



Title	利根川上流の河川水と首都圏大気汚染物質の間で発生している窒素循環について
Author(s)	青井, 透
Description	第13回衛生工学シンポジウム（平成17年11月17日（木）-18日（金） 北海道大学クラーク会館）．一般セッション．5 水環境．5-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 13, 151-154
Issue Date	2005-11-16
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/1354">https://hdl.handle.net/2115/1354</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-1_p151-154.pdf





側を取水域とする清流であり、源流部標高は1500m程度である。共同研究者の森が年間を通して採水している湯檜曾川の採水場所は、東黒沢

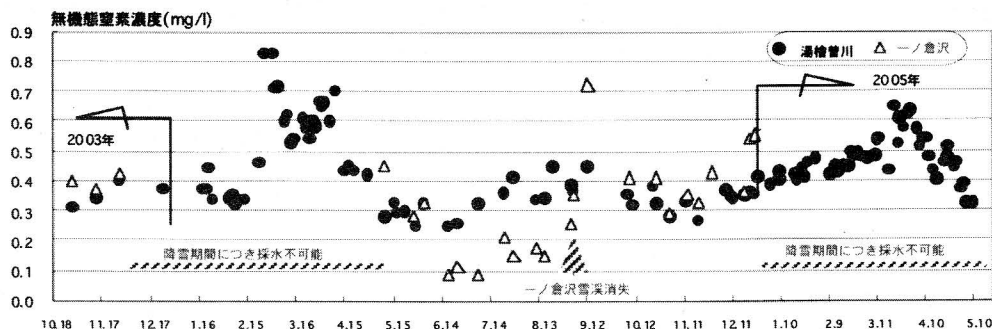


図2 2003-5年湯檜曾川(西黒沢合流前)及び一ノ倉無機態窒素の年間変動

(左岸川)・西黒沢(ロープウェー下を流れる)の合流前であり、人為的な汚濁は考えられない採水点である。この地点での流域面積は23.6km<sup>2</sup>、採水点標高は680mである。また一ノ倉沢は谷川岳最大の岩壁であり、膨大な積雪が冬季間に貯蔵されるために、秋まで残雪が残る場所であるが、この沢水も継続的に採水した。

**3.2 谷川岳の降雪と渋川・沼田市のSPM濃度** 谷川岳山頂部の降雪を、森が各深さ毎に定期的に採取し、青井が各態窒素等の分析を実施しているが、降雪中の窒素濃度と大気汚染との関係を把握するために、群馬県で公開している山麓(南側)の渋川・沼田市のSPM濃度の冬季間データを受領して検討材料とした。毎時間のSPM自動測定値と風向が記録されている。

**3.3 測定方法** 水質分析法は、各態N,PについてはブランルーベACCS2オートアナライザーによる比色法、pH, EC, Cl<sup>-</sup>については、携帯用計器(ECは東亜電波CM-14P、他は笠原理化工業)を用いた。

#### 4. 結果及び考察

##### 4.1 湯檜曾川の栄養塩溶脱現象

湯檜曾川の採水点は、通年で採水できる(一ノ倉沢、マチガ沢は冬季間降雪で採水不能)最上流地点であり、2000年秋から採水を開始したが、2003年秋から2005年春にかけては、採水頻度をあげたので、栄養塩の脱離現象がとても明確に把握できた。図2に湯檜曾川と一ノ倉沢の無機態窒素濃度(殆どがNO<sub>3</sub>-N)の年間変動を示したが、典型的な溶脱現象を示した。2003~4年にかけての冬は、比較的暖冬で降雪も少なめであったが、2004~2005年にかけての冬は、年末から記録的な寒さと過大な積雪に見舞われ、雪解けも遅かったので、栄養塩濃度のピークは2003年冬では2月後半で窒素濃度は0.8mg/lと高い濃度を示したが、2004-5年冬は1月から濃度が徐々に上昇し、濃度ピークは3月後半にずれ込み0.6mg/lに上昇した後急激に減少した。2004年夏季は6月はじめに窒素濃度は最低(0.25mg/l)となった後に緩やかに上昇し11月末に低下した。一ノ倉沢の溶脱は、雪渓に残る大量の雪のため融解が遅れたとみえて湯檜曾川に遅れて発生し、6月中旬に最低濃度0.1mg N/lに降下した後、徐々に上昇し雪渓の消滅が確認された(夏季の気温上昇が著しく雪渓が融解した)9月上旬以降上昇を開始し、湯檜曾川と同等以上の濃度となった。一ノ倉沢は岩石帯の面

表2 2004年冬谷川岳山頂部降雪中窒素濃度と麓部大気成分の関係

月日	南風時間(h)		SPM平均値 (mg/m <sup>3</sup> )	谷川山頂雪InorgN(mg/l)		
	沼田市	渋川市1		1cm	30cm	100cm
2月1日	3	6	0.01	0.3	0.36	0.334
2月2日	0	0	0.035			
2月3日	0	4	0.008			
2月4日	2	0	0.002			
2月5日	4	2	0.004			
2月6日	2	1	0.002			
2月7日	0	0	0.005			
2月8日	2	4	0.005			
2月9日	2	0	0.004			
2月10日	6	9	0.009			
2月11日	7	7	0.033	0.3	0.36	0.367
2月12日	0	0	0.024			
2月13日	6	10	0.015			
2月14日	6	7	0.027	1.12	0.57	0.268
2月15日	1	0	0.003			
2月16日	1	0	0.012			
2月17日	0	0	0.012			
2月18日	1	0	0.003			
2月19日	2	6	0.025			
2月20日	9	12	0.046	1.96	0.8	0.453
2月21日	5	6	0.053	1.4	0.78	0.386
2月22日	8	11	0.03			
2月23日	0	0	0.006			
2月24日	7	5	0.008			
2月25日	6	5	0.003	0.1	0.47	0.637
2月26日	1	0	0.01			
2月27日	2	0	0.005			
2月28日	7	5	0.011	0.29	0.69	0.291
2月29日	0	0	0.017			

注記:南風時間とは24時間中の南風時間数,SPMは渋川1地点  
SPM及び南風時間は群馬県大気汚染常時監視測定結果から引用

積が広いが、一部樹林帯もあり、樹林帯流出水の窒素濃度は、岩石帯の概ね倍濃度である<sup>1)</sup>ので、溶脱後に再凍結した純度の高い雪渓の融解中は窒素濃度が低く、雪渓の融解が終了すると窒素濃度の高い樹林帯から流出水が卓越するので、9月初旬の濃度急上昇が起ったと考えられる。

**4.2 谷川岳南麓に位置する渋川・沼田市のSPM測定値と谷川岳山頂部雪中窒素濃度の関係** 森は2004年2月から3月にかけて、谷川岳山頂部の雪を定期的に深さ方向に掘り

下げて、各深さ(1cm, 30cm, 100cm)の窒素濃度を測定した。同時に渋川・沼田両市のこの時期のSPM濃度と南風比率(一日の内、南風が吹いた時間)を調査し、山頂部雪中窒素濃度を対比して表1に示した。SPM平均濃度(mg/m<sup>3</sup>)は各時間SPM濃度の平均値で示されているが、南風時間が多い日と高いSPM濃度の値および降雪中で高い窒素濃度を強調文字で示した。南風時間が増えるとSPM平均値が上昇し、山頂部雪中の窒素濃度(NH<sub>4</sub>-NとNO<sub>x</sub>-Nはほぼ同濃度)が上昇する関係が読み取れる。山頂雪中窒素濃度とその日の渋川市SPM濃度を、時系列的に図3に示したが、両者には強い相関があることがわかる。図4は、渋川の日当たりの南風時間数とSPM濃度の散布図を示した。これらから南風が吹くと、SPMと窒素成分を同時に搬送してくることがわかる。

**4.3 SPM濃度と各態窒素濃度の関係**

川崎市公害研究所の笠原等は、SPM常時計測器で使用しているガラス繊維ろ紙の溶出処理を行い、各水溶性イオン濃度とSPM濃度と関係について調査結果を発表している。SPM濃度と強い相関のある水溶性イオンは、アンモニウム、硝酸及び硫酸であり、大気中に硝酸アンモニウムまたは硫酸アンモニウムの形で存在しているが、そのアンモニアについてその由来は不明としている<sup>3)</sup>。

その結果の一部を図5に引用した。この回帰直線から計算すると、NH<sub>4</sub>-NとNO<sub>x</sub>-Nの当量比は4.3:1となつて、アンモニア態窒素のほうが4倍以上多い結果となった。都市部におけるアンモニア態窒素の発生は、大気環境分野では明確になってお

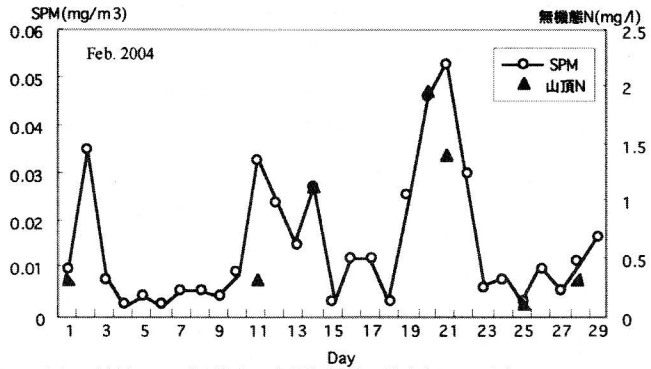


図3 渋川SPM平均濃度と山頂無機態N濃度(2004.2月)

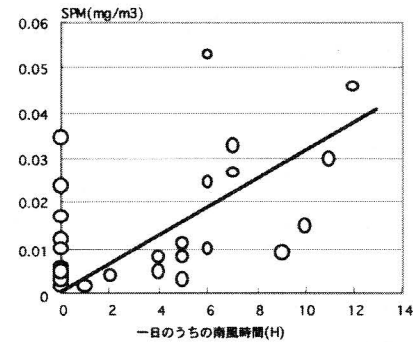
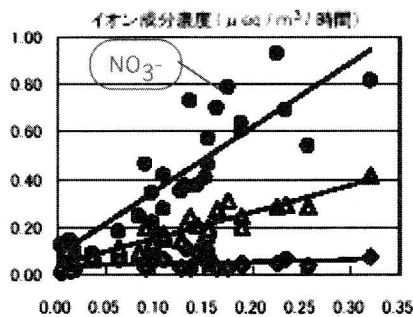


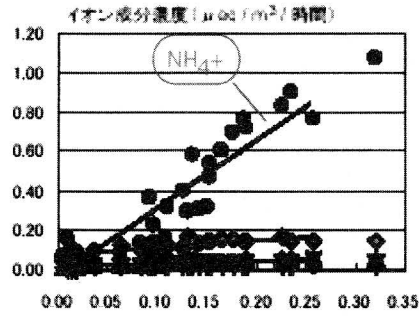
図4 渋川南風時間と渋川SPM濃度(04年2月)



イオン成分	回帰直線	相関係数
Cl <sup>-</sup>	y=0.089x+0.041	r=0.07
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	y=2.679x+0.085	r=0.76
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	y=1.092x+0.045	r=0.86

SPM濃度 (mg / m<sup>3</sup> / 時間)

● Cl<sup>-</sup> ● NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ▲ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>



イオン成分	回帰直線	相関係数
Na <sup>+</sup>	y=0.361x+0.081	r=0.66
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	y=3.454x-0.031	r=0.86
K <sup>+</sup>	y=0.179x+0.014	r=0.86
Mg <sup>2+</sup>	y=0.029x+0.006	r=0.45
Ca <sup>2+</sup>	y=0.127x+0.020	r=0.63

SPM濃度 (mg / m<sup>3</sup> / 時間)

● Na<sup>+</sup> ● NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ▲ K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> \* Ca<sup>2+</sup>

出典:川崎市公害研究所年報 第31号,2004, p21, 図9・10(SPM高濃度要因の解明における成分濃度の時間推移, 笠松志保・米屋由里・高橋 篤・井上俊明)

図5 SPM濃度とガラス繊維ろ紙に補足されたイオン成分濃度との相関の一例

らず、畜舎や畑、下水処理場などがあげられてはいるが、川崎市の場合にはこれらが主たる原因とは考えにくい。青井は既に、税制優遇を受けている最近の低公害車(三元触媒付を装着しS-LEV、U-LEVとよばれる)が、急加速時等に大量のアンモニア態窒素を排出していると報告している<sup>8)9)</sup>が、川崎市のデータも低公害車からNH<sub>4</sub>-Nが発生すると考えるとつじつまがあうと思われる。

**4.4 大気降下物の影響についての尾瀬沼の位置** 以上の結果から、人為的な汚濁の無い河川上流域の沢水中窒素濃度は、都会から飛来する大気中に含まれる大気汚染物質濃度に、強く影響を受けることがわかったが、では都会から飛来する大気が最も少ない

場所を検討すると、関東地方内陸部では尾瀬沼・尾瀬ヶ原が最も条件を満たした場所と考えられる。図1でもわかるように首都圏の大気は、夏季関東地方を北西に向けて軽井沢方向に流れるが、北上して尾瀬沼方向に達することは地形的にまずないと云える。また尾瀬沼は、尾瀬長蔵小屋三代目平野長靖殿の個人的な努力に始まった自然保護運動により、車道の建設が中断され、付近に車が入ることができないために、自動車排ガスの影響を受けにくい。図6は2004年9月に、長蔵小屋、川崎市中原区、群馬高専及び箕郷町(青井自宅)で全量回収した雨水の測定から算出した月間窒素降下量を比較した図であるが、尾瀬長蔵小屋がずば抜けて少ないことがわかる。首都圏の真ん中に位置すると思われる川崎市中原区の降下量が、群馬高専(前橋)や箕郷町より低い理由は、川崎では発生した排気ガスは、四方に拡散するのに対し、群馬では夏季、いつも同じ方向の地上風に乗って、首都圏から風が流れてくることの結果であると思われる。

## 5. まとめ

谷川岳山頂部降雪中の窒素濃度とふもとの大気中SPM濃度に強い相関があること、そのSPM濃度は南風比率とも相関が強いこと、尾瀬沼では窒素降下物が最小であることなどは、全て予め述べた作業仮説を強く支持するものであり、群馬県の利根川水系水質は、首都圏から飛来する大気汚染物質の影響を強く受けていることは確実と思われる。首都圏のGDPは世界第4位と巨大であり、僅かに150km離れると2000m級の山脈が連なっているような場所は、首都圏と群馬県において他には無い<sup>10)</sup>ので、この現象は世界で初めて顕在化した現象と見ることはできるのではないかと。

## 謝辞

本研究は、2001年度昭和シェル石油環境研究助成財団及び2002年度クリタ・水環境科学振興財団の研究費助成によりスタートした研究が発展した成果である。湯檜曾川の年間を通した採水や谷川岳山頂部の降雨採水は鉄人森邦広が実施し、尾瀬沼の降雨採水は平野太郎が担当した。また膨大な水質分析は、本研究室岸分析主任によるものである。お世話になった全ての方々へ厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 森邦広、青井透、阿部聡、池田正芳(2002)谷川岳を含む利根川最上流から利根大堰までの栄養塩濃度の推移と流出源の検討、土木学会環境工学研究論文集、Vol.39,pp235-246
- 2) 青井透、森邦広、平野太郎(2004)首都圏から飛来する大気汚染物質(窒素化合物)と越後山脈周辺の雨水及び沢水中窒素濃度との関係、土木学会環境工学研究論文集、Vol.41,pp97-104
- 3) 笠松志保、米屋由里、高橋篤、井上俊明(2004)SPM高濃度要因の解明における成分濃度の時間推移、川崎市公害研究所年報、Vol.31, pp17-23
- 4) 土器屋由紀子、岩坂泰信、長田和雄、直江寛明(2001)山の大气環境科学、養賢堂
- 5) 森邦広、森千恵子、青井透(2005)群馬県北部冬季の大気中SPM濃度と谷川岳山頂部降雪に含まれる各態窒素濃度との関係、第39回日本水環境学会年会講演集,p2
- 6) 青井透、平野太郎、鎌田素之(2005)尾瀬沼・前橋市及び川崎市での降雨中窒素濃度及び湿性降下量の違い、第39回日本水環境学会年会講演集,p3
- 7) 青井透(2003)利根川上流域の高い窒素濃度と首都圏より飛来する大気汚染物質との関係2、月刊「水」7月号, pp18-25
- 8) 青井透(2003)利根川上流域の高い窒素濃度と首都圏より飛来する大気汚染物質との関係1、月刊「水」6月号, pp26-33
- 9) 青井透、森邦広、池田正芳(2003)低公害車からのアンモニアガスの発生と関越自動車トンネル排気中窒素成分が谷川岳山頂近辺の降雨に及ぼす影響、土木学会環境工学研究論文集、Vol.40,pp713-720
- 10) 丹保憲二、青井透(2005)首都圏の水環境を考える—環境工学・水工学の視点から—、放送大学特別講義、2005.7.9放映

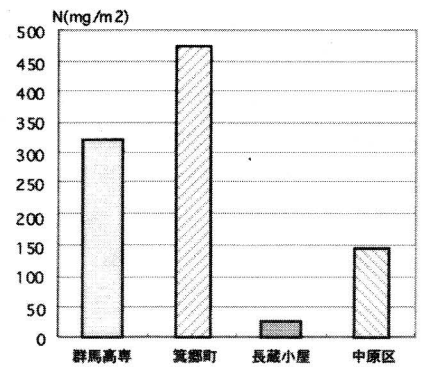


図6 2004年9月の各測定点月間窒素降下量比較