

## 酸性降下物に対する都内の土壌中和能に関する研究 (II)

広瀬 光保\* 古明地 哲人 早福 正孝  
(\*非常勤研究員)

### 要 旨

前報に引き続き、東京都内の土壌の酸中和能Acid Neutralizing Capacity (ANC) を簡易測定法により測定した。その結果、県境の山岳部において土壌酸性化や植物への悪影響が推定された。

また、土壌酸中和メカニズムを明らかにするため、カラム実験を行なった。簡易測定法と比較したところ、ANCの値は $\text{SO}_4^{2-}$ 吸着をもつ土壌である風化火山抛出处未熟土及び堆積岩起源褐色森林土において簡易測定法ANC (カラム法ANC) はそれぞれ3.8meq/100g(3.92meq/100g)及び8.04meq/100g(8.66meq/100g) とほぼ一致した。この結果より、土壌に影響が現れ始める ( $\text{Al}^{3+}$ 濃度が増加し始める) までにはそれぞれ約40年及び約117年と試算された。

キーワード：酸性降下物、土壌、酸中和能、 $\text{SO}_4^{2-}$ 吸着、アルミニウム ( $\text{Al}^{3+}$ )

## Investigation of Acid Neutralizing Capacity of Soil of Tokyo Metropolitan in the Acid Deposition (II)

Mitsuho Hirose\*, Tetsuhito Komeiji and Masataka Soufuku

\* Associate researcher

### Summary

Pursuant to the Report I, ANC (Acid Neutralizing Capacity) of soil of Tokyo Metropolitan Area has been measured by a simple method. The measurement results were presumed that soils are acidified and that the plants are adversely affected in some mountains near boundaries of Tokyo metropolitan and Yamanashi prefecture or Kanagawa prefecture.

Moreover, the ANC of soil of Tokyo was measured by a column experiment to determine the acid neutralization mechanism of soil. Then, a simple method was compared with a column method. For instance, the ANC of Volcanogeneous Regosols with sulfate absorption was 3.8meq/100g when measured by the simple method, while it was 3.92meq/100g when measured by the other. That of the Brown Forest Soil (Sediments) having sulfate absorption was 8.04meq/100g when measured by the former method, whereas it was 8.66meq/100g when measured by the latter. In other words, the ANCs of soil measured by the two methods were nearly close. According to the results so far obtained, it was estimated that adverse effects upon the two soils would appear (i.e. aluminium concentration will start to increase) in about 40 years with Volcanogeneous Regosols and about 117 years with Brown Forest Soil (Sediments), respectively.

Keywords : acid precipitation, soil, ANC (Acid Neutralizing Capacity), sulfate adsorption, aluminium

### 1 はじめに

環境庁が実施した第3次酸性雨対策調査 (平成5年度

～9年度) <sup>1)</sup> の中で行なわれた土壌・植生モニタリング調査では、原因不明の樹木衰退と酸性雨との関連につい

て解明されるには至らなかった。しかし、酸性雨は森林土壌から植物栄養素でもある陽イオンを溶出させ、その結果土壌pHは低下し、 $Al^{3+}$ のような毒性の高い金属元素が溶解して土壌の生物活動の低下や植物栄養素の循環の阻害が起こると言われている<sup>2)</sup>。実際、イギリスのGeescroft Wildernessでは表層土壌(0-23cm)において、1883年には約pH 6であったのが82年後の1965年にはpH4.2~4.3となっており<sup>3)</sup>、土壌の酸性化は非常にゆっくりとではあるが長期に進んでいる可能性がある。

そこで本報では前年度の続きとして、酸中和能Acid Neutralizing Capacity (以下ANCとする)の簡易測定法を用いて都内の土壌における現在の状態を評価した。また土壌中和能のメカニズムを明らかにするためANCのカラム実験を行なった。さらに簡易測定法及びカラム法によるANCの比較検討を試みた。

## 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」<sup>4), 5)</sup>を参考にして、調査地点を選定し、1997年度から1998年度にかけて土壌採



図1 調査地点

表1 調査地点の概要

土壌型	調査地点	地形	標高	主要樹木
※花崗岩起源褐色森林土 Brown Forest Soils(Granitic rocks) <i>Humic Cambisols</i>	山梨県 塩山市	斜面 (勾配約30°)	1400m	ブナ・シラカバ
※堆積岩起源褐色森林土(*1) Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 三鷹市	平地	1080m	コナラ
※堆積岩起源褐色森林土(*2) Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 三鷹市(松原町)	平地	1850m	コナラ・ブナ カエデ・モミジ ブナ
※堆積岩起源褐色森林土 Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 三鷹市(雲取山B)	斜面 (勾配約30°)	1527.5m	ブナ・シラカバ
※堆積岩起源褐色森林土 Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 三鷹市(三頭山A)	斜面 (勾配約30°)	1500m	ブナ
※堆積岩起源褐色森林土 Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 三鷹市(三頭山B)	斜面 (勾配約30°)	1500m	ブナ
※堆積岩起源褐色森林土 Brown Forest Soils(Sediments) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 八王子市	斜面 (勾配約20°)	200m	コナラ
※乾性褐色森林土 Brown Forest Soils(dry) <i>Humic Cambisols</i>	東京都 高尾山公園 高尾山頂上(高尾山A) 高尾山 高尾山中腹(高尾山B)	斜面 (勾配約30°) 斜面 (勾配約30°)	600m	コナラ コナラ・サクラ
※乾性ポドゾル化土壌 Dry Podzolic Soils <i>Humic Cambisols</i>	東京都 雲取山頂上(雲取山A-1) 東京都 雲取山頂上(雲取山A-2)	斜面 (勾配約20°) 斜面 (勾配約20°)	雲取山 2018m	ササ・ダケカンパ トウヒ・ツガ ササ・ダケカンパ トウヒ・ツガ
※風化火山噴出物系土 Volcanogeneous Regosols <i>Andic Rhizosols</i>	東京都 東大和市	緩斜面	120m	サクラ・アカマツ
※風化火山噴出物系土 Volcanogeneous Regosols <i>Andic Rhizosols</i>	東京都 多摩湖休養所 東京都 村山貯水池	平地	120m	コナラ・ヒノキ

\*1 ※印はカラム実験に用いた試料  
\*2 イタリック体はFAO/UNESCO世界土壌図のSoil Unit(1988)

取した。表1に調査地点の概要を、図1に調査地点を示す。

### (2) 分析方法

ア 土壌の化学的・物理的性質 (pH、電気伝導度、水溶性陽イオン・陰イオン、水分量、土色および塩基/アルミニウムモル比)

pH (H<sub>2</sub>O懸濁)、pH (KCl)、pH (H<sub>2</sub>O抽出) [pHメーター計: TOA, HM-30S]、電気伝導度 (H<sub>2</sub>O抽出) [電気伝導度計: TOA, CM-40S]、水溶性陽イオン ( $Al^{3+}$ は除く)、水溶性陰イオン [イオンクロマトグラフ法: DIONEX-500、分析条件は表2のとおり]、水分量については、「土壌養分分析法」<sup>7)</sup>及び「土壌標準分析・測定法」<sup>8)</sup>に記載されている方法に従って分析した。土色<sup>9), 10)</sup>については新版「標準土色帖」<sup>11)</sup>を用いて確認した。

表2 陽イオン・陰イオン分析条件

	移動相	カラム	流速
陽イオン	18mMメタンサルホン酸	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

塩基/アルミニウムモル比とは植物に対する酸性土壌におけるアルミニウム毒性を示す指標で、 $Ca^{2+}/Al^{3+}$ 、 $Mg^{2+}/Al^{3+}$ また  $(Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+)/Al^{3+}$ モル比などがあるが、ここでは  $(Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+)/Al^{3+}$ モル比を水溶性陽イオン分析値から算出した。この値が10以下になると植物への毒性が現れるとされている<sup>12)</sup>。

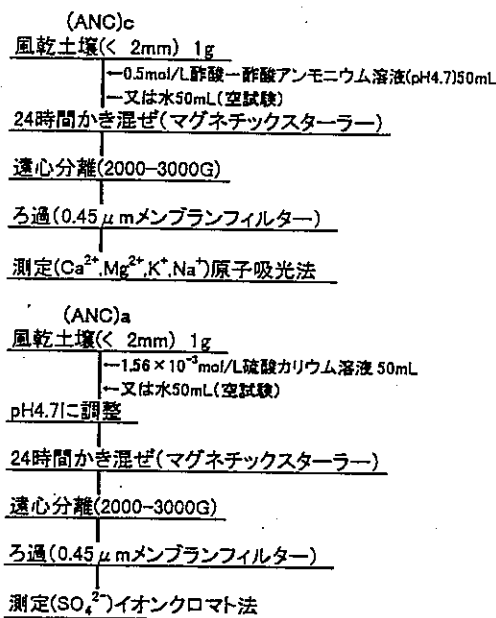


図2 ANC (酸中和能) 簡易測定法

イ ANC (簡易測定法)<sup>13)</sup> (図2) 及び交換性アルミニウム

ANCのうち(ANC)cは土壌中の交換性(図中ではExと表記)塩基と炭酸塩に基づく中和能で、酢酸-酢酸アンモニウム抽出液のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>及びCa<sup>2+</sup>の濃度の和(meq/100g)として求めた。(ANC)aは降水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の土壌吸着に基づく中和能で、硫酸カリウム抽出前後のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の差(meq/100g)として求めた。そして(ANC)c及び(ANC)aの和をANCとした。

また、酢酸-酢酸アンモニウム抽出液のアルミニウムも定量した。

ウ ANC (カラム法)<sup>13), 14)</sup>

土壌中和能のメカニズム(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の挙動及び土壌pHの変化)を明らかにするため、種類の異なる土壌(表1の※印)を用いて次に示すカラム実験を行なった。

風乾土壌を内径30mm(ガラス製)のカラムに高さ約10cmになるように充填し、密封したカラム上部より定量送液ポンプ(マイクロチューブポンプ, EYELA MP-3NA)でイオン交換水を通水量25ml/hで一昼夜滴下してカラ

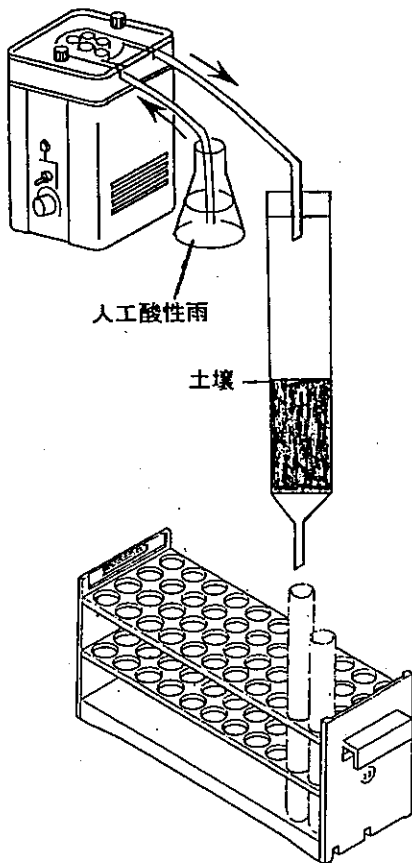


図3 カラム実験装置

ム内を定常状態にした後、水をpH約3.3の人工酸性雨(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:Cl<sup>-</sup>=5:2:3(当量比)/H<sup>+</sup>濃度=0.5meq/l)<sup>15), 16)</sup>に変え、同じ通水量で滴下し、カラム底部より流出する液をフラクションコレクター(GILSON Model 202)で分取した。pH変化が0.1~0.2となるような間隔で流出液を選び、以下の項目を測定した。

装置の概要を図3に示す。

① pHおよび電気伝導度

採取後直ちに、pH及び電気伝導度を測定した。

② イオン類(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>)

採取液を0.45μmのメンブランフィルターでろ過した後、陽イオン(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>)及び陰イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>)をイオンクロマトグラフ法によって定量した。一方Al<sup>3+</sup>は原子吸光法(バリアン、SpectrAA-800)により定量した。

3 調査結果及び考察

(1) 都内の土壌における酸性化の現状

土壌の化学的・物理的性質を表3に、ANC(簡易測定法)及び交換性アルミニウムの測定結果(三頭山頂上、高尾山中腹、雲取山頂上、滝山公園および村山貯水池)を図4に示す。土壌別に考察していくと、

ア 堆積岩起源褐色森林土(三頭山・滝山公園)

三頭山頂上Aは、表層部分0-5cmのANCが15.01meq/100gのほかは5.37~5.94meq/100gと小さく、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。

滝山公園は、交換性アルミニウム量は多いが、(ANC)aの寄与が比較的大きく、また深い部分(約30cm以深)でのマグネシウムイオンの寄与が大きいためANCの値が深い部分でも減少しなかった。そのため現在のところ酸性化のおそれはないと考えられる。

イ 乾性褐色森林土(高尾山)

ANC及び交換性アルミニウムからは土壌の酸性化のおそれはないと考えられるが、(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+K<sup>+</sup>)/Al<sup>3+</sup>モル比が採取した全試料において≤10であり、植物への悪影響が懸念される。

ウ 堆積岩起源褐色森林土及び乾性ポドゾル化土壌(雲取山)

雲取山頂上A-2におけるpH(H<sub>2</sub>O懸濁)の値が3.64~

3.94と非常に低く、頂上、中腹とも大体ANC=5前後であり値が小さい。さらに交換性アルミニウム量が比較的多いため、酸性化が懸念される。

エ 風化火山拠出物未熟土 (村山貯水池)

ANCの値が小さい (ANC=1.31~6.18) すなわち交換性塩基の量が少ない。しかしアルミニウム濃度が低いため、現在のところ酸性化のおそれはないと考えられる。

以上、昨年度の調査も含めた、土壌の種類や深さを考慮した簡易測定法による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) > 乾性褐色森林土 ≥ 乾性ポドゾル化土壌 ≥ 風化火山拠出物未熟土となった。また調査地点を考慮すると、県境の山岳部において土壌酸性化とそれによる植物への悪

表3 土壌の化学的・物理的性質

試料採取地点 および深さ(cm)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	pH	(μS/cm) Conductivity	水分 (%)	色相、明度/彩度(土色名)	(Ca+Mg)/K/Al
三頭山A 0-5	4.91	4.00	4.92	243.0	16.61	7.5YR3/3 (暗褐)	2.0
三頭山A 5-15	4.78	4.36	4.78	95.4	14.59	7.5YR3/4 (暗褐)	27.1
三頭山A 15-30	5.07	4.68	5.09	20.9	16.41	7.5YR4/4 (暗)	+2
三頭山A 30-45	5.35	4.74	5.31	14.7	4.28	7.5YR6/6 (暗)	+2
三頭山B 0-5	4.60	3.73	4.69	125.6	18.33	7.5YR3/3 (暗褐)	0.8
三頭山B 5-25	4.93	4.26	4.97	56.4	19.88	7.5YR3/4 (暗褐)	21.4
三頭山B 25-30	5.01	4.67	4.98	37.1	10.71	7.5YR4/4 (暗)	+2
三頭山B 30-40	5.26	5.04	5.38	26.3	1.55	7.5YR4/4 (暗)	12.3
滝山公園A0-5	5.13	4.18	5.17	64.7	15.51	7.5YR3/4 (暗褐)	57.4
滝山公園A5-15	5.02	4.25	5.23	41.0	24.83	7.5YR3/4 (暗褐)	+2
滝山公園A15-40	5.73	4.80	5.43	35.0	27.43	7.5YR4/3 (暗)	+2
滝山公園A40-60	5.56	4.90	5.43	48.5	19.63	7.5YR4/3 (暗)	12.3
高尾山A 0-5	5.30	4.06	5.24	1282.2	5.02	10YR3/2 (黒褐)	2.1
高尾山A 5-15	5.00	3.67	4.92	74.2	3.85	2.5Y3/3 (暗4-7-暗)	0.5
高尾山A 15-30	5.04	3.54	4.92	42.9	3.50	2.5Y3/3 (暗4-7-暗)	1.0
高尾山B 0-5	5.80	4.23	5.47	107.5	6.25	10YR3/2 (黒褐)	0.5
高尾山B 5-15	5.51	3.85	5.46	49.2	5.45	10YR3/3 (暗褐)	0.1
高尾山B 15-30	5.58	3.64	5.22	32.2	5.71	10YR4/4 (暗)	0.1
高尾山B 30-50	5.76	3.64	5.54	27.8	4.81	2.5Y4/8 (オリーブ地)	0.5
雲取山A-1 0-5	4.88	3.83	4.87	228.0	27.07	7.5YR3/3 (暗褐)	10.2
雲取山A-1 5-10	4.70	4.05	4.78	138.3	31.32	7.5YR3/3 (暗褐)	40.2
雲取山A-1 10-20	4.80	4.05	4.85	105.8	34.47	7.5YR3/3 (暗褐)	62.3
雲取山A-1 20-30	+1	+1	4.97	72.2	15.04	7.5YR3/3 (暗褐)	+2
雲取山A-1 30-40	+1	+1	5.13	35.3	17.61	10YR4/3 (にぶい黄褐)	0.3
雲取山A-2 0-5	3.64	2.88	3.78	439.0	13.18	7.5YR2/2 (黒褐)	+2
雲取山A-2 5-15	3.72	3.02	3.78	312.0	18.85	7.5YR2/2 (黒褐)	2.4
雲取山A-2 15-30	3.94	3.43	4.01	184.5	33.77	7.5YR4/3 (暗)	2.7
雲取山A-2 30-40	+1	+1	4.40	103.5	12.22	10YR3/3 (暗褐)	40.2
雲取山B 0-5	4.38	3.58	4.43	228.0	28.85	7.5YR3/3 (暗褐)	90.9
雲取山B 5-10	4.07	3.81	4.43	156.1	30.93	10YR4/3 (にぶい黄褐)	38.1
雲取山B 10-20	4.53	3.82	4.57	87.3	30.88	10YR4/3 (にぶい黄褐)	62.4
雲取山B 20-35	4.71	3.89	4.71	49.7	21.03	10YR4/3 (にぶい黄褐)	59.5
村山貯水池A0-5	4.62	3.84	4.82	94.1	16.47	7.5YR3/4 (暗褐)	0.2
村山貯水池A5-15	4.58	3.70	4.50	46.3	18.58	7.5YR4/3 (暗)	45.8
村山貯水池A15-35	+1	+1	4.49	48.4	5.54	10YR4/6 (暗)	3.1
村山貯水池A35-60	+1	+1	4.95	24.1	7.50	10YR4/6 (暗)	36.0

+1 未測定  
+2 不検出

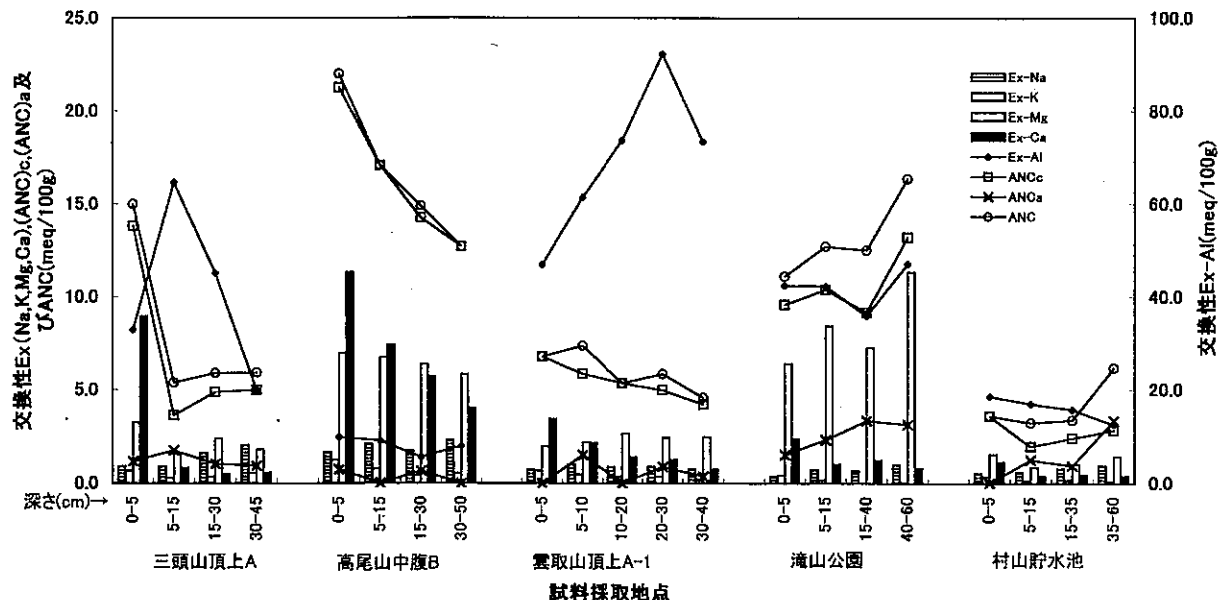


図4 ANC及び交換性アルミニウム

影響が予想された。

(2) カラム法によるANC及び土壌中和能のメカニズム

カラム流出水のpH及び交換性陽イオン (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+Ca<sup>2+</sup>及びAl<sup>3+</sup>) 量の変化と人工酸性雨の滴下量の関係をグラフにしたものを図5~8に示す。

ア 花崗岩起源褐色森林土 (一之瀬0-5cm) 図5

流出液のpHは流出液量が約6,000mlまで6.5付近で推移し、その後急激に低下し始め最終的には3.9付近で推移した。

また、流出液中のNa<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+Ca<sup>2+</sup> (以下Na<sup>+</sup>等とする) 量は徐々に上昇して0.5meq/l付近で推移し、流出液量が約6,500mlのあたりからpHの変化曲線のような急激な低下が見られた。Al<sup>3+</sup>濃度はpHが約5.0に低下したあたりから急上昇した。

これらのことから土壌中のNa<sup>+</sup>等が人工酸性雨中のH<sup>+</sup>と交換されている間はpHが約6.5に維持されるが、Na<sup>+</sup>等が減少すると、Al<sup>3+</sup>が溶出し始めpHの低下に伴いAl<sup>3+</sup>濃度が上昇したものと考えられる。そこでAl<sup>3+</sup>が溶出し始めた時点までに土壌に消費されたH<sup>+</sup>量をこの土壌のもつANCと定義し計算したところ、ANC=5.07 meq/100gとなった。このANCへは全陽イオン (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, H<sup>+</sup>及びAl<sup>3+</sup>の合計) が0.5meq/l付近であり、人工酸性雨のH<sup>+</sup>濃度0.5meq/lとほぼ等しいことから、交換性陽イオンの寄与がほとんどであると考えられる。

イ 堆積岩起源褐色森林土 (風張0-5cm) 図6

実験開始直後からpHはゆるやかに低下し、最終的に4.3付近で推移した。交換性陽イオン及びAl<sup>3+</sup>の挙動は

他の土壌と類似しており、カラム法によるANCは8.66meq/100gと算出された。

ウ 乾性ポドゾル化土壌（雲取山A-1 0-5 cm） 図7

実験開始直後はpH7.0付近で維持したものの、pHは急速に低下した。交換性陽イオン量もpH同様のパターンを示し、流出液量3,000mlのあたりから急速に減少した。その付近からAl<sup>3+</sup>が溶出し始めたが、他の土壌と比べ、大きな濃度上昇は見られなかった。カラム法によるANCは3.4meq/100gと算出された。

オ 風化火山堆出物未熟土（多摩湖休憩所0-5cm） 図8

流出液のpH変化パターンは上記、一之瀬の場合に類似しているが、実験開始の時点からpH5.0~5.5付近を推移した。それにもかかわらずpHを維持していたのは、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の土壌への吸着によるH<sup>+</sup>の消費が考えられる。図9で示すように実験開始直後からSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量は減少し、pHが低下し始めた流出液量約4,500mlより再び上昇した。pHは最終的に4.3付近を推移した。

カラム法によるANCは3.92meq/100gであった。

(3) 簡易測定法及びカラム法によるANCの比較

表4より、花崗岩起源褐色森林土（一之瀬0-5 cm）及び乾性ポドゾル化土壌（雲取山A-1 0-5 cm）ではカラム法に比べ簡易測定法のANCが大となった。この理由として、①酢酸-酢酸アンモニウム緩衝液を用いて24時間攪拌抽出を行なう簡易測定法の方が攪拌効果により土壌粒子が激しく反応しやすいため陽イオンが過剰に溶出したと考えられること。②カラム中の土壌に人工酸性雨が均等に行き渡らず、陽イオンの流出が減少した。この2点が考えられる。しかし、風化火山堆出物未熟土（多摩湖休憩所0-5 cm）及び堆積岩起源褐色森林土（風張0-5 cm）では簡易測定法とカラム法のANCによく対応しており、現段階ではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>吸着を持つ土壌につ

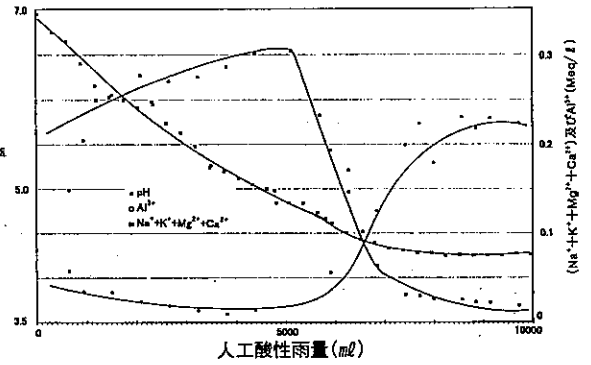


図6 人工酸性雨量とpH・流出陽イオンの関係 (褐色森林土・風張)

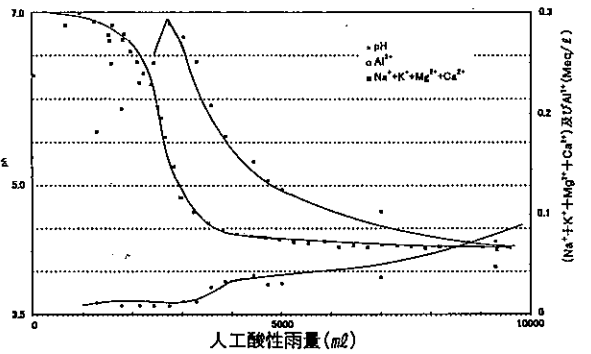


図7 人工酸性雨量とpH・流出陽イオンの関係 (乾性ポドゾル化土壌・雲取山)

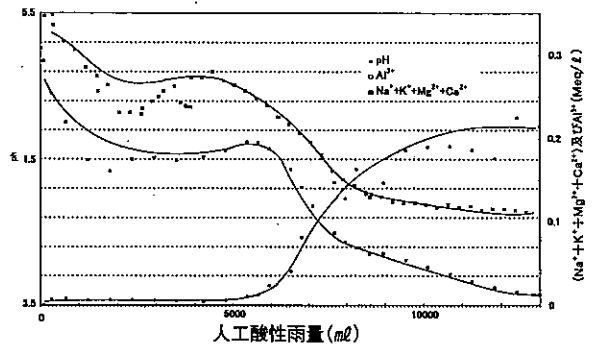


図8 人工酸性雨量とpH・流出陽イオンの関係 (風化火山堆出物未熟土・多摩湖休憩所)

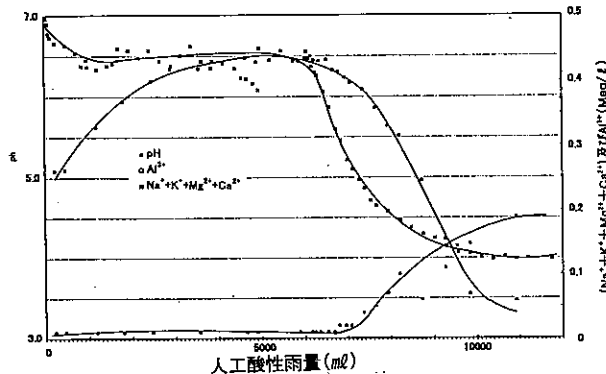


図5 人工酸性雨量とpH・流出陽イオンの関係 (褐色森林土・一之瀬)

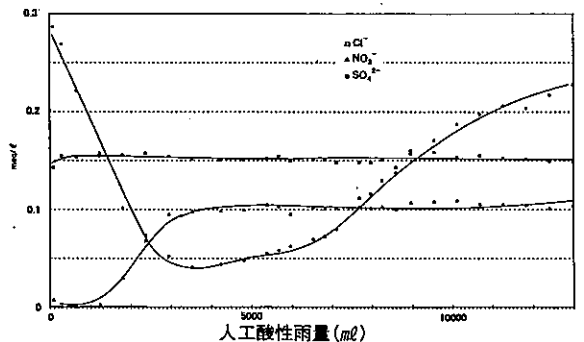


図9 人工酸性雨量とpH・流出陽イオンの関係 (風化火山堆出物未熟土・多摩湖休憩所)

いて、簡易測定法及びカラム法によるANCによく一致することが確認できた。

表4 簡易測定法及びカラム法によるANCの比較

単位: meq/100g	簡易測定法			カラム法
	(ANC) <sub>c</sub>	(ANC) <sub>d</sub>	ANC	ANC
花崗岩起源褐色森林土 一之瀬 0-5cm	9.01	-	9.01	5.07 (70g) *1
堆積岩起源褐色森林土 風張 0-5cm	6.25	1.79	8.04	8.66 (30g)
乾性ポドゾル化土壤 霧取山A-1 0-5cm	6.79	-	6.79	3.40 (50g)
風化火山抛出物未熟土 多摩湖休憩所 0-5cm	2.86	0.94	3.80	3.92 (70g)

\*1 ( )はカラム実験に用いたサンプル量

(4) 酸性降下物の土壌への影響(酸に対する土壌の耐性)に関する予測

酸性降下物の土壌への影響を予測するために、諸外国ではいくつかのモデルが提案されている<sup>17) 18)</sup>。例えば Levine & Ciolkosz (1988) のモデル<sup>17)</sup>は、入力項目が年間降雨量、蒸発散量、降雨のイオン濃度(土壌緩衝能に影響するH<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>など)及び土壌pH、交換性Na、K、Mg、Ca等の土壌の特性など比較的手続きしやすいデータを使用しているため、このモデルを利用すれば、ANCのみの評価よりもさらに進んだ、酸性降下物の土壌への影響に関する予測が可能になるのではないかと考えられる。

一方、我が国では環境庁が行なった「酸性雨による土壌影響調査」の報告書(日本土壌肥料学会, 1988)において、100gあたりの土壌に含まれる交換性(Ca+Mg)の量によってpH低下、緩衝能などについて考察が述べられている<sup>18)</sup>。

また、大羽(1990)は、吉田(1988)が算出した酸負荷量0.2meq/100g/年(pH4.0の酸性雨、表層10cmの深さ)と実験結果より、土壌の種類によって異なるが溶出Al濃度が5ppmを超える時間は、pH4.0の酸性雨で10~30年(酸負荷量2~6meq/100g/年)、溶出Al濃度が10ppmを超えるのは15~35年(酸負荷量3~7meq/100g/年)と計算した<sup>19)</sup>。佐藤らの全国500カ所における表層土壌のrapid-ANC調査では厚さ10cmの土壌が3~870年分の酸性雨を中和できる容量であると評価した<sup>20)</sup>。

大羽および佐藤らの方法に準拠して、本調査結果のうち簡易測定法及びカラム法のANCがよく対応した風化火山抛出物未熟土(多摩湖休憩所0-5cm)及び堆積岩

起源褐色森林土(風張0-5cm)について、何年くらいでAl<sup>3+</sup>が溶出し始めるかを酸性雨中のH<sup>+</sup>のみ(pHから算出)が全て土壌に沈着したとしてその負荷量(H<sup>+</sup>濃度×降水量)から試算した。例えば、pH3の雨100mlが降った場合とpH4の雨が1000ml降った場合では、H<sup>+</sup>負荷量は等しいがpH3の方が被害を受けやすいという議論がある<sup>21)</sup>。一方pH3またはpH4でもH<sup>+</sup>負荷量が等しければ土壌pHの低下はほぼ等しいという実験結果もあり<sup>19)</sup>見解は統一されていないが、ここではpH3×100mlとpH4×1000mlの負荷は等しいという前提で計算を行なった。風化火山抛出物未熟土(多摩湖休憩所0-5cm)は、カラム法ANC=3.92meq/100g、年間降水量1540mm及び年平均pH4.50(福生、1992~1997年度のうち年間降水量は最高値、年平均pHは最低値)<sup>22)</sup>よりH<sup>+</sup>負荷量=48.7meq/m<sup>2</sup>/年となり約40年分の酸性雨を中和できる容量、堆積岩起源褐色森林土(風張0-5cm)はカラム法ANC=8.66meq/100g、年間降水量1653mm及びpH4.65(桧原、1992~1997年度のうち年間降水量は最高値、年平均pHは最低値)<sup>22)</sup>よりH<sup>+</sup>負荷量=37.0meq/m<sup>2</sup>/年となり、約117年分の酸性雨を中和できる容量であった。今後、酸性雨のpHが急激に低下する可能性は低いが、地球温暖化などの影響により一時的に降水量が増える可能性等<sup>23)</sup>があることから、さらに検討していく必要があると考えられる。

4 まとめ

簡易測定法及びカラム法を用いて都内の土壌のANCを測定したところ既報と合わせ次のような結果を得た。

(1) 昨年度の調査も含めた、土壌の種類や深さを考慮した簡易測定法による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)>乾性褐色森林土≥乾性ポドゾル化土壤≥風化火山抛出物未熟土であった。また調査地点も考慮すると、県境の山岳部において土壌酸性化とそれによる植物への悪影響が予想された。

(2) カラム実験からは次のことが分かった。

土壌中に交換性陽イオンが存在しているうちはpHがほぼ一定の値で維持され、緩衝作用が働くが、交換性陽イオンが減少し始めると流出液のpHは低下しAl<sup>3+</sup>の溶出が起こった。また土壌のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>吸着はpHの低下を遅らせていた。

(3) 簡易測定法は特にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>吸着を持つ土壌に対して有

効な測定法であった。

(4) カラム法ANCより風化火山抛出物未熟土(多摩湖休憩所0—5 cm)では約40年、また堆積岩起源褐色森林土(風張0—5 cm)では約117年で土壤に影響が現れ始める(流出液中の $Al^{3+}$ 濃度が増加し始める)と試算された。

#### 引用文献

- 1) 環境庁報道発表資料 第3次酸性雨対策調査のとりまとめについて(1999.3.17)
- 2) C.L.Sparks:ENVIRONMENTAL SOIL CHEMISTRY, Academic Press (1995)
- 3) KWT Goulding & L Blake:Testing the PROFILE model on long-term data , Critical loads:concept and applications p68-73 (1993)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 広瀬光保ら:酸性降下物に対する都内土壤酸中和能に関する研究(I)、東京都環境科学研究所年報、p242-249 (1998)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) ベドロジスト懇談会編:土壤調査ハンドブック、博友社、p30-37 (1984)
- 10) 高井康雄・三好洋:土壤通論、第14刷、朝倉書店(1987)
- 11) 農林省農林水産技術会議事務局監修、財団法人日本色彩研究所色票監修:新版標準土色帖(1967)
- 12) 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)
- 13) 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、p37-48 (1990)
- 14) 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2報)、富山県環境科学センター年報、第24号、p89-96 (1996)
- 15) 古明地哲人ら:乾性及び湿性降下物中化学成分の性状と降下量、東京都環境科学研究所年報、p51-58 (1989)
- 16) 電力中央研究所報告 酸性雨の実態調査 研究報告 T91019、財団法人 電力中央研究所(1992)
- 17) 環境庁水質保全局土壤農業課監修:酸性雨 土壤・植生への影響、公害研究対策センター(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、社団法人 日本環境測定分析協会、p262-263 (1994)
- 19) 大羽裕:酸性降下物が土壤の化学性に及ぼす影響と本邦土壤の酸中和能の評価、酸性雨が陸域生態系に及ぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討、人間環境系研究報告集、G028-N11-01、p113-131 (1990)
- 20) 電力中央研究所:電中研レビュー「酸性雨の影響評価」31、p62-65 (1994)
- 21) 玉置元則:酸性雨モニタリングと研究面での課題、環境技術、Vol.27、No.11、p2-8 (1998)
- 22) 東京都環境科学研究所:地球環境関連データ集(平成9年度)p171-183 (1998)
- 23) 社団法人 日本土壤肥科学会編:土と食糧 健康な未来のために、朝倉書店、p8-15 (1998)