Rapid expansion of distribution of Bat's-wing Fern, Histiopteris incisa after the 2000—year eruption on Miyake-jima Island,Japan

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2017-10-03
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/48827

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

¹〒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;²〒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;³〒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;⁴〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8 東京農工大学農学部;⁵〒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 Kamijo¹, Yutaka Kiyohara², Miyuki Matsuda³, Taku Kato¹, Yoshinobu Hoshino⁴ and Hiroyoshi Higuchi⁵ : Rapid expansion of distribution of Bat's-wing Fern, *Histiopteris incisa* after the 2000–year eruption on Miyake-jima Island, Japan

¹Graduate School of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, Tennodai 1–1–1, Tsukuba, Ibaraki 305–8572, Japan ; ²Master's Program in Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1–1–1, Tsukuba, Ibaraki 305–8572, Japan ; ³College of Agrobiological Resources, University of Tsukuba, Tennodai 1–1–1, Tsukuba, Ibaraki 305–8572, Japan ; ⁴Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho 3–5–8, Huchu, Tokyo 183–8509, Japan ; ⁵School 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.),オオシマカンスゲ (Carex oshimensis Nakai), ユノミネシダ (Histiopteris in*cisa* (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°04′37″,東経 139°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℃,最寒月の平均気温は 9.2℃,年降水量は 2,872 mm である。島の面積は 55.4 km² 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部岩質である 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,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, 2005 年 1 月 31 日閲 覧)が示されている。これをみると、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,スダジイーオオシマカ ンス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.

オオシマザクラーオオバエゴノキ群集などの落葉広 葉樹二次林,ヤマグルマーユズリハ群集などの高葉広 葉樹二次林,ヤマグルマー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。これらのデーダを元に,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 ある。噴火前の植生調査地点は島内全域に分布して 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てなかった。 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 ススキや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).

わら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ビ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-leabed forest; EF, Evergreen broad-leaved forest; PL, *Cryptomeria japonica* plantation. T1, upper tree layer; T2, 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	3MI 15	3MI14	3TS17	3AK12	3N1	3SI8	3SI7	3SI4	3SI1	3SM1	3HY1	3IG16	3MI7	3MI5	3MI8	3MI9	3MI 10
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^{2}) Community type before the eruption Altitude (m) Inclination (°)			100 DF 30 3	100 DF 60 21	100 DF 60 6	100 DF 390 37	100 DF 170 18	100 DF 320 45	100 EF 100 17	100 EF 150 16	100 EF 200 37	100 EF 230 23	100 EF 245 5	100 EF 40 22	100 EF 410 3	100 PL 40 4	100 PL 60 19	100 PL 80 27	100 PL 160 28	100 PL 170 30
Exposure			S30W	N15E	E	S80W	N40W	S30W	N60E	N80E	N15W	S50E	N80E	S20W	S20W	S10E	S40W	N20E	\mathbf{S}	S40W
Depth of ash (cm) Hight of upper tree layer (m) Cover of upper tree layer (%) Hight of lowertree layer (%) Hight of shrub layer (m) Cover of shrub layer (%) Hight of herb layer (m) Cover of herb layer (%)			14 0.5 6 1 2 1 0.5 2	10 3 6 5 2.5 10 1 30	4 6 5 2.5 5 0.4 30	1.5 8 1 5 3 2 5 0.5 25	2 9 1 6 1 2.5 2 0.7 30	12 5 6 10 2.5 10 1 100	12 0.5 6 1 2 3 0.5 30	15 13 0.5 6 1 2 3 0.5 30	8 3 2.5 4 0.7 20	16 2 0.1 0.5 1	10 1 5 2 2.5 10 0.7 45	4 10 40 7 30 2 20 0.7 20	22 10 0.5 5 3 2 3 1 60	$7 \\ 10 \\ 0.1 \\ 7 \\ 0.1 \\ 3.5 \\ 1 \\ 0.7 \\ 5$	2.5 1 0.8 10	2.5 0.5 0.8 6	9 0.1 6 0.1 2 0.1 0.3 1.5	0.5 15
No. of species			10	20	20	18	20	28	23	18	17	18	22	30	28	15	8	7	10	7
Histiopteris incisa Camellia japonica	ユノミネシダ ヤブツバキ	H T 2 S	+ • +	2 1 1	+ 1 1	2 • +	+ .	+ 1 +	2 + 1	2 + 1	2 • 1	+	+ • +	1	+ • +	1	2	2	+ + +	1
Ficus erecta	イヌビワ	T 2 S H	+ · ·	+ + +	+ • •	+ +	+ + +	+ .	· ·	1 • +	+	· ·	+	+++++++	+ + +	+ · ·	+ • +	+ +	+	+ • •
Machilus thunbergii	タブノキ	T 1 T 2 S	+	1+	+	+	1	1 • +	+ + +	+	1 1	+	+ • 1	+ . +		+			+ •	
Carex oshimensis Miscanthus condensatus	オオシマカンスゲ ハチジョウススキ	H H H	++	1 • +	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+	5 +	+ . 1	+ + 2	+	1 + +	+ 3 +	+ + 2	+ 2 3	2 1	+ 2	+	1 +	+ 1
Eurya japonica	ヒサカキ	T 2 S	+	•	•	+ +	•		+++	- - -	+		1 2	- - -	1 +	+	1	•		
Smilax china	サルトリイバラ	H S H	+	•	+ • +	+	1 • •		+ • +	+	+	+ • +	+ · ·	+	+		+	•		+
Dryopteris sp. Alnus sieboldiana	ベニシダ sp. オオバヤシャブシ	Н Т 1 Т 2 Н		1	•	+ • +	1 1 •	1+		+	+	+	1	+	+	•			•	+
Trachelospermum asiaticum Neolitsea sericea	テイカカズラ シロダモ	н Н S Н		+ 1 + +	+ 2 · +	+	+ 2 1 +	+ 1 +	+ •	+ + .	+ •	+ • +	+ 1 +	+ •	+ + +	+ • •			+ • +	
Prunus speciosa	オオシマザクラ	T 1 H	•	+	•	+	+	+ +	• +	•	•		+ +	1 +			•	•	•	•
kuous trijiaus Castanopsis sieboldii	カンイナコ スダジイ	H T1 T2 S H		+	•		+	+	1 + +	+ · · +	+			+ 2 + . +	+	+	· · ·	•	+	
Reynoutria japonica f. terminaris Daphniphylum teijsmannii	ハチジョウイタドリ ヒメユズリハ	H T1 S		+ + + +		•			+	+ + +	+ + + +	+ .	+ .	+ + + +	+ .					
Piper kadzura	フウトウカズラ	Т2 Н	•	1	1	•	1	+ 1	т • •	- -	•	•	+ • •	+	•	•	•	•	•	•
Hydrangea macrophylla f. normalis	ガクアジサイ	$_{ m H}^{ m S}$		+	:	•	•	+		•				+	+	+	•	•		•
Vitis thunbergii v. izu-insularis Ligustrum ovalifolium v. pacificum	シチトウエビヅル ハチジョウイボタ	Н Т2 S н	+	• • •	+ • •	+ • •	+ • •						• + •	+ + +	+ • +	+ +				
		**																		

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 生地の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 SO₂ 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 CO₂ 結合部位 を SO₂ 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 collina 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 Totsuka 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 ベ、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. Pflanzensoziologie, 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 SO₂ resistance of *Clethra barbiner*vis 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 SO₂ 放出量から 推測される脱ガス環境一.地学雑誌 110:271279.

- 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―山項陥没口と 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 SO₂ stress in an SO₂tolerant 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 SO₂ resistance. V. Effects of SO₂ 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)