

# (11) 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

Relationship between the aircontaminants flying from the metropolitan area and the  
nitrogen concentration in mountain stream & rain water around Echigo Mountains

○青井 透\*, 森 邦広\*\*, 平野太郎\*\*\*  
Toru AOI\*, Kunihiko MORI\*\*, Taro HIRANO\*\*

**Abstract;** Dissolved nitrogen concentration of bulk precipitation and stream water were investigated on the Kabura river watershed (Western part of Gunma Pref.) and the Oze-numa lake. Also dissolved nitrogen concentration of stream (upper end of each river) around the Echigo Mountains including Fukushima, Niigata and Gunma Pref. were analyzed. NO<sub>x</sub>-N concentration showed most high value on the Kabura river watershed, and rather high value on the Tone river. In Niigata Prefectural side of Echigo Mountains, nitrogen concentration of the stream water lowered in 1/2 and in Fukushima side of that nitrogen concentration decreased to 1/5 level.

Rather high concentration of inorganic nitrogen on the upper stream of Tone River is thought to be derived from the air contaminants which comes flying from the metropolitan area with the sea wind in summer.

**Keywords;** aircontaminants, metropolitan area, nitrogen, rain water, mountain stream

## 1.はじめに

太陽エネルギーによって、海域で蒸発した水蒸気は、雲となって陸地に輸送され山間部で降雨となって水源を涵養し、森林を潤し谷間のせせらぎが集まって川となり、種々の成分を溶解または懸濁して取込みながら、再び海に戻るという循環を行っているが、1回のサイクルは我が国では10日から15日程度と非常に速い循環であると云われている

1). 大気中には、自然及び人為的な活動により、さまざまな大気汚染物質が含まれるが、降雨中には大気汚染物質が溶け込んで降下(湿性降下物)することから、降雨と人為的な汚濁を受けない最上流域の河川水(沢水)には、溶解成分において共通性があるはずであり、沢水の水質は基本的に降雨により形作られ、さらに降下した場所の植生や地質の影響を受けることになる。

430

大気汚染学会誌 第21巻 第5号 (1986)

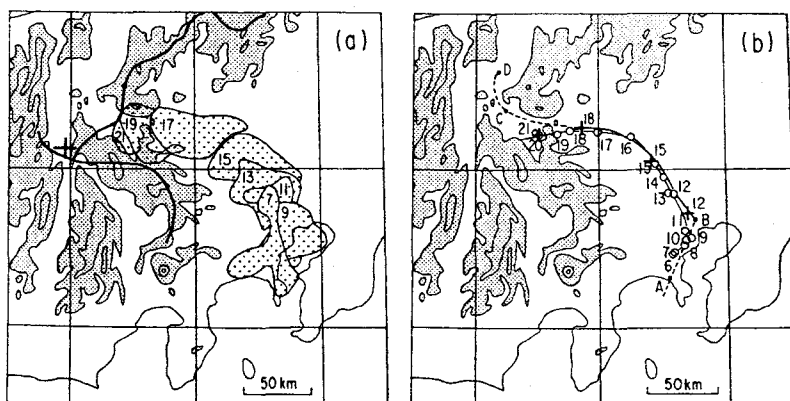


Fig. 2. Trajectory of the polluted air mass on 29 July 1983. Numbers denotes time(JST). (a) Movement of high concentration zone of O<sub>3</sub>+NO<sub>x</sub> (the area of zone is about 1600 km<sup>2</sup>). (b) Path of the center of O<sub>3</sub>+NO<sub>x</sub> high concentration zone (—○—) and air trajectory at the altitude of 100 m starting at Tokyo at 1200 JST (---○---). A, Kamakura; B, Tokyo; C, Ueda; D, Nagano.

図1 首都圏で発生した光化学スモッグが群馬を経由して長野に達する  
広域移動を示した研究の一例(文献14)

\* 群馬工業高等専門学校・環境都市工学科(Civil Eng., Gunma College of Technology)

\*\* 登山家・ナチュラリスト(Naturalist)

\*\*\*長蔵小屋・社長 (President of the Chozo Goya mountain hotel)

高層風

大気汚染物質の内陸への輸送  
 ・群馬県利根川流域での降下  
 ・利根川流域での高い窒素濃度  
 ・低公害車からのアンモニア態窒素

地表風

蛋白質系廃棄物

生ゴミ

下水汚泥

焼却工場

低公害車

上流域での高い溶存窒素濃度

ところで人為的な汚濁のない河川上流域の、森林地帯滞水に含まれる窒素濃度については、各種の考え方があり、例えば堀松<sup>4)</sup>は堆積岩地帯を流れる河川水は硝酸態窒素濃度が高いとして地質由来説を述べている。また林学の分野では、従来から関東地方北部では森林土壌が窒素飽和しているとする報告がある<sup>5)6)</sup>が、楊<sup>7)</sup>は「陸域環境においては窒素は、養分として最も欠乏しており、そこでの生物生産を規定する要因となっているので——渓流水中に窒素はふつうごくわずかしかな含まれない」と解説して、「近年、人為的流入源のない森林渓流水で硝酸態窒素が高濃度に含まれる例が見いだされる例をあげて——窒素沈着フラックスとの関係を検討する必要がある」と述べている。

鍋川流域での定期的な河川調査と  
各中学校での雨水調査範囲

夏季海風の風向

無機態窒素濃度(mg/l)

● 2000.7.8    ■ 2000.9.28  
 ▲ 2001.5.20    × 2001.8.23

流下距離 (Km)

| Distance (Km) | 2000.7.8 (●) | 2000.9.28 (■) | 2001.5.20 (▲) | 2001.8.23 (×) |
|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 (荒船湖入口)     | 2.5          | 1.5           | 1.5           | 0.8           |
| 10 (荒船湖)      | 1.5          | 1.5           | 1.5           | 0.8           |
| 15 (森沢橋)      | 3.5          | 2.2           | 2.2           | 1.0           |
| 20 (下仁田頭首)    | 3.2          | 2.5           | 2.5           | 1.1           |
| 25 (和合橋)      | 3.6          | 2.8           | 2.8           | 1.2           |
| 30 (富岡大橋)     | 4.0          | 3.8           | 3.8           | 1.4           |
| 40 (多胡橋)      | 4.5          | 5.0           | 5.0           | 1.2           |
| 50 (鮎川橋)      | 4.8          | 5.0           | 5.0           | 1.1           |

- 98 -

窒素濃度(殆どが硝酸態窒素)は1.5~2.5mg/lにも達し、この値は水質悪化で騒がれている霞ヶ浦湖水の10倍にも達する高い濃度<sup>9)~11)</sup>であることも報告した。

そこで烏川・鎗川流域の中学校に協力頂き、降雨の年間測定を実施した結果、各測点降雨中窒素濃度の年間加重平均値の平均は、2.5mg/lの極めて高い濃度であり、"この高い窒素濃度は、首都圏から夏季に卓越して飛来する海風(南東からの地上風)に含まれており、鎗川上空で降雨として降下してくる"と仮定すると、全ての現象がうまく説明できる<sup>23)</sup>ことを発見した。

夏季の安定した気象状態では、関東地方は小笠原高気圧からの南東風が卓越するが、加えて内陸の群馬県・長野県に向けての海風により、首都圏の大気汚染物質が輸送されることは、図1でも明らかである。成層圏を流れる高層風は偏西風の影響により、西風が卓越するようであるが、高度数百メートルの地上風の方向が全く異なることは、夏季の積乱雲の動きを見ても理解できる。

前記した仮定は一つの作業仮説であり、図2にモデル化して示したが、もしこの作業仮説が成り立つとすれば、太平洋側と日本海側を分離する脊梁山脈である越後山脈(三国山脈の延長)の日本海側や、首都圏からの南東風が到達しにくい群馬県北東部(尾瀬や片品村)では、沢水の窒素濃度は低くなると思われる。

そこで、この仮説を検証するために、新潟県・福島県・群馬県北東部などの越後山脈周辺で、雨水や沢水を継続的に採取して検討<sup>12)~17)</sup>した。研究チームの作業分担は、森が谷川岳および越後山脈周辺各地での採水、平野は尾瀬沼周辺及び登山途中での採水と降雨測定、青井はその他の採水と全ての水質分析及びまとめを担当した。以下にその結果を報告する。

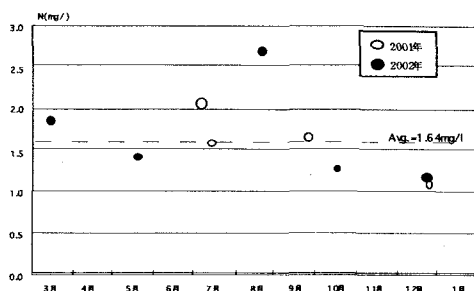


図5 鎗川最上流部/荒船湖入口無機態窒素濃度の季節変化

## 2. 利根川水系(特に鎗川・烏川水系)の水質と大気汚染降下物に関する従来の研究

1984年7月29日に長野県衛生公害研究所(当時)の栗田らは、光化学スモッグの広域共同観測を行い、首都圏で朝発生した光化学スモッグが埼玉・群馬の関東平野で発達し鎗川筋を進み碓氷峠から軽井沢へと流れることを実測した<sup>18)</sup>(図1)。図1中(a)は時間とともに進む光化学スモッグの広がりを示しており、(b)はその中心線と別途100m上空に上げた気球の軌跡の時間経過を示している。碓氷峠は群馬県と長野県の県境で最も海拔の低い地点であるために、光化学スモッグの通り道になると思われる。

この軌跡の真下に位置するのが鎗川である。日本中で光化学スモッグの警報が最も多く出されるのは群馬県であり、夏季にはこの海風ルートが地表風の代表的なルートであることは、前橋地方気象台の風向データ(図7)からも明らかである。図3には、鎗川流域の位置関係と調査範囲を示した。鎗川の水質調査は2000年から2001年の各季節実施し<sup>2)</sup>、流下方向の窒素濃度の動向を図4に示した。源流部の荒船湖入口沢水の窒素濃度は、1.5~2.6mg/lの範囲にあり、人為汚濁を受けない森林地帯としては異例に高い値(霞ヶ浦の数倍)であり、利根川合流前(鎗川橋)では3~5mg/lに達することが分かった。

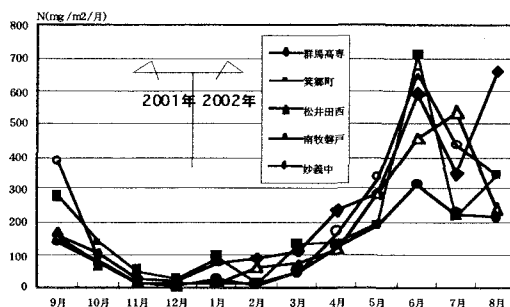


図6 群馬県西部5測点月別無機態窒素降下量の月変化

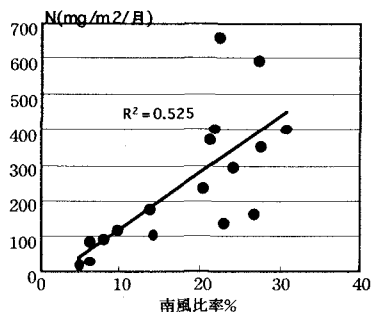
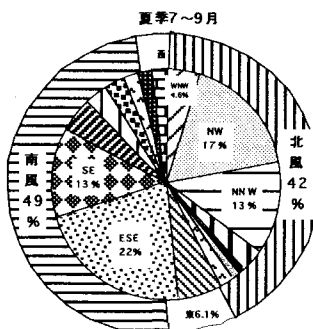


図7 前橋気象台各月南風比率と高専月別無機態窒素降下量の関係

また図4に示した荒船湖流入水(源流部森林流出水:森林は広葉樹及び針葉樹林:地質は玄武岩質安山岩溶等)窒素濃度を、季節毎にプロットした結果を図5に示した。夏期には窒素濃度が上昇することがわかる。

そこで、図3に示す範囲内で2001年から2002年にかけて、各中学校にお願いして雨水調査を開始した。回収と測定は群馬高専で実施した。ほぼ全量の雨水が回収できた5箇所で算出した、月別窒素降下量を図6に示すが、5月から降下量は上昇し6~8月にピークとなり9月からは激減するサイクルとなった。この現象を作業仮説の一例と考え、前橋気象台の各月南風比率と月窒素降下量をプロットしたところ、図7右に示すような明確な比例関係が見られた<sup>2)</sup>。

また降雨中には、アンモニア態窒素が酸化態窒素は( $\text{NO}_x\text{-N}=\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ )とほぼ等濃度測定されたが、このアンモニア態窒素は、低公害ガソリン車の三元触媒が大きな発生源と考えられ<sup>3)</sup>、またアンモニア態窒素は酸化態窒素や二酸化硫黄( $\text{SO}_x$ )と結合すると、パーティクルに変化するためにイオン状態より安定するために、遠くまで輸送されると報告されている<sup>19)</sup>。

烏川は鏑川と共に、群馬県西部を流れる利根川の支流であるが、最上流部に位置する倉淵村に相間川という支川がある。相間川は下流部を除いて人為的な活動が全くなく、林道があるのでほぼ源流部まで

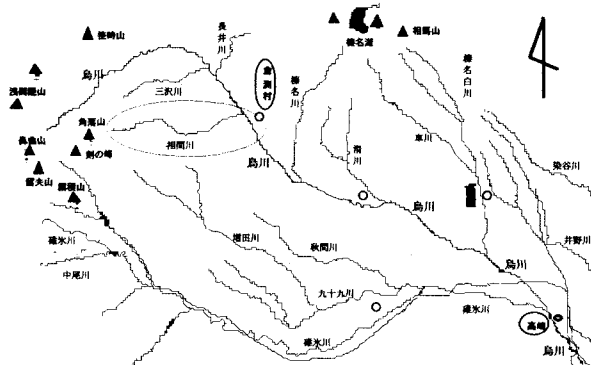


図8 群馬県西部烏川流域図と相間川の位置関係

相間川上流部各季節の無機態窒素濃度の変化(2001.8->2003.5)

| No | 採水点       | km  | 01.8.11 | 01.11.26 | 02.6.30 | 02.8.1 | 03.5.4 | 標高m | 備考   |
|----|-----------|-----|---------|----------|---------|--------|--------|-----|------|
| 1  | 最上流       | 0   | 1.76    | 0.62     | 0.82    | 1.20   | 0.76   | 785 | 相間川  |
| 2  | 横支流       | 0.1 | 2.05    | 0.55     | 0.86    | 1.38   | 0.74   | 785 |      |
| 3  | 沢水大(左岸)   | 0.7 | 2.55    | 0.63     | 1.02    | 1.39   | 0.96   |     |      |
| 4  | 右岸小滝      | 0.8 |         | 0.58     | 0.73    |        | 0.67   |     |      |
| 5  | 本川        | 1.2 |         | 0.66     | 0.76    | 1.29   | 0.73   |     | 相間川  |
| 6  | 沢水大(左岸)   | 1.2 | 2.41    | 0.87     | 0.95    | 1.51   | 1.04   |     |      |
| 7  | 沢水大(左岸)   | 1.5 | 1.87    | 0.65     | 0.87    | 1.53   | 0.82   |     |      |
| 8  | 本流橋       | 2.1 | 2.00    | 0.59     | 0.84    | 1.29   | 0.76   | 690 | 相間川  |
| 9  | 三ツ丸橋      | 3.7 | 1.94    | 0.69     | 0.80    | 1.47   | 0.85   | 610 | 相間川  |
| 10 | 左岸滝       | 4.1 |         | 0.57     | 0.72    | 2.24   | 0.58   |     |      |
| 11 | 上相間川橋     | 7.7 |         |          |         | 1.95   | 1.02   | 480 | 相間川  |
| 12 | 烏川橋下流100m | 9.2 | 1.69    | 1.18     | 0.99    | 2.38   | 0.97   | 420 | 烏川本流 |

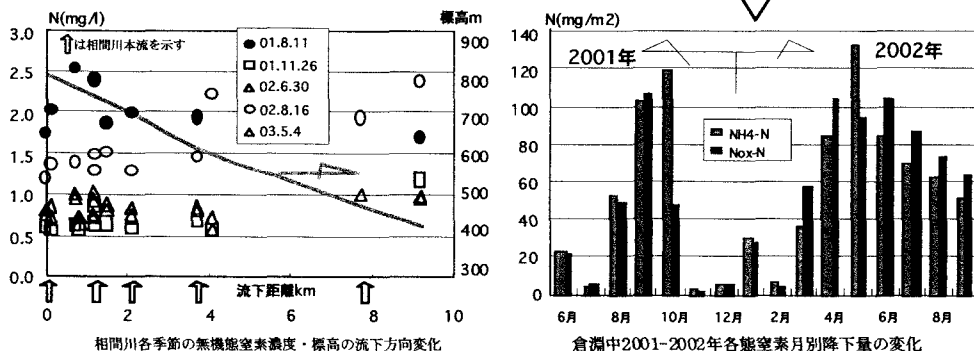
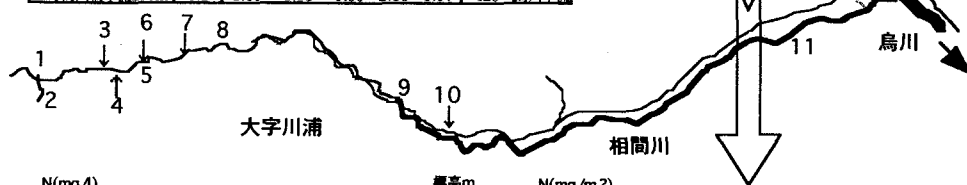


図9 相間川流域図と各採水地点、各季節無機態窒素濃度と倉淵中学での降雨中各態窒素降下量の変化

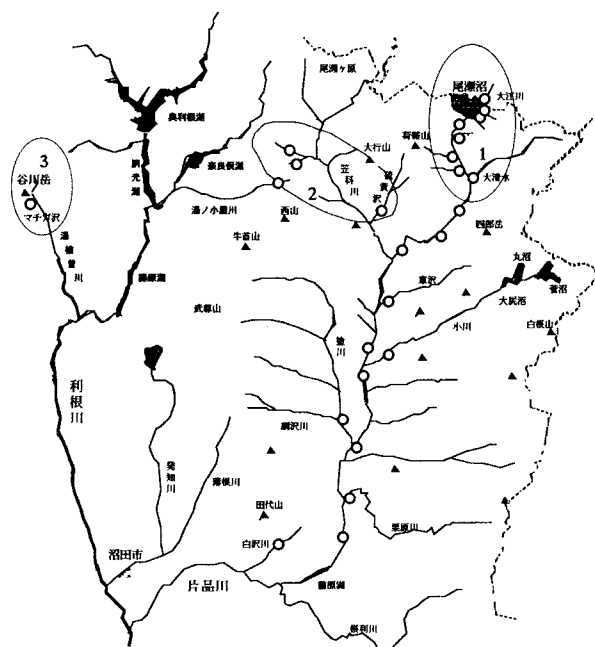


図10 尾瀬沼・谷川岳を含む群馬県上流部と採水地点

量となったが、夏に高く冬に低い傾向は同様である。

### 3. 試験対象及び方法

群馬県と福島県の県境に位置する、尾瀬長蔵小屋に群馬高専方式の雨水サンプリングを設置し、2002年から2003年の営業期間中降雨ごとに降雨量を計測し、降雨を100mlポリ瓶に採取して群馬高専にて分析を実施した。さらに尾瀬沼水質も定期的に分析し、降雨が沼水質に及ぼす影響も検討した。

次に大清水登山口から尾瀬沼に至る登山道の周辺で、人為汚濁による影響を受けないと思われる場所を選定し、2001年から2002年にかけて複数回100mlポリビンに採水した。また尾瀬の鳩待峠側登山口近辺の笠科川・湯の小屋川源流部の沢水も2002年に複数回採水した。比較対照とする谷川岳マチガ沢は定期的に採水を実施している<sup>8)</sup>ので、同時期に採取した樹林帯からの流出水質を対照に用いた。図10に、各採水点の位置を示したが、1は尾瀬沼から大清水までの沢水であり、2は笠科川支川流域である。3は谷川岳マチガ沢

採水に入れるので、2001年から2003年まで定期的に窒素濃度を測定した。また下流部には倉渕中学校があるが、2001年から2002年まで雨水調査も実施したので、降雨に由来する窒素の河川水に対する影響も観察できる立地条件である。相間川の位置関係を図8に、また相間川採水点と水質データ、倉渕中での降雨観測データを図9に示した。採水点は標高785mから480mにわたり森林の殆どは広葉樹林である。また流域の地質は輝石安山岩溶岩及び凝灰角れき岩である。採水途中の沢水も同時に測定したが、窒素濃度は流下方向であり変動がなくほぼ一定であり、季節的には8月に高い(他季節の2~3倍)濃度を示した。倉渕中から測定した降雨中窒素については、2001年9,10月に特異的に高い濃度(特に10月のNH<sub>4</sub>-N)を示したので、図6に示した他の測定点より高い降下

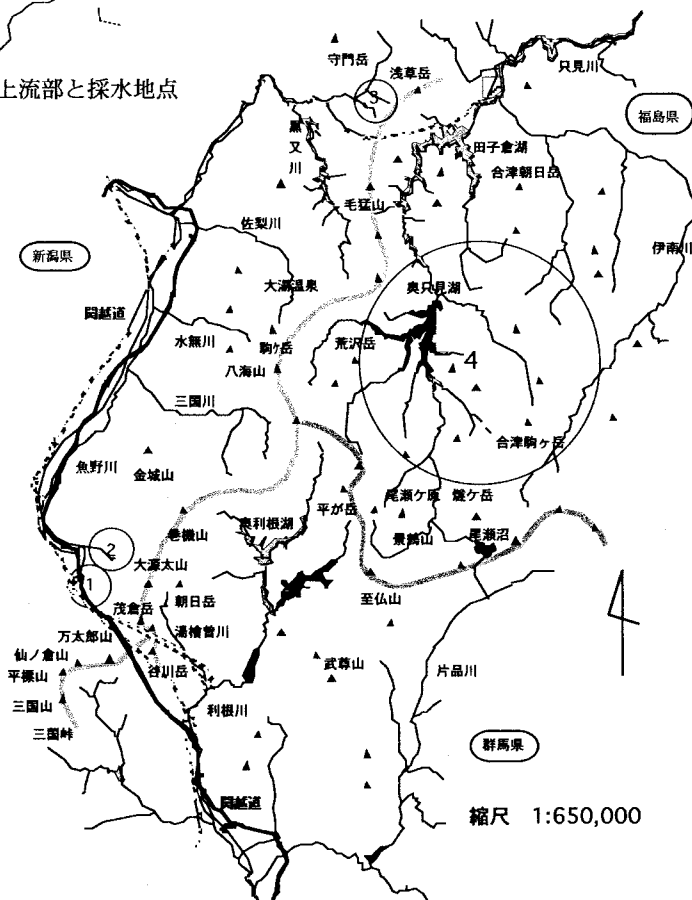


図11 三国山脈・越後山脈を分水嶺とする利根川・魚野川・只見川流域と採水地点

付近を示した。

さらに谷川連峰(三国山脈+越後山脈)の新潟県側(魚野川水系)および福島県側(只見川水系)の、人為汚濁がないと思われる最上流域樹林帯からの沢水を2002年に複数回100mlポリビンに採水した。採水地点を図11に示したが、1,2は谷川岳の新潟側であり、3,4は首都圏から遠く離れた森林地帯である。採水したサンプルは、群馬高専にて水質分析を実施した。N,Pの微量分析にはオートアナライザーACCS2を用いた。またpH, ECは携帯用の自動計器を使用した。

#### 4. 結果及び考察

##### 4.1 尾瀬沼の降雨中窒素濃度と尾瀬沼水質

2002年8月から2003年10月までの各月の降雨中各水質加重平均濃度を表1に示した。また図12には、各態窒素の月別降下量と降雨量を示した。尾瀬沼の降雨中無機態窒素濃度は年間加重平均で0.36mg/l、 $\text{NH}_4\text{-N}$ / $\text{NOx-N}$ の比率は概ね0.5であり、県内の測定点では共に最も低い値であった。仮に降雨中 $\text{NH}_4\text{-N}$ の主要発生源が三元触媒付低公害車である<sup>3)</sup>とすれば、自動車排気ガスの影響を最も受けにくい尾瀬沼で、 $\text{NH}_4\text{-N}$ / $\text{NOx-N}$ 比が低いのはうなずける現象である。

表2には尾瀬沼水質の月変化を示したが、融雪期の5月後半の無機態窒素濃度0.3mg/lは、降雨中無機態窒素加重平均濃度0.36mg/lとほぼ同レベルであり、尾瀬沼の無機態窒素濃度が、基本的に降雨に依存していることを示唆している。夏季に向かい植物性プランクトンの内部生産に、無機態窒素が用いられる(T-Nの値はあまり変化しない)ことも表2から理解できる。

尾瀬沼降雨の月別窒素濃度が2003年5月に高い値を示した<sup>13)</sup>(谷川岳でも同じ現象が観測された<sup>12)</sup>)のは、首都圏からの南風(森邦広、谷川岳)によると推察される。2003年の月別窒素降下量は6,7,8月でほぼ同じであり秋から減少した。

##### 4.2 谷川岳群馬側と新潟側沢水の窒素濃度

調査地点1(表3)は関越自動車トンネル新潟側の土樽PA近くの沢であり、高速道路の影響を受ける場所を含んでいる。調査は6月、11月の二回実施したので、同時期のマチガ沢樹林帯水質を併記しているが、地点1の平均無機態窒素濃度は0.31mg/lであり、対照としたマチガ沢の約1/2と低い濃度であった。

##### 4.3 越後山脈新潟側及び福島側の沢水中窒素濃度

図11に示した調査地点の中で、調査地点2(表4)は登川・三国川の源流部(魚沼連峰県立自然公園)であり、晩

表1 尾瀬沼2002-2003年降雨中各成分の加重平均濃度と降雨量

| 年月    | EC   | pH   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | Inorg N | 降雨量 |
|-------|------|------|-------|-------|-------|---------|-----|
|       | mS/m |      |       | mg/l  |       |         | mm  |
| 02年8月 | 1.52 | 3.87 | 0.21  | 0.00  | 0.31  | 0.52    | 118 |
| 9月    | 1.62 | 4.63 | 0.14  | 0.02  | 0.24  | 0.38    | 83  |
| 10月   | 1.06 | 5.03 | 0.09  | 0.07  | 0.31  | 0.40    | 112 |
| 03年5月 | 1.31 | 4.90 | 0.26  | 0.14  | 0.62  | 0.88    | 33  |
| 6月    | 1.27 | 5.02 | 0.17  | 0.01  | 0.36  | 0.53    | 100 |
| 7月    | 0.94 | 5.13 | 0.10  | 0.00  | 0.23  | 0.33    | 169 |
| 8月    | 0.74 | 5.23 | 0.09  | 0.00  | 0.18  | 0.27    | 218 |
| 9月    | 0.69 | 5.59 | 0.01  | 0.00  | 0.11  | 0.12    | 83  |
| 10月   | 0.79 | 5.96 | 0.01  | 0.00  | 0.09  | 0.11    | 37  |
| 加重平均  | 1.06 | 5.00 | 0.12  | 0.02  | 0.25  | 0.36    | 953 |

注記:InorgN= $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NOx-N}$

表2 2001年尾瀬沼水質の月変化

| 採水点    | 採水日  | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | T-N  |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|------|
|        |      |      | mS/m |       | mg/l  |       | mg/l   | mg/l |
| 尾瀬沼橋樑  | 5/23 | 6.63 | 2.8  | 0.03  | 0.004 | 0.27  | 0.30   | 0.38 |
| 尾瀬沼橋樑  | 7/3  | 7.18 | 1.5  | 0.09  | 0.002 | 0.04  | 0.13   | 0.25 |
| 尾瀬沼尻橋樑 | 7/8  | 7.07 | 2.0  | 0.03  | 0.001 | 0.00  | 0.03   | 0.31 |
| 尾瀬沼橋樑  | 7/30 | 7.14 | 4    | 0.00  | 0     | 0.00  | 0.00   | 0.16 |

採水年は2001年、採水者は平野、InorgNとは無機態窒素を示し $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NOx-N}$ の和である

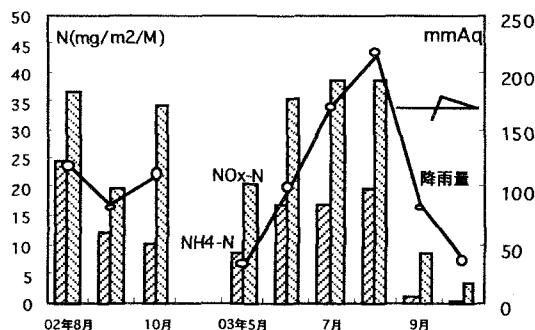


図12 尾瀬沼降雨中各態窒素降下量と降雨量月変化

表3 2002年 谷川連峰新潟側沢水水質(参考に群馬側マチガ沢水質も示す)

| 採水点     | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水時期  | 備考        |
|---------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| 毛沢沢1号ダム | 6.74 | 1.89 | 0.005 | 0.002 | 0.20  | 0.21   | 6.16  | 土樽駅900m手前 |
| 毛沢沢2号ダム | 7.14 | 3.81 | 0.005 | 0.002 | 0.19  | 0.20   | 6.16  | 関越トンネル土樽側 |
| 黒金沢平均   | 6.55 | 1.63 | 0.013 | 0.002 | 0.16  | 0.17   | 6.16  | 4検体       |
| 大源太沢    | 6.19 | 2.57 | 0.069 | 0.002 | 0.25  | 0.32   | 11.17 | 湯沢町       |
| 湯沢      | 6.13 | 2.92 | 0.190 | 0.008 | 0.50  | 0.69   | 11.17 | 湯沢町       |
| 毛沢沢     | 6.12 | 2.49 | 0.059 | 0.003 | 0.22  | 0.28   | 11.17 | 湯沢町       |
| 平均      | 6.48 | 2.55 | 0.057 | 0.003 | 0.25  | 0.31   |       |           |
| マチガ沢樹林帯 | 6.70 | 2.23 | 0.015 | 0.002 | 0.50  | 0.51   | 6月平均  | n=5       |
| マチガ沢樹林帯 | 6.50 | 2.62 | 0.009 | 0.002 | 0.59  | 0.60   | 11月平均 | n=2       |

表4 2002年 魚沼連峰自然公園新潟側沢水水質

| 採水点  | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水時期  | 備考   |
|------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| 登川上流 | 6.10 | 2.60 | 0.040 | 0.005 | 0.20  | 0.24   | 11.17 | 塩沢町  |
| 二子沢  | 6.08 | 2.47 | 0.030 | 0.001 | 0.15  | 0.18   | 11.17 | 登川支流 |
| 野中沢  | 6.21 | 3.49 | 0.030 | 0.002 | 0.38  | 0.41   | 11.17 | 六日町  |
| 五十沢川 | 6.23 | 2.69 | 0.040 | 0.003 | 0.21  | 0.25   | 11.17 | 六日町  |
| 平均   | 6.16 | 2.81 | 0.035 | 0.003 | 0.24  | 0.27   |       |      |

秋の採水であるが、無機態窒素濃度は平均0.27mg/lであった。調査地点3(表5)は、浅草岳新湯側(入広瀬村)で春から秋にかけて3回の採水平均値であるが、殆ど季節変化なしに無機態窒素濃度は0.17mg/lの極めて低い濃度であった。以上は魚野川水系であるが、調査地点4(表6)は、尾瀬を源流として北流する、只見川の広域調査結果である。表6中1項の只見沢は田子倉湖横で最下流点であり無機態窒素濃度0.13mg/lであったが、図11の調査地点円内に含まれる他の測定点は0.05~0.08mg/lと最も低い無機態窒素濃度を示した。この値は、マチガ沢樹林帯の約1/5の濃度であり、このような低濃度の沢水は群馬県内では観察されない。

#### 4.4 群馬県北東部(片品村)の沢水中窒素濃度

表7は図10調査地点1の主要な沢水の水質測定値である。利根川最上流端・谷川岳ノ倉沢において年間無機態窒素濃度が0.24mg/l<sup>8)</sup>であるのに対し、図10地点1の平均無機態窒素濃度は0.13mg/lとおよそ半分の値を示した。表8は地点2の沢水と地点3の水質を比較したものであるが、マチガ沢の水質の方が無機態窒素では6倍近い濃度を示した。

4.5 作業仮説との適合性検討 以上検討した、群馬県内で人為的な汚濁を受けない河川源流部にある、荒船湖流入水や相間川の窒素濃度が夏期に上昇することと、同流域の降雨中窒素降下量が夏期に最大になること、群馬県内でも北東部に位置する片品川や尾瀬沼では源流部の窒素濃度が低いこと、また新潟県・福島県の越後山脈周辺沢水の窒素濃度が、利根川(鐺川や烏川含む)上流域の源流部窒素濃度よりおしなべて低いことは、すべて提案した作業仮説を裏付けており、群馬県内の利根川流域は、首都圏から飛来する海風に含まれる窒素化合物降下の影響を、強く受けられると思われる。

群馬県内を広域的に眺めると、源流部沢水に含まれる窒素濃度は、基本的に首都圏からの地上風の飛来比率に依存しているように感じられる。

#### 5.まとめ

谷川岳を中心とした、広域的な雨水や沢水の水質調査の結果、首都圏からの大気と沢水中窒素濃度については、以下のことが分かったので列記する。

- 1) 尾瀬沼に降下する降雨の加重平均窒素濃度と、尾瀬沼雪解け時の湖沼水無機態窒素濃度は概ね一致し、谷川岳ノ倉沢、鐺川流域の調査と同様に、降雨中窒素濃度が源流域の沢水や湖沼水質の窒素濃度を基本的に決定していることを確認できた。
- 2) 谷川岳の群馬側沢水と、同様な標高にある新潟県側の沢水中窒素濃度を比較すると、同じ季節の比較で、新潟県側の窒素濃度は概ね1/2の低い値を示した。
- 3) 群馬県内の利根川支流樹林帯沢水と、新潟県側及び福島県側の源流域樹林帯沢水を比較すると、新潟県側では、谷川岳から遠ざかるほど窒素濃度は低減する傾向がみられ、福島県側の只見川水系は、概

表5 2002年 浅草岳新湯側(入広瀬村)沢水平均水質

| 採水点     | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水時期 | 備考  |
|---------|------|------|-------|-------|-------|--------|------|-----|
| 柿の木川    | 6.9  | 4.06 | 0.060 | 0.005 | 0.14  | 0.2    | 3回平均 | 末沢川 |
| 谷止め(前堤) | 6.78 | 3.30 | 0.020 | 0.002 | 0.15  | 0.17   | 3回平均 | 末沢川 |
| 鳥越橋上流   | 6.81 | 2.51 | 0.020 | 0.002 | 0.14  | 0.16   | 3回平均 | 末沢川 |
| 横倉橋     | 6.81 | 2.51 | 0.020 | 0.002 | 0.14  | 0.16   | 3回平均 |     |
| 平均      | 6.83 | 3.10 | 0.030 | 0.003 | 0.14  | 0.17   |      |     |

注記:採水時期は、2002年5/21, 6/27, 9/26

表6 2002年 只見町・檜枝岐村・湯之谷村の只見川水系沢水平均水質

| 採水場所      | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水時期 | 備考        |
|-----------|------|------|-------|-------|-------|--------|------|-----------|
| 只見沢(只見町)  | 6.94 | 2.40 | 0.033 | 0.002 | 0.10  | 0.13   | 3回平均 | 田子倉無料休憩所脇 |
| 滝沢・会津駒登山口 | 7.11 | 2.71 | 0.018 | 0.002 | 0.04  | 0.05   | 2回平均 | 檜枝岐村      |
| 金泉橋(鷹の巣)  | 7.19 | 6.65 | 0.020 | 0.003 | 0.06  | 0.08   | 2回平均 | 湯之谷村      |
| 滝の沢(鷹の巣)  | 7.01 | 2.62 | 0.016 | 0.002 | 0.05  | 0.06   | 2回平均 | 湯之谷村      |
| 高岩沢       | 7.19 | 2.95 | 0.020 | 0.004 | 0.06  | 0.08   | 2回平均 | 湯之谷村      |
| 原沢        | 7.20 | 3.01 | 0.030 | 0.001 | 0.05  | 0.08   | 2回平均 | 湯之谷村      |
| 平石沢       | 7.11 | 1.97 | 0.021 | 0.002 | 0.09  | 0.11   | 2回平均 | 湯之谷村      |
| 平均        | 7.11 | 3.19 | 0.023 | 0.002 | 0.06  | 0.08   |      |           |

備考:2回平均は、6/27, 9/26日の採水平均値、3回平均は加えて5/21日の平均値

表7 尾瀬沼周辺沢水水質(2001年から2002年)

| 採水地点 | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水月日 | 備考          |
|------|------|------|-------|-------|-------|--------|------|-------------|
| 尾瀬沼  | 6.93 | 2.91 | 0.031 | 0.002 | 0.05  | 0.08   | 6回平均 | 01.5->02.9  |
| 大江川  | 7.30 | 4.06 | 0.020 | 0.002 | 0.25  | 0.27   | 4回平均 | 01.5->01.7  |
| 岩清水  | 7.12 | 3.36 | 0.009 | 0.001 | 0.08  | 0.08   | 4回平均 | 01.5->02.9  |
| 冬路沢  | 6.18 | 3.18 | 0.008 | 0.001 | 0.12  | 0.13   | 3回平均 | 02.8->02.11 |
| 柳沢   | 6.76 | 3.33 | 0.003 | 0.000 | 0.06  | 0.07   | 2回平均 | 02.8->02.9  |
| 大清水  | 6.48 | 3.72 | 0.009 | 0.002 | 0.15  | 0.16   | 4回平均 | 02.5->02.11 |
| 平均   | 6.79 | 3.43 | 0.013 | 0.001 | 0.12  | 0.13   |      |             |

表8 2002年笠川支流流域沢水水質(比較に谷川岳マチガ沢樹林帯水質も示す)

| 採水地点    | pH   | EC   | NH4-N | NO2-N | NOx-N | InorgN | 採水日   | 備考     |
|---------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 碓氷沢     | 7.09 | 4.47 | 0.016 | 0.001 | 0.11  | 0.13   | 2回平均  | 富士見峠下  |
| 笠川      | 6.39 | 3.75 | 0.014 | 0.001 | 0.05  | 0.07   | 2回平均  | ナメ沢    |
| 照葉峠     | 6.49 | 3.50 | 0.017 | 0.001 | 0.05  | 0.07   | 2回平均  | 沢の小屋沢水 |
| 平均      | 6.66 | 3.90 | 0.015 | 0.001 | 0.07  | 0.09   |       |        |
| マチガ沢樹林帯 | 6.16 | 1.68 | 0.016 | 0.001 | 0.56  | 0.58   | 8月平均  | n=4    |
| マチガ沢樹林帯 | 6.37 | 2.74 | 0.033 | 0.000 | 0.62  | 0.66   | 10月平均 | n=3    |

ねマチガ沢樹林帯の1/5濃度と極めて低い窒素濃度を示すことがわかった。

- 4)尾瀬沼周辺の沢水と利根川源流部に位置する谷川岳の水質を比較すると、尾瀬沼の方が明らかに低い窒素濃度を示し、アンモニア態窒素比率も低かった。これらの結果は、首都圏から飛来する地上風の到達度合いが異なることが関係していると思われる。
- 5)鐺川・烏川等の群馬県西部に位置する利根川支流源流部の著しく高い窒素濃度、また利根川本川上流部の比較的高い窒素濃度、また福島県奥只見の著しく低い窒素濃度等は、首都圏から飛来する地上風に含まれて輸送される、窒素化合物降下の影響を強く受けており、提案した作業仮説があてはまることがわかった。

## 謝辞

本研究の一部は、2001年度（財）昭和シェル石油環境研究助成財団及び2002年度（財）クリタ水・環境科学振興財団の研究費助成により実施した。雨水および沢水の膨大な分析は、本研究室岸分析主任に実施頂いた。また各地での採水調査には研究室の多くの学生に協力頂いた。お世話になった多くの方々に厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1)丹保憲二、小笠原紘一(1985)浄水の技術、技報堂出版、p5
- 2)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、pp26-338
- 3)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
- 4)例えば 津村繪理子、團松孝男、肥田嘉文(2001)林地流出水の窒素濃度と地質-2.琵琶湖集水域森林の水質分布図一、第5回日本水環境学会年会講演集、p122
- 5)徳地直子(1997)酸性降下物と森林生態系における窒素循環、環境技術、Vol.26, No.10, pp668-656
- 6)Kiyokazu OHRUI, M.J.MITCHELL(1997) Nitrogen Saturation in Japanese Forested Watersheds, Ecological Applications, Vol.7, No.2, pp391-401
- 7)楊 宗興(2004)森林集水域の生物地球化学—水質形成と流出—、水環境学会誌、Vol.27, No.9, pp568-574
- 8)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
- 9)青井 透、池田正芳(2003)群馬県及び首都圏降雨中窒素濃度測定と河川水質に及ぼす影響、第40回下水道研究発表会講演集、pp919-921
- 10)青井透、池田正芳、阿部聡(2002)首都圏と群馬県での大気中窒素化合物の広域移動と降雨中アンモニア態窒素への自動車排気ガスの関与、土木学会第39回環境工学研究フォーラム講演集、pp92-94
- 11)青井 透、森邦広、池田正芳、阿部聡(2002)利根川支流鐺川水系の高い窒素濃度と降雨中窒素との関係、第53回全国水道研究発表会論文集、pp580-581
- 12)青井 透、平野太郎(2004)尾瀬沼の降雨中窒素濃度の年間変化、第38回日本水環境学会年会講演集、p130
- 13)森 邦広、青井 透(2004)谷川岳山頂周辺降雨中窒素濃度と関越トンネル排気との関係、第38回日本水環境学会年会講演集、p131
- 14)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
- 15)森邦広、森千恵子、青井 透(2003)谷川岳の群馬県側と新潟福島県側の沢水中窒素濃度の相違、第37回日本水環境学会年会講演集、p110
- 16)阿部 聡、青井 透、平野太郎(2003)尾瀬沼と谷川岳での降雨中窒素濃度の相違、第37回日本水環境学会年会講演集、p112
- 17)森 邦広、阿部 聡、池田正芳、青井 透(2002)谷川岳の降雪雨と各沢水中窒素濃度の関係、第36回日本水環境学会年会講演集、p108
- 18)栗田秀寶、植田洋匡(1986)沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送および変質過程、大気汚染学会誌、Vol.21, pp428-439
- 19)村野健太郎(1996)窒素系化合物で汚染が憂慮される日本の土壌、資源環境対策、Vol.32, No.16, pp49-51