

京都市内における杉の生育とその周辺土壌の基礎調査

山本暁人¹，松本正義¹，友膳幸典¹，三輪真理子¹，三原啓子¹

Basic Survey of Growth of *Cryptomeria japonica* and Surrounding Soil in Kyoto City

Akito YAMAMOTO, Masayoshi MATSUMOTO, Yukinori YUZEN,
Mariko MIWA, Keiko MIHARA

Abstract : To determine the situation of soil acidification in Kyoto city, the first survey of tree (*Cryptomeria japonica*) growth and surrounding soil was carried out for four years from 1992 to 1995. Based on these data, the second survey was carried out from 2002 to 2004. For future long-term monitoring, results of these two survey data are summarized here as follows.

(1) Remarkable decrease of the pH value was not noted in the soil monitorings, where the concentrations of exchange cations, and of Ca^{2+} were the highest while that of Na^+ was the lowest. During the survey, no significant changes were noted in these variables. However, second survey revealed that the Ex-BC/Al (exchange base cations to exchange Al^{3+}) ratio became less than 1.0, which was noted at seven of the detection sites in this second monitoring.

(2) In the survey of tree decline, no changes were noted between two surveys. Rather, enlargement of tree heights as well as tree width was noted with years.

(3) There were characteristic 2 monitoring sites at Point S, where the pH was significantly low, and the Ex-BC/Al ratio was extremely low (<0.5), due to low exchange bases (< 4meq/100g) and extremely high exchange Al^{3+} values.

Key words : 酸性雨 acid rain, 酸性降下物 acid deposition, 土壌酸性化 soil acidification, 杉 *Cryptomeria japonica*

はじめに

酸性雨に関する精力的な研究の契機となったのは、ヨーロッパにおける湖沼の水棲生物の死滅と、トウヒやモミ林などにおける旧葉の黄化や枯れ下がりの頻発であった。日本においても、関東平野の杉林、丹沢山系の大山のモミ、広島の松などの衰退が酸性雨との関連で報告されている。しかし、森林の衰退の原因は不明な部分が多く、数々の複合的な要因により引き起こされると考えられており、土壌酸性化説（アルミニウム毒性説）、マグネシウム欠乏説、オゾン仮説、窒素過剰説、ストレス複合説、大気汚染物質原因説など、様々な仮説にもとづいた実証研究が行われている^{1), 2)}。

京都市においても、降水の酸性化の実態を長期的に把握することを目的として、昭和58年度より市内1地点（衛生公害研究所）において酸性雨の常時測定を実施している。また、平成4年度から4年間、杉を対象とした樹木の生育とその周辺土壌の化学的性質などを調査し、長期的な酸性雨の土壌や樹木に対する影響をみるための基礎データが残

されている。この第1回（以下、前回）の調査から約10年経過した平成14年度より第2回（以下、今回）として同様の調査を実施し、前回のデータとの比較検討を行い、更に長期的なモニタリングを実施していくために調査結果をまとめたので報告する。

調査方法

1. 調査地点

調査地点は前回実施した京都市内の寺社など13カ所15地点で、表1に示した。ここで、土壌分類は国土庁の土地分類図³⁾を参考にした。

2. 試料採取と分析方法

土壌試料のサンプリングなどの現地調査は、平成14年11月から平成15年3月までの期間中に、1地点につき一回ずつ調査を実施した。調査項目と分析方法は表2に示すとおりで、前回の調査と同じ項目を土壌標準分析・測定法^{4)~6)}などを参考にして同様の方法で測定した。

樹木周辺の土壌調査では、各地点ごとに4~10の調査ポイントを定めて、落ち葉などの表層（以下、リター層）を取り除いた層の硬度を測定したのち、直径5cmの筒を用い

¹ 京都市衛生公害研究所 環境部門

表1 調査地点概要

| 地点名 | 土壌分類 | 所在地 | 環境 | 地形 |
|-----|-------|-----|---------|----|
| U | - | 北区 | 市街地の寺社林 | 平坦 |
| N | - | 左京区 | 市街地の寺社林 | 平坦 |
| K | 褐色森林土 | 東山区 | 市街地の寺社林 | 平坦 |
| M | 褐色森林土 | 東山区 | 市街地の林 | 斜面 |
| S* | 褐色森林土 | 右京区 | 山間の池周辺 | 斜面 |
| T | 褐色森林土 | 右京区 | 山間の寺社林 | 平坦 |
| J | - | 右京区 | 市街地の寺社林 | 平坦 |
| R | - | 右京区 | 市街地の林 | 平坦 |
| P | 人口未熟土 | 伏見区 | 市街地の林 | 平坦 |
| Z | 褐色森林土 | 山科区 | 市街地の寺社林 | 斜面 |
| O* | 黄色土 | 西京区 | 市街地の寺社林 | 平坦 |
| H | 褐色森林土 | 西京区 | 山間の寺社林 | 平坦 |
| Y | 褐色森林土 | 西京区 | 山間の寺社林 | 斜面 |

「-」は森林土壌分類以外の市街地
「*」は2地点調査した

て、3層（A層；0～5cm，B層；5～15cm，C層；15～25cm）に分けて土壌を採取し、調査地点の層ごとに混合した。採取後、風乾させてから2mm目の篩にかけ、乳鉢で細かく粉碎したものを土壌試料とし、pH(H₂O)、導電率（以下、EC）、乾燥減量、強熱減量、陽イオン交換容量（以下、CEC）、交換性陽イオン（Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、H⁺、Al³⁺）、有効態リン酸及び水溶性陰イオン（SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻）について測定した。

また、樹木衰退度調査として、各調査地点において数本の杉を選定し、樹高、幹囲及び衰退度を調査した。

表2 調査項目と分析方法

| 調査項目 | 分析方法 |
|--|---|
| pH(H ₂ O) | 試料と蒸留水を1：2.5で攪拌し、pHガラス電極計にて測定 |
| EC | 試料と蒸留水を1：2.5で攪拌し、EC計にて測定 |
| 乾燥減量 | 105℃で半日以上乾燥させ、放冷後重量を測定 |
| 強熱減量 | 450℃で30分、その後750℃まで上げて2時間以上乾燥させ、放冷後重量を測定 |
| 樹木周辺の土壌調査 | CEC セミミクロSHOLLENBERGER法（CH ₃ COONH ₄ 抽出） |
| 交換性陽イオン （Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ ） | 原子吸光光度計（CH ₃ COONH ₄ 抽出） |
| 交換性陽イオン（Al ³⁺ 、H ⁺ ） | 滴定法（KCl抽出） |
| 有効態リン酸 | 分光光度法（Trouw法） |
| 水溶性陰イオン（Cl ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ ） | 試料と蒸留水を1：5で抽出後、イオンクロマトグラフィーにて測定 |
| 土壌硬度 | 山中式土壌硬度計にて測定 |
| 樹木衰退度調査 | 樹高 簡易三角測量 |
| 幹囲（地上1.2m） | メジャー |
| 衰退度（5段階） | 衰退度評価基準（樹形） |

結果と考察

1. 樹木周辺の土壌調査

各調査項目の平均値、最大値及び最小値を層ごとに表3に示した。ここで、交換性陽イオンがそれぞれの土壌におかれたpHなどの自然環境で発揮される有効なCECを有効CEC（以下、ECEC）と呼び、交換性陽イオン（Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）の濃度和で算出したECEC⁷⁾を併せて表3に示した。いずれの調査項目においても平均値などより、前回と比べ著しい変化はみられなかった。

1) 土壌硬度

土壌硬度は、前回（平均：5.6kg/cm²、範囲：24～0.98kg/cm²）、今回（平均：5.2kg/cm²、範囲：19～0.62kg/cm²）であり、大きな変化はみられなかった。

2) pH

森林土壌のpHの範囲は農業土壌（土壌条件の維持すべき目標値：pH5.0～6.5⁸⁾）と比べるとかなり低く⁹⁾、通常、山地の森林土壌の表層では、超塩基性岩など特殊な地質である場合を除き、多くはpH4.0～5.5である¹¹⁾。本調査においても、試料のpHの平均値は前回がpH4.68～4.82で、今回がpH4.62～4.71と前述した範囲と同程度であった。ただし、前回と今回の両調査とも最低値を示した地点S-1とS-2は、全ての層において低い値（前回：pH3.34～4.47、今回：pH3.14～4.49）であった。

次に、全地点の土壌試料を層ごとに分布図を描き図1に示した。図1-1、1-2の破線部分のB層とC層はいずれも地点Nの2層で、この1地点を除けば、A層では

表3-1 各調査項目における平均値、最大値及び最小値（前回調査）

| 深さ (層) | 風乾土 | | | 交換性陽イオン | | | | | 有効態 リン酸 (mg/100g) | 水溶性陰イオン | | | | |
|-----------|--------------------------|---------------------|-----------|---------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|------------------|-------|-----------------|------------------------------|
| | pH (H ₂ O) | EC (μ S/cm) | 水分 (%) | CEC | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | | H ⁺ | Al ³⁺ | ECCEC | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ |
| 平均 | 4.76 | 129.9 | 3.2 | 17.5 | 0.09 | 0.35 | 5.9 | 0.83 | 1.5 | 4.7 | 13.3 | 0.049 | 0.062 | 0.057 |
| 最大 | 4.82 | 88.3 | 2.4 | 9.9 | 0.06 | 0.19 | 3.3 | 0.48 | 0.91 | 5.1 | 10.0 | 0.039 | 0.039 | 0.058 |
| 最小 | 4.68 | 77.6 | 2.3 | 8.6 | 0.06 | 0.17 | 2.2 | 0.41 | 0.79 | 4.9 | 8.6 | 0.044 | 0.025 | 0.068 |
| 平均 | 6.71 | 248.7 | 6.9 | 57.7 | 0.28 | 1.1 | 21.5 | 2.2 | 7.0 | 13.9 | 24.6 | 0.12 | 0.21 | 0.10 |
| 最大 | 6.80 | 153.0 | 4.2 | 21.5 | 0.18 | 0.35 | 11.5 | 1.5 | 2.1 | 15.2 | 18.1 | 0.14 | 0.15 | 0.13 |
| 最小 | 6.19 | 226.0 | 3.8 | 14.3 | 0.25 | 0.32 | 8.4 | 1.3 | 1.2 | 10.3 | 11.7 | 0.25 | 0.077 | 0.19 |
| 平均 | 3.34 | 42.6 | 1.2 | 4.6 | 0.02 | 0.02 | 0.36 | 0.12 | 0.12 | - | 6.2 | 0.011 | 0.010 | 0.034 |
| 最大 | 4.04 | 47.6 | 1.4 | 5.2 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.09 | 0.12 | - | 6.5 | 0.011 | 0.0080 | 0.025 |
| 最小 | 4.16 | 41.3 | 1.4 | 5.0 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.07 | 0.16 | - | 6.5 | 0.012 | 0.0050 | 0.021 |

※「-」は検出下限値以下

表3-2 各調査項目における平均値、最大値及び最小値（今回調査）

| 深さ (層) | 風乾土 | | | 交換性陽イオン | | | | | 有効態 リン酸 (mg/100g) | 水溶性陰イオン | | | | |
|-----------|--------------------------|---------------------|-----------|---------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|------------------|-------|-----------------|------------------------------|
| | pH (H ₂ O) | EC (μ S/cm) | 水分 (%) | CEC | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | | H ⁺ | Al ³⁺ | ECCEC | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ |
| 平均 | 4.69 | 146.1 | 2.9 | 18.5 | 0.08 | 0.44 | 7.0 | 1.2 | 1.8 | 4.5 | 15.0 | 0.056 | 0.042 | 0.053 |
| 最大 | 4.71 | 99.3 | 1.9 | 11.1 | 0.06 | 0.29 | 4.0 | 0.63 | 1.2 | 5.1 | 11.3 | 0.046 | 0.026 | 0.042 |
| 最小 | 4.62 | 89.9 | 1.8 | 9.7 | 0.06 | 0.28 | 2.6 | 0.48 | 1.2 | 5.5 | 10.1 | 0.037 | 0.017 | 0.045 |
| 平均 | 5.73 | 316.0 | 8.3 | 62.2 | 0.31 | 0.99 | 28.4 | 4.4 | 9.2 | 15.6 | 35.4 | 0.15 | 0.19 | 0.11 |
| 最大 | 5.98 | 164.7 | 4.2 | 20.7 | 0.19 | 0.48 | 11.9 | 1.8 | 2.9 | 15.7 | 19.1 | 0.16 | 0.081 | 0.15 |
| 最小 | 6.35 | 195.4 | 3.4 | 16.3 | 0.22 | 0.48 | 11.1 | 1.3 | 2.0 | 11.6 | 14.3 | 0.19 | 0.045 | 0.17 |
| 平均 | 3.14 | 60.7 | 1.2 | 4.9 | 0.03 | 0.20 | 0.44 | 0.37 | 0.22 | - | 7.2 | 0.014 | 0.0076 | 0.024 |
| 最大 | 3.92 | 44.0 | 1.2 | 5.2 | 0.03 | 0.07 | - | 0.06 | 0.17 | - | 7.3 | 0.015 | 0.0044 | 0.022 |
| 最小 | 4.11 | 45.6 | 0.9 | 4.9 | 0.03 | 0.13 | - | 0.08 | 0.12 | - | 6.7 | 0.036 | 0.0042 | 0.019 |

※「-」は検出下限値以下

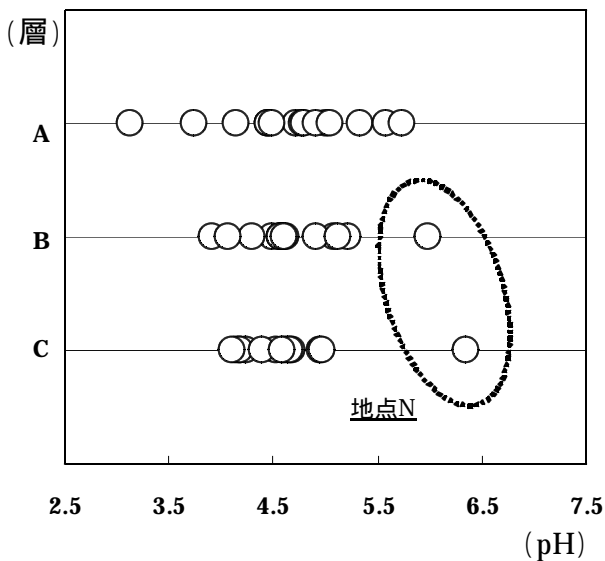


図1 - 1 層ごとにおけるpHの分布 (前回調査)

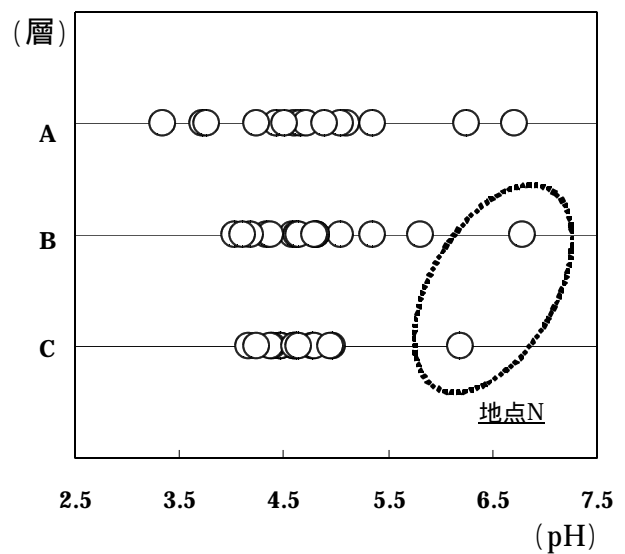


図1 - 2 層ごとにおけるpHの分布 (今回調査)

前回 (pH3.34 ~ 6.71) 及び今回 (pH3.14 ~ 5.73) とも広範囲に分布し、層が深くなるにつれ pH4.5付近に収束する傾向にあった。

また、各地点の層ごとに今回の値から前回の値の差を求め、その値の頻度分布を図2に示した。pHの差が -0.6以下に低下した試料は5つであった。そのうちの4試料はpHの低下がみられたものの、今回においてもpH5以上の比較的高い値を示していた。そして、1試料のみpH4.79から4.18に低下した。全試料をみると前回と比べpHの差が±0.6以内に入るものが大半であり、全体的にpHが低下する傾向はみられなかった。

3) 交換性陽イオン

各調査地点において層ごとに交換性陽イオンの濃度分布を図3に示した。上段に前回、下段に今回の結果を示し、各グラフの上部には交換性塩基 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) の濃度和、下部には交換性 H^+ , Al^{3+} の濃度和を示した。

層ごとの交換性陽イオンの平均濃度は、A層では $\text{Ca}^{2+} > \text{H}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 、B層では $\text{Ca}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 、C層では $\text{Ca}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{H}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ の順に高かった。いずれの層においても Ca^{2+} が最も高く、 Na^+ が最も低かった。この傾向は、日本の一般の森林土壌における交換性塩基の含量 ($\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$)⁹⁾ とほぼ一致した。

(1) CEC

土壌コロイド粒子によって陽イオンが吸着保持される能

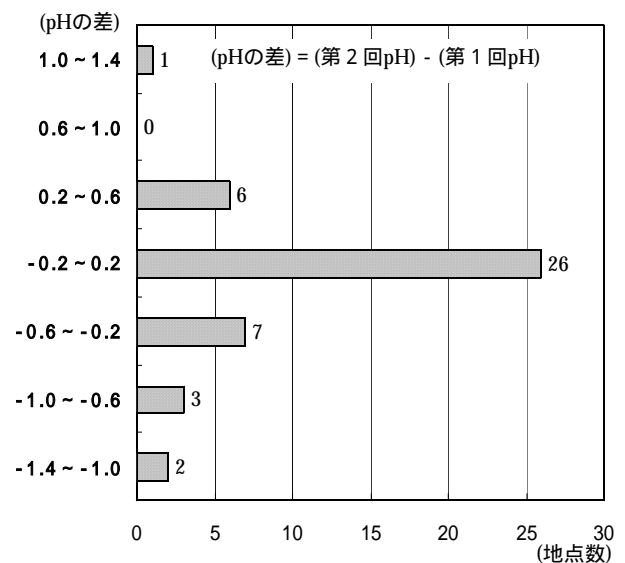


図2 土壌試料pHごとの今回と前回の差の頻度分布

力をCECと呼んでいる。極めておおまかな目安として、日本の森林土壌のCECは、10meq/100g(以下、この単位をme)以下か10~50meの場合が多い⁹⁾。本調査においても、10~50me前後を示す試料が大半であった。前回と比べて平均値などの著しい変化はなかった。また、前回高濃度(77me)であったS-2のA層は、今回も同様に高濃

度(77me)であった。

(2) 交換性塩基 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

土壌の CEC に対しどのくらい交換性塩基が吸着されているかを百分率で示す塩基飽和度を算出する場合、交換性 Na^+ は一般の土壌での含量が少ないため通常無視できる。本調査においても、交換性 Na^+ は各層の平均値が前回 0.06 ~ 0.09me, 今回 0.06 ~ 0.08me と他の交換性塩基に比べ低い濃度を示した。また、高い値を示した地点は、地点 S - 2 の A 層 (前回: 0.28me, 今回: 0.31me) と地点 J の B 層 (前回: 0.18me, 今回: 0.19me) 及び C 層 (前回: 0.25me, 今回: 0.22me) の 3 試料であった。

K^+ は窒素やリン酸とともに肥料の三要素といわれ、植物育成には欠かせない重要な成分の一つである。土壌中の K^+ は無機態として存在しており、その中の形態の一つである交換性 K^+ は植物に最も利用されやすい形態の水溶性 K^+ が含まれる¹⁰⁾。図 3 より A 層において高濃度を示す地点が多かった。また、今回の調査で最小値を示した 3 層はいずれも地点 R であった。

森林土壌の交換性塩基は一般には主としてリター層の分解によって供給されるものと考えられ、交換性塩基の含量は一般に下層ほど減少している。また、石灰岩を含む母材では交換性 Ca^{2+} 飽和度は 70 ~ 80% で、非石灰岩質の母材に由来する土壌の場合でも 40 ~ 50% と交換性塩基の中で占める割合が高く⁹⁾、土壌 pH を支配する因子の一つである。今回の調査地点においても、交換性 Ca^{2+} 濃度の増減が A 層 > B 層 > C 層の順に減少しており、特に木が密集してリター層が落ち葉で覆われていた 7 つの地点 M, T, P, Z, O - 2, H, Y においてはその傾向が顕著であった。それらの地点の Ca^{2+} 濃度も高かった。しかし、同様の条件下であった地点 S - 1, S - 2 では、今回 B 層と C 層においていずれも定量下限値以下であった。また、前回も 2 層は低い値 (S - 1: (B 層) 0.08me (C 層) 0.06me, S - 2: (B 層) 0.18me (C 層) 0.07me) を示した。

交換性 Mg^{2+} は前回に比べて特に著しい変化はないと考えられる。また、今回の調査では、地点 Z が 3 層とも最大値を示した。

(3) 交換性 H^+ , Al^{3+}

交換性 H^+ については、表 3 より平均値などをみると前回に比べて特に変化はないと考えられる。地点ごとにみると、地点 R, Z, O - 2 において 1.5 ~ 5.3 倍の濃度の増加がみられた。また、交換性 Al^{3+} は前回とほとんど変化がなかった。

交換酸度は、交換性 H^+ と Al^{3+} の濃度和で求めることができる⁷⁾。図 3 における各地点ごとの交換酸度と交換性塩

基の和を各地点の層ごとにみても、交換酸度が低い値のときには交換性塩基の和が高い値を示し、交換酸度が高い値を示すときには交換性塩基の和が低い値を示している。ただし、地点 S - 1, S - 2 においては、交換酸度が高い値のときには交換性塩基の和も高い値を示し、交換酸度が低い値のときには交換性塩基の和も低い値を示していた。

(4) 交換性塩基/交換性 Al^{3+} 比

陽イオン交換浸出力の強い降水中の H^+ が土壌にしみこみ、粘土鉱物に吸着されている交換性塩基と交換反応を起こして、陽イオン交換基に占める H^+ の割合が増大する。その結果、酸性が強まると粘土鉱物自体の構造が破壊され、 Al^{3+} が溶出して、交換性 Al^{3+} が増加する¹⁰⁾。このことより、土壌酸性化の指標として、交換性塩基と酸性陽イオンである交換性 Al^{3+} のモル濃度存在比 (以下、Ex-BC/Al モル比) が用いられている¹²⁾。そこで、各地点における Ex-BC/Al モル比を表 4 に示し、交換性塩基濃度より交換性 Al^{3+} 濃度の割合が高くなる Ex-BC/Al モル比 1.0 以下の地点を斜線で示した。前回の調査では、3 層中 2 層が 1.0 未満であった所が 8 地点存在し、今回では 7 地点存在した。これら Ex-BC/Al モル比が 1.0 未満を示した層では、pH では 3.14 ~ 4.73 と最低値を示した層から平均値程度の値を示す層まで広く分布していた。しかし、これらの層ではいずれも交換性塩基の濃度和が 4 me 以下であり、Ex-BC/Al 比が 1.0 以上を示した他の層に比べて Al^{3+} 濃度が高い値を示した。

特に、地点 S - 1 と S - 2 の 2 つの地点においては、各層の pH が低く、 Al^{3+} 濃度が著しく高かった (前回: 7.6 ~ 15me, 今回: 7.1 ~ 16me)。一方、前回の調査では Ex-BC/Al モル比が 3 層中 2 層において 1.0 未満を示し、今回の調査では 3 層とも 1.0 以上を示した地点 J は、前回に比べ交換性 Al^{3+} 及び Mg^{2+} の濃度にはほとんど変化がなく、交換性 Ca^{2+} 及び K^+ の濃度が増加したため、Ex-BC/Al モル比も増加する結果となった。

4) 有効態リン酸

土壌中で植物に吸収されるリン酸を有効態リン酸と呼び、その量はカルシウム型リン酸にほぼ匹敵する。水田や牧草地では数 ~ 数十 mg/100g の場合が多い¹⁰⁾。今回の調査では、数 mg/100g の地点が多く、10mg/100g を超えたのは地点 K と地点 R の 2 地点であった。また、地点 N では前回の 3 層の平均が 16mg/100g であったが、今回はその約半分 の 8.7mg/100g に減少していた。

5) 水溶性陰イオン

表 3 より平均値などをみると前回に比べて特に変化はないと考えられる。

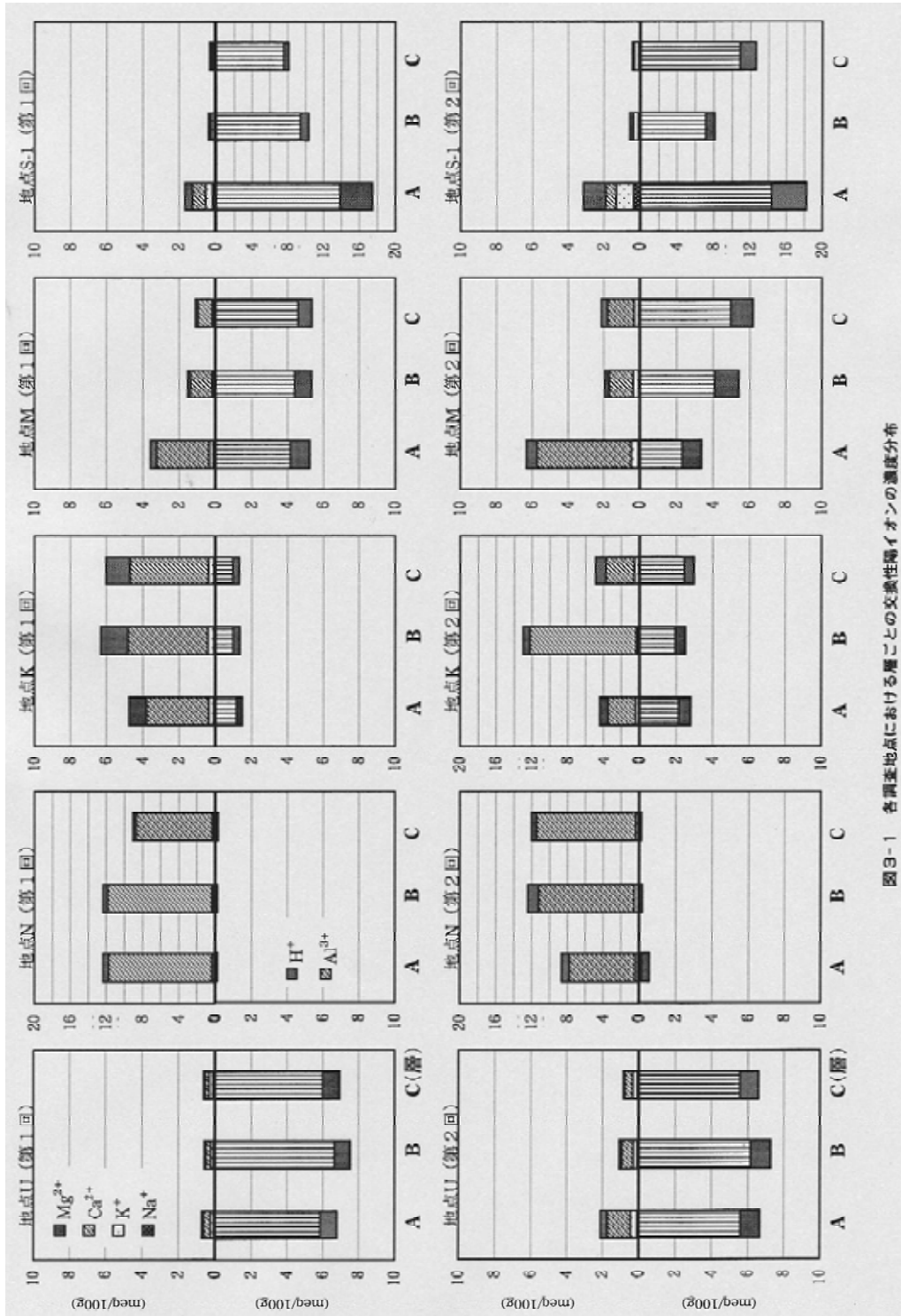


図3-1 各調査地点における層ごとの交換性陽イオンの濃度分布

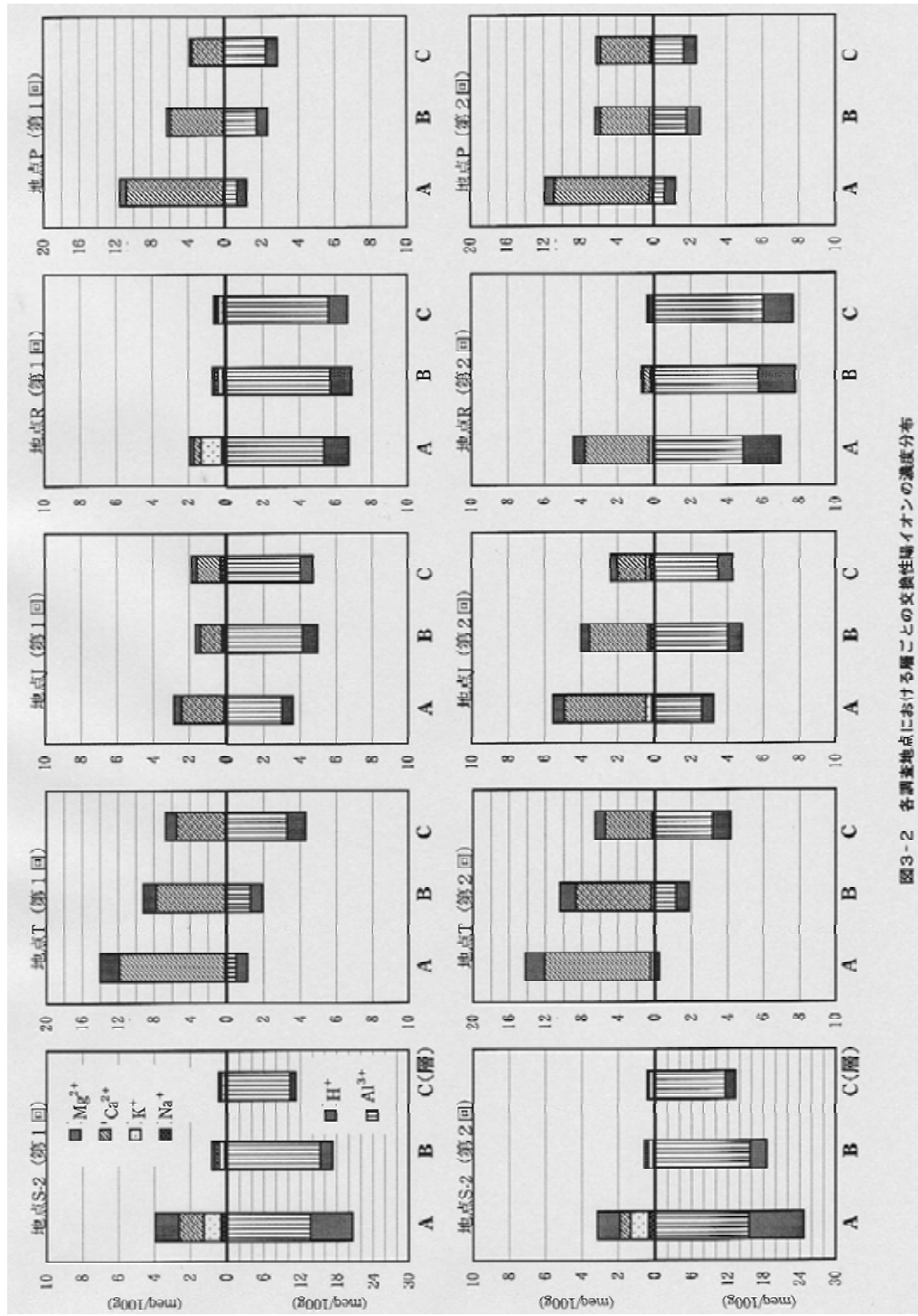


図3-2 各調査地点における層ごとの交換性陽イオンの濃度分布

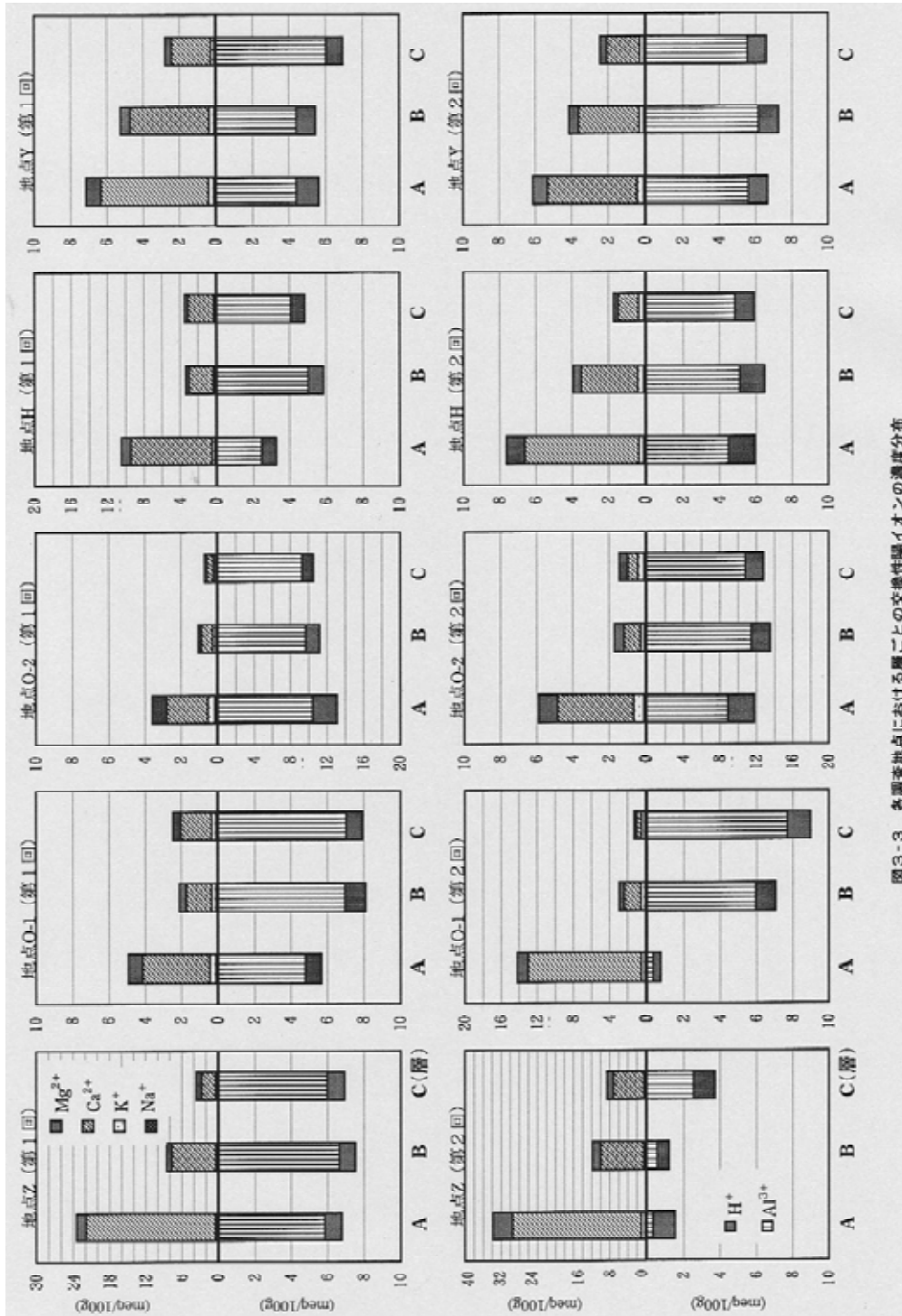


図3-3 各調査地点における層ごとの交換性陽イオンの濃度分布

表4 各調査地点における層ごとのEx-BC/Alモル比

| 層 | 調査地点 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | U | N | K | M | S-1 | S-2 | T | J | R | P | Z | O-1 | O-2 | H | Y | |
| 前回 | A | 0.2 | - | 6.6 | 1.3 | 0.2 | 0.5 | 43 | 1.4 | 0.8 | 27 | - | 1.6 | 0.6 | 6.5 | 2.5 |
| | B | 0.2 | - | 10 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 11 | 0.5 | 0.2 | 5.5 | 35 | 0.5 | 0.2 | 1.0 | 1.9 |
| | C | 0.2 | - | 10 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 3.1 | 0.6 | 0.2 | 2.5 | 1.8 | 0.6 | 0.1 | 1.3 | 0.7 |
| 今回 | A | 0.6 | 133 | 3.3 | 4.3 | 0.2 | 0.4 | - | 3.4 | 1.4 | 31 | 162 | 68 | 1.1 | 2.6 | 1.8 |
| | B | 0.3 | - | 10 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 14 | 1.5 | 0.2 | 5.6 | 33 | 0.9 | 0.2 | 1.2 | 1.1 |
| | C | 0.3 | - | 3.3 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 3.2 | 1.0 | 0.1 | 5.9 | 5.2 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.6 |

「-」は分母のAl³⁺濃度が検出下限値以下のため、比を表すことができなかったが、塩基性陽イオン類がAl³⁺に比べ極めて高い濃度であることを示している

2. 樹木衰退度調査

杉の衰退は、樹高成長の止まった老齢木でおきており、樹冠上層より枯損が始まる²⁾ため、樹高と幹囲と樹木の先端部の衰退度を調査した。樹木の先端部の衰退度には表5に示す5段階で衰退度を分類している樹形の衰退度評価基準⁶⁾を用いて評価を行った。しかし、この評価には経験など個人による誤差が大きくなるため、衰退度0と1を「健全～軽度」、衰退度2と3を「中程度」、衰退度4を「著しい」として、更に大まかに分類し3段階とした。

衰退度評価の結果を段階別に分布をとり、前回の調査と比較したものを図4に示した。前回の調査では調査対象とした木の本数は85本であったが、今回調査可能な木は78本であった。測定対象とした木の本数が減少したのは、根元より切り倒されたものや先端部分のみ切られたものがあったためである。また、測定不能になった木の多くは前回の調査において衰退度が高い値を示していた。したがって、調査地点全体で衰退しているという現象は、今回の調査ではみられなかった。

次に、調査対象とした木の樹高と幹囲を測定した結果の分布図を図5、6に示した。杉の樹高は30～40mになると成長が止まる¹³⁾が、測定が可能であった木については、樹高は高くなり、幹囲も大きくなっていった。これより分布図も山型のピークが右へ移動しており、成長していることがうかがえた。

3. 総評

今回の調査において、土壌の酸性化及び土壌酸性化が原因と考えられる樹木の衰退はみられなかった。しかし、植物への毒性の強い交換性 Al³⁺濃度が高い値を示し、樹木の生育障害が懸念される地点があった。また、Al³⁺溶出までの H⁺消費量（酸に対する土壌の耐性）は、土壌によって異なるが、Al³⁺濃度 5 ppm と10ppm をそれぞれ農作物と樹木の植物の生育障害濃度として、pH4.0の酸性雨で、溶出 Al³⁺濃度が 5 ppm を超える時間は10～30年であり、10ppm

表5 樹形の衰退度評価基準にもとづく衰退度評価一覧

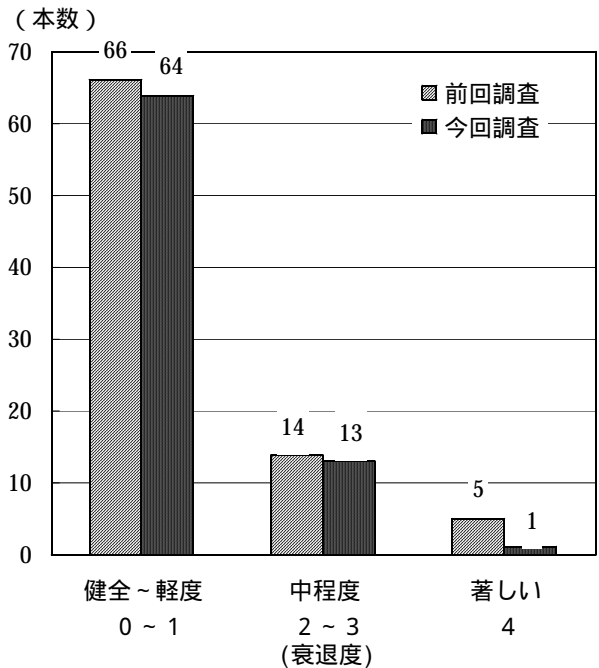
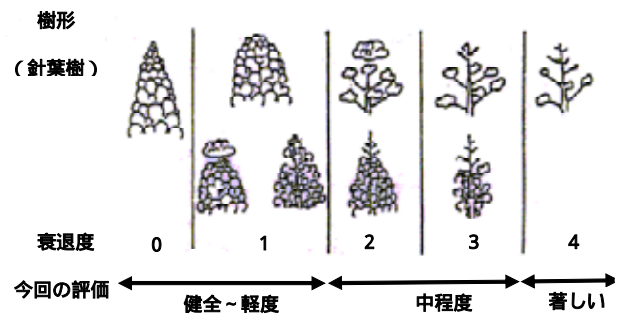


図4 衰退度評価による対象杉の衰退度分布

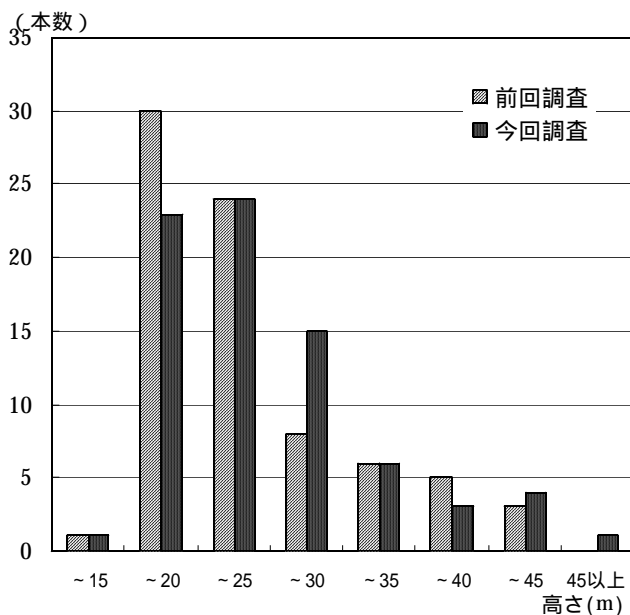


図5 調査対象とした杉の樹高分布

を超えるのは15~35年であると算出している¹⁴⁾。京都市においても、平成15年度には pH3.8~6.9の降水が観測されている(第2部 試験検査 8.環境公害に関する検査)ため、将来、土壌酸性化に由来する森林衰退がおこる可能性は否定できない。したがって、今後とも定期的かつ長期的に同様のモニタリングを実施して各種基礎データの蓄積を図り、土壌の特性の変化を明らかにすることが必要だと考えた。そして、長期的にモニタリングを実施するにあたり、調査樹木の減少を補うため新たな調査地点の設定、あるいは分析項目やその分析方法の改良による見直しなどの検討も必要であると考えた。

まとめ

京都市において、土壌酸性化の実態を長期的に把握することを目的として、平成4年度から4年間実施された樹木の生育とその周辺土壌調査の基礎データをもとに、平成14年度より二回目の調査を実施し、前回のデータとの比較検討を行い、更に長期的なモニタリングを実施していくために調査結果をまとめた。

(1) 樹木周辺の土壌調査については、顕著な pH の低下はみられず、交換性陽イオンでは交換性 Ca^{2+} 濃度が最も高く、交換性 Na^+ 濃度が最も低かった。各調査項目とも第1回調査の結果と大きな変化はみられなかった。しかし、第2回調査で Ex-BC/Al モル比が3層中2層において1.0未満を示し、交換性塩基類の濃度よりも交換性 Al^{3+} 濃度の

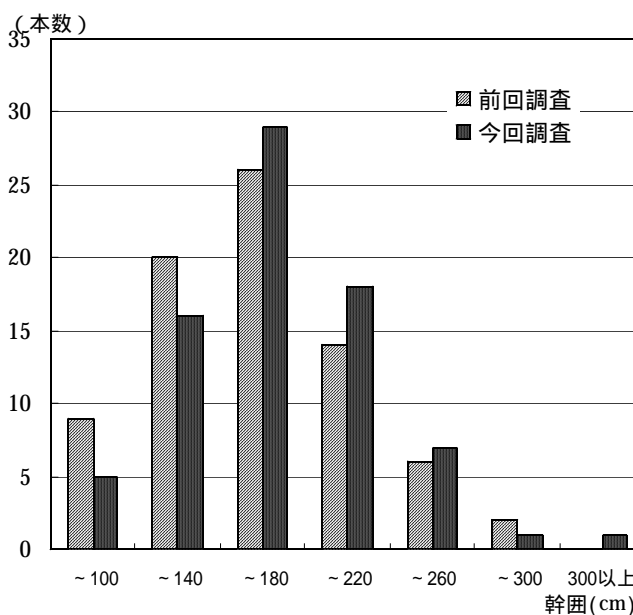


図6 調査対象とした杉の幹囲分布

割合が高い地点が7地点あった。

(2) 樹木衰退度調査については、多くの調査対象の杉は前回の調査からの衰退度の変化もほとんどなく、樹高も幹囲も数値が大きくなっており、成長していることがうかがえた。なお、切り倒されたりして、測定不能になった木が7本あった。

(3) 地点Sの2つの調査地点では、pH が最小値を示す層を含み地点全体として低い値であった。また、交換性塩基も4 me 以下で、交換性 Al^{3+} 濃度が著しく高いため、Ex-BC/Al モル比も0.5以下の低い値を示した。地点Sは、環境省の酸性雨モニタリング長期計画における陸水モニタリング調査地点周辺でもあり、特に重点的にモニタリングしていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 木村真人：土壌圏と地球環境問題，169-185，名古屋大学出版会，名古屋（1997）
- 2) 野内勇：酸性雨の農作物および森林への影響，大気汚染学会誌，25（5），295-312（1990）
- 3) 国土庁土地局：1 / 200,000土地分類図（土壌図）「京都市」，（1975）
- 4) 土壌標準分析・測定委員会：土壌標準分析・測定法，1-161，博友社，東京（1986）
- 5) 土壌養分測定法委員会：土壌養分測定法，29-119，養賢堂，東京（1991）
- 6) (社)海外環境協力センター：東アジア酸性雨モニタリングネットワーク モニタリングガイドライン・技術マニュアル-土壌・植生モニタリングのための技術マ

- ニユアル-, 1-46 (1997)
- 7) 環境省地球環境局環境保全対策課, 他: 土壌植生モニタリング手引書, 3-37 (2003)
 - 8) 京都府農林水産部農産流通課: 土壌・作物体・水質等の分析手引き, 14-125 (2001)
 - 9) 河田弘: 森林土壌学概論, 135-160, 博友社, 東京 (1989)
 - 10) 犬伏和之, 安西徹郎: 土壌学概論, 21-117, 朝倉書店, 東京 (2001)
 - 11) 鳥居厚志, 清野嘉之: 近畿地方の平地におけるスギ根元周辺の表層土壌 pH 低下, 大気汚染学会誌, **27**(6), 325-328 (1992)
 - 12) 酸性雨対策検討会: 酸性雨対策調査総合とりまとめ, 100-116 (2004)
 - 13) (社)日本化学会: 身近な地球環境問題-酸性雨を考える-, 114-141, コロナ社, 東京 (1997)
 - 14) 大羽裕: 酸性雨が土壌の化学性に及ぼす影響と本邦土壌の酸中和能の評価, -文部省「人間環境系」重点領域研究-G028「酸性雨が陸上生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討」, 113-131 (1990)