

降下物の化学組成から評価される 多摩川流域の大気環境

—降下物捕集体としての杉の樹皮を用いた大気環境評価—

1985年

鶴見実

東京工業大学院総合理工学研究科助手

目 次

1. はじめに	1
2. 試料の採取	1
2-1 降下物の採取	1
2-2 杉の樹皮の採取	1
2-3 試料の採取地区	2
3. 試料の分析	3
3-1 降下物の分析	3
3-2 杉の樹皮の分析	5
4. 結果と考察	5
4-1 降下物の分析値とその特徴	5
4-2 原子吸光法と放射化法とによって得られた杉樹皮の分析値の比較	6
4-3 杉樹皮の分析値の化学的特徴	7
4-3-1 杉の樹皮の分析値と河口から樹皮採取地点までの距離との関係	7
4-3-2 多摩川の上流、中流、下流域における杉の樹皮の特徴	7
4-3-3 杉の樹皮に含まれる元素間の相関	8
4-3-4 杉の樹皮の分析値を $A1 = 1000$ に規格化した時に見出される特徴	8
4-4 Al、Ca、Pbを用いた杉の樹皮中の全化学元素濃度の説明	9
4-5 杉の樹皮中の化学元素の起源 Self-consistent な最小自乗法解析による起源の推定	9
4-6 杉の樹皮を用いた多摩川流域の大気環境評価	10
5. おわりに	10

1. はじめに

近年PbやVなどの重金属元素が人間活動からかなりの量発生し、我々の環境を汚染していることがわかってきた。^{1),2)} これらの重金属元素のいくつかは人間の肺に容易に入りこむ小さな粒径の粒子³⁾として大気中を浮遊し落下してくる。Pbは特に遠方に運ばれる元素として知られており、南極の大気中にも他の金属元素に比べて多量に検出されている。都民のオアシスと呼ばれている奥多摩地域に大気汚染物質は飛来しているのか。多摩川の中・下流域は奥多摩に比べてどのくらい汚染しているのか。そして流域に降下する汚染物質はどのようなものなのか。これらのことを知る目的でこの研究ははじめられた。

大気汚染はNO_x、SO_xなどの気体による汚染が一般によく知られている。しかし液体や固体で降下してくる元素や化合物についてはまだ十分に知られていない。金属元素による大気汚染についてのいままでの研究は、エアサンプラーなどの大がかりな装置を用いて大気中の粉じんを集めて分析する方法や、降水を捕集して水にとけている元素を分析する方法がとられてきた。⁵⁾ しかしながら雨水にとける元素ととけない元素のすべてをあつめて分析した例は少ない。そこでここでは大気から地上へ降下してくる雨水や粉じんをまとめて降下物と呼ぶことにし、その降下物をすべて分解して、そこに含まれる化学元素を分析する。

さらに、いままでの研究から杉の樹皮が大気からの降下物を長い期間にわたってよく捕集していることを見出している。⁶⁾ 大気汚染のすすんだ環境に生えている杉の樹皮は、大気の清浄な環境にある杉の樹皮の10倍以上も金属元素を含んでいることが明らかになっている。杉の樹皮は大気中の粉じんの効果的な捕集体であり、長期間の大気環境を平均化した採取の簡便な試料である点がエアサンプラーよりも有利である。これらの知識をもとにして、杉の樹皮によってどのように大気環境が評価できるのかを解明し、いままであまり調査研究されなかった多摩川流域の大気環境を把握する。

2. 試料の採取

2-1 降下物の採取

雨水や粉じん等の大気から降下し採取ビンに捕集されるすべての物質をここでは降下物とよぶ。降下物の採取には500 mlポリエチレンの広ロビンを用い、地表から1.2 mの高さに設置した(写真1)。ビンのくちにはポリプロピレン製のネット(18メッシュ)をかぶせて落葉や昆虫類の混入を防いだ。降下物は1カ月間、採取地点に捕集ビンを設置して採取した。

2-2 杉の樹皮の採取

杉の樹皮は一つの採取地点での大気汚染状況を見積るために、道路、工場などの明らかな汚染源から

十分はなれた緑地の中心部にある、こけの付着していない杉の木から採取した。ほとんどの杉の樹皮試料の採取は、胸の高さの部分から行った。採取量は外気にさらされた外側の樹皮（外樹皮と呼ぶ。これ以後誤解をまねかない限り、外樹皮を樹皮と言う）から1gを採取した。杉の外樹皮は自然状態ですでに一部がはがれている（写真2）。杉の木をいためることなく、特別の用具を用いずに樹皮を採取できる。採取部位の方位は、試料名におおのE、W、S、Nと付して東・西・南・北を表わし、特に記載のないものは各方位から一様に採取した。いままでの研究で、局地的に明らかな汚染を受けた樹皮の組成は採取する方位のちがいによる差が著しいことが明らかである。そこで多摩川の中・下流域では採取した樹皮が局地的汚染を受けていないことをたしかめるために1本の木の4つの方位から採取した。また1本の木から4つの試料を採取することによってその木の分析値に対する信頼性を高めることができる。

多摩川上流の山岳地域では特に1本の木の方位にはこだわらず、採取地点の標高のちがいをみるために7本の杉の木を対象とした。下流域の長津田町では1本の木の採取高さの変化を見るために地表面上1.5mから15mまでの10試料を採取した。樹皮を採取した杉の樹令はおおよそ10～50年であった。採取した樹皮は数年の大気環境を反映していると考えられる。

2-3 試料の採取地区

杉の樹皮41試料と降下物39試料を採取したすべての地区を図2-3-1に示す。試料採取地区は多摩川の上流から下流に位置する次の8地区である。

1. 奥多摩・三頭山北斜面
2. 奥多摩・惣岳山南西斜面



写真1. 降下物捕集用ポリエチレンビン

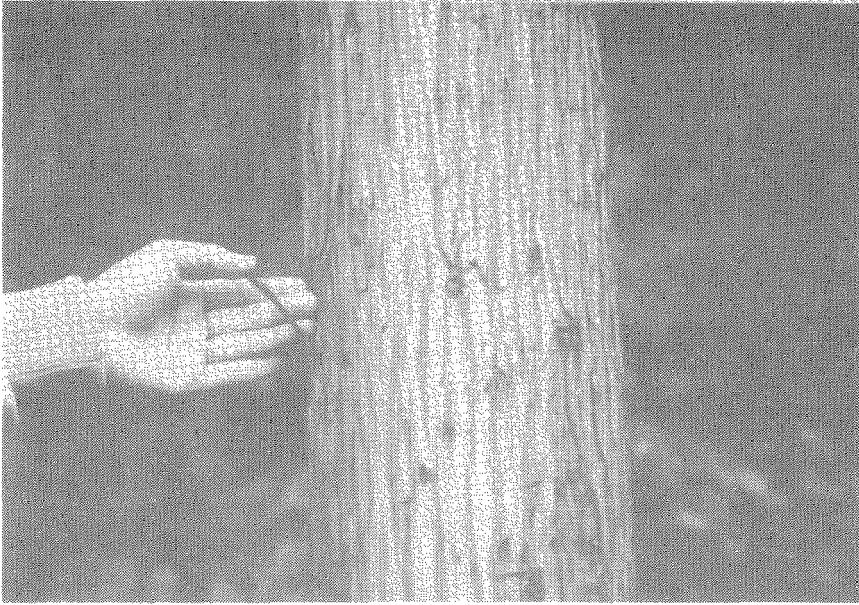


写真2. 杉の樹皮

3. 青梅・上長淵神社
4. 八王子セミナーハウス敷地内
5. 百草園・百草八幡神社南
6. 横浜・緑区三保町伐採地
7. 東高根森林公園園地
8. 獅子カ谷市民の森

8地区の17採取地点のうち、奥多摩三頭山のOKTM-8の試料採取地点は奥多摩有料道路の100m以内であるが、他のすべての地点は明らかな人為的汚染源（例えば交通量の多い自動車道路、工場、鉄道等）から100m以上はなれた地点である。

3. 試料の分析

3-1 降下物の分析

500ml 広口ポリエチレンビンに捕集した降水物の一部（うわずみ 20 ml）はそのままイオンクロマトグラフ法を用いてCl、Br、NO₃、SO₄を定量した。残りの試料はすべてポリビンを洗った硝酸とともに磁性蒸発皿に移してホットプレート上で乾固し、残留物を硝酸 4 ml、フッ化水素酸 10 ml とともにテフロン容器（写真3）中で140℃、4時間加熱して分解した。得られた溶液はテフロンビーカー中

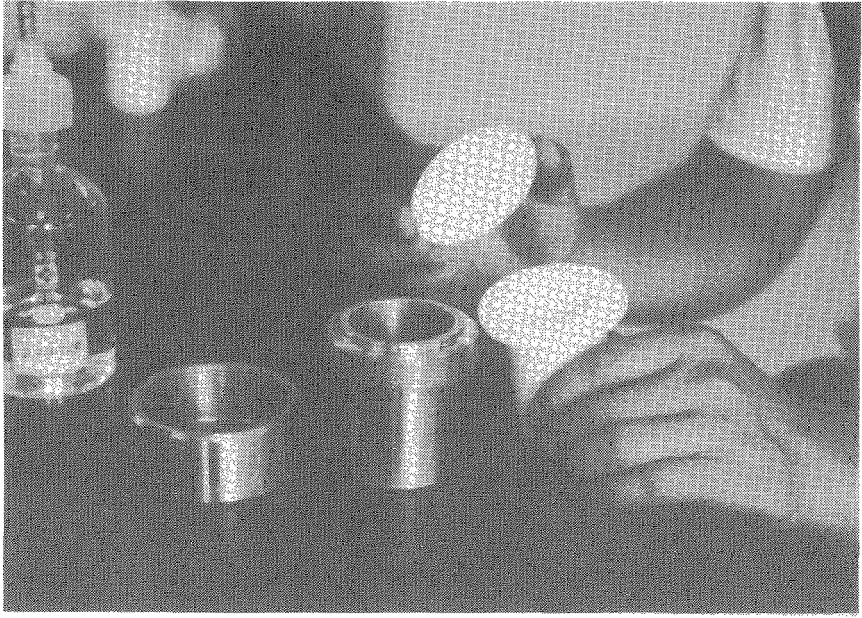


写真3. テフロン製分解容器

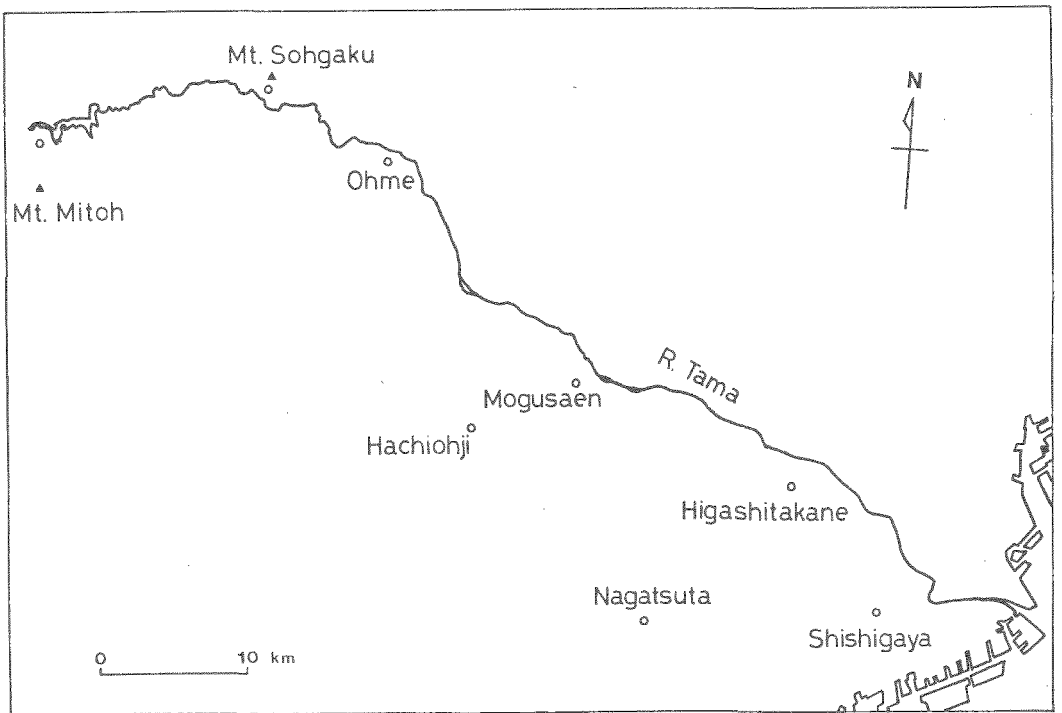


図2-3-1 降下物と杉の樹皮試料の採取地点。

で乾固し、塩酸に溶解して希釈した後、原子吸光法により分析した。分析した元素は Na、K、Mg、Ca、Fe、Mn、Zn、Cu である。

3-2 杉の樹皮の分析

採取した樹皮試料はシール付ビニール袋に密封して持ち帰り、85℃で一夜乾燥後、粉末化して茶色の試料ビン中に保存した。試料ビンから試料を0.2g秤り取り、硝酸10ml、フッ化水素酸4mlとともにテフロン製容器中で140℃、4時間加熱して分解し、完全に溶液化した。得られた溶液をテフロンビーカーに移しホットプレート上で乾固し、残留物に0.5ml塩酸を加えた後再び乾固して残留物を2mlの1:10塩酸に溶解し20mlのメスフラスコに移す。この溶液を適当に希釈し原子吸光法により試料中のNa、K、Mg、Ca、Al、Fe、Mn、Zn、Pb、Cu、Ni、Crを定量した。

また別に0.15gの試料をとり中性子放射化法によってNa、K、Ca、Mn、V、Cl、Br、Iを定量した。放射化分析は、気送管を用いた場合は炉心で2分間試料を照射し、また照射溝を用いる場合は2時間試料を照射した。前者の場合はNa、Ca、Mn、V、Cl、Iを、後者の場合はNa、K、Brを測定した。放射化分析のデータ解析は武蔵工大原子力研究所のGAMA SYSTEMを用いた。

4. 結果と考察

4-1 降下物の分析値とその特徴

降下物の分析値を表4-1-1~3に示す。まず奥多摩で捕集した降下物中の金属元素に注目して空地と林内、そして全体の平均値を計算すると表4-1-4のようになる。平均値をみるとZn以外のほとんどの元素が明らかに林内で多いことがわかる。特に林内で降下量の多い元素はK、Ca、Mn、Cuである。林内に降下するこれらの元素の起源として、K、Caについては植物が、Feは土壤が考えられる。Mn、Cuはその組成比から土壤⁷⁾(表4-1-4土壤の組成参照)に由来するとは考えられず、⁸⁾植物または人類起源の汚染物質に由来を求めべきだろう。そこでこれらの元素間の相関係数を計算した(表4-1-5~7)。この相関係数をみると、林外の空地でNa、K、Ca、Mnのみによい相関がみられる他は、特によい相関は見られない。しかし降下物全体の相関は、林内で降下量が増大した元素(Zn以外のすべての元素)についてよい相関関係(相関係数>0.6)であることがわかる。これらの元素の降下量が林内で増大した原因は、①元素が植物体から放出される、②土壤粒子や粉じんが植物体に捕捉され雨とともに降下する、の2つが考えられる。

そこで土壤粒子の主成分であるFeを1,000に規格化して降下物の組成を示す(表4-1-8~9)。Fe=1,000に規格化した林外、林内の平均値(表4-1-9)を見ると、値に変化のないのはCuであり、林内で減少するのはNa、Mg、Zn、林内で増加するのはK、Ca、Mnである。このことは林内

で Fe と一緒に行動する元素は Cu であり、Na、Mg、Zn は林地で吸収される可能性を示している。そして植物体から放出される元素は K、Ca、Mn である。したがって Cu は土壌粒子と一緒に行動する人類起源の汚染元素だと考えられる。このことは奥多摩の山岳地域にも人類起源の元素が飛来していることを示している。

次に降下物中の陰イオンについて注目してみる。降下物中の NO_3^- 、 SO_4^{2-} は林内で林外の 2 倍の降水量を示すが、それらに対して Cl は 4 倍、Br は 0.6 ~ 2 倍という値を示した。Cl と Br は化学的性質がよく似ており天然では一緒に行動する元素として知られている。そして天然における Br / Cl 比は比較的一定であり、海水の比を越える比を持つ降下物の供給源は天然にはほとんどない。しかしながら人類活動に起源を持つガソリン中の Br / Cl 比は 0.27 ~ 1.3 と高い比を持つことが知られている⁹⁾。そこで降下物の大きな Br / Cl 比はガソリンを燃焼した人類活動の影響を示していると考えられる。しかしこの林外降下物の高い Br / Cl 比も、奥多摩湖の湖水には影響を及ぼしていないこともわかっている。それは、林内での Br / Cl 比の低い降下物組成からもわかるように、植物体から大量の Cl が放出されるためと思われる。すなわち山岳地域に降下した人類起源の Br は林地に蓄積していることを示唆している。

これらのことから降下物中の Cu や Br / Cl 比は山岳地域への人類活動の影響を示し、大気汚染の指標として有望であることがわかった。

ここでは 1 か月間に捕集した降下物について議論した。降下物を用いた指標によれば、汚染物質の影響は夏期の方が大きく秋期には小さくなっている。このような差を見出したことは降下物の直接捕集が 1 か月程度の期間の大気環境評価に都合がよいことを示している。しかしもっと長い期間（例えば一年以上）の大気環境を評価したいときには、降下物を毎月採取しつづければならない。そして広い地域を評価の対象にする時には、もっと簡便な方法が望ましい。このことは降下物の直接捕集が長期間の大気環境評価にはかならずしも適当ではないことを示している。多摩川流域の広い地域にわたる長期間の平均的な大気環境を評価するには、次に示す杉の樹皮が有効であると期待される。

4-2 原子吸光法と放射化法とによって得られた杉樹皮の分析値の比較

原子吸光法と放射化法で得られた杉の樹皮の分析結果を各地域ごとに表 4-2-1 に示す。原子吸光法と放射化法の両方の測定法で定量できた元素は Na、K、Ca、Mn であった。分析精度は原子吸光法が 3 ケタ、放射化法は 2 ケタの有効数字を持つが、正確さは原子吸光法、放射化法ともそれぞれの特色をもつ。そこで両法で得られたこれらの分析値を図に示す（図 4-2-1）。

これらの図からわかるように、Na についての放射化法の分析値がやや低目の値を示すが、その他の元素の両方法による分析値はよい一致を示した。そこで最終的な分析値として、原子吸光法によって得られた Na、K、Mg、Ca、Al、Fe、Mn、Zn、Pb、Cu、Ni、Cr の分析値を採用し、その値に放射化法でのみ測定可能な V、Cl、Br、I の分析値を加えた（表 4-2-2）。

4-3 杉樹皮の分析値の化学的特徴

4-3-1 杉の樹皮の分析値と河口から樹皮採取地点までの距離との関係

杉の樹皮分析値の平均値を土壌の値、植物の平均値とともに表4-3-1に示す。杉の樹皮はAl、Fe、Caが主成分であることがわかる。杉の樹皮にAl、Feが多くほとんど同量含まれている点が土壌の組成と似ている。そして植物の平均値と比べるといちじるしくこれらAl、Feの含有量が高い。杉樹皮の平均値をみると、Ca、Cl、Brの値のバラツキ（相対標準偏差、RSD）は40%未満だが、Fe、Mn、Pb、Cu、Ni、Vは70%以上のバラツキを示している。これらの大きな相対標準偏差（RSD）を示す元素は大気環境を反映している可能性が高い。そこで杉の樹皮中の元素濃度と多摩川の河口から樹皮試料採取地点までの距離との関係を図4-3-1～16に示す。

これらの図から①上流側で濃度が低く下流側で高い元素と、②上流から下流まであまり明らかな傾向のない元素に分けられる。下流側で濃度の高くなる元素はMg、Al、Fe、Mn、Zn、Pb、Cu、Cr、Ni、V、Iであり、はっきりした傾向を示さない元素はNa、K、Ca、Cl、Brである。相対標準偏差（RSD）の大きかった元素はいずれも①のタイプの元素であることがわかる。では①のタイプの元素はすべて一緒に行動しているのだろうか。Pb、Cu、Cr、Ni、Vの重金属元素は人類活動に起源を持つ可能性が考えられるが、土壌に多く含まれるAl、Feと区別できるのだろうか。そこで多摩川の各採取地点を、上流域として奥多摩三頭山、奥多摩惣岳山、中流域として青梅、八王子、百草園、下流域として長津田、東高根、獅子カ谷の3つの流域に分けて、各流域間の相違を考察する。

4-3-2 多摩川の上流、中流、下流域における樹皮の特徴

各流域ごとの平均組成と平均値の標準偏差（Std. dev.）を表4-3-2に示す。この表を見るとAl、Fe、Mn、Pb、Cu、Ni、Vの平均値が上流から中流、下流へ向うにつれて増加している。この増加は先に図4-3-1～16で見た下流に向って濃度が増加する傾向を数値の上でも示したことになる。このように杉の樹皮の組成は山岳地である上流域と人類活動のさかんな下流域とで大きな差を持っている。この差の大部分は降水物の付着量の差であり、採取地点の大気環境をよく反映していると考えられる。下流に向けての増加傾向は特にCuが顕著である。先に奥多摩の降水物の考察から降水物中のCuは人類起源と考えられたが、杉の樹皮の組成からもまた、Cuは人類起源の汚染元素と推定される。そして先の図でははっきりした傾向のない元素に分けられたCaは、平均値では逆に上流から下流に向かって減少していることがわかる。このCaの傾向はCuの示す傾向と逆であり、汚染元素であるCuとCaの濃度比が大気汚染のよい指標となりうるかもしれないことを示している。

相対標準偏差（rsd）を見ると、上流域の相対標準偏差はPb以外がいずれも20～30%代の値であり、非常にそろった分析値であることがわかる。このことは奥多摩地域にこれらの元素の汚染源がないことを示している。一方下流域の相対標準偏差はCa、Zn、Cl、Br、Iのみが20～30%代であって他の元素はいずれも高い偏差を示す。特にCu、Ni、Vは上、中流域で標準偏差が少ないにもかかわらず

らず平均値は中流域で確実に高く、そして下流域では偏差と平均値が大きく増大している。これらの元素の主な汚染源は下流域に求めるべきであろう。

4-3-3 杉の樹皮に含まれる元素間の相関

いままでの議論から明らかに Ca と Cu の2つの特徴的な元素が見出された。そこで杉の樹皮の構成元素がどのようなグループに分けられるのかを知るために、上流、中流、下流域そして全体における分析元素間の相関を計算する。分析値間の相関係数を表4-3-3~6に示す。これらの表から明らかになることは次の5つのことである。

1. 上流域では相関のよい元素の組み合わせは少ないが、中・下流域では多くなる。
2. 全流域の相関では Al、Fe、Mn、Zn、Pb、Cu、Cr、Ni、V はどの元素間も相関がよく一緒に行動する元素と考えられる。
3. 中・下流域では Ca と Pb について、他の金属元素との相関のないことが目立つ。
4. Cl、Br は金属元素や他のハロゲン元素との相関性が悪い。それに反して同じハロゲン元素の I は、Al、V などとの相関がよい。
5. 全流域の相関から、Ca、Cl、Br の他の元素との相関は非常に低い。Na、Cl、I の他の元素との相関も、他の金属元素 (Al~V) の相関性のよさに比べると、低い値である。

以上のことから、これらの元素を次の3つのグループに分けられよう。

- ① Pb のグループ (Cu、Cr、Ni、V、Br)
- ② Al、Fe を主成分としたグループ (Mn、Zn、Cu、Cr、Ni、V、I)
- ③ Ca を主成分としたグループ (Na、K、Cl)

これらのグループの起源として、Pb は汚染物質、Al、Fe は土壌、Ca は植物が考えられる。

4-3-4 杉の樹皮の分析値を Al=1,000 に規格化した時に見出される特徴

いままでの考察から下流に向かうにつれて減少する元素は Ca だけであり、ほとんどの元素は人間活動が活発で工場も多い下流に向かうにつれて増大することがわかった。樹皮の主成分である Al も明瞭な増加する傾向を示した。しかし相関係数から、Na、K、Ca、Cl 以外の元素は Pb のグループと Al、Fe のグループに分けられると推定された。では Pb のグループをもっと明確に示せないだろうか。そこで表4-3-7に杉樹皮の分析値を Al に対して1,000に規格化した値を示す。この表で Al と行動をともにする元素は、上・中・下流域でほとんど同じ値をとるはずである。この表から Fe、Mn、Cr、は Al と一緒に多摩川流域の大気中を移動していると考えてよい。そして明らかに Al とは行動をともにしない元素のグループが2つある。1つは Ca、K、Cl であって上流側で高い値をとる。もう1つは Cu、Pb で Al=1,000 に規格化してもなお下流側において高い値をとる。この表からも土壌起源の Al のグループ、植物起源の Ca のグループ、汚染物質起源の Cu、Pb のグループの3つのグ

グループに分けられた。すなわち植物に由来すると思われる Ca、K、Cl の樹皮に占める割合は汚染物質に由来すると考えられる Cu、Pb の割合が増加するとともに減少しているのである。

これまでの議論から樹皮中の Cu/Ca 比は汚染物質と植物に起源を持つ元素の比であり、大気環境の指標になると考えられる。そこで Cu/Ca 比と河口から採取地点までの距離の関係を図 4-3-17 に示した。この図から樹皮中の Cu/Ca 比は河口からの距離を反映した人類活動度のよい指標となっていることがわかる。そして東高根の値が比較的低い値をとることは、東高根の森林公園が下流域では比較的良好な大気環境であることを示している。

4-4 Al、Ca、Pb を用いた杉の樹皮中の全化学元素濃度の説明

いままでの考察から杉の樹皮に含まれる多くの化学元素は Al、Ca、Pb で代表される 3 つのグループに分けられた。したがって杉の樹皮はこれらの元素を特徴的に含む 3 つの物質の混合物である可能性が示唆される。ここでは樹皮中の元素濃度 [M] を樹皮中の Al、Ca、Pb の濃度 ([Al]、[Ca]、[Pb]) で次の式のように表わせると考え、最小自乗法を用いてそれぞれの係数 C_{Al} 、 C_{Ca} 、 C_{Pb} を計算した。

$$[M]N = C_{Al} \cdot M \cdot [Al]N + C_{Ca} \cdot M \cdot [Ca]N + C_{Pb} \cdot M \cdot [Pb]N$$

ここで N は試料番号を、M は樹皮中の元素を表わす。得られた係数とその係数を用いて計算した結果を表 4-4-1~2 に示す。この表から計算結果はよく実測値を説明している。すなわち杉の樹皮は Al、Ca、Pb を代表する 3 つの物質の混合物であることがわかった。ではその混合のもとになる 3 つの物質とはどのような組成を持った物質なのであろうか。そこで杉樹皮の Al、Ca、Pb の平均値に、計算で得られた各元素に対する 3 つの係数をそれぞれかけて、各物質の各元素に対する寄与量を計算した (表 4-4-3)。表には有効数字を 2 ケタにまらめて示した。

この表からわかるように Ca で特徴づけられる物質は Na、K、Mg、Ca、Cl、Br、I が主な構成元素である。Al で特徴づけられる物質は Na、K、Mg、Al、Fe、Mn、Cr、Ni、V で主に構成されている。そして Pb で特徴づけられる物質は主に Fe、Pb、Cu、Br、I から成り立っていることがわかる。どの物質にも同量含まれている Zn は、起源物質を示す特徴とはならないことがわかる。

このように分析したすべての元素を [Ca]、[Al]、[Pb] で説明した。ハロゲン元素に計算値と実測値の一致が悪いものもある。しかしハロゲン元素の分析がむずかしいことを考えれば全体の傾向をよく説明していると言える。混合のもとになる起源物質の組成もおおよそ解明できた。ではそれらの物質は具体的にどのような物質と対応させることができるのであろうか。

4-5 杉の樹皮中の化学元素の起源

—— Self-consistent な最小自乗法解析による起源の推定 ——

著者はすでに混合物の組成をデータとして、混合する前の起源となる物質の化学組成比を明らかにする

Self-consistent な最小自乗法を開発している。杉の樹皮が混合物であることをいままで示してきた。そこでこの Self-consistent な最小自乗法をはじめて植物試料のデータに応用することにした。得られた結果を表 4-5-1~3 に示す。得られた結果は〔Al〕、〔Ca〕、〔Pb〕で樹皮組成を表現した時よりもより少ない誤差で実測値を説明している。この方法の特徴は、混合のもとになる起源物質の組成比とその混合量を明らかにすることである。計算された起源物質の組成を道路ぎわの土壌、杉の内樹皮（外樹皮をはがしたあとに表われる汚染されていない樹皮）の組成とともに表 4-5-4 に示す。計算された Ca が主の物質 1 は、内樹皮の分析値とよく一致していることがわかる。すなわち、この Ca が主の組成は植物本来の組成を表わしていることになる。次に、計算された Al、Fe が主で Pb、Cu の少ない物質 2 は道路ぎわの表層土壌とよく似た組成であることがわかる。すなわち汚れた土壌粒子が飛来して杉の樹皮に付着したことがわかる。さいごの 3 に相当する物質は現在のところ具体的に対応する物質がまだ見出されていない。しかしこの物質 3 の組成を見ると、汚染重金属の Pb、Cu、V の濃度が大きくそして Br/C1 比が 0.72 と高い。この高い Br/C1 比はガソリン中の Br/C1 比 0.24~1.3 とよく似ており、他に Br の高い比率を持つ供給源は考えられない。これらのことからこの物質 3 は人類起源の汚染物質に対応すると考えられる。このように杉の外樹皮の元素濃度に寄与する起源物質がどのようなものか解明された。いままで植物試料が混合物として説明された例はなかったが、外樹皮は 3 種類の起源物質の混合物としてはじめて説明できたのである。

4-6 杉の樹皮を用いた多摩川流域の大気環境評価

Self-consistent な最小自乗法によって得られた樹皮の植物本来の組成、土壌物質、汚染物質の各採取地点での外樹皮に占める混合量を図 4-6-1 に示す。この図の横軸の値は、各物質に含まれる元素の含量をすべて加えて樹皮の乾燥重量に対する重量パーセントとして示してある。この図からわかるように植物本来の物質は上流から下流に向かって減少しつつある。樹皮中の土壌成分は下流側で増大する傾向があるが、各採取地点ごとのバラツキも大きい。これは各地点での土ぼこりの量を反映している。百草園は非常に土ぼこりが多いことがわかる。汚染物質は上流側でも存在しており、その量は明瞭に下流に向かって増大している。下流にある獅子カ谷市民の森はかなり大きな緑地である。しかしその市民の森の中心部で採取した樹皮でさえも、上流の奥多摩に比べて 10 倍以上も人類起源物質で汚染していることがわかる。

5. おわりに

多摩川の流域は南関東の山岳地域から平野部、海浜工業地帯までの広い地域である。この流域の大気環境を評価するためには、100 km に近い流域を長い期間にわたって、同一条件で測定をする手段が必要となる。この目的にはいままでよく用いられてきたエアサンプラーが必ずしもよい手段とはいえない。

大気環境は時間変動や日変化が激しい。ここではポリエチレンポットを用いて降下物を直接捕集し、1カ月間の降下物を集めることができた。しかし降下物は各シーズンによってもかなり変動することがわかった。そこで長期間の大気環境を簡便に評価するために杉の樹皮を用い、大気環境を定量的に評価できた。杉の樹皮は効果的な降下物の捕集体であり、長期間の平均的な大気環境を反映している。

多摩川の上流から下流に向って樹皮本来の物質の樹皮に占める量は減少する傾向を示すが、汚染物質の量は大きく増大していた。最下流域でもっとも大きな緑地である獅子カ谷市民の森の中では、汚染物質の量が奥多摩山岳地の10倍にも達していることがわかった。

いままで植物試料に含まれるすべての元素を統一的に説明した例はなかった。しかしここで用いたSelf-consistentな最小自乗法解析によって、はじめて樹皮がこの流域に共通な物質の混合物であることを示した。植物を用いて環境汚染の質と量を把握したのはこの研究が世界ではじめてである。

日本には杉の林地が多い。多摩川流域で得られた杉の樹皮の結果は、日本の大気環境評価のための一つの尺度となろう。今後、各地の杉に対してここで用いたのと同様の方法を応用し、日本の大気環境を評価したい。

参 考 文 献

1. Lantzy, R. J. and Mackenzie, F. (1979), Atmospheric trace metals : global cycles and assessment of man's impact. *Geochim. Cosmochim. Acta* **43**, 511-525.
2. 位地正年, 鶴見実, 一国雅巳 (1983), 首都圏の降下物に含まれる金属元素. *地球化学*, **17**, 93-101.
3. Chow, T. J. (1973), Our daily lead. *Chem. in Britain*, **9**, 258-263.
4. Zoller, W. H., Gladney, E. S. and Duce, R. A. (1974), Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the south pole. *Science* **183**, 198-200.
5. 杉前昭好 (1980), 大気浮遊粒子状物質中の水溶性元素定量のための試料前処理法. *分化*, 184-189.
6. Tanaka, J. and Ichikuni, M. (1982), Monitoring of heavy metals in airborne particles by using bark samples of Japanese cedar collected from the metropolitan region of Japan. *Atmospheric Environment* **16**, 2015-8.
7. 檀本礼二 (1981), 道路際土壌における重金属汚染. 東京工業大学大学院総合理工学研究科, 修士論文.
8. Bowen, H. J. M. (1966), *Trace Elements in Biochemistry*. London, Academic Press.
9. 鈴木章悟, 平井昭司 (1983), 放射化分析によるガソリン, 軽油中の微量元素の含有状況. *日化*, **4**, 523-530.
10. Tsurumi, M. (1982), Self-consistent least-squares method of estimating chemical composition of the sources of chemical constituents in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **138**, 177-182.

表4-1-1 1983年6月から7月までに奥多摩地域で捕集した降水物
(P800)中の金属元素濃度 (in mg/m²day)

Sample*	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
801	1230	1070	421	788	787	17.1	15.2	186
802	1370	780	769	1170	781	23.7	11.0	278
803	1340	700	627	880	626	22.1	18.0	462
804	1180	705	636	1010	570	17.3	11.0	290
811	2690	1870	347	1940	988	26.6	8.30	205
812	1180	768	236	867	571	22.3	8.40	113
813	1350	843	235	1020	1100	21.6	13.0	149
814	3240	1140	1480	1820	808	33.4	7.90	110
815	1130	660	660	984	647	24.4	11.0	131
805	2010	5720	1060	3070	1430	48.3	31.0	-
806	3490	4020	1300	6450	2700	261.	47.0	-
807	2420	3760	1120	4290	2600	229.	19.2	234
808	2160	3460	972	3020	1290	70.2	28.9	168
809	1360	3050	583	1800	1280	120.	12.0	150
810	1550	5050	817	2400	871	87.2	11.0	149
816	2490	3820	1080	6770	2660	221.	23.9	321
817	2760	7640	1170	5170	2300	143.	95.9	217
818	3870	3030	1080	6260	2340	171.	27.1	205
819	2690	2570	490	3070	1330	72.9	13.6	137

* = 801 ~ 804、811 ~ 815 は林外降水物

805 ~ 810、816 ~ 819 は林内降水物

表4-1-2 1983年6月から7月までに奥多摩地域で捕集した降下物
(P800)中の陰イオン濃度と平均値(in mg/l)

	Sample	Cl	Br	Br/Cl
林外降下物	802	0.254	0.0098	0.039
	804	0.244	0.0076	0.031
	812	0.385	0.014	0.036
	814	0.450	0.0090	0.020
林内降下物	806	1.13	0.0054	0.0048
	808	0.851	0.0058	0.0068
	810	0.524	0.0044	0.0084
	816	1.69	0.0085	0.0050
	818	1.78	0.0085	0.0048

Sample	Cl	Br	Br/Cl
P800open*			
n	4	4	4
mean	0.333	0.010	0.032
std.dev.	0.101	0.0028	0.0083
rsd(%)	30.0	27.	26.
P800under*			
n	5	5	5
mean	1.20	0.0065	0.0060
std.dev.	0.539	0.0019	0.0016
rsd(%)	45.0	29.	27.
P800			
N	9	9	9
MEAN	0.812	0.0081	0.017
STD.DEV.	0.596	0.0029	0.014
RSD(%)	73.0	35.	83.

* = open は林外降下物、under は林内降下物を捕集したことを意味する。

表4-1-3 1983年10月から12月までに多摩川流域で捕集した降下物
(P900)中の陰イオン濃度と平均値(in mg/l)

林外降下物						
	Sample*	Cl	Br	NO3	SO4	Br/Cl
	901	0.632	0.0040	3.29	1.08	0.0063
OKTM	903	0.567	0.0034	3.44	1.15	0.0061
	911	0.557	0.0020	0.837	1.09	0.0036
OKTS	917	1.15	0.0060	3.26	2.35	0.0052
	919	1.43	0.0069	3.73	2.86	0.0048
OHM	915	1.54	0.0063	2.12	3.11	0.0041
	925	2.40	0.0078	3.59	3.51	0.0032
MGS	933	1.62	0.0050	2.87	8.64	0.0031
	935	2.39	0.010	3.25	9.08	0.0042
HGT	937	2.59	0.0088	-	6.51	0.0034
林内降下物						
	Sample*	Cl	Br	NO3	SO4	Br/Cl
	905	4.10	0.0075	5.28	4.08	0.0018
OKTM	907	4.46	0.014	7.46	3.73	0.0032
	909	3.18	0.011	5.48	3.63	0.0036
OKTS	923	5.81	0.018	14.3	9.32	0.0031
	913	4.16	0.014	5.39	7.43	0.0033
OHM	921	10.9	0.021	5.51	6.40	0.0020
	927	10.6	0.024	14.7	12.2	0.0022
MGS	929	4.82	0.0092	1.90	5.07	0.0019
	931	7.73	0.016	5.02	8.83	0.0020
HGT	939	8.69	0.019	5.33	8.48	0.0022

* = OKTMは奥多摩三頭山、OKTSは奥多摩惣岳山、OHMは青梅、MGSは百草園、
HGTは東高根をあらわす。

表4-1-3 つづき

	Sample	Cl	Br	NO3	SO4	Br/Cl
林外降下物	OKTM	0.585	0.0031	2.73	1.11	0.0053
	OKTS	1.29	0.0065	3.50	2.61	0.0050
	OHM	1.97	0.0070	2.86	3.31	0.0036
	MGS	2.01	0.0075	3.06	8.86	0.0037
	HGT	2.59	0.0088	-	6.51	0.0034
林内降下物	OKTM	3.91	0.011	6.07	3.81	0.0029
	OKTS	5.81	0.018	14.3	9.32	0.0031
	OHM	8.55	0.020	8.53	8.68	0.0025
	MGS	6.28	0.013	3.46	6.95	0.0020
	HGT	8.69	0.019	5.33	8.48	0.0022

Sample	Cl	Br	NO3	SO4	Br/Cl
**					
OPEN					
n	5	5	4	5	5
mean	1.69	0.0066	3.04	4.48	0.0042
std.dev.	0.770	0.0021	0.337	3.14	0.00088
rsd(%)	46.0	32.	11.0	70.0	21.
**					
UNDER					
n	5	5	5	5	5
mean	6.65	0.016	7.54	7.45	0.0025
std.dev.	2.01	0.0040	4.19	2.21	0.00046
rsd(%)	30.0	25.	56.0	30.0	18.
P900					
N	10	10	9	10	10
MEAN	4.17	0.011	5.54	5.96	0.0034
STD.DEV.	2.98	0.0058	3.80	3.00	0.0011
RSD(%)	72.0	52.	69.0	50.0	33.

** = OPENは林外降下物、UNDERは林内降下物を捕集したことを意味する。

表4-1-4 降下物(P800)の平均値(in mg/m²day)と植物と表層
土壌の平均値(in ppm)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
P800op								
n	9	9	9	9	9	9	9	9
mean	1634	948.	601.	1164	764.	23.2	11.5	214.
std.dev.	771.	384.	382.	421.	185.	4.92	3.39	114.
rsd(%)	47.0	40.0	64.0	36.0	24.0	21.0	29.0	53.0
P800und								
n	10	10	10	10	10	10	10	8
mean	2480	4212	967.	4230	1880	142.	31.0	198.
std.dev.	783.	1532	260.	1820	701.	75.3	25.3	61.1
rsd(%)	32.0	36.0	27.0	43.0	37.0	53.0	82.0	31.0
P800								
N	19	19	19	19	19	19	19	17
MEAN	2079	2666	794.	2778	1352	85.9	21.8	206.
STD.DEV.	871.	2011	366.	2051	767.	81.1	20.6	90.7
RSD(%)	42.0	75.0	46.0	74.0	57.0	94.0	95.0	44.0
Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
PLANT *	1200	14000	3200	18000	140	630	14.0	160
Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
SOIL **	12300	7730	17700	24300	72500	1360	138	380

P800op = Precipitaion 800 Open (in micro g/m²/day)

P800und = Precipitaion 800 Under Tree (in micro g/m²/day)

P800 = Precipitation 800 (in micro g/m²/day)

* = H. J. M. Bowen (1966) による。

** = 櫃本礼二(1981) による。

表 4-1-5 林外降下物 (P 800 op) 中の元素間の相関係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
Na		0.73	0.59	0.94	0.41	0.84	-0.53	-0.26
K			-0.04	0.79	0.58	0.39	-0.39	-0.21
Mg				0.45	-0.16	0.67	-0.23	-0.02
Ca					0.47	0.79	-0.63	-0.24
Fe						0.26	-0.09	-0.28
Mn							-0.56	-0.34
Cu								0.68
Zn								

表 4-1-6 林内降下物 (P 800 und) 中の元素間の相関係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
Na		-0.11	0.53	0.82	0.70	0.54	0.37	0.33
K			0.45	0.07	0.06	-0.11	0.77	0.19
Mg				0.73	0.74	0.60	0.58	0.71
Ca					0.90	0.78	0.42	0.84
Fe						0.90	0.42	0.86
Mn							0.18	0.86
Cu								0.24
Zn								

表 4-1-7 降下物 (P 800) 中の元素間の相関係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
Na		0.43	0.67	0.78	0.70	0.62	0.41	-0.10
K			0.55	0.68	0.66	0.59	0.76	-0.06
Mg				0.67	0.60	0.60	0.48	0.09
Ca					0.95	0.90	0.59	0.13
Fe						0.94	0.60	0.13
Mn							0.47	0.13
Cu								0.13
Zn								

表 4-1-8 Fe = 1000 に規格化した降下物 (P 800) の組成

	Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
P800op	801	1563	1360	535	1001	1000	21.7	19.3	236.
	802	1754	999	985	1498	1000	30.3	14.1	356.
	803	2141	1118	1002	1406	1000	35.3	28.8	738.
	804	2070	1237	1116	1772	1000	30.4	19.3	509.
	811	2723	1893	351	1964	1000	26.9	8.40	207.
	812	2067	1345	413	1518	1000	39.1	14.7	198.
	813	1227	766	214	927	1000	19.6	11.8	135.
	814	4010	1411	1832	2252	1000	41.3	9.78	136.
	815	1747	1020	1020	1521	1000	37.7	17.0	202.
P800und	805	1406	4000	741	2147	1000	33.8	21.7	-
	806	1293	1489	481	2389	1000	96.7	17.4	-
	807	931	1446	431	1650	1000	88.1	7.38	90.0
	808	1674	2682	753	2341	1000	54.4	22.4	130.
	809	1063	2383	455	1406	1000	93.8	9.38	117.
	810	1780	5798	938	2755	1000	100.	12.6	171.
	816	936	1436	406	2545	1000	83.1	8.98	121.
	817	1200	3322	509	2248	1000	62.2	41.7	94.3
	818	1654	1295	462	2675	1000	73.1	11.6	87.6
819	2023	1932	368	2308	1000	54.8	10.2	103.	

P800op = Precipitaion 800 Open
P800und = Precipitaion 800 Under Tree

表 4-1-9 奥多摩地域で捕集した降下物 (P 800) の Fe = 1000 に規格化した組成の平均値

Sample	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
P800op								
n	9	9	9	9	9	9	9	9
mean	2145	1239	830.	1540	1000	31.4	15.9	302.
std.dev.	815.	321.	506.	422.	-	7.64	6.17	202.
rsd(%)	38.0	26.0	61.0	27.0	-	24.0	39.0	67.0
P800und								
n	10	10	10	10	10	10	10	8
mean	1396	2578	555.	2247	1000	74.0	16.3	114.
std.dev.	376.	1446	188.	426.	-	22.1	10.4	27.7
rsd(%)	27.0	56.0	34.0	19.0	-	30.0	63.0	24.0
P800								
N	19	19	19	19	19	19	19	17
MEAN	1750	1944	685.	1912	1000	53.8	16.1	214.
STD.DEV.	717.	1251	389.	549.	-	27.3	8.40	173.
RSD(%)	41.0	64.0	57.0	29.0	-	51.0	52.0	81.0

P800op = Precipitaion 800 Open
P800und = Precipitaion 800 Under Tree
P800 = Precipitation 800

表 4-2-1 原子吸光法と放射化法とによって得られた杉の樹皮の分析値 (in ppm)

奥多摩三頭山

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu	Cr
OKTM 31S I	418	430.	626	1800	191	2420	2600	1500	1070	13.6	31.	29.5	46.3	11.6	2.30
OKTM MA-1 I	715	280.	942	750	417	2850	2800	2360	1450	21.6	21.	28.6	22.4	11.6	4.35
OKTM MA-2 I	447	320.	737	670	320	1600	1700	2210	1470	18.8	18.	25.4	14.7	10.5	4.50
OKTM 5 I	291	98.	480	410	234	2260	2500	817	504	10.5	10.	19.3	9.50	6.28	1.70
OKTM 6 I	410	220.	674	530	245	2800	4000	1440	808	14.3	17.	25.4	16.4	7.49	2.50
OKTM 7 I	709	210.	776	570	183	1330	1400	1540	894	10.8	9.5	15.5	13.0	8.79	3.00
OKTM 8 I	623	460.	1100	1300	338	2300	2600	3080	1480	16.5	18.	30.5	15.3	8.55	3.40

Sample	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
OKTM 31S I	1.60	4.8	170	11.	-
OKTM MA-1 I	2.90	5.3	150	5.7	2.9
OKTM MA-2 I	2.40	4.8	210	7.5	3.4
OKTM 5 I	1.80	2.4	110	3.1	-
OKTM 6 I	1.60	4.1	210	7.2	7.7
OKTM 7 I	1.20	3.3	140	6.6	3.8
OKTM 8 I	2.20	5.8	150	4.5	2.4

* = 放射化法による分析値

奥多摩惣岳山

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu
OKTS 3N I	456	230	746	670	232	2510	2500	2110	1670	18.3	18	38.4	35.4	13.9
OKTS 3E I	464	190	752	550	200	2260	2500	1960	1630	18.3	18	34.2	32.2	12.6
OKTS 3W I	523	250	798	740	254	2450	2900	2370	1880	17.9	18	25.8	37.1	14.0
OKTS 3S I	672	240	854	540	236	1870	2100	2650	1700	16.4	18	25.6	34.8	12.8

Sample	Cr	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
OKTS 3N	4.68	2.80	5.9	240	9.5	3.7
OKTS 3E	4.49	2.90	5.5	160	11.	4.1
OKTS 3W	5.06	2.80	6.1	280	8.8	3.4
OKTS 3S	4.37	2.80	5.8	210	8.8	3.8

* = 放射化法による分析値

青梅上長淵

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu
OHM K2N	435	190	542	400	163	1030	1000	1590	1090	11.0	11	22.7	17.3	11.1
OHM K2E	336	140	455	360	132	1080	1300	1430	1240	10.1	10	20.7	30.5	16.2
OHM K2W	387	150	528	370	149	1090	1200	1570	1250	10.2	11	18.1	27.6	14.6
OHM K2S	666	300	642	700	195	1220	1900	2010	1680	14.2	17	23.1	42.9	18.1

Sample	Cr	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
OHM K2N	4.86	1.60	4.5	47.	4.7	1.9
OHM K2E	3.40	2.00	5.7	77.	6.2	2.3
OHM K2W	3.30	2.00	6.0	63.	5.5	2.5
OHM K2S	5.54	2.50	8.1	63.	7.0	2.9

* = 放射化法による分析値

表4-2-1 つづき

八王子セミナーハウス

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu	Cr
HOJ 1N	416	130	433	330	184	1370	1400	1850	2170	11.1	9.5	20.5	25.4	14.1	3.60
HOJ 1E	296	170	426	390	247	2080	1900	2190	2190	15.6	14	26.6	27.1	16.7	4.30
HOJ 1W	558	150	460	370	163	1210	1100	1850	2240	10.3	10	19.5	35.2	15.4	4.50
HOJ 1S	325	120	328	290	127	930	1000	1830	2390	9.00	9.2	21.2	35.2	16.0	4.00

Sample	NI	V*	Cl*	Br*	I*
HOJ 1N	2.60	6.8	91.	12.	2.4
HOJ 1E	3.20	7.9	100	12.	3.0
HOJ 1W	2.60	7.8	140	14.	3.9
HOJ 1S	2.30	8.0	120	12.	4.0

* = 放射化法による分析値

百草園

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu
MGS 1N	788	500	974	1100	412	2480	2800	4310	3340	26.7	12	37.6	36.6	21.4
MGS 1E	779	450	1060	860	381	1870	2600	4070	3560	28.0	11	41.4	38.5	20.2
MGS 1W	868	380	1050	870	345	2180	2600	3820	3720	24.6	10	25.7	33.0	20.0
MGS 1S	1130	560	1130	890	488	1920	2500	4990	4670	30.4	15	31.5	45.6	23.9

Sample	Cr	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
MGS 1N	7.49	4.67	12.	110	11.	4.5
MGS 1E	9.36	5.01	11.	110	9.2	3.6
MGS 1W	6.75	3.60	10.	210	13.	3.8
MGS 1S	9.35	4.40	15.	130	10.	4.1

* = 放射化法による分析値

長津田伐採地

Sample	Li	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb
NC 2-1	1.14	606	430	636	550	499	1500	1600	5980	5110	46.8	48	65.2	88.6
NC 2-2	0.506	311	320	338	460	272	1130	1300	2800	2200	26.7	34	40.0	62.5
NC 2-3	0.523	371	260	421	490	235	1090	1400	2950	2590	23.9	26	50.4	65.7
NC 2-4	0.502	257	210	303	390	160	876	-	2550	2140	17.4	18	36.8	64.5
NC 2-5	0.782	347	370	442	630	288	1210	1400	3790	3540	30.8	35	49.0	119.
NC 2-6	1.16	674	460	715	690	445	1180	1600	4100	4240	37.7	38	42.9	77.5
NC 2-7	1.96	809	680	1010	1000	694	1610	1600	6700	6680	57.3	54	66.8	122.
NC 2-8	2.55	1000	930	1230	1400	853	1800	1800	8910	8640	78.9	82	78.8	86.2
NC 2-9	0.889	352	360	396	560	276	1120	1400	2740	2520	28.0	30	40.7	76.8
NC 2-10	3.11	1320	890	1570	1400	1130	2370	1600	9450	9360	86.5	80	76.3	123.

* = 放射化法による分析値

Sample	Cu	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
NC 2-1	41.0	7.92	16.	94.	8.8	5.0
NC 2-2	23.6	2.85	13.	110	5.8	4.2
NC 2-3	27.8	3.55	12.	-	5.9	4.2
NC 2-4	27.1	5.17	8.6	100	8.1	4.7
NC 2-5	40.9	5.53	18.	130	9.1	6.6
NC 2-6	27.6	5.87	15.	130	5.5	-
NC 2-7	49.0	9.79	25.	-	7.7	6.6
NC 2-8	60.8	11.2	34.	110	8.9	8.8
NC 2-9	31.1	4.19	12.	-	5.6	-
NC 2-10	72.9	13.7	27.	130	7.7	-

表4-2-1 つづき

東高根森林公園

Sample	I	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu
HGT 1N	I	454	170	383	290	219	1910	1800	2160	1680	17.6	17	40.0	28.0	16.6
HGT 1E	I	619	180	463	330	266	1350	1300	3630	2530	22.9	15	35.5	33.3	25.3
HGT 1W	I	469	160	491	410	155	2130	2100	2120	1750	12.5	13	28.5	22.3	15.4
HGT 1S	I	962	140	493	330	202	2260	2300	2290	2060	16.9	17	32.7	24.2	17.1

Sample	I	Cr	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
HGT 1N	I	4.10	3.20	7.8	150	8.3	4.0
HGT 1E	I	5.30	3.70	10.	140	7.7	5.3
HGT 1W	I	3.90	2.60	7.8	120	12.	3.4
HGT 1S	I	3.30	2.80	9.1	190	13.	5.0

* = 放射化法による分析値

獅子カ谷市民の森

Sample	Na	Na*	K	K*	Mg	Ca	Ca*	Al	Fe	Mn	Mn*	Zn	Pb	Cu
SGY 1N	741	280	659	600	313	1820	2100	3880	4070	28.4	34	56.5	90.4	58.0
SGY 1E	432	280	566	570	276	1940	2200	3530	3700	24.5	32	54.7	83.7	61.7
SGY 1W	1070	750	1480	1300	848	2600	2500	9120	8907	68.9	62	85.4	155	99.6
SGY 1S	904	690	1120	1000	595	2350	2300	7480	6690	48.5	66	75.0	142	101

Sample	Cr	Ni	V*	Cl*	Br*	I*
SGY 1N	8.47	5.95	17	110	11	6.7
SGY 1E	8.44	6.17	17	150	14	7.2
SGY 1W	20.0	14.0	31	160	12	11
SGY 1S	16.3	11.6	34	110	12	8.5

* = 放射化法による分析値.

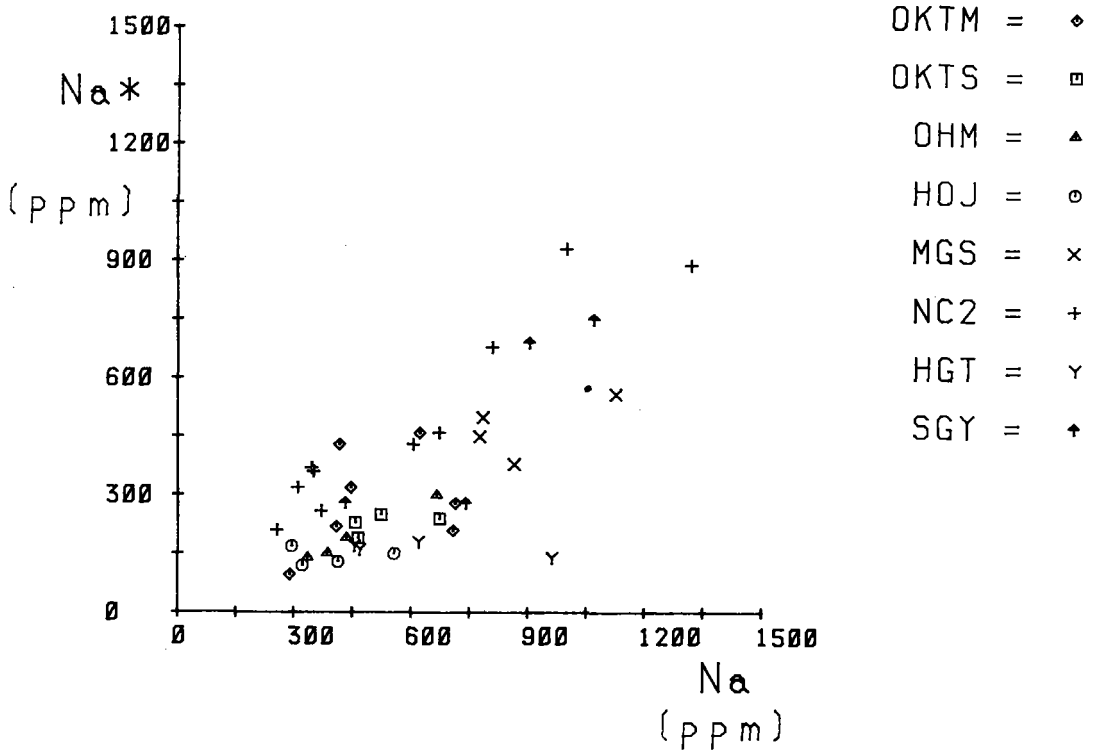


図4-2-1 杉樹皮中のNaの原子吸光法による分析値(Na)と放射化法による分析値(Na*)との比較。 OKTM=奥多摩三頭山、OKTS=奥多摩惣岳山、OHM=青梅、HOJ=八王子、MGS=百草園、NC2=長津田、HGY=東高根、SGY=獅子カ谷。

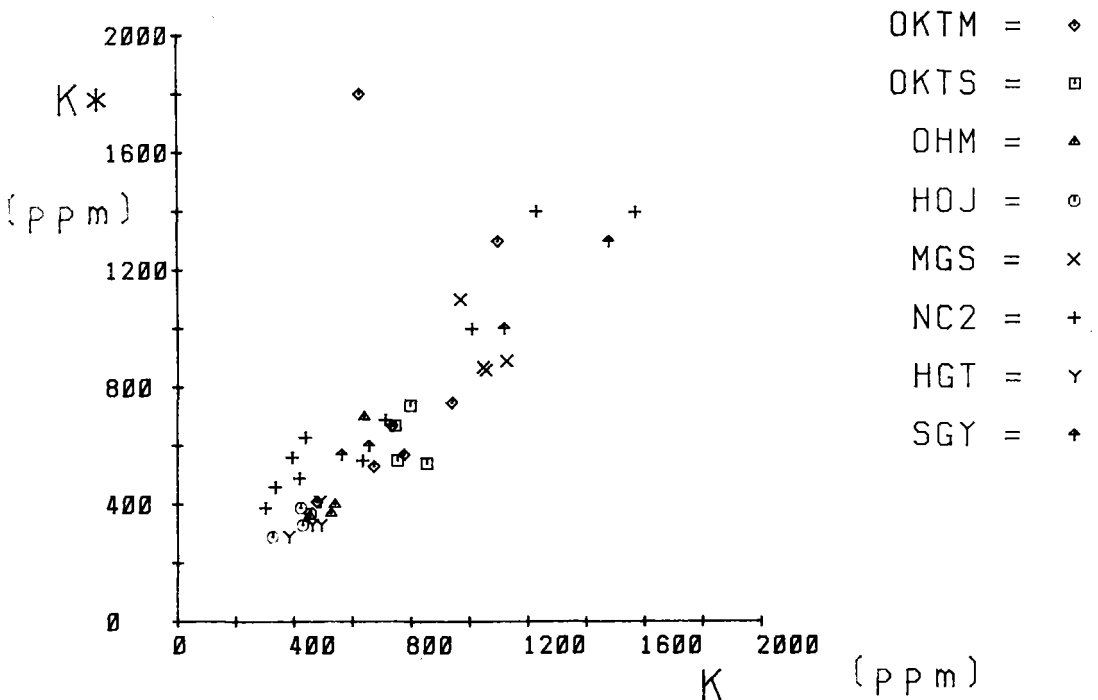


図4-2-2 杉樹皮中のKの原子吸光法による分析値(K)と放射化法による分析値(K*)との比較。

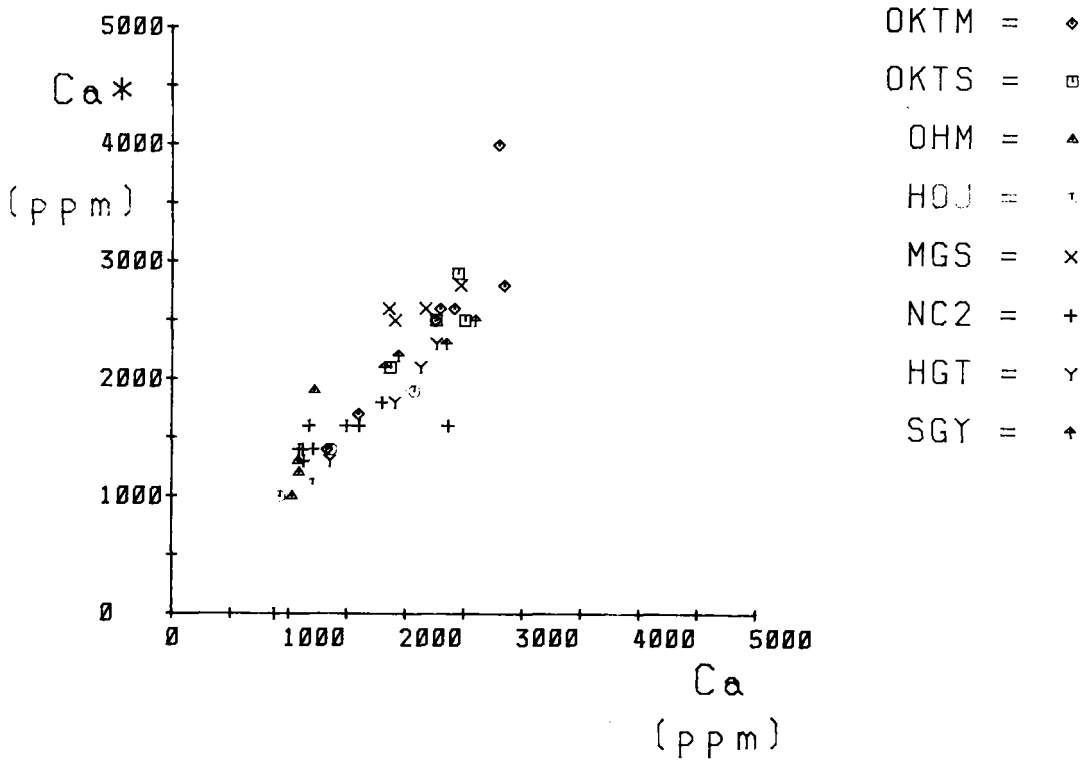


図4-2-3 杉樹皮中のCaの原子吸光法による分析値(Ca)と放射化法による分析値(Ca*)との比較。

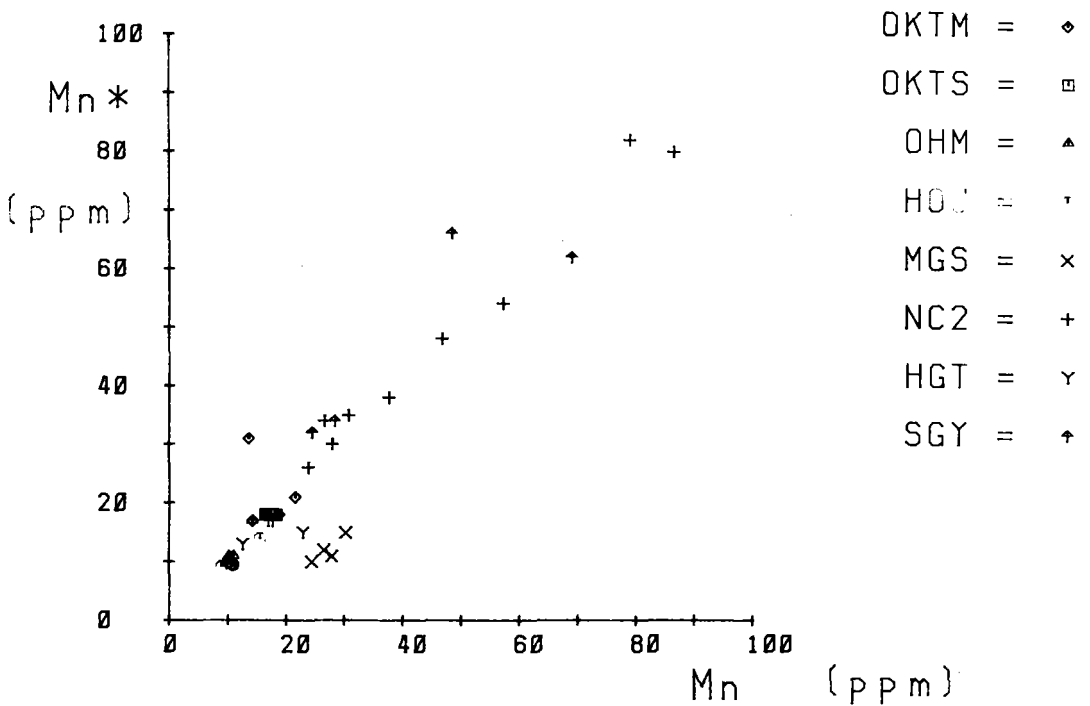


図4-2-4 杉樹皮中のMnの原子吸光法による分析値(Mn)と放射化法による分析値(Mn*)との比較。

表 4-2-2 多摩川流域の杉樹皮の化学組成 (in ppm)

奥多摩三頭山、惣岳山

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
OKTM 31S	418	626	191	2420	1500	1070	13.6	29.5	46.3	11.6	2.30	1.60	4.8	170	11.	-
OKTM MA-11	715	942	417	2850	2360	1450	21.6	28.6	22.4	11.6	4.35	2.90	5.3	150	5.7	2.9
OKTM MA-21	447	737	320	1600	2210	1470	18.8	25.4	14.7	10.5	4.50	2.40	4.8	210	7.5	3.4
OKTM 5	291	480	234	2260	817	504	10.5	19.3	9.50	6.28	1.70	1.80	2.4	110	3.1	-
OKTM 6	410	674	245	2800	1440	808	14.3	25.4	16.4	7.49	2.50	1.60	4.1	210	7.2	7.7
OKTM 7	709	776	183	1330	1540	894	10.8	15.5	13.0	8.79	3.00	1.20	3.3	140	6.6	3.8
OKTM 8	623	1100	338	2300	3080	1480	16.5	30.5	15.3	8.55	3.40	2.20	5.8	150	4.5	2.4
OKTS 3N	456	746	232	2510	2110	1670	18.3	38.4	35.4	13.9	4.68	2.80	5.9	240	9.5	3.7
OKTS 3E	464	752	200	2260	1960	1630	18.3	34.2	32.2	12.6	4.49	2.90	5.5	160	11.	4.1
OKTS 3W	523	798	254	2450	2370	1880	17.9	25.8	37.1	14.0	5.06	2.80	6.1	280	8.8	3.4
OKTS 3S	672	854	236	1870	2650	1700	16.4	25.6	34.8	12.8	4.37	2.80	5.8	210	8.8	3.8

青梅、八王子、百草園

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
OHM K2N	435	542	163	1030	1590	1090	11.0	22.7	17.3	11.1	4.86	1.60	4.5	47.	4.7	1.9
OHM K2E	336	455	132	1080	1430	1240	10.1	20.7	30.5	16.2	3.40	2.00	5.7	77.	6.2	2.3
OHM K2W	367	528	149	1090	1570	1250	10.2	18.1	27.6	14.6	3.30	2.00	6.0	63.	5.5	2.5
OHM K2S	666	642	195	1220	2010	1680	14.2	23.1	42.9	18.1	5.54	2.50	8.1	63.	7.0	2.9
HOJ 1N	416	433	184	1370	1850	2170	11.1	20.5	25.4	14.1	3.60	2.60	6.8	91.	12.	2.4
HOJ 1E	296	426	247	2080	2190	2190	15.6	26.6	27.1	16.7	4.30	3.20	7.9	100	12.	3.0
HOJ 1W	558	460	163	1210	1850	2240	10.3	19.5	35.2	15.4	4.50	2.60	7.8	140	14.	3.9
HOJ 1S	325	328	127	930	1830	2390	9.00	21.2	35.2	16.0	4.00	2.30	8.0	120	12.	4.0
MGS 1N	788	974	412	2480	4310	3340	26.7	37.6	36.6	21.4	7.49	4.67	12.	110	11.	4.5
MGS 1E	779	1060	381	1870	4070	3560	28.0	41.4	38.5	20.2	9.36	5.01	11.	110	9.2	3.6
MGS 1W	868	1050	345	2180	3820	3720	24.6	25.7	33.0	20.0	6.75	3.60	10.	210	13.	3.8
MGS 1S	1130	1130	488	1920	4990	4670	30.4	31.5	45.6	23.9	9.35	4.40	15.	130	10.	4.1

長津田、東高根、獅子カ谷

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
NC 2-1	606	636	499	1500	5980	5110	46.8	65.2	88.6	41.0	-	7.92	16.	94.	8.8	5.0
NC 2-2	311	338	272	1130	2800	2200	26.7	40.0	62.5	23.6	-	2.85	13.	110	5.8	4.2
NC 2-3	371	421	235	1090	2950	2590	23.9	50.4	65.7	27.8	-	3.55	12.	-	5.9	4.2
NC 2-4	257	303	160	876	2550	2140	17.4	36.8	64.5	27.1	-	5.17	8.6	100	8.1	4.7
NC 2-5	347	442	288	1210	3790	3540	30.8	49.0	119.	40.9	-	5.53	18.	130	9.1	6.6
NC 2-6	674	715	445	1180	4100	4240	37.7	42.9	77.5	27.6	-	5.87	15.	130	5.5	-
NC 2-7	809	1010	694	1610	6700	6680	57.3	66.8	122.	49.0	-	9.79	25.	-	7.7	6.6
NC 2-8	1000	1230	853	1800	8910	8640	78.9	78.8	86.2	60.8	-	11.2	34.	110	8.9	8.8
NC 2-9	352	396	276	1120	2740	2520	28.0	40.7	76.8	31.1	-	4.19	12.	-	5.6	-
NC 2-10	1320	1570	1130	2370	9450	9360	86.5	76.3	123.	72.9	-	13.7	27.	130	7.7	-
HGT 1N	454	383	219	1910	2160	1680	17.6	40.0	28.0	16.6	4.10	3.20	7.8	150	8.3	4.0
HGT 1E	619	463	266	1350	3630	2530	22.9	35.5	33.3	25.3	5.30	3.70	10.	140	7.7	5.3
HGT 1W	469	491	155	2130	2120	1750	12.5	28.5	22.3	15.4	3.90	2.60	7.8	120	12.	3.4
HGT 1S	962	493	202	2260	2290	2060	16.9	32.7	24.2	17.1	3.30	2.80	9.1	190	13.	5.0
SGY 1N	741	659	313	1820	3880	4070	28.4	56.5	90.4	58.0	8.47	5.95	17.	110	11.	6.7
SGY 1E	432	566	276	1940	3530	3700	24.5	54.7	83.7	61.7	8.44	6.17	17.	150	14.	7.2
SGY 1W*	1070	1480	848	2600	9120	8907	68.9	85.4	155.	99.6	20.0	14.0	31.	160	12.	11.
SGY 1S	904	1120	595	2350	7480	6690	48.5	75.0	142.	101.	16.3	11.6	34.	110	12.	8.5

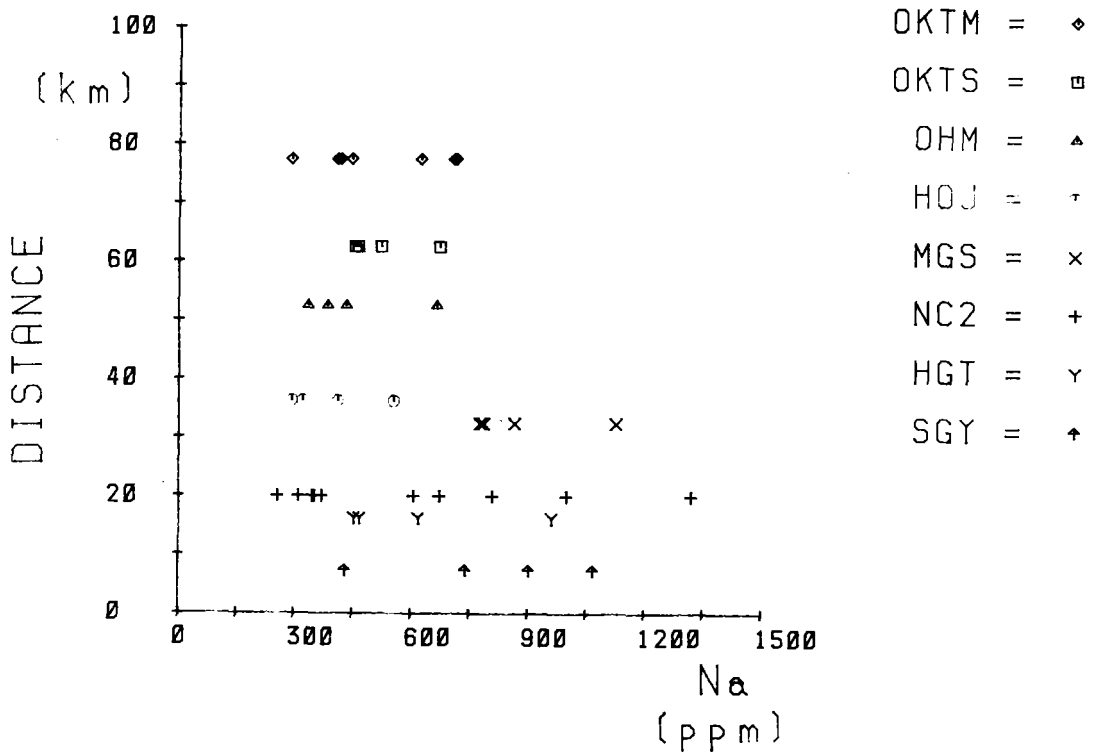


図4-3-1 杉の樹皮中のNa濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

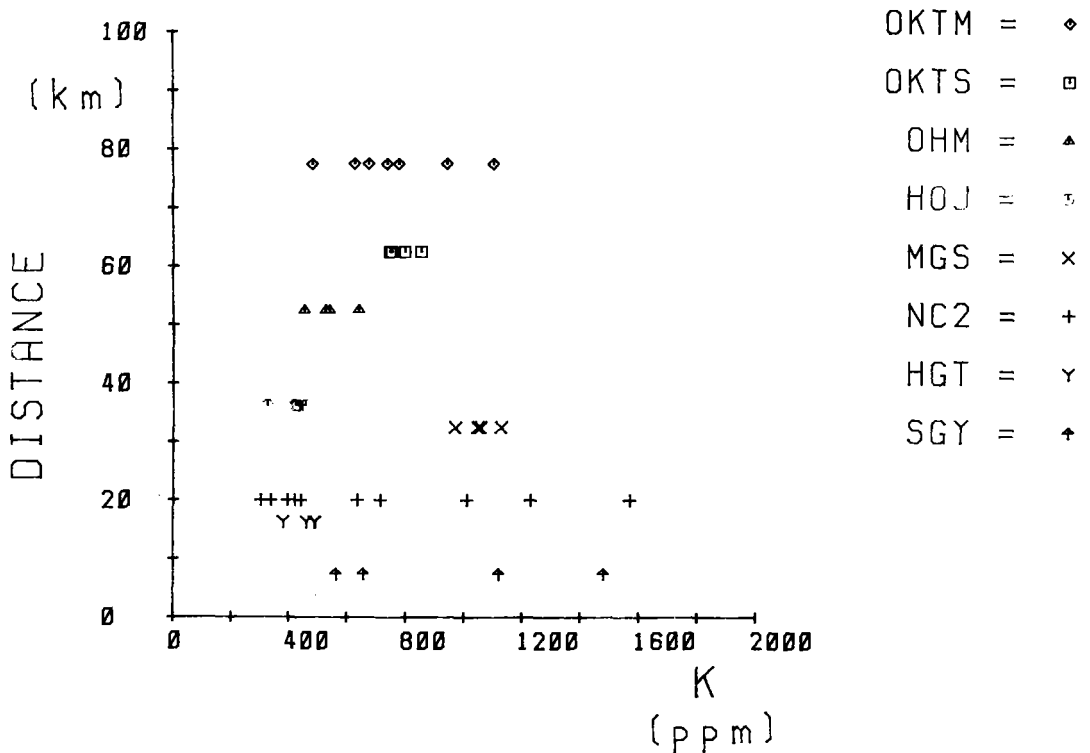


図4-3-2 杉の樹皮中のK濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

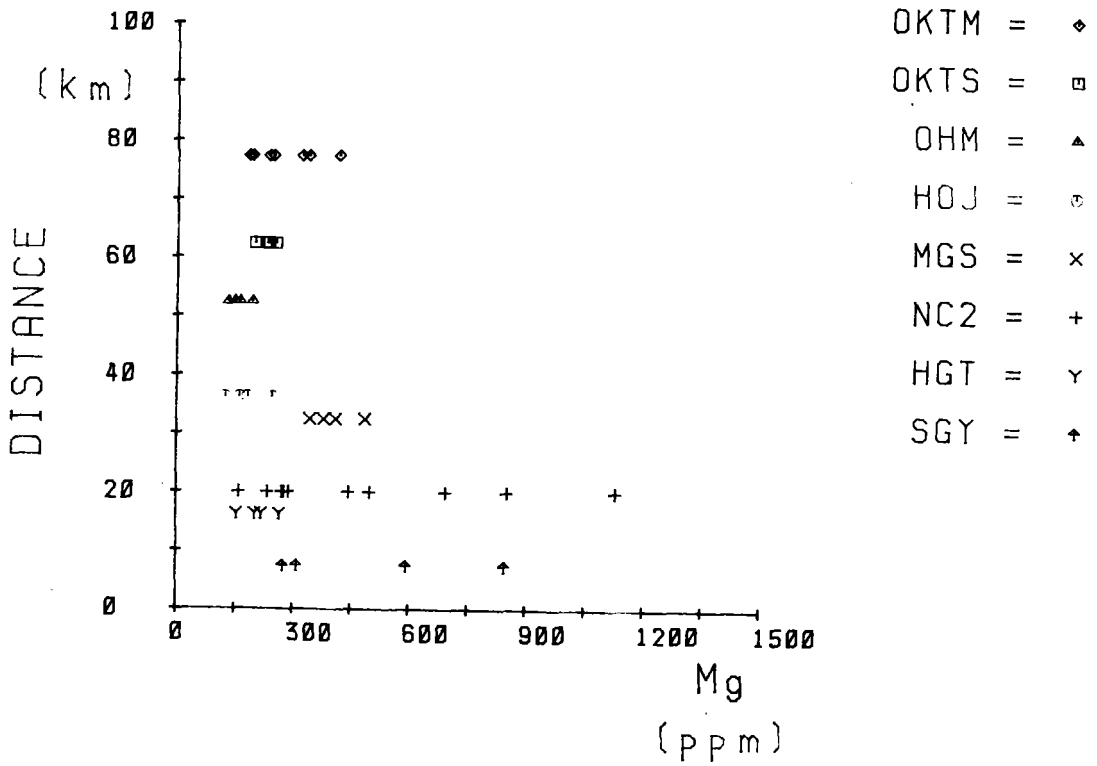


図4-3-3 杉の樹皮中のMg濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

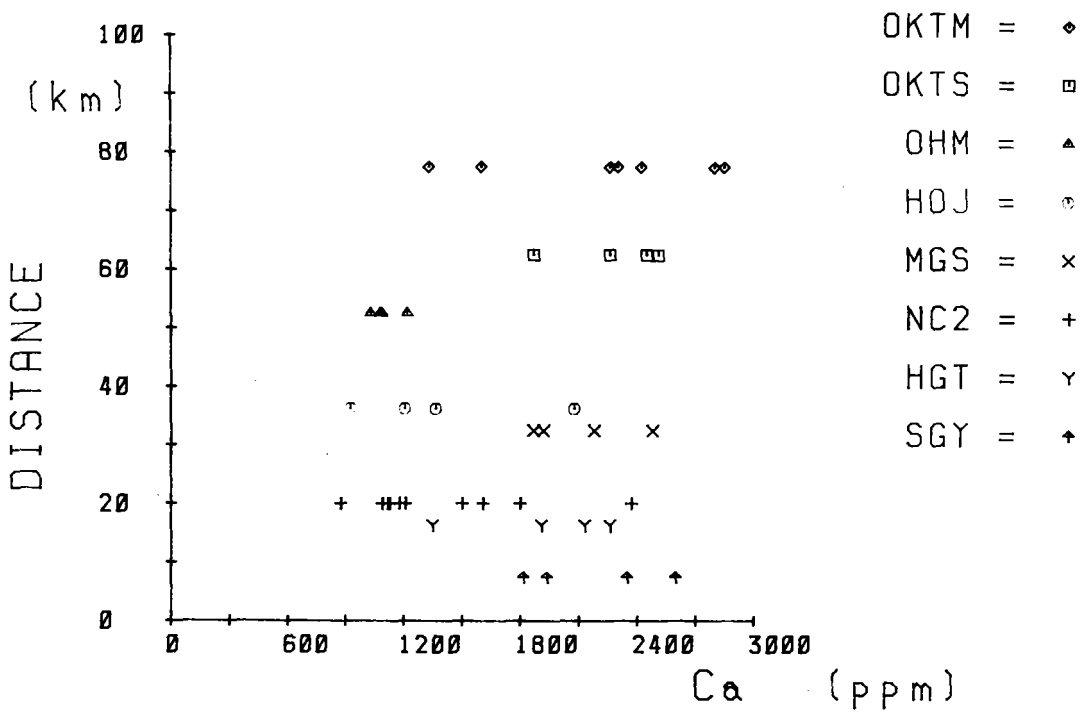


図4-3-4 杉の樹皮中のCa濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

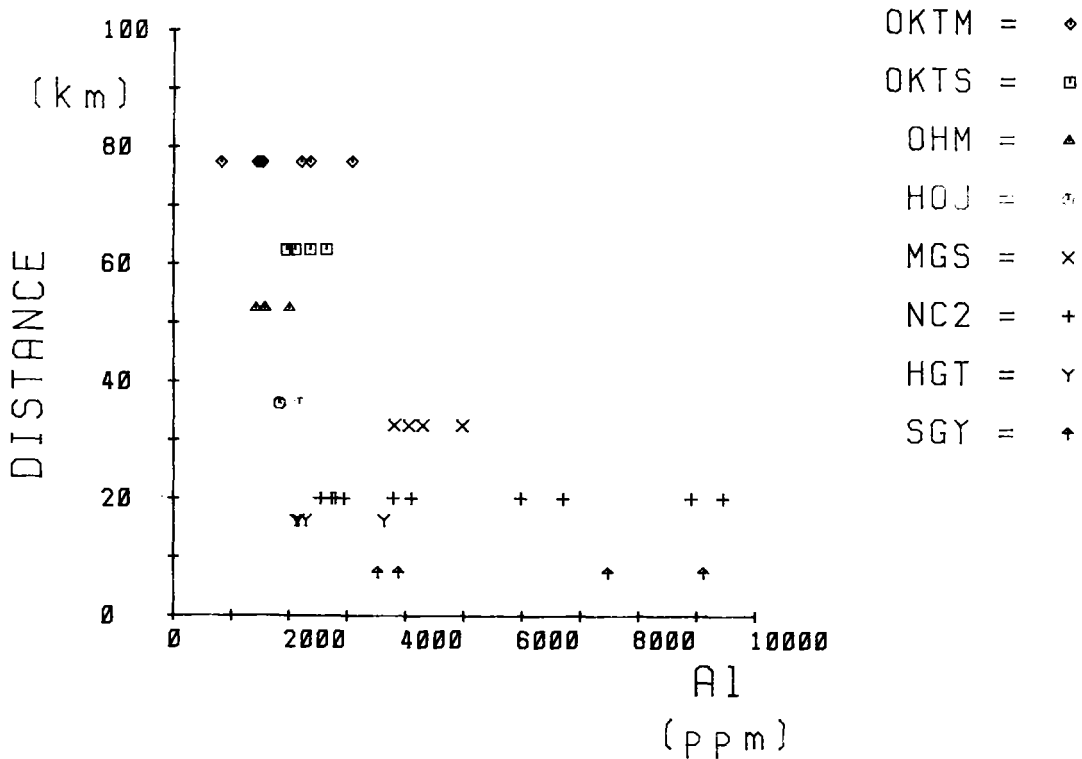


図4-3-5 杉の樹皮中のAl濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

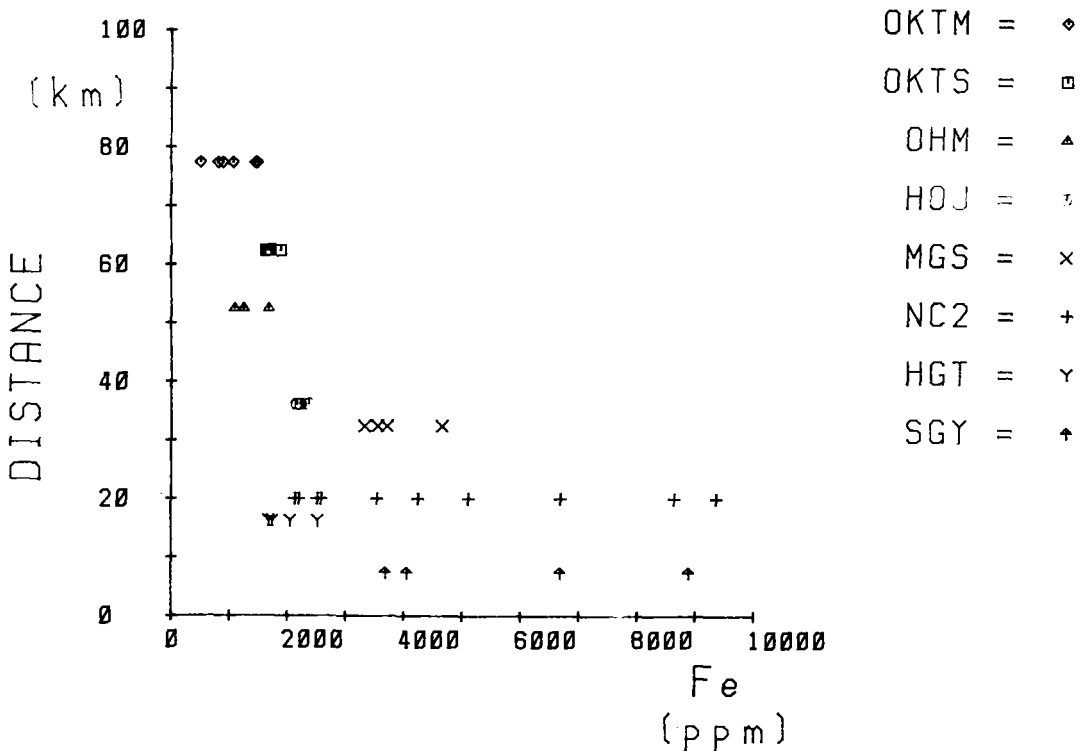


図4-3-6 杉の樹皮中のFe濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

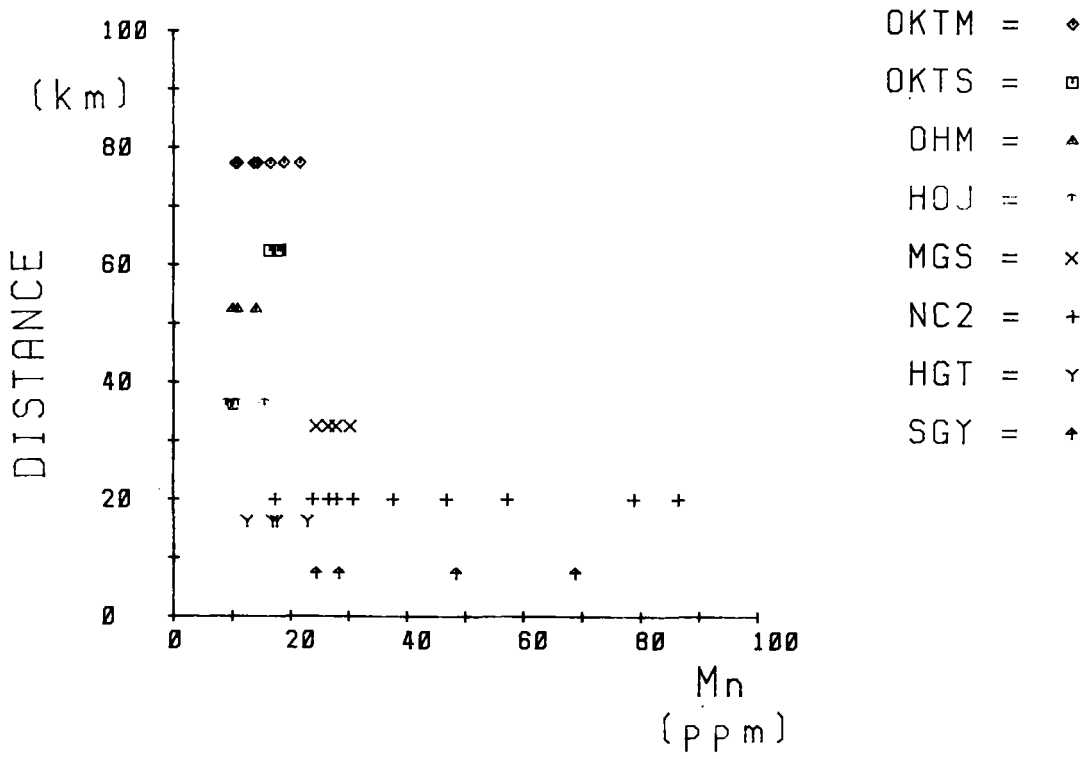


図4-3-7 杉の樹皮中のMn濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

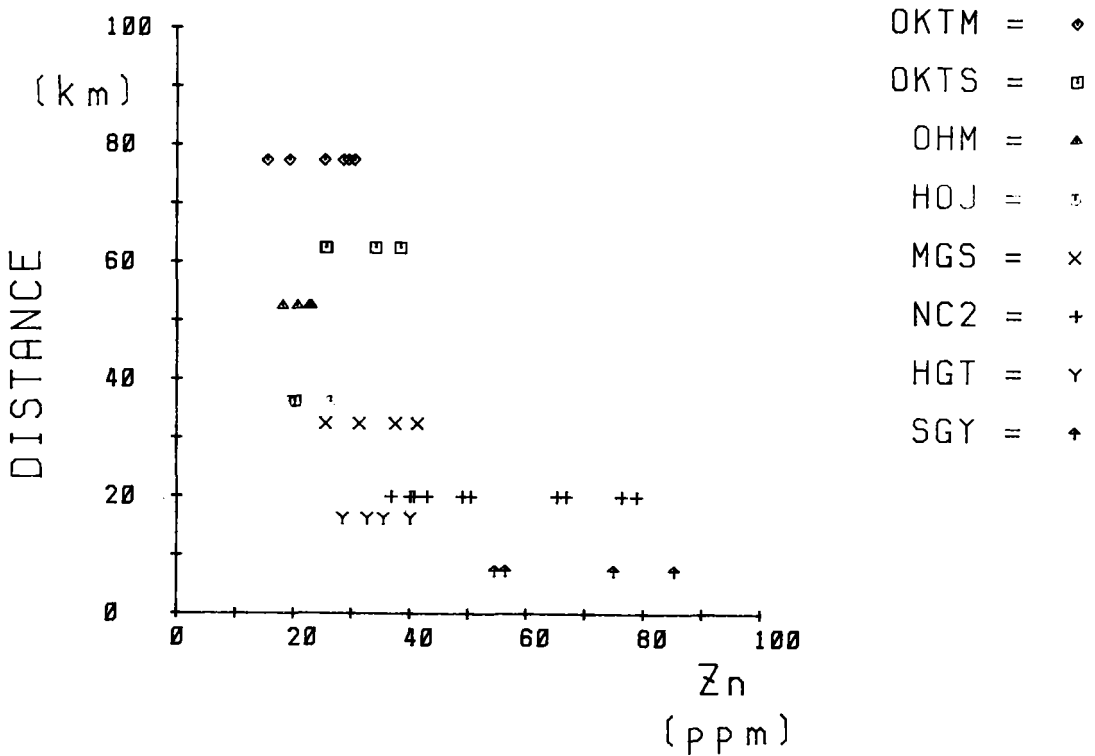


図4-3-8 杉の樹皮中のZn濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

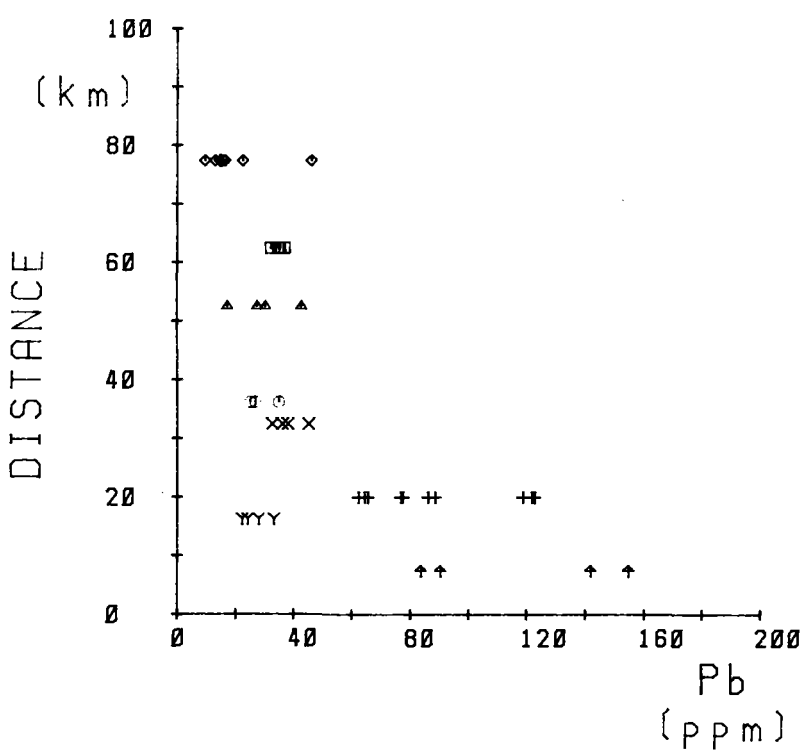
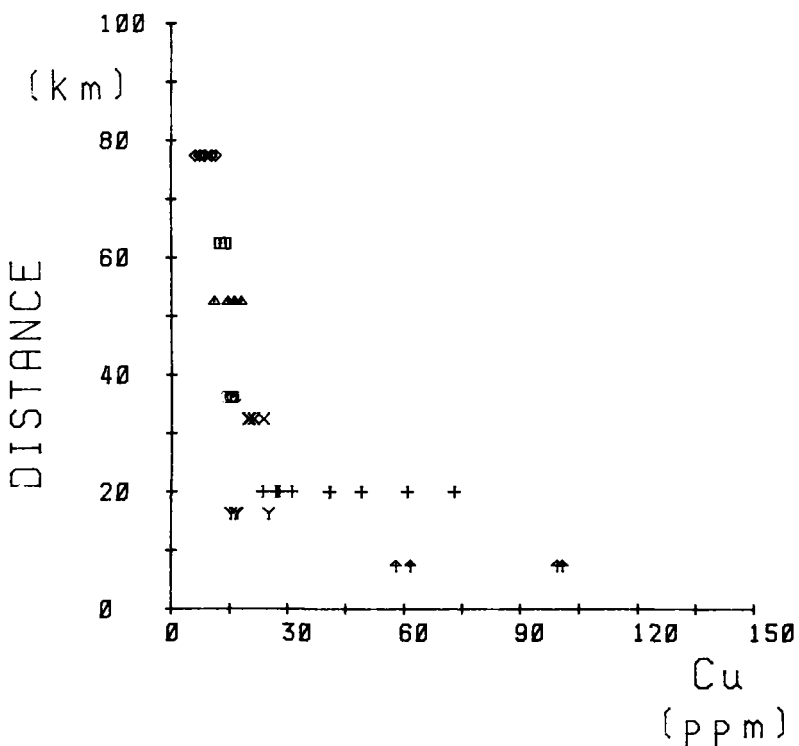


図4-3-9 杉の樹皮中のPb濃度と河口から採取地点までの距離との関係。



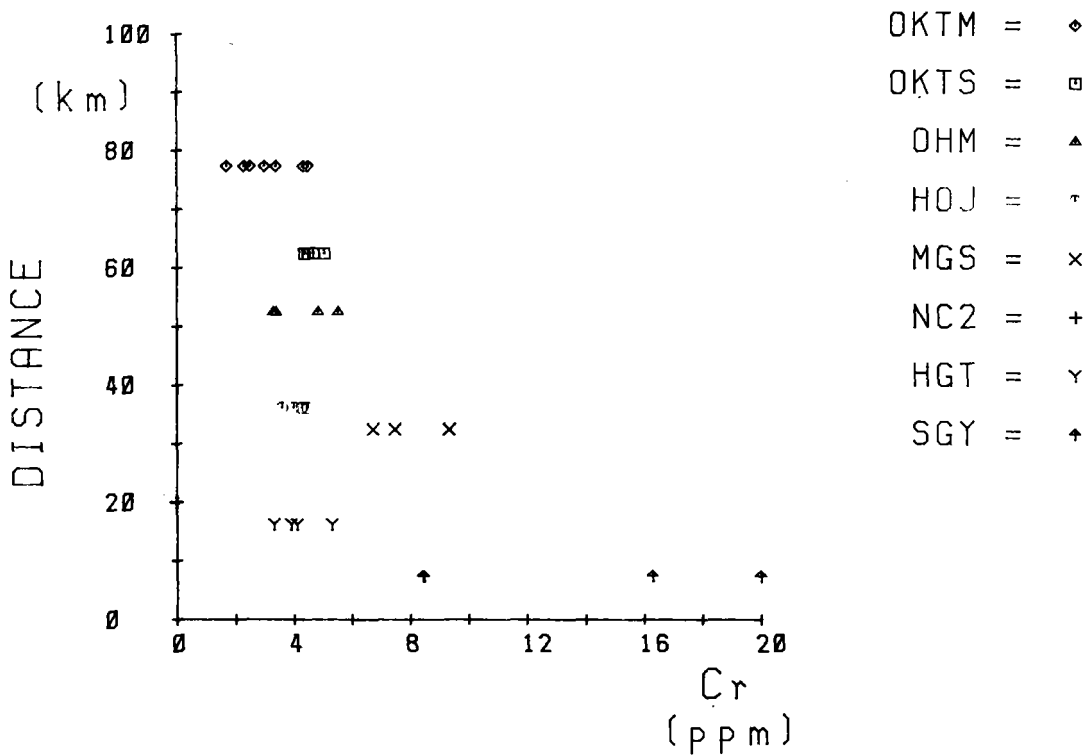


図4-3-11 杉の樹皮中のCr濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

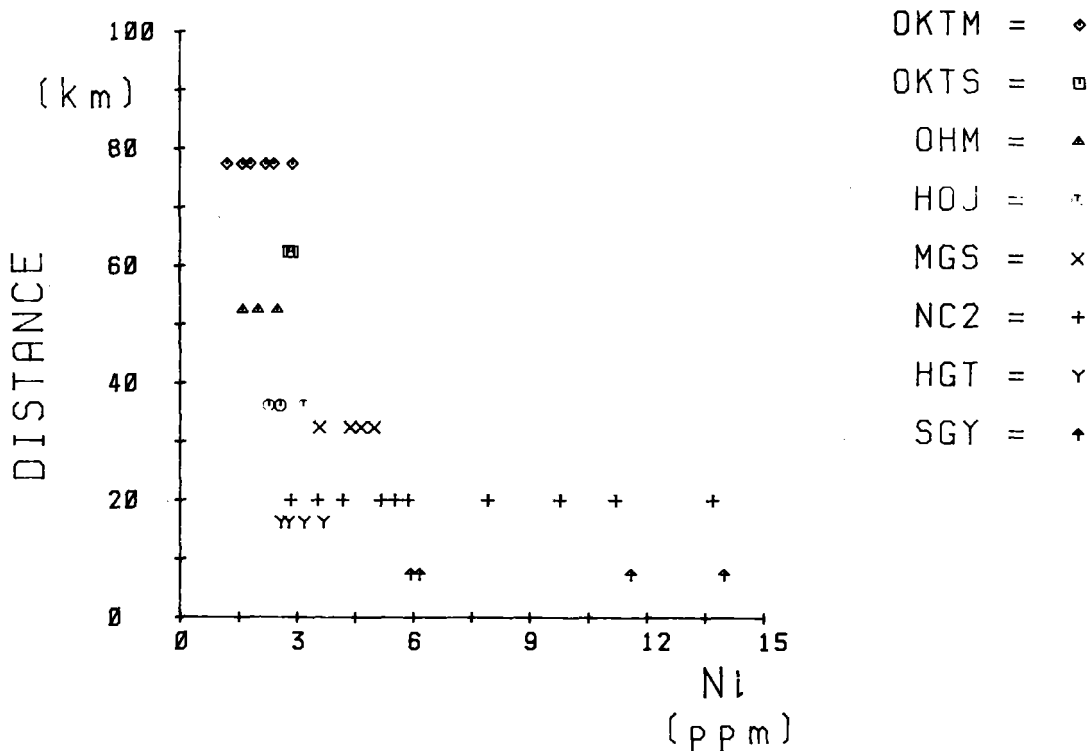


図4-3-12 杉の樹皮中のNi濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

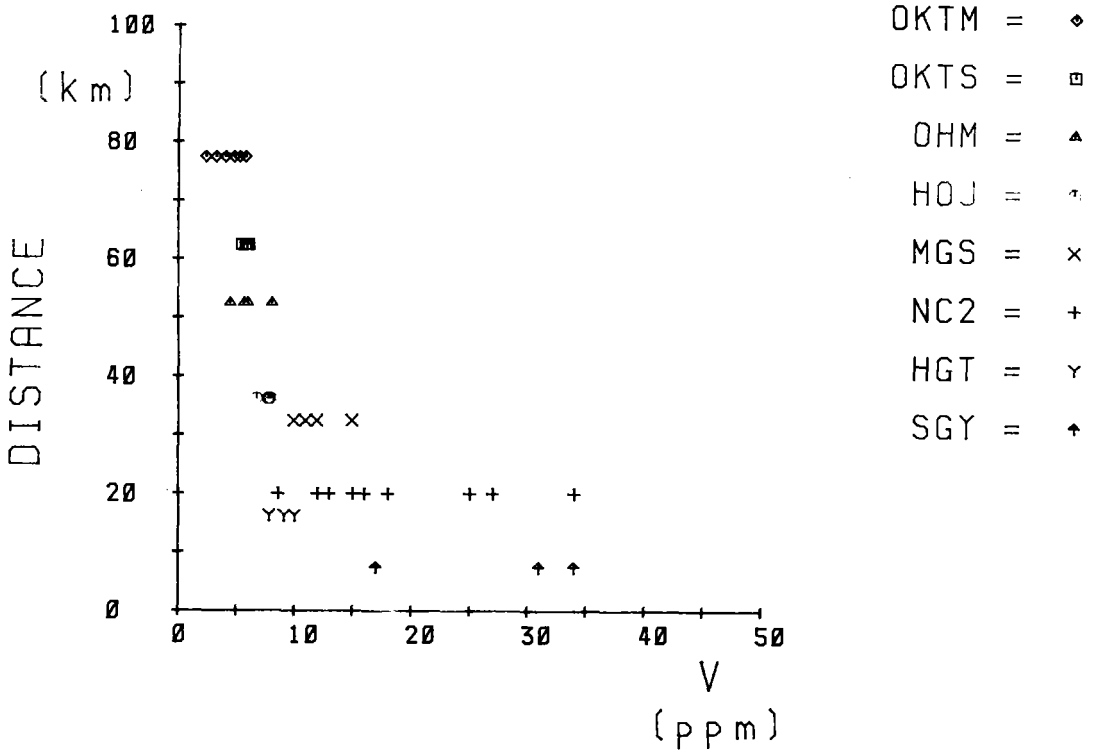


図4-3-13 杉の樹皮中のV濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

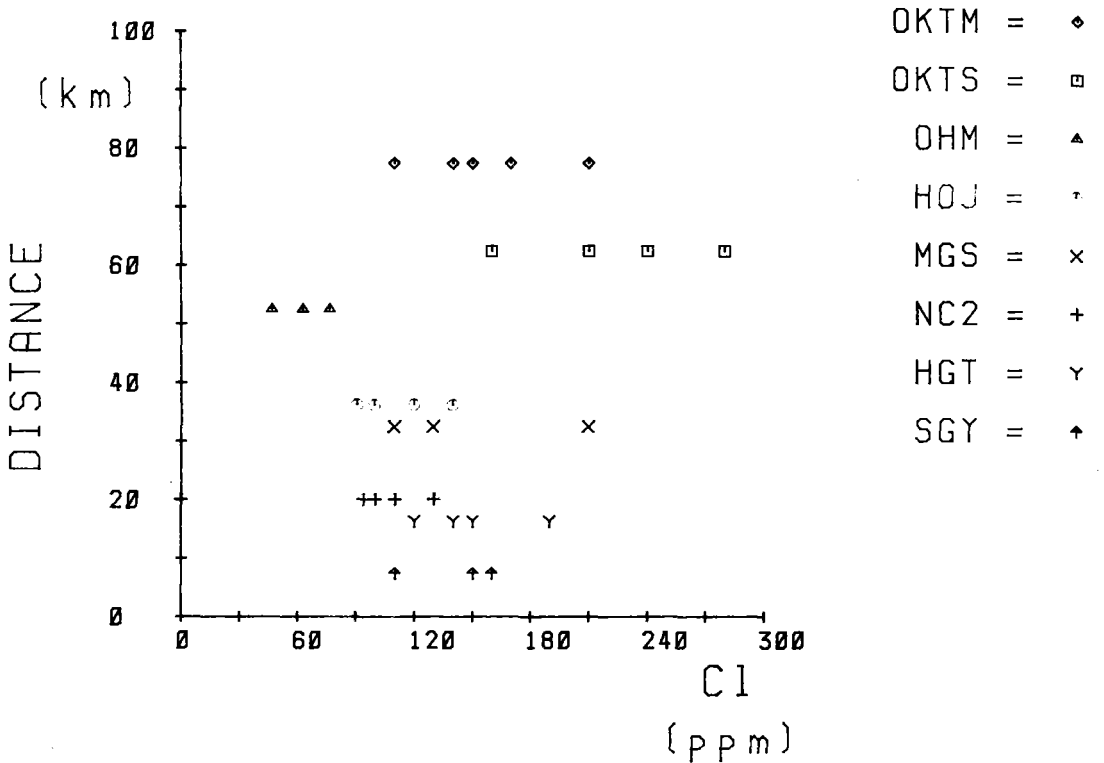


図4-3-14 杉の樹皮中のCl濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

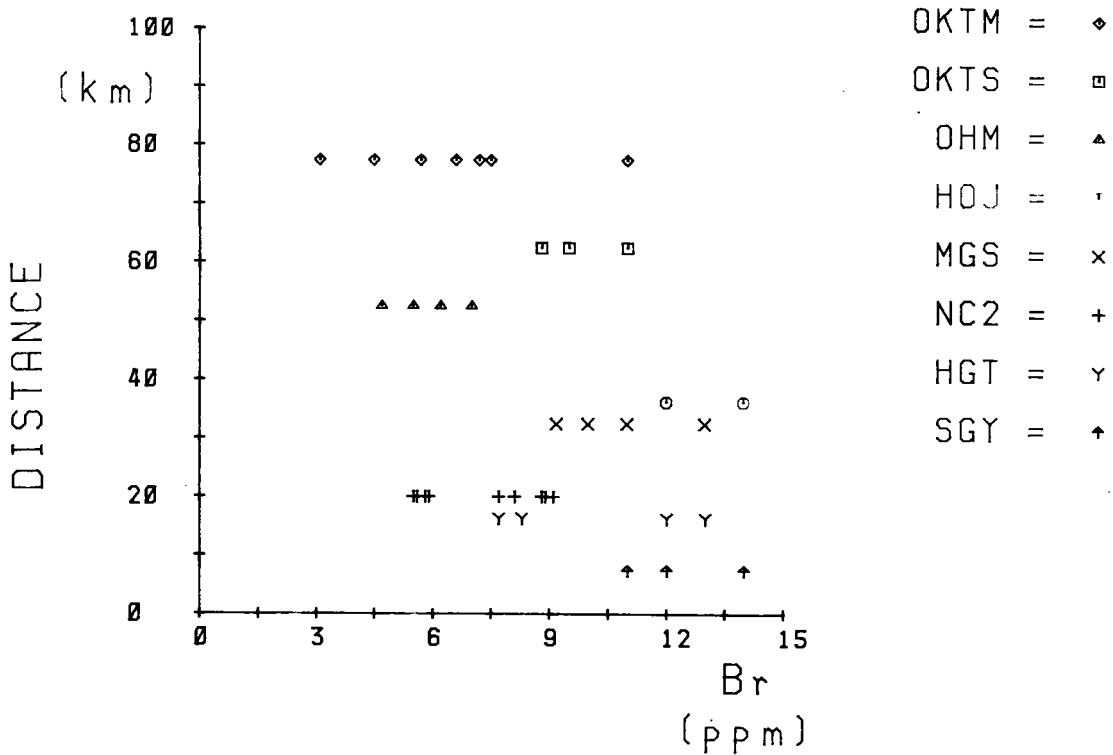


図4-3-15 杉の樹皮中の Br 濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

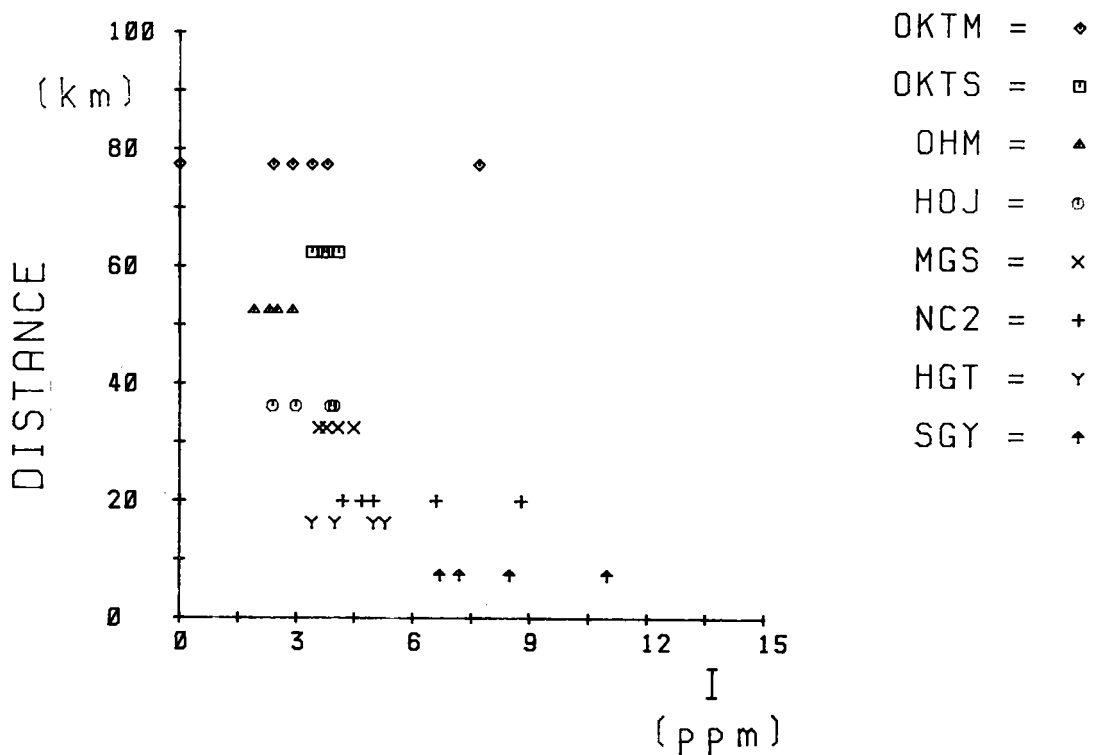


図4-3-16 杉の樹皮中の I 濃度と河口から採取地点までの距離との関係。

表 4-3-1 多摩川流域の杉樹皮の平均値と植物、表層土壌の平均値 (in ppm)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr
BARK											
N	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	31
MEAN	595.	713.	331.	1789	3359	2988	25.7	38.1	52.1	27.4	5.70
STD.DEV.	258.	316.	218.	575.	2188	2230	18.6	18.4	37.7	23.3	3.90
RSD(%)	43.0	44.0	66.0	32.0	65.0	75.0	72.0	48.0	72.0	85.0	68.0
PLANT *											
	1200	14000	3200	18000	550	140	630	160	2.70	14.0	0.230
SOIL **											
	12300	7730	17700	24300	82800	72500	1360	380	100	138	83.2

Sample	Ni	V	Cl	Br	I
BARK					
N	41	41	38	41	36
MEAN	4.42	11.5	138.	8.86	4.59
STD.DEV.	3.27	8.20	50.2	2.84	2.06
RSD(%)	74.0	71.0	37.0	32.0	45.0
PLANT *					
	2.70	1.60	2000	15.0	0.400
SOIL **					
	50.8				

* = H. J. M. Bowen (1966) による。 ** = 榎本礼二 (1981) による。

表4-3-2 多摩川の上流、中流、下流そして全流域の杉樹皮の平均値
(in ppm)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr
upper											
n	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
mean	521.	771.	259.	2241	2003	1323	16.1	27.1	25.2	10.7	3.67
std.dev.	140.	162.	71.4	471.	639.	437.	3.46	6.35	12.3	2.62	1.14
rsd(%)	27.0	21.0	28.0	21.0	32.0	33.0	21.0	23.0	49.0	24.0	31.0
halfway											
n	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
mean	582.	669.	249.	1538	2626	2462	16.8	25.7	32.9	17.3	5.54
std.dev.	264.	296.	125.	533.	1278	1132	8.17	7.43	7.89	3.56	2.20
rsd(%)	45.0	44.0	50.0	35.0	49.0	46.0	49.0	29.0	24.0	21.0	40.0
lower											
n	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	8
mean	650.	706.	429.	1680	4677	4356	37.5	53.1	81.4	44.3	8.73
std.dev.	306.	399.	283.	525.	2562	2605	22.3	17.6	39.8	26.6	6.22
rsd(%)	47.0	57.0	66.0	31.0	55.0	60.0	60.0	33.0	49.0	60.0	71.0
TAMANC											
N	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	31
MEAN	595.	713.	331.	1789	3359	2988	25.7	38.1	52.1	27.4	5.70
STD.DEV.	258.	316.	218.	575.	2188	2230	18.6	18.4	37.7	23.3	3.90
RSD(%)	43.0	44.0	66.0	32.0	65.0	75.0	72.0	48.0	72.0	85.0	68.0

Sample	Ni	V	Cl	Br	I
upper					
n	11	11	11	11	9
mean	2.27	4.89	185.	7.61	3.91
std.dev.	0.626	1.19	49.9	2.53	1.51
rsd(%)	28.0	24.0	27.0	33.0	39.0
halfway					
n	12	12	12	12	12
mean	3.04	8.57	105.	9.72	3.24
std.dev.	1.14	2.97	43.7	3.15	0.847
rsd(%)	37.0	35.0	42.0	32.0	26.0
lower					
n	18	18	15	18	15
mean	6.66	17.5	129.	9.06	6.08
std.dev.	3.81	8.94	25.7	2.68	2.12
rsd(%)	57.0	51.0	20.0	30.0	35.0
TAMANC					
N	41	41	38	41	36
MEAN	4.42	11.5	138.	8.86	4.59
STD.DEV.	3.27	8.20	50.2	2.84	2.06
RSD(%)	74.0	71.0	37.0	32.0	45.0

upper = 上流域
halfway = 中流域
lower = 下流域
TAMANC = 全流域

表 4-3-3 多摩川上流域の杉樹皮に含まれる元素間の相関係数

Sample	I	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
Na	1																
K		1															
Mg			1														
Ca				1													
Al					1												
Fe						1											
Mn							1										
Zn								1									
Pb									1								
Cu										1							
Cr											1						
Ni												1					
V													1				
Cl														1			
Br															1		
I																1	

表 4-3-4 多摩川中流域の杉樹皮に含まれる元素間の相関係数

Sample	I	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
Na	1																
K		1															
Mg			1														
Ca				1													
Al					1												
Fe						1											
Mn							1										
Zn								1									
Pb									1								
Cu										1							
Cr											1						
Ni												1					
V													1				
Cl														1			
Br															1		
I																1	

多摩川下流域の杉樹皮に含まれる元素間の相関係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
Na																
K	0.89			0.75	0.80	0.81	0.78	0.68	0.46	0.63	0.63	0.77	0.70	0.28	0.29	0.70
Mg	0.96	0.83		0.66	0.96	0.97	0.93	0.88	0.72	0.82	0.98	0.95	0.89	0.04	0.20	0.89
Ca		0.50		0.97	0.97	0.97	0.88	0.71	0.72	0.98	0.94	0.94	0.86	-0.07	-0.01	0.82
Al				0.51	0.52	0.42	0.49	0.28	0.59	0.61	0.54	0.54	0.50	0.46	0.73	0.53
Fe				0.99	0.97	0.94	0.78	0.82	0.99	0.97	0.82	0.97	0.93	-0.14	0.11	0.86
Mn				0.83	0.80	0.83	0.99	0.98	0.93	-0.11	0.13	0.89	0.93	-0.11	0.13	0.89
Zn				0.90	0.73	0.71	0.98	0.93	0.88	-0.14	-0.05	0.80	0.93	-0.17	0.18	0.86
Pb				0.87	0.85	0.84	-0.20	0.10	0.81	0.84	-0.20	0.10	0.81	-0.07	-0.40	0.92
Cu				0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Cr				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ni				0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
V				0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Cl				-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
Br				0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
I				0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41

多摩川全流域の杉樹皮に含まれる元素間の相関係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
Na																
K	0.85			0.40	0.76	0.73	0.70	0.53	0.42	0.53	0.66	0.65	0.62	0.10	0.23	0.44
Mg	0.83	0.78		0.56	0.75	0.70	0.71	0.54	0.42	0.51	0.70	0.66	0.57	0.21	0.08	0.42
Ca		0.34		0.95	0.92	0.92	0.97	0.82	0.70	0.74	0.88	0.90	0.83	-0.00	0.03	0.70
Al				0.21	0.15	0.20	0.19	-0.00	0.13	0.23	0.23	0.19	0.10	0.56	0.26	0.29
Fe				0.98	0.97	0.97	0.96	0.91	0.82	0.86	0.96	0.96	0.94	-0.07	0.18	0.77
Mn				0.90	0.84	0.87	0.97	0.90	0.84	0.87	0.97	0.97	0.95	-0.10	0.25	0.78
Zn				0.91	0.81	0.81	0.96	0.91	0.81	0.81	0.96	0.95	0.91	-0.05	0.06	0.78
Pb				0.90	0.81	0.81	0.96	0.91	0.81	0.81	0.96	0.95	0.91	-0.05	0.06	0.78
Cu				0.91	0.89	0.89	0.94	0.94	0.90	0.92	0.91	0.89	0.93	-0.06	0.16	0.83
Cr				0.92	0.91	0.89	0.94	0.94	0.90	0.92	0.91	0.89	0.93	-0.12	0.18	0.80
Ni				0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	-0.14	0.29	0.84
V				0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	-0.05	0.38	0.75
Cl				0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	-0.11	0.20	0.83
Br				-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	0.24	0.82	
I				0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.13	0.34	

表 4-3-7 杉の樹皮の分析値を Al=1000 に規格化した値とその平均値 (wt/wt)

上 流 域

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni
OKTM 31S	279	417	127.	1613	1000	713	9.07	19.7	30.9	7.73	1.53	1.07
OKTM MA-11	303	399	177.	1208	1000	614	9.15	12.1	9.49	4.92	1.84	1.23
OKTM MA-21	202	333	145.	724	1000	665	8.51	11.5	6.65	4.75	2.04	1.09
OKTM 5	356	588	286.	2766	1000	617	12.9	23.6	11.6	7.69	2.08	2.20
OKTM 6	285	468	170.	1944	1000	561	9.93	17.6	11.4	5.20	1.74	1.11
OKTM 7	460	504	119.	864	1000	581	7.01	10.1	8.44	5.71	1.95	0.779
OKTM 8	202	357	110.	747	1000	481	5.36	9.90	4.97	2.78	1.10	0.714
OKTS 3N	216	354	110.	1190	1000	791	8.67	18.2	16.8	6.59	2.22	1.33
OKTS 3E	237	384	102.	1153	1000	832	9.34	17.4	16.4	6.43	2.29	1.48
OKTS 3W	221	337	107.	1034	1000	793	7.55	10.9	15.7	5.91	2.14	1.18
OKTS 3S	254	322	89.1	706	1000	642	6.19	9.66	13.1	4.83	1.65	1.06

Sample	V	Cl	Br	I
OKTM 31S	3.2	113	7.3	-
OKTM MA-11	2.2	64	2.4	1.2
OKTM MA-21	2.2	95	3.4	1.5
OKTM 5	2.9	135	3.8	-
OKTM 6	2.8	146	5.0	5.3
OKTM 7	2.1	91	4.3	2.5
OKTM 8	1.9	49	1.5	0.78
OKTS 3N	2.8	114	4.5	1.8
OKTS 3E	2.8	82	5.6	2.1
OKTS 3W	2.6	118	3.7	1.4
OKTS 3S	2.2	79	3.3	1.4

表4-3-7 つづき-1

中 流 域

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni
OHM K2N	274	341	103.	648	1000	686	6.92	14.3	10.9	6.98	3.06	1.01
OHM K2E	235	318	92.3	755	1000	867	7.06	14.5	21.3	11.3	2.38	1.40
OHM K2W	246	336	94.9	694	1000	796	6.50	11.5	17.6	9.30	2.10	1.27
OHM K2S	331	319	97.0	607	1000	836	7.06	11.5	21.3	9.00	2.76	1.24
HOJ 1N	225	234	99.5	741	1000	1173	6.00	11.1	13.7	7.62	1.95	1.41
HOJ 1E	135	195	113.	950	1000	1000	7.12	12.1	12.4	7.63	1.96	1.46
HOJ 1W	302	249	88.1	654	1000	1211	5.57	10.5	19.0	8.32	2.43	1.41
HOJ 1S	178	179	69.4	508	1000	1306	4.92	11.6	19.2	8.74	2.19	1.26
MGS 1N	183	226	95.6	575	1000	775	6.19	8.72	8.49	4.97	1.74	1.08
MGS 1E	191	260	93.6	459	1000	875	6.88	10.2	9.46	4.96	2.30	1.23
MGS 1W	227	275	90.3	571	1000	974	6.44	6.73	8.64	5.24	1.77	0.942
MGS 1S	226	226	97.8	385	1000	936	6.09	6.31	9.14	4.79	1.87	0.882

Sample	V	Cl	Br	I
OHM K2N	2.8	30	3.0	1.2
OHM K2E	4.0	54	4.3	1.6
OHM K2W	3.8	40	3.5	1.6
OHM K2S	4.0	31	3.5	1.4
HOJ 1N	3.7	49	6.5	1.3
HOJ 1E	3.6	46	5.5	1.4
HOJ 1W	4.2	76	7.6	2.1
HOJ 1S	4.4	66	6.6	2.2
MGS 1N	2.8	26	2.6	1.0
MGS 1E	2.7	27	2.3	0.88
MGS 1W	2.6	55	3.4	0.99
MGS 1S	3.0	26	2.0	0.82

表4-3-7 つづき-2

下流域

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	V
NC 2- 1	101.	106	83.4	251	1000	855	7.83	10.9	14.8	6.86	1.32	2.7
NC 2- 2	111.	121	97.1	404	1000	786	9.54	14.3	22.3	8.43	1.02	4.6
NC 2- 3	126.	143	79.7	369	1000	878	8.10	17.1	22.3	9.42	1.20	4.1
NC 2- 4	101.	119	62.7	344	1000	839	6.82	14.4	25.3	10.6	2.03	3.4
NC 2- 5	91.6	117	76.0	319	1000	934	8.13	12.9	31.4	10.8	1.46	4.7
NC 2- 6	164.	174	109.	288	1000	1034	9.20	10.5	18.9	6.73	1.43	3.7
NC 2- 7	121.	151	104.	240	1000	997	8.55	9.97	18.2	7.31	1.46	3.7
NC 2- 8	112.	138	95.7	202	1000	970	8.86	8.84	9.67	6.82	1.26	3.8
NC 2- 9	128.	145	101.	409	1000	920	10.2	14.9	28.0	11.4	1.53	4.4
NC 2-10	140.	166	120.	251	1000	990	9.15	8.07	13.0	7.71	1.45	2.9
HGT 1N	210.	177	101.	884	1000	778	8.15	18.5	13.0	7.69	1.48	3.6
HGT 1E	171.	128	73.3	372	1000	697	6.31	9.78	9.17	6.97	1.02	2.8
HGT 1W	221.	232	73.1	1005	1000	825	5.90	13.4	10.5	7.26	1.23	3.7
HGT 1S	420.	215	88.2	987	1000	900	7.38	14.3	10.6	7.47	1.22	4.0
SGY 1N	191.	170	80.7	469	1000	1049	7.32	14.6	23.3	14.9	1.53	4.4
SGY 1E	122.	160	78.2	550	1000	1048	6.94	15.5	23.7	17.5	1.75	4.8
SGY 1W	117.	162	93.0	285	1000	977	7.55	9.36	17.0	10.9	1.54	3.4
SGY 1S	121.	150	79.5	314	1000	894	6.48	10.0	19.0	13.5	1.55	4.5

Sample	Cl	Br	I	Cr
NC 2- 1	16.	1.5	0.84	-
NC 2- 2	39.	2.1	1.5	-
NC 2- 3	-	2.0	1.4	-
NC 2- 4	39.	3.2	1.8	-
NC 2- 5	34.	2.4	1.7	-
NC 2- 6	32.	1.3	-	-
NC 2- 7	-	1.1	0.99	-
NC 2- 8	12.	1.00	0.99	-
NC 2- 9	-	2.0	-	-
NC 2-10	14.	0.81	-	-
HGT 1N	69.	3.8	1.9	1.90
HGT 1E	39.	2.1	1.5	1.46
HGT 1W	57.	5.7	1.6	1.84
HGT 1S	83.	5.7	2.2	1.44
SGY 1N	28.	2.8	1.7	2.18
SGY 1E	42.	4.0	2.0	2.39
SGY 1W	18.	1.3	1.2	2.19
SGY 1S	15.	1.6	1.1	2.18

表 4-3-7 つづき-3

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr
upper											
n	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
mean	274.	406.	140.	1268	1000	663.	8.51	14.6	13.2	5.68	1.87
std.dev.	77.9	83.2	55.9	628.	-	109.	2.02	4.84	7.03	1.43	0.348
rsd(%)	28.0	21.0	40.0	50.0	-	17.0	24.0	33.0	53.0	25.0	19.0
halfway											
n	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
mean	229.	263.	94.5	629.	1000	953.	6.40	10.8	14.3	7.41	2.21
std.dev.	54.9	55.0	10.2	150.	-	190.	0.681	2.53	5.12	2.09	0.402
rsd(%)	24.0	21.0	11.0	24.0	-	20.0	11.0	24.0	36.0	28.0	18.0
lower											
n	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	8
mean	154.	154.	88.6	441.	1000	909.	7.91	12.6	18.3	9.57	1.95
std.dev.	76.5	33.0	14.7	254.	-	100.	1.19	3.03	6.64	3.14	0.353
rsd(%)	50.0	21.0	17.0	58.0	-	11.0	15.0	24.0	36.0	33.0	18.0
TAMANC											
N	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	31
MEAN	208.	254.	104.	718.	1000	856.	7.63	12.6	15.8	7.90	2.02
STD.DEV.	86.6	118.	37.4	502.	-	178.	1.57	3.70	6.61	2.93	0.391
RSD(%)	42.0	46.0	36.0	70.0	-	21.0	21.0	29.0	42.0	37.0	19.0

Sample	Ni	V	Cl	Br	I
upper					
n	11	11	11	11	9
mean	1.20	2.53	98.6	4.08	2.01
std.dev.	0.397	0.419	29.7	1.58	1.34
rsd(%)	33.0	17.0	30.0	39.0	67.0
halfway					
n	12	12	12	12	12
mean	1.22	3.47	43.7	4.22	1.38
std.dev.	0.195	0.643	16.7	1.87	0.441
rsd(%)	16.0	19.0	38.0	44.0	32.0
lower					
n	18	18	15	18	15
mean	1.42	3.84	35.8	2.47	1.50
std.dev.	0.245	0.669	21.0	1.47	0.407
rsd(%)	17.0	17.0	59.0	60.0	27.0
TAMANC					
N	41	41	38	41	36
MEAN	1.30	3.38	56.5	3.41	1.59
STD.DEV.	0.293	0.803	35.2	1.79	0.777
RSD(%)	23.0	24.0	62.0	53.0	49.0

upper = 上流域
 halfway = 中流域
 lower = 下流域
 TAMANC = 全流域

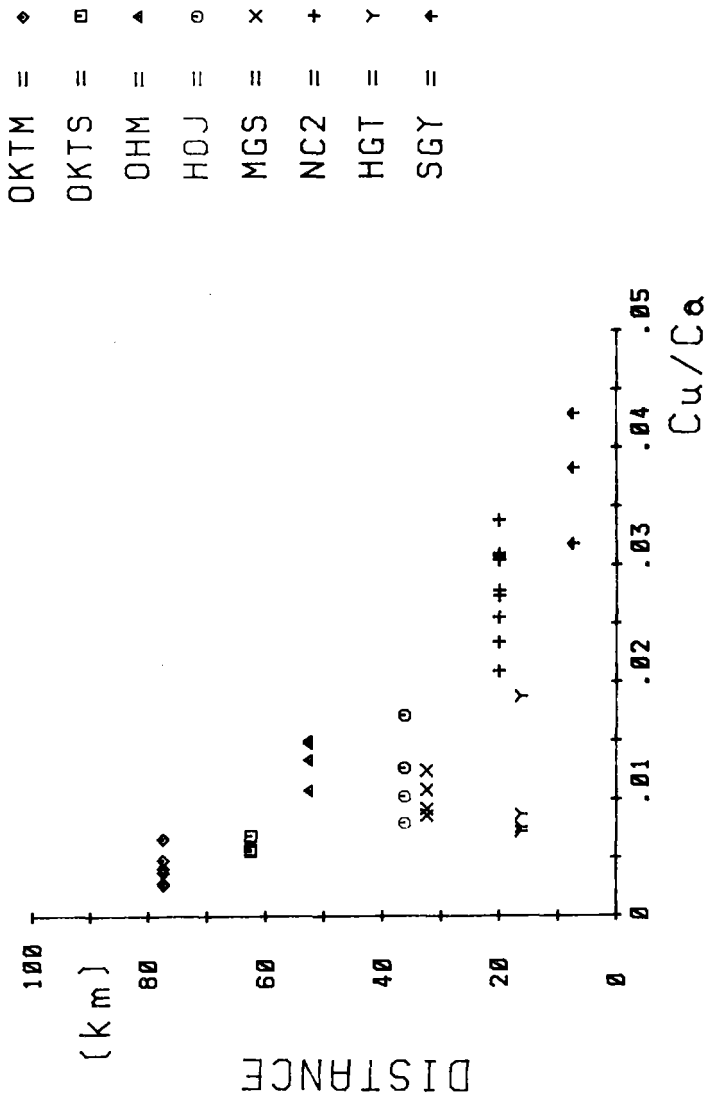


図 4-3-17 杉の樹皮中の Cu/Ca 比 (wt/wt) と河口から採取地点までの距離との関係。

表4-4-1 杉樹皮中の元素濃度の実測値とCa、Al、Pbを用いて計算した値 (in ppm) として計算された係数

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V
OKTM 31S calc.	418. 526.	626. 677.	191. 186.	2420 1500	1500 1521	1070 1521	13.6 12.1	29.5 32.9	46.3 46.3	11.6 22.0	3.30 3.97	1.60 2.64	4.80 7.19
OKTM MA-1 calc.	715. 671.	942. 854.	417. 272.	2850 2360	2360 2099	1450 2099	21.6 18.2	28.6 31.8	22.4 22.4	11.6 14.7	4.35 4.34	2.90 2.85	5.30 7.01
OKTM MA-2 calc.	447. 454.	737. 564.	320. 231.	1600 2210	2210 1929	1470 1929	18.8 16.9	25.4 21.7	14.7 14.7	10.5 11.3	4.50 3.83	2.40 2.51	4.80 6.03
OKTM 5 calc.	291. 440.	480. 577.	234. 122.	2260 817.	817. 737.	504. 737.	10.5 6.33	19.3 19.0	9.50 9.50	8.28 5.77	1.70 1.57	1.80 1.03	2.40 2.57
OKTM 6 calc.	410. 583.	674. 755.	245. 189.	2800 1440	1440 1296	808. 1296	14.3 11.1	25.4 26.4	16.4 16.4	7.49 10.0	2.50 2.75	1.60 1.81	4.10 4.51
OKTM 7 calc.	709. 352.	776. 440.	183. 186.	1330 1540	1540 1360	894. 1360	11.8 10.8	15.5 17.1	13.0 13.0	8.79 8.95	3.00 3.77	1.20 1.82	3.30 4.43
OKTM 8 calc.	623. 645.	1100 801.	338. 323.	2300 3080	3080 2657	1480 2657	16.5 23.5	30.5 29.1	15.3 15.3	8.55 13.7	3.40 5.14	2.20 3.36	5.80 7.96
OKTS 3N calc.	456. 594.	746. 755.	232. 242.	2510 2110	2110 1966	1670 1966	18.3 16.3	38.4 32.5	35.4 35.4	13.9 19.2	4.68 4.46	2.80 2.95	5.90 7.58
OKTS 3E calc.	464. 540.	752. 686.	210. 223.	1960 1960	1960 1822	1630 1822	18.3 15.3	34.2 29.6	32.2 32.2	12.6 17.6	4.49 4.12	2.90 2.72	5.50 6.98
OKTS 3W calc.	523. 607.	798. 767.	254. 264.	2450 2370	2370 2193	1880 2193	17.9 18.5	25.8 33.6	37.1 37.1	14.0 20.5	5.06 4.91	2.80 3.24	6.10 8.28
OKTS 3S calc.	672. 537.	854. 665.	236. 276.	1870 2650	2650 2413	1700 2413	16.4 20.6	25.6 30.6	34.8 34.8	12.8 20.3	4.37 5.24	3.45 3.45	5.80 8.69
OHM K2N calc.	435. 307.	542. 379.	163. 163.	1030 1590	1590 1427	1090 1427	11.0 12.3	22.7 16.8	17.3 17.3	11.1 10.8	4.86 3.01	1.60 1.98	4.50 4.91
OHM K2E calc.	336. 301.	455. 375.	132. 150.	1080 1430	1430 1370	1240 1370	10.1 11.3	20.7 20.2	30.5 30.5	16.2 15.6	3.40 3.27	2.00 2.17	5.70 5.69
OHM K2W calc.	387. 315.	528. 390.	149. 163.	1090 1570	1570 1450	1250 1450	10.2 10.2	18.1 20.0	27.6 27.6	14.6 14.8	3.30 3.37	2.00 2.23	6.00 5.74
OHM K2S calc.	666. 375.	642. 461.	195. 205.	1220 2010	2010 1926	1680 1926	14.2 15.9	23.1 26.7	42.9 42.9	18.1 21.9	5.54 4.60	2.50 3.05	8.10 8.00

表4-4-1 つづき-1

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V
HOJ 1N calc.	416. 385.	433. 473.	184.	1370 1850	1850	2170 1691	11.4	20.5 22.0	25.4 25.4	14.6	3.60 3.70	2.60 2.44	6.80 6.16
HOJ 1E calc.	296. 531.	426. 668.	247. 240.	2080 2190	2190	2190 1984	15.6 17.0	26.6 27.9	27.1 27.1	16.7 16.1	4.30 4.27	3.20 3.20	7.90 7.04
HOJ 1W calc.	558. 359.	460. 443.	163. 190.	1210 1850	1850	2240 1748	10.3 14.6	19.5 23.9	35.2 35.2	15.4 18.5	4.50 4.07	2.60 2.69	7.80 7.00
HOJ 1S calc.	325. 312.	328. 379.	127. 182.	930. 1830	1830	2390 1731	9.00 14.4	22.1 22.2	35.2 35.2	16.4 18.4	4.00 4.04	2.30 2.67	8.00 6.95
MGS 1N calc.	788. 781.	974. 958.	412. 436.	2480 4310	4310	3340 3807	26.7 33.1	37.6 40.7	36.6 36.6	21.4 25.1	7.49 7.77	4.67 5.09	12.0 12.4
MGS 1E calc.	779. 661.	1060. 800.	381. 401.	1870 4070	4070	3560 3618	28.0 31.4	41.4 36.8	38.5 38.5	20.2 25.3	9.36 7.49	5.01 4.91	11.0 12.0
MGS 1W calc.	868. 690.	1050. 845.	345. 386.	2180 3820	3820	3720 3378	24.6 29.4	25.7 36.1	33.0 33.0	20.0 22.5	6.75 6.91	3.60 4.53	10.00 11.1
MGS 1S calc.	1130. 749.	899. 899.	488. 484.	1920 4990	4990	4670 4427	30.4 38.4	31.5 42.5	45.6 45.6	23.9 30.4	9.35 9.12	4.40 5.98	15.0 14.7
NC 2-1 calc.	606. 768.	636. 900.	499. 562.	1500 5980	5980	5110 5503	46.8 46.7	65.2 55.8	88.6 88.6	41.0 49.8	12.2	7.92 8.05	16.0 20.5
NC 2-2 calc.	311. 429.	338. 516.	272. 273.	1130 2800	2800	2200 2699	26.7 22.2	40.0 34.6	62.5 62.5	23.6 31.6	6.51	2.85 4.31	13.0 11.4
NC 2-3 calc.	371. 436.	421. 521.	235. 285.	1090 2950	2950	2590 2843	23.9 23.4	50.4 35.8	65.7 65.7	27.8 33.2	6.85	3.55 4.54	12.0 12.0
NC 2-4 calc.	257. 366.	303. 436.	160. 245.	876. 2550	2550	2140 2503	17.4 20.4	36.8 32.8	64.5 64.5	27.1 31.8	6.21	5.17 4.12	8.60 11.0
NC 2-5 calc.	347. 529.	442. 628.	288. 362.	1210 3790	3790	3540 3854	30.8 30.7	49.0 54.7	119. 119.	40.9 56.3	10.1	5.53 6.73	18.0 18.3
NC 2-6 calc.	674. 551.	715. 651.	445. 389.	1180 4100	4100	4240 3671	32.7 32.3	42.9 43.9	77.5 77.5	27.6 40.7	9.00	5.87 5.87	15.0 15.0
NC 2-7 calc.	809. 848.	1010. 993.	694. 628.	1610 6700	6700	6680 6298	57.3 52.7	66.8 68.6	122. 122.	49.0 64.7	14.5	9.79 9.61	25.0 24.9
NC 2-8 calc.	1000. 1073.	1230. 1245.	853. 828.	1800 8910	8910	8640 7932	78.9 68.7	78.8 67.6	86.2 86.2	60.8 56.1	16.5	11.2 10.8	34.0 26.6
NC 2-9 calc.	352. 422.	396. 508.	276. 267.	1120 2740	2740	2520 2733	28.0 22.0	40.7 38.4	76.8 76.8	31.1 31.1	6.96	4.19 4.63	12.0 12.5
NC 2-10 calc.	1320. 11213	1570. 1423	1130. 889.	2370 9450	9450	9360 8597	86.5 73.4	76.3 83.3	123. 123.	72.9 72.0	18.6	13.7 12.3	27.0 30.9

表 4-4-1 つづき-2

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V
HGT IN calc.	454. 500.	383. 627.	219. 233.	1910 1910	2160 2160	1680 1964	17.6 16.8	40.0 27.1	28.0 28.0	16.6 16.4	4.10 4.26	3.20 2.80	7.80 7.05
HGT IE calc.	519. 538.	463. 644.	266. 351.	1350 1350	3630 3630	2530 3221	22.9 27.9	35.5 30.6	33.3 33.3	25.3 22.1	5.30 6.64	3.70 4.36	10.00 10.7
HGT IW calc.	469. 533.	491. 672.	155. 235.	2130 2130	2120 2120	1750 1898	12.5 16.4	28.5 26.6	22.3 22.3	15.4 14.1	3.90 3.98	2.60 2.62	7.80 6.48
HGT IS calc.	562. 569.	493. 717.	202. 253.	2260 2260	2290 2290	2060 2051	16.9 17.7	32.7 28.5	24.2 24.2	17.1 15.2	3.30 4.31	2.80 2.83	9.10 7.01
SGY IN calc.	741. 636.	659. 771.	313. 364.	1820 1820	3880 3880	4070 3763	28.4 30.9	56.5 50.5	90.4 90.4	58.0 45.3	8.47 9.16	5.95 6.07	17.0 16.1
SGY IE calc.	432. 625.	566. 764.	276. 355.	1940 1940	3530 3530	3700 3432	24.5 28.1	54.7 48.1	83.7 83.7	61.7 41.8	8.44 8.39	6.17 5.56	17.0 14.8
SGY IW calc.	1070 1121	1480 1442	848. 864.	2600 2600	9120 9120	8907 8509	68.9 71.5	85.4 92.6	155. 155.	99.6 83.8	20.0 19.4	14.0 12.8	31.0 32.9
SGY IS calc.	904. 1037	1120 1231	595. 714.	2350 2350	7480 7480	6690 7066	48.5 58.9	75.0 81.4	142. 142.	101. 74.6	16.3 16.4	11.6 10.9	34.0 28.3
Ca	0.163	0.221	0.0221	1.00	1.000	0.834	0.00753	0.00589		0.00248	0.00148	0.000962	0.00216
Al	0.0874	0.0651	0.0665			5.83	0.0182	0.00364		0.394	0.0377	0.0259	0.0853
Pb								0.284	1.00				

表 4-4-1 つづき-3

Sample	Cl	Br	I
OKTM 31S calc.	170. 176.	11.0 10.6	4.80
OKTM MA-1 calc.	150. 208.	5.70 11.5	2.90 4.56
OKTM MA-2 calc.	210. 117.	7.50 6.53	3.40 2.81
OKTM 5 calc.	110. 165.	3.10 8.87	3.11
OKTM 6 calc.	210. 204.	7.20 11.1	7.70 4.11
OKTM 7 calc.	140. 96.9	6.60 5.45	3.80 2.31
OKTM 8 calc.	150. 168.	4.50 9.20	2.40 3.80
OKTS 3N calc.	240. 183.	9.50 10.6	3.70 4.61
OKTS 3E calc.	160. 165.	11.0 9.57	4.10 4.17
OKTS 3W calc.	280. 178.	8.80 10.4	3.40 4.65
OKTS 3S calc.	210. 136.	8.80 8.18	3.80 3.95
OHM K2N calc.	47.0 75.0	4.70 4.44	1.90 2.13
OHM K2E calc.	77.0 76.7	6.20 5.05	2.30 2.65
OHM K2W calc.	63.0 79.4	5.50 4.99	2.50 2.58
OHM K2S calc.	63.0 88.9	7.00 5.96	3.90 3.38

Sample	Cl	Br	I
HOJ IN calc.	91.0 99.8	12.0 5.99	2.40 2.87
HOJ IE calc.	100.0 152.	12.0 8.73	3.00 3.82
HOJ IW calc.	140. 88.1	14.0 5.69	3.90 3.06
HOJ IS calc.	120. 67.7	12.0 4.62	4.00 2.73
MGS IN calc.	110. 181.	11.0 10.5	4.50 5.03
MGS IE calc.	110. 136.	9.20 8.29	3.60 4.36
MGS IW calc.	210. 159.	13.0 9.29	3.80 4.46
MGS IS calc.	130. 140.	10.00 8.70	4.10 4.85
NC 2-1 calc.	94.0 109.	8.80 8.45	5.00 6.16
NC 2-2 calc.	110. 82.3	5.80 6.23	4.20 4.16
NC 2-3 calc.	79.4	5.90 6.18	4.20 4.26
NC 2-4 calc.	100.0 63.8	8.10 5.33	4.70 3.90
NC 2-5 calc.	130. 88.1	9.10 8.30	6.60 6.55
NC 2-6 calc.	130. 86.0	5.50 6.89	5.03
NC 2-7 calc.	117.	7.70 9.91	6.60 7.67
NC 2-8 calc.	110. 131.	8.90 9.51	8.80 6.97
NC 2-9 calc.	81.6	5.60 6.64	4.67
NC 2-10 calc.	130. 173.	7.70 12.8	9.10

Sample	Cl	Br	I
HGT IN calc.	150. 139.	8.30 8.12	4.00 3.65
HGT IE calc.	140. 98.3	7.70 6.16	5.30 3.48
HGT IW calc.	120. 155.	12.0 8.77	3.40 3.68
HGT IS calc.	180. 165.	13.0 9.32	5.00 3.94
SGY IN calc.	110. 133.	11.0 9.72	6.70 6.20
SGY IE calc.	150. 141.	14.0 9.97	7.20 6.02
SGY IW calc.	160. 189.	12.0 14.7	11.0 10.5
SGY IS calc.	110. 171.	12.0 13.3	8.50 9.42
Ca Al	0.0728	0.00379	0.00115 0.000189
Pb	0.0312	0.0373	

表4-4-2 杉樹皮の分析値 (Cobs) に対する計算値 (Ccalc) の誤差 (100 × $\frac{C_{calc} - C_{obs}}{C_{obs}}$, %)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
OKTM 31S	25	8	-2	0	0	42	-10	11	0	89	72	65	49	3	-3	
OKTM MA-1	-6	-9	-34	0	0	44	-15	11	0	26	0	-1	32	38	101	57
OKTM MA-2	1	-23	-27	0	0	31	-10	-14	0	7	-14	4	25	-44	-12	-17
OKTM 5	51	20	-47	0	0	46	-39	-1	0	-8	-7	-42	7	49	185	
OKTM 6	42	12	-22	0	0	60	-22	3	0	34	10	13	9	-2	54	-46
OKTM 7	-50	-43	-9	0	0	52	9	10	0	1	-7	51	34	-30	-17	-39
OKTM 8	3	-27	-4	0	0	79	42	-4	0	60	51	52	37	11	104	58
OKTS 3N	30	1	4	0	0	17	-9	-15	0	38	-4	5	28	-23	11	24
OKTS 3E	16	-8	11	0	0	11	-16	-13	0	39	-8	-6	26	2	-12	1
OKTS 3W	16	-3	3	0	0	16	3	30	0	46	-2	15	35	-36	18	36
OKTS 3S	-20	-22	16	0	0	41	25	19	0	58	19	23	49	-35	-7	3
OHM K2N	-29	-30	0	0	0	30	11	-26	0	-2	-38	23	9	59	-5	12
OHM K2E	-10	-17	13	0	0	10	12	-2	0	-3	-3	8	0	2	-18	15
OHM K2W	-18	-26	9	0	0	17	20	10	0	1	2	11	-4	26	-9	3
OHM K2S	-43	-28	5	0	0	14	12	15	0	21	-17	21	-1	41	-14	16
HOJ 1N	-7	10	5	0	0	-22	29	7	0	3	2	-6	-9	9	-50	19
HOJ 1E	79	56	-2	0	0	-9	8	5	0	-3	0	-12	-10	51	-27	27
HOJ 1W	-35	-3	16	0	0	-21	41	22	0	19	-9	3	-10	-37	-59	-21
HOJ 1S	-4	15	43	0	0	-27	60	4	0	15	0	16	-13	-43	-61	-31
MGS 1N	0	-1	5	0	0	13	24	8	0	17	3	9	3	64	-4	11
MGS 1E	-15	-24	5	0	0	1	11	-11	0	25	-20	-1	9	23	-9	21
MGS 1W	-20	-19	11	0	0	-9	19	40	0	12	2	25	10	-24	-28	17
MGS 1S	-33	-20	0	0	0	-5	26	34	0	27	-2	35	-2	7	-12	18

表 4-4-2 つづき

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
NC 2-1	26	41	12	0	0	7	0	-14	0	21		1	27	16	-3	23
NC 2-2	37	52	0	0	0	22	-16	-13	0	33		51	-12	-25	7	0
NC 2-3	17	23	21	0	0	9	-2	-28	0	19		27	0		4	1
NC 2-4	42	43	53	0	0	16	17	-10	0	17		-20	28	-36	-34	-17
NC 2-5	52	42	25	0	0	8	0	11	0	37		21	1	-32	-8	0
NC 2-6	-18	-8	-12	0	0	-8	-14	2	0	47		1	3	-33	25	
NC 2-7	4	-1	-9	0	0	-5	-8	2	0	32		-1	0		28	16
NC 2-8	7	1	-2	0	0	-8	-12	-14	0	-7		-3	-21	19	6	-20
NC 2-9	19	28	-3	0	0	8	-21	-5	0	19		10	3		18	
NC 2-10	-8	-9	-21	0	0	-8	-15	9	0	-1		-10	14	32	66	
HGT 1N	10	63	6	0	0	16	-4	-32	0	-1	3	-12	-9	-7	-2	-8
HGT 1E	-13	38	31	0	0	27	22	-13	0	-12	25	17	6	-29	-20	-34
HGT 1W	13	36	51	0	0	8	30	-6	0	-8	2	0	-16	29	-26	8
HGT 1S	-40	45	25	0	0	0	4	-12	0	-10	30	1	-22	-13	-28	-21
SGY 1N	-14	17	22	0	0	-7	8	-10	0	-21	8	2	-5	20	-11	-7
SGY 1E	44	35	28	0	0	-7	14	-12	0	-32	0	-9	-13	-5	-28	-16
SGY 1W	14	-2	1	0	0	-4	3	8	0	-15	-3	-8	6	18	22	-4
SGY 1S	14	9	19	0	0	5	21	8	0	-26	0	-6	-16	55	11	10

表 4-4-3 Ca, Al, Pb によって代表される 3 つの物質が杉樹皮の平均値に占める割合の推定値 (in ppm)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl
Ca	290	390	39.	1800	-	-	-	10.	-	-	-	-	-	130
Al	290	310	290.	-	3300	2800	25.	12.	-	8.3	4.9	3.2	7.2	-
Pb	-	-	-	-	-	300	0.94	14.	52.	20.	1.9	1.3	3.0	-

Sample	Br	I
Ca	6.7	2.0
Al	-	0.63
Pb	1.6	1.9

表 4-5-1 計算により得られた杉樹皮の起源物質 1、2、3 の組成比 (wt / wt)

Source	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr
1	0.0847	0.126	0.0301	0.577	0.118	0.0133	0.000105	0.00416	0.000942	0.000301	0.000104
2	0.115	0.131	0.0420	0.101	0.355	0.242	0.00223	0.000985	-	0.000234	0.000729
3	0.0100	-	0.0262	-	0.440	0.490	0.00353	0.00572	0.0118	0.00580	0.00101

Source	Ni	V	Cl	Br	I
1	0.000133	0.000149	0.0422	0.00200	0.000860
2	0.000211	0.000519	0.00817	0.000205	0.0000669
3	0.000758	0.00216	0.00117	0.000840	0.000523

表 4-5-2 杉樹皮中の元素濃度の実測値と最小自乗法から得られた起源物質 1、2、3 から計算された値
 として杉樹皮に占める起源物質 1、2、3 の混合量 (in ppm)

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
OKTM 31S calc.	418 398	626 544	191 188	2420 2252	1500 1517	1070 1165	13.6 8.66	29.5 28.1	46.3 27.7	11.6 13.1	2.30 2.81	1.60 2.16	4.80 5.24	170. 167.	11.0 9.47	4.39
OKTM MA-1 calc.	715 749	942 937	417 305	2850 2372	2360 2452	1450 1737	21.6 14.4	28.6 27.0	22.4 21.7	11.6 11.0	4.35 4.73	2.90 2.45	5.30 5.88	150. 178.	5.70 8.99	4.03
OKTM MA-2 calc.	447 537	737 658	320 234	1600 1581	2210 2057	1470 1567	18.8 12.8	25.4 22.3	14.7 23.0	10.5 11.6	4.50 4.10	2.40 2.24	4.80 5.64	120. 120.	7.50 6.56	3.40 3.04
OKTM 5 calc.	291 348	480 474	234 145	2260 1787	817 1021	504 670	10.5 5.23	19.3 18.3	9.50 13.6	6.28 6.37	1.78 1.78	1.80 1.25	2.40 2.81	110. 132.	3.10 6.87	3.08
OKTM 6 calc.	410 460	674 633	245 198	2800 2509	1440 1416	808 960	14.3 7.33	25.4 26.7	16.4 21.3	7.49 9.96	2.50 2.48	1.60 1.83	4.10 4.20	110. 186.	7.20 9.84	7.70 4.44
OKTM 7 calc.	709 541	776 666	183 203	1330 1385	1540 1546	894 998	10.8 8.82	15.5 12.8	13.0 5.84	8.79 3.35	3.00 2.96	1.20 1.21	3.30 2.75	140. 104.	6.60 4.62	3.80 1.97
OKTM 8 calc.	623 811	1100 1002	338 321	2300 2278	3080 2558	1480 1770	16.5 15.0	30.5 24.8	15.3 17.7	8.55 9.27	3.40 4.95	2.20 2.34	5.80 5.57	150. 172.	4.50 8.29	3.40 3.66
OKTS 3N calc.	456 509	746 664	232 242	2510 2365	2110 2093	1670 1668	18.3 12.7	38.4 32.5	35.4 34.8	13.9 16.8	4.68 4.05	2.80 2.80	5.90 6.98	240. 177.	9.50 10.2	3.70 4.79
OKTS 3E calc.	464 492	752 633	200 231	2260 2114	1960 2022	1630 1610	18.3 12.4	34.2 29.5	32.2 31.8	12.6 15.4	4.49 3.94	2.90 2.62	5.50 6.56	160. 159.	11.0 9.15	4.10 4.29
OKTS 3W calc.	523 588	798 752	254 268	2450 2372	2370 2304	1880 1796	17.9 14.0	25.8 32.0	37.1 33.2	14.0 16.2	5.06 4.48	2.80 2.85	6.10 7.10	280. 178.	8.80 10.0	3.40 4.67
OKTS 3S calc.	672 640	854 790	236 275	1870 1971	2650 2363	1700 1792	16.4 14.5	25.6 26.3	34.8 25.8	12.8 13.0	4.37 4.67	2.80 2.55	5.80 6.36	210. 149.	8.80 8.01	3.80 3.69
OHM K2N calc.	435 393	542 469	163 172	1030 949	1590 1568	1090 1235	11.0 10.1	22.7 14.9	17.3 16.6	11.1 8.49	4.86 3.19	1.60 1.66	4.50 4.25	72.0 47.8	4.04 4.70	1.90
OHM K2E calc.	336 299	455 366	132 150	1080 1060	1430 1469	1240 1255	10.1 9.65	20.7 18.9	30.5 24.1	11.8 11.8	3.00 3.00	2.00 1.92	5.70 5.01	77.0 80.7	6.20 5.11	2.30 2.47
OHM K2W calc.	387 357	528 433	149 167	1090 1071	1570 1575	1250 1293	10.2 17.9	18.1 21.6	27.5 21.6	14.6 10.7	3.20 3.20	2.00 1.88	6.00 4.85	63.0 81.8	5.50 4.88	2.50 2.33
OHM K2S calc.	666 490	942 576	195 224	1220 1160	2010 2140	1680 1750	14.2 14.1	23.1 20.9	42.9 25.8	18.1 13.1	5.54 4.41	2.50 2.39	8.10 6.23	63.0 89.6	7.00 5.33	2.90 2.56

表4-5-2 つづき-1

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
HOJ IN calc.	416 398	433 489	184 204	1370 1445	1850 2012	2170 1734	11.1 13.1	20.5 26.3	25.4 34.0	14.7 16.7	3.60 4.11	2.60 2.67	6.80 6.99	91.0 110.	12.0 7.05	2.40 3.43
HOJ IE calc.	296 394	426 505	247 222	2080 1939	2190 2211	2190 1966	15.6 14.6	26.6 34.5	27.1 45.1	16.7 21.8	4.30 4.48	3.20 3.28	7.90 8.57	100.0 147.	12.0 9.62	3.00 4.69
HOJ IW calc.	558 414	460 506	163 209	1210 1424	1850 2048	2240 1753	10.3 13.5	19.5 25.8	35.2 33.2	15.4 16.4	4.19 4.50	2.66 2.66	7.80 6.96	140. 109.	14.0 6.91	3.30 3.35
HOJ IS calc.	325 288	328 348	127 178	930 1198	1830 1961	2390 1834	9.00 13.6	21.2 27.7	35.2 40.9	16.9 19.9	4.00 4.12	2.30 2.93	8.00 7.84	120. 92.1	12.0 6.82	4.00 3.45
MGS IN calc.	788 893	974 1062	412 418	2480 2335	4310 4032	3340 3342	26.7 26.6	37.6 42.4	36.6 53.1	21.4 26.7	7.49 8.30	4.67 4.70	12.0 12.3	110. 180.	11.0 10.9	4.50 7.28
MGS IE calc.	779 876	1060 1012	381 409	1870 1779	4070 4069	3560 3410	28.0 27.4	41.4 37.7	38.5 50.2	20.2 25.7	9.36 8.51	5.01 4.58	11.0 12.1	110. 139.	9.20 8.78	3.60 4.31
MGS IW calc.	868 930	1050 1106	345 417	2180 2276	3820 3898	3720 3135	24.6 25.3	25.7 38.3	33.0 45.0	20.9 22.9	6.75 7.98	3.60 4.28	10.00 11.1	210. 175.	13.0 10.1	3.80 4.79
MGS IS calc.	1130 1141	1130 1301	488 515	1920 1871	4990 5098	4670 4211	30.4 34.3	31.5 41.4	45.6 55.1	23.9 28.6	9.35 10.7	4.40 5.39	15.0 14.3	130. 148.	10.00 9.10	4.10 4.46
NC 2-1 calc.	696 730	636 773	499 460	1500 1255	5980 5594	5110 5366	46.8 40.9	65.2 59.8	88.6 104.	41.9 51.9	12.2	7.92	16.0 21.3	94.0 105.	8.80 11.0	5.00 6.01
NC 2-2 calc.	311 358	338 358	272 215	1130 1013	2800 2577	2200 2495	26.7 18.6	40.0 33.0	62.5 53.8	23.5 26.5	5.56	2.85	13.0 10.5	110. 80.3	5.80 7.06	4.20 3.72
NC 2-3 calc.	371 348	421 389	235 234	1090 1077	2950 2810	2590 2721	23.9 20.3	50.4 35.7	65.7 58.4	27.8 26.8	6.07	3.55	12.0 11.4	85.5	5.90 7.58	4.20 4.00
NC 2-4 calc.	257 219	303 249	160 180	876 1005	2550 2269	2140 2285	17.4 16.6	36.8 33.0	64.5 54.6	27.1 26.6	4.91	5.17	8.60 10.1	100.0 78.9	8.10 7.22	4.70 3.82
NC 2-5 calc.	347 329	442 353	288 279	1210 1237	3790 3637	3540 3696	30.8 31.3	49.0 42.0	119. 86.0	40.9 42.0	7.96	5.53	18.0 16.1	130. 99.4	9.10 10.2	6.60 5.50
NC 2-6 calc.	674 691	715 749	445 382	1180 1035	4100 4374	4240 4023	37.7 31.3	42.9 42.0	77.5 69.7	27.5 35.2	9.48	5.87	15.0 15.2	130. 86.2	5.50 7.79	4.18
NC 2-7 calc.	809 968	1010 1020	694 577	1610 1325	6700 6918	6680 6544	57.3 50.4	66.8 119.	122. 119.	49.0 60.0	15.1	9.79	25.0 25.3	114.	7.70 12.0	6.60 6.65
NC 2-8 calc.	1000 1305	1230 1357	853 755	1800 1262	8910 9040	8640 8494	78.9 66.0	78.8 82.8	86.2 147.	50.8 74.6	19.8	11.6	34.0 32.1	110. 115.	8.90 13.4	8.80 7.55
NC 2-9 calc.	352 329	396 361	276 227	1120 948	2740 2775	2520 2708	28.0 20.2	40.7 34.6	76.8 58.0	28.5 31.5	6.02	4.19	12.0 11.3	76.0	5.60 7.12	3.80
NC 2-10 calc.	1320 1610	1570 1711	1130 867	2370 1687	9450 9973	9360 9129	86.5 71.8	76.3 87.1	123. 149.	72.9 75.8	21.7	13.2	27.0 33.6	130. 148.	7.70 14.6	8.04

表 4-5-2 つづき-2

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
HGT 1N calc.	454 386	383 491	219 208	1910 1767	2160 2034	1680 1776	17.6 13.3	40.0 30.6	28.0 39.1	16.6 18.9	4.10 4.11	3.20 2.92	7.80 7.58	150. 134.	8.30 8.58	4.00 4.16
HGT 1E calc.	619 547	463 634	266 290	1350 1421	3630 3081	2530 2747	22.9 21.2	35.5 34.4	38.3 50.2	25.3 25.0	5.30 6.50	3.70 3.99	10.00 10.7	140. 111.	7.70 7.95	5.30 4.01
HGT 1W calc.	469 434	491 566	155 218	2130 2099	2120 1973	1750 1637	12.5 12.3	28.5 31.2	22.3 35.9	15.4 17.3	3.90 3.87	2.60 2.76	7.80 7.01	120. 157.	12.0 9.47	3.40 4.49
HGT 1S calc.	962 605	493 763	202 273	2260 2231	2290 2367	2060 1844	16.9 14.5	32.7 30.6	24.2 31.9	17.1 15.7	3.30 4.65	2.80 2.83	9.10 7.07	190. 168.	13.0 9.42	5.00 4.38
SGY 1N calc.	741 553	659 632	313 353	1820 1787	3880 4110	4070 3917	28.4 29.3	56.5 52.5	90.4 83.3	58.0 40.9	8.47 8.80	5.95 6.00	17.0 16.3	110. 140.	11.6 11.6	6.70 6.05
SGY 1E calc.	432 379	566 450	276 296	1940 1959	3530 3611	3700 3593	24.5 26.0	54.7 55.0	83.7 87.6	61.7 42.5	8.44 7.72	6.17 5.90	17.0 16.1	150. 152.	14.0 12.8	7.20 6.64
SGY 1W calc.	1070 1265	1480 1366	848 775	2600 2293	9120 9279	8907 8824	68.9 67.4	85.4 99.0	155. 169.	99.6 84.2	20.0 20.2	14.0 12.7	31.0 34.9	160. 190.	12.0 18.6	11.0 10.1
SGY 1S calc.	904 888	1120 969	595 595	2350 2134	7480 7293	6690 7085	48.5 53.3	75.0 86.1	142. 146.	101. 72.4	16.3 15.9	11.6 10.5	34.0 29.1	110. 174.	12.0 17.0	8.50 9.16

表 4-5-2 つづき-3

Sample	1	2	3
OKTM 3IS calc.	3824	468	2043
OKTM MA- calc.	3442	3827	1561
OKTM MA- calc.	2241	2855	1768
OKTM 5 calc.	2967	757	914
OKTM 6 calc.	4216	765	1467
OKTM 7 calc.	1820	3318	349
OKTM 8 calc.	3142	4612	1250
OKTS 3N calc.	3866	1341	2637
OKTS 3E calc.	3392	1562	2423
OKTS 3W calc.	3739	2135	2510
OKTS 3S calc.	2842	3286	1957
OHM K2N calc.	1225	2393	1305
OHM K2E calc.	1622	1230	1909
OHM K2W calc.	1539	1819	1698
OHM K2S calc.	1491	2973	2063
HOJ 1N calc.	2228	1583	2697
HOJ 1E calc.	3234	735	3561
HOJ 1W calc.	2159	1777	2641
HOJ 1S calc.	1940	782	3303
MGS 1N calc.	3165	5041	4245
MGS 1E calc.	2084	5704	4085
MGS 1W calc.	2970	5567	3569
MGS 1S calc.	1813	8161	4514
NC 2-1 calc.	1377	4559	8660
NC 2-2 calc.	1538	1250	4432
NC 2-3 calc.	1620	1406	4814
NC 2-4 calc.	1696	265	4485
NC 2-5 calc.	2013	754	7113
NC 2-6 calc.	956	4782	5823
NC 2-7 calc.	1124	6689	10020
NC 2-8 calc.	453	9895	12434
NC 2-9 calc.	1398	1406	4794
NC 2-10 calc.	772	12285	12542
HGT 1N calc.	2897	952	3074
HGT 1E calc.	1946	2954	4093
HGT 1W calc.	3468	975	2764
HGT 1S calc.	3428	2518	2427
SGY 1N calc.	2713	2205	6830
SGY 1E calc.	3363	194	7143
SGY 1W calc.	2605	7823	14070
SGY 1S calc.	2911	4503	12154

表 4-5-3 杉樹皮の分析値 (Cobs) に対する計算値 (Ccalc) の誤差 ($100 \times \frac{Ccalc - Cobs}{Cobs}$) %

Sample	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
OKTM 31S1	-2	-9	1	2	0	4	-9	0	-39	10	18	35	8	7	-8	
OKTM MA-1	8	2	-25	-11	4	18	-18	-2	-11	-9	7	-16	9	27	67	45
OKTM MA-1	23	-8	-26	5	-7	7	-20	-10	49	9	-9	-6	17	-39	-8	-7
OKTM 5 I	24	4	-36	-13	22	22	-24	0	40	-6	0	-31	13	32	140	
OKTM 6 I	17	-1	-17	-2	-4	9	-21	10	27	23	-6	13	-1	-4	47	-38
OKTM 7 I	-21	-12	13	9	1	11	-2	-16	-70	-66	-1	0	-18	-22	-27	-48
OKTM 8 I	34	-7	-3	4	-16	19	10	-17	0	3	45	6	-5	20	93	55
OKTS 3N I	15	-7	7	1	-1	-2	-10	-12	-2	18	-15	0	17	-21	14	37
OKTS 3E I	9	-12	18	1	3	-3	-14	-11	-2	20	-13	-10	19	6	-12	10
OKTS 3W I	16	-2	8	3	-3	-6	-1	28	-12	13	-12	2	16	-33	20	44
OKTS 3S I	-2	-5	19	11	-10	5	6	5	-30	-1	7	-8	9	-26	-5	-1
OHM K2N I	-7	-12	7	-5	0	14	3	-33	-10	-24	-34	4	-5	60	-11	0
OHM K2E I	-9	-17	16	2	4	2	12	-7	-22	-27	-11	-3	-12	9	-15	10
OHM K2W I	-5	-16	14	2	1	4	16	0	-24	-27	-2	-6	-19	34	-9	-6
OHM K2S I	-25	-8	16	-3	8	5	10	-9	-42	-27	-20	-4	-23	45	-22	-12
HOU 1N I	-1	17	14	8	10	-19	40	29	32	18	16	3	3	24	-40	44
HOU 1E I	38	24	-8	-1	2	-11	14	33	68	30	4	3	9	54	-17	63
HOU 1W I	-23	14	31	20	13	-21	53	33	-7	6	-5	3	-10	-21	-50	-14
HOU 1S I	-8	10	43	30	9	-22	74	31	17	25	5	28	-1	-23	-43	-13
MGS 1N I	16	11	3	-2	-6	1	11	14	41	25	11	1	3	69	2	18
MGS 1E I	15	-3	9	-2	1	-3	5	-8	26	28	-9	-8	11	30	-2	19
MGS 1W I	10	8	23	8	3	-15	15	50	30	14	19	19	11	-14	-20	26
MGS 1S I	3	16	7	-2	3	-9	19	32	14	21	15	23	-4	15	-8	5

表 4-5-3 つづき

Sample	Na	K	Mg	Ca	AL	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br	I
NC 2-1	22	23	-8	-11	-6	5	-10	-7	17	28		-2	34	19	29	22
NC 2-2	3	8	-20	-4	-8	13	-25	-16	-13	14		35	-19	-22	27	-8
NC 2-3	-5	-5	0	3	-4	6	-8	-28	-10	5		18	-4		32	-2
NC 2-4	-13	-15	14	18	-10	8	6	-9	-13	-1		-28	19	-19	-10	-17
NC 2-5	-5	-18	-2	6	-3	5	-5	3	-26	4		6	-10	-21	14	-14
NC 2-6	3	5	-14	-8	7	-5	-14	-1	-11	30		-5	2	-31	47	
NC 2-7	21	2	-17	-15	4	-1	-10	4	-2	25		-6	2		61	1
NC 2-8	32	13	-12	-12	0	-3	-17	7	67	23		2	-7	25	64	-11
NC 2-9	-7	-7	-18	-7	1	7	-23	-13	-23	-7		-1	-5		34	
NC 2-10	23	11	-23	-17	5	-3	-17	16	18	5		-11	24	30	105	
HGT 1N	-12	33	-3	-1	-6	5	-8	-21	40	13	0	-8	-3	-6	8	9
HGT 1E	-10	40	10	10	-15	9	1	-2	49	0	23	8	7	-18	6	-25
HGT 1W	-4	21	45	4	-6	-7	26	12	60	10	-1	7	-11	38	-18	37
HGT 1S	-35	61	38	4	4	-11	6	-5	27	-11	41	1	-23	-7	-25	-10
S6Y 1N	-24	-2	14	0	7	-3	13	-6	-7	-29	5	2	-3	30	7	-9
S6Y 1E	-10	-17	9	4	4	-2	21	2	7	-30	-8	-3	-5	3	-8	-6
S6Y 1W	20	-7	-8	-10	2	0	2	17	9	-14	1	-9	13	21	58	-8
S6Y 1S	0	-13	1	-10	-1	7	16	15	4	-27	-2	-8	-14	57	42	7

表 4-5-4 AI = 1000 に規格化した起源物質 1、2、3、杉の内樹皮そして表層土壌の化学組成 (in wt/wt)

	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	V	Cl	Br
1	718.	1068	255.	4890	1000	113	0.890	35.3	7.98	2.55	0.881	1.13	1.3	358	17.
2	324.	369.	118.	285	1000	682	6.28	2.77	-	0.659	2.05	0.594	1.5	23.	0.58
3	22.7	-	59.5	-	1000	1114	8.02	13.0	26.8	13.2	2.30	1.72	4.9	2.7	1.9
INNER BARI	253.	420.	206.	4178	1000	476	19.2	87.4	27.4	14.3	2.27	2.55	2.1	262	1.9
SOIL *	149.	93.4	214.	293	1000	876	16.4	4.59	1.21	1.67	1.00	0.614	-	-	-

	1
1	7.3
2	0.19
3	1.2
INNER BARI	-
SOIL *	-

* = 櫃本礼二 (1981) による。

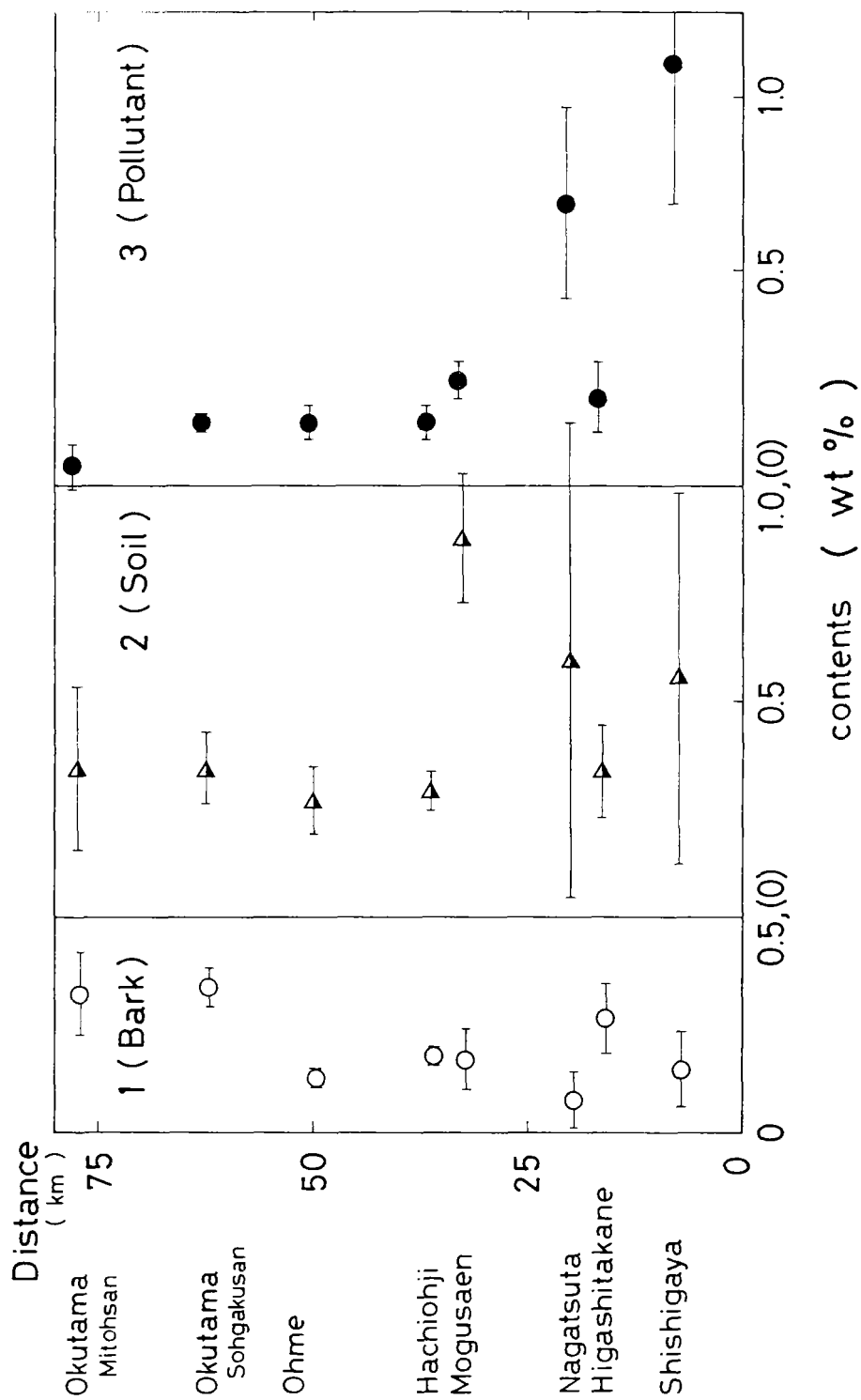


図4-6-1 計算された起源物質 1 (○)、2 (△)、3 (●) が外樹皮に占める混合量と河川から採取地点までの距離との関係。

