

北海道における火山灰土壌中の粘土鉱物

庫爾班 尼札米丁¹⁾・南 條 正 巳²⁾・天 野 洋 司³⁾
水 野 隆 文⁴⁾・吉 田 穂 積⁵⁾・水 野 直 治⁶⁾

Clay Mineralogical Properties of Volcanic Ash Soils in Hokkaido, Japan

Kuruban NIZAMIDIN¹⁾, Masami NANZYO²⁾, Youji AMANO³⁾, Takafumi MIZUNO⁴⁾,
Hozumi YOSHIDA⁵⁾ and Naoharu MIZUNO⁶⁾
(May 2003)

Key words: allophane, Andosol, clay minerals, potato common scab, water-soluble Al

1. 緒 言

北海道には更新世後期から完新世にかけて活動した数多くの火山がある。すなわち、駒ヶ岳、有珠山、樽前山、恵庭岳、十勝岳、カムイヌプリ、雌阿寒岳などである。これらを起源とする火山灰や火砕流などの分布と堆積年代は先人たちによって詳細に調べられ、北海道にはさまざまな年代の異なる火山灰のあることが明らかにされてきた(北海道火山灰命名委員会 1972, 加藤ら 1992, 町田・新井 1994)。火山灰土は北海道農地の43%にもおよび(橋本・志賀 1993)農業上重要な地位を占めている。

火山灰土にかぎらず、農業生産の基盤となる土壌は各種の粘土鉱物からなるが、この粘土鉱物の種類の差異が農業生産を左右している場合が多い(Shoji et al. 1980)。そのため土壌の粘土鉱物組成の研究が広く行われている(斉藤 1998)。しかしながら、多くの研究は単発的で、面としての研究はすくない。火山灰土の粘土鉱物については近堂(1967)の精力的な研究がある。しかしこの研究では道北に重点があり、道南地方のデータが欠落しており、また、火山灰土特有の粘土鉱物であるアロフェンの含有率も定性値で示されていて定量的なものではなかった。

一方、松山ら(1992)は北海道全域にわたって黒

ボク土をピロリン酸アンモニウムと酸性シュウ酸・シュウ酸塩可溶のケイ酸、アルミニウム、鉄の分析からアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土に分類した。しかしながら、火山灰の母材ごとの明瞭な区分や他の粘土鉱物、あるいはこれらの火山灰地帯で多く発生する銅欠乏あるいは亜鉛欠乏などの関係については未だ明らかにされていない。

そこで本研究では道北をのぞく道南から十勝、根釧地方、網走管内の火山灰土壌の粘土鉱物をX線回折法で同定するとともに、アロフェン含有率については化学分析によって求めた。また、土壌分類上は火山灰土壌との関係が明確でなくとも、主要な粘土鉱物がアロフェンと推定される場合はこれを調査に加えた。一方、近年は火山灰土壌地帯において層厚調整により、土壌が攪乱されている場合が多く、このことが土壌病害の多発などと関連のあることが明らかになってきた(Mizuno et al. 1998)。そのため、非農耕地の表土も調査対象とし、現在の作土と攪乱する前の土壌の状態についても分析を行った。

このような粘土鉱物のほか、ジャガイモそうか病の抑制と密接に関係する水溶性アルミニウムあるいは水溶性ケイ素、可溶性銅および亜鉛と火山灰との関係についても若干の検討を試みた。

¹⁾ 酪農学園大学酪農学部(現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター) Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu Hokkaido, 069-8501 Japan (Present address: Hokkaido University, Field Science Center for Northern Biosphere, Sapporo, 060-0811 Japan)

²⁾ 東北大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, 981-8555 Japan

³⁾ 酪農学園大学酪農学部 Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu Hokkaido, 069-8501 Japan

⁴⁾ 三重大学生物資源学部 Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, 514-8507 Japan

⁵⁾ 東京農業大学生物生産学部 Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, Abashiri, 099-2493 Japan

⁶⁾ 酪農学園大学大学院酪農学研究科 Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu Hokkaido, 069-8501 Japan

2. 実験材料および実験方法

1) 試料の採取と調整

試料の採取地点を地域（支庁管内）別に図1～5に示した。また、これらの母材およびその性状を表1に示した。土壌分類のコードは農耕地土壌分類第二次案改訂版によった(橋本, 志賀 1993)。火山灰土壌地帯の層厚調整ほ場では、一部で現在の作土(Ap)と本来の表層の土壌である非農耕地の表層(A)も採取した。採取した土壌は風乾後2mmのフルイを通してから実験に供した。

なお、採取した火山灰土は火山起源ごとに分け記載した。これらの現在明らかにされている主要な火

山灰の噴出の年代はつぎの通りである(町田・新井 1994, 加藤ほか 1998, 佐藤 1972, 山田 1953, 佐々木ら 1970, Sasaki et al. 1972)。樽前山: Ta-a; 1739 AD, Ta-b; 1667 AD, Ta-c; 1.6 ka (ka=千年前)。恵庭岳: En-a; 15~17 ka, 有珠山: Us-a; 1943 AD, Us-b; 1663 AD。駒ヶ岳: Ko-d; 1640 AD, Ko-e; 1.7 ka, Ko-f; 3~4 ka, Ko-g; 5~6 ka。羊蹄山: Yo-a; 6 ka。摩周火山: Ma-b; 1 ka, Ma-f~j; 6.5~7.2 ka。カムイヌプリ岳: Km-a; 1 ka。雌阿寒岳: Me-a; 0.5 ka。古期火山灰: 古期火山灰と記載したものは噴出年代が確定されていないが10 ka から 30 ka と推定される。



図1. 胆振管内における土壌試料採取地点

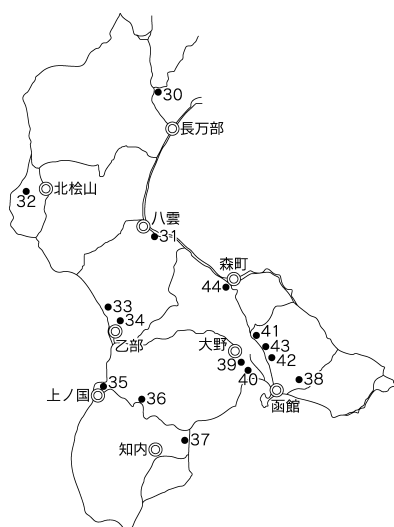


図2. 道南管内における土壌試料採取地点

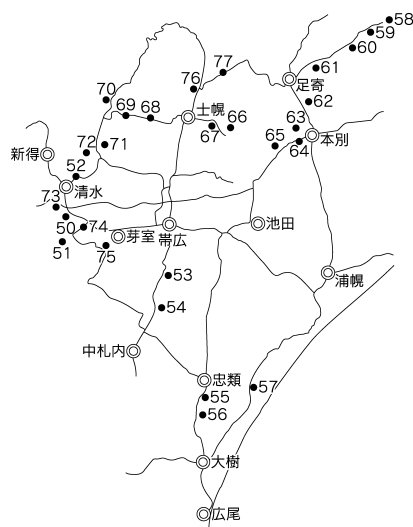


図3. 十勝管内における土壌試料採取地点

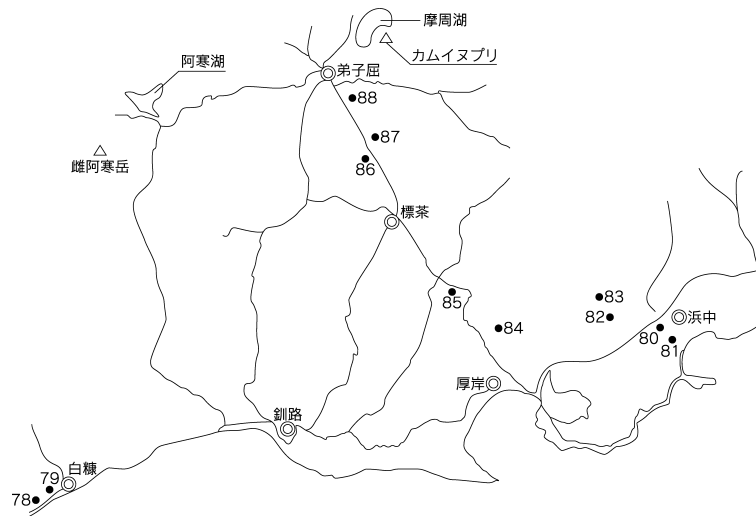


図 4. 根釧管内における土壌試料採取地点

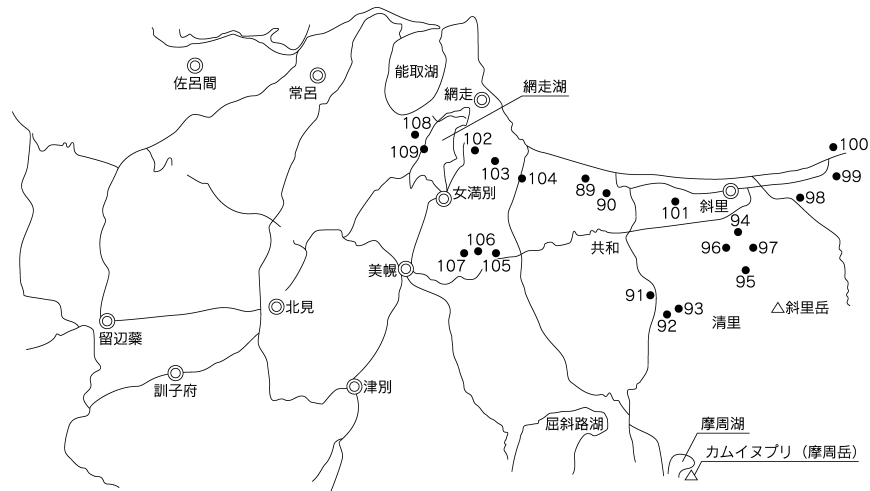


図 5. 網走管内における土壌試料採取地点

表 1. 試料の採取地点と母材

地点No.	採取場所	層位	略号	コード	層深 (cm)	腐植	・ 礫	土性	火山灰名記号
胆振管内									
1	追分町協和	A	O	03E50	0-26		・ 富む	S	Ta-a
		2A			26-65	すこぶる 富む	・	L	Ta-d
		3A			65-105		・ 含む	L	En-a
		3Bw			105-139	・ すこぶる 富む	SL	En-a	
2	追分町中安平	A	O	03E50	0-50		・ 富む	S	Ta-a
		2A			50-75	富む		SL	Ta-c
		2Bw			75-92	含む		S	Ta-c
3	早来町駒里	A	BIN	03D25	0-15	含む	・ 含む	S	Ta-a
		2A			50-100	すこぶる 富む	・	S	Ta-c1
		3A			100-115		・ 富む	L	Ta-d
4	苫小牧市美沢	Ap	BIS	03D33	0-20	含む	・ 含む	S	Ta-a
		4A			95-120	すこぶる 富む	・ 富む	L	Ta-d1
		4C			146-160	含む	・ すこぶる 富む	SL	Ta-d2
5	苫小牧市ウトナイ	A	GOS	04E48	0-5	含む	・	S	Ta-a

地点No.	採取場所	層位	略号	コード	層深 (cm)	腐植	・ 礫	土性	火山灰名記号
	苫小牧市ウトナイ	C			5-21		・ 富む	S	Ta-a
6	苫小牧市錦岡	Ap	MIN	03E50	0-25		・ 富む	S	Ta-IIIa
7	苫小牧市樽前	Ap	NI	03E49	0-20	含む	・ 富む	LS	Ta-IIIa
8	苫小牧市錦多布	Ap	NI	04E47	0-20	含む	・ 富む	LS	Ta-IIIa
9	苫小牧市柏原	Ap	U	03E51	0-26	含む	・	S	Ta-a
10	苫小牧市柏原	Ap	Shi	03E51	0-27	含む	・	S	Ta-a
11	苫小牧市植苗	Ap	U	03E51	0-26	富む	・ 含む	S	Ta-a
12	苫小牧市植苗	Ap	U	03E51	0-26	富む	・ 含む	SL	Ta-a
13	白老町社台	Ap	S	03E60	0-25			SL	Ta-a+Ta-b
14	白老町石山	Ap	HN	04E48	0-26	含む	・	S	Us-IIa+c
		2Oe			100-120	LP (泥炭土)			(泥炭土)
		3Ag			120-150	富む (低地土)		CL	(低地土)
		3Cg			150-170			CL	(低地土)
15	登別市ユウトピア牧場	Ap	M	03E57	0-25	富む		SL	Us-b
16	伊達市舟岡	Ap	R	03E43	0-20	含む	・ 含む	SL	Us-a+Us-b
		2A			20-28	含む		SL	Us-b
17	伊達市萩原	Ap	M	03E43	0-21	含む	・ 含む	SL	Us-a+Us-b
18	伊達市黄金	Ap	KOG	06B13	0-24	含む	・ 富む	S	Us-a
		2A			24-40	含む		L	(褐色森林土)
19	伊達市北稀府	Ap	KI-3	03E43	0-25	含む		SL	Us-a+Us-b
		2A			25-39	含む	・ 富む	L	(褐色森林土)
20	伊達市萩原	Ap	KI-2	03E43	0-25	含む	・ 含む	SL	Us-a+Us-b
21	伊達市関内	Ap	WS-2	03E46	0-21	含む	・ 富む	SL	Us-a+Us-b
22	伊達市五軒沢	A	WS-1	03E46	0-25	富む		SL	Us-a+Us-b
		C			25-140			SL	Us-b2
		2A			140-150	すこぶる 富む		CL	Yo-a
	伊達市五軒沢	Ap*	WS-1	03E46	0-22		・ 富む	SL	Us-a+Us-b
23	壮瞥町幸内	Ap	SA	03E46	0-22			SL	Us-b
24	壮瞥町下久保内	Ap	KAM-1	03E46	0-25	含む	・ 含む	SL	Us-a+Us-b
25	壮瞥町滝の町	Ap	WS-3	03E46	0-20	含む	・ 富む	SL	Us-a+Us-b
26	壮瞥町滝の町	Ap	SHI	01A01	0-20	含む	・ 富む	SL	Us-a+Us-b
27	洞爺村岩屋	Ap	M	06C23	0-15		・ 富む	SL	Us-a+Us-b
28	洞爺村香川	Ap	K2	03E43	0-25	含む		SL	Us-b
29	洞爺村成香	Ap	K1	03E43	0-25			SL	Us-b
渡島・檜山管内									
30	長万部町知来	Ap	TY	03D27	0-21	すこぶる 富む		L	Ko-d
31	八雲町浜松	Ap	TY	03D27	0-30	すこぶる 富む		S	Ko-d
		2A			30-40	富む		L	Ko-fgh
32	北檜山町太櫓	Ap	K	03D29	0-16	富む		CL	Ko-d
		2A			16-20	含む		CL	古期火山灰
33	乙部町元和	Ap	ST	04A06	0-16	富む		L	Os-a, Os-b
34	乙部町姫川	Ap	ST	04A06	0-30	富む		L	Os-a, Os-b
		2A			30-43	含む		L	古期火山灰
35	上ノ国町夷玉山	Ap	HT	06B12	0-13	すこぶる 富む		L	古期火山灰
		2A			13-24	富む		CL	古期火山灰
36	上ノ国町湯の岱	Ap	MI	03C10	0-15	富む		L	Os-a, Ko-d
37	知内町中の川	A	0	03A01	0-20	すこぶる 富む		L	Os-a, Ko-d
		2A			36-48	含む		CL	Ko-g, h
38	函館市銭亀沢	Ap	ZE-1	03C13	富む	CL		Ko-d, e	
		2Bw			55-70	含む		L	(褐色森林土)
39	大野町観音山	Ap	N	03A02	0-20	富む		L	Ko-d, e
40	上磯町清川	Ap	N	03A02	0-20	すこぶる 富む		L	Ko-d, e
		2A			50-60	含む		L	古期火山灰
41	七飯町藤城	Ap	ON	03A02	0-20	すこぶる 富む		L	Ko-d, e
		2A			34-50	含む		L	古期火山灰
42	七飯町鳴川	Ap	ON	03A02	0-20	すこぶる 富む		L	Ko-d, e
43	七飯町鳴川	Ap	N	03A02	0-20	富む		CL	Ko-d, e

地点No.	採取場所	層位	略号	コード	層深 (cm)	腐植	・ 礫	土性	火山灰名記号
44	森町森川	2A			50-60	含む		L	古期火山灰
		A	K	03E51	0-27	含む		LS	Ko-d
		C			27-45	含む		S	Ko-d
十勝管内									
50	清水町平和	Ap	KS	04A05	0-20	すこぶる 富む		L	Ta-a+Ta-c
51	清水町鉄南	Ap	KS	04A05	0-20	すこぶる 富む		L	Ta-a+Ta-c
52	清水町佐幌	Ap	SB	03D06	0-27	富む		L	Ta-a+Ta-c
53	帯広市大正	Ap	KG	12C07	0-13	含む		SL	Ta-a+Ta-b
54	帯広市大正	Ap	SH	03E49	0-25	含む		SL	Ta-a+Ta-b
55	忠類村共栄	A	TA	03E40	0-15	富む		SL	Ta-a+Ta-b
56	大樹町中大樹	Ap	MA	12C06	0-15	富む		S	Ta-b
57	豊頃町晩成	Ap	MA	12C06	0-15	富む		SL	Ta-b
		2A			15-30	富む		L	TA-c+Ta-d
		A		03A06	0-25	富む		SL	Me-a
58	足寄町上ラワン	2A			25-70	含む		CL	古期火山灰
		2Bw			70-	含む	・ 含む	L	古期火山灰
		Ap	RAT	06A08	0-15	富む		L	Me-a
59	足寄町上足寄	Ap	RAT	06A08	0-15	含む		L	Me-a
60	足寄町ラワン	Ap	RAT	06A08	0-15	含む		L	Me-a
61	足寄町中足寄	Ap	A	07A02	0-15	含む		L	Me-a+Ta-a
62	本別町仙美里	Ap	UC	13I32	0-15	含む		CL	(灰色低地土)
63	本別町本別	Ap	KAH	03C17	0-20	含む		L	Me-a
64	本別町チエナイ	Ap	HO	03C15	0-15	富む		SL	Me-a
65	本別町勇足	Ap	OH	03D23	0-20	富む		L	Me-a
66	士幌町下居辺	Ap	KAU	04A03	0-23	すこぶる 富む		CL	Me-a
67	士幌町下居辺	Ap	NIO	03E40	0-20	含む		L	Me-a
68	士幌町新栄	Ap	NIT	03D27	0-20	富む		L	Me-a
69	鹿追町中瓜幕	Ap	HIU	03D27	0-25	富む		SCL	Me-a
70	鹿追町西瓜幕	Ap	NIU	12C07	0-25	富む		SCL	Me-a
71	鹿追町笹川	Ap	KUT	04B09	0-18	富む		CL	Me-a
72	鹿追町上美蔓	Ap	SIH	04A03	0-20	富む		CL	Me-a
73	清水町上清水	Ap	SB	03D26	0-30	すこぶる 富む		L	Ta-a+Ta-c+Ta-d
		2A			30-50	含む		LiC	En-a
		2Bw			50-60			LiC	En-a
74	芽室町旭山	Ap	KEN	04D25	0-30	すこぶる 富む		L	Ta-a+Ta-c+Ta-d
		2A			30-40	富む		LiC	En-a
		2Bw			40-60			LiC	En-a
75	芽室町渋山	Ap	FUS	03E56	0-30	富む		L	Ta-a+Ta-c+Ta-d
		2Bw			30-120	富む		SL	En-a
		3Bw			120-500			L	Spfa
		4Bw			500-600			L	(花こう岩)
76	上士幌町上音更	Ap	SIH	12B03	0-15	富む		L	Ta-b+Ta-d
77	上士幌町北門	Ap	KO	03C10	0-11	富む		SL	Ta-b+Ta-d
		2A			.11-30	含む		L	Ta-d+En-a
釧路・根室管内									
78	白糠町馬主来	Ap	HA	03A01	0-15	富む		L	Me-a
		2A			15-30	富む		LiC	Km-a
		2C			30-44	含む		SiL	Ma-e
79	白糠町坂の丘	Ap	HA	03A01	0-15	富む		L	Me-a
80	浜中町浜中	Ap	TO-5	03A02	0-31	すこぶる 富む		L	Me-a
		2A			31-39	含む		SL	Ma-e
81	浜中町浜中	Ap	TO-5	03A02	0-30	すこぶる 富む		L	Me-a
82	浜中町秩父内	Ap	TO-4	03A02	0-13	富む		L	Me-a
83	浜中町萩の里	Ap	TO-1	03A02	0-13	すこぶる 富む		L	Me-a
84	厚岸町サッテベツ	Ap	TO-3	03A02	0-20	富む		L	Me-a
		2A			20-30	含む		L	Ma-e

地点No.	採取場所	層位	略号	コード	層深 (cm)	腐植	・ 礫	土性	火山灰名記号
85	標茶町下標茶	Ap	SH-1	03B06	0-10	富む		L	Me-a
86	標茶町磯分内	Ap	T-1	13E17	0-17	含む		L	Me-a
87	標茶町磯分内	Ap	K-1	03B06	0-10	富む		L	Me-a
88	弟子屈町仁多	Ap	WT-1	03B06	0-17	富む		SiL	Me-a
		2A			17-22	含む		SiL	Km-a
網走管内									
89	網走市浦士別	Ap	URE	03E46	0-30	含む		SL	Ta-a+Me-a
		2Bw			30-200			L	Pumice flow
		3Bw			200-300			L	Pumice flow
	網走市浦士別	Ap*	URE	03E46	0-30			SL	Ta-a+Me-a+Km-a
90	小清水町倉栄	Ap	MIW	03D24	0-30	含む		SL	Km-a
		2Bw			30-110			L	(Shari Loam)
		2C			110-200			L	(Shari Loam)
	小清水町倉栄	Ap	MIW	03D24	0-30	含む		SL	Ta-a, Me-a, Km-a
	小清水町倉栄	Ap*	MIW	03D24	0-30	含む		SL	Ta-a, Me-a, Km-a
91	小清水町水上	Ap	MI	03D24	0-30	含む		L	Ta-a, Me-a, Km-a
92	清里町札弦西	Ap*	SW	03D24	0-35	含む		SL	Ta-a, Me-a, Km-a
		2Bw1			35-100			L	Shari loam
		2Bw2			100-300			L	Shari loam
		2C			300-400			S	Shari pumice flow
	清里町札弦西	Ap	SW	03D24	0-25	含む		SL	Km-a
93	清里町札弦	Ap	S	03B06	0-30	含む		SL	Km-a
94	清里町南斜里	Ap	KO	03E46	0-30	含む		SL	Km-a
		2Bw			30-70			S	Pumice flow
		2C			70-130			S	Pumice flow
	清里町南斜里	Ap*	KO	03E46	0-30	含む		SL	Km-a
95	清里町向陽美里	Ap	KO	03E46	0-30	含む		SL	Km-a
		2Bw			30-42			SL	Ma-f1
96	清里町向陽北	Ap	KO	03E46	0-20			SL	Km-a
97	斜里町来運	Ap	R	03E46	0-30			SL	Km-a
		2Bw			30-80			SL	Ma-f1
		2C			80-120			S	Ma-f3
98	斜里町朱円西	Ap	SW	13D15	0-25			SL	(灰色低地土)
		2A			25-50			L	
		3A			50-70			L	
		3C			70-100				
99	斜里町朱円東	Ap	SE	03D23	0-30	含む		L	Km-a
		2C			30-70	含む		L	Ma-f
		3C			70-80		・すこぶる富む	S	Shari pumice flow
	斜里町朱円東	Ap*	SE	03D23	0-25	富む		SL	Km-a
100	斜里町日の出	Ap	H	03D27	0-25	含む		L	Km-a
101	清里町大和	Ap	YN	04A04	0-15	含む		L	Km-a
		C			15-100			SL	Shari loam
	清里町大和	Ap	YN	04A04	0-25	含む		SL	Ta-a+Me-a
102	網走市呼人	Ap	YO	06B14	0-25	富む		SL	Ta-a+Me-a
103	網走市東網走	Ap	YO	06B14	0-25	含む		L	Ta-a+Me-a
104	網走市山里	Ap	KY	03C10	0-30	富む		SL	Ta-a+Me-a
		2Bw1			30-70			L	Shari loam
		2Bw2			70-76			L	Shari loam
	網走市山里	Ap*	KY	03C10	0-30	富む		SL	Ta-a+Me-a
105	女満別町日進	Ap	SH	03A04	0-30	富む		SL	Ta-a+Me-a
		2Bw			30-60			LS	Ma-f1
	女満別町日進	Ap*		03A04	0-25	含む		SL	Ta-a+Me-a
106	女満別町日進	Ap		04E	0-25	含む		L	Bihoro loam

地点No.	採取場所	層位	略号	コード	層深 (cm)	腐植	・ 礫	土性	火山灰名記号
107	女満別町大成	Ap*		03E42	0-25	富む		SL	Ta-a+Me-a
		A		03E42	0-18	富む		SL	Ta-a+Me-a
		2Bw			18-43			SiCL	Ta-a+Me-a
		3Bw			43-65			CL	Bihoro loam
108	網走市嘉多山	A	KA-1	03A02	0-23	富む		SL	Ta-a+Me-a
		2Bw			23-48			CL	Bihoro loam
	網走市嘉多山	Ap	KA-1	03A02	0-25	富む		SL	Ta-a+Me-a
	網走市昭和	Ap	KA-1	03A02	0-25	含む		SL	Ta-a+Me-a

*：層厚調整工事済み

火山灰名記号：

Ta：樽前，En：恵庭，Us：有珠，Os：渡島大島，Yo：羊蹄，Me：雌阿寒，Ma：摩周，Km：カムイヌプリ，Spfa：支笏降下軽石，Shari loam：斜里ローム，Shari pumice flow：斜里火砕流
(土壌の分類) コード：地力保全第2分類によった

2) 土壌の分析法

- (1) 酸性シュウ酸・シュウ酸塩 (pH 3.0) 可溶のケイ素 (Sio)，アルミニウム (Alo)，鉄 (Feo) の抽出法 (Blakemore et al. 1981)

抽出液：酸性シュウ酸・シュウ酸塩 (pH 3.0)；0.2 M シュウ酸溶液と 0.2 M シュウ酸アンモニウム溶液を作成し，両者を混合して pH 3.0 に調整し実験に供した。

操作：風乾細土 1.0 g を 200 mL 容のポリエチレン製ビンに秤りとり，これに 100 mL の抽出用の酸性シュウ酸・シュウ酸塩溶液を加え，暗条件で 4 時間振とうした。これを遠心分離後，上澄液を東洋ろ紙 No. 5 C でろ過し，浮遊する微細な植物根などを除去した。ろ液をケイ素，アルミニウム，鉄の分析定量に用いた。

- (2) ピロリン酸ナトリウム可溶アルミニウム (Alp) と鉄 (Fep) の抽出法

試薬：0.1 M ピロリン酸ナトリウム液；ピロリン酸ナトリウム (10 水和物) 223 g を蒸留水に溶かして 5 L とした。

操作：風乾土 1.0 g を 200 mL のポリエチレン製ビンに秤りとり，これに 100 mL のピロリン酸塩溶液を加え，16 時間振とうした。これを 3500 rpm に調整した遠心分離で 20 分間分離し，上澄液を再蒸留水で 10 倍に希釈して分析に供した。

- (3) 水溶性アルミニウム (W-Al) と水溶性ケイ素 (W-Si)

10 g の風乾土を 250 ml 容のポリエチレン製ビンに秤りとり，これに蒸留水を 100 ml 加え，24 時間振とうし，これをろ過して，溶液中の濃度を表示した。水溶性アルミニウムの定量は和田 (1986) による 8-キノリノールクロロフォルム抽出法による吸光光

度法によった。

- (4) ケイ素 (Si) の定量

試薬：0.25 M 塩酸；1 M 塩酸 100 mL を 400 mL に希釈して使用。

モリブデン酸アンモニウム溶液；102 g のモリブデン酸アンモニウムを熱水にとかし，溶解後 1 L にしてから使用した。

亜硫酸ナトリウム溶液；170 g の亜硫酸ナトリウムを蒸留水に溶解し 1 L とした。

操作：水抽出液は原液。酸性シュウ酸・シュウ酸塩抽出液は 10 倍希釈液をそれぞれ 5 mL ずつ 20 mL 試験管にとり，これに 0.25 M-HCl を 2.5 mL 加えた。これにモリブデン酸アンモニウム溶液 2.5 mL と亜硫酸ナトリウム溶液 5 mL を加え攪拌し，10 分後 650 nm で吸光度を測定した。Si の標準液についても同様に操作し，この標準液から Si 濃度を求め，これを Sio とした。

- (5) アルミニウム (Alo, Alp) と鉄 (Feo, Fep) の求め方

ピロリン酸アンモニウムあるいは酸性シュウ酸・シュウ酸塩で抽出した溶液は蒸留水で 10 倍に希釈し，干渉抑制のため，塩化ランタン (LaCl₃·7 H₂O) を加え，それぞれの液を原子吸光光度法で Al と Fe を測定した。

- (6) アロフェン含有率の求め方

アロフェン含有率は Sio から求めた。計算式はつぎのとおりである。

$$\text{アロフェン含有率} \% = \text{Sio} \% \times 7.14$$

3) 粘土鉱物の同定

(1) 粘土の分離

粘土の分離と採取法は図6に示した。

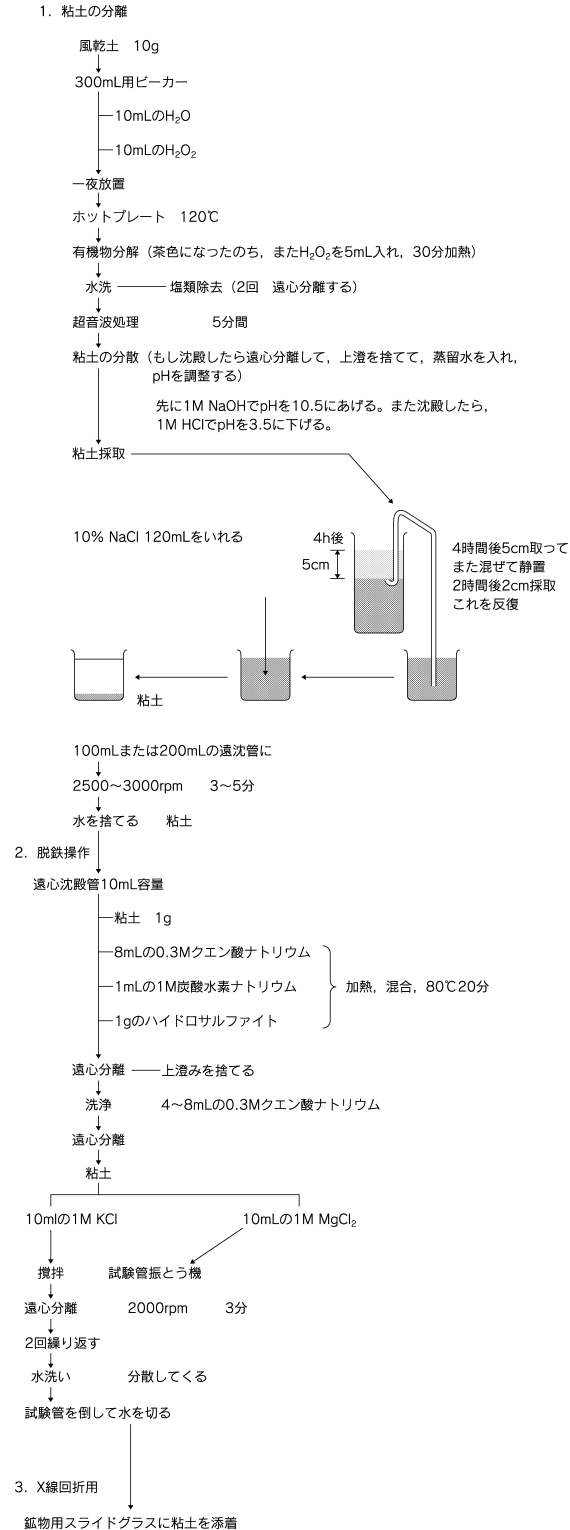


図6. 粘土分析のための前処理

(2) 粘土の同定

前処理は Whittig (1965) と和田 (1966) によった。図6のように Mg 型、K 型に調整したペトス状の粘土試料からそれぞれ鉱物観察用スライドガラスを用いて強制定方位試料を作成した。X線回折は RigakuRADR-10 A (CuK α , 35 mA, 45 kV) を用い、走査角度 (2θ) を 2~15 度として行った。Mg 型の試料については室温にて測定した後、グリセリンの 10% エタノール溶液で処理後同様に X 線回折をおこなった。K 型試料についても同様に室温で測定した後、300℃で1時間加熱後と、さらに 550℃で1時間加熱後にも測定した。得られた X 線回折ピークから図7のように粘土鉱物組成を判定した。

(3) X線回折図の波形と粘土鉱物

粘土鉱物の同定のために、採取した粘土は Mg²⁺、グリセロール添加、K⁺ 飽和、熱処理を行い、これらの処理で現れる粘土鉱物のピーク位置とその変化から粘土鉱物を判定した。図7には粘土鉱物別および前処理別に発生するピークの特徴を示した。

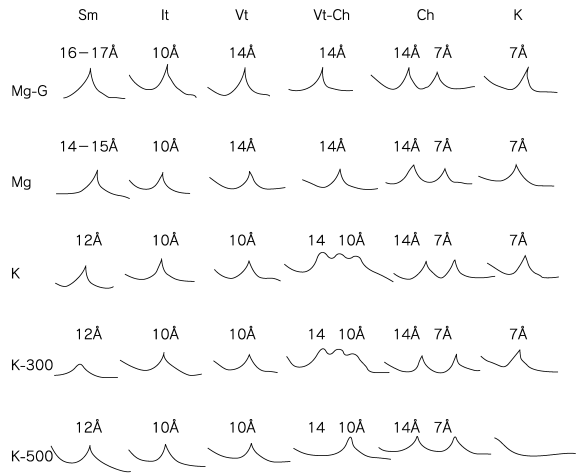


図7. 粘土鉱物判定基準のX線反射ピーク

4) 0.1 M 塩酸可溶銅 (Cu) および亜鉛 (Zn) の定量法

風乾土 10 g を 100 ml 容のポリエチレン製ビンに秤りとり、これに 0.1 M HCl 50 ml を加え、1時間振とう後 No.5 B のろ紙でろ過し、ろ液を直接原子吸光光度法にて定量した。

5) 土壌の全分析法

銅、亜鉛の全含有率定量の前処理には、炭酸ナトリウムを用いるアルカリ溶融法 (Purvis and Peterson 1956) によった。試料は溶融に使用したナトリ

ウム含有率が高いため、原子吸光度法による分析にはD2ランプによるバックグラウンド補正をおこなった。

6) 腐植の定量

腐植の定量はクロム酸化法によった。

3. 実験結果と考察

1) 主要土壌のX線回折図

図8にはUs-a+Us-b由来土壌に含まれる粘土画分のX線回折図を示した。これらの粘土画分には明瞭な回折ピークが現れた。このX線回折パターンからこの粘土鉱物はスメクタイトが主体で、イライト、非晶質粘土の存在はごく微量であった。

図9には上ノ国町夷王山の古期火山灰粘土鉱物のX線回折図を示した。これからこの粘土鉱物にはイライト、クロライト、2:1~2:1:1型中間種鉱物(Ch-Vt)、カオリン鉱物および非晶質物(酸性シュウ酸塩抽出より)がかなり明瞭に存在することが明らかになった。

図10は芽室町渋山の下層に存在する4Bw層から採取した粘土の分析結果を示したものである。こ

の粘土鉱物はどの処理法でもX線回折では10Åにピークが現れる典型的なイライトのパターンである。その他、わずかにバーミキュライトのピークも観察された。これは下層にある花崗岩の風化によって生成した粘土鉱物と考えられる。

図11には帯広市大正の褐色低地土の分析結果を示す。土壌分類上は褐色低地土であるが、作土の母材にはTa-a+Ta-bの火山灰が混り、X線回折結果から、イライト、クロライト、2:1~2:1:1型中間種鉱物、カオリン鉱物と酸性シュウ酸塩抽出分析から少量の非晶質粘土を含むことが明らかになった。

図12には大樹町中大樹のAp層から採取した粘土鉱物のX線回折図を示した。これからこの粘土鉱物はクロライト、2:1~2:1:1型中間種鉱物、カオリン鉱物、そして酸性シュウ酸塩抽出分析から少量の非晶質粘土を含有することがわかった。

図13には網走管内斜里町朱円西の灰色低地土のAp層から採取した粘土鉱物を示した。この粘土鉱物にはほとんど回折ピークは現れず、非晶質のアロフェン主体であることがわかった。土壌分類上は灰色低地土であるが、これには火山灰土特有のアロフェンが含有されていることが明らかになった。

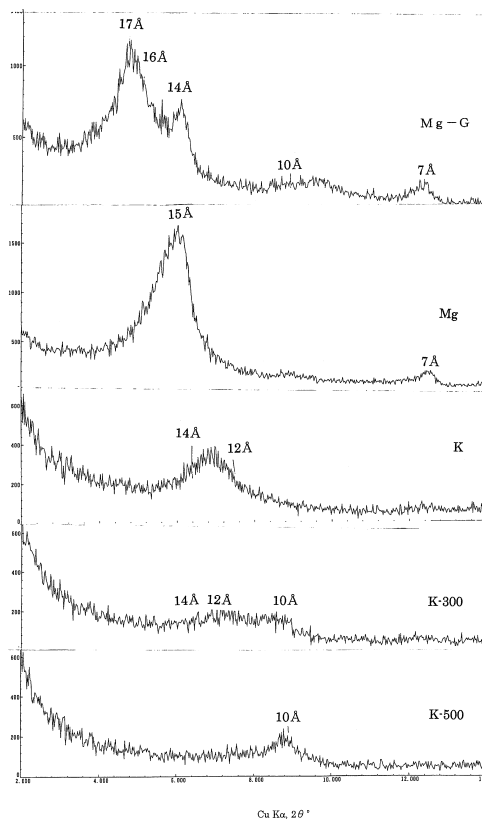


図8. 淡色黒ボク土(Us-aUs-b:伊達市関内Ap)粘土のX線回折図

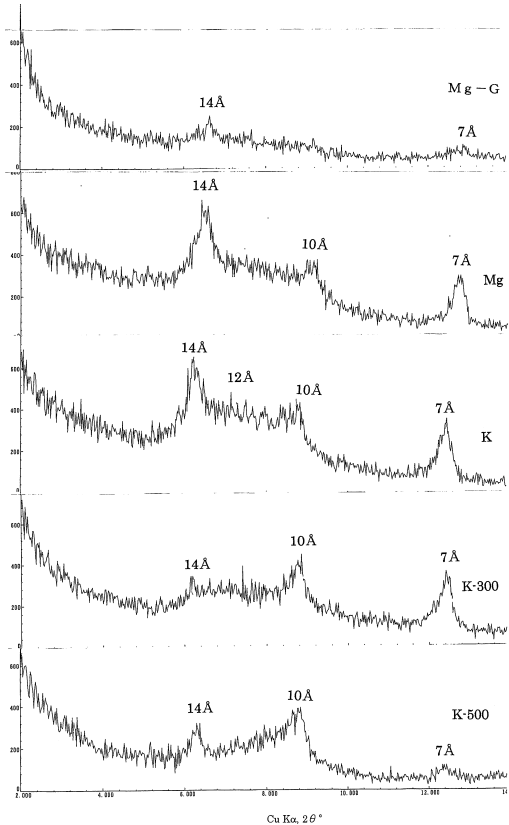


図9. 中粗粒褐色森林土(古期火山灰:上ノ国町夷王山Ap)粘土のX線回折図

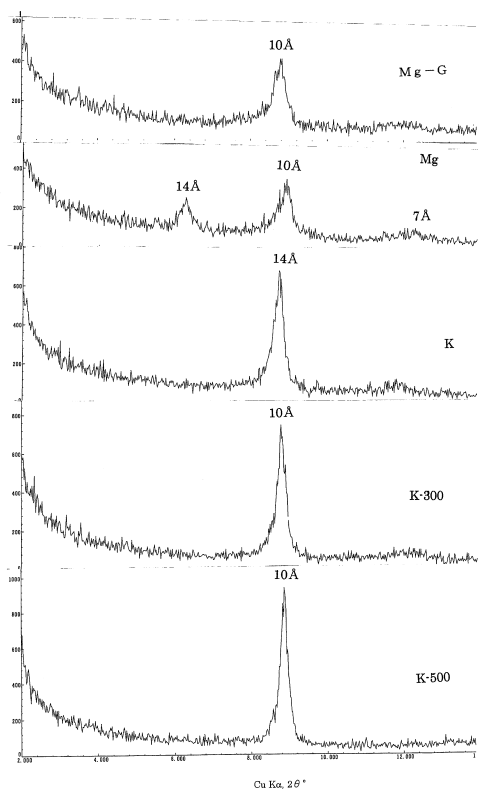


图 10. 花こう岩母材の土壤 (芽室町 4 BW) 粘土の X 線回折図

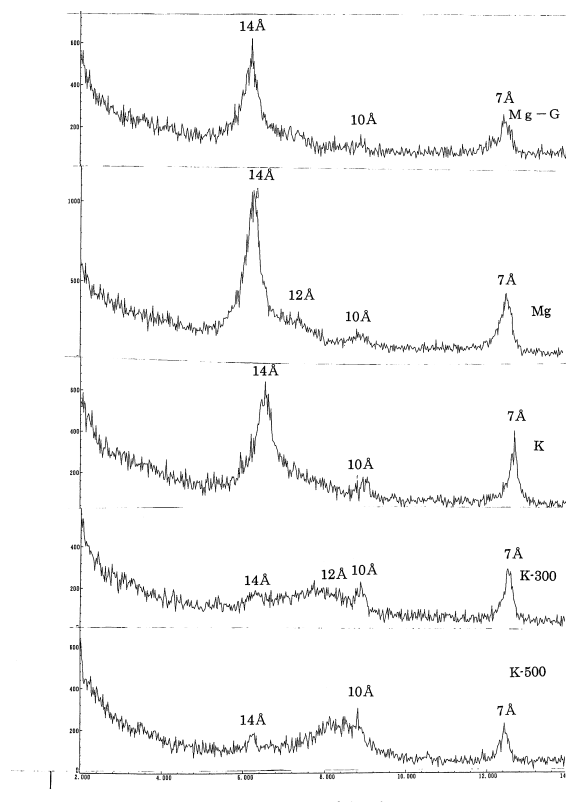


图 11. 礫質褐色低地土表土 (Ta-a + Ta-b: 帯広市大正 Ap) 粘土の X 線回折図

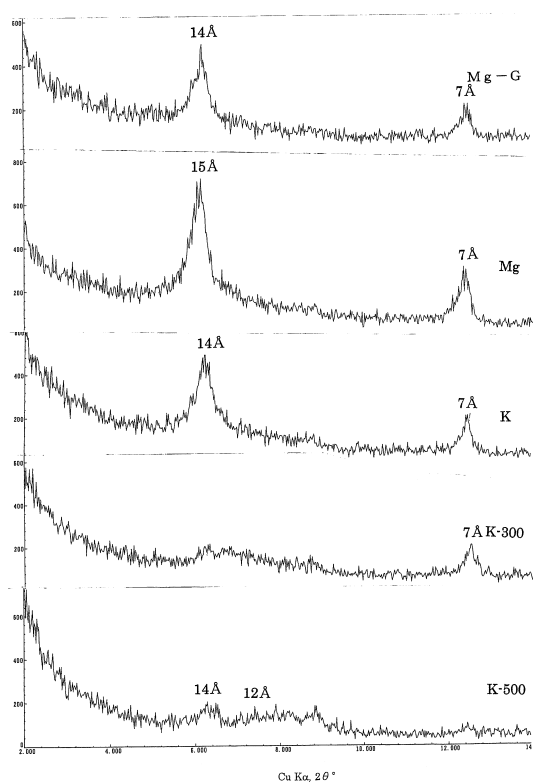


图 12. 礫質褐色低地土表土 (Ta-b: 大樹町中大樹 Ap) 粘土の X 線回折図

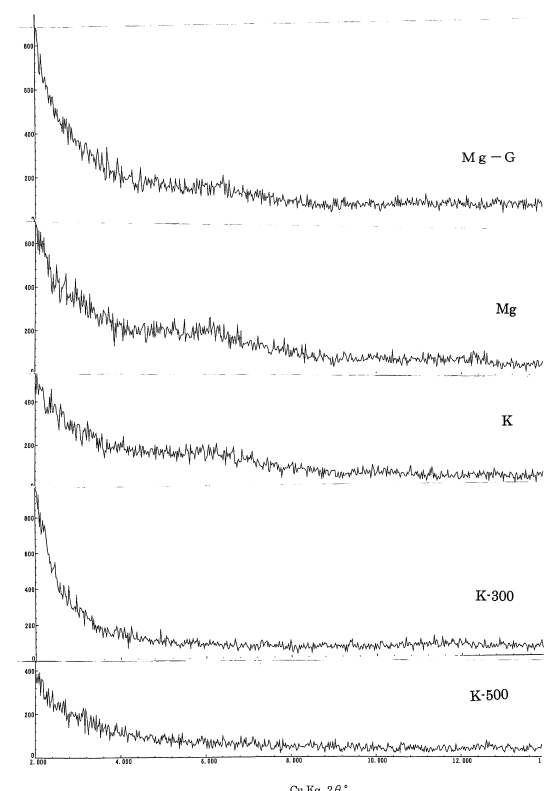


图 13. 灰色低地土 (斜里町朱田西 Ap) 粘土の X 線回折図

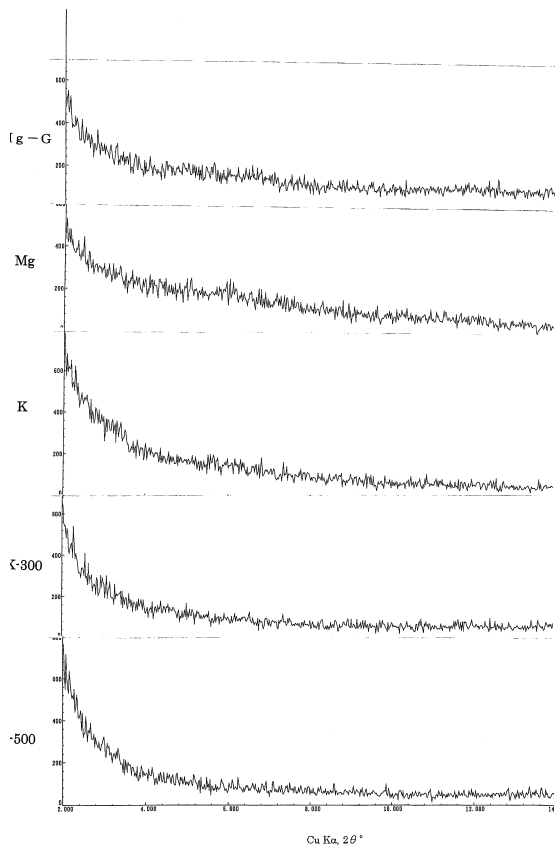


図 14 には網走市山里の典型的なアロフェン質黒ボク土の X 線回折図を示す。この粘土鉱物も全くピークは現れず、図 13 と同じパターンを示した。

2) 各種地帯別のアロフェン含有率と粘土鉱物の同定

道内各地から地帯別、母材別に採取した火山灰のアロフェン含有率と各種結晶性粘土鉱物であるスメクタイト (Sm) (モンモリロナイト), イライト (It), バーミキュライト (Vt), バーミキュライト-クロライト中間種鉱物 (Vt-Ch), クロライト (Ch), カオリン (Kn) と非晶質粘土鉱物の同定結果を表 2 に示した。以下支庁管内別に検討する。

図 14. 表層多腐植質黒ボク土 (Shari loam : 網走市山里 2 Bw 1) 粘土の X 線回折図

表 2. アロフェン含有率と粘土鉱物

地点No.	採取場所	層位	母材	アロフェン	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質	
胆振管内												
1	追分町協和	A	Ta-a	0.28							±	
		2A	Ta-d	5.00							+++	
		3A	En-a	14.28					±		+++	
		3Bw	En-a	7.07							+++	
2	追分町中安平	A	Ta-a	0.28							±±±	
		2A	Ta-c	7.14					±		+++	
		2Bw	Ta-c	3.73							+++	
3	早来町駒里	A	Ta-a	0.72							+	
		2A	Ta-cl	19.37							+++	
		3A	Ta-d	34.24							+++	
4	早来町駒里 苫小牧市美沢	Ap*	Ta-a	2.02							++	
		Ap	Ta-a	0.81	±	+					+	
		4A	Ta-d1	6.42					±		±	+++
		4C	Ta-d2	22.61								+++
5	苫小牧市ウトナイ	A	Ta-a	0.35						±	±	
		C	Ta-a	0.75								+
6	苫小牧市錦岡	Ap	Ta-IIIa	0.34							±	
7	苫小牧市樽前	Ap	Ta-IIIa	0.72			±				+	
8	苫小牧市錦多布	Ap	Ta-IIIa	0.81							+	
9	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	0.37							±	
10	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	0.37							±	
11	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	0.35		+				+	±	
12	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	0.35							±	

地点No.	採取場所	層位	母材	アロフェン	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
13	白老町社台	Ap	Ta-a+Ta-b	0.17							±
14	白老町石山	Ap	Us-IIa+c	0.59							±
		2Oe	(泥炭土)	3.51		+			+		+++
		3Ag	(低地土)	9.39	±				+		+++
		3Cg	(低地土)	0.11			+	+	++		-
15	登別市ユウトピア牧場	Ap	Us-b	1.80	+					±	++
16	伊達市舟岡	Ap	Us-a+Us-b	1.42	+			+			++
		2A	Us-b	1.25	+			+			+
17	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	1.41	++		+				++
18	伊達市黄金	Ap	Us-a	1.51	+	+		±			++
		2A	褐色森林土	1.13		+				+	+
19	伊達市北稀府	Ap	Us-a+Us-b	1.06	++					±	+
		2A	(褐色森林土)	1.06	+					±	+
20	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	1.06	+				±		+
21	伊達市関内	Ap	Us-a+Us-b	0.87	+++		+				+
22	伊達市五軒沢	A	Us-a+Us-b	1.13	+	±			+		+
		C	Us-b2	0.65			+				±
		2A	Yo-a	5.49					+		+++
	伊達市五軒沢	Ap*	Us-a+Us-b	2.55	±				±		++
23	壮瞥町幸内	Ap	Us-b	1.33	+	+			+		+
24	壮瞥町下久保内	Ap	Us-a+Us-b	1.23	++	+					+
25	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	0.96	++				+		+
26	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	0.91	++				±		+
27	洞爺村岩屋	Ap	Us-a+Us-b	1.08	++		+	++		+	+
28	洞爺村香川	Ap	Us-b	2.46	+				+		++
29	洞爺村成香	Ap	Us-b	1.65	++				++		++
渡島・檜山管内											
30	長万部町知来	Ap	Ko-d	0.34		+		+		+	±
31	八雲町浜松	Ap	Ko-d	1.28				+		+	
		2A	Ko-f~h	9.55				+		±	+++
32	北檜山町太櫓	Ap	Ko-d	0.95							±
		2A	古期火山灰	2.43							++
33	乙部町元和	Ap	Os-a, Os-b	1.62						±	++
34	乙部町姫川	Ap	Os-a, Os-b	1.70		++			++		++
		2A	古期火山灰	1.91		++			++		++
35	上ノ国町夷玉山	Ap	古期火山灰	1.41		++			++		++
		2A	古期火山灰	4.06		++			++		+++
36	上ノ国町湯の岱	Ap	Os-a, Ko-d	0.97				+		+	±
37	知内町中の川	A	Os-a, Ko-d	3.61				+		+	+++
		2A	Ko-g, h	5.51				+		+	+++
38	函館市銭亀沢	Ap	Ko-d, e	6.37				+		+	+++
		2Bw	(褐色森林土)	2.19			+				++
39	大野町観音山	Ap	Ko-d, e	4.85				+		±	+++
40	上磯町清川	Ap	Ko-d, e	2.67		+			+		++
		2A	古期火山灰	12.35							+++
41	七飯町藤城	Ap	Ko-d, e	2.43		+	±			±	++
		2A	古期火山灰	4.16		+				±	+++
42	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	3.81							+++
43	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	6.63					±		+++
		2A	古期火山灰	8.54				±	±		+++
44	森町森川	A	Ko-d	0.61				+		±	±
		C	Ko-d	0.24							
十勝管内											
50	清水町平和	Ap	Ta-a+Ta-c	6.93					+		+++
51	清水町鉄南	Ap	Ta-a+Ta-c	9.60					+		+++
52	清水町佐幌	Ap	Ta-a+Ta-c	6.36					+		+++
53	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	1.17		+			++		+

地点No.	採取場所	層位	母材	アロフェン	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
54	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	1.58		+			++		++
55	忠類村共栄	A	Ta-a+Ta-b	0.93	+	+					+
56	大樹町中大樹	Ap	Ta-b	3.11					++		++
57	豊頃町晩成	Ap	Ta-b	1.16					++		+
		2A	Ta-c+Ta-d	1.06					+		+
58	足寄町上ラワン	A	Me-a	1.17							+
		2A	古期火山灰	2.19				+			++
		2Bw	古期火山灰	1.90							++
59	足寄町上足寄	Ap	Me-a	1.67		±			±		++
60	足寄町ラワン	Ap	Me-a	1.98						±	++
61	足寄町中足寄	Ap	Me-a+Ta-a	0.91			+			±	+
62	本別町仙美里	Ap	(灰色低地土)	0.78	+		+			±	+
63	本別町本別	Ap	Me-a	1.76							++
64	本別町チエナイ	Ap	Me-a	8.02							+++
65	本別町勇足	Ap	Me-a	2.38		+					++
66	土幌町下居辺	Ap	Me-a	2.17		+					++
67	土幌町下居辺	Ap	Me-a	7.74							+++
68	土幌町新栄	Ap	Me-a	8.79					±		+++
69	鹿追町中瓜幕	Ap	Me-a	9.39							+++
70	鹿追町西瓜幕	Ap	Me-a	4.01					+		+++
71	鹿追町笹川	Ap	Me-a	4.20					+		+++
72	鹿追町上美蔓	Ap	Me-a	7.10					+		+++
73	清水町上清水	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	8.53					±		+++
		2A	En-a	13.28						+	+++
		2Bw	En-a	11.45							+++
74	芽室町旭山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	13.33							+++
		2A	En-a	12.66							+++
		2Bw	En-a	14.36			±				+++
75	芽室町渋山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	4.88					+		+++
		2Bw	En-a	2.50		+	+			+	++
		3Bw	Spfa	1.48		+	+			+	++
		4Bw	(花こう岩)	0.57		+++	±				±
76	上土幌町上音更	Ap	Ta-b+Ta-d	3.25				+		+	++
77	上土幌町北門	Ap	Ta-b+Ta-d	9.23					±		+++
		2A	Ta-d+En-a	10.26		±	+			±	+++
釧路・根室管内											
78	白糠町馬主来	Ap	Me-a	3.04					±		
		2A	Km-a	16.37					+		+++
		2C	Ma-e	19.06				±			+++
79	白糠町坂の丘	Ap	Me-a	2.69				±			++
80	浜中町浜中	Ap	Me-a	5.32							+++
		2A	Ma-e	14.69							+++
81	浜中町浜中	Ap	Me-a	7.59					+		+++
82	浜中町秩父内	Ap	Me-a	6.48			±				+++
83	浜中町萩の里	Ap	Me-a	2.98							+++
84	厚岸町サッテベツ	Ap	Me-a	10.76	+					+	+++
		2A	Ma-e	11.46							+++
85	標茶町下標茶	Ap	Me-a	7.21							+++
86	標茶町磯分内	Ap	Me-a	1.84							++
87	標茶町磯分内	Ap	Me-a	2.71							++
88	弟子屈町仁多	Ap	Me-a	4.26							+++
		2A	Km-a	12.89							+++
89	網走市浦士別	Ap	Ta-a+Me-a	2.89							++
		2Bw	Pumice flow	15.75							+++
		3Bw	Pumice flow	5.51							+++
89	網走市浦士別	Ap*	Ta-a+Me-a+Km-a	5.91							+++
90	小清水町倉栄	Ap	Km-a	2.98							++
		2Bw	(Shari Loam)	3.74							+++

地点No.	採取場所	層位	母材	アロフェン	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
		2C	(Shari Loam)	2.36						±	+
90	小清水町倉栄	Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	5.66						±	+++
	小清水町倉栄	Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	7.28							+++
91	小清水町水上	Ap	Ta-a, Me-a, Km-a	4.61							+++
92	清里町札弦西	Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	9.61							+++
		2Bw1	Shari loam	8.71							+++
		2Bw2	Shari loam	5.01						+	+++
		2C1	Shari pumice flow	3.06							++
	清里町札弦西	Ap	Km-a	3.33							++
				%							
93	清里町札弦	Ap	Km-a	9.08							+++
94	清里町南斜里	Ap	Km-a	2.62							++
		2Bw	Pumice flow	1.62							++
		2C	Pumice flow	5.79						+	+++
	清里町南斜里	Ap*	Km-a	6.90						±	+++
95	清里町向陽美里	Ap	Km-a	5.92							+++
		2Bw	Ma-f1	5.42							+++
96	清里町向陽北	Ap	Km-a	6.61							+++
97	斜里町来運	Ap	Km-a	4.75							+++
		2Bw	Ma-f1	13.48							+++
		2C	Ma-f3	5.88							+++
98	斜里町朱円西	Ap	(灰色低地土)	4.58						+	+++
		2A		4.66							+++
		3A		15.05							+++
		3C		11.07							+++
99	斜里町朱円東	Ap	Km-a	2.46						±	++
		2C	Ma-f	18.16						±	+++
		3C	Shari pumice flow	8.33							+++
	斜里町朱円東	Ap*	Km-a	18.77							+++
100	斜里町日の出	Ap	Km-a	6.61							+++
101	清里用大和	Ap	Km-a	6.46							+++
		C	Shari loam	11.95							+++
	清里町大和	Ap	Ta-a+Me-a	6.53						±	+++
102	網走市呼人	Ap	Ta-a+Me-a	1.01						±	+
103	網走市東網走	Ap	Ta-a+Me-a	0.83						±	
104	網走市山里	Ap	Ta-a+Me-a	4.19							+++
		2Bw1	Shari loam	11.23							+++
		2Bw2	Shari loam	5.96							+++
	網走市山里	Ap*	Ta-a+Me-a	5.94							+++
105	女満別町日進	Ap	Ta-a+Me-a	2.81							++
		2Bw	Ma-f1	11.59							+++
	女満別町日進	Ap*	Ta-a+Me-a	7.96							+++
106	女満別町日進	Ap	Bihoro loam	0.91							+
107	女満別町大成	Ap*	Ta-a+Me-a	5.64							+++
107	女満別町大成	A	Ta-a+Me-a	1.45							++
		2Bw	Ta-a+Me-a	12.32							++
		3Bw	Bihoro loam	3.02						±	++
108	網走市嘉多山	A	Ta-a+Me-a	0.57						+	±
		2Bw	Bihoro loam	0.91							+
	網走市嘉多山	Ap	Ta-a+Me-a	0.77						±	+
109	網走市昭和	Ap	Ta-a+Me-a	4.69							+++

粘土鉱物

Sm:スメクタイト, It:イライト, Vt:パーミキュライト, Vt-Ch:パーミキュライトークロライト

Ch:クロライト, Kn:カオリン,

Sioのめやす 濃度 0.1%未満 ±または-

0.1<Sio<0.2% +

0.2<Sio<0.5% ++

0.5<Sio +++

胆振：

樽前山の近くの東側では1739年の噴火で堆積した粗粒のTa-aが存在する。このTa-aのアロフェン含有率はほとんどが1%以下の低い値を示した。また、結晶性粘土鉱物はほとんど含まれなかった。噴出後数百年を経過したTa-bもほぼ類似した傾向を示したが、一部の試料でイライト(It)とクロライト(Ch)が確認された。さらに噴出後数千年を経過したTa-cとTa-dでは、非晶質のアロフェン含有率が高く、中には30%を超える試料も存在した。その他の粘土鉱物も、パーミキュライト(Vt)、パーミキュライト-クロライト中間種鉱物(Vt-Ch)、クロライト(Ch)がわずかに検出された。

登別、伊達、壮瞥および洞爺周辺の有珠山系火山灰では、Us-a、Us-bともアロフェンの含有率は低く1%前後に収斂した。Us-a、b火山灰で特徴的なのはスメクタイト(Sm)の含有率が高く、これは+~+++の範囲にあった。このようにスメクタイト(Sm)が検出された火山灰は他に無く、有珠山特有であった。白老町の低地土ではクロライト(Ch)が+~++の程度で検出されたが、これは火山灰より低地土即ち上流地質の影響が強く現れたものと推定する。

渡島・檜山：

渡島・檜山管内は駒ヶ岳火山灰、渡島大島の火山灰、それに古期火山灰が主体となる。古期火山灰はアロフェンの含有率も高いが、イライト(It)やクロライト(Ch)、あるいはパーミキュライト-クロライト中間種鉱物(Vt-Ch)の中間的な粘土鉱物の存在も認められた。この傾向は檜山など日本海に面した西側で顕著であった。駒ヶ岳火山灰の中では、新期のKo-dなどでは粗粒質で粘土含量が低く、粘土中の結晶性粘土鉱物はほとんど無い。Ko-e、g、hが存在する古い層ではアロフェン含有率が5%を超える試料も観察された。

十勝：

樽前山から遠い地域に当たる十勝では、火山灰の粒子も細くなり、非晶質物の含有率が高い。これは粒子が小さいために風化が促進されたためであろうと考えられる。しかし、芽室町渋山の下層土(母材；花こう岩)にはイライト(It)の極めて高い層も存在する。この層では非晶質物もきわめて低い。十勝管内を地帯別に分けてみると、アロフェンの含有率は芽室、清水、鹿追、士幌、本別などの十勝中央で高く(Ta-dの分布域に対応)、帯広、大樹、忠類、豊頃など太平洋側で低い値を示した。これらのアロ

フェン含有率の低い地帯ではクロライト(Ch)の存在が明瞭に観察された。足寄の古期火山灰では、非晶質物も他の結晶性鉱物も低い値を示した。

釧路・根室：

この根釧地方では、雌阿寒、摩周、カムイヌプリを主とする火山灰の地帯となっている。新しい火山灰あるいは古い火山灰とも粒径が小さいためか風化が進み、いずれもアロフェンの含有率が高く、他の結晶性鉱物はほとんど検出されなかった。この地帯ではアロフェンの含有率が10%を超える試料が頻繁に観察された。Ma-eとMe-aには時々パーミキュライト-クロライト中間種鉱物(Vt-Ch)が検出された。たぶん、火山灰に含まれる重鉱物の風化に由来するものであろう。

厚岸などの一部の火山灰では、スメクタイト(Sm)やカオリン(Kn)が検出されるが、このような粘土鉱物の出現はこれのみであり、内陸の火山灰土にはほとんど結晶性の粘土鉱物が存在しないことから、海風などで海岸等から運ばれてきた鉱物の可能性がある。

網走：

網走管内土壌の母材は樽前、雌阿寒、カムイヌプリ、斜里、美幌ロームなどである。ほとんどの火山灰は多量のアロフェンを含有する。しかし、雌阿寒、摩周、カムイヌプリに起源を持つ火山灰にはわずかのクロライト(Ch)やカオリン(Kn)が検出されるがほとんど結晶性の粘土鉱物は検出されなかった。

一方、アロフェンの含有率は一般にA層あるいはAp層で低いが、層厚調整または改良山成工などにより大規模な土壌攪拌のあったところは、表土処理をしても従来の土壌とは異なり、Ap層でも著しくアロフェン含有率の高いところが観察された。

3) 母材別の粘土鉱物

表3には、表2の粘土鉱物を主要な火山灰母材別に分類し示した。これから、Ta-a、Ta-b、Us-a、Us-b、Ko-dなど噴火から千年以内の若い火山灰では非晶質の粘土鉱物はきわめて少ないことが明らかになった。また、きわめて特徴的な火山灰はUs-a、Us-bで、この粘土ではスメクタイトの存在が明確であった。また、Us-a、Us-bともきわめて若い火山灰であるにもかかわらず、スメクタイトのほかイライト、パーミキュライト、クロライトなど多種類の粘土鉱物が検出された。

一方、ほぼ千年前のカムイヌプリからの噴出火山

表 3. 母材別粘土鉱物

火山灰名記号	地名No.	層位	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
Ta-a	1	A							±
Ta-a	2	A							±
Ta-a	3	A							+
Ta-a	3	Ap*							++
Ta-a	5	A					±		±
Ta-a	4	Ap	±	+					+
Ta-a	9	Ap							±
Ta-a	10	Ap							±
Ta-a	11	Ap		+			+		±
Ta-a	12	Ap							±
Ta-IIIa	6	Ap							±
Ta-IIIa	7	Ap			±				+
Ta-IIIa	8	Ap							+
Ta-a+Ta-b	13	Ap							±
Ta-a+Ta-b	53	Ap		+			++		+
Ta-a+Ta-b	54	Ap		+			++		++
Ta-a+Ta-b	55	A	+	+					+
Ta-b	56	Ap					++		++
Ta-b	57	Ap					++		+
Ta-a+Me-a	61	Ap			+			±	+
Ta-a+Me-a	89	Ap							++
Ta-a+Me-a	101	Ap					±		+++
Ta-a+Me-a	102	Ap					±		+
Ta-a+Me-a	103	Ap					±		
Ta-a+Me-a	104	Ap							+++
Ta-a+Me-a	104	Ap*							+++
Ta-a+Me-a	105	Ap							++
Ta-a+Me-a	105	Ap*							+++
Ta-a+Me-a	107	Ap*							+++
Ta-a+Me-a	107	A							++
Ta-a+Me-a	108	A					+		±
Ta-a+Me-a	108	Ap					±	+	+
Ta-a+Me-a	109	Ap							+++
Ta-a+Me-a+Km-a	89	Ap*							+++
Ta-a, Me-a, Km-a	90	Ap*						±	+++
Ta-a, Me-a, Km-a	90	Ap*							+++
Ta-a, Me-a, Km-a	91	Ap							+++
Ta-a, Me-a, Km-a	92	Ap*							+++
Ta-a+Ta-c	50	Ap					+		+++
Ta-a+Ta-c	51	Ap					+		+++
Ta-a+Ta-c	52	Ap					+		+++
Ta-a+Ta-c+Ta-d	74	Ap							+++
Ta-a+Ta-c+Ta-d	73	Ap				±			+++
Ta-a+Ta-c+Ta-d	75	Ap					+		+++
Ta-b+Ta-d	76	Ap				+		+	++
Ta-b+Ta-d	77	Ap					±		+++
Ta-c	2	2A					±		+++
Ta-c	2	2Bw							+++
Ta-cl	3	2A							+++
Ta-d	1	2A				±			+++
Ta-d	3	3A							+++
Ta-dl	4	4A				±		±	+++
Ta-d2	4	4C							+++
Ta-d+En-a	77	2A		±	+			±	+++

火山灰名記号	地名No.	層位	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
En-a	1	3A				±			+++
En-a	1	3Bw							+++
En-a	73	2A					+		+++
En-a	73	2Bw							+++
En-a	74	2A							+++
En-a	74	2Bw			±				+++
En-a	75	2Bw		+	+			+	++
Us-b	15	Ap	+					±	++
Us-a+Us-b	16	Ap	+			+			++
Us-a+Us-b	17	Ap	++		+				++
Us-a	18	Ap	+	+		±			++
Us-a+Us-b	19	Ap	++					±	+
Us-a+Us-b	20	Ap	+				±		+
Us-a+Us-b	21	Ap	+++		+				+
Us-a+Us-b	22	A	+	±			+		+
Us-a+Us-b	22	Ap*	±				±		++
Us-b	23	Ap	+	+			+		+
Us-a+Us-b	24	Ap	++	+					+
Us-a+Us-b	25	Ap	++				+		+
Us-a+Us-b	26	Ap	++				±		
Us-a+Us-b	27	Ap	++		+	++		+	+
Us-b	28	Ap	+				+		++
Us-b	29	Ap	++				++		++
Ko-d	31	Ap				+		+	
Ko-d	32	Ap							±
Ko-d	44	A				+		±	±
Ko-d, e	38	Ap				+		+	+++
Ko-d, e	39	Ap				+		±	+++
Ko-d, e	40	Ap		+			+		++
Ko-d, e	41	Ap		+	±			±	++
Ko-d, e	42	Ap							+++
Ko-d, e	43	Ap					±		+++
Me-a	58	A							+
Me-a	59	Ap		±			±		++
Me-a	60	Ap						±	++
Me-a	63	Ap							++
Me-a	64	Ap							+++
Me-a	65	Ap		+					++
Me-a	66	Ap		+					++
Me-a	67	Ap							+++
Me-a	68	Ap				±			+++
Me-a	69	Ap							+++
Me-a	70	Ap					+		+++
Me-a	71	Ap					+		+++
Me-a	72	Ap					+		+++
Me-a	78	Ap					±		
Me-a	79	Ap				±			++
Me-a	80	Ap							+++
Me-a	81	Ap					+		+++
Me-a	82	Ap			±				+++
Me-a	83	Ap							+++
Me-a	84	Ap	+					+	+++
Me-a	85	Ap							+++
Me-a	86	Ap							++
Me-a	87	Ap							++
Me-a	88	Ap							+++

火山灰名記号	地名No.	層位	Sm	It	Vt	Vt+Ch	Ch	Kn	非晶質
Km-a	94	Ap*						±	+++
Km-a	95	Ap							+++
Km-a	96	Ap							+++
Km-a	97	Ap							+++
Km-a	100	Ap							+++
Km-a	101	Ap							+++
Ma-e	78	2C				±			+++
Ma-e	78	2A							+++
Ma-e	80	2A							+++
Ma-f1	95	2Bw							+++
Ma-f1	97	2Bw							+++
Ma-f3	97	2C							+++
Ma-f	99	2C					±		+++
Ma-f1	103	2A						++	+
Ma-f1	105	2Bw							+++
(Shari Loam)	90	2Bw							+++
(Shari Loam)	90	2C						±	+
Shari Loam	92	2Bw1							+++
Shari Loam	92	2Bw2						+	+++
Shari Loam	101	C							+++
Shari Loam	104	2Bw1							+++
Shari Loam	104	2Bw2							+++
Os-a, Os-b	33	Ap						±	++
Os-a, Os-b	34	Ap		++			++		++
Os-a, Ko-d	36	Ap				+		+	±
Os-a, Ko-d	37	A				+		+	+++
古期火山灰	32	2A							++
古期火山灰	34	2A		++			++		++
古期火山灰	35	Ap		++			++		++
古期火山灰	35	2A		++			++		+++
古期火山灰	40	2A							+++
古期火山灰	41	2A		+				±	+++
古期火山灰	43	2A				±	±		+++
古期火山灰	58	2A				+			++
古期火山灰	58	2Bw							++
Bihoro loam	106	Ap							+
Bihoro loam	106	3Bw						±	++
Bihoro loam	108	2Bw						+	++

灰である Km-a では結晶性の粘土鉱物は検出されず、X 線回折でピークの現れない非晶質粘土鉱物のみであった。これに対して雌阿寒岳噴火の降灰である Me-a は一部ではあるがクロライトやイライトが検出された。

古期火山灰では、非晶質粘土はすでに低下の可能性が認められ、幾つかの古期火山灰ではイライトやクロライトが非晶質と同じレベルで検出された。

4) アロフェン, Alp, Alo, Fep, Feo, Alp/Alo および Alo+1/2 Feo

火山灰土では火山ガラスの風化に伴い、Alo と Feo の含有率は増大することが知られている。そこ

で、Andosol の要件のひとつとして火山灰の Alo+1/2 Feo は 2.0% 以上とされ (Soil Survey Staff 1998, 土壌協会 1999), また, 黒ボク土のリン酸吸収係数は 15 gP₂O₅kg⁻¹ 以上と考えられている (農耕地土壌分類命名委員会 1995)。しかし, 北海道には生成年代の若い火山灰土壌も多く (松山ほか 1992), それらのうち, 黒ボク土またはその類縁土壌 (音羽ほか 1995) として特性がある程度認められるようになるのは, リン酸吸収係数 12 gP₂O₅kg⁻¹ (松坂 1969) とされる。このリン酸吸収に相当する Alo+1/2 Feo は 1.2% 以上に相当する (Shoji et al. 1996)。

表 4 にはアロフェン, Alp, Alo, Fep, Feo およ

表 4. 土壌別のピロリン酸塩可溶および酸性シュウ酸塩可溶アルミニウムと鉄の含有率

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	アロフェン	Alp	Alo	Fep	Feo	Alp/Alo	1/2Feo	Alo+1/2Feo
				%	%	%	%	%		%	%
胆振管内											
1	追分町協和	Ap	Ta-a	0.28	0.06	0.18	0.05	0.36	0.33	0.18	0.36
		2A	Ta-d	5.00	1.44	4.05	0.50	2.05	0.35	1.03	5.08
		3A	En-a	14.28	0.51	5.73	0.56	0.78	0.08	0.39	6.12
		3Bw	En-a	7.07	0.15	1.78	0.06	1.49	0.08	0.75	2.53
2	追分町中安平	A	Ta-a	0.28	0.10	0.04	0.04	0.27	2.50	0.14	0.18
		2A	Ta-c	7.14	1.11	2.97	0.39	0.58	0.37	0.29	3.26
		2Bw	Ta-c	3.73	0.18	1.16	0.05	0.34	0.15	0.17	1.33
3	早来町駒里	A	Ta-a	0.72	0.09	0.16	0.07	0.28	0.56	0.14	0.30
		2A	Ta-cl	19.37	1.23	3.49	0.42	1.02	0.35	0.51	4.00
		3A	Ta-d	34.24	0.44	3.74	0.40	1.75	0.12	0.88	4.62
4	早来町駒里 苫小牧市美沢	Ap	Ta-a	2.02	0.34	0.50	0.28	0.51	0.68	0.26	0.76
		Ap	Ta-a	0.81	0.17	0.45	0.15	0.46	0.38	0.23	0.68
		4A	Ta-d1	6.42	1.57	1.60	0.64	0.47	0.98	0.24	1.84
		4C	Ta-d2	22.61	0.41	4.21	0.15	2.40	0.09	1.20	5.41
5	苫小牧市ウトナイ	A	Ta-a	0.35	0.47	0.36	0.35	0.17	1.30	0.09	0.45
		C	Ta-a	0.75	0.14	0.31	0.06	0.25	0.45	0.13	0.44
6	苫小牧市錦岡	Ap	Ta-IIIa	0.34	0.02	0.05	0.04	0.17	0.41	0.09	0.14
7	苫小牧市樽前	Ap	Ta-IIIa	0.72	0.17	0.26	0.14	0.28	0.65	0.14	0.40
8	苫小牧市錦多布	Ap	Ta-IIIa	0.81	0.17	0.28	0.12	0.32	0.60	0.16	0.44
9	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	0.37	0.17	0.20	0.11	0.45	0.85	0.23	0.43
10	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	0.37	0.06	0.13	0.04	0.31	0.46	0.16	0.29
11	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	0.35	0.09	0.17	0.08	0.43	0.53	0.22	0.39
12	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	0.35	0.16	0.30	0.15	0.35	0.53	0.18	0.48
13	白老町社台	Ap	Ta-a+Ta-b	0.17	0.16	0.06	0.05	0.17	2.67	0.09	0.15
14	白老町石山	Ap	Us-IIa+c	0.59	0.06	0.13	0.07	0.19	0.46	0.10	0.23
		20e	(泥炭土)	3.51	3.12	2.96	1.55	1.54	1.05	0.77	3.73
		3Ag	(低地土)	9.93	1.01	3.28	0.38	1.49	0.31	0.75	4.03
		3Cg	(低地土)	0.11	0.37	4.19	0.13	0.40	0.08	0.20	4.39
15	登別市ユウトピア牧場	Ap	Us-b	1.80	0.34	0.61	0.21	0.26	0.55	0.13	0.74
16	伊達市舟岡	Ap	Us-a+Us-b	1.42	0.11	0.32	0.16	0.11	0.31	0.06	0.38
		2A	Us-b	1.25	0.09	0.27	0.16	0.11	0.33	0.06	0.33
17	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	1.41	0.08	0.31	0.15	0.20	0.26	0.10	0.41
18	伊達市黄金	Ap	Us-a	1.51	0.23	0.43	0.29	0.22	0.53	0.11	0.54
		2A	褐色森林土	1.13	0.11	0.35	0.30	0.86	0.31	0.43	0.78
19	伊達市北稀府	Ap	Us-a+Us-b	1.06	0.12	0.28	0.20	0.10	0.42	0.05	0.33
		2A	(褐色森林土)	1.06	0.13	0.26	0.19	0.09	0.50	0.05	0.31
20	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	1.06	0.11	0.27	0.17	0.11	0.40	0.06	0.33
21	伊達市関内	Ap	Us-a+Us-b	0.87	0.06	0.17	0.16	0.12	0.35	0.06	0.23
22	伊達市五軒沢	Ap	Us-a+Us-b	1.13	0.10	0.11	0.10	0.60	0.91	0.30	0.41
		C	Us-b2	0.65	0.01	0.03	0.09	0.04	0.33	0.02	0.05
		2A	Yo-a	5.49	1.04	2.23	0.74	1.38	0.46	0.69	2.92
23	伊達市五軒沢	Ap*	Us-a+Us-b	2.55	0.89	0.62	0.10	0.20	1.43	0.10	0.72
		Ap	Us-b	1.33	0.05	0.21	0.16	0.14	0.23	0.07	0.28
24	壮瞥町下久保内	Ap	Us-a+Us-b	1.23	0.08	0.26	0.20	0.43	0.30	0.22	0.48
25	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	0.96	0.11	0.21	0.18	0.19	0.47	0.10	0.31
26	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	0.91	0.06	0.17	0.13	0.11	0.35	0.06	0.23
27	洞爺村岩屋	Ap	Us-a+Us-b	1.08	0.11	0.24	0.24	0.33	0.45	0.17	0.41
28	洞爺村香川	Ap	Us-b	2.46	0.31	0.70	0.35	0.51	0.42	0.26	0.96
29	洞爺村成香	Ap	Us-b	1.65	0.13	0.35	0.11	0.28	0.38	0.14	0.49

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	アロフェン	Alp	Alo	Fep	Feo	Alp/Alo	1/2Feo	Alo+1/2Feo
	渡島・檜山管内			%	%	%	%	%		%	%
30	長万部知来	Ap	Ko-d	0.34	0.91	0.69	0.62	0.49	1.31	0.25	0.94
31	八雲町浜松	Ap	Ko-d	1.28	0.71	0.88	0.30	0.38	0.79	0.19	1.07
		2A	Ko-f~h	9.55	0.87	3.99	0.45	0.95	0.22	0.48	4.47
32	北檜山町太櫓	Ap	Ko-d	0.95	1.72	1.21	0.69	0.58	1.42	0.29	1.50
		2A	古期火山灰	2.43	1.66	1.81	0.94	0.92	0.92	0.46	2.27
33	乙部町元和	Ap	Os-a, Os-b	1.62	0.73	0.99	0.43	0.68	0.74	0.34	1.33
34	乙部町姫川	Ap	Os-a, Os-b	1.70	0.78	0.97	0.50	0.57	0.81	0.29	1.26
		2A	古期火山灰	1.91	0.74	1.02	0.27	0.92	0.72	0.46	1.48
35	上ノ国町夷王山	Ap	古期火山灰	1.41	0.75	1.01	0.55	0.61	0.74	0.31	1.32
		2A	古期火山灰	4.06	1.03	2.28	1.07	1.37	0.45	0.69	2.97
36	上ノ国町湯の岱	Ap	Os-a, Ko-d	0.97	0.84	0.88	0.62	0.65	0.95	0.33	1.21
37	知内町中ノ川	A	Os-a, Ko-d	3.61	1.54	2.32	1.53	1.31	0.66	0.66	2.98
		2A	Ko-g, h	5.51	0.65	2.62	0.21	1.51	0.23	0.76	3.38
38	函館市銭亀沢	Ap	Ko-d, e	6.37	0.96	2.81	0.68	0.95	0.34	0.48	3.29
		2Bw	(褐色森林土)	2.19	0.41	0.84	0.23	0.79	0.48	0.40	1.24
39	大野町観音山	Ap	Ko-d, e	4.85	0.77	1.91	0.46	0.80	0.40	0.40	2.31
40	上磯町清川	Ap	Ko-d, e	2.67	1.95	2.56	0.93	0.92	0.76	0.46	3.02
		2A	古期火山灰	12.35	0.48	3.43	0.05	0.64	0.14	0.32	3.75
41	七飯町藤城	Ap	Ko-d, e	2.43	0.78	1.21	0.38	0.46	0.64	0.23	1.44
		2A	古期火山灰	4.16	0.86	1.59	0.77	0.93	0.54	0.47	2.06
42	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	3.81	0.71	1.41	0.39	0.60	0.51	0.30	1.71
43	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	6.63	0.94	2.66	0.49	0.80	0.35	0.40	3.06
		2A	古期火山灰	8.54	0.68	2.93	0.42	1.02	0.23	0.51	3.44
44	森町森川	A	Ko-d	0.61	0.11	0.28	0.07	0.21	0.36	0.11	0.39
		C	Ko-d	0.24	0.15	0.15	0.04	0.21	1.00	0.11	0.26
	十勝管内										
50	清水町平和	Ap	Ta-a+Ta-c	6.93	0.81	2.10	0.25	0.49	0.35	0.25	2.35
51	清水町鉄南	Ap	Ta-a+Ta-c	9.60	0.91	3.13	0.32	1.01	0.28	0.51	3.64
52	清水町佐幌	Ap	Ta-a+Ta-c	6.36	0.55	2.15	0.23	0.88	0.25	0.44	2.59
53	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	1.17	0.15	0.26	0.12	0.06	0.57	0.03	0.29
54	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	1.58	0.44	0.58	0.18	0.11	0.75	0.06	0.64
55	忠類村共栄	A	Ta-a+Ta-b	0.93	0.44	0.54	0.22	0.30	0.81	0.15	0.69
56	大樹町中大樹	Ap	Ta-b	3.11	0.53	0.88	0.23	0.44	0.60	0.22	1.10
57	豊頃町晩成	Ap	Ta-b	1.16	0.82	0.81	0.47	0.63	1.02	0.32	1.13
		2A	Ta-c+Ta-d	1.06	0.25	0.47	0.11	0.63	0.53	0.32	0.79
58	足寄町上ラワン	A	Me-a	1.17	0.60	0.80	0.56	0.77	0.75	0.39	1.19
		2A	古期火山灰	2.19	0.63	1.17	0.49	0.91	0.53	0.46	1.63
		2Bw	古期火山灰	1.90	0.28	0.82	0.37	1.15	0.34	0.58	1.40
59	足寄町上足寄	Ap	Me-a	1.67	0.60	0.76	0.54	0.70	0.79	0.35	1.11
60	足寄町ラワン	Ap	Me-a	1.98	0.18	0.59	0.18	0.46	0.31	0.23	0.82
61	足寄町中足寄	Ap	Me-a+Ta-a	0.91	0.16	0.36	0.23	0.42	0.44	0.21	0.57
62	本別町仙美里	Ap	(灰色低地土)	0.78	0.08	0.31	0.19	0.33	0.25	0.17	0.48
63	本別町本別	Ap	Me-a	1.76	0.34	0.65	0.28	0.44	0.52	0.22	0.87
64	本別町チエナイ	Ap	Me-a	8.02	0.31	2.31	0.15	0.79	0.13	0.40	2.71
65	本別町勇足	Ap	Me-a	2.38	0.54	1.00	0.34	0.62	0.54	0.31	1.31
66	士幌町下居辺	Ap	Me-a	2.17	0.32	1.20	0.44	0.56	0.26	0.28	1.48
67	士幌町下居辺	Ap	Me-a	7.74	0.23	2.44	0.11	0.70	0.09	0.35	2.79
68	士幌町新栄	Ap	Me-a	8.79	0.59	2.88	0.18	0.76	0.20	0.38	3.26
69	鹿追町中瓜幕	Ap	Me-a	9.39	0.57	2.75	0.18	0.71	0.20	0.36	3.11
70	鹿追町西瓜幕	Ap	Me-a	4.01	0.63	1.38	0.33	0.49	0.45	0.25	1.63
71	鹿追町笹川	Ap	Me-a	4.20	0.58	1.84	0.33	0.65	0.31	0.33	2.17
72	鹿追町上美蔓	Ap	Me-a	7.10	0.56	3.28	0.20	0.94	0.17	0.47	3.75
73	清水町上清水	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	8.53	1.71	3.03	0.46	0.83	0.56	0.42	3.45
		2A	En-a	13.28	0.58	3.91	0.02	1.12	0.14	0.56	4.47
		2Bw	En-a	11.45	0.46	2.75	0.01	0.75	0.16	0.38	3.13

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	アロフェン %	Alp %	Alo %	Fep %	Feo %	Alp/Alo	1/2Feo %	Alo+1/2Feo %
十勝管内											
74	芽室町旭山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	13.33	1.43	3.87	0.42	1.02	0.37	0.51	4.38
		2A	En-a	12.66	0.59	5.37	0.05	1.84	0.11	0.92	6.29
		2Bw	En-a	14.36	0.38	3.29	0.12	0.65	0.11	0.33	3.62
75	芽室町渋山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	4.88	0.67	1.39	0.20	0.49	0.48	0.25	1.64
		2Bw	En-a	2.50	0.58	0.64	0.18	1.12	0.93	0.56	1.20
		3Bw	Spfa	1.48	0.67	0.35	0.17	0.91	1.91	0.46	0.81
76	上士幌町上音更	Ap	Ta-b+Ta-d	3.25	0.88	1.26	0.43	0.63	0.69	0.32	1.58
77	上士幌町北門	Ap	Ta-b+Ta-d	9.23	0.74	2.67	0.21	0.97	0.27	0.49	3.16
		2A	Ta-d+En-a	10.26	0.44	3.52	0.04	1.16	0.12	0.58	4.10
釧路・根室管内											
78	白糠町馬主来	Ap	Me-a	3.04	0.81	1.32	0.36	0.54	0.61	0.27	1.59
		2A	Km-a	16.37	1.33	6.19	0.38	1.38	0.21	0.69	6.88
		2C	Ma-e	19.06	0.69	6.07	0.04	1.25	0.11	0.63	6.70
79	白糠町坂の丘	Ap	Me-a	2.69	0.78	1.12	0.43	0.61	0.69	0.31	1.43
80	浜中町浜中	Ap	Me-a	5.32	1.29	2.40	0.62	0.90	0.53	0.45	2.85
		2A	Ma-e	14.69	0.51	3.35	0.05	0.83	0.14	0.42	3.77
81	浜中町浜中	Ap	Me-a	7.59	0.98	3.00	0.43	1.09	0.32	0.55	3.55
82	浜中町秩父内	Ap	Me-a	6.48	1.11	2.70	0.47	0.93	0.41	0.47	3.17
83	浜中町萩の里	Ap	Me-a	2.98	0.94	1.40	0.41	0.59	0.67	0.30	1.70
84	厚岸町サツテベツ	Ap	Me-a	10.76	0.84	3.82	0.38	1.12	0.22	0.56	4.38
		2A	Ma-e	11.46	0.54	3.79	0.16	0.98	0.14	0.49	4.28
85	標茶町下標茶	Ap	Me-a	7.21	0.69	2.42	0.34	0.80	0.28	0.40	2.82
86	標茶町磯分内	Ap	Me-a	1.84	0.21	0.54	0.13	0.35	0.38	0.18	0.72
87	標茶町磯分内	Ap	Me-a	2.71	0.62	1.03	0.37	0.51	0.60	0.26	1.29
88	弟子屈町仁多	Ap	Me-a	4.26	0.58	1.47	0.35	0.66	0.39	0.33	1.80
		2A	Km-a	12.89	0.55	3.72	0.08	0.81	0.14	0.41	4.13
網走管内											
89	網走市浦士別	Ap	Ta-a+Me-a	2.89	0.37	0.86	0.17	0.28	0.43	0.14	1.00
		2Bw	Pumice flow	15.75	0.35	4.31	0.03	1.19	0.08	0.60	4.91
		3Bw	Pumice flow	5.51	0.13	1.50	0.07	0.70	0.08	0.35	1.85
90	網走市浦士別 小清水町倉栄	Ap*	Ta-a+Me-a+Km-a	5.91	0.28	1.61	0.10	0.62	0.17	0.31	1.92
		Ap	Km-a	2.98	0.36	0.61	0.18	0.23	0.59	0.12	0.73
		2Bw	(Shari Loam)	3.74	0.22	0.67	0.08	0.39	0.32	0.20	0.87
		2C	(Shari Loam)	2.36	0.09	0.30	0.04	0.53	0.30	0.27	0.57
91	小清水町倉栄 小清水町水上	Ap	Ta-a, Me-a, Km-a	5.66	0.42	1.48	0.20	0.70	0.28	0.35	1.83
		Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	7.28	0.47	1.89	0.16	0.72	0.24	0.36	2.25
		Ap	Ta-a, Me-a, Km-a	4.61	0.49	1.09	0.22	0.61	0.45	0.31	1.40
92	清里町札弦西	Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	9.61	0.58	2.23	0.25	0.96	0.26	0.48	2.71
		2Bw1	Shari loam	8.71	0.25	2.31	0.05	1.48	0.10	0.74	3.05
		2Bw2	Shari loam	5.01	0.10	1.34	0.07	1.46	0.10	0.73	2.07
		2C	Shari pumice flow	3.06	0.03	0.04	0.13	1.90	0.75	0.95	0.99
93	清里町札弦西 清里町札弦	Ap	Km-a	3.33	0.32	1.27	0.15	1.00	0.25	0.50	1.77
		Ap	Km-a	9.08	0.31	3.09	0.26	1.24	0.10	0.62	3.71
		Ap	Km-a	2.62	0.56	0.74	0.16	0.57	0.75	0.29	1.03
94	清里町南斜里	2Bw	Pumice flow	1.62	0.31	3.05	0.05	1.47	0.10	0.74	3.79
		2C	Pumice flow	5.79	0.12	1.41	0.06	1.39	0.08	0.70	2.11
		Ap*	km-a	6.90	0.29	2.00	0.11	1.31	0.14	0.66	2.66
95	清里町向陽美里	Ap	Km-a	5.92	0.52	2.03	0.22	0.90	0.25	0.45	2.48
		2Bw	Ma-fl	5.42	0.45	1.81	0.20	0.80	0.24	0.40	2.21
96	清里町向陽北	Ap	Km-a	6.61	0.57	2.20	0.25	0.97	0.26	0.49	2.69
97	斜里町来運	Ap	Km-a	4.75	0.78	1.85	0.36	0.73	0.42	0.37	2.22

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	アロフェン	Alp	Alo	Fep	Feo	Alp/Alo	1/2Feo	Alo+1/2Feo
				%	%	%	%	%		%	%
98	斜里町朱円西	2Bw	Ma-f1	13.48	0.28	4.16	0.03	1.99	0.06	1.00	5.16
		2C	Ma-f3	5.88	0.15	1.46	0.04	1.20	0.10	0.60	2.06
		Ap	(灰色低地土)	4.58	0.16	1.21	0.07	1.12	0.13	0.56	1.77
		2A		4.66	0.33	1.39	0.11	0.58	0.23	0.29	1.68
		3A		15.05	0.32	6.64	0.04	3.51	0.04	1.76	8.40
		3C		11.07	0.29	6.01	0.09	2.57	0.04	1.29	7.30
99	斜里町朱円東	Ap	Km-a	2.46	0.36	0.78	0.16	0.39	0.46	0.20	0.98
		2C	Ma-f	18.16	0.43	6.21	0.08	2.59	0.07	1.30	7.51
		3C	Shari pumice flow	8.33	0.33	2.37	0.13	1.94	0.05	0.97	3.34
100	斜里町朱円東 斜里町日の出	Ap*	Km-a	18.7	0.31	6.39	0.12	2.58	0.04	1.29	7.68
		Ap	Km-a	6.61	0.92	2.58	0.47	2.34	0.35	1.17	3.75
101	清里町大和	Ap	Km-a	6.46	0.38	2.04	0.12	0.98	0.18	0.49	2.53
		C	Shari loam	11.95	0.28	3.71	0.07	2.11	0.07	1.06	4.77
102	清里町大和 網走市呼人	Ap	Ta-a+Me-a	6.53	0.34	1.90	0.12	0.97	0.17	0.49	2.39
		Ap	Ta-a+Me-a	1.01	0.53	0.51	0.36	0.60	1.04	0.30	0.81
103	網走市東網走	Ap	Ta-a+Me-a	0.83	0.48	0.43	0.34	0.73	1.11	0.37	0.80
104	網走市山里	Ap	Ta-a+Me-a	4.19	0.59	1.53	0.23	0.66	0.38	0.33	1.86
105	網走市山里 女満別町日進	2Bw1	Shari loam	11.23	0.35	3.48	0.05	1.32	0.10	0.66	4.14
		2Bw2	Shari loam	5.96	0.17	1.48	0.06	0.41	0.11	0.21	1.69
		Ap*	Ta-a+Me-a	5.94	0.43	1.95	0.10	0.96	0.22	0.48	2.43
		Ap	Ta-a+Me-a	2.81	0.49	1.10	0.15	0.52	0.40	0.26	1.36
		2Bw	Ma-f1	11.59	0.61	4.18	0.03	1.56	0.14	0.78	4.96
		Ap*	Ta-a+Me-a	7.96	0.41	2.51	0.04	0.88	0.16	0.44	2.95
106	女満別町日進	Ap	Bihoro loam	0.91	0.47	0.52	0.30	0.50	0.91	0.25	0.77
		Ap*	Ta-a+Me-a	5.64	0.53	2.02	0.11	0.93	0.26	0.47	2.49
107	女満別町大成	Ap*	Ta-a+Me-a	5.64	0.53	2.02	0.11	0.93	0.26	0.47	2.49
		Ap	Ta-a+Me-a	1.45	0.43	0.62	0.17	0.40	0.69	0.20	0.82
108	網走市嘉多山	2Bw	Ta-a+Me-a	12.32	0.36	3.81	0.04	1.36	0.09	0.68	4.49
		3Bw	Bihoro loam	3.02	0.41	0.73	0.09	1.41	0.54	0.71	1.44
		A	Ta-a+Me-a	0.57	0.55	0.46	0.37	0.43	1.19	0.22	0.68
		2Bw	Bihoro loam	0.91	0.93	0.67	0.40	0.55	1.38	0.28	0.95
109	網走市嘉多山 網走市昭和	Ap	Ta-a+Me-a	0.77	0.66	0.52	0.36	0.53	1.26	0.27	0.79
		Ap	Ta-a+Me-a	4.69	0.56	1.46	0.18	0.67	0.38	0.34	1.80

び Alo+1/2 Feo のそれぞれの含有率を示した。また、これらの基礎数値から算出した Alp/Alo を示した。表5には母材別にその平均値と標準偏差を示した。図15以下は表5に基づき、各成分別およびこれらの比について母材別の違いを図示した。

アロフェン：

樽前山系の火山灰では、Ta-a, Ta-b のように若い土壌ではアロフェン含有率はきわめて低く、平均値は1%以下であった。この傾向は十勝地方などのかなり離れた地方に到達した火山灰でも同様な傾向にあった。網走地方で見られる Ta-a に Me-a の混入した火山灰では、アロフェン含有率は4%程度まで上昇する。さらに Ta-a に Me-a および Km-a が混入してもほぼ同様な値であった。しかしながら、Ta-c や Ta-d などの古い火山灰になるとアロフェンの含有率は大きく跳ね上がり、特に降灰年代が8~9 ka の Ta-d ではアロフェン含有率の平均値が

15%以上にも達した。一方、降灰年代が16 ka といわれる En-a では Ta-d よりアロフェンの含有率は低く、平均値は10%前後となった。

このような噴火後年代の長短によるアロフェン含有率の差異は樽前山火山灰ばかりでなく、他の火山灰でも観察された。すなわち、噴火後400年未満の火山灰である Us-a, Us-b, Ko-d ではいずれもアロフェン含有率は1%前後かそれ以下であった。これらより古い火山灰である Ko-e, f, g の混入した火山灰や、Me-a または Km-a では4%以上の高い値を示した。道東の火山から噴出された火山灰で最も高いアロフェン含有率を示したのは噴火時期が6.2~7.2 ka といわれる Ma-f であった。堆積年代が明確ではないが、少なくとも10 ka 以上の火山灰と考えられる古期火山灰では、噴火後1~8 ka の火山灰より低い含有率を示した。

表 5. 火山灰土別のアロフェンおよびピロリン酸塩, シュウ酸・シュウ酸塩可溶 Al, Fe 含有率の平均値と標準偏差

火山灰別No.	火山灰名記号	アロフェン (%)	Alp (%)	Alo (%)	Fep (%)	Feo (%)	Alp/Alo	Alo+1/2Feo (%)
1	Ta-a	0.49± 0.22	0.14±0.12	0.25±0.13	0.11±0.09	0.34±0.10	0.52±0.33	0.42±0.15
2	Ta-IIIa	0.62± 0.25	0.12±0.09	0.20±0.13	0.10±0.05	0.26±0.08	0.55±0.13	0.33±0.17
3	Ta-a+Ta-b, Ta-b	1.35± 0.98	0.40±0.29	0.52±0.32	0.21±0.14	0.29±0.22	0.63±0.35	0.66±0.40
4	Ta-a+Me-a	4.11± 3.38	0.48±0.09	1.41±0.98	0.20±0.12	0.71±0.29	0.56±0.42	1.76±1.10
5	Ta-a+Me-a+Km-a	6.61± 1.93	0.45±0.11	1.66±0.43	0.19±0.06	0.72±0.14	0.28±0.10	2.02±0.49
6	Ta-a+Ta-c+Ta-d, b	7.02± 3.68	0.88±0.44	2.23±1.07	0.29±0.12	0.77±0.22	0.42±0.15	2.62±1.15
7	Ta-c	10.08± 8.22	0.84±0.57	2.54±1.22	0.29±0.21	0.65±0.34	0.29±0.12	2.86±1.38
8	Ta-d	17.07±13.96	0.97±0.63	3.40±1.22	0.42±0.21	1.67±0.84	0.39±0.41	4.23±1.63
9	En-a	10.80± 4.43	0.46±0.16	3.35±1.84	0.14±0.19	1.11±0.43	0.23±0.31	3.91±1.86
10	Us-a, Us-b	1.35± 0.51	0.17±0.20	0.31±0.18	0.18±0.07	0.23±0.15	0.47±0.28	0.42±0.21
11	Ko-d	0.68± 0.43	0.72±0.66	0.64±0.43	0.43±0.30	0.37±0.17	0.98±0.43	0.83±0.51
12	Ko-d, e, g, h	4.61± 1.69	0.96±0.45	2.17±0.65	0.51±0.23	0.86±0.33	0.43±0.17	2.60±0.78
13	Me-a	4.80± 2.89	0.62±0.28	1.80±0.96	0.34±0.14	0.70±0.20	0.41±0.20	2.14±1.05
14	Km-a	7.55± 5.09	0.54±0.30	2.54±1.82	0.22±0.12	1.10±0.66	0.30±0.20	3.09±2.06
15	Ma-e, f	12.47± 5.02	0.46±0.17	3.88±1.72	0.08±0.07	1.40±0.62	0.13±0.06	4.58±1.94
16	Shari loam	6.99± 3.71	0.21±0.10	1.90±1.32	0.06±0.01	1.10±0.66	0.16±0.11	2.45±1.60
17	Os-a, Ko-d	1.98± 1.14	0.97±0.38	1.29±0.69	0.77±0.51	0.80±0.34	0.79±0.12	1.69±0.86
18	古期火山灰	4.33± 3.72	0.79±0.39	1.78±0.92	0.55±0.33	0.94±0.23	0.51±0.25	2.26±0.92

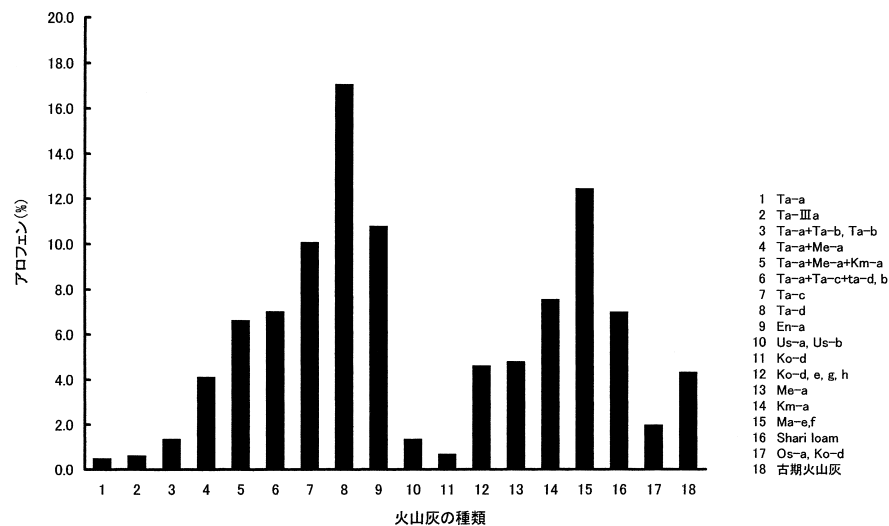


図 15. 火山灰別のアロフェン含量

Alp :

火山灰土壌の低い生産力やアルミニウム過剰の原因とされるピロリン酸塩可溶アルミニウムの含有率を図 16 に示した。こちらもアロフェン含有率と類似した傾向を示すが、異なるところは古い火山灰でも含有率が低下していないことである。また、噴出源によって噴出後の経過年数とあまり一致せず、母材の岩質の違いあるいは雨量などの気象的条件の差がうかがわれた。

Alo および Alo + 1/2 Feo :

Alo と Feo は風化とともに火山ガラスから放出されるため、この合計は火山灰の風化の尺度と考えられている。図 17, 18 には火山灰の種類と Alo, Alo + 1/2 Feo の関係を示した。この両要素は火山灰の種類別のアロフェン含有率ときわめて類似した形となった。すなわち、成熟した火山灰である Alo + 1/2 Feo が 2% と等しいかあるいはそれ以上に入る火山灰は Ta-a+Me-a+Km-a, Ta-a+Ta-c+Ta-d, Ta-c, Ta-d, En-a, Ko-d+e, g, h, Ma-e, Ma-f, Shari loam, それに古期火山灰であった。い

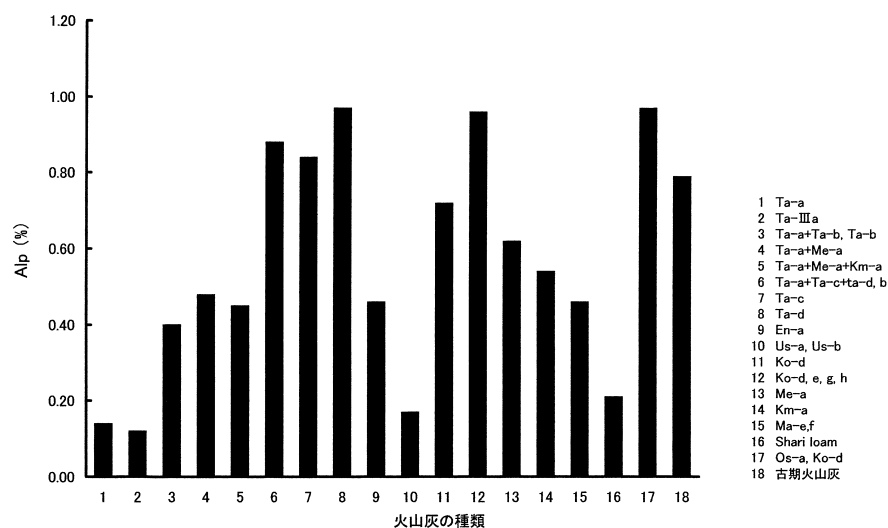


図 16. 火山灰別のピロリン酸塩可溶アルミニウム含量

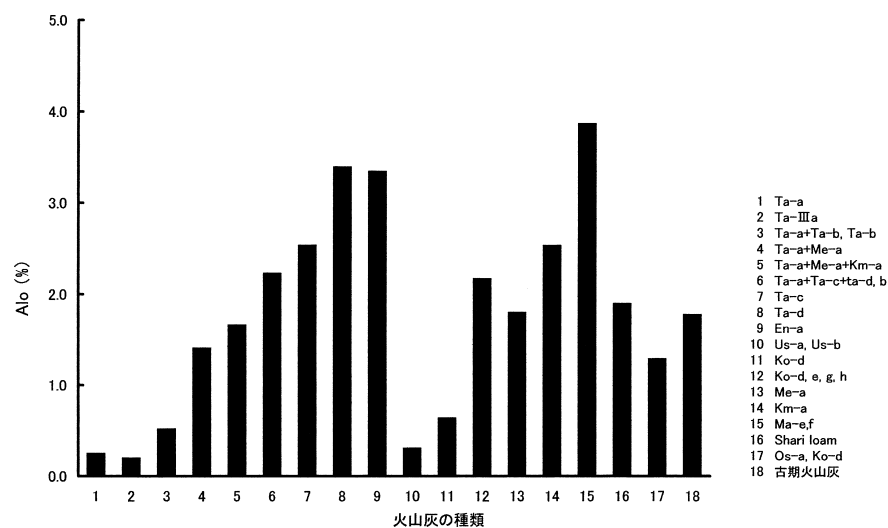


図 17. 火山灰別のシュウ酸・シュウ酸塩可溶アルミニウム含量

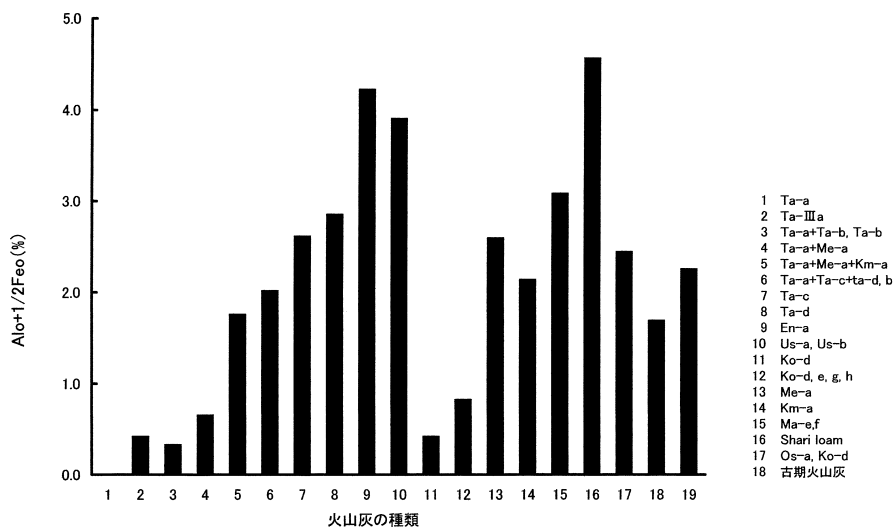


図 18. 火山灰別のシュウ酸・シュウ酸塩可溶〔アルミニウム+1/2鉄〕含量

いずれも千年以上経過した火山灰または千年未満でも細粒質の火山灰であった。しかし、ごく古い火山灰ではこの値が高くなるとは限らず、Ta-dやMa-eの1/2程度にしか達しなかった。

Alp/Alo :

アロフェン質黒ボク土に比較して非アロフェン質黒ボク土は活性アルミニウム含有率が高く、作物のアルミニウム過剰障害が発生しやすい (Saigusa et al. 1991, 三枝ほか 1993, 松山・三枝 1994)。このアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の区分の基準として Alp/Alo が存在する。すなわち、Alp/Alo が 0.5 以下をアロフェン質黒ボク土とみなし、それ以上は非アロフェン質黒ボク土と区分されている (Shoji et al. 1996)。この基準から見ると、アロフェン質黒ボク土はちょうど $Alo + 1/2 Feo$ を基準にして分類する成熟した火山灰土と一致する (図 19)。ただし、Us-a, b はかろうじてアロフェン質黒ボク土に入っている。

図 19 は Alp と Alo の比である。植物に有害とされるアルミニウムを含む Alp は Alo に比べて火山灰堆積の初期に放出され、やがてやや古い年代の火山灰になるとあまり有害でない Alo が優勢となることがうかがわれる。しかし、さらに古い火山灰では再び Alp が優勢になってくる傾向にあり、古い火山灰でのアルミニウム過剰害はこの Alp と Alo の溶出パターンの違いが原因で発現すると考えられる。このことは一般に新しい火山灰とごく古い火山灰土壌での作物生産があまりあがらないこととよく一致する。降灰後間もない火山灰の Alp がなぜ高くなるか今後の研究にまたなければならないが、たぶ

ん粒子が細かく、風化しやすい鉱物からの Al の放出が主体であろうことは容易に推定される。

5) 火山灰土の腐植と各種可溶性成分

腐植, 水溶性 Al, 水溶性 Si, 0.1 M 塩酸可溶 Cu および Zn の含有率を表 6 に示した。また、母材別のこれらの平均値と標準偏差を表 7 に示した。いずれも標準偏差が大きい。これらの中で水溶性 Si については変動係数 C.V.% はもっとも低く、いずれも 50% 以下であった。

母材別の腐植含有率を図 20 に示した。これから Ta-IIIa, En-a, Us-a, Us-b, Shari loam の腐植含有率の平均値は 3% 以下であったが、他の火山灰土はそれ以上を示した。しかしながら、母材の特性と腐植含有率の間には特別な関係は認められなかった。火山灰の腐植の集積はその火山灰層の上につきの降灰までの期間の大きさが大きく影響するためであろう。

図 21 には母材別の水溶性アルミニウム (W-Al) の含有率を示した。火山灰土の中で、W-Al は Ta-IIIa, Ko-d のみがきわだって高い値を示した。これに対して、根釧管内、網走管内火山灰土のほとんどが水抽出液中アルミニウムの濃度は 0.1 mg L^{-1} 以下の低い含有率を示した。母材別では、Ta-d, En-a, Shari loam は $0.05 \text{ mg Lmg L}^{-1}$ 以下のきわめて低い値を示した。

ケイ酸アルミニウムである粘土鉱物の溶解度は可溶性ケイ酸の増大で小さくなり、酸性条件で高くなる (Garrels and Christ 1965)。火山灰土地帯の河川水はケイ酸含有率の高いことが知られている (小林 1971)。ケイ酸 (SiO_2) はイオンでないため、風化で

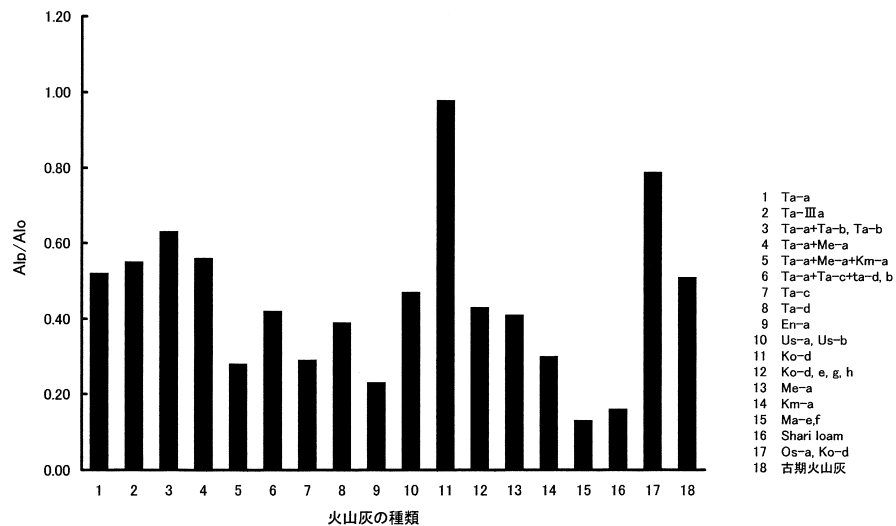


図 19. 火山灰別のピロリン酸可溶アルミニウム/シュウ酸・シュウ酸塩可溶アルミニウムの比

表 6. pH, 腐植および可溶性成分

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	pH	腐植 %	水溶性Al mg L ⁻¹	水溶性Si mg L ⁻¹	0.1M HCl 可溶(mg kg ⁻¹)	
								Cu	Zn
胆振管内									
1	追分町協和	A	Ta-a	5.72	0.85	0.03	1.71	0.55	0.98
		2A	Ta-d	5.38	15.52	0.09	6.54	0.27	0.97
		3A	En-a	5.32	4.95	0.02	2.28	0.37	0.45
		3Bw	En-a	5.51	0.40	0.02	5.17	0.25	0.45
2	追分町中安平	A	Ta-a	5.86	0.59	0.03	1.24	2.03	0.53
		2A	Ta-c	5.35	10.96	0.10	5.56	0.99	1.44
		2Bw	Ta-c	5.41	2.17	0.02	3.95	1.59	2.23
3	早来町駒里	A	Ta-a	5.69	3.82	0.01	2.59	4.49	0.33
		C	Ta-a	5.74	1.72	0.03	3.59	2.10	0.43
		2A	Ta-cl	5.81	13.20	0.03	6.64	0.31	0.48
		3A	Ta-d	5.81	2.59	0.00	7.22	0.28	0.54
4	早来町駒里 苫小牧市美沢	Ap*	Ta-a	5.03	6.75	0.23	4.44	4.62	2.20
		Ap	Ta-a	5.88	4.63	0.03	5.28	4.10	7.01
		4A	Ta-dl	5.53	17.24	0.03	7.39	0.28	0.54
		4C	Ta-dl	5.55	2.65	0.03	7.80	3.58	1.43
5	苫小牧市ウトナイ	A	Ta-a	4.35	4.43	0.06	2.78	1.81	3.93
		C	Ta-a	4.85	3.82	0.12	1.77	1.60	2.25
6	苫小牧市錦岡	Ap	Ta-IIIa	5.01	0.81	0.04	1.43	2.39	0.94
7	苫小牧市樽前	Ap	Ta-IIIa	5.48	3.89	0.21	3.89	5.68	10.12
8	苫小牧市錦多布	Ap	Ta-IIIa	5.89	3.57	0.04	2.27	2.08	1.14
9	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	5.68	7.52	0.08	1.60	4.65	5.60
10	苫小牧市柏原	Ap	Ta-a	5.42	4.55	0.08	1.77	1.63	2.90
11	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	5.51	6.28	0.10	2.22	4.48	9.27
12	苫小牧市植苗	Ap	Ta-a	5.07	7.36	0.28	2.05	4.78	14.84
13	白老町社台	Ap	Ta-a+Ta-b	6.43	0.49	0.01	4.32	1.23	0.50
14	白老町石山	Ap	Us-IIa+c	5.86	2.09	0.05	3.35	0.94	1.50
		2Oe	(泥炭土)	5.54	19.48	0.08	7.26	0.03	0.86
		3Ag	(低地土)	5.52	8.11	0.05	5.98	0.05	0.40
		3Cg	(低地土)	5.20	1.32	0.01	11.58	0.05	0.35
15	登別市ユウトピア牧場	Ap	Us-b	6.02	6.87	0.08	3.68	0.58	1.96
16	伊達市舟岡	Ap	Us-a+Us-b	6.01	3.08	0.06	4.74	2.40	4.36
		2A	Us-b	6.01	2.46	0.05	4.45	2.69	3.91
17	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	6.71	3.38	0.01	6.79	1.24	8.09
18	伊達市黄金	Ap	Us-a	5.29	4.16	0.21	4.53	1.14	3.73
		2A	(褐色森林土)	5.31	2.08	0.06	5.94	1.23	0.74
19	伊達市北稀府	Ap	Us-a+Us-b	5.94	3.71	0.03	4.98	1.42	10.74
		2A	(褐色森林土)	6.21	3.25	0.04	4.92	1.67	11.28
20	伊達市萩原	Ap	Us-a+Us-b	6.51	3.69	0.02	6.80	1.15	3.48
21	伊達市関内	Ap	Us-a+Us-b	5.81	2.88	0.03	7.54	3.66	7.67
22	伊達市五軒沢	A	Us-a+Us-b	6.63	0.56	0.01	7.20	2.56	2.92
		C	Us-b2	6.94	0.47	0.01	4.87	3.36	2.54
		2A	Yo-a	6.98	13.57	0.21	10.86	0.01	0.37
23	伊達市五軒沢 壮瞥町幸内	Ap*	Us-a+Us-b	5.04	1.28	0.10	8.85	2.50	3.00
		Ap	Us-b	5.87	1.31	0.21	5.41	5.15	5.99
24	壮瞥町下久保内	Ap	Us-a+Us-b	5.57	2.12	0.20	4.14	7.17	3.26
25	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	5.48	2.95	0.29	4.98	6.94	7.23
26	壮瞥町滝の町	Ap	Us-a+Us-b	5.61	1.65	0.26	4.59	3.78	2.32
27	洞爺村岩屋	Ap	Us-a+Us-b	4.87	1.88	0.58	4.08	2.14	2.81
28	洞爺村香川	Ap	Us-b	5.03	2.97	0.37	5.17	3.31	4.75
29	洞爺村成香	Ap	Us-b	6.08	1.86	0.17	4.79	5.74	4.70
渡島・檜山管内									
30	長万部町知米	Ap	Ko-d	5.21	11.06	0.34	3.78	0.18	5.70

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	pH	腐植 %	水溶性Al mg L ⁻¹	水溶性Si mg L ⁻¹	0.1M HCl 可溶(mg kg ⁻¹)	
								Cu	Zn
31	八雲町浜松	Ap	Ko-d	5.39	10.6	0.27	4.44	0.04	3.72
		2A	Ko-f~h	5.63	6.28	0.24	7.61	0.01	0.34
32	北檜山町太櫓	Ap	Ko-d	5.48	7.30	0.99	3.58	0.01	0.30
		2A	古期火山灰	5.49	3.87	0.86	7.45	0.01	0.25
33	乙部町元和	Ap	Os-a, Os-b	5.81	8.26	0.08	5.11	0.06	5.45
34	乙部町姫川	Ap	Os-a, Os-b	6.02	7.40	0.04	6.40	0.11	2.61
		2A	古期火山灰	5.61	1.28	0.08	6.80	0.65	1.40
35	上ノ国町夷王山	Ap	古期火山灰	5.73	11.17	0.18	4.62	0.22	6.09
		2A	古期火山灰	5.98	5.40	0.12	9.95	0.07	0.79
36	上ノ国町湯の岱	Ap	Os-a, Ko-d	4.99	8.05	0.21	4.01	1.15	6.32
37	知内町中の川	A	Os-a, Ko-d	5.51	10.64	0.35	7.23	0.06	0.93
		2A	Ko-g, h	5.35	2.39	0.01	4.66	0.13	0.52
38	函館市銭亀沢	Ap	Ko-d, e	5.71	8.01	0.22	9.55	0.03	0.38
		2Bw	(褐色森林土)	5.92	1.27	0.08	7.21	0.53	1.28
39	大野町観音山	Ap	Ko-d	5.64	7.74	0.06	7.70	0.16	3.18
40	上磯町清川	Ap	Ko-d, e	5.14	18.26	0.05	6.35	0.06	0.52
		2A	古期火山灰	5.35	2.32	0.01	6.01	0.08	0.62
41	七飯町藤城	Ap	Ko-d, e	5.21	10.57	0.08	5.02	0.09	5.29
		2A	古期火山灰	5.83	4.94	0.16	9.89	0.05	0.74
42	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	5.77	10.42	0.10	6.04	0.43	9.33
43	七飯町鳴川	Ap	Ko-d, e	5.59	8.57	0.02	5.20	0.05	0.46
		2A	古期火山灰	5.54	4.25	0.09	7.16	0.05	0.38
44	森町森川	A	Ko-d	5.07	1.91	0.14	2.21	0.28	1.51
		C	Ko-d	5.82	0.59	0.02	1.46	0.07	0.42
十勝管内									
50	清水町平和	Ap	Ta-a+Ta-c	5.06	11.69	0.20	7.03	0.16	4.88
51	清水町鉄南	Ap	Ta-a+Ta-c	5.20	12.64	0.08	3.82	0.03	2.41
52	清水町佐幌	Ap	Ta-a+Ta-c	5.55	7.92	0.06	4.72	0.12	1.57
53	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	4.82	2.23	0.46	2.93	3.92	3.27
54	帯広市大正	Ap	Ta-a+Ta-b	4.75	4.76	0.85	3.97	1.41	2.17
55	忠類村共栄	A	Ta-a+Ta-b	4.41	8.59	0.46	4.10	1.38	3.27
56	大樹町中大樹	Ap	Ta-b	4.96	6.04	0.10	4.38	0.68	2.92
		2A	Ta-c+Ta-d	4.95	7.51	0.08	4.62	0.43	1.39
57	豊頃町晩成	2A	Ta-c+Ta-d	4.96	8.50	0.01	3.35	2.48	0.41
		A	Me-a	5.22	7.62	0.15	5.85	0.84	2.33
		2A	古期火山灰	5.42	4.12	0.24	7.39	0.58	0.70
58	足寄町上ラワン	2Bw	古期火山灰	5.35	2.51	0.08	8.91	1.01	0.62
		Ap	Me-a	5.21	7.12	0.23	4.29	1.08	1.55
		Ap	Me-a	5.43	2.94	0.11	6.17	0.88	1.70
61	足寄町中足寄	Ap	Me-a+Ta-a	5.01	3.83	0.41	5.36	0.91	1.80
62	本別町仙美里	Ap	(灰色低地土)	5.11	3.14	0.24	4.36	1.44	1.28
63	本別町本別	Ap	Me-a	5.51	7.24	0.08	5.11	0.71	4.13
64	本別町チエナイ	Ap	Me-a	5.91	6.12	0.05	8.31	0.90	3.44
65	本別町勇足	Ap	Me-a	4.81	7.31	0.23	5.86	0.81	1.64
66	士幌町下居辺	Ap	Me-a	5.17	11.73	0.28	8.23	0.63	2.30
67	士幌町下居辺	Ap	Me-a	6.01	4.88	0.02	9.13	1.11	1.97
68	士幌町新栄	Ap	Me-a	4.96	8.91	0.09	7.75	0.75	1.80
69	鹿追町中瓜幕	Ap	Me-a	5.18	6.76	0.05	7.63	0.65	1.82
70	鹿追町西瓜幕	Ap	Me-a	5.31	7.61	0.13	5.95	1.30	2.73
71	鹿追町笹川	Ap	Me-a	5.07	7.78	0.19	5.72	0.96	1.92
72	鹿追町上美蔓	Ap	Me-a	5.26	6.81	0.04	6.97	0.83	1.65
73	清水町上清水	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	5.44	11.95	0.06	6.05	0.59	0.35
		2A	En-a	5.71	2.81	0.02	4.43	0.04	0.29
		2Bw	En-a	5.91	1.24	0.01	4.28	0.07	0.50

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	pH	腐植 %	水溶性Al mg L ⁻¹	水溶性Si mg L ⁻¹	0.1M HCl 可溶(mg kg ⁻¹)	
								Cu	Zn
74	芽室町旭山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	4.91	10.10	0.11	9.06	0.05	0.76
		2A	En-a	5.22	5.16	0.05	7.72	0.11	0.65
		2Bw	En-a	5.95	1.00	0.01	6.76	0.07	0.53
75	芽室町洪山	Ap	Ta-a+Ta-c+Ta-d	5.04	7.91	0.15	6.18	0.21	0.88
		2Bw	En-a	6.01	0.68	0.04	10.52	1.08	1.97
		3Bw	Spfa	6.27	0.24	0.01	7.91	1.28	2.32
76	上土幌町上音更	Ap	Ta-b+Ta-d	5.54	6.65	0.04	6.64	0.16	1.23
77	上土幌町北門	Ap	Ta-b+Ta-d	5.11	6.28	0.01	6.94	0.06	0.56
		2A	Ta-d+En-a	5.47	2.56	0.00	5.63	0.11	0.45
釧路・根室管内									
78	白糠町馬主米	Ap	Me-a	5.11	6.29	0.09	4.36	0.32	2.23
		2A	Km-a	5.11	8.91	0.07	5.98	0.02	0.53
		2C	Ma-e	5.11	4.51	0.03	4.51	0.02	0.29
79	白糠町坂の丘	Ap	Me-a	5.64	9.69	0.04	3.97	0.08	4.47
80	浜中町浜中	Ap	Me-a	5.61	10.69	0.07	5.38	0.03	3.11
		2A	Ma-e	5.45	2.24	0.03	4.94	0.01	1.57
81	浜中町浜中	Ap	Me-a	6.65	10.58	0.03	2.99	0.29	1.78
82	浜中町秩父内	Ap	Me-a	5.91	9.95	0.04	5.26	0.27	3.05
83	浜中町萩の里	Ap	Me-a	5.11	11.52	0.07	4.14	0.19	4.85
84	厚岸町サツペツ	Ap	Me-a	5.41	7.60	0.05	5.19	0.30	1.04
		2A	Ma-e	5.41	3.39	0.01	5.51	0.33	0.71
85	標茶町下標茶	Ap	Me-a	5.25	8.42	0.06	6.41	0.46	4.27
86	標茶町磯分内	Ap	Me-a	6.08	4.10	0.02	3.70	0.68	3.33
87	標茶町磯分内	Ap	Me-a	5.15	8.40	0.08	3.67	0.27	5.58
88	弟子屈町仁多	Ap	Me-a	5.61	7.62	0.06	5.13	0.48	2.76
		2A	Km-a	5.43	4.44	0.01	5.23	0.36	0.70
網走管内									
89	網走市浦士別	Ap	Ta-a+Me-a	5.85	4.89	0.03	4.99	0.51	3.52
		2Bw	Pumice flow	5.95	2.25	0.01	6.64	0.16	0.40
		3Bw	Pumice flow	6.13	0.67	0.00	14.76	2.23	4.42
90	網走市浦士別 小清水町倉栄	Ap*	Ta-a+Me-a+km-a	6.03	1.91	0.01	10.25	0.10	2.06
		Ap	Km-a	5.91	4.38	0.06	5.33	0.47	1.13
		2Bw	(Shari Loam)	5.91	0.86	0.01	6.71	1.01	1.38
91	小清水町倉栄 小清水町倉栄 小清水町水上	2C	(Shari Loam)	5.88	0.37	0.00	11.84	1.67	2.31
		Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	5.14	2.95	0.10	8.98	0.45	1.89
		Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	5.35	3.64	0.04	9.49	0.45	1.89
92	清里町札弦西	Ap	Ta-a, Me-a, Km-a	5.51	4.81	0.05	6.05	0.50	2.22
		Ap*	Ta-a, Me-a, Km-a	5.88	4.56	0.03	7.40	0.24	0.59
		2Bw1	Shari loam	6.01	0.86	0.00	8.30	0.35	1.11
93	清里町札弦西 清里町札弦	2Bw2	Shari loam	6.31	0.72	0.01	11.63	1.98	2.77
		2C1	Shari pumice flow	6.21	0.10	0.00	2.37	0.78	1.08
		Ap	Km-a	5.55	3.20	0.02	7.26	0.28	1.40
94	清里町南斜里	Ap	Km-a	6.09	4.05	0.01	5.17	1.10	6.63
		Ap	Km-a	5.84	4.77	0.02	7.47	0.28	1.39
		2Bw	Pumice flow	5.59	1.01	0.01	8.16	0.78	1.08
95	清里町南斜里 清里町向陽美里	2C	Pumice flow	6.22	0.72	0.01	9.29	1.89	2.73
		Ap*	Km-a	5.42	2.11	0.02	2.74	0.71	0.79
		Ap	Km-a	5.19	4.93	0.16	6.37	0.98	5.05
96	清里町向陽北	2Bw	Ma-f1	5.24	4.87	0.08	5.58	1.04	4.18
		Ap	Km-a	5.10	5.51	0.18	6.48	3.94	7.52
97	斜里町来運	Ap	Km-a	5.46	6.50	0.33	6.16	0.41	1.52
		2Bw	Ma-f1	6.16	1.56	0.02	7.77	0.28	0.92
		2C	Ma-f3	6.45	0.42	0.03	9.95	1.17	2.11
98	斜里町朱円西	Ap	(灰色低地土)	5.46	0.99	0.01	12.92	1.58	2.09
		2A		5.81	5.74	0.04	6.00	0.65	3.47
		3A		6.41	3.74	0.01	6.99	0.60	0.62
		3C		6.46	2.21	0.01	6.39	0.04	1.93

地点No.	採取場所	層位	火山灰名記号	pH	腐植 %	水溶性Al mg L ⁻¹	水溶性Si mg L ⁻¹	0.1M HCl 可溶(mg kg ⁻¹)	
								Cu	Zn
99	斜里町朱円東	Ap	Km-a	6.12	8.81	0.04	4.85	0.08	8.13
		2C	Ma-f	6.01	4.60	0.05	6.14	0.13	0.65
		3C	Shari pumice flow	5.84	3.65	0.02	10.25	0.64	4.45
100	斜里町朱円東	Ap*	Km-a	5.21	1.22	0.05	7.17	0.13	2.57
	斜里町日の出	Ap	Km-a	5.04	9.10	0.04	9.47	0.07	2.82
101	清里町大和	Ap	Km-a	6.22	3.77	0.01	5.63	0.16	1.65
		C	Shari loam	6.11	2.10	0.02	6.90	0.14	0.59
102	清里町大和	Ap	Ta-a+Me-a	5.38	3.47	0.14	9.50	1.15	2.22
	網走市呼人	Ap	Ta-a+Me-a	5.62	5.78	0.16	5.18	0.38	4.47
103	網走市東網走	Ap	Ta-a+Me-a	5.31	4.99	0.03	5.09	1.08	2.20
		2A	Ma-fl	5.35	5.85	0.24	6.22	0.75	4.40
104	網走市山里	Ap	Ta-a+Me-a	5.44	6.64	0.01	5.09	0.26	1.46
		2Bw1	Shari loam	5.55	1.65	0.04	6.04	0.12	0.39
		2Bw2	Shari loam	5.95	4.88	0.01	6.42	0.33	0.63
105	網走市山里	Ap*	Ta-a+Me-a	5.63	5.45	0.04	9.32	0.27	2.11
	女満別町日進	Ap	Ta-a+Me-a	5.47	6.06	0.07	4.80	0.10	1.21
106	女満別町日進	2Bw	Ma-fl	5.22	5.27	0.01	7.43	0.08	0.48
		Ap*	Ta-a+Me-a	5.72	3.84	0.03	8.00	0.19	0.97
107	女満別町大成	Ap	Bihoro loam	4.58	10.55	0.63	5.63	0.03	0.08
		Ap*	Ta-a+Me-a	5.18	5.00	0.07	7.73	0.54	2.42
108	網走市嘉多山	A	Ta-a+Me-a	5.22	5.09	0.14	3.13	0.62	1.09
		2Bw	Ta-a+Me-a	5.22	1.33	0.08	7.43	0.08	0.38
		3Bw	Bihoro loam	5.82	0.59	0.00	10.88	0.75	2.37
109	網走市昭和	A	Ta-a+Me-a	5.01	8.63	0.44	4.86	0.04	2.18
		2Bw	Bihoro loam	4.58	4.15	0.18	4.44	0.02	0.72
109	網走市昭和	Ap*	Ta-a+Me-a	4.96	6.61	0.03	5.07	0.10	2.30
		Ap	Ta-a+Me-a	5.74	3.50	0.06	10.00	0.36	3.11

表 7. 火山灰土別の腐植, 可溶性アルミニウム, ケイ素, 銅および亜鉛含有率の平均値と標準偏差

火山灰別No.	火山灰名記号	腐植 (%)	水溶性Al (mg L ⁻¹)	水溶性Si (mg L ⁻¹)	0.1M HCl可溶成分(mg kg ⁻¹)	
					Cu	Zn
1	Ta-a	4.60±0.49	0.10±0.09	2.50±1.26	3.16±1.61	4.53±4.43
2	Ta-IIIa	2.76±1.69	0.10±0.10	2.53±1.25	3.38±2.00	4.07±5.24
3	Ta-a+Ta-b, Ta-b	4.94±3.11	0.33±0.32	4.05±0.59	1.51±1.25	2.25±1.13
4	Ta-a+Me-a	4.97±1.71	0.12±0.13	6.37±2.10	0.44±0.36	2.10±1.05
5	Ta-a+Me-a+Km-a	3.57±1.19	0.05±0.03	8.62±1.81	0.35±0.17	1.73±0.65
6	Ta-a+Ta-c+Ta-d, b	9.29±2.38	0.08±0.07	5.98±1.77	0.43±0.79	1.45±1.44
7	Ta-c	8.69±5.78	0.05±0.04	6.64±1.35	0.96±0.64	1.38±0.88
8	Ta-d	8.11±7.57	0.03±0.04	6.92±0.85	0.90±1.50	0.79±0.41
9	En-a	2.32±2.02	0.02±0.01	6.31±2.23	0.28±0.37	0.69±0.57
10	Us-a, Us-b	2.63±1.51	0.15±0.15	5.42±1.41	3.16±1.97	4.64±2.39
11	Ko-d	6.29±4.85	0.35±0.38	3.09±1.22	0.12±0.11	2.33±2.33
12	Ko-d, e, g, h	9.42±4.75	0.08±0.07	6.36±1.74	0.14±0.14	2.81±3.43
13	Me-a	7.83±2.18	0.09±0.07	5.71±1.63	0.61±0.35	2.74±1.20
14	Km-a	5.12±2.45	0.07±0.09	6.09±1.55	0.64±1.01	2.99±2.68
15	Ma-e, f	3.63±1.85	0.06±0.07	6.45±1.69	0.42±0.45	1.70±1.57
16	Shari loam	1.01±0.63	0.01±0.01	8.26±2.47	0.80±0.77	1.31±0.91
17	Os-a, Ko-d	8.59±1.42	0.17±0.14	5.69±1.42	0.35±0.54	3.83±2.50
18	古期火山灰	4.43±3.72	0.20±0.26	7.58±1.76	0.30±0.36	1.29±1.83

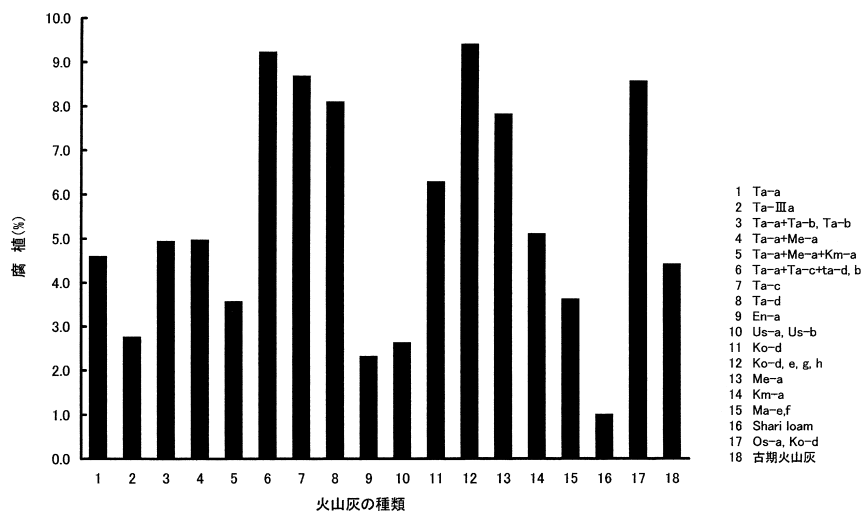


図 20. 火山灰別の腐植含量

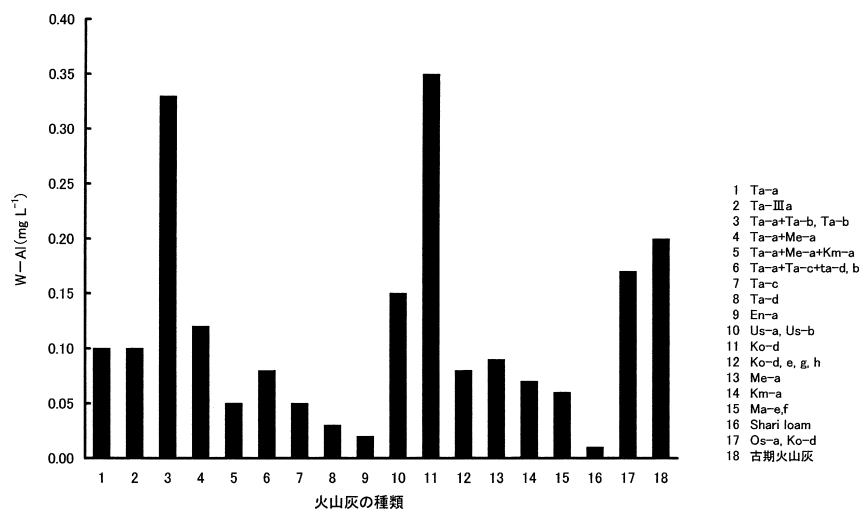


図 21. 火山灰別の水溶性アルミニウム含量

生成されたケイ酸は河川水に流出するため、土壌の風化程度の判定に用いられる場合がある（北野 1969）。水溶性ケイ素 (W-Si) は新しい火山灰土で 3 mg L^{-1} 以下の低い値を示した（図 22）。すなわち、Ta-a, Ta-IIIa, Ko-d である。これに対して、他の火山灰土は 5 mg L^{-1} 以上を示した。その中でも Ta-a+Me-a+Km-a, Shari loam, および古期火山灰では 8 mg L^{-1} 以上の高い値を示した。

北海道で最初にムギ類の銅欠乏が報告されたのは網走地方の能取湖と網走湖周辺から女満別、美幌にかけての地域である（長谷川・水野 1969）。これらの銅欠乏地帯では 0.1 M HCl 可溶の銅の含有率は 0.5 mg kg^{-1} を当時から下回っていた。今回の調査でも 0.1 M HCl 可溶銅の含有率は母材別によって大きな差異が認められた。すなわち、Cu として 1

mg kg^{-1} を超える火山灰土は Ta-a, または Ta-a+Ta-b, と Us-a, Us-b のみであった。その他の土壌はいずれも 1 mg kg^{-1} 以下であり、特に Ta-a+Me-a, Ta-a+Me-a+Km-a, Ta-a+Ta-c+Ta-d, Ko-d と Ko-d, e, g, h, Ma-e, f, Os-a+Ko-d, 古期火山灰はムギ類に銅欠乏が発生する危険水準である（北海道農政部 1999） 0.5 mg kg^{-1} 以下であった（図 23）。すなわち、この結果でも網走地方の火山灰土の可溶性銅含有率が明らかに低い値を示した。

0.1 M HCl 可溶性亜鉛含有率は図 24 に示した。樽前山系の火山灰土では、可溶性 Cu ほどではないが降灰年代の古い土壌ほど可溶性亜鉛の低下が認められた。作物は土壌中の 0.1 M HCl 可溶 Zn として 2 mg kg^{-1} 以上必要とされるが（北海道農政部 1999）、これらの調査結果からかなりの火山灰土は亜鉛欠乏

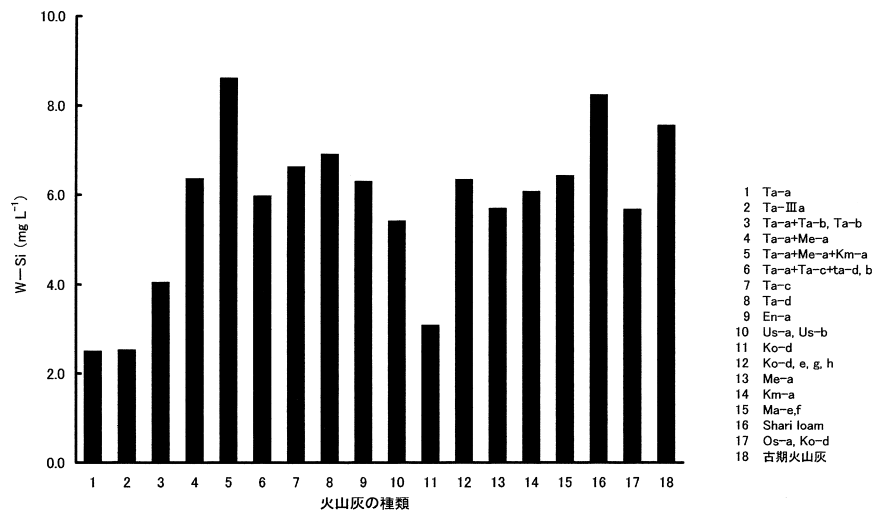


図 22. 火山灰別の水溶性ケイ素含量

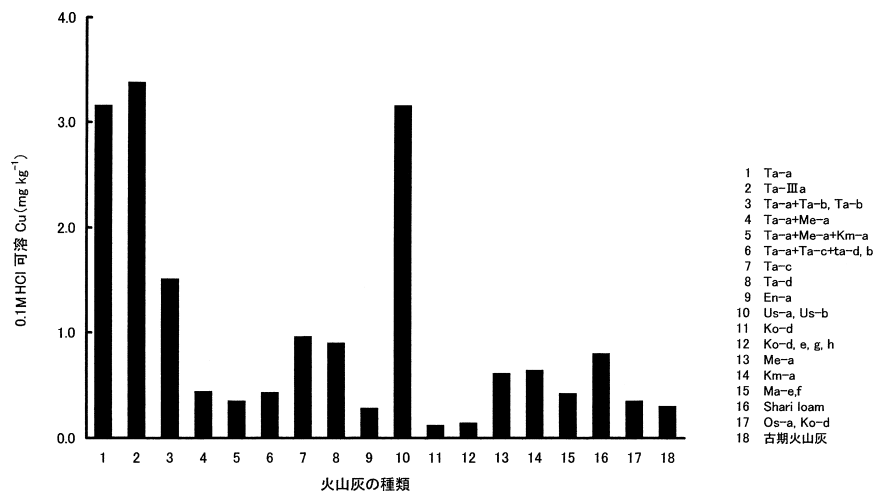


図 23. 火山灰別の 0.1 M HCl 可溶銅の含量

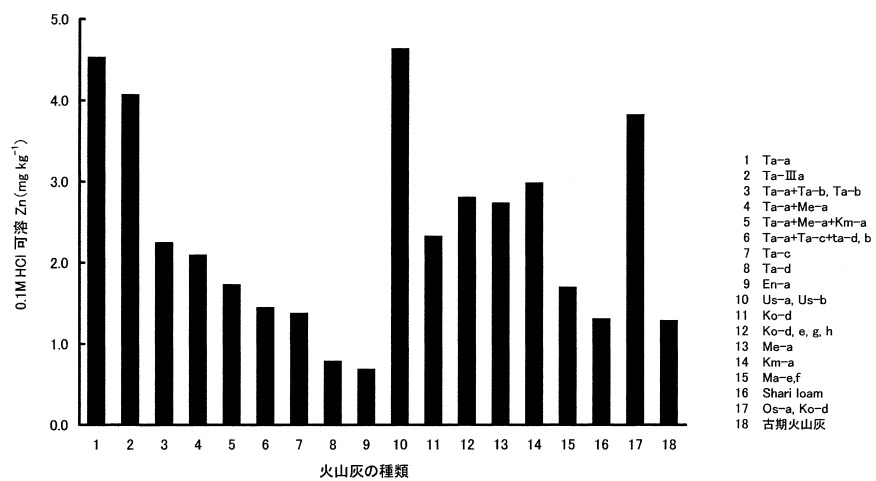


図 24. 火山灰別の 0.1 M HCl 可溶亜鉛含量

あるいはその危険性をもつことが明らかになった。

6) 各要素間の相互関係

火山灰土中の各主要成分が相互間にどのような関係があるか検討した。表8には全試料分析項目のおのおのの相関係数マトリックスを示した。

腐植：

腐植含有率と高い相関関係のあるのは Alp であって、この相関係数は 0.7** 以上となった。また、同じピロリン酸ナトリウム抽出である Fep と腐植の間にも Alp に近い水準にあることが明らかになった。これに対して腐植の増大によってその溶解性が低下するとされてきた可溶性 Cu と腐植の間には $r = -0.27^{**}$ の低い負の相関係数しか得られなかった。

アロフェン：

一方、アロフェンは腐植含有率とは対照的な結果を示した。すなわち、アロフェンはシュウ酸・シュウ酸塩抽出の Alo とは 0.85** の極めて高い相関関

係が得られたが、Alp とは $r = 0.17^*$ の低い関係しかなく、植物に有害な Alp はアロフェンの含有率とは直接関係の無いことがこれでも明らかになった。また、アロフェンの含有率は Feo と $r = 0.7$ の高い相関関係が認められた。それ故当然の結果であるが、火山灰の成熟の指数となる Alo+1/2 Feo とアロフェンの間には $r = 0.84$ の高い相関が得られた。これからアロフェンは単に火山灰であれば存在するのではなく、一定の年月の経過による成熟が重要であることがうかがわれた。また、アロフェンの含有率は 0.1 M HCl 可溶の銅、亜鉛の含有率と高い負の相関関係にあり、この値は腐植含有率と銅あるいは亜鉛との関係よりも高い負の関係にあった。

水溶性 Al：

土壌生物や植物にとって有害と考えられている水溶性 Al は Alp 単独よりも Alp/Alo と高い相関関係が認められた。すなわち、火山灰土におけるアルミニウム障害は古くから指摘されていたが、近年この Al 障害は Alp との関係が明らかにされている(三枝ほか 1993)。Alp/Alo は要素そのものを意味せ

表 8. 各項目間の相関関係

単相関	pH	腐植	Alo+1/2Feo	アロフェン	水溶性Al	Alp	Alo	Alp/Alo	Fep	Feo	1/2Feo	Cu	Zn	Si
pH														
腐植	-0.281													
Alo+1/2Feo	0.043	0.124												
アロフェン	0.084	-0.012	0.844											
水溶性Al	-0.390	0.183	-0.253	-0.300										
Alp	-0.216	0.748	0.342	0.170	0.198									
Alo	0.018	0.140	0.994	0.846	-0.245	0.349								
Alp/Alo	-0.288	0.319	-0.473	-0.510	0.404	0.364	-0.480							
Fep	-0.147	0.672	0.059	-0.098	0.343	0.797	0.054	0.423						
Feo	0.168	0.011	0.814	0.653	-0.243	0.231	0.747	-0.334	0.073					
1/2Feo	0.168	0.011	0.814	0.653	-0.243	0.231	0.747	-0.334	0.073	1.000				
Cu	0.031	-0.274	-0.436	-0.323	0.125	-0.444	-0.436	0.009	-0.260	-0.339	-0.339			
Zn	0.054	0.076	-0.386	-0.344	0.068	-0.233	-0.381	0.150	-0.061	-0.333	-0.333	0.474		
Si	0.229	-0.085	0.327	0.271	-0.167	0.142	0.302	-0.253	0.088	0.391	0.391	-0.224	-0.165	
pH														
腐植	**													
Alo+1/2Feo														
アロフェン			**											
水溶性Al	**	*	**	**										
Alp	**	**	**	*	**									
Alo			**	**	**	**								
Alp/Alo	**	**	**	**	**	**	**							
Fep	*	**			**	**		**						
Feo	*		**	**	**	**	**	**	**					
1/2Feo	*		**	**	**	**	**	**	**					
Cu		**	**	**		**	**		**	**	**			
Zn			**	**		**	**	*		**	**	**		
Si	**		**	**	*		**	**		**	**	**		

* : 5%水準で有意 ** : 1%水準で有意

ず、Alp と Alo の比であるが、この比は 0.5 以下でアロフェン土壌と判定する基準である。このことからアロフェンの特性が強まるほど水溶性 Al が低くなり、アルミニウムの害作用が低下することがうかがわれた。

全銅、全亜鉛と可溶性銅および可溶性亜鉛含有率：

すでに指摘したように、可溶性銅および亜鉛は $Alo+1/2 Feo$ とは高い負の関係にあり、特に可溶性銅は $Alo+1/2 Feo$ とは対数関数的に $r=0.57^{**}$ の高い負の相関関係にある。すなわち、シュウ酸・シュウ酸塩可溶の Alo および Feo の高い土壌ほど可溶性銅は抑制される。可溶性銅は Alp ともっとも高い $r=-0.44^{**}$ の負の関係にあるのに対して、腐植含有率とは $r=-0.27^{**}$ であり、それほど高い負の相関は得られなかった。北海道におけるコムギの銅欠乏は必ずしも土壌腐植との関係がなく（水野ら 1981）、銅欠乏と関係のある可溶性銅の含有率は可溶

性アルミニウム含有率の高い土壌で低下することが明らかにされている（水野 1976）。

一方、可溶性銅および亜鉛の含有率に全銅および全亜鉛の含有率が関係するかどうか一部の火山灰土の全分析によって検討した。結果を表 9 に示す。銅と亜鉛の全含有率は同一火山の火山灰でも変異が大きい。たぶん、亜鉛やマンガン、鉄などの重金属は土壌の重鉱物中に多く存在するところから（Suzuki et al. 1971）、火口から遠くなるほど重鉱物の割合が低下し、銅や亜鉛などの重金属含有率の低下が考えられる。これまで、銅と重鉱物との関係についての報告は見あたらないが同様なことが推定される。表 9 から明らかのように、Ta-a 中の全銅含有率は噴出源から遠く離れた網走において 10 mg kg^{-1} 以下の低い試料が観察される。しかし、可溶性銅や亜鉛の低かった年代の古い火山灰で全銅含有率が低いという証拠はこれからは得られなかった。

また、全銅および全亜鉛の含有率と可溶性銅、亜

表 9. 火山灰土壌の全銅、全亜鉛と可溶性銅、亜鉛の含有率

地点No.	火山灰名記号	Cu (mg kg^{-1})		Zn (mg kg^{-1})	
		全Cu	0.1M-HCl Cu	全Zn	0.1M-HCl Zn
2	Ta-a	18	2.03	65	0.53
4	Ta-a	46	4.10	54	7.01
13	Ta-a+Ta-b	23	1.23	80	0.5
20	Us-a+Us-b	33	1.15	71	3.48
26	Us-a+Us-b	19	3.78	71	2.32
32	Ko-d	23	0.01	73	0.3
35	古期火山灰	25	0.02	105	6.09
37	Os-a, Ko-d	32	0.06	79	0.93
42	Ko-d, e	21	0.43	80	9.33
50	Ta-a+Ta-c	24	0.16	46	4.88
53	Ta-a+Ta-b	20	3.92	55	3.27
55	Ta-a+Ta-b	13	1.38	71	3.27
56	Ta-b	43	0.68	87	2.92
60	Me-a	10	0.88	62	1.70
63	Me-a	32	0.77	52	4.13
64	Me-a	30	0.90	47	3.44
68	Me-a	28	0.75	62	1.80
72	Me-a	28	0.83	71	1.65
75	Ta-a+Ta-c+Ta-d	14	0.21	65	0.88
77	Ta-b+Ta-d	26	0.06	44	0.56
80	Me-a	16	0.03	68	3.11
81	Me-a	16	0.29	68	1.78
83	Me-a	32	0.19	30	4.85
84	Me-a	34	0.30	68	1.04
89	Ta-a+Me-a	20	0.51	63	3.52
89	Ta-a+Me-a	27	0.10	72	2.06
91	Ta-a+Me-a+Km-a	29	0.50	47	2.22
99	Km-a	20	0.13	63	2.57
101	Km-a	16	0.16	53	1.65
107	Ta-a+Me-a	9	0.54	67	2.42
108	Ta-a+Me-a	16	0.10	77	2.30

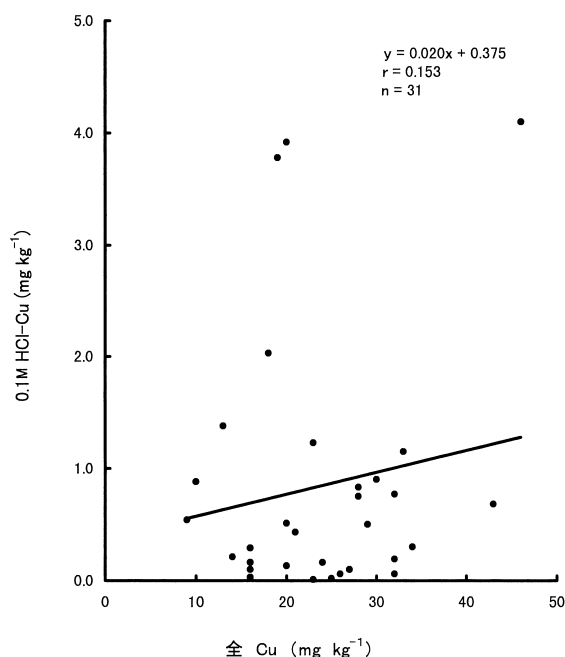


図 25. 火山灰土壌中の全銅と可溶性銅の関係

鉛含有率との関係を検討し、その結果を図 25, 26 に示した。これから、火山灰土の可溶性銅と可溶性亜鉛の含有率は全銅あるいは全亜鉛含有率とあまり相関のないことが明らかになった。すなわち、風化の進んだ Alp や Alo+1/2 Feo の高い火山灰土の可溶性銅および可溶性亜鉛の減少は全含有率の低下によるものではないことがこれらの結果から明らかになった。したがって、火山灰土の可溶性銅の低下は土壌の成熟による全銅含有率の低下によるものでもなく、活性の高いアルミニウムの存在により土壌溶液へのアルミニウム溶出が優先し、銅の可溶化が低下するためと考える方が妥当であろう。

4. 総括

1) アロフェンと火山灰土の関係

アロフェン質黒ボク土の判定基準の一つである Alp/Alo が 0.5 以下の値は胆振管内の大部分の火山灰で見られる (表 3)。しかしながら、渡島・檜山管内の火山灰は大部分が 0.5 以上の非アロフェン質黒ボク土であることを示した。一方、十勝管内の火山灰では、Ta-a+Ta-c, Me-a では大部分の火山灰土が 0.5 以下となるが、Ta-a+Ta-b あるいは Ta-b を主体とする土壌、または古期火山灰土では Alp/Alo は 0.5 以上になる傾向にあった。すなわち、新しい火山灰とごく古い火山灰で非アロフェン質黒ボク土になることを示した。

根釧管内では、表土、次表土の主要な火山灰は

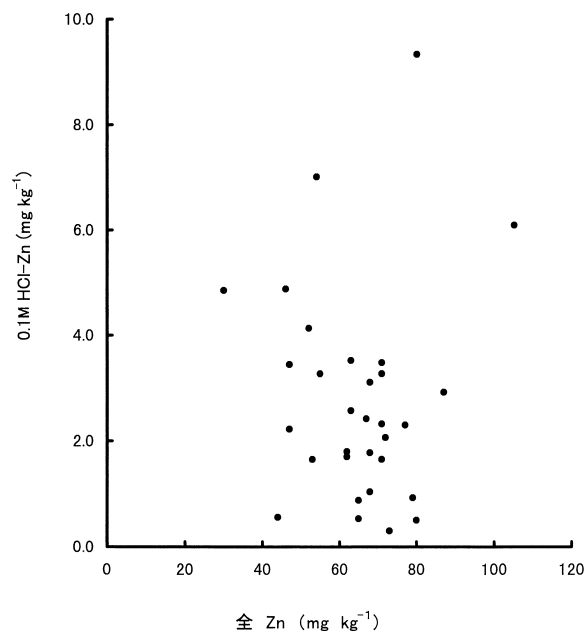


図 26. 火山灰土壌中の全亜鉛と可溶性亜鉛の関係

Me-a, Km-a, Ma-e である。このうち Ma-e と Km-a の Alp/Alo はいずれも 0.3 以下であるが、Me-a の Alp/Alo は一般に高く、半数近くが 0.5 以上となった。この傾向はアロフェンの含有率にも現れ、Ma-e と Km-a のアロフェン含有率はいずれも 10% 以上の高い値を示した。これに対して、Me-a のアロフェン含有率は一般に低い値を示した。この傾向は網走管内にも見られた。ただし、網走管内の火山灰土の Alp/Alo は大部分が 0.5 以下であり、この傾向は Ta-a の層が厚くアロフェン含有率が極端に低い網走市嘉多山地方を除くと、アロフェン含有率が 5% 以下の Shari loam でも Alp/Alo は 0.5 以下を示した。また、同一地点においても、層厚調整などで下層土の混入のあったほ場では、特にアロフェン含有率の増大と Alp の低下が認められた (表 4)。このように層厚調整によるアロフェン含有率の増大とアルミニウムイオン活性の低下はすでに指摘されていることである (Mizuno et al. 1998) が、網走管内においても特に網走湖の南東部において交換性アルミニウムが低く (Mizuno and Yoshida 1993, 吉田ほか 1994), 河川水のケイ酸が他の地帯に比較して極端に高いことが明らかにされている (水野・吉田 1994, Mizuno et al. 1999)。このように可溶性ケイ酸の高い原因は火山灰の風化が盛んに進行している証である (北野 1976) が、これは火山灰の年齢が風化の盛んな時期に当たること、粒径の細かい火山灰が多く、風化が早いこと、降雨量が低くアロフェンの生

成に適していたことがあげられる（松山ほか 1992）。

2) 粘土鉱物

農業上、火山灰土において大きな問題はアルミニウム過剰による障害と、もう一つは新しい火山灰における保肥力の低さにある。ザルのような火山灰は肥料の不足する時代では大きな問題であった。この保肥力は火山灰の土壌化による陽イオン交換容量の増大によって高まるが、これは一次鉱物の火山灰から二次鉱物の粘土鉱物に変わることによるものであることはいまさら論を待たない。土壌のイオン交換機能は粘土鉱物の種類やイオンおよびイオン交換基の特性によって大きく変化する。スメクタイトやバーミキュライトは陽イオン交換容量が大きい、重金属イオンを強く保持する特性は示さない。しかし、一方酸性化すると交換性イオンの一部は水素イオンに変化するが程なく交換性 Al を持つようになる。その交換性 Al は pH 5 付近ではかなりの部分が重合ヒドロキシ Al イオンとなり、2:1~2:1:1 型中間種鉱物となりやすい。これに対して、アロフェン、イモゴライトのイオン交換機能は pH や共存塩濃度の影響を大きく受ける。通常 CEC は pH 7, 1 mole L⁻¹ の酢酸アンモニウム中で測定されるが、野外のアロフェン質土壌の pH は 6 付近で土壌溶液の塩濃度もせいぜい 1-10 mmole L⁻¹ 付近である。従って、フィールドにおけるアロフェン質土壌の陽イオン保持能は土壌診断値よりも小さい傾向がある。さらに、アロフェン質土壌は 1 価陽イオンより多価陽イオン

に高い親和性を示す。銅イオン、鉛イオン、アルミニウムイオンなどはアロフェン質土壌に非常に強く保持される。実質的にアロフェン質土壌は交換性 Al すなわち、KCl 抽出 Al を持つことはほとんどない。

ほとんどの火山では、噴出時の火山灰は一次鉱物であるため、この陽イオン交換容量がきわめて低い。表 10 には火山灰別に陽イオン交換容量 (CEC) の平均値と標準偏差を示した。この中で、Ta-a, Ta-IIIa, Ta-a+Ta-b, Ko-d などの砂礫質の若い火山灰は CEC がきわめて低い。これらに対して Us-a + Us-b はこれらの火山灰で最も若い方に入るが、CEC は 13 cmol_c kg⁻¹ と農業上ある程度支障の無い水準にある。有珠山周辺の農業地帯ではたびたび火山の噴火に悩まされているが、火山の噴火が収まれば農業上あまり大きな支障は発生しないのもこの辺に原因があるものと考えられる。

すでに表 2 と表 3 でも示したように、有珠系火山灰では種々の粘土鉱物を含有し、特にスメクタイトは最も多く含まれる。樽前山の近くの Ta-a や駒ヶ岳の麓の Ko-d の粘土鉱物ではわずかにアロフェンが検出されるだけであるが、これとは大きな違いである。このことは近堂 (1967) が指摘しているように、噴火前にすでに火口付近で熱水変成をうけた粘土がその後の爆発で放出されたとの説を支持するものである。このように噴火直後の火山灰でスメクタイトやその他の結晶性の粘土鉱物を多量に含む火山灰土は今回の調査では有珠山の火山灰土以外には見あたらなかった。

アロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土

表 10. 火山灰土別の陽イオン交換容量：(CEC cmol_ckg⁻¹soil)

火山灰別No.	火山灰名記号	平均値	標準偏差
1	Ta-a	7.7	3.6
2	Ta-IIIa	8.1	4.8
3	Ta-a+Ta-b, Ta-b	12.9	4.2
4	Ta-a+Me-a	16.7	2.7
5	Ta-a+Me-a+Km-a	13.2	1.8
6	Ta-a+Ta-c+Ta-d	23.6	6.3
7	Ta-c	11.3	0.6
8	Ta-d	26.3	10.7
9	En-a	16.6	3.3
10	Us-a, Us-b	12.7	3.0
11	Ko-d	5.7	2.3
12	Ko-d, e, g, h	24.1	2.1
13	Me-a	23.3	7.0
14	Km-a	20.6	3.9
15	Ma-e, f	15.6	4.6
16	Shari loam	12.6	3.4
17	Os-a, Ko-d	14.8	1.7
18	古期火山灰	22.2	3.8

の判定にピロリン酸ナトリウムで抽出されるアルミニウムである Alp とシュウ酸・シュウ酸塩で抽出されるアルミニウムである Alo の比、すなわち、Alp/Alo が 0.5 以下をアロフェン質黒ボク土、それ以上を非アロフェン質黒ボク土と判定する基準があるが、Us-a, Us-b の火山灰はアロフェン含有率も低く、他の粘土鉱物が含まれるにも関わらず、この基準ではほとんどがアロフェン質黒ボク土に区分される。したがって、このような噴火時にすでに結晶性の粘土鉱物を含む火山灰にもこの基準だけでアロフェン質黒ボク土かどうか判断することには疑問がある。やはり、風化の尺度となる $Alo + 1/2 Feo$ が 2 以上という基準と合わせて判断する必要があるだろう。

有珠山以外の火山灰では、降灰後千年ほど経過して非晶質のアロフェン含有率が增大し、数千年から一万年の間にそれが最大となり、古期火山灰ではアロフェン含有率は減少し、結晶性のイライト、クロライトなどが含まれることがこの調査研究で認められた。

クロライトは 2:1:1 型鉱物で、2:1 型のパーミキュライトと 2:1 型-2:1:1 型鉱物は腐植層の粘土鉱物の中で優勢を占める (Wada 1980) ことが明らかにされているが、今回の調査でも道南地方の古期火山灰や十勝管内における Ta-a + Ta-b の火山灰においても、腐植含有率の高い土壌でクロライト含有率の高いことが確認された。

3) アルミニウムの生物に対する影響と火山灰との関係

Alp/Alo が高い非アロフェン質黒ボク土では水溶性アルミニウムも高くなる傾向にあり、また、当然の結果として Alp の含有率が高い。しかし、Alp/Alo が低くても Alp の高い土壌も存在する。風化の進んだ火山灰では Alo の含有率も高まるためである。植物などに有害なアルミニウムの判断をどれに基準をおけば妥当か今後さらなる検討が必要であるが、土壌病害の一種であるジャガイモそうか病は水溶性アルミニウムとの関係が深い (Mizuno et al. 1998 a)。また、この水溶性アルミニウムはアロフェン含有率 5% 以上の土壌の大部分で Al^{3+} として 0.1 mg L^{-1} 以下の低い値を示した。表 8 の各項目の相関係数マトリックスからも明らかなように、アロフェン含有率と水溶性アルミニウムは負の関係にあり、また Alp/Alo とは正の相関関係にある。Alp はアロフェン (Sio) との相関関係は低く、腐植含有率と 0.75** の高い正の相関がある。

本調査はジャガイモの土壌病害の一種であるジャ

ガイモそうか病の発生と土壌の関係を明らかにするため開始した。なぜ網走地方にジャガイモそうか病の多発があるのかを解明し、また層厚調整地帯では土壌のアロフェン含有率の増大と水溶性アルミニウムが減少し、ジャガイモそうか病は激発することをすでに明らかにしてきた (Mizuno et al. 1998 b)。このことは生物に対するアルミニウムの害作用が有害な病原菌にも抑制的に働くことの一例である。

しかしながら、同じ火山灰であり、Alp/Alo ではアロフェン土壌に属しながら、有珠山の火山灰地帯では網走地方ほど劇的なジャガイモそうか病の多発が無く、これまでその原因は不明であった。今回の調査から Us-a, Us-b では、新しい火山灰でもすでに結晶性鉱物であるスメクタイトが含まれていて、樽前あるいは雌阿寒などの火山灰と本質的に異なることが明らかになった。有珠山の火山灰では、火口内の熱水変成によりスメクタイトが生成された後、放出されたと考えられており (近堂 1967)、今回の調査結果も Us-a のようにあたらしい火山灰でもスメクタイトが存在することから、それらの説を裏付ける結果となった。

火山灰土の代表的な粘土鉱物であるアロフェンは酸性が弱く、塩基飽和度が低い場合でも陽イオン交換座にアルミニウムイオン (Al^{3+}) が溶出しやすい形態では結合せず、そのため交換酸性はほとんど示さないことが知られている (吉田 1971)。これに対して、2:1 型のスメクタイト (モンモリロナイト) は塩基飽和度が低下すると、交換性アルミニウムが増加し、強酸性になり、アロフェンとは対照的にアルミニウムイオンがでてくる。それ故、アロフェン質土壌では塩基飽和度が低い場合でも有害なアルミニウムの影響は低い (Shoji et al. 1980) とされている。水溶性アルミニウムの低いアロフェン地帯では土壌病害菌の抑制剤として働くアルミニウムイオンが低いことためジャガイモそうか病が多発し (水野ほか 1997, Mizuno et al. 2000)、スメクタイトを含む有珠山の火山灰地帯ではある程度 pH が低下すると Al の一部が交換性となり、アルミニウムイオンが溶出しやすいためジャガイモそうか病の発生が低くなると考えられる。

アロフェン質黒ボク土では Sio 含有率が高いばかりでなく、一般に水溶性ケイ酸の含有率も高く、このため水溶性アルミニウムの溶解度が著しく低下することが明らかにされている (水野・吉田 1994)。ジャガイモそうか病の多発が道東に多い原因も土壌の粘土鉱物と密接な関係にあることがこの研究でも裏付けられたと考えられる。

5. 要 約

北海道の胆振、渡島・檜山、十勝、釧路・根室および網走管内に分布する火山灰の粘土鉱物を調べた結果、つぎのことが明らかになった。

1) 樽前山に近い東側の粗粒質火山灰(胆振管内) Ta-a では、粘土鉱物をほとんど含まず、非晶質鉱物もわずかであった。噴火後数百年内の Ta-b も Ta-a と同様な傾向にあったが、イライト (It)、クロライト (Ch) が時々含まれる。噴火後数千年経過する Ta-c, d では非晶質粘土鉱物が多く、パーミキュライト-クロライト中間種鉱物 (Vt-Ch)、クロライトも含まれる。樽前山の下層火山灰である Ta-d 層はアロフェン含有率が20%以上となる。

2) 樽前山から遠く離れる東側130-200 kmの十勝管内では細粒質であり、アロフェン含有率が高い。Ta-bには時々イライトが観察される。雌阿寒岳の Me-a では、イライトが+~++存在する。

3) 有珠山から噴出された Us-a, bはともにスメクタイト (Sm) の含有率が高い。スメクタイトの観察された火山灰は有珠山だけである。アロフェン含有率は1%前後であり、あまり高い値は示さない。

4) 樽前山の東北東250 kmの網走管内の主要火山灰は Ta-a, 雌阿寒の Me-a, カムイヌプリの Km-a, 摩周の Ma-f であるが、大部分の火山灰土は非晶質のアロフェンのみであり、その含有率はいずれも高い。他の結晶性鉱物のクロライト (Ch) とカオリン (Kn) はわずかな試料にのみ検出されるにすぎない。

5) 道内各地の古期火山灰 (>10 ka) ではアロフェンのみでなく、イライトやクロライトなどの結晶性粘土鉱物が存在する。

6) 火山灰土中の可溶性銅の低下は腐植含有率とはあまり高い相関は無く、 $Al_{0.5}Fe_{0.5}$, $Al_{0.5}P_{0.5}$, $Al_{0.5}O_{0.5}$ など火山灰土の成熟ともなって高くなる可溶性アルミニウムの含有率と高い負の相関関係にある。

文 献

- Blakemore LC, Searle PL and Daly BK 1981: Soil Bureau Laboratory Methods. A method for chemical analysis of soils. N. Z. Soil Bur. Sci. Rep., No. 10A, A8.1-A8.5 (revised)
- Garrels RM and Ghrist CL 1965: Solutions, Minerals, and Equilibria. pp. 352-370, Harper & Row (Tokyo)
- 土壌協会 1999: Soil Taxonomy による土壌分類の手引き. pp.1-68
- 長谷川俊雄・水野直治 1969: 北海道網走地方にみ

られる麦類の生育異常に関する研究. 第1報 発生地の分布とその土壌的特性ならびに予備的対策試験. 道農試集, 19, 63-79

- 橋本 均・志賀弘行 1993: 北海道土壌区分一覧. 道立農試資料 21, 1-123
- 北海道農政部 1999: 北海道土壌診断基準と施肥対応. pp.1-137
- 加藤 誠・勝井義雄・北川芳男・松井 愈 1998: 日本の地質1. 北海道地方, p.175, 共立出版(東京)
- 北野 康 1976: 水の科学. pp.89-90, 日本放送出版会(東京)
- 小林 純 1971: 水の健康診断. p.43, 岩波新書(東京)
- 近堂裕弘 1967: 北海道の第四紀火山碎屑物および土壌の粘土鉱物組成. 北海道開発局, 1-191
- 町田 洋・新井房夫 1994: 火山灰アトラス. pp. 1-276, 東京大学出版会(東京)
- 松坂泰明 1969: 本邦水田土壌の分類に関する研究. 農技研報告, B 20, 155-349
- 松山信彦・三枝正彦・菊地晃二・阿部篤郎 1992: 北海道に分布する黒ボク土の類型区分. 川渡農場報告, 8, 13-18
- 松山信彦・三枝正彦 1994: 西日本におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布. ペドロジスト, 38, 2-9
- 水野直治 1976: 希塩酸による土壌中銅抽出の限界. 土肥誌, 47, 251-255
- 水野直治・鎌田賢一・稲津 脩 1981: 三笠市丘陵地帯のコムギの銅欠乏と不稔発生条件. 土肥誌, 52, 334-338
- Mizuno N and Yoshida H 1993: Effect of exchangeable aluminium on the reduction of potato scab. Plant Soil, 155/156, 505-508
- 水野直治・吉田穂積 1994: バレイショ生産地帯における土壌と河川水中の可溶性ケイ酸とアルミニウム含有率の差異. 土肥誌, 65, 126-132
- 水野直治・吉田穂積・牛木 純・但野利秋 1997: アロフェン質黒ボク土におけるジャガイモそうか病発生に対する施肥法の影響. 土肥誌, 68, 686-689
- Mizuno N, Yoshida H, Nanzyo M and Tadano T 1998a: Chemical characterization of conducive and suppressive soil for potato scab in Hokkaido, Japan. Soil Sci. Plant Nutr., 44., 289-295
- Mizuno N, Nizamidin K, Yoshida H, Nanzyo M and Tadano T 1998b: Effects of deep plowing and "cutting and banking" practice on the con-

- centration of water-soluble aluminum and allophane content in Andosols: Implication for recent incidence of potato common scab in Abashiri area. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44, 571-578
- Mizuno N, Tadano T and Yoshida H 1999: Relationship between silica concentration in river water and geologic characters. 植物・土壌系におけるアルミニウムとケイ酸の相互作用の機構解明 (研究課題番号 08406007), 11-24
- Mizuno N, Yoshida H. and Tadano T 2000: Efficacy of single application ammonium sulfate in suppressing potato common scab. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 46, 611-616
- 南條正己・クルバン ニザミデイン・吉田穂積・山崎慎一・水野直治 2000: 北海道南部および東部に分布する畑土壌の水抽出 Al 濃度と化学性・コロイド組成との関係. *ペドロジスト*, 44, 99-108
- 農耕地土壌分類命名委員会 1995: 農耕地土壌分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所, 17, 9-17
- 音羽道三・種市順司・望月孝之 1995: 黒ボク土類縁土壌の特徴, 分類および国際対比. 弘前大学農学部学術報告, 58, 121-197
- Purvis ER and Peterson NK 1956: Methods of soil and plant analyses for molybdenum. *Soil Sci.*, 81, 223-228
- 斉藤萬之助 1998: 北海道土壌の粘土鉱物組成, I. 非火山性土. *国土利用開発研究所紀要*, 80, 1-42
- Saigusa M, Matsuyama M, Honna T and Abe T 1991: Chemistry and fertility of acid Andisols with special reference to subsoil acidity; in *Plant-Soil Interactions at Low pH*, ed. RJ. Wright and VC. Baligar, pp. 73-80, Kluwer Academic Publishers, Dordrech
- 三枝正彦・松山信彦・阿部篤郎 1993: 東北地方におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布. 64, 423-430
- 佐々木龍男・片山雅弘・音羽道三・天野洋司・土橋貞雄 1970: 渡島半島の火山灰について. 北海道農試土性調査報告, 20, 255-286
- Sasaki T, Katayama M, Tomioka E, Yazawa S, Yamada S, Yano Y and Kitagawa Y 1972: Studies on chronology of humified tephros in Hokkaido. *Quant. Res.*, 10, 117-123
- 佐藤博之 1972: 北海道の火山噴出物に関連した¹⁴C年代. 北海道の火山灰分布, 付 火山灰対比表・¹⁴C年代・参考文献, pp. 14-18
- Shoji S, Saigusa M and Takahashi T 1980: Plant root growth in acid Andosols from northeastern Japan, I. Soil properties and root growth of burdock, barley and orchard grass. *Soil Sci.*, 130, 1-11
- Shoji S, Nanzyo M, Dahlgren RA and Quantin P 1996: Evaluation and proposed revisions of criteria for andosols in the world reference base for soil resources. *Soil Sci.*, 161, 604-615
- Soil Survey Staff 1998: "Keys to Soil Taxonomy" 8th Ed.
- Suzuki S, Mizuno N and Kimura K 1971: Distribution of heavy metals in serpentine soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 17, 195-198
- 山田 忍 1953: 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山活動に関する研究. *地団研専報*, 8, 40
- 吉田穂積・山田武志・水野直治 1994: ジャガイモそうか病の発生における土壌の交換性アルミニウムと可溶性ケイ酸の影響. *植病報*, 60, 630-635
- 吉田 稔 1971: カオリナイト, アロフェンおよびイモゴライトの酸的性格. *土肥誌*, 42, 329-332
- 和田光史 1966: 粘土鉱物の同定および定量. *土肥誌*, 37, 10-17
- Wada K 1980: Mineralogical characteristics of Andosols. In *Soils with Variable Charge*, ed. by B.K.G, Theng, New Zealand Soc. *Soil Sci.*, pp.87-107
- 和田信一郎 1986: 単量体アルミニウムイオンの定量のための8-キノリノール塩抽出法の改良. *土肥誌*, 57, 506-508
- Whittig LD 1965: X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. In *Methods of Soil Analysis, Part 1* (ed., Black CA et al.) p. 671-698, Am. Soc. Agro., Inc., Madison

Summary

Clay mineral composition of volcanic ash soils distributed in Iburi, Oshima-Hiyama, Tokachi, Kushiro-Nemuro and Abashiri subprefecture, Hokkaido, Japan was examined and the following results were obtained.

- 1) The major parent material of the coarse volcanic ash soils near Mt. Tarumae of Iburi subprefecture is

the Ta-a tephra and their clay content and noncrystalline materials content was small. The soils derived from Ta-b tephra, several hundred year old, basically showed properties similar to those from Ta-a tephra although the former contained a small amount of illite and chlorite. The soils derived from Ta-c, d tephras, several thousand years old, showed a high content of noncrystalline materials, chloritized vermiculite and chlorite. The lower horizon soil derived from Ta-d tephra contained more than 20 % of allophane.

2) The volcanic ash soils distributed in the Tokachi subprefecture, far from the Mt. Tarumae, are fine-textured and showed a high content of allophane irrespective of the age of tephra. The soils derived from Ta-b tephra sometimes contained a small amount of illite. The soils derived from Me-a tephra contained illite at the level of + ~++.

3) The clay fraction of soils derived from Us-a, b tephras, whose source volcano is Mt. Usu consisted mainly of smectite. The allophane content of these tephras was low.

4) The volcanic ash soils in the Abashiri subprefecture were derived mainly from Ta-a, Me-a, Km-a, and Ma-f and these soils contained a high amount of allophane. The content of chlorite and kaoline minerals was small.

5) The soils derived from older tephras than several thousand years contained illite and chlorite as well as allophane.

6) The low content of 0.1 M HCl-extractable Cu was attributed more to noncrystalline materials than to humus after regression analyses.