HOKKAIDO UNIVERSITY

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

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

3－3

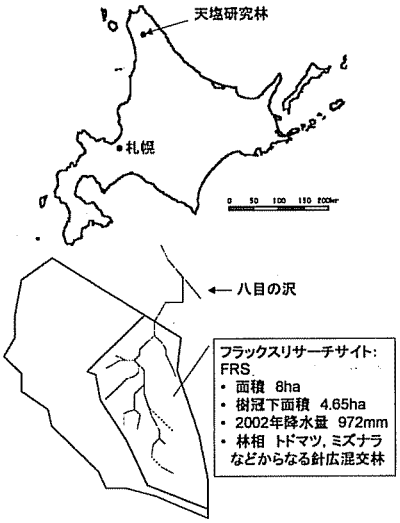
森林地域における大気汚染物質の沈着

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（フラックスリサーリサイト：FRS）において大気汚染物質と大気降下物を採取し，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2μm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-500，47mmφ，ポアサイズ5.00μm）を用いて，エアロゾル総重量（TPM）濃度，溶存性成分，重金属成分を測定し，石英繊維フィルター（PALLFLEX PRODUCTS，2500QAT-UP，47mmφ）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．

溶存性成分の測定は，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jarkanenn[2]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ー質量分析装置（ICP-MS，横河電機，HP－4500）で分析した．

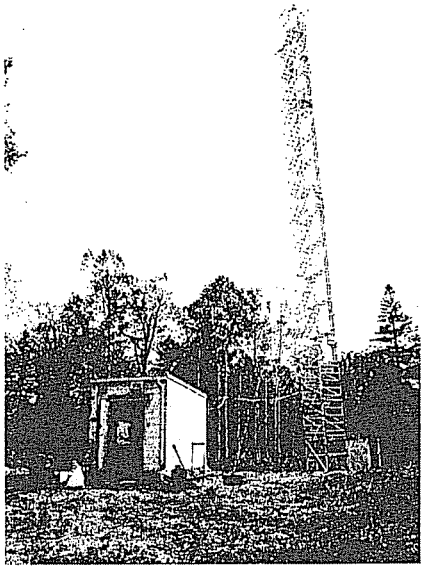


図1　天塩研究林の概要

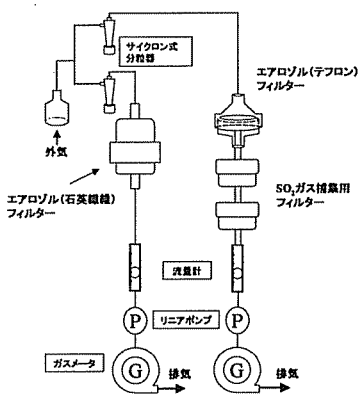


図2　大気エアロゾルサンプリング装置

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5μm及び0.4μm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．

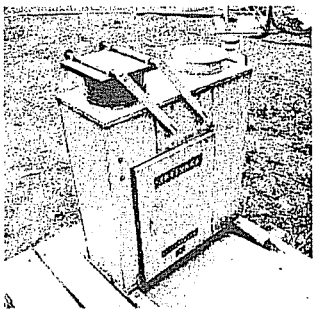


図3　大気降下物採取器

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0.4μmのニュークリポアフィルターでろ過しICP-MSで分析した．

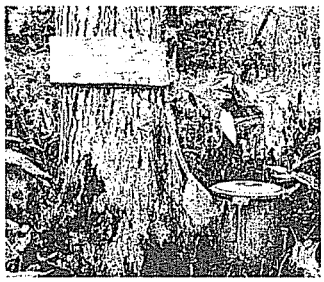


図4　樹幹流サンプリング装置

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．

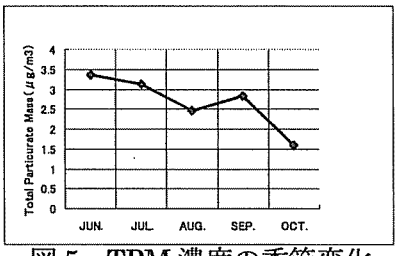


図5　TPM濃度の季節変化

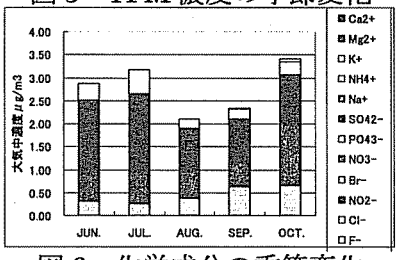


図6　化学成分の季節変化

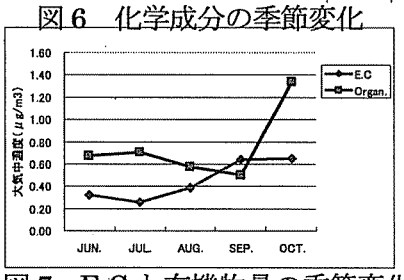


図7　E.C.と有機物量の季節変化

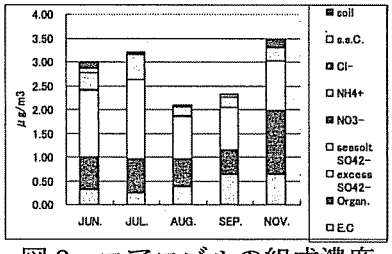


図8　エアロゾルの組成濃度

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1.6～3.4μg/m³であり，平均濃度は2.7μg/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（3.7μg/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0.45，0.76，1.18，0.31μg/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2.77μg/m³であり，美羅尾山の2.62μg/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．

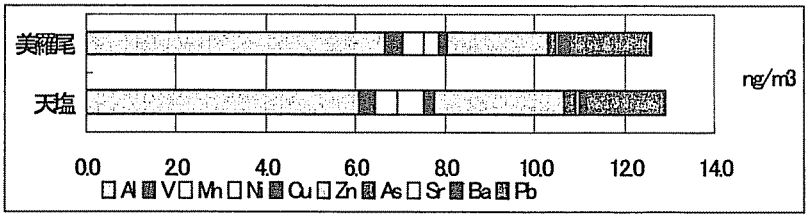


図9　重金属成分濃度の美羅尾山との比較

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）の溶存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，以下のデータは溶存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，溶存性の化学成分においても溶存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存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．

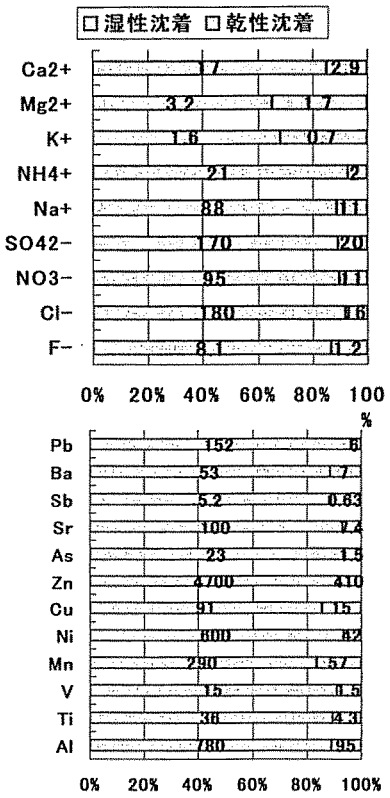


図10　大気降下物中の湿性沈着量と乾性沈着量の割合

化学成分[mg/m²/2weeks]

重金属成分[μg/m²/2weeks]

各溶存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

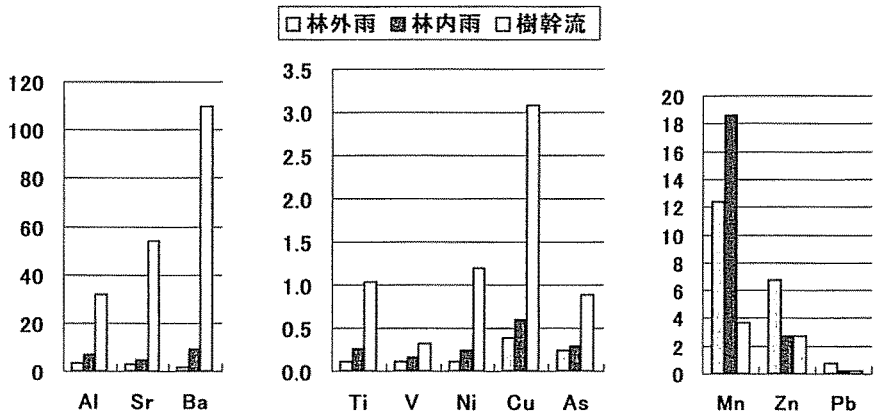


図11　林外雨・林内雨・樹幹流中の金属濃度（μg/L）

表1　重金属沈着量比

試料ID	SS重量濃度	重金属沈着量[g/km2/month]													備考
	[kg/km2/month]	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	※1
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見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壌に蓄積するか，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．

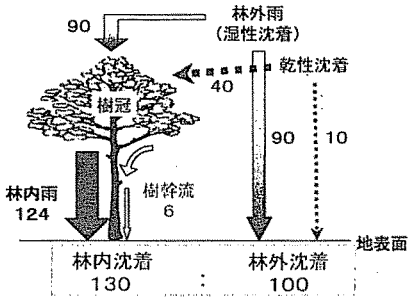


図12　大気汚染物質の沈着機構[割合]

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