二次林と大気汚染物質[1)]

升　方　ひろみ[2)]・小　川　房　人[2)]

1．はじめに

京都大学の桐生試験地内のアカマツ林(Katayama1979)および大阪市立大学植物園内の樹齢約20年のシイ植栽林（中川1977）で，大気中に浮遊粉塵として存在する金属が，雨水を介して森林生態系の中をどのように移動するかが調べられた。この資料をもとにして，大気汚染物質浄化に関する二次林の存在意義について考察を試みる。

林の上に降る雨（林外雨）は，林の中にはいると，林床に滴下する林内雨と，葉・枝によって集められ幹にそって流下する樹幹流とになる。また，一部は樹体表面から蒸発して直接大気中にかえる。両研究では，林外雨，林内雨および樹幹流の３種の雨水が調べられた。また，シイ林では，林床に達し，土壌中を浸透する雨水（地中流）が，アカマツ林では渓流への流出水が調べられた。

2．森林による大気中の金属の除去

大気中の浮遊粉塵のとり除かれ方としては，降水による除去，自然落下による除去，樹木・建物などとの衝突による除去が考えられている（角皆1972)。森林では，葉の表および裏面，幹・枝の表面など，大気に接する植物体表面積の合計は土地面積の十数倍にも達するので，大気中の浮遊粉塵の除去に大きく貢献しているものと思われる。

図１はアカマツ林で月別に集めた雨水中の金属量である。マンガンは年平均15倍，アルミニウム３倍，バナジウム２倍と，金属の種類によって増大する割合は異なるが，いずれの金属も，林内雨と樹幹流中の合計量の方が林外雨中の量より多い。このことは，樹体表面に付着して大気中から除去された浮遊粉塵が林内雨および樹幹流に添加されることをしめしている。

アカマツ林ではさらに，森林の内と外で，大気中の浮遊粉塵の濃度および金属濃度が調べられた（図２)。雨水

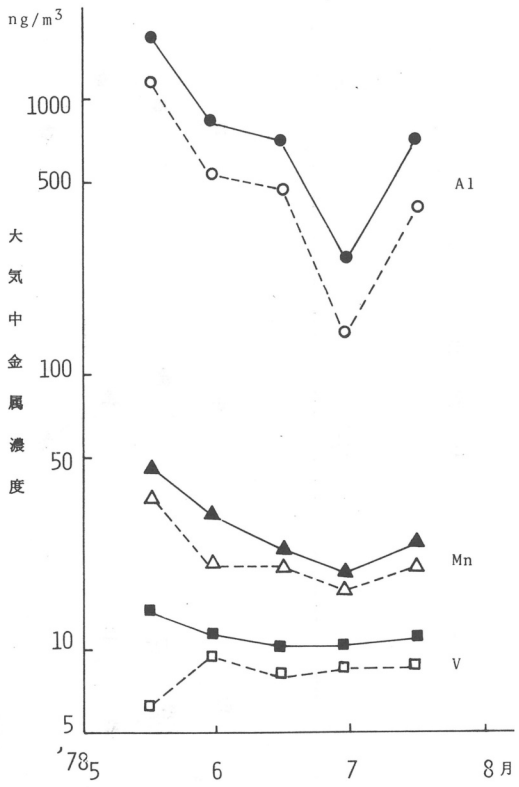


図１　アカマツ林の林外雨および林内雨と樹幹流に含まれる金属量。実線は林外雨，破線は林内雨と樹幹流との合計（Katayama1979より作製)．

中の濃度とは逆に，林内の方が常に林外よりも濃度が低くなっていた。林内を通過する大気量がわからないので，この林が実際にとり除いた金属量の絶対値まではわからないが，上記２つの結果より，森林の樹体が大気をろ過していることは明らかであろう。

シイ林では１回の降水ごとに雨水が集められた。１回

1）関西自然保護機構業績第10号

2）大阪市立大学理学部附属植物園

の降水ごとの各雨水の降水量と雨水中の金属濃度との関係では，降水量が多いほど，金属濃度が低くなる傾向がみられた。図3に亜鉛の例をしめす。さらに，この関係を，降水量と金属量との関係でみると，ある降水量以下では降水量の増加にともなって金属量もほぼ比例的に増加するが，降水量が多くなると金属量の増加率は低くなり，最終的には降水量の増加にかかわらず，金属の総量は一定になる傾向がみられた（図4）。なお，各降水以前の無降水期間（降水間隔）が長いほど，各雨水中の金属濃度および金属量は大きくなる傾向をしめした。

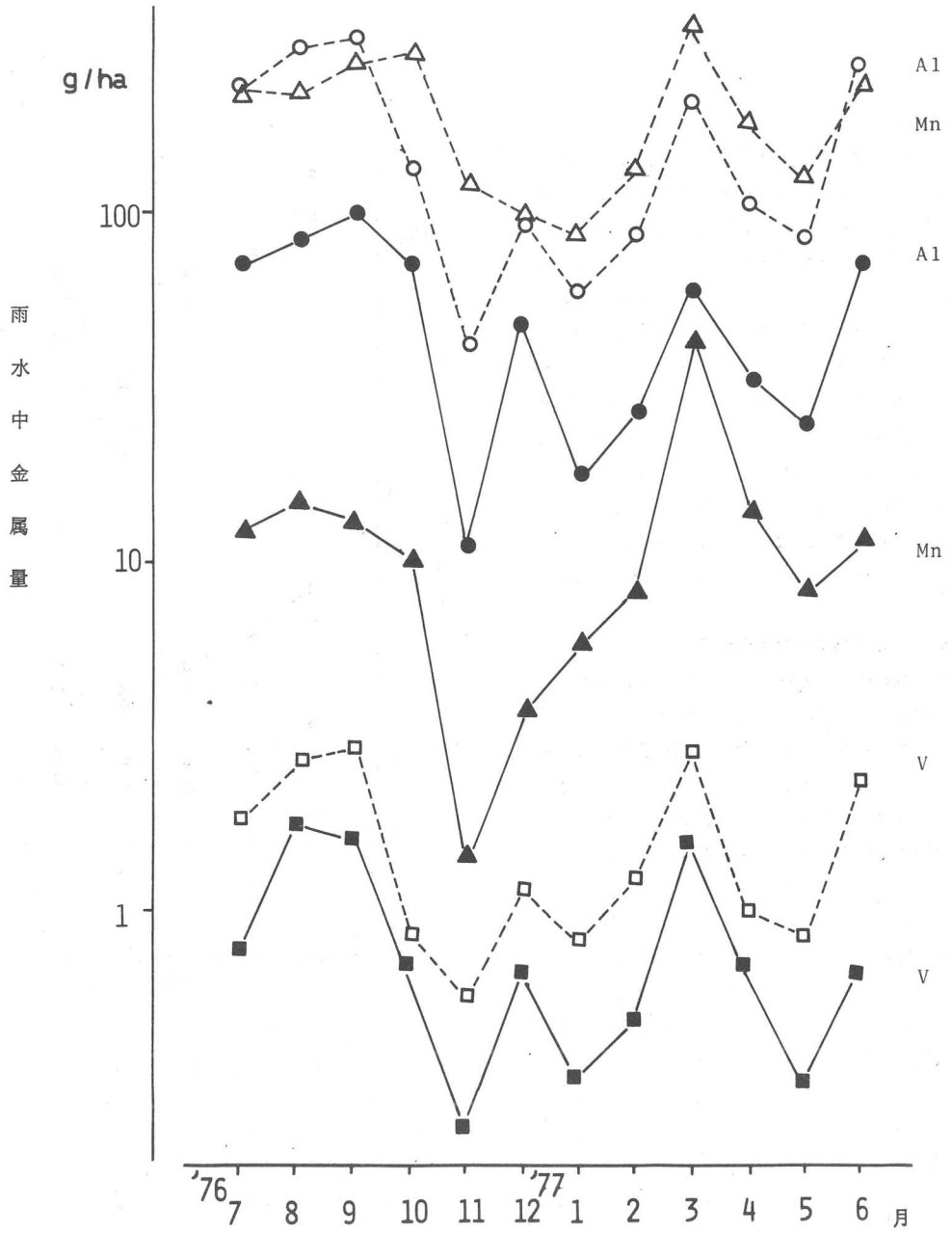


図2　アカマツ林の林外および林内の大気中に浮遊粉塵として含まれていた金属濃度．
実線は林外，破線は林内．(片山1979より作製)

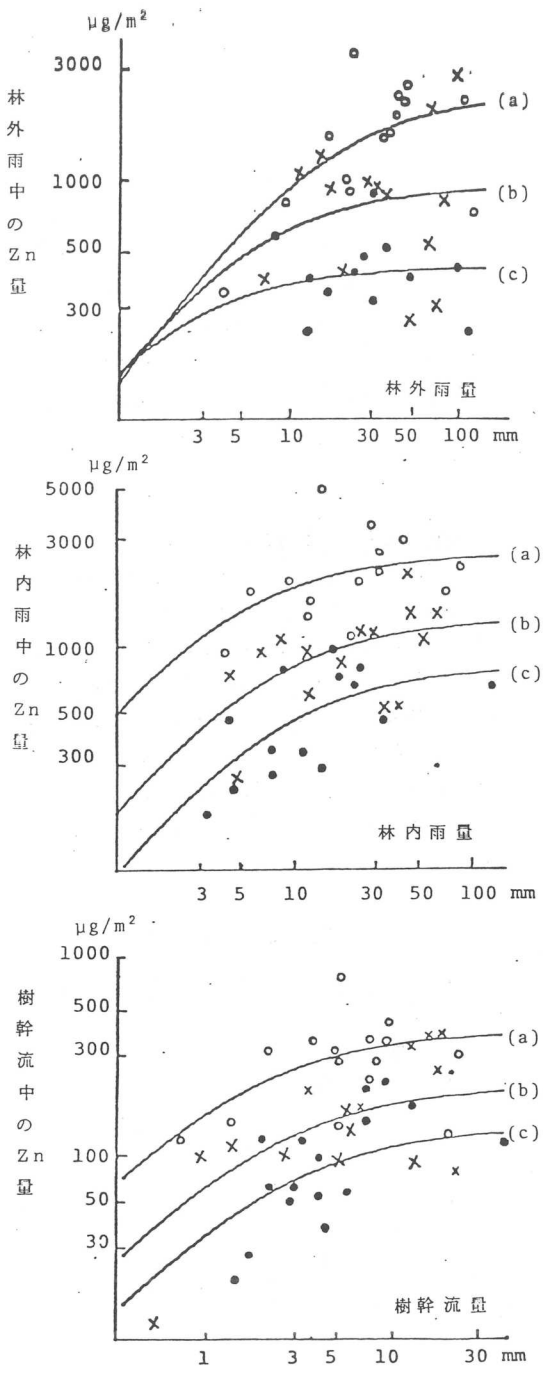


図3　1回の降水ごとの林外雨，林内雨および樹幹流中の亜鉛濃度．採水期間は1976年1月より1年間．○：降水間隔9日以上，×：5日～8日，●：4日以内。曲線は，降水間隔のグループごとにもとめた（1）式の関係をしめす．

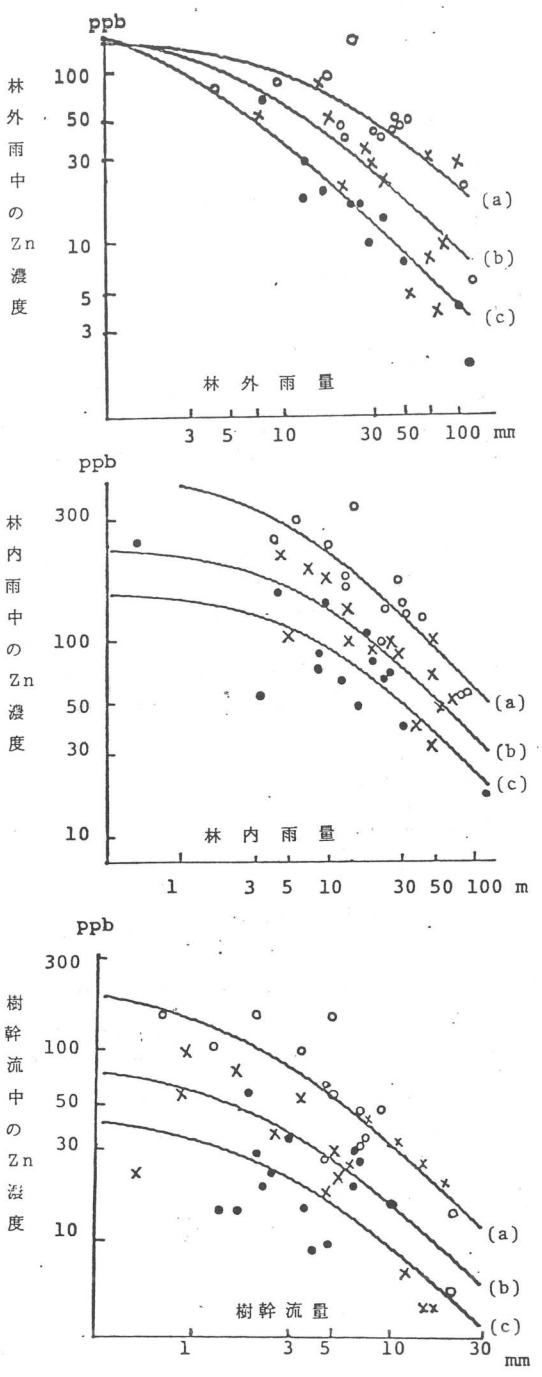


図4　1回の降水ごとの林外雨，林内雨および樹幹流に含まれる亜鉛の量．記号は図3と同じ．曲線は（2）式の関係をしめす

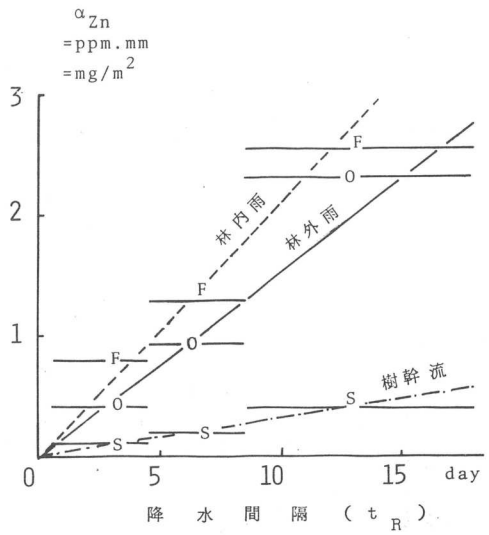


図5　（1）および（2）式の係数αと降水間隔との関係．係数αは任意の降水間隔のもとで各雨水に含まれうる金属量の上限値を表わす．

このような1回の降水の降水量（P）と金属濃度(C)および金属量（Q）との関係は，次式であらわされる。

$$\frac{1}{C}=\frac{P}{\alpha}+\frac{1}{\beta} \quad (1)$$

$$\frac{1}{Q}=\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\cdot\frac{1}{P} \quad (2)$$

ただし$Q=C\cdot P$ (3)

α，βは雨水の種類および降水間隔により決まる係数。

すなわち，降水量の多いほど雨水中の金属濃度は低くなるが，金属量は増大する。しかし，降水量が極端に大きくなると，金属量はある一定の上限値αに漸近する。この上限値αの存在は，空気中に含まれる浮遊粉塵が有限であり，十分な降水の場合には，ほぼ完全に浮遊粉塵が除去されることを示していると考えられる。

もし，大気中への浮遊粉塵の供給速度が一定であれば，降水間隔が長いほど大気中の浮遊粉塵量は大きくなり，したがってαの値が大きくなると予想される。事実，αの値と降水間隔（t）との間にはこの傾向が認められた（図5）。しかも，この調査では，つぎのような比例関係がほぼ成り立っていた。

$$\alpha=g\cdot t \quad (4)$$

このことは，大気中および樹体の粉塵蓄積速度がほぼ一定であることをしめす。この蓄積速度を表わす比例定数gの値の例を表1にしめす。亜鉛の場合には，樹体の蓄積速度は90μg/m²・dayであった。いま大気中の蓄積速度151μg/m²・dayが環境への供給速度とすれば樹体による除去はその60%に達する。また，環境全体の蓄積速度を241μg/m²・dayとすれば，その38%程度が樹体により除去されていることになる。同様にして求めた樹体の銅の蓄積速度は6μg/m²・dayで，大気中の蓄積速度15μg/m²・dayの40%に達していた。

表1　亜鉛に関する（4）式の係数gの値．

R林外雨	151ug/㎡・day
F_1 林内雨	210
F_2 樹幹流	31
F_1+F_2	241
F_1+F_2-R	90

3．森林土壌による金属の保持

シイ林では，深さ10cmから77cmまで数段階の深さの土壌中を浸透している池中流が集められた。土壌中を浸透するにつれて金属濃度が減少する傾向は特には認められなかった。しかし，地中流量自体が深さが増加するにつれ減少する結果，地中流に含まれて輸送される金属量も，深くなるにしたがって小さくなった（図6）。ゆえに，林床に達した金属の大部分は土壌の表層に蓄積されていると考えられる。事実，土壌中の金属の蓄積量は深いほど小さかった。

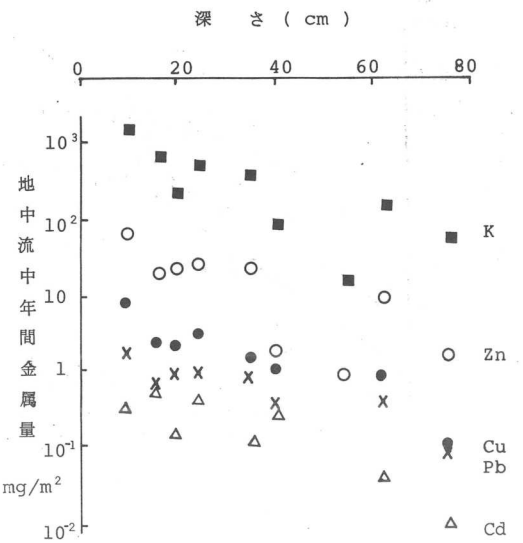


図6　シイ林の地中流中の年間金属量の垂直分布（1977．8－1978．7）．

表2　アカマツ林での雨水および渓流への流出水に含まれて 供給および流出した金属量.(1976. 6－1977. 7)

（a）……R＜F＜S

	Na (g/ha)	La (g/ha)	Th (mg/ha)	Sc (mg/ha)	Sm (mg/ha)
R林外雨	5830	1.27	261	98	300
F林内雨＋樹幹流	14906	2.56	418	197	505
S流出水	74300	7.54	917	297	5250
S/R (%)	1300	590	350	300	1800
S/F (%)	500	300	220	150	1000

（b）……R＜S＜F

	Mg (g/ha)	Al (g/ha)	Ca (g/ha)	Cs (mg/ha)
R林外雨	1250	688	5080	264
F林内雨＋樹幹流	6183	2159	22871	668
S流出水	3520	1700	20600	342
S/R (%)	280	250	410	130
S/F (%)	57	79	90	51

（C）……S＜R＜F

	V (g/ha)	Mn (g/ha)	Cr (g/ha)	Fe (g/ha)	Co (g/ha)	Sb (g/ha)
R林外雨	10.5	170	5.76	1990	2.31	3.25
F林内雨＋樹幹流	21.9	2605.4	7.85	2508	3.98	4.68
S流出水	0.95	75.7	3.78	697	0.60	0.81
S/R (%)	9.1	44	66	35	26	25
S/F (%)	4.3	2.9	48	28	15	17

アカマツ林の渓流への流出水では，調べられた15元素が3つのタイプに分けられた。林内雨と樹幹流中の合計量が林外雨中の量より増加することは15元素すべて同じだが，流出水中でさらに増加するもの（a），林内よりは減少するが，林外よりはまだ多いもの（b），林外よりもさらに少なくなっているもの（c）である（表2）。このうち汚染物質として問題にされる金属が森林生態系内への顕著な蓄積型とみなされるCのタイプであることは興味深い。

4．森林生態系における金属の動態

上に述べてきた雨水とともに動いている金属の年間移動量が，森林生態系の金属現存量と比べてどの程度の値であるかを，シイ林の亜鉛・銅についてしめす（図7）。

幹・枝・根に含まれている金属量は測定していないが，亜鉛・銅ともに，葉中の蓄積量それぞれ23および3.1mg/m²に比べ，土壌中の蓄積量がそれぞれ4618および1154mg

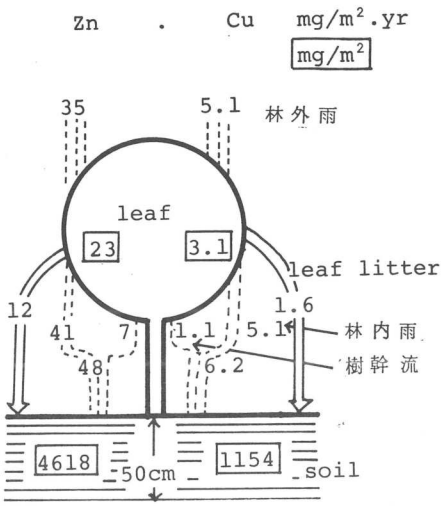


図7　シイ林生態系での亜鉛・銅の動き．ワク内の値は現存量をその他は移動速度を表わす．

/m^2と圧倒的に大きく，大部分が土壌中に蓄積されている。この蓄積量に対し，雨水による金属の年間供給量は非常に小さく，それぞれ48および6.2mg/m^2である。

また，この森林では葉の回転率はほぼ1/2yrとみなされるので，落葉にともなう植物体から土壌への金属の年間移動量はそれぞれ12および1.6g/mgとみなされる。したがって，雨水による金属の年間供給量は土壌中の現存量に対しては小さいが，植物体から土壌への移動量の4倍に達する。

5．おわりに

天然林および裸地に関する比較資料がないため，二次林そのものの特性を明らかにしめすことはできないが，汚染物質の大気への供給速度と森林による蓄積速度との比較，土壌への蓄積型から二次林も大気の洗浄にかなり貢献していることが推測される。

本論をまとめるに際して，アカマツ林での資料を提供された京都大学農業部林産工学教室の片山幸士氏に心から謝意を表します。

引用文献

(1) KATAYAMA Y.,etc (1979)
Water cycle and guality in the forested area Budgets of metal elements' ACS-CSJ Chemical Congress Abstracts of Popers part 1 Envir. 240

(2) 中川ひろみ (1977)
森林における雨水と重金属の動き
大阪市立大学修士論文

(3) 角皆静男 (1972)
『雨水の分析』P 7　講談社

(4) 片山幸士ら (1979)
森林内外の浮遊粉塵について
びわ湖とその集水域の環境動態—昭和53年度報告(1)(環境科学研究報告集B24-R12-2吉良竜夫編), P81-84