

酸性降下物に対する都内土壌中和能に関する研究(1)

広瀬 光保* 早福 正孝 古明地 哲人
(* 非常勤研究員)

要 旨

酸性降下物の土壌への影響を評価する指標の一つに酸中和能ANC (Acid Neutralizing Capacity)がある。酸中和能とは主に酸性降下物中の水素イオンがどれだけ土壌によって消費されるかをmeq/100 g (ミリ当量) で表したものである。

本調査研究では、簡易測定法Rapid-ANC (酢酸-酢酸アンモニウム緩衝液 (pH 4.7) によって測定される (ANC) c、硫酸カリウム溶液 (塩酸でpH 4.7に調節したもの) によって測定される (ANC) aにわけて測定する) を用いて都内の代表的な土壌である黒ボク土や褐色森林土などについて 酸中和能を測定した。

その結果より、都内土壌の酸中和能は、表層部分 (0 ~ 5 cm) では 3.35 ~ 28.95 meq/100 g となった。その中で風化火山礫土未熟土の表層部分を例に挙げると、酸中和能 3.8 meq/100 g であり、pH 4.0 の酸性雨が降っていると仮定すると、約 19 年分を中和できる容量であると試算された。

キーワード：酸性降下物、酸中和能、褐色森林土、アルミニウム、クリティカル ロード (臨界負荷量)

Investigation of Acid Neutralizing Capacity of Soil of Tokyo in the Acid Deposition (1)

Mitsuho Hirose*, Masataka Soufuku and Tetsuhito Komeiji

* Associate Researcher

Summary

ANC (Acid Neutralizing Capacity) is one of indices which evaluate the influence of acid deposition on the soil. ANC is defined as "the amount of H⁺ being consumed by 100 g of soil (meq/100 g)".

In this research, we measure ANC of Ando Soils, Brown Forest Soils, etc., which are typical soils of Tokyo Metropolitan area by using a simple method ((ANC)c is determined by treating the soil with acetic acid-ammonium acetate buffer solution (pH 4.7) and (ANC)a is determined by treating the soil with potassium sulfate solution of which pH being adjusted to 4.7 using hydrochloric acid).

As a result, ANC of the soil of Tokyo Metropolitan in surface part (0-5cm) was from 3.35 to 28.95 meq/100 g. For example, ANC of the surface soil of Volcanogeneous Regosols was 3.8 meq/100 g, that will be able to neutralize acid rain with pH 4.0 of about 19 years.

Keywords : acid deposition, ANC (Acid Neutralizing Capacity), Brown Forest Soils, aluminium, critical loads

1 はじめに

酸性雨と土壤酸性化の問題は、1983年に環境庁、日本土壤肥料学会によって作成された「酸性雨の土壤への影響予察図」¹⁾、また1989年より行われた第一次酸性雨対策調査結果のなかで示された土壤の交換性カルシウムと交換性マグネシウムの和 (meq/100g) を指標とする酸性雨に対する土壤の耐性評価によりクローズアップされた。酸性雨問題を自国だけの問題としてではなく国境を越える問題として認識している欧州では、酸性雨に対する環境基準に準ずるようなものとしてレセプター側 (土



図1 採取場所

壤) を主に考慮したクリティカルロード (臨界負荷量) が決められている²⁾。また最近では「アジア地域における酸性雨による酸性物質の負荷に対する感受性マップ」³⁾や「アジア地域のクリティカルロード」⁴⁾も得られ、アジア地域においても酸性雨と土壤酸性化問題の重要性が増してきた。

そこで本調査研究では生態系に影響を与え、かつ土壤の悪化の原因の一つとなる土壤酸性化を間接的に評価する方法である酸中和能 (土壤の耐酸性化を評価する) に的を絞り、まず東京都内において最も代表的な土壤である黒ボク土壤、褐色森林土壤を用いて酸中和能を測定し、その結果から将来を予測することを目的としている。ここでは、現在の状態を中心に報告する。

2 調査方法

(1) 調査地点の選定・概要

国土庁発行の土地分類図⁵⁾⁶⁾を参考にして、東京都内 (一部山梨県) の代表的な土壤 (表1) である黒ボク土、

表1 東京都の主な土壤

土壤群	土壤統群	備考
未熟土	風化火山抛出品未熟土壤	狭山丘陵に分布する浸食等で表層の欠如した土壤
黒ボク土	黒ボク土壤 淡色黒ボク土壤	台地・丘陵地に分布する黒ボク層30cm内外の土壤 浸食を受け、表層が薄くなり腐食含量5%内外になっている土壤
褐色森林土	乾性褐色森林土壤 褐色森林土壤	山地・丘陵地尾根部の土壤 山地・丘陵地斜面及び台地 (秋留台) の土壤
ポドゾル	乾性ポドゾル化土壤	標高1,800m以上の山地頂部に分布するポドゾル化土壤

表2 試料採取場所の概要

土壤型	場所	地形	標高	卓越樹木	年平均降水量
黒ボク土 Ando Soils Haplic Andosols	三鷹市 国際基督教大学(ICU)	緩斜面	60m	コナラ	武蔵野 1211.4mm
褐色森林土 堆積岩起源 Brown Forest Soils Humic Cambisols	青梅市 七国峠	斜面 (勾配約30°)	226m	クヌギ・コナラ	福生 1329.3mm
褐色森林土 堆積岩起源 Brown Forest Soils Humic Cambisols	奥多摩町 風張A(桧原都民の森そば) 奥多摩町 風張B(桧原都民の森そば)	平坦地 平坦地	1080m	コナラ コナラ・ブナ	桧原 1242.9mm
褐色森林土 花崗岩起源 Brown Forest Soils Humic Cambisols	山梨県 塩山市 一之瀬(一之瀬A) 山梨県 塩山市 一之瀬(一之瀬B)	斜面 (勾配約30°) 斜面 (勾配約30°)	1400m	ブナ・シラカバ ブナ・シラカバ	一之瀬 1298.2mm
風化火山抛出品未熟土 Volcanogeneous Regosols Andic Rhegosols	東大和市 多摩湖休憩所	緩斜面	120m	サクラ・アカマツ	福生 1329.3mm

イタリック体はFAO/UNESCO世界土壤図のSoil Units(1968)

年平均降水量 : 一之瀬は1994年度から1996年度までの平均、そのほかは1991年度から1996年度までの平均。

褐色森林土および風化火山抛出力未熟土が分布する7地点を調査地点として選定した。調査地点を図1、その概要を表2⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾に示す。

ア. 黒ボク土

採取地点は三鷹市にある国際基督教大学 (ICU) 構内の、コナラ林の緩斜面である。土壌の母材は武蔵野ローム層以上 (関東ローム層を、主に厚さ、堆積時代によって分類した呼び方で、古い順に、多摩ローム層、下末吉ローム層、武蔵野ローム層、立川ローム層下部層、立川ローム層上部層 (青柳ローム層) となっている) の火山灰であった。層位の分化は明瞭ではなく土色は黒褐色5YR2/1^{11),12)}であった。

イ. 褐色森林土

採取地点はコナラ林である青梅市の七国峠付近の丘陵地斜面、奥多摩町の桧原都民の森付近 (台地の上部と少し下ったところの2か所)、またブナ林 (東京都の水源林) である山梨県塩山市一之瀬の斜面 (丘陵地の上部と少し下ったところの2か所) である。

①青梅市 七国峠付近 褐色森林土 堆積岩起源

表層約5cmには落葉や細根の多いA₀層が見られ、~20cmには腐植を含む暗褐色10YR3/4のA層、それ以下は褐色10YR4.5/6のB層が見られた。

②奥多摩町 桧原都民の森付近 褐色森林土 堆積岩起源

風張Aの方がやや腐植が多いことを除けば2か所 (風張A、風張B) とともに大きな違いはなく、表層~20cmにかけては落葉の多いA₀層、腐植に富む黒褐色7.5YR3/3のA層が見られ、~35cmには腐植の少ない灰黄褐色10YR4/2のB層が見られた。

③山梨県 塩山市 一之瀬 褐色森林土 深成岩

(花崗岩) 起源

一之瀬Aの~15cmは表層に小細根の多いA₀層、腐植を含む暗褐色7.5YR3/3のA層が見られ、~35cmは褐色10YR4/4のB層であった。一之瀬Bではあまり腐植は見られず、~5cm暗褐色10YR3/3、~10cm灰黄褐色10YR4/3、~20cmは褐色10YR4/4であった。特に地点Bでは深くなるにつれ雲母が多く見られた。

ウ. 風化火山抛出力未熟土

採取地点は東大和市のサクラ・アカマツ林内の平坦地である。土壌の母材は多摩ローム層以上の火山灰であった。表層には落葉が多いA₀層がみられ、~25cmは暗褐色~7.5YR3.5/4、~40cmでは暗褐色7.5YR3/4であった。

(2) 土壌採取法¹³⁾

土壌層位が人為的に攪乱されていないと思われる場所を選び、まず地表の落葉や植物の細根を取り除き土壌表面を露出させた。次にこの面を0cmとし、0~5cmはスコップで5~35cmは図2に示すような土壌採取器aにより35cm以深は土壌採取器bにより土壌を採取した。土壌採取器aは開閉式の窓を開いて、また、土壌採取器bはくりぬき窓から土壌の様子を観察し記録した。湿潤土壌

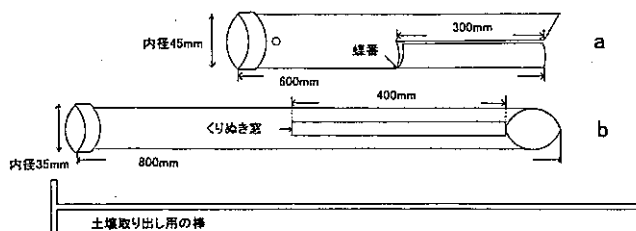


図2 土壌採取器

を粗砕・混合を繰り返しながら直射日光を避けて風乾し、2mm目の篩を通過させてレキや植物の根などを除去した。これを分析試料として以下の項目を測定した。

(3) 分析方法

ア. pH (H₂O懸濁)、pH (KCℓ)¹⁴⁾

風乾土壌 10gに25mlの純水あるいは1N塩化カリウム溶液を加え、かきまぜるか振とうして30分以上放置する。測定前軽くかき混ぜて懸濁状態としpH (ガラス電極法、TOA HM-30S) を測定した。

イ. pH (H₂O)、電気伝導度及び水溶性陽イオン・水溶性陰イオン¹⁵⁾¹⁶⁾

風乾土壌：水=1：2.5で抽出し、遠心分離 (2000-3000G、30分間) 後、0.45μmのメンブランフィルターでろ過したものを試料溶液とし、pH、電気伝導度 (TOA CM-40S) を測定し、また、水溶性陽イオン (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) ・水溶性陰イオン (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) をイオンクロマトグラフ法 (DIONEX500) によって以下の条件で定量した。

	移動相	カラム	流速
陽イオン	16mMメタンスルホン酸	CG-12, CS-12	1.0ml/min
陰イオン	2.7mM炭酸ナトリウム 0.3mM炭酸水素ナトリウム	AG-12, AS-12	1.3ml/min

ウ. ANC¹⁷⁾

土壌のANCには表3に示すように様々な反応が関与

する。その内、土壌中の交換性塩基と炭酸塩に基づく中和能 (ANC)c (表 3 の I および II) と降水中の SO_4^{2-} の土壌吸着に基づく中和能 (ANC)a を測定した。ANC は (ANC)c (表 3 の III) と (ANC)a の和として求めた。

表 3 土壌の酸中和能 (非生物的反応)

I	炭酸塩・重炭酸塩による中和
II	交換性塩基 ($\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$) による中和
III	二次鉱物による中和 (主として SO_4^{2-} の吸着)
IV	岩石および造岩鉱物の風化に伴う塩基の放出

表 4 ANC (酸中和能) 簡易測定法

ANC = (ANC)c + (ANC)a	
(ANC)c	
風乾土壌 (< 2mm) 1g	
← 0.5mol/l 酢酸-酢酸アンモニウム溶液 (pH4.7) 50 ml	
← 又は水 50 ml (空試験)	
24 時間かき混ぜ (マグネチックスターラー)	
遠心分離 (2000-3000G, 30 分間)	
ろ過 (0.45 μm メンブランフィルター)	
測定 ($\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$) 原子吸光法	
(ANC)a	
風乾土壌 (< 2mm) 1g	
← $1.56 \times 10^3 \text{ mol/l}$ 硫酸カリウム溶液 50 ml	
← 又は水 50 ml (空試験)	
pH4.7 に調整	
24 時間かき混ぜ (マグネチックスターラー)	
遠心分離 (2000-3000G, 30 分間)	
ろ過 (0.45 μm メンブランフィルター)	
測定 (SO_4^{2-}) イオンクロマト法	

① (ANC)c

表 4 で示すように 0.5M 酢酸-酢酸アンモニウム緩衝液 (pH4.7) で 24 時間抽出し、原子吸光法 (バリアン SpectrAA-800) により濾液中の $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$ を定量した。試料は検量線の濃度範囲を考慮して適宜希釈した。標準液は試料液に含まれる酢酸-酢酸アンモニウムと同じ濃度になるように酢酸及び酢酸アンモニウムを加えてからそれぞれの標準原液を加えて作成した。また、緩衝液のかわりに水を用いて求めた水可溶性の Na^+ ,

$\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$ を先の定量値からそれぞれ差し引いた。各イオンについて土壌 100 g あたりの meq で結果を表示し、それらの総和を (ANC)c とした。

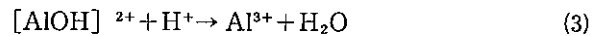
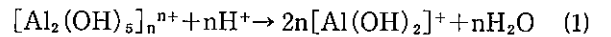
② (ANC)a

表 4 で示すように $1.56 \times 10^{-3} \text{ M}$ 硫酸カリウム溶液 (pH4.7) で 24 時間抽出した。実験前後の SO_4^{2-} 濃度をイオンクロマトグラフ法により定量した。その差を SO_4^{2-} 吸着量とし、土壌 100 g あたりの meq (ミリ当量) で表示して (ANC)a とした。

エ. アルミニウム¹⁾²⁴⁾¹⁸⁾¹⁹⁾

土壌中のアルミニウムは様々な形態で存在している。まず、交換性アルミニウムは土壌粒子の表面に置換態として保持され、通常塩基飽和度が低く、土壌 pH が低い場合に多い。すなわち土壌中の交換性水素がある程度以上に増加すると、強い酸性のために土壌中の粘土鉱物は破壊され、粘度鉱物結晶の一部から溶解したアルミニウムイオンを生じ、さらに、このアルミニウムイオンの一部は交換性アルミニウムとして再び粘土鉱物表面にとどまる。また、一部は加水分解して水素イオンを生成する。

さらに水素イオンが増加すると、土壌中のアルミニウム水和酸化物からアルミニウムイオンが溶解、溶脱される。pH5.4 以下で、アルミニウムは式(1)~(3)のように重合塩基性アルミニウムイオンからアルミニウム (モノマー) イオンを生成することになる。



pKa からみると Al^{3+} は酢酸程度の強さを持つ酸であり pH4 以下で存在する。硬質酸性土壌では塩基不飽和の場合交換性アルミニウムは急激に増大するが、火山灰土壌の場合は塩基不飽和であっても交換性アルミニウムは低い値を示す。塩化カリウム抽出でほぼ全量抽出可能だが、イオン態アルミニウムや粘土末端や有機物に結合しているアルミニウムの分別は不可能である。

次に非晶質 (可溶性) アルミニウムは土壌粒子の構造性のアルミニウムでアロフェン [$1.3 \sim 2.0 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.5 \sim 3 \text{ H}_2\text{O}$]¹²⁾ を主体鉱物とする火山灰土壌で著しく高い値を示すが、モンモリロナイト [$\text{Na}_{0.33}\text{Al}_{2.33}\text{Si}_{3.67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]²⁰⁾、カオリナイト [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$]²¹⁾ などを主体粘土鉱物とする土壌では低い値を示す。そのほかには遊離酸化鉄を除去する処理に際し、溶出するア

ルミニウムを指す遊離酸化アルミニウムがある。

これらのアルミニウムを浸出させるためには塩化カリウム、酢酸アンモニウムなどの溶液があるが、本調査研究では(ANC)cを測定するために使用した酢酸-酢酸アンモニウム(pH4.7)抽出液を用いてアルミニウムを定量した。酢酸-酢酸アンモニウム(pH4.7)抽出液では交換性アルミニウム以外に非晶質アルミニウム等も抽出されてしまうという欠点もあるが、土壌に対して多量の溶液を用いることで十分量の抽出ができること、及びYuanの方法等塩化カリウム溶液による複数回抽出に比べると操作が簡単であるため採用した。アルミニウムの抽出量は抽出時間が増えるに従って増加する傾向があるが、(ANC)cと同様24時間抽出とした。(ANC)cの陽イオンと同様に原子吸光法により定量した。

3 調査結果及び考察

①試料採取地点別土壌表層部分(0~5cm)26地点お

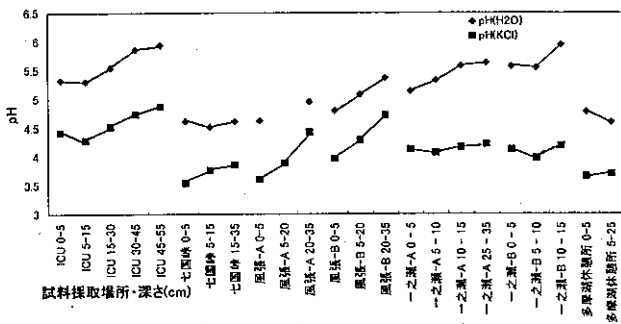


図3 試料採取地点及び深さ別pH(H₂O懸濁)及びpH(KCl)

よび、②試料採取場所・深さ別(深さは図を参照のこと)7か所、23地点に分けて述べる。

(1) pH(H₂O懸濁)、pH(KCl)

試料採取場所・深さ別の結果は表5及び図3のとおりである。一般にpH(H₂O懸濁) > pH(KCl)の傾向があり¹⁴⁾、本調査研究でも同様の結果となっている。図3を見ると、風張ではpH(H₂O懸濁)とpH(KCl)が近接している。塩基流出によるpH(H₂O懸濁)の低下が推測される。

(2) ANC

本調査研究で行った土壌の表層部分26か所のANC [(ANC)cと(ANC)aの和]は3.35~28.95meq/100gであった。表層部分のANCをその大きさから小(<5 meq/100g)、中(<5~12meq/100g)、大(>12

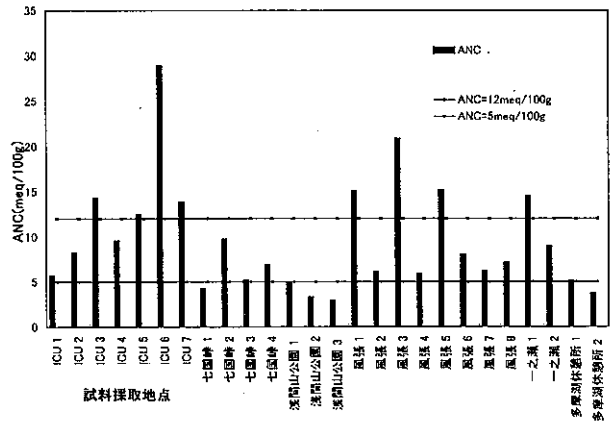


図4 土壌表層部分におけるANC

表5 試料採取場所、深さ別pH、電気伝導度、酸中和能ANC及び交換性アルミニウム

試料採取場所及び深さ(cm)	pH	電気伝導度	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Ex-Ca	Ex-Mg	Ex-Na	Ex-K	(ANC)c	(ANC)a	ANC	Ex-Al
ICU 0-5	5.30	154.6	5.33	4.42	19.08	8.05	0.35	0.46	27.95	1.00	27.95	22.86
ICU 5-15	5.21	84.3	5.31	4.29	8.08	7.38	0.41	0.25	16.13	1.46	17.59	35.25
ICU 15-30	5.38	66.5	5.55	4.52	7.93	6.26	0.29	0.13	14.62	1.95	16.57	40.60
ICU 30-45	5.43	71.9	5.86	4.74	11.99	6.72	0.21	0.13	19.05	2.01	21.06	32.89
ICU 45-55	5.60	56.9	5.94	4.87	12.39	4.82	0.12	0.08	17.42	2.15	19.57	34.25
七国峠 0-5	4.67	108.9	4.62	3.54	2.72	1.16	0.53	0.42	4.84	0.45	5.29	13.86
七国峠 5-15	4.66	52.7	4.52	3.77	0.52	0.65	1.02	0.41	2.60	0.31	2.91	14.25
七国峠 15-35	4.75	43.20	4.62	3.86	0.34	0.73	0.81	0.31	2.18	1.27	3.45	13.80
風張-A 0-5	4.84	153.90	4.63	3.61	10.55	3.03	0.05	0.80	14.42	0.63	15.05	18.63
風張-A 5-20	4.74	110.00	-	3.89	2.11	0.91	0.02	0.55	3.58	1.35	4.93	50.93
風張-A 20-35	4.91	57.20	4.96	4.43	0.20	0.24	0.01	0.26	0.70	1.78	2.48	60.49
風張-B 0-5	4.81	194.70	4.80	3.97	4.28	1.39	0.03	0.55	6.25	1.79	8.04	37.99
風張-B 5-20	5.08	60.00	5.08	4.29	0.71	0.34	0.03	0.25	1.33	2.14	3.47	61.48
風張-B 20-35	5.37	29.60	5.37	4.72	0.32	0.51	0.06	0.11	1.01	0.00	1.01	55.00
一之瀬-A 0-5	5.31	142.9	5.14	4.13	11.05	1.96	0.87	0.63	14.52	0.00	14.52	21.44
一之瀬-A 5-10	5.25	76.8	5.33	4.07	6.42	1.36	0.84	0.30	8.92	0.02	8.92	23.39
一之瀬-A 10-15	5.42	40.9	5.58	4.16	5.00	1.07	0.77	0.21	7.05	0.00	7.05	30.82
一之瀬-A 25-35	5.41	30.3	5.63	4.22	2.55	0.48	0.43	0.12	3.58	0.00	3.58	29.61
一之瀬-B 0-5	5.62	38.2	5.57	4.13	5.85	1.21	1.24	0.71	9.01	0.00	9.01	9.01
一之瀬-B 5-10	5.50	20.4	5.55	3.98	3.60	0.67	1.31	0.47	6.04	0.00	6.04	12.15
一之瀬-B 10-15	5.77	10.8	5.95	4.19	3.67	1.31	0.95	0.31	6.24	0.00	6.24	8.19
多摩湖休憩所 0-5	4.75	50.7	4.78	3.66	1.51	0.55	0.15	0.65	2.86	0.94	3.80	16.01
多摩湖休憩所 5-25	4.59	57.1	4.60	3.70	0.51	0.67	0.28	0.23	1.70	0.10	1.80	29.92

電気伝導度の単位はμS、イオン類及びANCの単位はmeq/100g
風張-A 5-20のpH(H₂O懸濁)は未測定

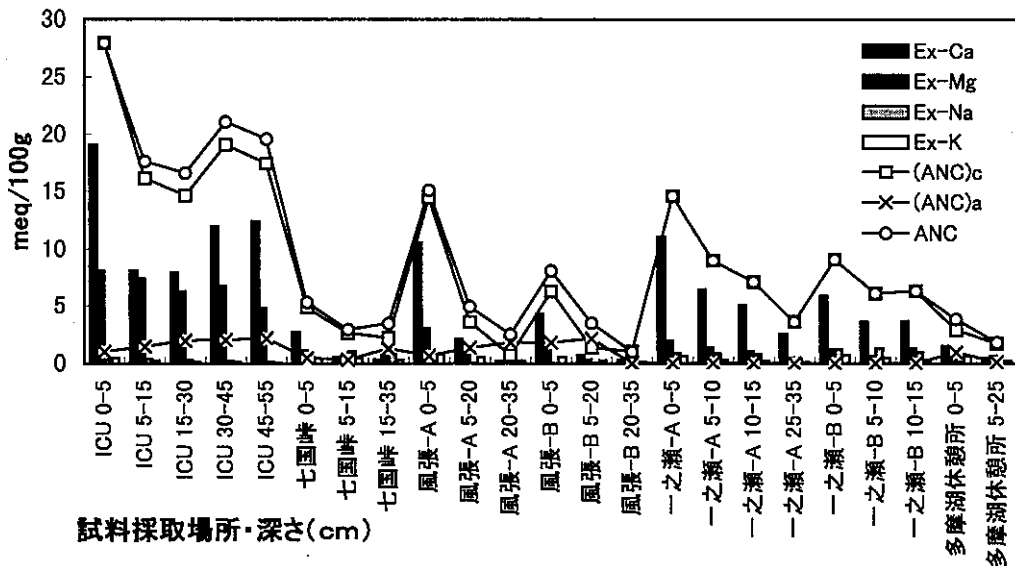


図5 酸中和能ANC (Acid Neutralizing Capacity)

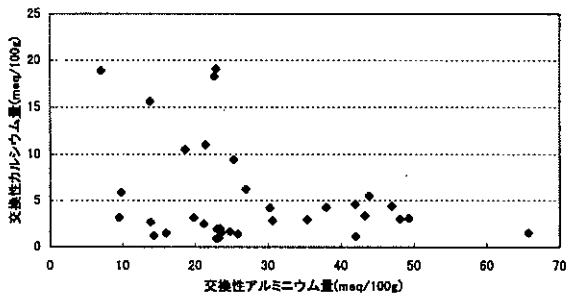


図6 土壌表層部分における交換性カルシウム—交換性アルミニウム

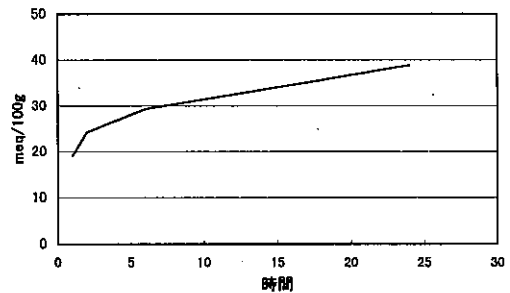


図7 酢酸—酢酸アンモニウム抽出によるアルミニウム量の時間変化

meq/100 g) に分けてみると図4のようになる²²⁾。表層部分では採取場所別(土壌の種類別)による特徴は見られなかった。

図5に、採取場所・深さ別の結果を示す。ANCの分布を見ると、深度約30cmまでは表層で高く下層で低いというパターンになっている。特に黒ボク土や堆積岩起源の褐色森林土で顕著である。その多くは(ANC)cのうち特にカルシウムイオンに関係していることが分かる。このことは、交換性カルシウムと交換性アルミニウムの関係図(図6)においてカルシウムが減少するにつれアルミニウムが増加することからも見られる。一方(ANC)aは非晶質鉱物を多く含む黒ボク土で大きくなるものと考えられた¹⁴⁾。腐植の影響を受けない下層にいくに従い若干の増加は認められたが文献¹³⁾に示されているほどの大幅な増加は認められなかった。また、火山灰の影響を受けていると思われる都内の堆積岩起源の褐色森林土の

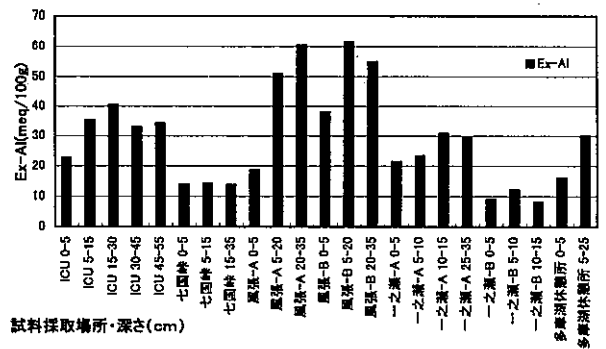


図8 試料採取場所・深さ別 交換性アルミニウム

(ANC)aでは黒ボク土と同様の結果であった。一之瀬の花崗岩起源の褐色森林土では(ANC)aの寄与、すなわち SO_4^{2-} の吸着は全く認められず(ANC)c = (ANC)となった。

(3) アルミニウム

図7に示すように(ANC)cと異なり24時間抽出におい

でも全ての交換性アルミニウムを定量してはいない²³⁾。しかし、抽出時間を一定とすることで相対的な比較は可能である。図8に示すように、土壌のタイプによる大小の差はあるが、塩基不飽和になる下層にいくに従ってアルミニウムが増加する傾向が見られる。交換性アルミニウムを多く含むといわれる褐色森林土であり、さらに火山灰の影響をも受けている都内の堆積岩起源の褐色森林土から、より多くのアルミニウムが抽出されているのは妥当であると考えられる。

(4) 土壌酸性化の現状

以上のことから、今回調査した3種の土壌についてアルミニウム量及び酸中和能の面から考察する。

ア. 黒ボク土 (国際基督教大学) は、アルミニウムの値がやや高めであるが、これは文献¹⁴⁾にもあるように、土壌の酸性化に影響しないアルミニウム (非晶質アルミニウム) であり、酸中和能も大に分類されるので現状では酸性化の心配はないと思われる。今回の結果では黒ボク土の酸中和量に寄与すると言われている SO_4^{2-} 吸着が少ないので、その分の酸中和能 (ANC) aは期待できない。他の場所で採取された黒ボク土との比較も必要であろう。

イ. 風化火山抛棄物未熟土 (多摩湖休憩所) は、酸中和能は低いがアルミニウム濃度がそれほど高くないため酸性化の心配は今のところないと思われる。

ウ. 堆積岩起源褐色森林土 (七国峠、風張) は、酸中和能が小さく交換性アルミニウム量も多いことから酸性化が懸念される。

エ. 褐色森林土でも花崗岩起源である一之瀬は、上層では酸中和能は中～大であり交換性アルミニウム量も少ない。これは土壌pHがまだ低いことによる。将来、酸性降水物の量が増えることにより土壌pHが低下すれば、交換性アルミニウムが多量に放出されることが予想されるので今後も調査が必要であろう。

(5) 将来予測

本調査研究においては、酸性雨の土壌への影響を水素イオンの負荷のみで考えてきた。現時点での水素イオンの負荷、ANCの大きさでは、どの程度土壌は酸性雨を中和できるのか、文献をもとにおおまかな予測を行う²²⁾。

風化火山抛棄物未熟土である多摩湖休憩所の土壌表層部分を例に挙げる。ANCは3.8meq/100g、表2の福生より年間降水量1329.3mm (全て土壌に吸収されるものと

仮定) 及びpH4.7 (1996年度)⁹⁾より水素イオン負荷量は $2.67 \times 10^{-3} \text{meq/cm}^2/\text{年}$ となり、バルク密度 (仮密度: 固相・液相・気相の三相を含む土壌の密度)¹²⁾を 1.0g/ml と仮定すると、ANC3.8meq/100g土壌表層部分厚さ0～5cmの土壌が71年分の酸性雨を中和できる容量である。仮に降水量は変えずにpH4の酸性雨であったとすると、19年しか中和できなくなってしまう。ただ実際は、鉱物の風化による水素イオンの消費などがあり、これだけでは結論づけられない。また、先にも述べたように欧州では土壌を考慮したクリティカルロードが規定されている。土壌の種類などによりその感受性には差があるが、欧州全体のSのクリティカルロードは $1.0 \text{g S/m}^2/\text{年}$ ($30 \text{kg SO}_4^{2-}/\text{ha}/\text{年}$) 及び、Nのクリティカルロードは $1.0 \text{g N/m}^2/\text{年}$ ($13 \text{kg NH}_4^+/\text{ha}/\text{年}$ 、 $44 \text{kg NO}_3^-/\text{ha}/\text{年}$) である。日本の沈着量の平均はこれらの値に近く、また、近年、移動発生源から大気中に排出される窒素酸化物量が増加しており²⁴⁾、今後、大気由来の窒素化合物の地表への沈着による酸性化も考慮に入れての調査が必要である。

4 まとめ

都内の代表的な土壌である黒ボク土及び褐色森林土などを用いて、ANC、アルミニウムなどを定量したところ次のような知見を得た。

- (1) 土壌の表層部分ではANCは (ANC)cのうち主としてカルシウムイオンが寄与している。
- (2) 垂直方向へ深くなるに従い土壌中の交換性塩基の量が減少し、すなわち (ANC)cも小さくなる。また、アルミニウム量は増大する。
- (3) (ANC)aの黒ボク土のANCに対する寄与はほとんど見られず、褐色森林土 (堆積岩起源) への寄与と同程度であった。
- (4) 土壌の種類および深さを考慮したANCの大きさは、黒ボク土 > 褐色森林土 (花崗岩起源) > 褐色森林土 (堆積岩起源) > 風化火山抛棄物未熟土であった。

引用文献

- 1) 環境庁水質保全局土壌農業課監修: 酸性雨 土壌・植生への影響、公害研究対策センター、p. 12～30 (1990)。
- 2) 村野健太郎: 酸性雨一広がる被害、影響、対策の行

- 方を最近の動向から捉える、資源環境対策、32、12、p.17~25(1996)。
- 3) W.Foell *et al.* : ENERGY USE, EMISSIONS, AND AIR POLLUTION REDUCTION STRATEGIES IN ASIA, *Water, Air and Pollution* 85 p. 2277~2282 (1995)。
- 4) J.SHINDO *et al.* : EVALUATION OF ESTIMATION METHODS AND BASE DATA UNCERTAINTIES FOR CRITICAL LOADS OF ACID DEPOSITION IN JAPAN, *Water, Air and Pollution* 85 p.2571~2576 (1995)。
- 5) 国土庁土地局：表層地質図・土壤図・付属資料、土地分類図（東京都）（1976）。
- 6) 経済企画庁総合開発局：表層地質図・土壤図、土地分類図（山梨県）（1973）。
- 7) 東京都環境科学研究所：地球環境関連データ集（平成4~6年度）（1996）。
- 8) 東京都環境科学研究所：地球環境関連データ集（平成7年度）（1997）。
- 9) 東京都環境科学研究所：地球環境関連データ集（平成8年度）（1998）。
- 10) 国土庁土地局国土調査課：土壤図III（関東・中部地方）土地分類図復刻版（1996）。
- 11) ペドロジスト懇談会編：土壤調査ハンドブック、博友社、p.30~37（1984）。
- 12) 高井康雄・三好洋：土壤通論、第14刷、朝倉書店（1987）。
- 13) 佐藤一男・大岸弘：酸性降下物に対する土壤中和能の断面垂直分布、環境科学会誌、4（2）p.115~121（1991）。
- 14) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法、第14版、養賢堂（1997）。
- 15) 古明地哲人ら：大気降下物と土壤中化学成分の挙動（1）、東京都環境科学研究所年報、p.18~24（1990）
- 16) 土壤標準分析・測定法委員会編：土壤標準分析・測定法、第5刷、博友社（1993）。
- 17) 佐藤一男・大岸弘：酸性降下物に対する土壤中和能の簡易測定法、環境科学会誌3（1）、p.37~48（1990）。
- 18) 環境庁大気保全局大気規制課監修：酸性雨の科学と対策、日本環境測定分析協会、p.252~263（1994）。
- 19) 藤井久雄：環境白書酸性雨出鱈目記述への抗議・要望書（1998）。
- 20) 三宅康雄：海洋基礎講座12 堆積物の科学、東海大学出版、第3刷、P.252（1989）。
- 21) 佐藤一男：酸性雨の土壤による中和-鉱物の化学的風化を中心として-、資源環境対策、28、6、p.55~64（1992）。
- 22) 電力中央研究所：電中研レビュー「酸性雨の影響評価」31、p.62~65（1994）。
- 23) 出口修ら：酸性雨に対する土壤中和能の簡易測定法に関する研究（第1報）、富山県環境科学センター年報、第23号、p.110~118（1995）。
- 24) 環境庁地球環境部監修：酸性雨-地球環境の行方-、中央法規出版、（1997）。