

原著論文

三宅島における園芸用パイプハウス部材の錆による 切り葉への傷害

沼尻勝人^{1a*}・小林和郎^{1b}・西村修一^{1c}・宮野 勉²

¹東京都島しょ農林水産総合センター

²日新製鋼(株)

摘 要

三宅島において切り葉用に生産されているコルジリーネに、原因不明の褐色不定形斑が葉に発生する現象がみとめられた。葉の傷害部位には白色結晶状の物質が付着しており、状況からパイプハウス部材の白錆が結露などに溶け込み、作物に落下したものと推定した。採取した結晶状物質を希釈し、作物葉に滴下処理したところ症状が再現された。結晶状物質には、通常の白錆成分には含まれない塩基性塩化亜鉛 ($Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$) および硫酸亜鉛 ($ZnSO_4$) が含まれており、それらの試薬を用いて再現試験を行ったところ、それぞれに褐色不定形斑が形成された。また、硫酸亜鉛では葉に結晶状物質が残った。三宅島における作物への褐色不定形斑は、海塩粒子の存在下で生成されやすい塩基性塩化亜鉛および火山ガスに起因する硫酸亜鉛が主要因であり、白錆が結露に溶け込み、作物体に付着することで発現した可能性が高い。

キーワード：火山ガス，二酸化硫黄，傷害，錆，三宅島

東京都農林総合研究センター研究報告 7: 79-88, 2012

緒 言

三宅島は、東京都の南約 180km に位置し、伊豆七島の中では伊豆大島と並んで活動的な火山島として知られている。最近では 2000 年に火山活動が始まり、同年 8 月には大規模な噴火や火砕流の発生がみられ、全島避難を余儀なくされた。この噴火では、火山弾や灰などの火山砕屑物に加えて、世界でも類を見ない量の火山ガスを噴出したことが特徴であり（風早ら，2001；木下ら，2003），その後の島民の帰島や居住を阻害する最大の要因となった。火山ガスの放出は、低下傾向にあるが現在でも 500～1000t/day で推移しており（気象庁，2011），山頂付近

は今なお立ち入り禁止区域となっている（三宅村，2010）。

火山ガスは、二酸化硫黄 (SO_2) を主成分とするガスであるため、人体のほかに植物や建築物にも影響を及ぼした。農業生産では、特産であったレザーリーフファーンやタマシダ等に壊滅的な被害を与え、引き続き火山ガスの放出により栽培は一層困難となった。また、農業用ハウスや機械は腐食が進み、老朽化した。そのため、島しょ農林水産総合センターでは農林総合研究センターと連携し、農作物に対する火山灰の影響や土壌の改良試験に噴火直後から取り組んだ（東京都，2003，2004）。2005 年の帰島開始後は、火山ガスの影響を受けにくい園芸作物の選定と栽培技術の開発やハウス部材の腐食防止試験等を行い（東京都，2007，2008），火山ガス対策を中心に

*連絡先: k-numajiri@tdfaff.com ^a現 東京都農林総合研究センター ^b現 東京都産業労働局農林水産部

^c現 東京都中央農業改良普及センター

復興支援を行ってきた。

復興支援や生産者の努力により、三宅島の農業が回復しつつある中、生産現場で新たな問題が発生した。2007年11月上旬、パイプハウス内のコルジリーネの葉に原因不明の斑状の褐変症状（以下、褐色不定形斑）が多発しているとの連絡を島内生産者から受けた。筆者らが当該パイプハウスを調査したところ、コルジリーネの葉に白色の結晶状物質が付着し、付着部位に褐色不定形斑が発生していることを確認した。

本研究では、コルジリーネの葉に発生した褐色不定形斑の原因究明にあたり、現地調査、各種再現試験および結晶状物質の成分分析を行い、褐色不定形斑と結晶状物質に一定の関連性を認め、さらに結晶状物質の起因について考察したので報告する。

なお、褐色不定形斑については、発生当初に農林総合研究センター病害・虫害管理研究チームの協力を経て病原菌は認められないことを確認した。

材料および方法

1. 現地状況調査

島内における褐色不定形斑および結晶状物質の発生箇所および発生状況を確認するため、2007年11月19日に現地調査を行った。三宅島は標高775mの雄山を中心に有する周囲約38kmの円形の島であり、海流とともに標高差や尾根の影響も受けやすく、小さな島ながら島内の気象条件は一様ではない。特に火山ガスの濃度や流入頻度は地域によって異なるため（飯野ら、2005；飯野、2006；東京都、2007）、調査対象とするパイプハウスは、地域を異にする栽培農家10戸から選定した（図1）。

調査項目は、パイプハウス内の栽培品目における褐色不定形斑および結晶状物質の有無とした。

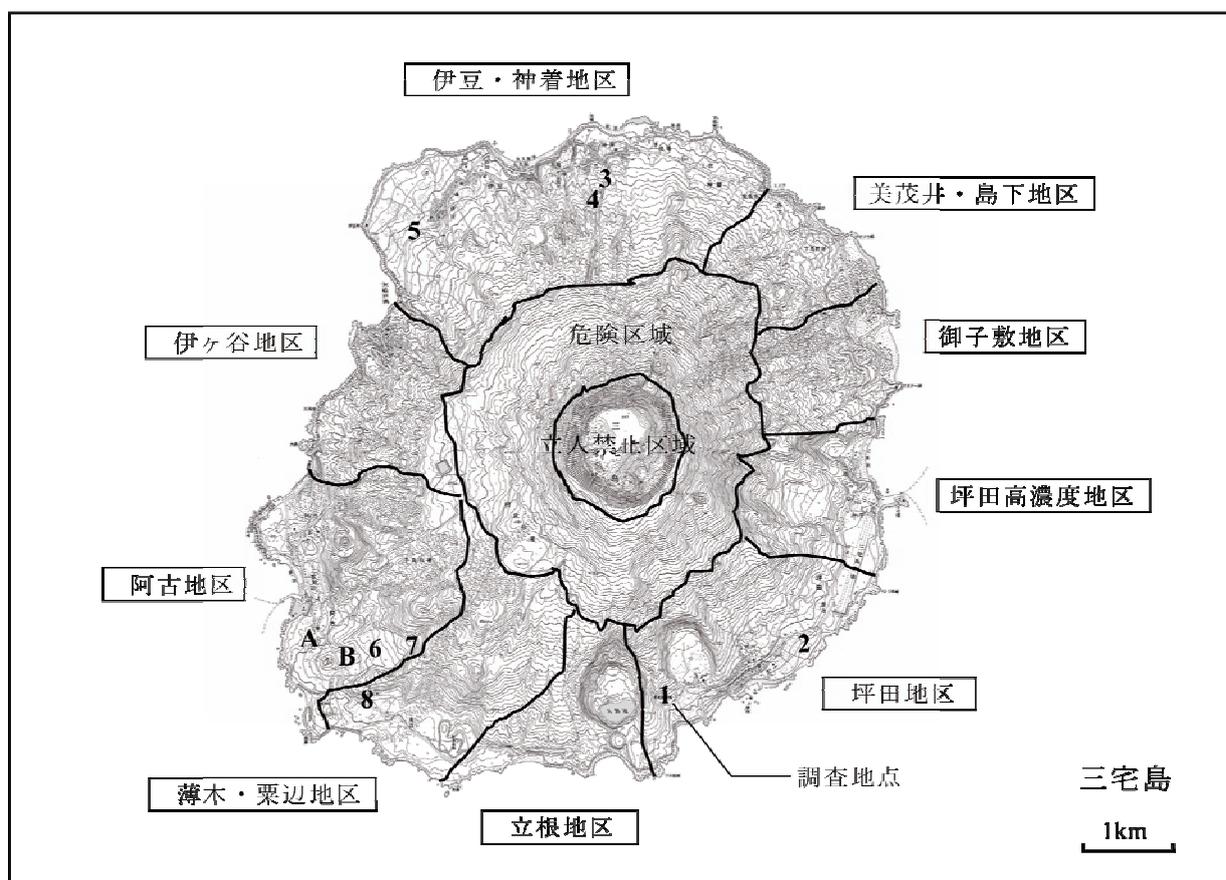


図1 調査対象パイプハウスの位置

調査地点のうち A および B は褐色不定形斑および結晶状物質が認められたパイプハウス。区域名は2011年4月現在の名称、2007年の調査時点では『薄木・栗辺地区』は『阿古高濃度地区』、『御子敷地区』は『坪田高濃度地区』である。

2. 再現試験

(1) 結晶状物質による褐色不定形斑の再現

現地（地点 A）で採取した結晶状物質を蒸留水で希釈し、試料とした（図版 1-1, 1-2）。2007 年 11 月 20 日、当事業所内のパイプハウスで栽培したコルジリーネ（品種「アトムファイヤー」）の切り葉に試料を滴下し、褐色不定形斑の発生を目視により調査した。傷や変色がなく、老化していない展開葉を処理区あたり 3 枚供試した。処理区は蒸留水を用いて、試料を 10 倍、50 倍希釈した 2 区および試料を添加しない対照区を設けた。供試葉への滴下量は 1 ヶ所あたり 0.1mL とし、葉 1 枚あたり 2 ヶ所に処理した。褐色不定形斑の発生の有無は、滴下処理後 2 日、7 日、10 日および 15 日後に調査した（図版 1-3）。

12 月 12 日、コルジリーネで行った方法と同様に、ルスカスほか 6 品目の作物で再現試験を実施した。ただし、褐色不定形斑の調査は、滴下処理後 2 日および 8 日後とした。

(2) 結晶状物質の成分分析

結晶状物質に含まれる元素および構成化合物を特定するため、EDX（エネルギー分散型蛍光 X 線分析）および XRD（X 線解析）を日新製鋼㈱に委託して行った。分析には、前述の滴下試験で用いた結晶状物質の一部を供試した。

(3) 試薬による褐色不定形斑の再現

成分分析で明らかになった結晶状物質を構成する個々の化合物について、コルジリーネの葉への影響を明らか

にするため、試薬を用いた再現試験を 2008 年 2 月 7 日に実施した。滴下試料は、表 5 に示した化合物のうち塩基性炭酸亜鉛アルミニウムを除く 5 つの化合物（日新製鋼㈱）および現地で採取した結晶状物質の 10 倍希釈液のほか、硫酸（和光純薬工業㈱）および海塩（瀬戸のほんじお、味の素㈱）の希釈液とした（表 6）。処理方法および調査方法は前述の方法に準ずるが、供試葉は処理区あたり 2 枚とした。褐色不定形斑の調査は、滴下処理後 5 日および 12 日後に行い、葉上における結晶状物質の発生についても滴下処理後に調査した。

結果および考察

1. 現地における発生状況

褐色不定形斑および結晶状物質は、筆者らが最初に確認した阿古地区の地点 A のほかに、同地区の B のみにみられ、地点 1~8 にはみられなかった（図 1, 表 1）。地点 A および B の主な栽培品目はコルジリーネであり、葉身および葉柄基部に被害を受けていた。結晶状物質（およびそれに伴う被害）は、屋根を形成するアーチパイプと直角に固定される直管パイプの下に多いことが分かった。これらのハウス部材を確認したところ、水滴が多く付いており、水滴の落ちる位置と結晶状物質が確認できた位置は一致することが明らかになった。

一方、パイプハウスに使われる金属部材は、母材である鉄鋼の腐食を防ぐため亜鉛を含むめっきを施した鋼管である。亜鉛めっきした鋼管は、雨や露で濡れやすく容易に乾燥しない環境では白錆（図版 1-4）を発生しやす

表 1 調査対象パイプハウスの状況

区域	地点	栽培品目 ^a	褐色不定形斑	結晶状物質	火山ガス流入頻度 ^b
坪田	1	カラテア類	無	無	やや低
	2	サヤエンドウ	無	無	低
伊豆・神着	3	レザーリーフ ファーン	無	無	低
	4	アシタバ	無	無	低
	5	レザーリーフ ファーン	無	無	低
阿古	6	カラテア類	無	無	高
	7	レザーリーフ ファーン	無	無	高
	A	コルジリーネ類	有	有	高
	B	コルジリーネ類	有	有	高
薄木・粟辺	8	サヤエンドウ	無	無	高

a) 調査時点で栽培されていた主な品目

b) 島内火山ガス測定局における 2007 年データをもとに作成

い((社)日本溶融亜鉛鍍金協会;篠原ら,2011)。三宅島では火山ガスの流入を防ぐため、パイプハウスを閉めておく状態が長く、湿度は高まりやすい。当該パイプハウスも調査時には閉められており、ハウスフィルムや部材等への結露は多く、白錆も認められた。また、海に近い場所は湿った空気が流れ込み、湿度は高まりやすい。三宅島は南西や北東付近からの風が多く、地点AおよびBは火山ガスに加えて海風の影響も他の地点より受けやすいと考えられる。

こうした状況から、結晶状物質はハウス部材の白錆が結露水とともに垂れ落ち(または落下後飛び散り)、その後結晶化したものと推定した。

地点AおよびBに近い地点6~8では、ハウス部材の白錆を確認することはできたが、褐色不定形斑および結晶状物質は認められなかった。このことは、地点6~8は地点AおよびBに比べ結露が少ないことを示唆する。本調査では褐色不定形斑および結晶状物質の確認を主目的としたため、各地点の環境条件は調査しておらず断定できないが、湿度が異なる可能性は高い。湿度はパイプ

ハウスの立地環境や栽培管理(フィルムの開閉や灌水等)、栽培品目、栽植密度等で変わると考えられるので、白錆や結露の多少を明らかにするには地点ごとにそれらを調査する必要がある。

2. 褐色不定形斑を引き起こす原因の特定

(1) 結晶状物質による再現試験

現地では採取した結晶状物質の希釈試料を滴下した結果、コルジリーネのほか数種作物に褐色不定形斑が発生し、再現性が認められた(図版1-5,表2)。褐色不定形斑の有無は品目で異なり、レザーリーフファーン、カラテア・メディオピクタ、クテナンテ・グリーン、キキョウラン、サヤエンドウでみられたが、ルスカスおよびクッカバラではみられなかった(表3)。

以上のことから、結晶状物質の希釈液は褐色不定形斑を引き起こすことが判明した。発現の感受性は品目により異なることは明らかであったが、その程度は詳細な調査が必要と考えられた。

表2 希釈液を滴下したコルジリーネの葉における褐色不定形斑の発現程度

処理区	処理後日数			
	2	7	10	15
蒸留水(対照)	-	-	-	-
50倍	-	-	+	+
10倍	-	+	++	+

葉身に発生した褐色不定形斑の大きさにより下記のとおり判定した
 -: なし, ±: 長径が5mm以下の斑紋が1個
 +: 長径が5~10mmの斑紋が1個
 ++: 長径が10~20mmの斑紋が1個または5~10mmの斑紋が2個以上
 +++: 長径が20mm以上の斑紋が1個または10~20mmの斑紋が2個以上

表3 希釈液を滴下したルスカスほか6品目における褐色不定形斑の発現程度

処理後日数	処理区	ルスカス	レザーリーフファーン	カラテア・メディオピクタ	クテナンテ・グリーン	キキョウラン	サヤエンドウ	クッカバラ
2日	蒸留水(対照)	-	-	-	-	-	-	-
	50倍	-	-	-	-	-	-	-
	10倍	-	-	-	-	-	-	-
8日	蒸留水(対照)	-	-	-	-	-	-	-
	50倍	-	±	-	±	±	+	-
	10倍	-	-	±	+	-	+	-

葉身に発生した褐色不定形斑の大きさにより下記のとおり判定した
 -: なし, ±: 長径が5mm以下の斑紋が1個
 +: 長径が5~10mmの斑紋が1個
 ++: 長径が10~20mmの斑紋が1個または5~10mmの斑紋が2個以上
 +++: 長径が20mm以上の斑紋が1個または10~20mmの斑紋が2個以上

表 4 結晶状物質に含まれる主な元素

元素 ^a	含有率 (%)		推定される起因
	現地の結晶状物質 (当該分析値)	沖縄のハウス部材の白錆 (参考値) ^b	
亜鉛(Zn)	41.3	84.0	めっき
アルミニウム(Al)	0.6	3.2	めっき
マグネシウム (Mg)	3.4	2.6	めっき
シリコン(Si)	0.5	2.6	砂塵
カルシウム(Ca)	1.2	1.8	砂塵
硫黄 (S)	26.4	1.1	火山ガス
塩素(Cl)	26.6	0.4	塩 (海由来)

a) C (炭素), O (酸素) および H (水素) を除く, 測定日: 2008年1月9日

b) 海岸における2年間の暴露試験データ (日新製鋼株)

表 5 結晶状物質を構成する化合物^a

物質名	結晶状物質 ^b	沖縄のハウス部材の白錆 (参考値) ^c	標準的な白錆 (含有の有無)
酸化亜鉛 (ZnO)	-	-	有
水酸化亜鉛 (Zn(OH) ₂)	**	-	有
塩基性炭酸亜鉛 (Zn ₄ CO ₃ (OH) ₆ · H ₂ O)	**	**	有
塩基性炭酸亜鉛アルミニウム (Zn ₆ Al ₂ (OH) ₁₆ CO ₃ · 4H ₂ O)	*	**	有
塩基性塩化亜鉛 (Zn ₅ (OH) ₈ Cl ₂ · H ₂ O)	**	**	無
硫酸亜鉛 (ZnSO ₄)	***	-	無

a) 測定日: 2008年1月9日

b) -: 含まれない, *: 含む可能性がある, **: 含む, ***: 多く含む

c) 海岸における2年間の暴露試験データ (日新製鋼株)

(2) 結晶状物質に含まれる元素および構成化合物

結晶状物質の成分には、ハウス部材に使用されるめっき成分のほかに硫黄 (S) および塩素 (Cl) が多く含まれていた (表 4)。硫黄および塩素は、めっきおよびハウス部材には通常含まれない成分のため、外部から混入したものと考えられた。

結晶状物質を構成する主な化合物は、表 5 に示す物質が特定された。分析した結晶状物質には、通常発生する白錆に含まれる物質以外に、塩基性塩化亜鉛 (Zn₅(OH)₈Cl₂ · H₂O) および硫酸亜鉛 (ZnSO₄) が多いことが判明した。

(3) 試薬による褐色不定形斑の再現

判明した化合物の試薬を用いた滴下試験において、塩基性塩化亜鉛および硫酸亜鉛処理で現地の結晶状物質と同様の症状 (褐色不定形斑) がコルジリーネの葉にみられ、硫酸亜鉛は処理後に結晶状となった (表 6)。

以上より、褐色不定形斑は、結晶状物質に含まれる塩

基性塩化亜鉛および硫酸亜鉛により引き起こされる可能性が高い。しかし、塩基性塩化亜鉛は三宅島に限らず、海岸環境であれば生成されると考えられるが (高野ら, 1993; 西方, 2011), 同様の被害の報告はみられない。ハウス部材を沖縄の海岸に暴露し、生成された白錆を分析した例では、塩基性塩化亜鉛は含まれたが、塩素 (Cl) の含有率は三宅島の結晶状物質に比べ、非常に低かった (表 4, 5)。これらのことから、三宅島で採取した結晶状物質には、塩基性塩化亜鉛が多く含まれていたと推定するが、本試験では定量的な分析ができなかったため、含有量は不明である。それぞれの化合物の生成においては、塩基性塩化亜鉛は海塩粒子に由来し、硫酸亜鉛は火山ガス (二酸化硫黄) に起因すると考えられた。今のところ、その他のパイプハウスでの被害報告はないが、島内において海岸に近く火山ガスの影響を受けやすい地区においては、本報告と同様の症状が発生する可能性がある。

表6 各種希釈液を滴下したコルジリーネの葉における褐色不定形斑の発現程度^a

処理後 日数	蒸留水 (対照)	酸化亜鉛	水酸化亜鉛	塩基性 炭酸亜鉛	塩基性 塩化亜鉛	硫酸亜鉛	結晶状物質	硫酸 ^b	海塩 ^c
5日		-	-	-	++	++	+	-	-
12日	-	-	-	-	+++	++	++	-	-
結晶状物質 生成の有無	無	有 (白粉状)	有 (白粉状)	有 (白粉状)	無	有	有	無	有

a) 葉身に発生した褐色不定形斑の大きさにより下記のとおり判定した

-: なし, ±: 長径が5mm以下の斑紋が1個

+: 長径が5~10mmの斑紋が1個

++: 長径が10~20mmの斑紋が1個または5~10mmの斑紋が2個以上

+++: 長径が20mm以上の斑紋が1個または10~20mmの斑紋が2個以上

b) 硫酸は結晶状物質に含まれる硫黄含有率と同等の物質質量を含む希釈液とした

c) 海塩は結晶状物質に含まれる塩素含有率と同等の物質質量を含む希釈液とした

(4) 対応策

パイプハウスの屋根面の構造上、アーチパイプと直角に取りつけられる直管パイプには、結露水が付きやすいと考えられる。直管パイプはアーチパイプの下側に固定されるので、アーチパイプやフィルム面からも結露水が流れてきやすい構造となる。結露水が落下すれば、直下に栽培されている作物体に直接当たることになる。緊急の対応策としては、樋やフィルム等により結露水の植物への付着を物理的に遮断する方法が適切である。現地でも、実際に樋を設置して被害を抑えており、労力はかかるが効果は高い。ただし、白錆を含む水滴が樋の中で飛び跳ねて作物に付着する場合がありますので、樋の大きさや設置箇所等に注意を要する。

ハウス内の結露を防止するには、ハウスフィルムの選定も重要である。フィルムに付いた水滴の滞留や落下を防止するために流動性(防曇機能)の高いフィルムを選定することである。フィルムに付いた結露水は、流動性が高いと水膜状となり流れ落ちるので、ハウス内の湿度は低くなりやすいと考えられる。流動性が低下したフィルムやハウスに展張した後でも、噴霧機で吹き付けて塗布するタイプの流動剤を使用すれば、効果を高めることが可能である。

また、亜鉛の犠牲防食効果によって生成する通常の白錆には、酸化亜鉛、水酸化亜鉛および塩基性炭酸亜鉛が含まれるが(青江, 2010, (社)日本鉄鋼連盟, 2011), これらが傷害を発生させることはなかった。しかし、三宅島では傷害を発生させる塩基性塩化亜鉛および硫酸亜鉛が生成することが確認できたので、結露水に取り込まれる白錆の発生を未然に防いでおくことも重要である。そのためには、錆止めをハウスパイプに部分的にでも塗布することが効果的手段と考えられる。

なお、結露を防ぐためのハウス管理も求められるが、火山ガスの流入が懸念される地区においては、ハウスの

積極的な開放は火山ガスによる被害の増大をもたらす。海岸付近では海塩の影響も受けやすいので、ハウスの積極的な換気は逆効果の場合が多い。

引用文献

- 青江徹博(2010), 実用電気亜鉛めっき技術, 日刊工業新聞社, 4-5
- 飯野直子・木下紀正・矢野利明(2005), 三宅島における高濃度火山ガス事象の地域特性, 自然災害科学, 23: 505-520
- 飯野直子(2006), 三宅島島内高濃度火山ガスハザードマッピング, 鹿児島県地学会誌, 92: 3-12
- 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, 地学雑誌, 110: 271-279
- 気象庁地震火山部火山監視情報センター(2011), 第121回火山噴火予知連絡会会報, 48-75
- 木下紀正・篠原宏志・斎藤元治・尾台正信・森 博一・中堀康弘・飯野英樹・平林順一(2003), 三宅島火山からの大量ガス放出, 南太平洋海域調査研究報告書, 37: 24-31
- (社)日本鉄鋼連盟(2011), 亜鉛系めっき鋼板 ご利用の手引き
- (社)日本溶融亜鉛鍍金協会, 溶融亜鉛めっき FAQ, <http://aen-mekki.or.jp/index.html>
- 篠原 正(2011), 亜鉛めっき鋼板の耐食機構, 表面技術, 62: 25-29
- 高野嘉彦・伊関 巽・仲田哲也・高田幸士(1993), 海岸地域における溶融亜鉛めっき鋼の耐食性, 材料, 42: 934-940
- 東京都(2007), 平成12年(2000年)三宅島噴火災害誌
- 東京都島しょ農林総合センター(2007), 平成18年事業

成果速報, 259-263

東京都島しょ農林総合センター (2008), 平成 19 年事業
成果速報, 261-266

東京都農業試験場三宅島園芸技術センター (2003), 平成
12-14 年度三宅島噴火災害対策試験成績書

東京都農業試験場三宅島園芸技術センター (2004), 平成
15 年度三宅島噴火災害対策試験成績書

西方 篤 (2011), 高耐食性表面処理鋼板の開発動向と防
錆機構解明への取り組み, 表面技術, 62 : 2-7

三宅村 (2010), 三宅島観光セーフティガイド

Wounding of cut leaves due to rust on a pipe-frame greenhouse on Miyake-Island

Katsuto Numajiri^{1a*}, Kazuo Kobayashi^{1b}, Shuuichi Nishimura^{1c}, Miyano Tsutomu²

¹Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

²NISSHIN STEEL CO,LTD

Abstract

Brown formless spots occurred on the leaves of Cordyline cultivated on Miyake Island, and we investigated the relation of these spots with white rust on the pipe-frame greenhouse. The white crystalline substance adhered to the injured parts of the leaves. It appeared that white rust had melted into dew condensation, and it was presumed that this condensation fell on the crop. Using a dilute solution of the gathered crystalline substance, we administered a drop treatment to the crop leaves so that the treatment showed reproducibility. We found that the crystalline substance contained zinc chloride and zinc sulfate, and the treatment using these reagents resulted in brown formless spots. Furthermore, there was a crystalline substance on the leaves treated with zinc sulfate. These results suggest that brown formless spots caused by white rust containing zinc chloride are generated in the presence of sea-soil aerosols and zinc sulfate are attributable to volcanic gas.

Keywords: volcanic gas, sulfur dioxide, wounding, rust, Miyake-Island

Bulletin of Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center, 7:81, 92, 2012

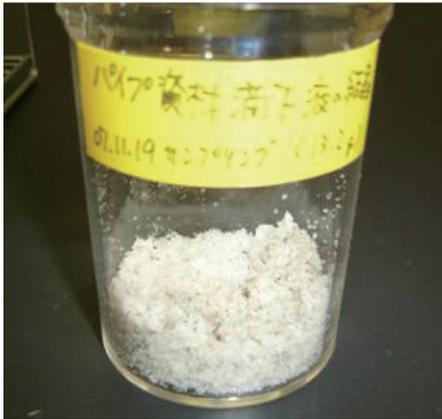
*Corresponding author: k-numajiri@tdfaff.com

※ ^aPresent address: Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center

^bPresent address: Agriculture, Forestry and Fishery Division, Bureau of Industrial and Labor Affairs, Tokyo Metropolitan Government

^cPresent address: Tokyo Metropolitan Chuo Agricultural Improvement and Extension Center

図版 1



1 現地において採取した結晶状物質



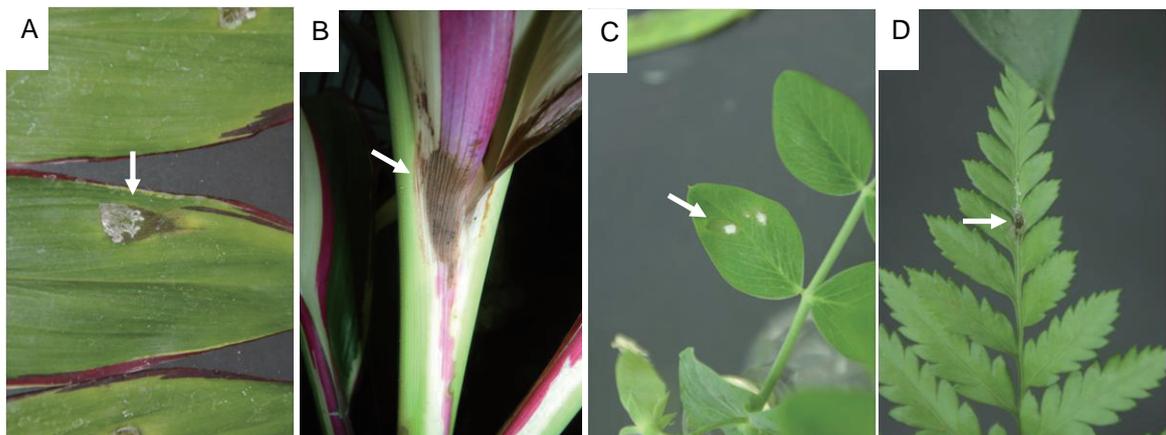
2 結晶状物質を希釈した試料（滴下処理用）
左から5倍，10倍，50倍，蒸留水



3 結晶状物質の希釈液を滴下処理した様子



4 パイプハウス部材に発生した白錆



5 結晶状物質の希釈液処理によって発現した褐色不定形斑

A：コルジリーネ，B：コルジリーネ

C：サヤエンドウ，D：レザーリーフファーン

サヤエンドウの切り葉利用はないが，栽培が多いため試験した