

東京都環境科学研究所

No. 10

ニュース

東京都における酸性雨の現状

地球環境問題の一つとして、欧米では、酸性雨による湖沼の酸性化や森林の衰退、文化財への被害等が問題となっています。

酸性雨による環境影響は、長期間にわたる累積的な作用により生じ、一度被害が発生したら、その回復は非常に困難であるという特徴があります。したがって、酸性雨対策のためには、被害が顕在化する前から、酸性雨の実態把握を行うとともに、生態系や建造物に及ぼす影響を調査することが重要となります。

このため、当研究所では、所内に「酸性雨問題調査研究プロジェクト」を設け、1990年度から1995年度にわたり、図1に示すような体系で調査研究を実施しました。

今回は、この調査結果の概要を報告します。

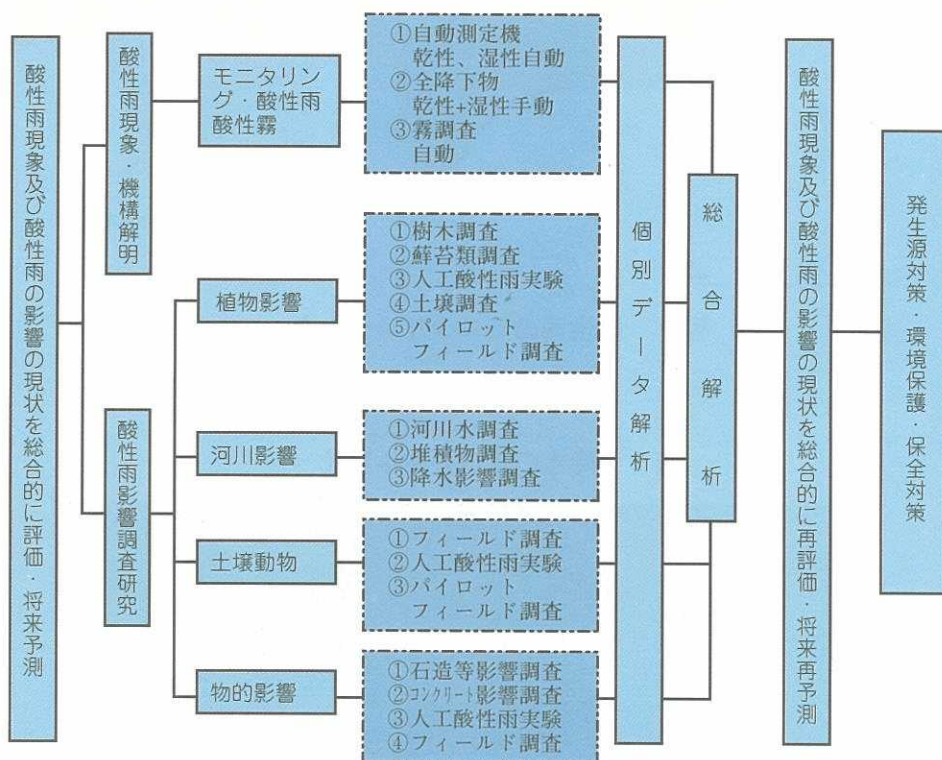


図1 酸性雨の研究体系

1 モニタリング結果

(1) 酸性雨のモニタリング

酸性雨^{*1}のモニタリングは、山梨県の一之瀬を含む9地点で実施しました(図2参照)。

モニタリング結果によれば、降水の酸性度(pH)は、表1に示すように、4.4~5.4の範囲にあり、経年的に見て、ほぼ横ばいの状況です。酸性雨とは、pH 5.6以下の降水を指しますので、東京都の全域で酸性雨が観測されていることとなりますが、全国平均値も4.7(全国公害研協議会^{*2}の調査結果：1991~1993年度)であり、レベル的には他の地域と同様な状況です。

降水の酸性化は、主として、硫酸イオン(SO₄²⁻)と硝酸イオン(NO₃⁻)に起因しますが、表2における各地点の状況を見ると、SO₄²⁻濃度は江東や葛飾が高いのに対し、NO₃⁻濃度は多摩地域の方が高くなっています。NO₃⁻濃度が、汚染源の少ない多摩地域で

高いのは、都心部や湾岸部で自動車等から発生する窒素酸化物(NO_x)が風により内陸へ輸送される過程で、光化学オキシダントにより酸化されNO₃⁻になり、降水に取り込まれるためと考えられます。

SO₄²⁻とNO₃⁻の降水の酸性化に対する寄与は、当量換算^{*3}NO₃⁻/SO₄²⁻濃度比で比較できますが、表2から分かるように、葛飾や江東はNO₃⁻の寄与がSO₄²⁻の約半分であるのに対し、多摩地域は全般にNO₃⁻の寄与が大きく、檜原ではSO₄²⁻とほぼ同等になっています。

全国公害研協議会の調査結果(1991~1993年度)によると、関東・甲信・静地区の当量換算NO₃⁻/SO₄²⁻濃度比は0.63と、全国平均0.38と比べ大きく、相対的にNO₃⁻の寄与が大きいのが特徴となっていますが、多摩地域は、その中でも寄与の大きい地域の一つとなっています。



図2 酸性雨のモニタリング地点

表1 降水のpHの経年変化

年度	千代田	奥多摩	一之瀬	江東	武蔵野	多摩	福生	檜原	葛飾
1990	4.9	5.2	5.4	5.3	4.9	5.0	4.6	4.9	
91	4.5	4.9	4.9	4.7	4.6	4.7	4.5	4.4	
92	5.0	4.8	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.8	4.6
93	5.1	4.7	5.1	4.9	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9
94	4.7	4.7	4.8	4.7	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8

注：① 1992年度以降の江東、武蔵野、多摩、福生、檜原、及び葛飾は、酸性雨自動測定機で分取した試料の手分析結果
② その他は、ろ過式採取器(ポリ製、簡易採取器)を使用

***1 酸性雨**

雨水は、空気中の炭酸ガスが溶け込んでいるため、pHは、通常でも、やや酸性となり、5.6を示します。酸性雨とは、硫酸や硝酸のような酸性物質が溶け込んだため、pHが5.6以下になった雨を指します。

酸性雨の植物等への影響については、酸性雨に加えて、ガスや粒子状の酸性物質を含めた全降下物で検討する場合と、酸性雨の範囲をより広く捉え、光化学オキシダントのような酸化性物質を含める場合もあります。

本調査では、全降下物を対象に、酸性雨の影響を検討しました。

***2 全国公害研協議会**

都道府県、政令都市等の地方公害試験研究機関で組織されている全国組織体です。

***3 当量換算NO₃⁻/SO₄²⁻濃度比**

硫酸イオンと硝酸イオンの濃度比を、酸として同一の働きをする量（当量）に換算したときの濃度比です。

(2) 酸性霧のモニタリング

酸性霧のモニタリングは、青梅市の御岳山で実施しました。表3のモニタリング結果によれば、pHは3.1~5.6 (pH平均値: 4.3) であり、全般的にみて表1に示した降水より酸性化していました。

霧水と全降下物中の化学成分濃度を比較しますと、霧水は、全降下物に比べて化学成分濃度が高く、特に、SO₄²⁻やNO₃⁻のような酸性成分が、アンモニウムイオン (NH₄⁺) やカルシウムイオン (Ca²⁺) といったアルカリ成分よりも濃縮されており、これが低pH化の原因と考えられます (表3参照)。

なお、今回観測された霧水のpH範囲では、ポプラの酸性雨暴露実験や既存資料等からみて、樹木への直接的影響はないと考えられます。

2 自然環境への影響

(1) 都市植物の生育実態と酸性雨

酸性雨の植物への影響を調査するために、①公園や社寺等におけるスギやケヤキ、蘚苔類などの生育実態、②樹林内における酸性物質の降水量等の把握、③ポプラや蘚苔類の酸性雨への暴露・浸漬実験等を実施しました。

調査の体系及び結果の概要は、図3に示すとおりです。

調査結果によれば、スギは、①東部地域において衰退が激しく、胸高直径30cm以上の個体はほとんど存在しないこと、②西部地域でも衰退が広がっており、

表2 降水中のSO₄²⁻、NO₃濃度

(単位: mg/l)

	葛飾	江東	武蔵野	多摩	福生	檜原
A SO ₄ ²⁻	1.62	1.77	1.55	1.37	1.52	1.03
B NO ₃ ⁻	1.05	1.28	1.47	1.45	1.59	1.27
B/A×0.774	0.50	0.56	0.73	0.82	0.81	0.95

注: ① 1992~1994年度の平均値 (酸性雨自動測定機で分取した試料)

② B/A×0.774は、当量換算NO₃⁻/SO₄²⁻濃度比

表3 化学成分濃度の比較 (御岳山)

(単位: mg/l)

	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺
全降下物	4.9	2.1(1)	3.8(1)	1.6(1)	1.2(1)
霧水 (平均値)	4.3	8.0(3.8)	12.3(3.2)	4.4(2.8)	2.7(2.3)
霧水 (最低pH)	3.1	294 (140)	430 (112)	92.5(58.9)	51.5(44.4)

注: () 内は、全降下物濃度に対する霧水濃度の比

都市化が進んでいる地域では、山沿いでも局地的な衰退がみられること、が確認されました。

一方、ケヤキの樹勢や蘚苔類の分布は、二酸化硫黄(SO₂)濃度の改善により回復傾向にあり、ポプラの酸性雨暴露実験もpH3で影響はありませんでした。

また、その他の調査でも、酸性雨の直接的影響を示唆する結果は得られませんでした。樹林は酸性物質を沈着しやすく、将来、林床土壌の酸性化をもたらす

可能性もあることがわかりました。

スギの衰退原因は、調査結果からみて、酸性雨の直接的な影響によるものではなく、都市化の進展等に伴う大気の乾燥化や、光化学オキシダントの影響によるものと推定されます。

なお、図4に、樹木に着生する蘚苔類の種数分布の回復状況を示します。

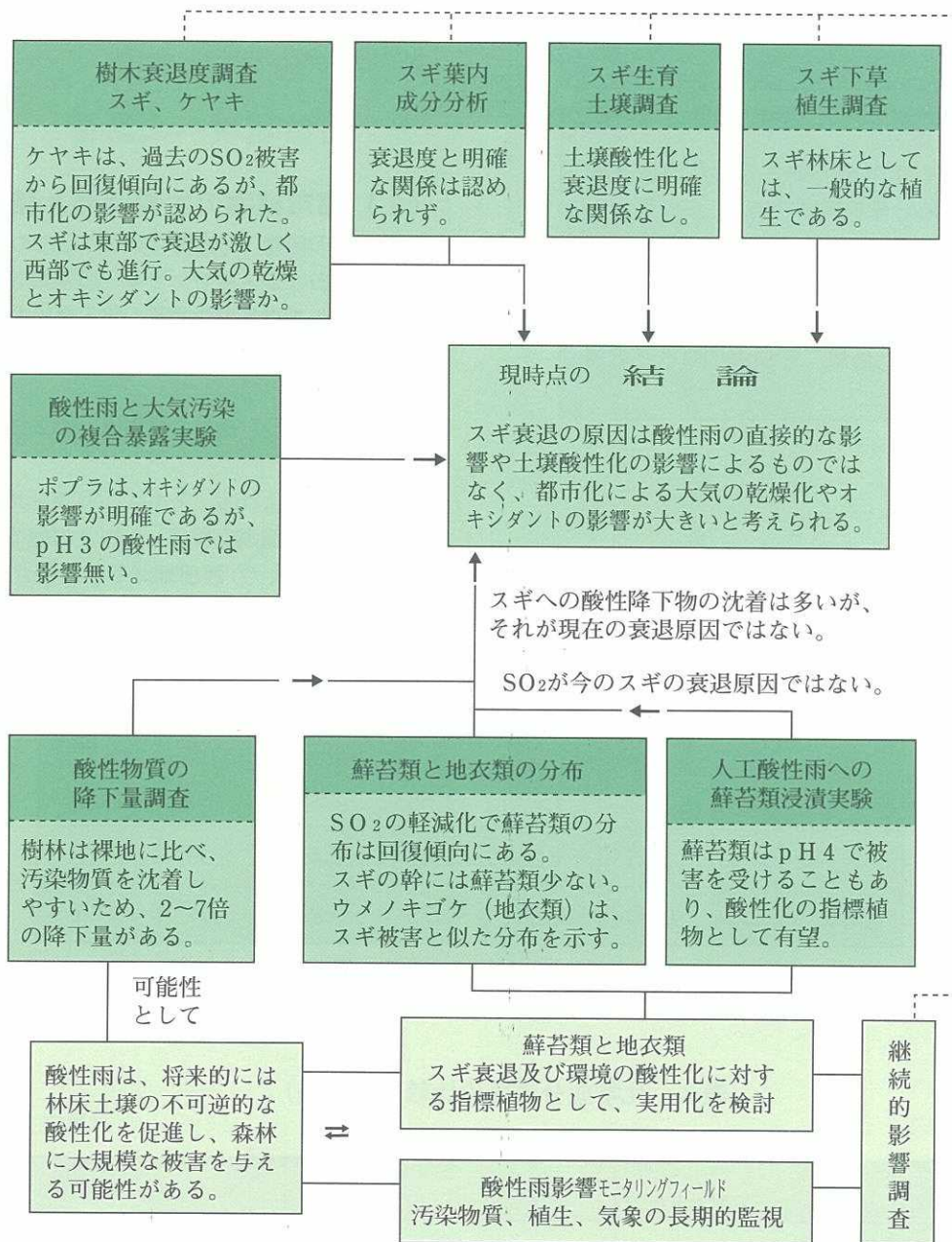


図3 都市植物の生育実態と酸性雨に係る調査研究結果概要図

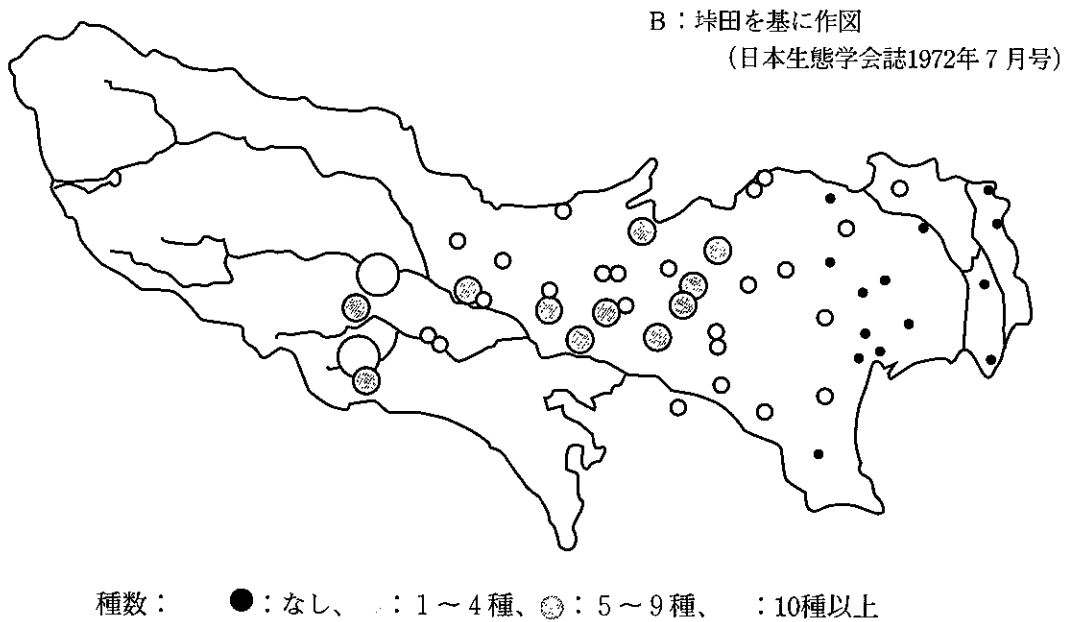
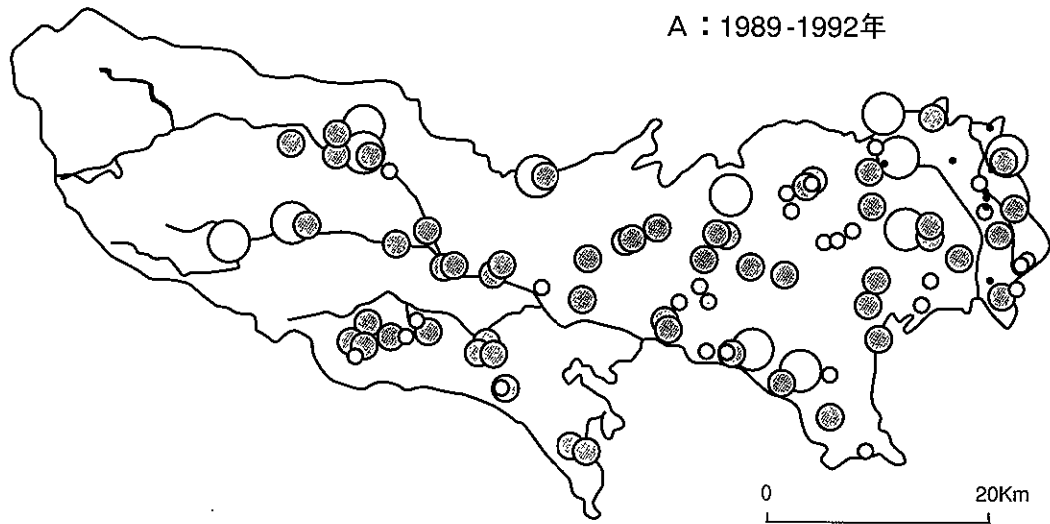


図4 着生蘚苔類の種数分布の変化

(2) 河川への影響

酸性雨の河川への影響については、人為的な汚染レベルが低いため、酸性雨の影響が比較的現れやすいと考えられる多摩川水系の上流域の河川（主として奥多摩湖流入河川）を対象に調査を実施しました。

調査の結果、現時点では酸性化している河川はなく、既存データ（過去30年）の解析結果からも、pH、アルカリ度⁴の低下傾向は認められませんでした。

また、地質的にみて、酸性雨の影響を最も受けやすい花崗岩地域でも、降水は土壌と接触すると、急速に中和されるため、激しい降雨時でも河川水のpH、アルカリ度はほとんど低下しませんでした（図5参照）。

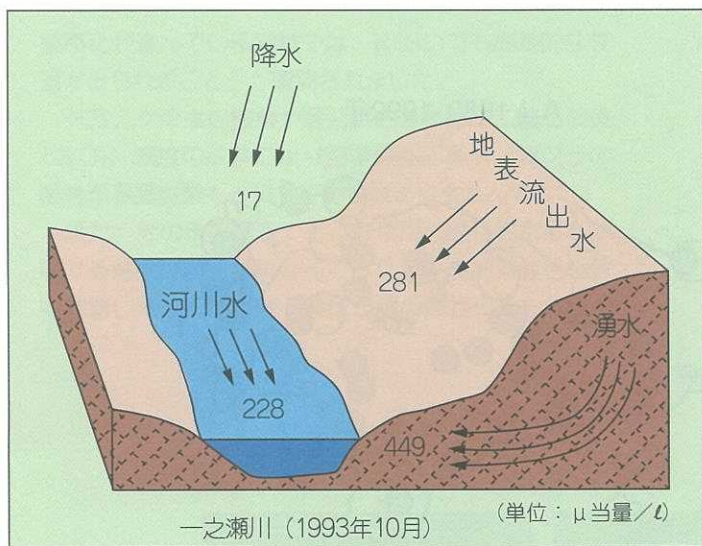


図5 降雨時のアルカリ度の比較

***4 アルカリ度と緩衝能力**

アルカリ度とは、水に溶けている炭酸塩や水酸化物などのアルカリを、所定のpH（この場合pH4.8）までに中和するのに必要な酸の量を示します。

したがって、酸性雨のpHが4.8以下であれば、アルカリ度は0になり、地下水のように、土壤中の炭酸塩等が溶け込んでいる水はアルカリ度が高く、酸の影響を受けにくくなります。

土壤が、その中に含まれる炭酸塩等の働きにより、酸性雨を中和し、その影響を和らげる能力を緩衝能力といいます。

(3) 土壤動物への影響

自然保全地域と都立公園内のコナラを中心とする二次林で、土壤pHと土壤動物の関係を調査しました。調査結果によれば、土壤pHは4.6～6.7の範囲でしたが、このpHの範囲のなかでは、pHが低くても土壤動物群集は貧弱にはならず、逆に種類数や個体数が多くなる傾向にありました（図6参照）。

また、土壤を硫酸処理し、サクラミズに対するpHの影響の程度を調査してみましたが、この結果から、土壤のpHが4以下になることは、サクラミズの生息にとっては適当と言えないことが推定されました。

3 建造物への影響

(1) モニュメントへの影響

石像や銅像等のモニュメントについて、酸性雨による被害の実態を調査しました。

調査対象は462件でしたが、モニュメントは設置後20年から30年以内と比較的新しいものが多いこともあり、損傷程度大と認定されたものは11にとどまりました（表4参照）。

なお、モニュメントのうち銅像について、腐食生成物を分析した結果、新しいモニュメントからは制作時に使用される滑石が認められ、古いものからは塩基性硫酸銅が同定されるなど、腐食生成物の組成から年代的な損傷過程を明らかにすることができました。また、メンテナンス（年1回程度の水洗い、拭き取り）の有無によって、損傷の程度が相当異なることも示唆されました。

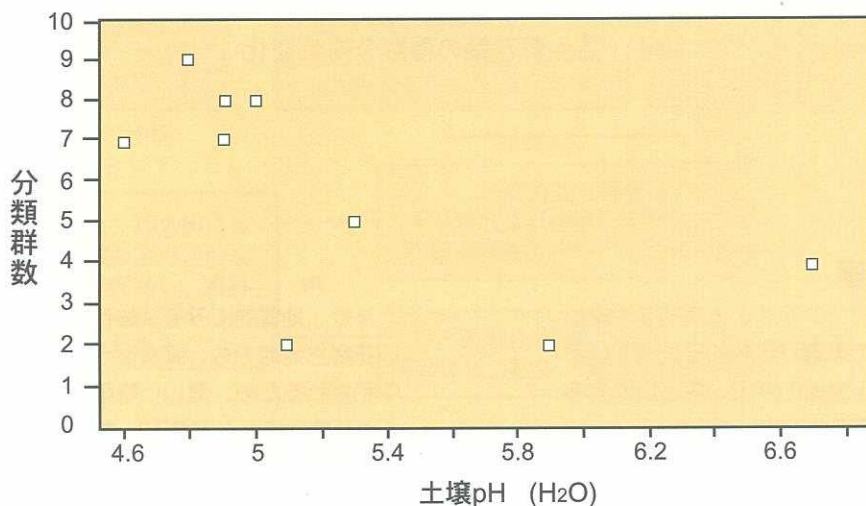


図6 分類群数（種類数）と土壤pHの関係

表4 石像等調査結果

区 分	調 査 対 象 数		
	平成 2 年度	平成 3 年度	合 計
	都立高校 都立公園	区立・市立 公園等	
花崗岩系	8 (0)	66 (0)	74 (0)
大理石	2 (0)	4 (0)	6 (0)
その他の石	8 (0)	53 (2)	61 (2)
コンクリート	20 (1)	7 (0)	27 (1)
青銅・銅系	43 (6)	176 (2)	219 (8)
鉄・鋳鉄	6 (0)	23 (0)	29 (0)
その他の金属	8 (0)	28 (0)	36 (0)
その他の材料	1 (0)	9 (0)	10 (0)
合 計	96 (7)	366 (4)	462 (11)

注 : () 内は状痕または損傷の激しい数。

(2) 建築物や建造物への影響

コンクリート製の公共の建築物や橋等の構造物についても、酸性雨の影響調査を実施しました。

調査結果によれば、圧縮強度等には問題がなく、建築物や構造物としては健全であり、酸性雨の影響は認められませんでした。しかしながら、X線分析結果や水溶性化学成分の抽出結果等を見ると、酸性雨の影響が示唆されており、長期的には、コンクリートの劣化等をもたらす可能性も考えられます。

(3) 材料暴露実験

材料の劣化と酸性雨との関係を検討するため、①大理石、モルタル、白セメントの試験片を用いて大気暴露実験を行うとともに、②これらの材料に青銅（ブロンズ）を加えて人工酸性雨（硫酸又は硝酸水溶液）暴露実験を行いました。

これらの暴露実験から、次のことがわかりました。

① 大気暴露実験により、試験片の構成成分である Ca^{2+} 等が溶出し、その量が累積的に増加していることが認められました（図7参照）。

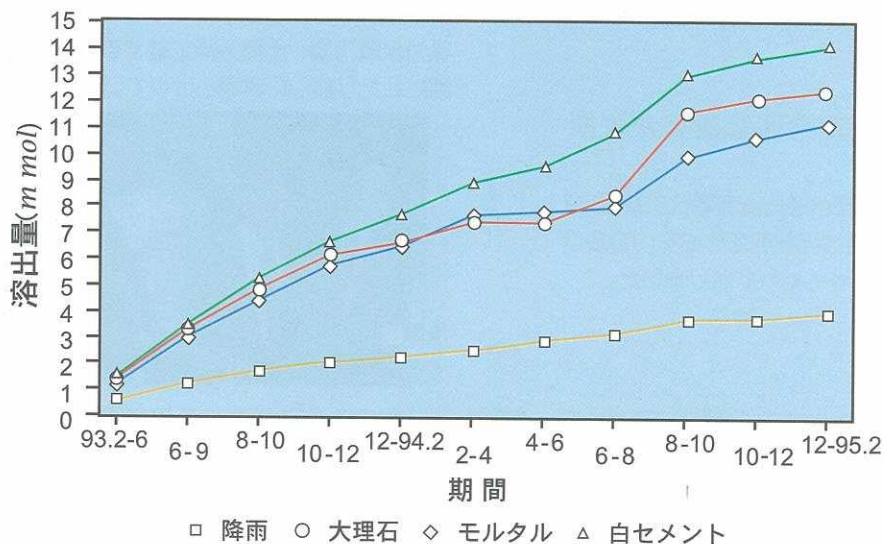


図7 Ca^{2+} 成分溶出累積量の経月変化

3 NOx削減量の試算

この方式が都内のディーゼル車に採用されたと仮定した場合の、都内の自動車から排出されるNOxの削減量の推定を行いました。

この場合のNOx削減量は、年間1,520トンと推定され、都内の自動車から排出される年間の総排出量52,200トン（平成2年度推定値）の約3%に相当することが判りました。

表2

削減量の試算結果

車種	削減量 (トン/年)	削減率 (%)
バス	110	6.1
小型貨物	280	3.9
普通貨物	990	6.5
特種車	140	6.4
合計	1,520	2.9

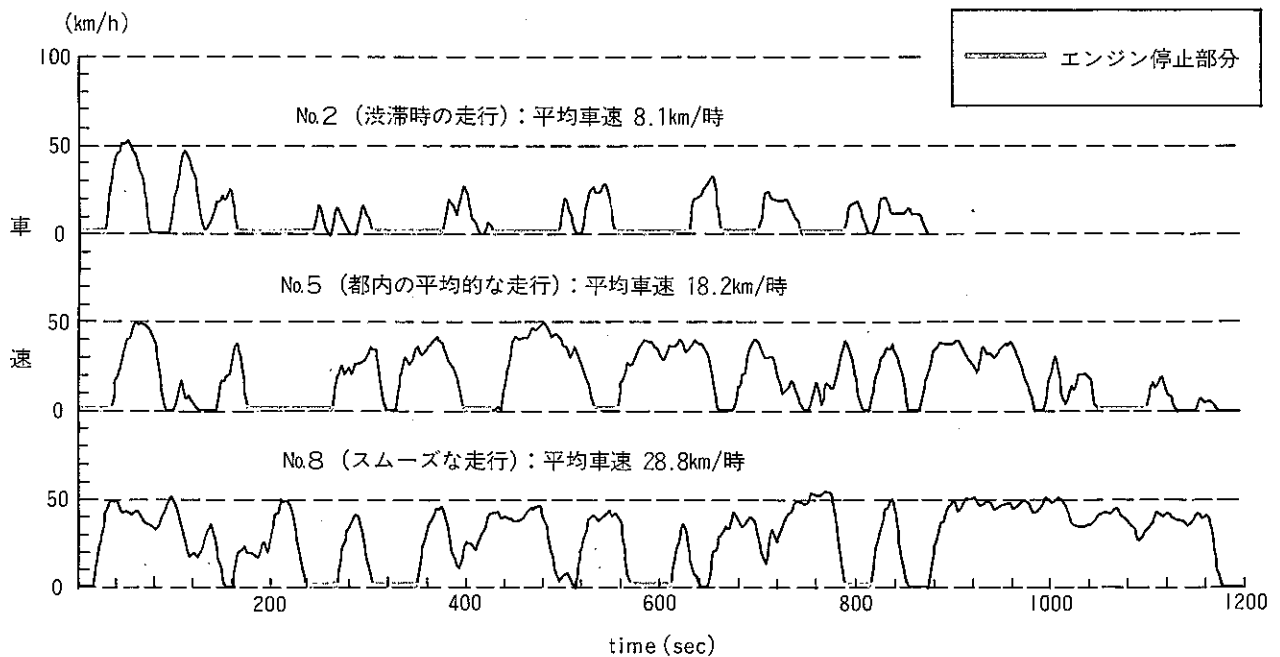
これは、東京都の環境管理計画において定めた平成12年度目標を達成するための必要な削減量のうち、低公害車の普及促進による1,700トンにほぼ匹敵する削減量です。

更に、燃料消費量の低減にも役立つので、この方式を採用すると、自動車の所有者にも多大な利点が生ずることから、早期の実用化が期待できるものと考えています。

現在、この研究結果を基に、自動車メーカーでアイドリング時の自動ストップ・スタート装置が開発され、東京都交通局では、これを都営バスに試験的に導入しています。



装置を取り付けた都バス



東京都実走行パターンNo.2、No.5、No.8とエンジン停止部分