



Title	森林地域における大気汚染物質の沈着
Author(s)	飛澤, 拓也; 深澤, 達矢; 清水, 達雄 他
Description	第11回衛生工学シンポジウム (平成15年11月6日 (木) -11月7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 一般セッション . 3 環境保全・リスク評価 . P3-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 11, 143-146
Issue Date	2003-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7066
Type	departmental bulletin paper
File Information	11-3-3_p143-146.pdf



3-3

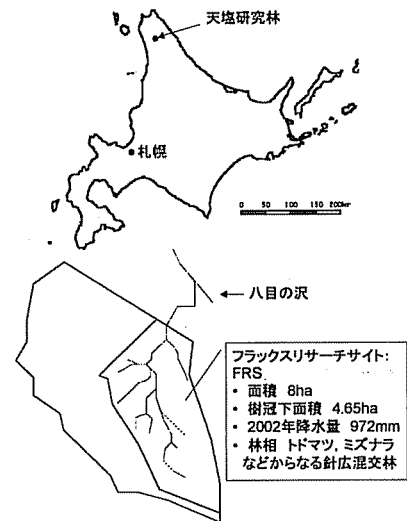
森林地域における大気汚染物質の沈着

飛澤拓也, 深澤達矢, 清水達雄, 橘 治国 (北海道大学大学院), 永淵 修 (福岡県保健環境研究所)
柴田英昭, 野村睦, 高木健太郎 (北大北方生物圏フィールド科学センター)

1. はじめに

産業活動により排出される大気汚染物質はいずれ地表面へ沈着し、一部は土壌へ蓄積され、あるいは河川に流入し湖沼や海へと輸送される。汚染物質の沈着は地表面の状況により異なり、本研究の対象である森林地域は、樹木の葉により裸地や草地の数倍の表面積を持つため大気汚染物質をより捕集すると言われる¹⁾。森林地域は飲用水等の水源涵養域としての機能ももち、汚染物質の沈着による樹木の健康度はもちろん、流出する河川水質等への影響が懸念される。

そこで、本研究では北大天塩研究林（フラックスリサーチサイト：FRS）において大気汚染物質と大気降水物を採取し、森林地域への大気汚染物質負荷量および沈着機構を明らかにすることを目的とした。



2. 研究方法

調査地域の概要を図1に示す。

2. 1 大気エアロゾル

2002年6月～10月の1ヶ月ごとに大気汚染物質として粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の大気エアロゾルを採取した（図2）。テフロンフィルター（住友重工、四フッ化エチレン樹脂製フィルター、WP-500, $47\text{mm}\phi$, ポアサイズ $5.00\mu\text{m}$ ）を用いて、エアロゾル総重量（TPM）濃度、溶溶性成分、重金属成分を測定し、石英繊維フィルター（PALLFLEX PRODUCTS, 2500QAT-UP, $47\text{mm}\phi$ ）を用いて炭素成分を測定した。

TPM 濃度はサンプリング前後のテフロンフィルターの重量を相対湿度30%以下のドライボックス内に24時間以上放置後、電子天秤で秤量して前後の重量差により算出した。

溶溶性成分の測定は、採気したテフロンフィルターの1/4を10mLのイオン交換水に浸し、30分間超音波抽出した後、抽出液をイオンクロマトグラフ（横河電機, IC-7000）で分析した。

重金属成分（Al, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb）はjarkanenn²⁾の前処理法に基づき、1/8に切ったテフロンフィルターを、超高純度硝酸（関東化学, EL grade 61% HNO_3 ）1.5mL, フッ化水素酸（ダイキン工業, 半導体用 50%フッ化水素酸）0.5mL を入れたふた付きポリプロピレン製試験管（IWAKI 50mL）に入れ、2日間室温で放置して抽出した後、超純水（MILLIPORE, Milli-Q Jr.）で25倍希釈して誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS, 横河電機, HP-4500）で分析した。

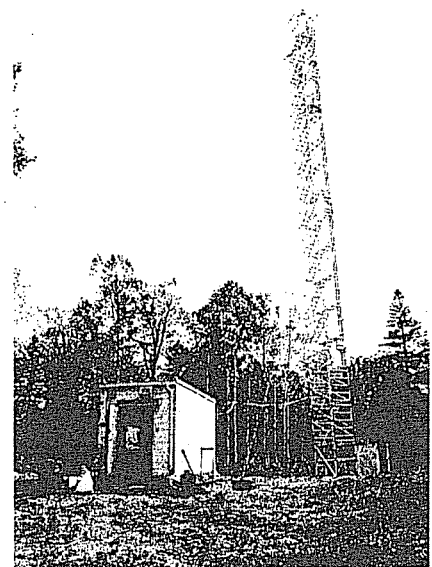


図1 天塩研究林の概要

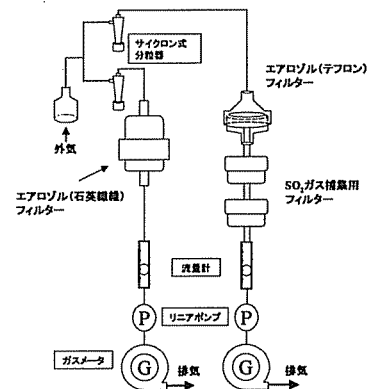


図2 大気エアロゾルサンプリング装置

2. 2 大気降下物

1) 湿性降下物・乾性降下物

林外で、湿性降下物・乾性降下物を分取できる口径 20cm の大気降下物採取器 (小笠原計器製作所, US-41 0 型, 図 3) を用いて 6 月～10 月にかけて月 2 回毎に採取した。湿性降下物は pH, 電気伝導度を測定した後, ポアサイズ 5 μm 及び 0.4 μm のニュークリポアフィルター (Whatman) でろ過した。乾性降下物は超純水 500ml を加え 20 分間超音波抽出した後, 湿性降下物と同様にろ過した。ろ過後の試料はイオンクロマトグラフと ICP-MS で分析した。

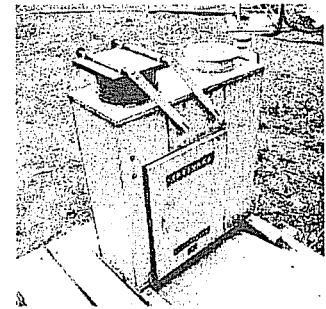


図 3 大気降下物採取器

2) 林外雨・林内雨・樹幹流

林外雨 (1ヶ所)・林内雨 (ミズナラ: 3ヶ所) は口径 30cm のポリプロピレン製漏斗で採取し 20L のポリエチレン製タンクで貯蔵した。樹幹流 (ミズナラ: 3ヶ所) はウレタンラバー法³⁾により採取した (図 4)。期間は 2002 年 7 月～10 月 (林外雨は同 8 月～10 月) で月 1 回毎に行った。実験室に持ち帰った試料は pH・電気伝導度を測定後, ポアサイズ 0.4 μm のニュークリポアフィルターでろ過し ICP-MS で分析した。



図 4 樹幹流サンプリング装置

3. 研究結果と考察

3. 1 大気エアロゾル

天塩研究林での TPM 濃度の季節変化を図 5 に, 化学成分の季節変化を図 6 に, E.C.と有機物量の季節変化を図 7 に, エアロゾルの組成濃度の季節変化を図 8 に示す。これらの結果を北海道東部の美羅尾山において 2000 年に得られた大気エアロゾルのデータ⁴⁾と比較して, 天塩地域の大気汚染の現況を評価した。

6 月～10 月の TPM 濃度は 1.6～3.4 μg/m³ であり, 平均濃度は 2.7 μg/m³ であった。これは美羅尾山における 6 月～10 月の TPM 平均濃度 (3.7 μg/m³) よりも低い値であった。

エアロゾルの主要構成成分である黒色純炭素・有機物・硫酸イオン, アンモニウムイオンの 6 月～10 月の平均濃度はそれぞれ 0.45, 0.76, 1.18, 0.31 μg/m³ であり, エアロゾル全体の 97% を占めた。また, 各種化学成分濃度の合計は 2.77 μg/m³ であり, 美羅尾山の 2.62 μg/m³ とほぼ同じ程度であった。

エアロゾル重金属の濃度を美羅尾山における濃度と比較すると, 時期や元素によって多少の違いはあるものの, 6～10 月の平均濃度で比較すると 2 倍以上濃度が違うものではなく, ほぼ同じ程度であると考えられる (図 9)。

天塩研究林, 美羅尾山ともに清浄地域にあり, 従って, 本結果は北海道におけるバックグラウンド地域の大気質の現況を表していると考えられる。

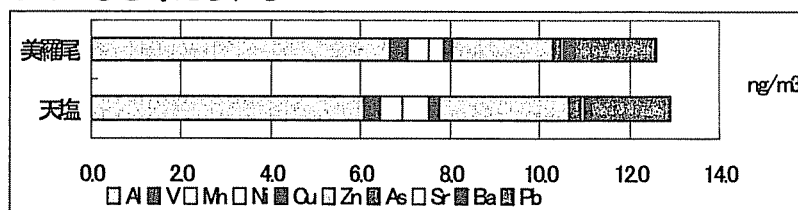


図 9 重金属成分濃度の美羅尾山との比較

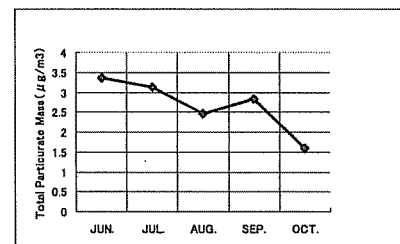


図 5 TPM 濃度の季節変化

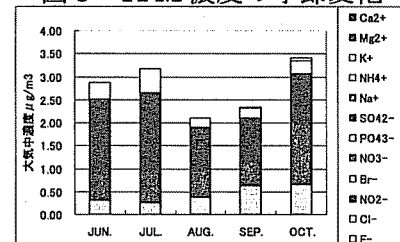


図 6 化学成分の季節変化

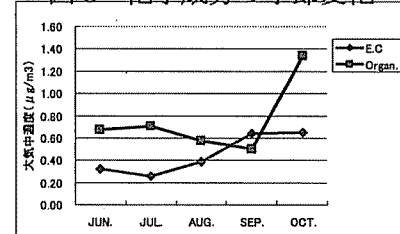


図 7 E.C.と有機物量の季節変化

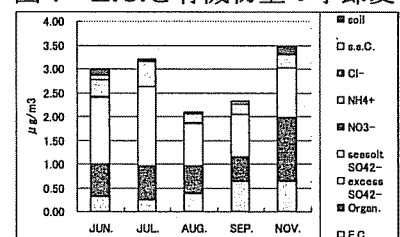


図 8 エアロゾルの組成濃度

3. 2 大気降下物

2002年6月から2002年10月まで（化学成分は2002年9月～2002年10月）の溶溶性成分沈着量の平均値をとり、FRS内の単位面積2週間あたりの平均沈着量を算出した。なお、以下のデータは溶溶性成分のみの値であり、不溶性成分については現在分析中である。

1) 湿性降下物・乾性降下物

湿性降下物および乾性降下物の両方で常に検出された元素の平均沈着量を用いて、大気降下物中の湿性沈着量および乾性沈着量の割合を求めると、溶溶性の化学成分においても溶溶性重金属成分においても、およそ9割が湿性沈着、残り1割が乾性沈着という割合になった（図10）。

2) 林外雨・林内雨・樹幹流

林外雨・林内雨・樹幹流に含まれる溶溶性重金属成分濃度を図11に示す。全てのサンプルで常に検出された元素は、Al, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Sb, Ba, Pbであった。そのうちAl, Ti, V, Ni, Cu, As, Sr, Baは林外雨<林内雨<樹幹流の順に濃度が高くなっていった。Sr, Baは樹木の年輪中に雨水よりも高い濃度で存在するため樹木から溶脱していることが考えられるが、その他の元素については樹木中に微量にしか存在しないため⁵⁾、樹木の葉によって捕集されたものが雨水で洗い流されることで濃度が高まっていると考えられる。また、Zn, Pbは林外雨>林内雨>樹幹流の順に濃度が低くなり、Mnは林内雨が最も濃度が高く、樹幹流で大幅に濃度が低くなっていたが、その原因はよくわからなかった。

各溶溶性重金属成分の平均沈着量のうち、林内雨と樹幹流の沈着量を合わせたものを林内沈着量、林外雨の沈着量を林外沈着量として、大気汚染物質の沈着における林内/林外の沈着量比を求めた（表1）。その結果、ほとんどの元素で林内における沈着量のほうが

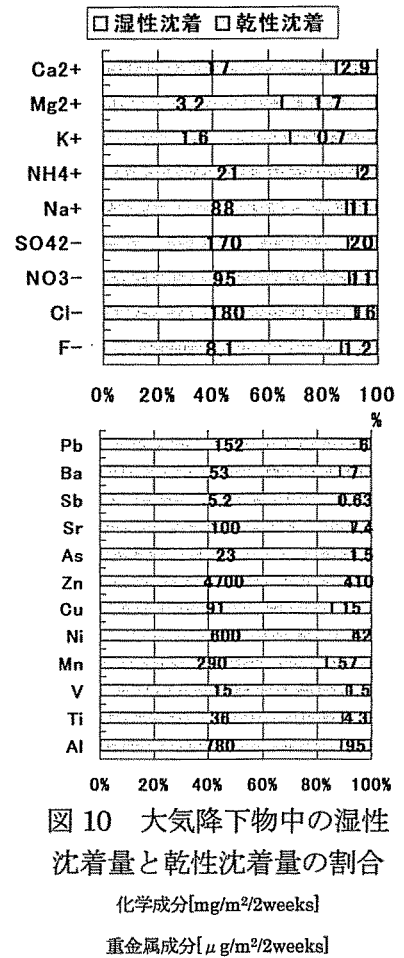


図10 大気降下物中の湿性沈着量と乾性沈着量の割合

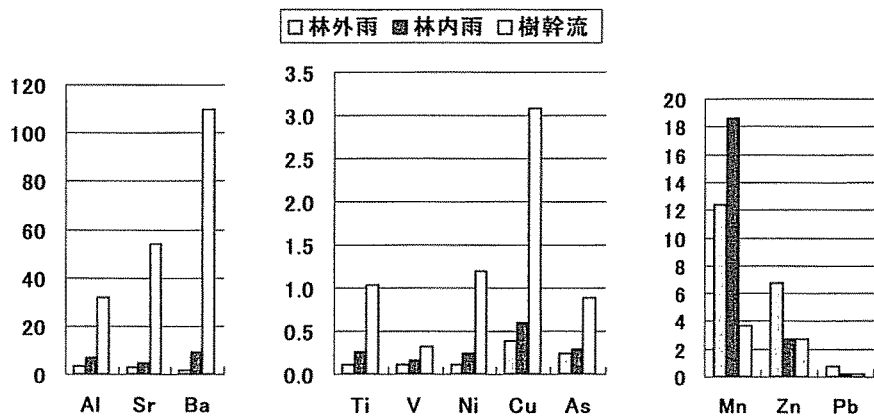


図11 林外雨・林内雨・樹幹流中の金属濃度 (μg/L)

表1 重金属沈着量比

試料ID	SS重量濃度 [kg/km ² /month]	重金属沈着量[g/km ² /month]													備考
		Al	Zn	Pb	Ti	Ni	Mn	Cu	V	As	Ba	Sr	Sb	sum.	
林外雨沈着量	3.74	6.62	14.12	1.65	0.24	0.25	25.69	0.79	0.23	0.49	3.06	5.59	0.17	58.90	
林内雨沈着量	5.31	10.88	4.59	0.35	0.43	0.41	30.92	0.98	0.27	0.49	14.91	7.17	0.10	71.50	
樹幹流沈着量	0.03	0.37	0.03	0.00	0.01	0.01	0.04	0.04	0.00	0.01	1.23	0.63	0.00	2.37	
林内沈着量	5.34	11.25	4.63	0.35	0.45	0.42	30.96	1.02	0.27	0.50	16.14	7.80	0.10	73.87	
林内沈着量/林外沈着量	1.4	1.7	0.3	0.2	1.8	1.7	1.2	1.3	1.2	1.0	5.3	1.4	0.6	1.3	
樹幹流沈着量/林内沈着量	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.00	0.04	0.01	0.02	0.08	0.08	0.01	0.03	

※1 林内沈着量=林内雨沈着量+樹幹流沈着量

多く、林内/林外の沈着量比の平均値は 1.3 だった。これより、樹木の葉によって捕集されることにより大気汚染物質の沈着量が 3 割程度増加していると思積もることができる。

林内への沈着における樹幹流の寄与率（樹幹流沈着量/林内沈着量）を求めると、最も寄与率が大きかった Ba でも 0.08 であり平均値は 0.03 だった。これより、林内への沈着における樹幹流の寄与はごくわずかであることがわかった。なお、樹幹流については採取時にサンプルが容器から溢れていたため正確な採取量がわからなかったが、笹らによると、カラマツ林における樹幹流の全降水量に対して占める割合は 0.4~0.9%程度であるため⁶⁾、本研究では全降水量の 0.7%を樹幹流量とした。

3. 3 大気汚染物質の負荷量および沈着機構

1) 大気汚染物質負荷量

天塩研究林において、汚染物質の流入はすべて大気からの沈着によるものと考えられる。そこで、算出した林外沈着量および林内沈着量から、天塩研究林の FRS 全体への、1ヶ月あたりの負荷量を算出した（表 2）。算出には FRS の総面積および樹幹下面積、樹幹外面積の値を使用した。FRS は、そこから流出する小河川の集水域となっているため、これらの汚染物質は樹木や土壤に蓄積するか、小河川から下流へと流出すると考えられる。

表 2 FRS 全体への重金属月平均沈着量

試料ID	重金属沈着量 [g/month]										
	Mn	Ba	Al	Zn	Sr	Pb	Cu	As	Ti	Ni	V
林外雨	93.81	11.18	24.19	51.56	20.40	6.03	2.87	1.80	0.88	0.92	0.85
林内雨	134.42	64.85	47.31	19.98	31.16	1.53	4.28	2.11	1.89	1.77	1.16
樹幹流	0.19	5.33	1.60	0.14	2.73	0.01	0.16	0.04	0.05	0.06	0.02
合計	228.42	81.35	73.09	71.68	54.29	7.56	7.31	3.96	2.82	2.75	2.03

2) 大気汚染物質の沈着機構

林内沈着量が林外沈着量より多い理由は、樹木の葉による大気汚染物質の捕集効果によって増加した乾性沈着量のみによると考えられる。そこで、各経路における単位面積あたりの溶存性重金属成分の沈着量を合計し、その平均値を用いて、林外沈着量を 100 とした各経路の沈着量の割合を算出すると、図 12 のようになった。もちろんこの値は、雨の降り方の違いや樹木の種類の違いにより変わることが考えられるが、森林が大気汚染物質をよく捕集していることが確認できた。

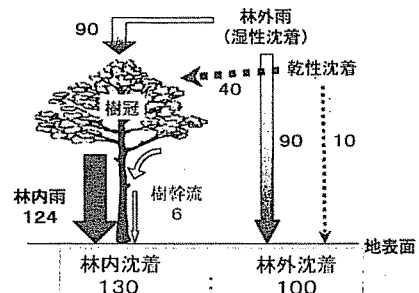


図 12 大気汚染物質の沈着機構[割合]

4. 結論

- ・ 林外における湿性・乾性沈着量の割合は約 9 : 1 であった。
- ・ 樹幹流中の溶存性金属濃度は、ほとんどの元素において林内雨の濃度よりも高かったが、沈着量では林内への沈着量の 3%程度であった。
- ・ 大気汚染物質の沈着における溶存性重金属成分の林内/林外の沈着量比は約 1.3 であり、林冠への乾性沈着量は林外への乾性沈着量のおよそ 4 倍であった。
- ・ 今後は不溶性成分を加えた沈着機構について検討する。

参考文献

- 1) 鶴見 実 (1992) 陸水の化学, p.9 学会出版センター
- 2) L.M.Jalkanen, E.K.H.s.nen(1996) Simple Method for the Dissolution of Atmospheric Aerosol Samples for Analysis by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, vol.1, p.365-369
- 3) 全国大学演習林協議会 (2002) <http://pc3.nrs-unet.ocn.ne.jp/~zenen/wg.html>
- 4) 深澤達矢 (2002) 北海道における大気汚染負荷量推定のためのモニタリング, 平成 13 年度国立環境研究所受託研究報告書
- 5) 溝口次夫 (1994) 酸性雨の化学と対策, p.212-216 社団法人 日本環境測定分析協会
- 6) 笹賀一郎 (2002) カラマツ林における水分動態と土壌を中心とした炭素動態観測, 2002 年 CGER フラックスリサーチミーティング講演要旨集, p.9