS情報を重ねた衛星画像

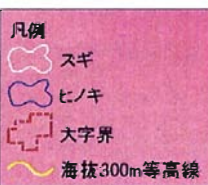


表4 森林GISデータ解析による針葉樹被害(2001.10現在)

	スギ	ヒノキ	クロマツ	計
被害面積(ha)	450	19	45	514
被害前全体面積(ha)	652	40	112	804
被害割合(%)	69	48	40	64
被害材積(m ³)	122,055	4,107	10,945	137,107
被害前全体材積(m ³)	178,836	8,242	27,316	214,394
被害割合(%)	68	50	40	64

植生面積の92%を占めていた森林が2,459ha減(56%減)と激しい被害を受けたことが判った。

3.3 スギ・ヒノキ等針葉樹林の被害

近赤外線による植生の反射を緑色で強調表示したIKONOS画像に森林GISのスギ等の分布データを重ねて表示した一部(伊ヶ谷から阿古にかけての部分)を図4に示した。特に、スギ、ヒノキ等針葉樹林は海拔高度に関係なく選択的に被害を受けていた。表4に示したとおり、2001年10月時点で噴火前の64%が「失われた」ことが判った。

3.4 3次元鳥瞰画像

噴火前後の3次元鳥瞰画像を図5,6に示した。森林等の植生が、かなり激しい被害を受けている状況が被害前の画像との比較によって分かりやすく、インパクトを持って表現された。

3000年ぶりに崩落し、降灰の厚い噴火口付近の植生被害や南西の阿古側で、黄色で示した雄山中腹の海拔高度300mより高い部分の植生がほぼ全滅である状況、阿古から大路池の間は海拔高度のかなり低い所まで植生被害が広がっている状況、林道雄山環状線沿や中腹より下にも濃い茶色で示された「失われた」スギ・ヒノキ等造林地等が判りやすく画像化することができた。

利用ニーズの高い(加藤2001a)この鳥瞰画像を先に現場の資料として、行政機関にポスター大に印刷して提出したが、治山、林道、農業用ダム等災害復旧担当のみならず、各方面で大変好評を得た。このような資料は現場支援のため、災害時においてできるだけ早く現場へ提供することが望まれている(加藤2001b)。

3.5 植生被害の推移

噴火前後の画像と併せて、噴火後の植生区域の画像を図7に、海拔高度別の植生面積の推移を図8に示した。植生被害の特徴から3段階に分けて考えた。

まず、噴火が始まった2000年7月から2ヶ月程の森林等植生被害の特徴は、山頂陥没および大

量の火山灰、雨による土石流による物理的な力によるすさまじい破壊であった。3,300万トンもの島の全域の降灰(東大地震研究所2001)により、火口周辺から中腹にかけては、植生が物理的に埋没し、雄山中腹では、自身の重みと降雨で重さの増した灰により、スギ等造林地で、樹冠の欠落や幹折れなど大きな被害があった。また、雨による土石流により、森林破壊、林木の流出、泥流による埋没、幹折れや環状剥皮、葉の褐色化の林木被害が起こった(東京都三宅支庁2000)。図8のとおり、植生の物理的な埋没や破壊、落葉等によって、9月の島民避難時には海拔300m以上では、植生1,700haのうち96%が「失われ」、300m未満では植生3,100haのうち34%が「失われ」た。

次に、2001年6月頃までの特徴は、植生の回復である。この間降灰量は殆ど無視できる量であった(東大地震研究所2001)ため、降水で葉の表面の灰が洗い流されたことも考えられる。一方、冬季に三宅島特有の西風で火山ガスによって、東部から南部に常緑広葉樹の落葉や針葉樹の褐色化が見られた(東京都2001a)。しかし、図8のとおり、4月時点で海拔300m未満では噴火前の9割まで、300m以上450m未満でも4割程度まで回復した。6月までに地獄谷におけるイタドリや雄山環状林道における広葉樹の樹冠の展葉等の植生回復および中腹以上での枝先に葉が少ない状態で木の幹から直接葉が吹く胴吹き現象が報告されている(東京都2001b;2001c)。

そして、2001年10月までの特徴は、高濃度の火山ガスおよび寡雨による植生被害の再拡大である。図8のとおり、8月までに徐々に海拔高度の高い方から被害を受け、10月時点で海拔高度300m以上では噴火前の植生1,700haのうち93%が「失われ」、300m未満では植生3,100haのうち35%が「失われ」た。鹿児島県桜島では、 SO_2 濃度0.5ppm以上の継続時間が長いと果樹の急激な落葉が見られた(鹿児島県農業試験場、果樹試験1986)。三宅島では SO_2 放出量が桜島の約10倍となっており、三宅島空港で2月から3月および4月中旬、6月初旬、7月初旬と2ppmを超え、4月20

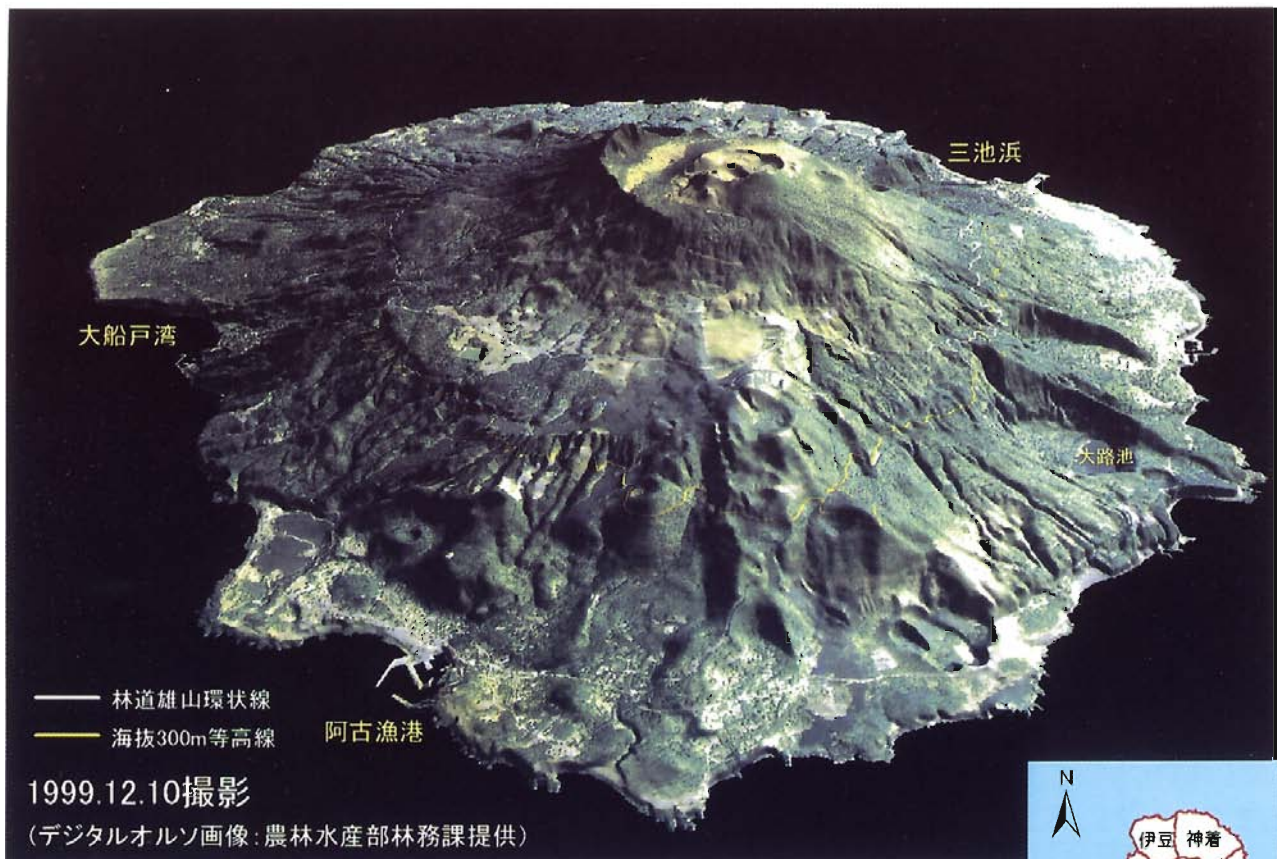


図5 噴火前の植生(オルソから作成した3次元鳥瞰図)

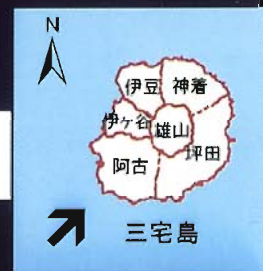


図6 噴火後の植生(IKONOSデータから作成した3次元鳥瞰図)

※本画像は高さ方向を2倍に強調している。 ※本画像作成に当たり、国土地理院長の承認を得て、同院の技術資料D-1-No. 377「三宅島等GIS用データ」を使用した。(国企企調発第497号 平成14年1月28日)

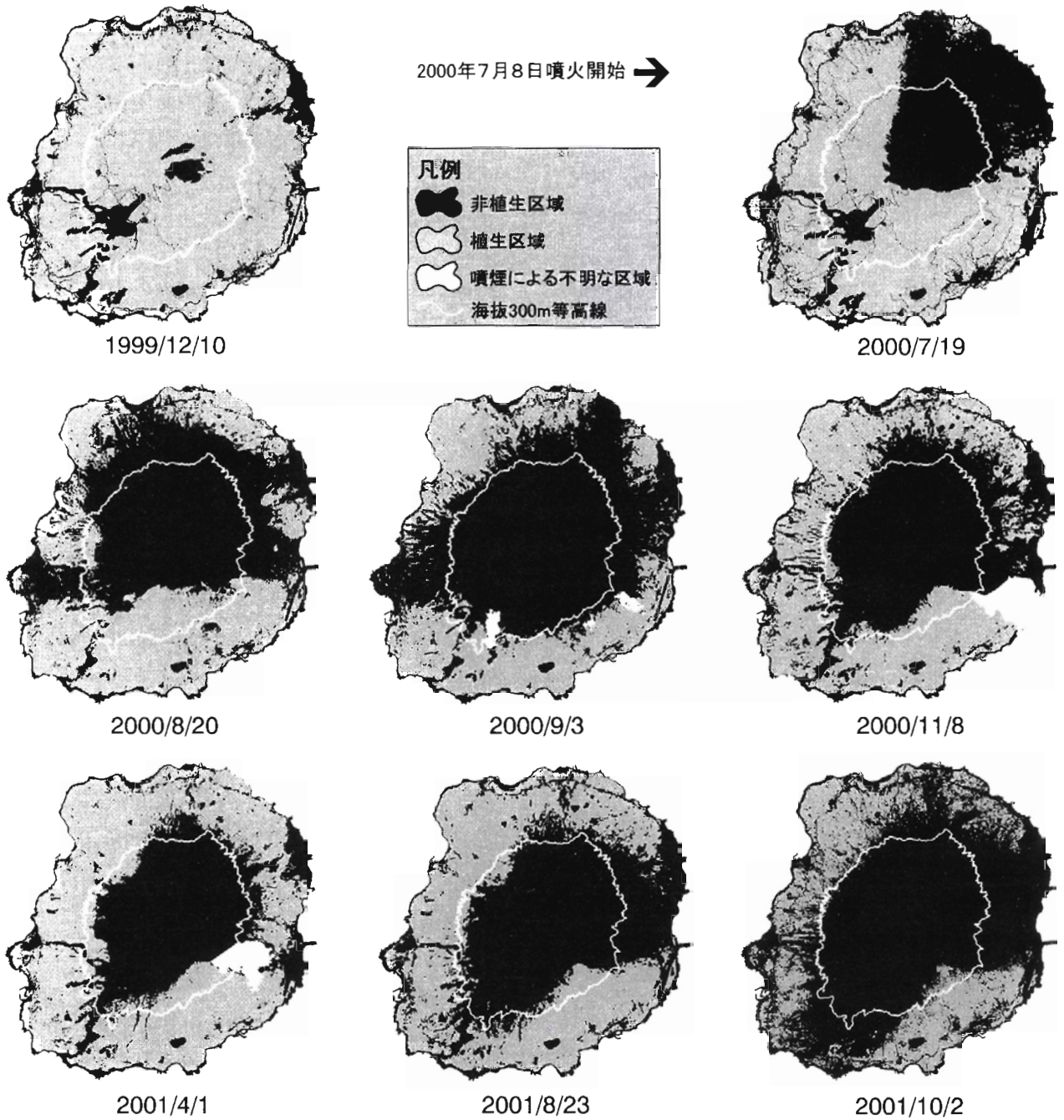


図7 噴火後の植生の推移

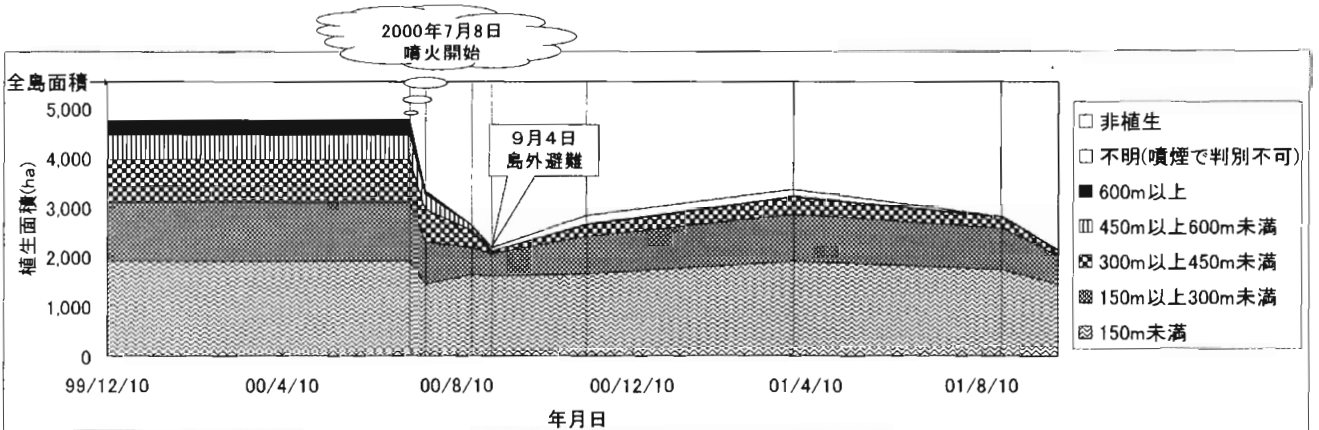


図8 噴火後の海拔高度別植生面積の推移

日には1時間値最高 15.2ppm にも達した。それに加え、6月下旬から8月中旬まで降雨が8回で 37.5mm(アメダスデータ)という寡雨であった。8月下旬から9月末までに 470mmと平年並みとなったが、9月は、それまでSO₂濃度が高くなかった阿古船客待合所等南部から北西部にかけて2ppmを超えるようになった(東京都 2001d)。寡雨とそれ以上に繰り返し降り注ぐ高濃度ガスによって被害が拡大し、耐えていた木本も枯死に至るものが多くなった。特に被害の拡大したスギ、クロマツ等の針葉樹は火山ガスへの抵抗性が弱かったものと考えられる。

4. おわりに

今回の噴火による被害は、人が三宅島に住み始めて以来の未曾有の規模であったといえる。植生回復のポイントとなる火山ガス(SO₂)の放出量は減少傾向であるが高い値を保持しており、風下では警戒が必要である(火山噴火予知連絡会 2002)。したがって、かろうじて生存していた木本類の枯死と白骨化した森林が堆積火山灰と共に土石流の発生源となることが懸念される。逃げ場のない地形である三宅島に住民が安全に暮らすためには、植生回復が必要不可欠となる。

今後、森林の復旧をすすめていく上で、モニタリングの継続と、行政機関や都民への情報提供が必要である。今回、現地調査に制約がある中で、高解像で、植生を判断しやすい近赤外線を含んだマルチバンド、日陰の影響を受けにくい 2048 階調の鮮明な画質である IKONOS 衛星データが、有用な情報源となることが確認できた。

謝辞

この報告書には、国土地理院長の承認を得て、同院の技術資料 D・1-No.377「三宅島等 GIS 用データ」を使用した。(承認番号 国地企調発第 497 号 平成 14 年 1 月 28 日)感謝申し上げます。また、噴火前のデジタルオルソデータ、IKONOS 衛星データおよび森林 GIS データ、三宅島噴火災害関連資料、現地情報をご提供いただき、現地調査

においても多大なるご協力をいただいた東京都産業労働局林務課並びに東京都三宅島支庁の方々、当场研究員で三宅島災害森林総合復旧対策委員の亀谷行雄氏に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 上條隆志 (2001) 三宅島 2000 年噴火が植生に与える影響. 植生情報第5号 : 9-12
- 日本リモートセンシング研究会(1992) 図解リモートセンシング : 18-19, (社)日本測量協会
- Jensen, J. R. (1986) Introductory digital image processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs : 379
- Tucker, C. J. (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 10 : 127-150
- 加藤正人 (2001a) IRSデータによる森林現況の把握. 日林誌 83 (3) : 211-219
- 加藤正人 (2001b) 衛星データの実利用を目指した西興部村森林火災のモニタリング. 日本リモートセンシング学会誌 21 (4) : 377-387
- 東大地震研究所 (2001) 2000 年 7 月～8 月に堆積した火山灰について. (2001 年 10 月 22 日版)
- 東京都三宅支庁土木課、アジア航測(株) (2000) 三宅島 2000 年噴火降灰量調査 : 1-107
- 東京都 (2001a) 三宅島自然環境調査結果について. 東京都災害対策本部の対応等(第 277 報)
- 東京都 (2001b) 三宅島動植物現況調査報告. 東京都災害対策本部の対応等(第 307 報)
- 東京都 (2001c) 三宅島噴火災害森林総合復旧対策委員会 第3回検討資料 : 1-71
- 東京都 (2001d) 三宅島の雄山噴火に伴う高濃度ガス連続自動測定結果について. 東京都災害対策本部の対応等(第 322, 328, 338 報)
- 火山噴火予知連絡会 (2002) 三宅島の火山活動に関する火山噴火予知連絡会統一見解 (2.1)
- 鹿児島県農業試験場・果樹試験場 (1986) 桜島火山ガスが農作物に及ぼす影響に関する調査研究

Quantitative analysis of vegetation damage by eruption of Mt. Oyama of Miyake Island using satellite data

NISHIZAWA Atsuhiko

Tokyo Metro. For. Exp. Sta.

Abstract : In order to determine the vegetation damage due to eruption of Mt. Oyama of Miyake Island in Tokyo, since 8 July 2000, the characteristics of the damages was investigated with the analysis of satellite imagery. Digital ortho data made from aerial photograph taken on December 1999 (before the eruption) and satellite data recorded from July 2000 to October 2001 (after the eruption) were analyzed to estimate the changes of vegetation area. Before the eruption, vegetation area was 4,761ha, 86% of whole area on this island. After the eruption, 2,627ha, 55% of the vegetation area was lost because of the effects related with the eruption, such as being buried by ash, outflow of ash, fallen leaves and tree death. For about two months after 8 July 2000, debris-avalanche consisting of volcanic ash and rain water damaged the vegetation severely. As regards altitude of vegetation, 96% area of the vegetation of 1,700ha at height of 300m or more and 34% of 3,100ha located in lower area than 300m were lost. But the vegetation has been restored in 40% of area at height of more than 300m by June 2001. Since then, however, damage of vegetation expanded again, and had been the damage would be caused by high concentration of volcanic gas. The vegetation lost by 93% in the area of higher than 300m, and 35% of vegetation in 3,100ha was withered at height of less than 300m until October 2001.

Key words : Miyake Island, volcanic eruption, vegetation, remote sensing, satellite data