

火山灰土壤のアルミニウムの性状第1報

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	加藤, 秀正 芳賀, 栄
巻/号	48巻9/10号
掲載ページ	p. 362-367
発行年月	1977年9月

火山灰土壌のアルミニウムの性状 (第1報)

塩化カリウム交換性アルミニウムについて

加藤 秀正*・芳賀 栄**

1. 序

土壌における活性アルミニウムの中には交換性アルミニウムと非交換性アルミニウムの両方が含まれ、交換性アルミニウムは、一般に中性の非緩衝溶液で浸出され、 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ として存在するとされている。非交換性アルミニウムは粘土粒子の表面に沈でんしたアルミニウムポリマー¹⁻³⁾や有機物と錯塩^{4,5)}を形成したアルミニウムなどを指し、1N 酢酸アンモニウム (pH 4.8) などの緩衝溶液が浸出に用いられている。しかしながら、これら交換性アルミニウムと非交換性アルミニウムの量は浸出に用いた試薬や条件によって異なり、したがって現在の時点では両者の間に一線を引くことはむずかしい。またこれらアルミニウムの性格づけと、それに基づく定量的考察に関する知見が意外に少ないのは、活性アルミニウムについて論ずる機会が多いにもかかわらず、土壌間での多少をきわめて定性的に論ずることに終始しているのも上述の理由に基づくものと考えられる。

1N 塩化カリウムを用いた連続浸出法により浸出されるアルミニウムは、交換性アルミニウムを示すと考えられる一定値に近づくとして^{6,7)}が、これについては若干の疑問も投げかけられている。

1N 酢酸アンモニウム (pH 4.8) による連続浸出によって浸出されるアルミニウムは、塩化カリウム浸出の場合に比べてはるかに一定値に近づきがなく、Al-phosphate および新たに沈でんした uncharged $\text{Al}(\text{OH})_3$ ⁸⁾も浸出されるとしており、土壌系に適用した場合には hydroxy-Al-polymer や有機物と錯塩を形成したアルミニウムをも除く^{1,9)}と推定されている。

PIONKE や COREY¹⁰⁾ は多数の酸性土壌を用い、塩化カリウム交換性アルミニウムや非交換性アルミニウム (pH 4.8, 1N 酢酸アンモニウム浸出アルミニウムと塩化カリウム交換性アルミニウムとの差) と、土壌 pH, 粘土含量などとの関係を統計的に論じ、交換性アルミニウムは何よりもまず土壌 pH と相関があり、非交換性の acidic Al は pH, 粘土および有機物含量と高い相関が

認められるとしている。

McLEAN ら⁹⁾ はオハイオ州の作土層について調べ、塩化カリウム浸出されるのは、本来の酸性のほんの一部だけに過ぎず、塩化カリウム交換酸性と pH-dependent 酸性のいずれも石灰添加で減少することを認めた。また pH が上昇するにつれて、粘土や他のコロイド系においては酸性 hydroxy-Al イオンは重合し、interlayer や表面被覆を形成することも考えられるとしている。

事実重合した hydroxy-Al は塩化カリウムで浸出されないから¹¹⁻¹⁴⁾ 酸度としての性格を有するが、交換されない酸性は hydroxy-Al に原因している⁹⁾と考えられる。

本報では腐植質火山灰土壌を対象にし、交換性アルミニウムの浸出に 1N 塩化カリウムを用いて土壌間の相異を比較検討するとともに、これらのアルミニウムの形態を論じた。

2. 塩化カリウム交換性水素およびアルミニウムの定量

1) 供試土壌

本研究では、男体山系の火山噴出物の影響を強く受けているとみられる栃木県内の中～南部の洪積地上の土壌、県北那須山系の火山灰土壌、東北地方の二、三の火山灰土壌および南関東の火山灰土壌を採取し供試した。これらの土壌の採取地および断面記載は第1表に示した。

2) 実験法

pH: ガラス電極法により測定した。

塩化カリウム交換性アルミニウムおよび水素: 25×250 mm カラムに風乾細土 20 g をつめ、1N 塩化カリウム溶液を用いて連続的に浸出した。流出速度は 15～20 秒に1滴の割合にした。

全酸度 ($\bar{H} + \bar{Al}$): YUAN の記載¹⁶⁾ に準じ、塩化カリウム浸出液の一定量を取り、煮沸して炭酸ガスを駆逐してから N/50 水酸化ナトリウム溶液で滴定して求めた。

交換性水素 (\bar{H}): YUAN の記載に準じ、塩化カリウム浸出液の一定量を取り、これに 4% 弗化ナトリウム溶液 10 ml を添加してから炭酸ガスを追い出し、N/50 水酸化ナトリウム溶液で滴定して求めた。

交換性アルミニウム (\bar{Al}): YUAN の記載に準じ、全酸度の滴定が終了後、この試料溶液に 4% 弗化ナトリウム

* 宇都宮大学農学部 (宇都宮市峰町 350)

** 宇都宮大学農学部 (現在、福島県いわき市公害対策センター いわき市小名浜大原字六反田 22)

昭和 51 年 9 月 4 日受理

日本土壌肥科学雑誌 第48巻 第9,10号 p.362～367(1977)

第1表 試料の採取地および断面記載

土壌名	採取地・地形	植生	土層	深さ cm	土色	構造	緊密度	備考
十文字	福島県白河市十文字 那須岳より東方約 30 km 上位砂礫台地 (Gt I) ¹⁵⁾	広葉樹林	1	0~15	7.5 YR 2/1	粗粒状	粗	
			2	15~31	7.5 YR 1.7/1	粗粒状	密	
			3	31~	7.5 YR 5/8	半角塊状	密	ローム層
追原	福島県西白河郡西郷村追原 那須岳より東方約 20 km 下位砂礫台地 (Gt+III) ¹⁵⁾	スギ ヒノキ	1	0~30	7.5 YR 2/2	粗粒状		
			2	30~50	7.5 YR 3/1	半角塊状		
			3	50~71	7.0 YR 1.7/1	角塊状		
			4	71~92	7.5 YR 3/1	角塊状		
			5	92~	7.5 YR 3/2	無構造		
川谷	福島県西白河郡西郷村川谷 那須岳より東方約 15 km 中位砂礫台地 (Gt II) ¹⁵⁾	スギ ササ	1	0~16	7.5 YR 2/2	粗粒状	中	軽石含む
			2	16~40	7.5 YR 2/1	粗粒状	中	軽石含む
			3	40~60	7.5 YR 2/1	粗粒状	中	軽石含む
			4	60~80	7.5 YR 2/1	粗粒状	中	軽石含む
			5	80~105	7.5 YR 2/2	粗粒状	中	軽石含む
			6	105~	7.5 YR 5/8	無構造	密	ローム層
府中	東京都府中市大沢東京天文台内 富士山より東方約 80 km 武蔵野段丘		1	0~35	7.5 YR 2/1	粗粒状	粗	
			2	35~53	7.5 YR 1.7/1		密	
			3	53~80	7.5 YR 2/2		密	
			4	80~100	7.5 YR 3/4		密	
			5	100~	5 YR 3/4		密	
明神	栃木県今市市大沢町明神 男体山より南東約 23 km 宝積寺段丘	ヒノキ アカマツ (人工林)	F	0~3	2.5 YR 2/2			マツ、スギの葉。マット状
			1	3~12	7.5 YR 2/1	粉状	粗	
			2	12~25	5 YR 1.7/1	粗粒状	密	
			3	25~37	7.5 YR 1.7/1	半角塊状	密	
			4	37~53	7.5 YR 1.7/1	半角塊状	密	軽石あり
			5	53~66	7.5 YR 1.7/1	半角塊状	密	軽石あり
6	66~84	10 YR 2/2	半角塊状	堅	軽石含む。この下は軽石層			
川渡			L	0~5				東北大学農学研究所山根研究室より提供
			1	5~12				
厨川	盛岡市厨川農林省東北農業試験場内 岩手山より南東約 20 km 火山丘陵		L	0~4				
			1	4~6	10 YR 2/1	粗粒状	粗	
			2	6~32	10 YR 2/1	半角塊状	密	
			3	32~50	10 YR 2/1	角塊状	密	
			4	50~80	7.5 YR 2/3	角塊状	密	
5	80~	7.5 YR 4/6	無構造	密	軽石含む			
東由利原	秋田県由利郡由利町東由利原 鳥海山より北東約 40 km 火山丘陵		F	0~5				マツ葉より成る
			1	5~9	5 YR 3/1~2/1	粗粒状		
			2	9~21	5 YR 3/1	果核状		
			3	21~32	7.5 YR 3/4	果核状		
			4	32~44	7.5 YR 3/2	半角塊状		
5	44~	7.5 YR 5/6	無構造					

△溶液 10 ml を加え、N/50 塩酸溶液で滴定して求めた。
全炭素：チューリン法により求めた。
CEC：SCHOLLENBERGER 法により測定した。置換性塩基は原子吸光度法により定量した。

3. 結果と論議

第1図には塩化カリウム交換性アルミニウムの浸出状

況を示した。これによるとアルミニウムの浸出量は浸出液の量が増すにつれて増大したが、土壌 20 g に対して 2 l の塩化カリウム溶液を使用すれば、交換浸出曲線の傾斜がゆるやかになったので、本研究では一応 2 l 使用することにした。IGUE や FUENTES¹⁷⁾ はコスタリカの酸性火山灰土壌から 1 N 塩化カリウムや 1 N 塩化アンモニウムで 15 回連続抽出したが、交換浸出曲線の傾斜は

第 2 表 試料の理化学性と置換酸度

	T-C %	pH		CEC me/100g	Al me/100g	H me/100g	置換性塩基 me/100g				塩基不飽和度 %	Al+H %		
		H ₂ O	KCl				Ca	Mg	K	Na				
東由利原	-1	9.71	5.2	3.9	38.8	14.97	1.90	1.54	2.86	1.27	0.40	84.4	43.5	
	-2	7.09	5.2	4.6	30.3	14.12	1.27	0.30	0.75	0.77	0.30	93.0	50.8	
	-3	4.28	5.4	4.5	24.6	13.58	1.54	0.00	0.31	0.33	0.26	96.3	61.5	
	-4	3.51	5.7	4.6	23.9	12.60	—	0.00	0.21	0.28	0.25	96.9	52.7	
	-5	1.66	5.6	4.5	14.0	9.77	—	—	0.26	0.32	0.26	94.0	69.8	
厨 川	-1	10.35	6.2	5.0	41.9	2.07	1.40	3.60	1.51	0.33	0.31	86.3	8.3	
	-2	7.85	6.2	5.2	33.7	0.34	1.15	3.18	1.31	0.15	0.32	85.3	4.4	
	-3	7.02	6.5	5.3	37.5	0.35	1.07	2.87	1.61	0.11	0.35	86.8	3.8	
	-4	3.89	6.3	5.9	23.8	—	0.73	1.85	0.92	0.15	0.36	86.2	3.1	
	-5	1.55	6.6	6.1	16.2	—	0.59	1.44	0.80	0.10	0.24	84.1	3.6	
川 渡	-1	14.37	5.1	4.0	64.3	25.93	0.70	0.64	0.85	0.69	0.41	96.0	41.4	
	追 原	-1	5.92	5.7	4.8	27.8	2.36	1.65	8.43	0.13	0.11	0.12	68.4	14.4
		-2	6.18	6.0	4.9	29.2	0.58	2.99	10.57	0.08	0.07	0.15	62.8	12.2
		-3	6.05	6.3	5.0	26.7	1.92	5.41	10.55	0.89	0.05	0.21	56.2	27.5
		-4	4.98	6.2	5.1	22.3	0.22	1.17	9.53	1.25	0.05	0.19	50.6	6.2
-5		0.38	6.2	5.2	9.5	0.15	0.90	3.57	0.72	0.06	0.11	53.1	11.0	
川 谷	-1	6.28	5.9	4.8	22.6	2.77	1.13	5.38	0.99	0.26	0.08	70.4	17.3	
	-2	5.99	6.2	4.8	18.4	0.80	3.31	2.19	0.23	0.12	0.08	85.8	22.3	
	-3	4.61	6.1	4.9	19.5	1.79	2.25	3.06	0.32	0.08	0.12	81.6	20.7	
	-4	4.40	6.2	5.3	13.3	0.51	0.88	1.99	0.23	0.06	0.11	82.0	10.5	
	-5	7.32	5.7	5.1	32.2	1.05	1.56	5.89	0.78	0.09	0.15	78.5	8.1	
	-6	0.34	6.1	5.2	16.1	0.18	1.12	5.75	1.63	0.10	0.17	52.5	8.1	
十 字 字	-1	9.05	5.0	4.3	31.3	10.52	1.36	0.14	0.22	0.18	0.15	97.8	38.0	
	-2	9.07	5.3	4.5	32.6	8.99	1.82	0.14	0.15	0.12	0.14	98.3	33.2	
	-3	0.78	5.8	5.5	12.8	0.06	0.98	2.43	0.32	0.10	0.14	76.6	8.1	
明 神	-1	18.40	4.8	4.2	55.3	18.26	1.39	0.07	0.14	0.30	0.22	98.7	35.5	
	-2	17.71	5.2	4.6	52.7	12.43	2.21	0.11	0.12	0.14	0.25	98.8	27.8	
	-3	18.11	5.5	4.7	45.5	13.70	0.66	0.06	0.12	0.14	0.26	98.7	31.6	
	-4	15.70	5.8	4.8	43.1	12.45	0.37	0.05	0.15	0.16	0.25	98.6	29.7	
	-5	9.72	5.6	5.2	32.8	2.47	1.64	0.04	0.10	0.10	0.23	98.6	12.5	
府 中	-1	10.79	5.8	4.7	31.1	1.41	1.53	7.71	1.49	0.12	0.15	69.6	9.5	
	-2	9.85	6.5	5.0	43.6	—	1.29	15.22	3.96	0.10	0.16	55.4	3.0	
	-3	7.34	6.5	5.2	33.0	—	1.18	12.82	3.37	0.20	0.20	49.7	3.6	
	-4	2.84	6.7	5.5	18.5	—	0.95	7.00	2.34	0.09	0.20	48.0	5.1	
	-5	1.21	6.9	5.7	19.1	—	0.88	5.26	2.34	0.08	0.21	58.7	4.6	

Al: KCl 交換性アルミニウム, H: KCl 交換性水素

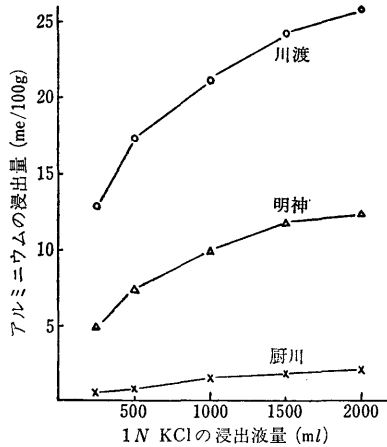
充分にゆるやかにはなっていないように思われる。

第 2 表には試料の理化学性と置換性カチオンの分析値を示した。一般に表層ほど pH が低く、交換酸度は大きい。本表では交換性水素と交換性アルミニウムの含量がほぼ全酸度の定量値に一致したので、全酸度の定量値は省いた。また交換酸度の大きい土壤では塩化カリウム交換酸度の大部分をアルミニウムイオンが占めている。CEC も概して表層ほど高い傾向を示している。

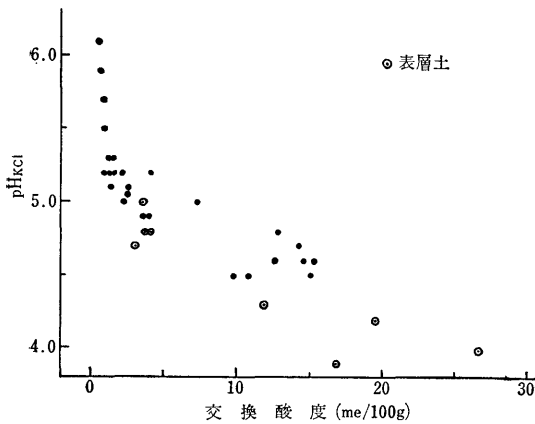
第 2 図には供試土壤の pH_{KCl} と交換酸度との関係を図示した。これによると交換酸度は pH_{KCl} が低くなる

につれて大きくなり、川渡土壤では 26.63 me にも達した。しかし pH_{KCl} が 5 以上ではきわめてわずかであった。

以上のように、本報では浸出速度を小さく、多量の浸出液を用いて連続浸出したが、交換酸度の浸出においては不飽和度と交換酸度 (%) の比較から明らかなように、全交換酸度を完全に求めることは不可能であると考えられる。また表層土、下層土を問わず、pH_{KCl} 5 以下で交換酸度が著しく増加し、しかもその大部分をアルミニウムが占めている。交換性アルミニウムの浸出に長時



第1図 1NKCl 交換性アルミニウムの浸出状況



第2図 供試土壌の pH_{KCl} と交換酸度との関係

間を必要とする理由の一つには、粘土表面の交換座を占めるようなアルミニウムの他に、有機物と錯塩を形成して存在するようなアルミニウムも、塩化カリウム交換性アルミニウムの中に含まれるためであろうと考えられる。

さてアルミニウムは酸性条件で種々の形態をとることが知られており、塩化カリウム交換性アルミニウムがいかなる形態のアルミニウムであるかを知ることはきわめて重要である。そこでアルミニウムの荷電数を求めるこ

第3表 交換酸度および交換性アルミニウムの荷電数

	全酸度	H̄	Al̄	オキシソーン-クロロホルム法 Almg/100g	Al̄ 荷電数
東由利原	14.38	2.15	12.23	110.41	2.99
厨川	3.50	1.56	1.94	17.42	3.00
川渡	24.79	1.36	23.43	215.00	2.94
川谷	4.09	1.09	3.00	26.24	3.08
十文字	12.09	1.59	10.50	94.06	3.01
霧降	16.55	1.70	14.85	134.25	2.98
明神	21.03	1.21	19.82	177.25	3.02

(全酸度, H̄, Al̄: me/100g)

注1 同一試料につき本表と第2表との H, Al 定量値が若干異なるのは、実験法 2-2) の記載に準じて行なった場合でも、同一量の浸出量につき、浸出速度が小さいほど H, Al 値は若干大きくなる。したがって測定ごとに定量値に多少の変動がある。

注2 霧降土壌の断面記載は藤沢・小池の研究を参照¹⁹⁾のこと。

とにした。第3表には表層土を供試し、交換性水素およびアルミニウムの当量数と、オキシソーン-クロロホルム法¹⁹⁾により求めたアルミニウムのミリグラム数を示し、この結果より塩化カリウム浸出液中のアルミニウムの荷電数を算出した。その結果塩化カリウム交換性アルミニウムの荷電数は 2.94~3.08 となり、ほぼ3価となることから、見掛け上アルミニウムの形態は Al(H₂O)₆³⁺ であると考えることができる。

4. 塩化カリウム交換性アルミニウムの中和機構

1) 供試土壌

栃木県今市市大沢町木村幸太郎氏所有の畑地より、開拓7年、17年および24年畑土壌の作土を採取して供試した。また近接する未耕地1点を対照として採取し供試した。なお本土壌は前項で述べた明神土壌に類似した土壌群であり、第4表にこれらの土壌の理化学的性質を示した。

2) 実験法

未耕地土壌（風乾細土）100g に炭酸カルシウム（全酸度の約 1/3 から CEC の約 3.5 倍量に相当）を添加してよく混和し、給水用のガラス管をビーカーの真中に

第4表 大沢開拓土壌の一般理化学性と交換性アルミニウム

	pH		T-C %	T-N %	C/N	CEC me/100g	置換性塩基 me/100g				塩基飽和度 %	KCl交換性Al me/100g	1N NH ₄ OAc 可溶Al mg/100g
	H ₂ O	KCl					Ca	Mg	K	Na			
未耕地	4.60	4.32	18.2	0.95	19.2	42.3	0.11	0.21	0.22	0.34	2.0	18.66	2040
7年畑	5.66	4.52	18.2	0.87	20.9	39.7	4.89	0.48	0.39	0.99	17.0	8.10	1938
17年畑	6.51	5.43	16.5	0.93	17.7	42.8	19.67	0.76	0.44	0.21	49.2	0.16	1529
24年畑	6.32	5.21	15.5	0.83	18.7	46.9	20.88	0.61	0.15	0.16	46.5	0.00	1095

第 5 表 炭カル添加による交換酸度の変化

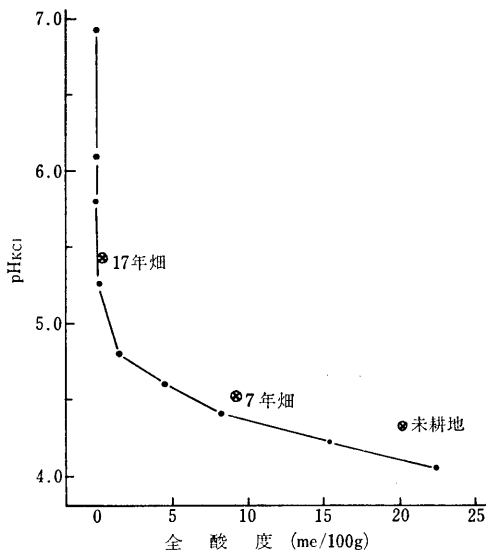
	pH		\bar{H}	$\bar{A}i$	全酸 度	オキシソ クロホル ム法 Al mg/100g	Al 荷電 数	
	H ₂ O	KCl						
未耕地	4.60	4.32	1.18	18.66	20.32	167.09	3.0	
17年畑	6.51	5.43	0.69	0.16	0.38	1.33	3.2	
炭カル 添加 区	0me	4.03	4.05	1.23	20.54	22.36	184.63	3.0
	7me	4.41	4.22	0.80	14.15	15.42	127.39	3.0
	14me	4.73	4.40	0.38	7.22	8.11	72.21	2.7
	21me	5.00	4.60	0.46	3.92	4.44	35.26	3.0
	28me	5.17	4.80	0.32	0.90	1.40	8.17	3.0
	46me	5.60	5.26	0.12	0.00	0.18	0.00	—
	69me	6.10	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	—
92me	6.55	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	—	
147me	7.17	6.93	0.00	0.00	0.00	0.00	—	

全酸度, \bar{H} , $\bar{A}i$: me/100g

立て、ピーカー内の土壤は最大容水量の 50% 相当の水分に保ち、30°C で 1 年間インキュベートした。1 年後にこれを取り出して風乾し、前述の記載に従い、塩化カリウム交換酸度、pH ならびにオキシソクロホルム法によりアルミニウムの定量を行なった。

3) 実験結果と論議

第 5 表には炭カル添加による塩化カリウム交換酸度および pH の変化を示した。これによると、塩化カリウム交換酸度は炭カル添加量が増えるにつれて著しく減少し、ほぼ CEC 相当量の炭カル添加区で、塩化カリウム交換酸度が消失した。交換酸度相当の炭カル添加区ではもとの酸度の約 5 分の 1 に減少した。さらにこの塩化カリウム交換性アルミニウムの荷電数はほぼ 3 を示すことから、本実験区における pH_{KCl} が 4.05~4.80 の間では、少

第 3 図 炭カル添加区の pH_{KCl} と全酸度の関係

なくとも見掛け上 3 価のアルミニウムが交換座を占めていると判断される。

第 3 図には全酸度と pH_{KCl} との関係を示した。 pH_{KCl} -全酸度の関係は基本的には第 2 図に示したものと一致するものであり、未耕地、畑土壤あるいはモデル実験区試料の如何を問わず、きわめて密接な関係をうかがわせる。さらに本研究結果からすると、火山灰土壤では耕作の有無を問わず、 pH_{KCl} 5 前後で塩化カリウム交換酸度が消失することから、塩化カリウム交換酸度は石灰中和の対象となるべき本来の酸性のほんの一部分を占めるに過ぎないとする McLEAN ら⁹⁾ の見解を支持するものである。

5. 要 約

噴出源を異にする種々の火山灰土壤を供試し、交換性アルミニウムの定量法を確立し、合わせてその形態と中和機構について論じた。結果は次のとおりである。

1) 塩化カリウム交換性アルミニウムの浸出に際しては交換平衡を得ることは困難であるが、本研究で採用したカラムによる連続浸出法では、浸出スピードを小さく、しかも浸出液を多量に使用することによって一応満足すべき交換条件を得ることができる。

2) 本研究に供試した火山灰土壤については、表層土、下層土を問わず、 pH_{KCl} 5 以下で交換酸度は著しく増大し、しかもその大部分を 3 価のアルミニウムが占めていた。

3) モデル実験から、炭カル添加による火山灰土壤の塩化カリウム交換酸度の中和過程をみると、交換酸度相当の施用ではほぼ 5 分の 1 に減少し、CEC 相当の炭カル施用で交換酸度はほぼ完全に消失した。

4) 畑土壤、未耕地土壤および炭カル添加モデル実験区のいずれにおいても、塩化カリウム交換酸度の消失は pH_{KCl} 5 前後でみとめられることから、塩化カリウム交換酸度は火山灰土壤における石灰中和の対象となるべき本来の酸性の一部分を占めているに過ぎないと考えられる。

謝 辞 本研究をすすめるにあたり、有益な助言と指導を与えられた藤沢徹教授に感謝いたします。また試料の採取にご協力下さいました前東北農試技官赤塚恵博士および今市市大沢町木村幸太郎氏に謝意を表します。

文 献

- JACKSON, M. L. : Aluminium Bonding in Soils: A Unifying Principle in Soil Science. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27, 1~10 (1963)
- RAGLAND, J. L. and COLEMAN, N. T. : The Hydrolysis of Aluminium Salts in Clay and Soil Systems. *ibid.*, 24, 457~460 (1960)

- 3) SCHWERTMAN, U. and JACKSON, M. L. : Hydrogen-Aluminium Clay : A Third Buffer Range Appearing in Potentiometric Titration. *Science*, 139, 1052~1054 (1963)
- 4) McLEAN, E. O., REICOSKY, D. C. and LAKSHMANAN, C. : Aluminium in Soils : 7. Interrelationships of Organic Matter, Liming, and Extractable Aluminium with "Permanent Charge" (KCl) and pH-Dependent Cation Exchange Capacity of Surface Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29, 374~378 (1965)
- 5) SCHNITZER, M. and SKINNER, S. I. M. : Organo-Metallic Interactions in Soils : 3. Properties of Iron and Aluminium Organic Matter Complexes Prepared in the Laboratory and Extracted from a Soil. *Soil Sci.*, 98, 197~204 (1964)
- 6) BHUMBLA, D. R. and McLEAN, E. O. : Aluminium in Soils : 6. Changes in pH-Dependent Acidity, Cation-Exchange Capacity, and Extractable Aluminium with Additions of Lime to Acid Surface Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29, 370~374 (1965)
- 7) LIN, C. and COLEMAN, N. T. : The Measurement of Exchangeable Aluminium in Soils and Clays. *ibid.*, 24, 444~446 (1960)
- 8) PRATT, P. F. and BLAIR, F. L. : A Comparison of Three Reagents for the Extraction of Aluminium from Soils. *Soil Sci.*, 91, 357~360 (1961)
- 9) McLEAN, E. O., HOURIGAN, W. R., SHOEMAKER, H. E. and BHUMBLA, D. R. : Aluminium in Soils : 5. Form of Aluminium as a Cause of Soil Acidity and a Complication in its Measurement. *Soil Sci.*, 97, 119~126 (1964)
- 10) PIONKE, H. B. and COREY, R. B. : Relations between Acidic Aluminium and Soil pH, Clay, and Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31, 749~752 (1967)
- 11) Hsu, P. H. and RICH, C. I. : Aluminium Fixation in a Synthetic Cation Exchanger. *ibid.*, 24, 21~25 (1960)
- 12) RICH, C. I. : Aluminium Interlayers of Vermiculite. *ibid.*, 24, 26~32 (1960)
- 13) SCHWERTMANN, U. and JACKSON, M. L. : Influence of Hydroxy Aluminium Ions on pH Titration Curves of Hydroniumaluminium Clay. *ibid.*, 28, 179~182 (1964)
- 14) SHEN, M. J. and RICH, C. I. : Aluminium Fixation in Montmorillonite. *ibid.*, 26, 33~36 (1962)
- 15) 経済企画庁：土壌分類基本調査（白河）1959
- 16) YUAN, T. L. : Determination of Exchangeable Hydrogen in Soils by a Titration Method. *Soil Sci.*, 88, 164~167 (1959)
- 17) IGUE, K. and FUENTES, R. : Characterization of Aluminium in Volcanic Ash Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 292~296 (1972)
- 18) 藤沢 徹・小池美津子：噴出源からの距離に伴う火山灰土壌の性状変化，宇都宮大学農学部学術報告，8，第3号，119~128 (1973)
- 19) 分析化学実験増補：日本分析化学会北海道支部編，p. 306，化学同人（1965）