

三宅島 2000 年噴火火山灰の化学的特性

矢 沢 宏 太・加 藤 哲 郎・丸 田 里 江*
野 呂 孝 史・益 永 利 久

キーワード：三宅島，火山灰，イオウ，水溶性成分，CaSO₄

緒 言

2000年7月8日を端緒とした三宅島雄山噴火により、島全体で約170万tと推定される噴出物が降下した(中田ら, 2001)。多量の降灰をもたらした大規模な噴火は、①7月14~15日、②8月10日、③8月18日、④8月29日の4回であった。8月18日の噴火では島内ほぼ全ての農地が降灰を受けたが、他3回の噴火で降灰が見られたのは、島の北部から南東部にかけての地域のみである。同年9月以降、噴火の規模は縮小し、考慮すべき量の新たな降灰は見られてない。農地(火口付近の牧草地を除く)における堆積物は、噴石等をほとんど含まない火山灰が主体であり、2001年12月時点における堆積深は平均約4cm、最大17cm(三宅村役場, 2002)、固結状態での容積重は1.7kg/L(乾燥重)である。本報告は、降灰が土壤に及ぼす影響の解明を目的に実施した分析試験結果であり、既報(矢沢ら, 2002, 2003)の内容に新たな知見を加えたものである。

材料および方法

1. 火山灰の一般化学性分析

他の時期の降灰や土砂等との混合が無く、降雨の影響を受けていない状態で火山灰を採取した(表1, 図1)。7点の試料の内、礫を含む試料(F)に関しては粒径2mm未満のものについて、他に関しては全量を土壤分析法(土壤養分測定法委員会, 1970)に準じて分析した。ただし、可給態リン酸はトルオーグ法により、全Sは硝酸・過塩素酸分解物中の硫酸イオンをICP発光分析により定量した。

表1 火山灰試料の採取状況

試料	降下 月日	採取 月日	地区	字	採取場所の状況
A	7.14	7.14	坪田	三池	コンクリート舗装の道路上
B	7.14	7.14	神着	見取畑	道路脇の裸地上
C	7.14-15	7.17	坪田	御子敷	アスファルト舗装の道路上
D	8.10	8.11	坪田	沖ヶ平	不明
E	8.10	8.11	坪田	釜方	不明
F	8.18	8.21	坪田	橋平	コンクリート舗装の道路上
G	8.18	8.19	伊豆	友地	アスファルト舗装駐車場

a) 図1参照。



図1 火山灰試料の採取地点
注) 表1参照

2. 水溶性成分溶出量の経時変化

降雨に伴う火山灰からの成分溶出の実態を解明するためにモデル実験を行った。底面積44.2cm²または456cm²の円筒形容器に、0.5cm~3.4cmの範囲で6段階の厚さ(試験終了時に測定)に火山灰試料(G)を水飽和状態で充填した。乾燥収縮による亀裂を防ぐため、水飽和状態を維持しながら火山灰層上面から水道水を透過させた。下面より浸出した溶液(以下透過水)を分面採取し、それぞれについてECを測

*現在 東京都小笠原亜熱帯農業センター

定した。1画分の液量は、ECの変動幅に応じて採取量を変えたため、結果的に雨量換算で1~44mmとなった。水の透過速度は、水位を一定としなかったため、0.5~3.2mm/hの間で変動した。また、火山灰の厚さが0.7cmの場合のみ同じ装置を複数用意し、透過水のEC変化に応じて適宜水透過を終了させ、火山灰ECの測定に供した。

3. 火山灰から溶出する水溶性成分の定量分析

長さ60cm、幅25cm、上面から底面までの横断面積がほぼ一定のプランターに、1cm、5cm、10cmの厚さを目安に、自然堆積状態を模して圧密せずに火山灰試料Gを充填した。火山灰層上面にジョウロを用いてかん水し、下面より浸出した溶液を分画採取した。かん水は、多量の水(約1m³)使用が予想されたため、場内の水道水を用いた。1回のかん水量は400~2000mL(雨量換算で2.7~13.5mm)で、湛水状態にならないように数回に分けてかん水した。次回のかん水までは14時間~5日間の範囲で任意に中断期間を設け、火山灰層を自然乾燥させた。1画分の液量は400mL以下とし、画分ごとにECならびにCa、K、Na、Mg(原子吸光法)、SO₄、Cl、NO₃、NO₂、F、Br、HPO₄(イオンクロマトグラフ法)の各濃度を測定した。ただし、各測定値は供試水道水の測定値(EC:0.2mS/cm、各イオン濃度:0.1~0.5mmol/L)を差し引いた値とした。なお、試験終了時には、固結により火山灰の厚さが0.9cm、4.5cm、7.5cmに減少していたため、この値をもって火山灰層の厚さ(cm)とした。

結 果

1. 火山灰の一般化学性分析

塩基類およびイオウの含量が高く、特に交換性Caは顕著に多かった。降下直後の試料(A~F)では、pH(H₂O、KCl)とpH(H₂O₂)の差が大きかったが、約2年間保存した試料(G)では小さく、かつ低い値であった(表2)。交換性塩基、全Sは桜島南岳(鹿児島農試他、1980;鹿児島農試、1995;宮内・長田、1983)、雲仙普賢岳(川崎ら、1993)、有珠山(北海道農試他、1978;北海道農試、2000)における試料の分析結果と比較して非常に高い値を示した(表3)。

表2 火山灰試料の化学性

分析項目	試 料						
	A	B	C	D	E	F	G ^d
pH(H ₂ O)	6.0	5.5	5.5	7.1	6.7	6.3	4.0
pH(KCl)	5.4	5.0	4.8	6.3	6.0	5.9	
pH(H ₂ O ₂)	2.2	2.2	2.4	2.2	2.3	3.1	3.7
EC(mS/cm)	3.3	3.2	3.1	3.9	3.9	2.3	2.5
水溶性NO ₃ ^{a)}	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
水溶性Cl(ppm) ^{b)}				807	746	467	
水溶性SO ₄ (ppm) ^{b)}							2935
水溶性Ca(mg/100g) ^{b)}	754	798	685	826	833	448	1463
水溶性Mg(mg/100g) ^{b)}	61	59	48	68	65	18	74
水溶性K(mg/100g) ^{b)}	23	21	14	27	17	12	5.6
水溶性Na(mg/100g) ^{b)}	116	100	77	224	239	44	20
水溶性リン酸 ^{b)}	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
交換性Ca(mg/100g)	1376	1374	943	2099	2166	690	1729
交換性Mg(mg/100g)	69	63	43	87	88	19	62
交換性K(mg/100g)	30	27	20	31	30	25	8
交換性Na(mg/100g)	130	112	83	235	248	49	30
可給態リン酸(mg/100g)	37	35	32	36	36	23	14
リン酸吸収係数	1800	1790	1620	2150	2140	1340	1930
CEC(meq/100g)	8.9	8.0	5.9	17.5	18.6	3.2	6.5
塩基飽和度(%)	646	706	658	498	484	858	1009
石灰飽和度(%)							945
全C	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
全N	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
全S(%) ^{b)}	4.4	4.0	2.0	4.5	4.3		
全Ca(%) ^{b)}	4.4	4.2	3.4	4.8	5.0		
全Mg(%) ^{b)}	0.9	0.8	0.7	1.4	1.6		
全Mn(ppm) ^{b)}	508	480	352	656	765		
全Zn(ppm) ^{b)}	42.3	39.9	35.1	57.2	59.3		
全Cu(ppm) ^{b)}	83.8	85.7	77.9	83	84.5		
全B(ppm) ^{b)}	69.1	68.8	57.1	78.1	80.9		
全Cd(ppm) ^{b)}	tr	tr	tr	tr	tr		
全Cr(ppm) ^{b)}	3.6	3.5	3.3	7.1	7.6		
全As(ppm) ^{b)}	tr	tr	tr	tr	tr		
全Mo(ppm) ^{b)}	tr	tr	tr	tr	tr		
全Pb(ppm) ^{b)}	tr	tr	tr	tr	tr		
全Ni(ppm) ^{b)}	3.8	3.6	3.3	5.8	6.0		

a) 水との重量比1:20による抽出。b) 硝酸・過塩素酸分解後の可溶性成分量。
c) 2002年9月分析(他は採取直後の分析)。

2. 水溶性成分溶出量の経時変化

透過水のEC変化には、①急激な減少、②2.0mS/cmでの安定、③その後の緩やかな減少という、明瞭な2つの変曲点で区分される3段階が存在した(図2)。透過水ECと火山灰ECは、抽出方法の違い(火山灰ECは水との重量比1:5での振とう抽出)にもかかわらず同様な推移を示した。特に、2.0mS/cm近傍では、両者はよく一致していた(図3)。第1変曲点、第2変曲点、終点(水道水と同程度のEC:0.2mS/cm)到達に必要な累積水量(y:mm)と火山灰の厚さ(x:cm)の間には、それぞれ回帰式 $y=31.3x$ 、 $y=310x$ 、 $y=606x$ の有意な相関が認められた(図4)。

3. 火山灰から溶出する水溶性成分の定量分析

陽イオンに関しては、Kの溶出はごく微量であり(表4)、Na>Mg>Caの順で、透過水量の増加に伴う溶出量の減少が急激であった(図5、6、7)。陰イオンに関しては、SO₄、Cl以外はほとんど検出されず(表4)、Clの溶出はごく初期に完了した(図5、

6, 7)。CaとSO₄は、他イオンの溶出終了後も、ほぼ等量（火山灰厚7.5cm, 4.5cmでは13mmol/L）で溶出を続けた。特にCaは、ごく初期を除き、13mmol/L前後の値を維持した（図5, 6, 7）。火山灰厚の違いにより、透過水中のNa, Mg, Cl, SO₄濃度は異なる

したが、Ca濃度はほとんど変わらなかった（図5, 6, 7）。Ca, SO₄以外のイオンが溶出を終えた時点での透過水ECは、いずれの火山灰厚においても2.0mS/cm前後であった（図5, 6, 7）。

表3 国内各地火山灰の化学性比較(分析点数の平均値)

分析項目	雄山 (三宅島)	有珠山 ^{a)} (有珠)	有珠山 ^{b)} (有珠)	普賢岳 ^{c)} (雲仙)	南岳 ^{d)} (桜島)	南岳 ^{d)} (桜島)	南岳 ^{e)} (桜島)	南岳 ^{f)} (桜島)
	2000 ^{g)}	2000	1977	1991	1972 ~76	1974 ~77	1975 ~77	不明
pH(H ₂ O)	5.9	8.4	7.6	5.8	4.3	5.1	4.9	5.8
pH(KCl)	5.3			5.4	4.3	4.7		
pH(H ₂ O ₂)	2.4	4.6		4.7				
EC(mS/cm)	3.2	1.2	0.2	0.4	2.0		1.1	
水溶性Ca(mg/100g)	830		11				29	
水溶性Mg(mg/100g)	56		1				3	
水溶性K(mg/100g)	17		1				13	
水溶性Na(mg/100g)	117		7				2	
交換性Ca(mg/100g)	1483		100	52		168		138
交換性Mg(mg/100g)	61		5	9		4		5
交換性K(mg/100g)	24		5	5		2		1
交換性Na(mg/100g)	127		8	5		5		
全S(%)	3.8	0.7	0.1		0.4			

a) 北海道農試,2000。b) 北海道農試他,1978,粒径0.5mm未満の試料のみ。c) 川崎ら,1993。d) 鹿児島農試他,1980。e) 宮内ら,1983。f) 鹿児島農試,1995。G) 噴火・採取年。H) 分析点数。

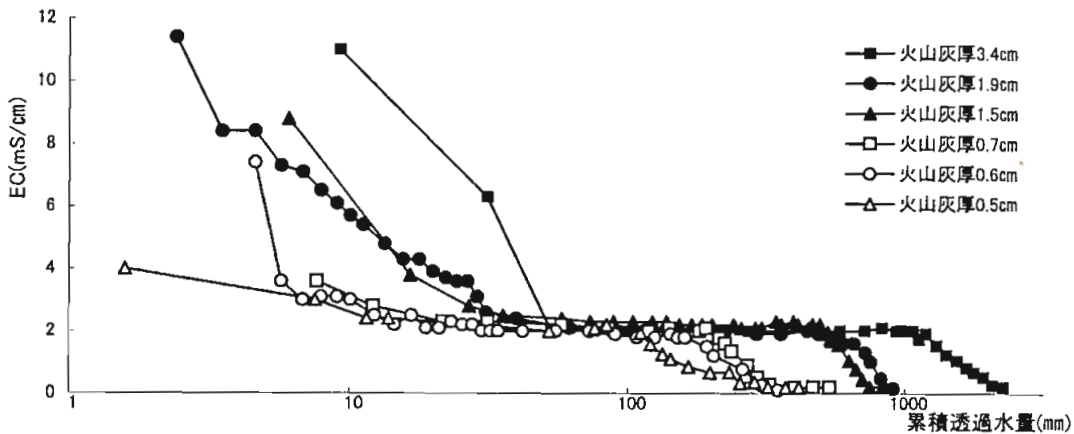


図2 透過水のEC推移

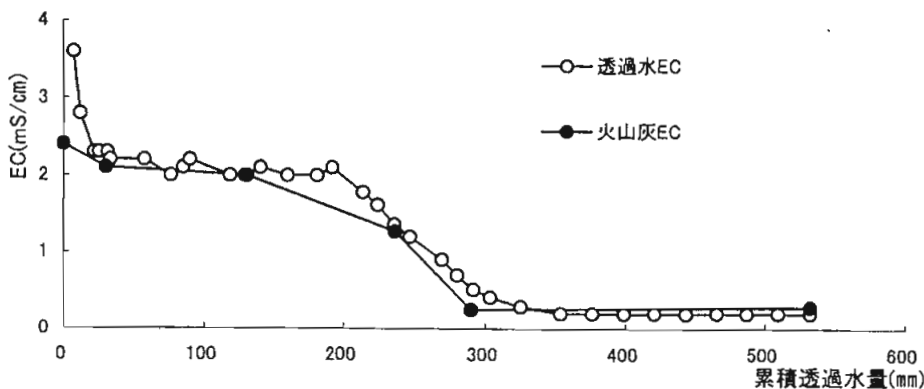


図3 透過水ECと火山灰ECの推移(火山灰厚0.7cm)

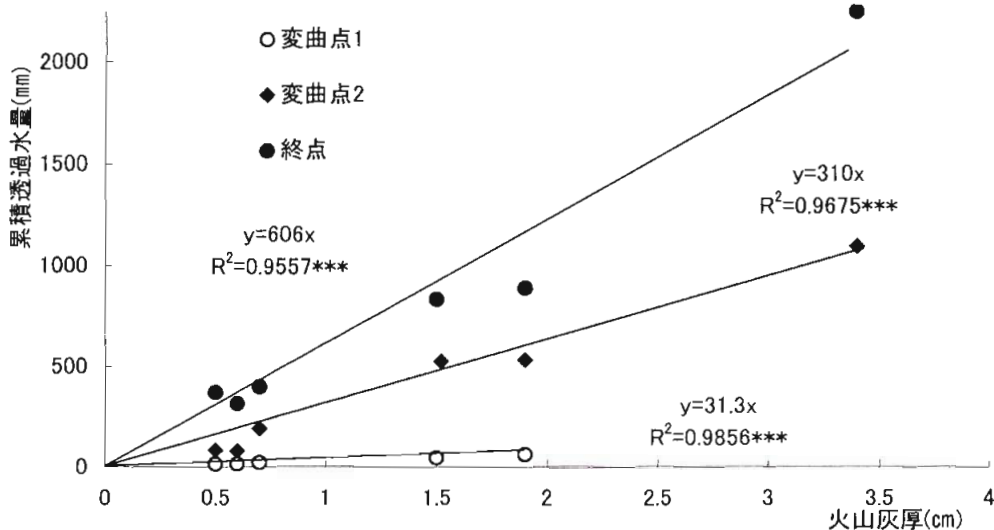


図4 透過水EC値変曲点における火山灰厚別の累積透過水量

表4 透過水中のイオン濃度

火山灰厚(cm)	累積透過水量(mm)	イオン濃度(mmol/L)										
		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	NO ₂	F	Br	HPO ₄
0.9	0~30	13~17	4~6	3~7	0~1	17~20	0~4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	30~300	10~13	0~3	0~1	0	10~14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	300~	1	0	0	0	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4.5	0~30	12~15	14~21	17~36	1	18~42	5~16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	30~300	12~13	1~12	0~11	0~1	13~26	0~3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	300~	13	0	0	0	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
7.5	0~30	11~16	12~30	23~53	1	22~53	4~30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	30~300	11~13	2~16	0~19	1	13~22	0~3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	300~	13	0	0	0	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

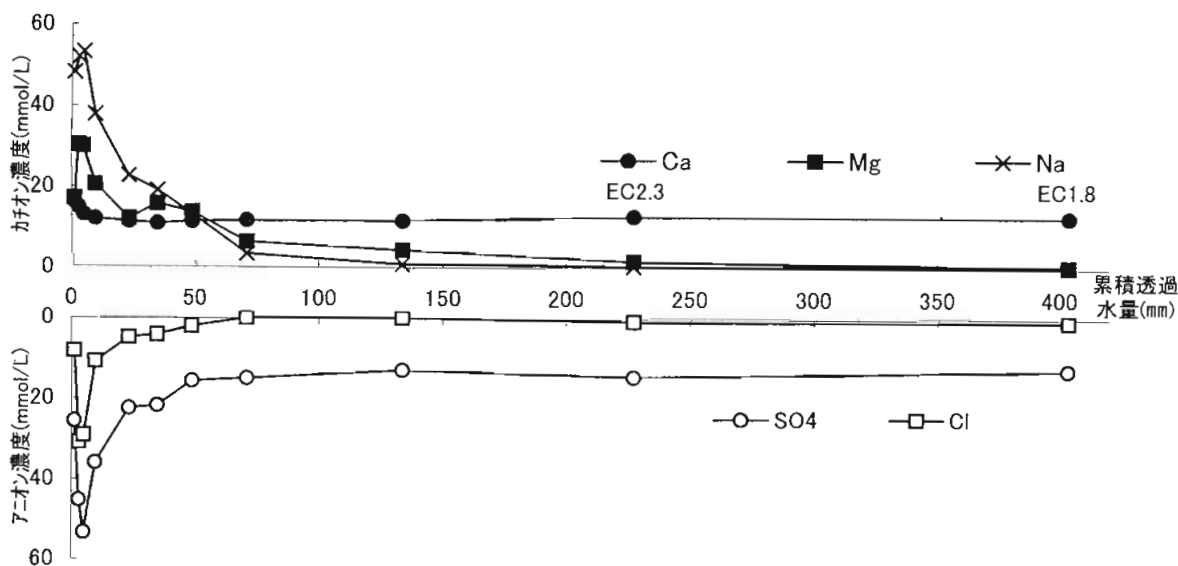


図5 透過水イオン濃度の推移(火山灰厚 7.5cm)

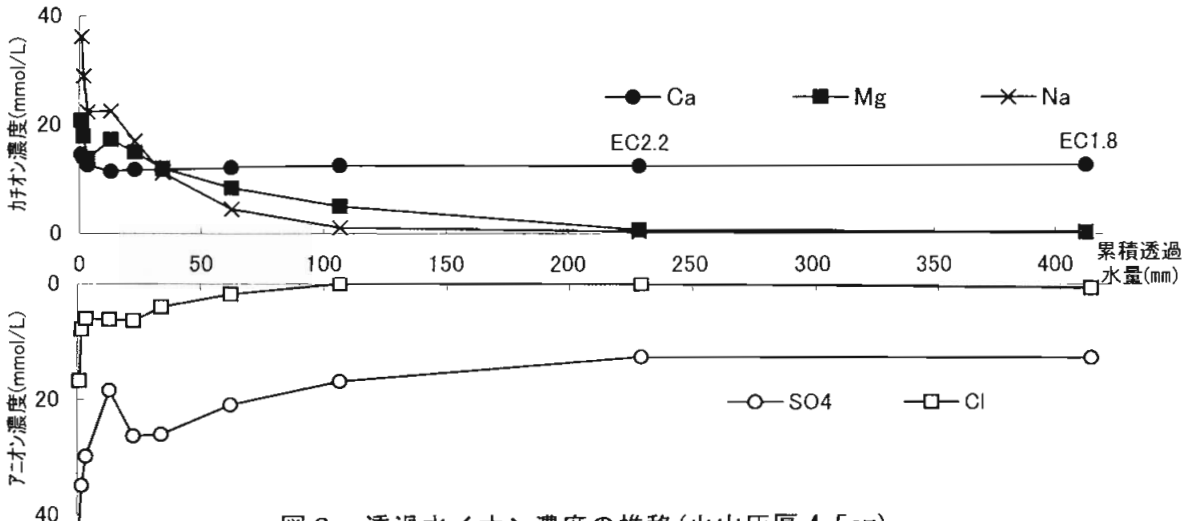


図6 透過水イオン濃度の推移(火山灰厚 4.5cm)

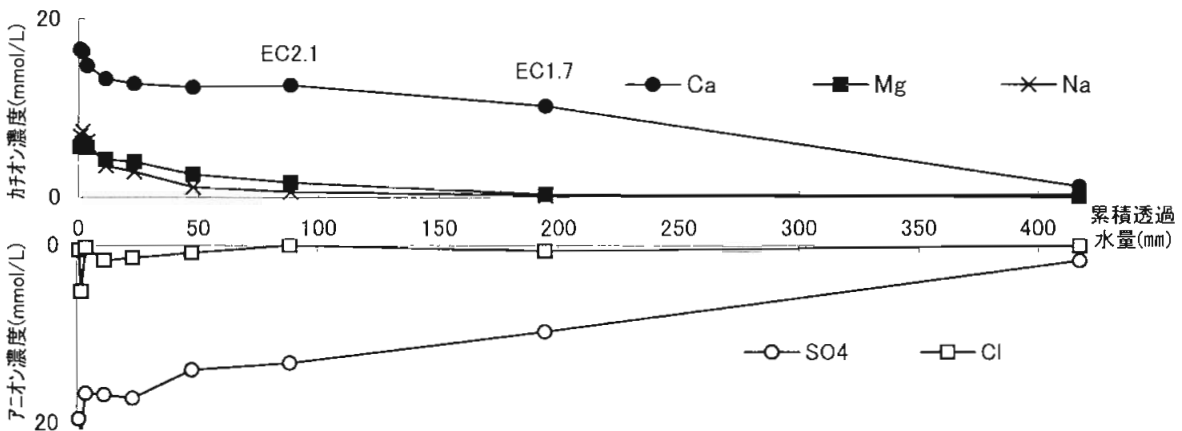


図7 透過水イオン濃度の推移(火山灰厚 0.9cm)

考 察

三宅島現地において長期間自然堆積状態にあった火山灰のpH (H₂O) が、3～4程度の低い値であることについては多くの報告があり(石丸ら, 2002; 加藤(拓)ら, 2002; 加藤(哲)ら, 2002; 吉永ら, 2003), 加藤(拓)ら(2002)はその原因を火口から放出されるSO₂ガスの影響であると推察している。しかし、今回の一般化学性分析結果、特にSO₂ガス非影響下で保存した試料(G)のpH (H₂O)が低いことから、火山灰中に含まれる単体イオウの酸化が、堆積火山灰pH低下の主な原因と考えられる。

火山灰層からのNa溶出がMgよりも急速であること理由は、主として供試火山灰に含まれる粘土鉱物(スメクタイト、カオリナイト(加藤(拓)ら, 2002; 宇都ら, 2001))の交換基において、Mgの方がより強く吸着されているためと推察される。

Caの特徴的な溶出様式、および、実際に試薬を用いて作成したCaSO₄飽和溶液の分析値(EC: 2.0mS/cm, CaならびにSO₄濃度: 13mmol/L)は、火山灰に含まれる水溶性Caの大部分が溶解度の低いSO₄塩として存在することを示している。これはX線回折による分析結果(加藤(拓)ら, 2002; 宇都ら, 2001)とも一致しており、火山灰の塩基飽和度が極めて高いことの理由と考えられる。

透過水ECと火山灰ECが同様な推移を示したことから、少なくとも第1変曲点以降では、火山灰層から溶出する透過水中の溶質濃度は、火山灰層に残存している水溶性成分量を正確に反映したものと考えられる。従って、全層均一な状態を前提とした火山灰層では、残存する水溶性成分に関して、以下の推定が可能である。①透過水のEC>2.0mS/cm(透過水量が堆積深1cm当たり約30mm以内)の場合: 火山灰層の水飽和状態維持に最低限必要とされる水量で

は溶解しきれない過剰量の CaSO_4 +その他の塩、② $\text{EC}=2.0\text{mS/cm}$ (透過水量が堆積深1cm当たり約30mm~約300mm)の場合:火山灰層の水飽和状態維持に最低限必要とされる水量では溶解しきれない過剰量の CaSO_4 、③ $\text{EC}<2.0\text{mS/cm}$ (透過水量が堆積深1cm当たり約300mm以上)の場合:火山灰層の水飽和状態維持に最低限必要とされる水量で完全に溶解する量の CaSO_4 、④透過水量が堆積深1cm当たり約600mm以上の場合:全成分に関し、溶出と外部からの供給が平衡状態。噴火後3年が経過した2003年の現時点では、農地に堆積している火山灰の大部分は、一部堆積深が厚い場所を除き、④または③の段階にあると思われる。

以上を基に、三宅島現地における火山灰堆積下土壌の化学性変化を推測すると、当初一時的に交換性・水溶性のNaが増加したが、次第に交換侵入力の高いMg, Caにより置換され、最終的にはCa以外の塩基はほとんど排除されていったと考えられる。また、年間降水量約3000mmという多雨な三宅島の気候では、Caの過度な集積を心配する必要は少ない。特に火山灰の堆積深が薄い箇所では、火山灰だけでなく土壌からも塩類が溶脱している可能性もある。従って、火山灰堆積下土壌の化学性に関しては、現時点で塩基バランス以外に悪化が予想される項目は見当たらない。ただし、多量のイオウを含む泥流を噴出させた北海道十勝岳噴火の事例では、噴火1年後において土壌の著しいpH低下、交換酸度の上昇が認められている(猪狩, 1940)。十勝岳の場合と同程度のイオウを含む火山灰に覆われた三宅島の土壌に関しても、今後同様な問題の顕在化が懸念される。実際に、現地の土壌調査結果は、これらの推測を裏付ける内容であった(丸田ら, 2003)。

また、今回分析に供した火山灰試料の粒径は著しく細かく(加藤(哲)ら, 2002)、透水性が極めて不良(試料Gの定水位飽和透水係数 $1.5 \times 10^{-5}\text{cm/S}$)である。火山灰が直接土壌に混入することを想定した場合、堆積深が厚く水溶性成分残存量が多いほど、土壌の物理性・化学性に対する影響は無視できない。従って、例えば有珠山での「畑、草地の地帯では噴出物の混層は10cmを限度」とした基準(北海道農試他, 1978)を、三宅島にそのまま適用することは不可能である。今回得られた結果に加え、堆積火山灰

の継続調査結果(加藤(哲)ら, 2002)ならびに人為的に火山灰を混入させた土壌での栽培試験結果等(未発表)もふまえ、現時点では農地土壌に対する火山灰混入限界量の基準を2cm以内(噴火直後の時点では1cmとしていた)としている。

摘 要

三宅島2000年噴火火山灰の一般化学性ならびに火山灰から浸出する溶液中の水溶性成分を分析した。

1. 火山灰は、国内の火山噴火では過去に記録のない多量の交換性塩基類(特にCa)およびイオウを含有していた。
2. 火山灰から溶出する水溶性成分は、降下直後の時点ではCa, Na, Mg(SO_4 またはCl塩)が主体であった。しかし、火山灰層への累積透過水量が厚さ1cmあたり約30mm以上に達すると、溶出液中の成分は CaSO_4 のみとなり、この時火山灰中に残存する水溶性成分も CaSO_4 以外はごく微量であると推察された。
3. 三宅島現地では、堆積火山灰に含まれるイオウの酸化が進行し、これを原因として土壌pHが低下していると考えられる。また、堆積火山灰は透水性が極めて不良でもあるため、土壌への混入を極力避け、可能な限り圃場から除去すべきである。

引用文献

- 土壌養分測定法委員会編(1970)土壌養分分析法。養賢堂, 東京. pp.1-408.
- 北海道農業試験場・北海道立中央農業試験場(1978)有珠山噴火農業災害調査報告。北海道農試研究資料13:34-51, 211.
- 北海道農業試験場(2000)平成12年(2000年)有珠山噴火農業災害調査報告。北海道農試研究資料60:23.
- 猪狩源三(1940)十勝岳爆発泥流に関する調査成績。北海道農事試験場報告39:1-136.
- 石丸 仁・増田信也・黒羽公明(2002)三宅島2000年噴火の植生回復・緑化への影響に関する調査。平成14年度東京都土木技術研究所年報:365-372.

- 鹿児島県農業試験場・鹿児島県果樹試験場・鹿児島県茶業試験場・鹿児島県蚕業試験場・鹿児島県畜産試験場・鹿児島県養鶏試験(1980)桜島降灰対策に関する研究報告書：19-20.
- 鹿児島県農業試験場(1995)桜島火山灰の農耕地化学性への影響と改善対策.九州農業研究成果情報10：473-474.
- 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.
- 加藤哲郎・丸田里江・益永利久・野呂孝史・矢沢宏太(2002)三宅島火山灰の降下後の経時的理化学性変化.2002年度日本土壤肥料学会関東支部会講演要旨集：8.
- 川崎 弘・吉田 滯・井上恒久・中島征志郎(1993)火山灰の化学性.九州農試研究資料79：3-11.
- 丸田里江・加藤哲郎・益永利久・野呂孝史・矢沢宏太(2002)三宅島降下火山灰が土壤化学性に及ぼす影響.2002年度日本土壤肥料学会関東支部会講演要旨集：8.
- 三宅村役場(2002)「三宅島被災農地等の現況調査」報告
- 宮内信文・長田智子(1983)桜島の降灰が土壤に及ぼす影響について.鹿児島大学農学部学術報告33：221-227.
- 中田節也・長井雅史・安田敦・嶋野岳人・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.
- 宇都浩三・風早康平・斉藤元治・伊藤順一・高田亮・川辺禎久・星住英夫・山元孝広・宮城磯治・東宮昭彦・佐藤久夫・濱崎聡志・篠原宏志(2001)三宅島火山2000年噴火のマグマ上昇モデル—8月18日噴出物および高濃度SO₂火山ガスからの考察—.地学雑誌110：257-270.
- 矢沢宏太・加藤哲郎・野呂孝史・益永利久・丸田里江(2002)三宅島2000年噴火火山灰の化学性と火山灰からの水溶性成分溶出.日本土壤肥料学雑誌,73：773-775.
- 矢沢宏太・加藤哲郎・野呂孝史・益永利久・丸田里江(2003)三宅島2000年噴火火山灰からの溶出する水溶性成分の定量.日本土壤肥料学雑誌,74：61-63.
- 吉永秀一郎・岡本透・相澤州平・阿部和時(2003)2000年三宅島雄山火山噴出物からの水溶性成分の溶出.日本土壤肥料学会講演要旨集,49：184.

Summary

Kota Yazawa, Tetsuo Kato, Rie Maruta, Takashi Noro and Toshihisa Masunaga (2004) : Chemical characteristics of volcanic ash ejected in Miyakejima 2000 eruption. Bull.Tokyo Metro.Agric. Exp.Sta.32 : 101-107.(Received December 5, 2003 ; Accepted December 17, 2003)

Key words : Miyake Island, volcanic ash, sulfur, water-soluble constituents, CaSO₄

We analyzed some volcanic ash samples ejected in Miyakejima 2000 eruption, about chemical characteristics and water-soluble constituents in the exudate of volcanic ash layer.

Each sample contained large amount of exchangeable bases(especially Ca) and sulfur, these high contents are never certified in any past domestic eruptions.

Water-soluble constituents released from volcanic ash, immediately after falling, were mainly Ca, Na, Mg (SO₄ or Cl salt) . But when the total quantity of water that passed through volcanic ash layer come to more than 30mm per 1cm layer depth, CaSO₄ was only detectable in the exudate. Then water-soluble constituent remained in volcanic ash layer was supposed only CaSO₄.

Soil pH lowering will be presumably proceeding in Miyakejima farming fields, caused by sulfur oxidation in piling volcanic ash. Besides, piling volcanic ash should be removed from the fields as completely as possible avoiding intermixture with soil, because it has very low hydraulic conductivity.