

## 三宅島2000年噴火後のユノミネシダの分布拡大

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上條, 隆志, 清原, 諭高, 松田, 深雪, 加藤, 拓, 星野, 義延, 樋口, 広芳 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/48827">http://hdl.handle.net/2297/48827</a>

## 上條隆志<sup>1</sup>・清原諭高<sup>2</sup>・松田深雪<sup>3</sup>・加藤 拓<sup>1</sup>・星野義延<sup>4</sup>・樋口広芳<sup>5</sup>： 三宅島 2000 年噴火後のユノミネシダの分布拡大

<sup>1</sup>〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学生命環境科学研究科；<sup>2</sup>〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学環境科学研究科；<sup>3</sup>〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学生物資源学類；<sup>4</sup>〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8 東京農工大学農学部；<sup>5</sup>〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学農学生命科学研究科

Takashi Kamijo<sup>1</sup>, Yutaka Kiyohara<sup>2</sup>, Miyuki Matsuda<sup>3</sup>, Taku Kato<sup>1</sup>, Yoshinobu Hoshino<sup>4</sup> and Hiroyoshi Higuchi<sup>5</sup> : Rapid expansion of distribution of Bat's-wing Fern, *Histiopteris incisa* after the 2000-year eruption on Miyake-jima Island, Japan

<sup>1</sup>Graduate School of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan ; <sup>2</sup>Master's Program in Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan ; <sup>3</sup>College of Agrobiological Resources, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan ; <sup>4</sup>Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho 3-5-8, Huchu, Tokyo 183-8509, Japan ; <sup>5</sup>School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Tokyo 113-8657, Japan

### はじめに

伊豆諸島の三宅島は、2000年7月から8月にかけて大噴火し、大量の火山灰を放出した(中田他2001)。火山灰の放出は2000年以降、ほぼ終息しているが、二酸化硫黄を中心とする火山ガスの放出は現在も続いている。これら一連の噴火活動により島の植生は多大な影響を受け(Kamijo and Hashiba 2003; 山西他2003)、森林の約60%にあたる2,500 haが被害を受けた(三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会2004)。その被害の要因としては、火山灰の堆積、火山ガス、泥流の発生(阿部・大倉2000)、二酸化硫黄ガスによる火山灰や埋没土壌の酸性化(加藤他2002)などが挙げられる。噴火後4年以上経過し、当初被害を受けた植物の一部については、胴吹き(完全に落葉した樹木の幹から直接シュートが出る)ことや埋没株から再生するなどの回復がみられたが、その後の火山ガス放出は植生回復に悪影響を与え続けている(Kamijo and Hashiba 2003)。その一方で、火山ガスの影響を受ける地域においてもハチジョウススキ(*Miscanthus condensatus* Hack.), オオシマカンズゲ(*Carex oshimensis* Nakai), ユノミネシダ(*Histiopteris incisa* (Thunb.) J.Sm.)などの一部の種は増加傾向

を示すようになった(Kamijo and Hashiba 2003; 上條2003)。その中で最も顕著な種はユノミネシダであり、噴火後の出現について可知(2003)が報告している。

ユノミネシダは、多年生の常緑シダであり、熱帯から亜熱帯にかけて広域的に分布する(岩槻1992)。日本では、伊豆半島、紀伊半島、伊豆諸島、九州、琉球、小笠原に分布し(岩槻1992; 伊藤1979)、近年、四国でも生育が確認された(迫田2002)。伊豆諸島では、三宅島と八丈島で分布記録がある(伊藤1979)。三宅島の採集記録は1935年(常谷1935; 伊藤1979)であり、本種の新産地(常谷1936)とされていた。採集を行った林(1937)は、数年間の採集期間に本種を一株しか確認しなかったとしている。また、本田他(1958)による1956年の調査記録(フロラリストのみ)にもリストアップされている。

本種は三宅島ではほとんど観察されなかったシダ植物であり、2000年噴火後に急速に増加したものと推定されるが、その具体的な増加様式については示されていない。そこで本研究では、三宅島におけるユノミネシダの噴火後の出現・増加様式を明確にするために、著者の上條と星野が噴火前に行った植

生調査資料と噴火後の調査資料をもとに本種の出現状況の比較を行う。

### 調査地域

三宅島は東京の南約180 kmの相模湾南方海上にあり,その中心が北緯 $34^{\circ}04'37''$ ,東経 $139^{\circ}31'34''$ に位置する玄武岩質の火山島である (Fig. 1)。三宅島測候所 (標高36.2 m) によると,年平均気温 $17.4^{\circ}\text{C}$ ,最寒月の平均気温は $9.2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量は2,872 mmである。島の面積は $55.4\text{ km}^2$ であり,最高点は雄山の775 mである。

2000年噴火前にも三宅島は,1874年,1940年,1962年,1983年に噴火しているが,いずれも溶岩の流出を伴う割れ目噴火であり (宮崎1984;中田他2001),カルデラの形成を伴った2000年噴火は,これまでのおよそ1,000年間の噴火 (割れ目噴火)とは様式が全く異なるタイプのものであった。火山灰の化学成分は,これまでと同じく玄武岩質であるが,粘土分を多く含む (加藤他2002) などその性質は大きく異なる。また,今回の噴火の特徴である二酸化硫黄については,2000年噴火から約半年間の放出量が日平均で48,000 tonにまで達し (風早

他2001),2005年現在も日平均2,300 tonから5,800 tonが山頂火口から放出されている (気象庁ホームページ [http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/320\\_Miyakejima/320\\_index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/320_Miyakejima/320_index.html),2005年2月2日閲覧)。三宅島の卓越風は西風または北東風であり,ガス被害は風下となる東部と南西部で強くなる。Figure 2には,三宅村ホームページの「二酸化硫黄濃度の目安に照らした各観測点の状況」 (<http://www.miyakemura.com/kansoku/kansoku.htm>,2005年1月31日閲覧)を基に作成した,各二酸化硫黄ガス濃度測定地点における平均ガス濃度と,火山灰の放出が顕著であった2000年7月から8月の間に堆積した火山灰堆積深 (東京大学地震研究所マグマプロセス物質科学研究グループホームページ「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)」 [http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/nakada/1022\\_dep.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/nakada/1022_dep.html),2005年1月31日閲覧)が示されている。これを見ると,ガス濃度は島の東部と南西部で高く,特に東部の値が高いことがわかる。

噴火前の三宅島の植生は,スダジイ-オオシマカンシゲ群集などの常緑広葉樹自然林,シイ萌芽林,

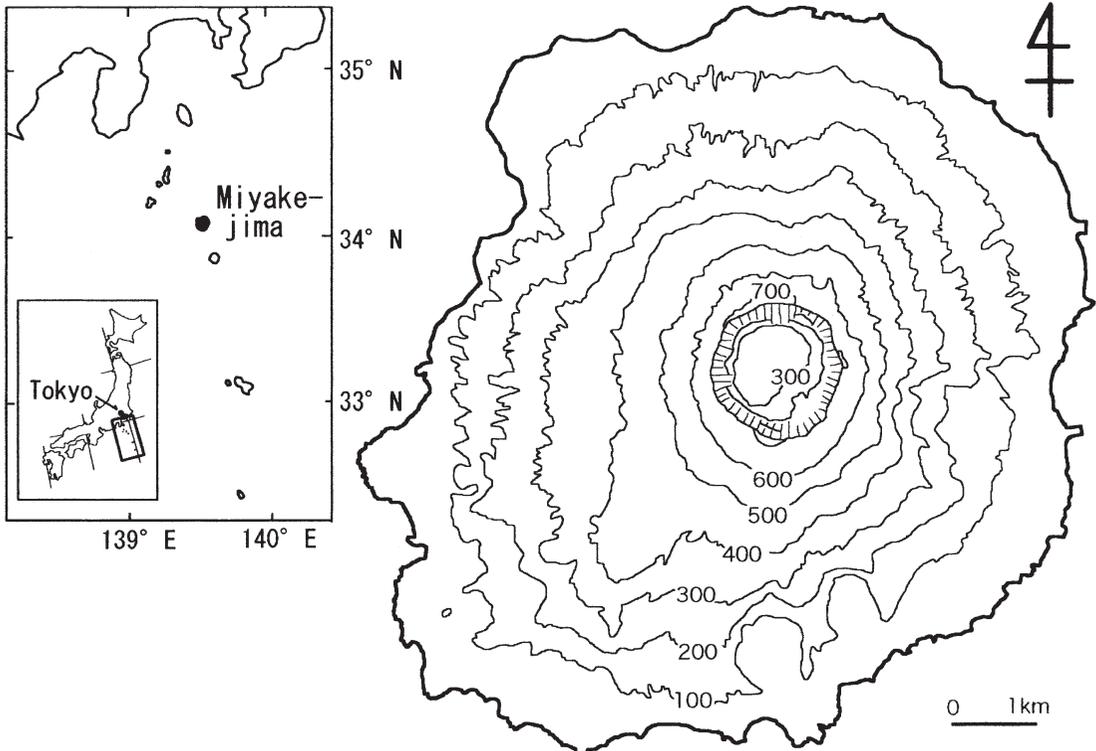


Fig. 1. A map of Miyake-jima Island. Contourlines at 100 m intervals.

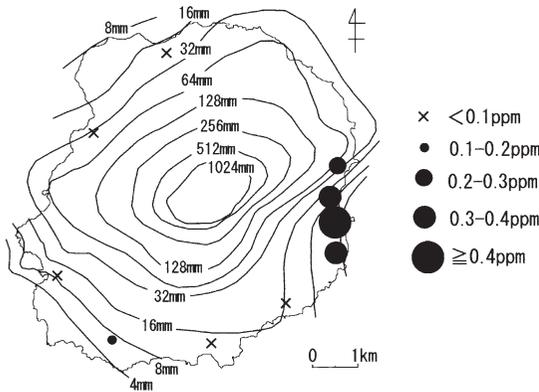


Fig. 2. Concentration of sulfur dioxide gas (ppm) in each of the 10 observatories and volcanic ash deposition (mm) from July to August 2000 on Miyakejima Islands according to the data of Miyake Village and Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, respectively.

オオシマザクラ・オオバエゴノキ群集などの落葉広葉樹二次林、ヤマグルマ・ユズリハ群集などの自然低木林、スギ・ヒノキ植林が、標高、過去の噴火、人為的作用に応じてモザイク状に分布していた（奥富他 1988）。2000 年噴火とその後の火山ガス放出により、これらの植物群落はいずれも大きな影響を受けた。被害は火口のある山頂部に近いほど著しいが、風下となる地域では低地部でも被害が著しい（山西他 2003）。最も被害が著しい地域では完全に裸地化しており、火口から離れた地域でも高木層の植被率の低下などの森林被害が生じた（Kamijo and Hashiba 2003）。

## 方法

### 1. 2000 年噴火後の現地調査

完全に樹木が立ち枯れた森林から、全く被害を受けていない森林まで、被害段階の異なる森林群落を対象として、2002 年と 2003 年に植物社会学的調査方法（Braun-Blanquet 1964）に基づく植生調査を行った。調査地点数は 2002 年が 60 地点、2003 年が 135 地点であった。これらのデータを元に、ユノミネシダの出現地点図を作成した。

2004 年には、島内の移動可能な道路や林道をセンサスし、ユノミネシダの群生地を地図上に記録した。

### 2. 噴火前植生調査資料の解析

噴火前の調査資料は、1988 年から 2000 年 6 月までの間に得られた 170 地点の植生調査資料であ

り、自然林、二次林、自然低木林が主な調査対象となっている。これらの資料を基にユノミネシダの出現の有無を検討した。なお、噴火前の調査資料には植林地は含まれていないが、2002 年調査地点にはスギ・ヒノキ植林 6 地点が含まれ、2003 年調査地点にはスギ・ヒノキ植林 17 地点とヤブツバキ植林 1 地点が含まれている。

## 結果

噴火前、噴火後 2 年、噴火後 3 年のユノミネシダの出現状況を Fig. 3 に示した。噴火後 2 年と噴火後 3 年の図には、衛星画像データに基づいて作成された被害地域（山西他 2003）の外縁を示しているにもかかわらず、噴火前の 170 地点の植生調査資料には、ユノミネシダは全く出現しなかった。噴火後の 2002 年になると、島の東部の噴火前はタブノキ林であった 2 地点でユノミネシダが出現した。なお、可知（2003）の 2002 年の生育確認地点も島の北東部であり、位置的に近い。調査地点数そのものが増加するため単純には比較できないが、2003 年調査では確認地点数が増加し、18 地点でユノミネシダが出現した。特に、東部などの被害の著しい地域での生育確認が多くなっており、大部分の生育確認地点が被害地域内にあった。

Table 1 には 2003 年調査でユノミネシダの生育が確認された 18 地点について、主要構成種の階層別の優占度、各階層の高さ、植被率などが示されている。大部分の地点では高木層の植被率が著しく低く、高木層の植被を全く欠いている調査地点が 6 地点含まれていた。また、高木層の植被率は最大でも 40% に過ぎなかった。これらの調査地は 2000 年噴火前には林冠層の閉じた高木林に覆われており、噴火被害により植被率が低下したものである。総出現種数も少ない地点が多く、10 種にも満たない調査地点が 3 地点含まれていた。また、ハチジョウススキヤハチジョウイタドリ (*Reynoutria japonica* Houtt. f. *terminaris* Honda) などが高常在度で出現していた。これらの種は本来森林内に生育しない種であり、噴火後に出現したものである。

2004 年におけるユノミネシダの群生地は、ガス濃度が高い島の東部 (Fig. 2) にみられた (Figs. 3,4)。Figure 4 の右の写真は、島の東部にみられる群生地を撮影した写真であり、枯死したスギ植林の林床をユノミネシダが密に覆っている。

## 考察

### 1. ユノミネシダの増加

噴火前の調査地点が全域に分布しているにもかか

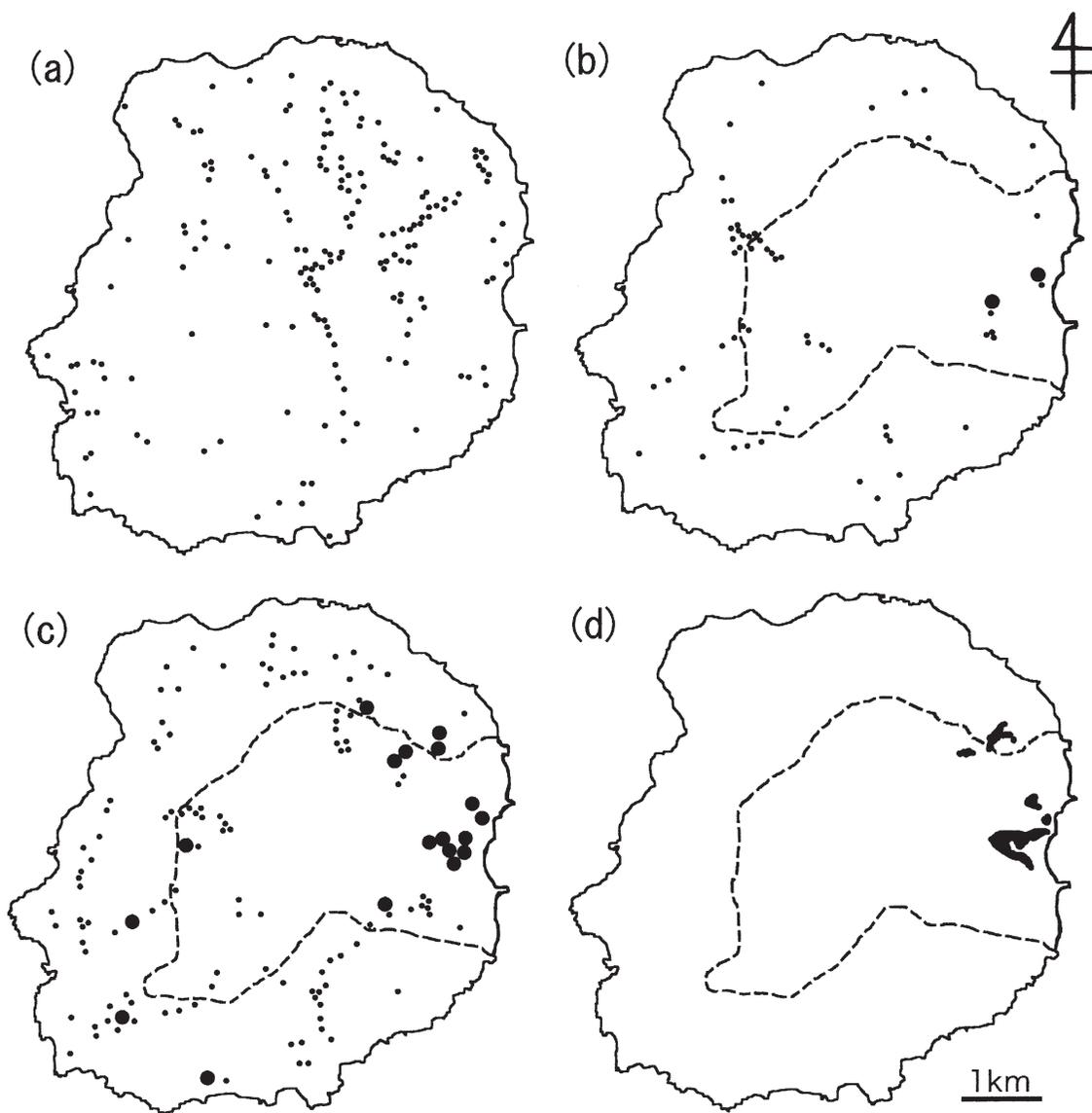


Fig. 3. Distributions of *Histiopteris incisa* on Miyake-jima Islands : (a) before the eruption, (b) in 2002, (c) in 2003 and (d) dense cover of *H. incisa* (painted area) in 2004. Smaller dots indicate stands without *H. incisa*, and larger ones indicate stands with *H. incisa*. Broken line indicates the damaged area of vegetation according to Yamanishi et al. (2003).

わずユノミネシダの生育が確認されなかった (Fig. 3)。この噴火以前の調査地点には、植林地、林縁、のり面などのデータが含まれていないため、このような調査対象外のハピタットに本種が生育していた可能性はあるものの、本種は噴火後に明らかに増加したことは間違いない。また、その増加傾向は現在も続いているものと考えられる。

微小なシダ植物の胞子は風散布により広域的に散

布されるとともに、休眠性があることが知られている (Lloyd and Klekowski 1970 ; 三井 1982)。また、土壌中に発芽可能な胞子集団を形成することも報告されている (Ranal 2003)。過去の分布記録 (常谷 1935 ; 伊藤 1979) があることから、ユノミネシダの生育地が噴火直前にも存在していた可能性は高いが、三宅島外からの胞子の散布、休眠した胞子や根茎からの出現の可能性も否定できない。しかし、

Table 1. Species composition and site discription of 18 stands including *Histiopteris incisa* after the 2000-year eruption on Miyake-jima Island

Species occurring more than 5 times are shown. Values are Braun-Blanquet cover-abundance values. DF, Deciduous broad-leaved forest ; EF, Evergreen broad-leaved forest ; PL, *Cryptomeria japonica* plantation. T 1, upper tree layer ; T 2, Lower tree layer ; S, Shrub layer ; H, Herb layer.

Running No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Stand No.		3MI6	3MI15	3MI14	3TS17	3AK12	3N1	3SI8	3SI7	3SI4	3SI1	3SM1	3HY1	3IG16	3MI7	3MI5	3MI8	3MI9	3MI10
Date		2003/6/26	2003/9/18	2003/7/28	2003/7/27	2003/7/27	2003/7/25	2003/9/18	2003/9/18	2003/6/27	2003/6/27	2003/6/25	2003/6/29	2003/9/17	2003/6/26	2003/6/26	2003/6/26	2003/6/28	2003/6/28
Area (m <sup>2</sup> )		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Community type before the eruption		DF	DF	DF	DF	DF	DF	EF	PL	PL	PL	PL	PL						
Altitude (m)		30	60	60	390	170	320	100	150	200	230	245	40	410	40	60	80	160	170
Inclination (°)		3	21	6	37	18	45	17	16	37	23	5	22	3	4	19	27	28	30
Exposure		S30W	N15E	E	S80W	N40W	S30W	N60E	N80E	N15W	S50E	N80E	S20W	S20W	S10E	S40W	N20E	S90	S40W
Depth of ash (cm)				4	1.5	2			15		16		4	22	7				
Hight of upper tree layer (m)		14	10		8	9	12	12	13			10	10	10	10			9	
Cover of upper tree layer (%)		0.5	3		1	1	5	0.5	0.5			1	40	0.5	0.1			0.1	
Hight of lowertree layer (m)		6	6	6	5	6	6	6	8			5	7	5	7			6	
Cover of lower tree layer (%)		1	5	5	3	1	10	1	1	3		2	30	3	0.1			0.1	
Hight of shrub layer (m)		2	2.5	2.5	2	2.5	2.5	2	2	2.5	2	2.5	2	2	3.5	2.5	2.5	2	
Cover of shrub layer (%)		1	10	5	5	2	10	3	3	4	0.1	10	20	3	1	1	0.5	0.1	
Hight of herb layer (m)		0.5	1	0.4	0.5	0.7	1	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	1	0.7	0.8	0.8	0.3	0.5
Cover of herb layer (%)		2	30	30	25	30	100	30	30	20	1	45	20	60	5	10	6	1.5	15
No. of species		10	20	20	18	20	28	23	18	17	18	22	30	28	15	8	7	10	7
<i>Histiopteris incisa</i>	ユノミネシダ	H	+	2	+	2	+	+	2	2	+	+	1	+	1	2	2	+	1
<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	T2	.	1	1	.	.	1	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.
		S	+	1	1	+	+	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		H	+	+	+	+	+	1	1	.	1	.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ficus erecta</i>	イヌビワ	T2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
		S	.	+	.	+	.	.	.	+	.	+	+	+	+	+	+	.	.
		H	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Machilus thunbergii</i>	タブノキ	T1	+	1	.	+	.	1	+	+	.	.	+	+	.	.	.	+	.
		T2	.	+	+	.	1	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		S	.	.	.	.	+	+	.	1	+	1	+	.	.	.	.	.	.
		H	+	1	+	+	.	.	+	.	1	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Carex oshimensis</i>	オオシマカンスゲ	H	+	.	+	+	5	.	+	+	+	3	+	2	2	2	+	1	1
<i>Miscanthus condensatus</i>	ハチジョウススキ	H	.	+	.	+	+	1	2	.	+	+	2	3	1	.	.	.	.
<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	T2	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.
		S	+	.	.	+	.	+	.	+	.	2	.	.	+	1	.	.	.
		H	.	.	+	.	1	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Smilax china</i>	サルトリイバラ	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
		H	+	.	+	+	.	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	+
<i>Dryopteris</i> sp.	ベニシダ sp.	H	.	1	.	+	1	1	.	+	+	+	+	+	.	.	.	.	+
<i>Alnus sieboldiana</i>	オオバヤシャブシ	T1	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
		T2	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
		H	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	テイカカズラ	H	.	1	2	.	2	.	+	+	+	+	1	+	.	.	.	.	.
<i>Neolitsea sericea</i>	シロダモ	S	.	+	.	.	1	1	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+
		H	.	+	+	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+
<i>Prunus speciosa</i>	オオシマザクラ	T1	.	+	.	+	+	+	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.
		H	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Rubus trifidus</i>	カジイチゴ	H	.	.	.	.	+	+	1	+	.	.	.	.	+	+	+	+	+
<i>Castanopsis sieboldii</i>	スタジイ	T1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
		T2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		S	.	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		H	.	+	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Reynoutria japonica</i> f. <i>terminaris</i>	ハチジョウイタドリ	H	.	+	.	.	.	.	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Daphniphyllum teijsmannii</i>	ヒメズリハ	T1	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		S	.	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
		H	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Piper kadzura</i>	フウトウカズラ	T2	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		H	.	1	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hydrangea macrophylla</i> f. <i>normalis</i>	ガクアジサイ	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		H	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.
<i>Vitis thunbergii</i> v. <i>izu-insularis</i>	シチトウエビヅル	H	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.
<i>Ligustrum ovalifolium</i> v. <i>pacificum</i>	ハチジョウイボタ	T2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.
		S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.
		H	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Rest is omitted.

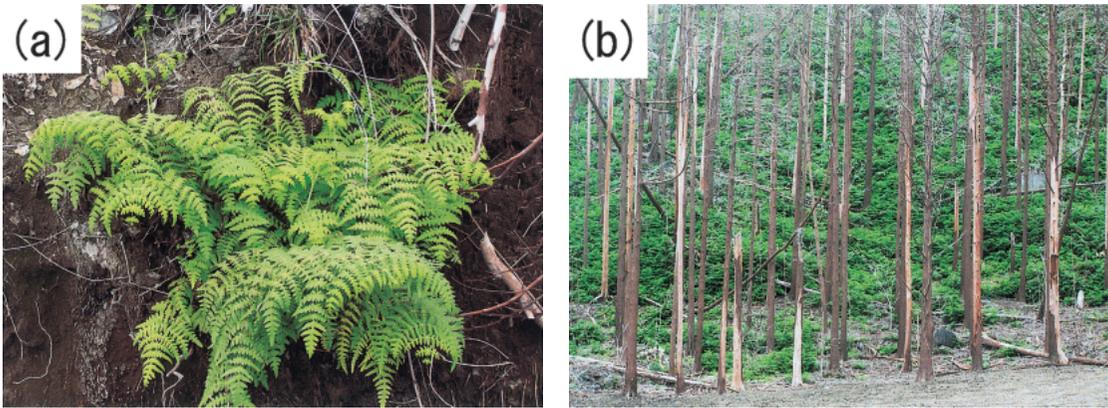


Fig. 4. (a) A photograph of *Histiopteris incisa* (Shimashita, Miyake-jima Island, 26. Jun. 2003). (b) Dense cover of *H. incisa* under standing dead trees of *Cryptomeria japonica* planted (Miike, Miyake-jima Island, 3. Dec. 2004),

胞子の休眠性を含めた本種の生態に関する情報は少なく、胞子の休眠性等は不明である。また、栄養繁殖の面からみると、本種は根茎を著しく発達させること(伊藤 1979)から、根茎による栄養繁殖が群生地形成に関係していると考えられる。

## 2. ユノミネシダの分布と二酸化硫黄

ユノミネシダの確認地点である島の東部は、火山灰の堆積深が浅く、火山灰の影響は少なかった地域である (Fig. 2)。このことは、島の東部に偏った本種の分布には、火山灰堆積の影響よりも二酸化硫黄を中心とする火山ガスの影響が強いことを示している。また、ユノミネシダの生育地は植生被害が著しいことから (Table 1)、他の多くの植物に比べ、二酸化硫黄やそれに起因する土壌 pH の低下などに対して耐性が高いと考えられる。その一方で、噴火による林冠層の疎開は、草本である本種の生育にとっては光条件の好転化としてプラスに働き、その分布拡大に関係したものと考えられる。本種の分布拡大過程をより深く理解するには、今後、現地での根茎の発達様式や前葉体の調査が必要である。

二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  は植物にとって最も有害な大気汚染物質の一つとされる。気孔やクチクラ層を通過して吸収された二酸化硫黄の濃度が葉緑体内で上昇すると、RuBP カルボキシラーゼの  $\text{CO}_2$  結合部位を  $\text{SO}_2$  が占め、その結果、光合成が阻害される (Larcher 2003)。二酸化硫黄に対する耐性は植物種によって異なり、三宅島と同じく火山島であるハワイ島では、火口近くに生育する *Meterosideros colina* var. *macrophylla* Rock は二酸化硫黄に対する耐性が強いことが報告されている (Winner and

Mooney 1985)。国内における二酸化硫黄ガス耐性に関する研究例には、イタドリ (Natori and Tot-suka 1988)、リョウブとミズナラ (Ikeda et al. 1992) などがある。Ikeda et al. (1992) による二酸化硫黄の曝露実験によれば、栃木県足尾町の二酸化硫黄の煙害地で優占するリョウブはミズナラに比べ、高い耐性を持つことが示されており、0.3 ppm の二酸化硫黄の 1 ヶ月曝露によってミズナラは純光合成速度などが著しく低下するのに対して、リョウブはほとんど低下しない。ユノミネシダの二酸化硫黄耐性については研究例がなく、今後、本種の二酸化硫黄耐性を含めた生理生態学的研究が必要である。

## 謝 辞

本研究の実施に当たっては、東京都三宅支庁、東京都環境局、三宅村、森林総合研究所、日本動物学会の協力を受けた。現地調査は 4 年半に及ぶ全島民避難の間に行われたため、これら機関の協力なしには調査はできなかった。また、本研究の一部は自然保護助成基金、文部科学賞科学研究費補助金 (No.13440229) によりなされた。筑波大学生命環境科学研究科の中村 徹教授には助言を頂いた。同学育林学研究室の学生諸氏には現地調査を手伝って頂いた。この場を借りて御礼申し上げる。最後に、2005 年 2 月 1 日に三宅島の避難解除がなされたことをお祝い申し上げたい。

## 引用文献

阿部和時・大倉陽一. 2000. 三宅島火山災害緊急調査報告. 治山 45: 4-8.

- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziozoologie, 3 Aufl. 865 pp. Springer-Verlag, Wien.
- 林 憲. 1937. 伊豆三宅島の羊歯植物. 野草 **3**(3) : 1-6.
- 本田正次・野津良知・鈴木 泰. 1958. II 植物, 三宅島御蔵島植物調査報告. 東京都教育委員会(編). 東京都文化財調査報告書 **6**, 伊豆諸島文化財総合調査報告, 第1分冊, pp. 11-37. 東京都教育委員会, 東京.
- Ikeda, H., Natori, T., Totsuka, T. and Iwaki, H. 1992. High SO<sub>2</sub> resistance of *Clethra barbinervis* established in a smoke-polluted area of Ashio, Tochigi Prefecture, Japan. Ecol. Res. **7** : 363-370.
- 伊藤 洋. 1979. ユノミネシダ. 倉田 悟・中池敏之(編). 日本のシダ植物図鑑 **1**, pp. 118-121. 東京大学出版会, 東京.
- 岩槻邦男. 1992. 日本の野生植物 シダ. 311 pp., 196 pls. 平凡社, 東京.
- 常谷幸雄. 1935. 三宅島植物知見, 第二報, 豆南諸島植物調査予報 XII. 科学の農業 **16** : 80-86.
- 常谷幸雄. 1936. 二羊歯の産地. 植物研究雑誌 **12** : 76.
- 可知直毅. 2003. 三宅島 2000 年噴火による植物への影響. 地理 **48** : 31-37.
- 上條隆志. 2003. 噴火の現状と自然回復. 植生情報 (8) : 50-55.
- Kamijo, T. and Hashiba, K. 2003. Island ecosystem and vegetation dynamics before and after the 2000-year Eruption on Miyake-jima Island, Japan with implications for conservation of island's ecosystem. Global Environ. Res. **7** : 69-78.
- 加藤 拓・東 照雄・上條隆志・田村憲司. 2002. 三宅島 2000 年噴火火山灰試料の化学的および鉱物学的諸性質について. ペドロジスト **46** : 14-21.
- 風早康平・平林順一・森 博一・尾台正信・中堀康弘・野上健治・中田節也・篠原宏志・宇都浩三. 2001. 三宅島火山 2000 年噴火における火山ガス一火山灰の付着ガス成分および SO<sub>2</sub> 放出量から推測される脱ガス環境一. 地学雑誌 **110** : 271-279.
- Larcher, W. 2003. Physiological Plant Ecology, 4th ed. 513 pp. Springer Verlag, New York.
- Lloyd, R. M. and Klekowski, E. J. Jr. 1970. Spore germination and viability in pteridophyta: Evolutionary significance of chlorophyllous spores. Biotropica **2** : 129-137.
- 三井邦男. 1982. シダ植物の胞子. 206 pp. 豊饒書館, 東京.
- 三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会. 2004. 三宅島緑化ガイドライン. 17 pp. 三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会, 東京.
- 宮崎 務. 1984. 歴史時代における三宅島噴火の特徴. 火山第2集 **29** : 1-15.
- 中田節也・長井雅史・安田 敦・島野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・藤井敏嗣. 2001. 三宅島 2000 年噴火の経緯—山頂陥没口と噴出物の特徴—. 地学雑誌 **110** : 168-180.
- Natori, T. and Totsuka, T. 1988. Responses of dry weight growth under SO<sub>2</sub> stress in an SO<sub>2</sub>-tolerant plant, *Polygonum cuspidatum*. Ecol. Res. **3** : 1-8.
- 奥富 清・松下正俊・星野義延. 1988. 現存植生図, 神津島・三宅島・御蔵島. 1 pls. 環境庁, 東京.
- Ranal, M. A. 2003. Soil spore bank of ferns in a gallery forest of the ecological station of Panga, Uberlandia, MG, Brazil. Amer. Fern J. **93** : 97-115.
- 迫田昌宏. 2002. ユノミネシダの新産地. 分類 **2** : 75-76.
- Winner, W. E. and Mooney, H. A. 1985. Ecology of SO<sub>2</sub> resistance. V. Effects of SO<sub>2</sub> on native Hawaiian plants. Oecologia **66** : 387-393.
- 山西亜希・上條隆志・恒川篤志・樋口広芳. 2003. 衛星リモートセンシングによる伊豆諸島三宅島 2000 年噴火の植生被害の把握. ランドスケープ研究 **66** : 473-476.

(Received February 28, 2005 ; accepted June 28, 2005)