

# 鵜川水系水質に関する研究 (第 1 報) 水系地質と渓流水中の溶存成分との関係

福崎 紀夫\*, 近藤 友宏\*\*

(平成 24 年 10 月 31 日受理)

Studies on the features of dissolved constituents in Ukawa River system  
Part 1: Relationship between the geological features of river system and  
dissolved constituents in mountain stream water

Norio FUKUZAKI\*, Tomohiro KONDOH\*\*

To examine the relationship between the formation process of mountain stream water in the Ukawa River system and geological features, we sampled the atmospheric deposition once a week from February 2009 to February 2010 and also sampled mountain stream and spring water approximately once a month from June to December 2009, and then measured the main dissolved constituents and alkalinity. According to the ratio of the concentration of constituents in mountain stream/spring water to that of atmospheric deposition, we observed that geological features most strongly influence calcium ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ). The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration is high in Asoshima River and Shimizudani River mountain streams and Jisaburou Shimizu spring water, where sedimentary Asoshima and Komanoma layers comprised of calcareous sandstone are distributed. On the other hand, the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration is relatively low in water originating from the andesitic Yoneyama Mountain system, such as Haraikawa River and Onme Shimizu spring water on the left side of the Ukawa River.

Key words: Ukawa River, dissolved constituents, geological features, mountain stream water

## 1. はじめに

河川水の水質は大気降下物、岩石あるいは土壌の風化生成物、植物分解物、水中生物の代謝産物等を含み、さらには人為活動の影響を受けて複雑に変動する。河川上流部の渓流水は人為活動の影響が小さく、大気降下物と当該地域の地下水水質、すなわち岩石風化物由来の化学成分の特徴が強く反映され则认为られる<sup>[1]</sup>。河川水の水質形成機構を把握することは、汚染物質の流入拡散過程の把握、農業・工業用水や飲料水などの水資源の確保、河川環境の保全などの水資源と水環境管理に不可欠である。

本研究ではこのような観点から柏崎地域の河川水質を形成する過程を把握することを目的に、鵜川水系の主に上流部を研究対象として渓流水質と大気降下物成分を測定し流域地質との関係について考察した。

---

\* 環境科学科教授 Department of Environmental Science, Professor

\*\* 物質生物システム工学科 卒業生 Department of Applied Chemistry and Biotechnology, Graduate

## 2. 鵜川水系の地形と河川

鵜川は、米山山塊の東斜面と黒姫山地の西斜面に発し、多くの支流を集めながら、南方から北方に流れ、柏崎平野の南部をとって日本海に注ぐ、流域面積108.7km<sup>2</sup>、流路延長24.6kmの二級河川である(図-1 参照)。

鵜川水系の上流部を構成する主な支流としては、兜巾山系と尾神山(標高757m)系から流れる荒又川(鵜川源流)、鷹の巣山(624m)・大達間山系及び兜巾山系からの溪流を集める阿相島川、黒姫山(標高890m)の軽が岳山系から流れる折居川、同じく黒姫山の西斜面の大滝を主軸にして両側の谷川を集めて流れる赤平川、清水谷の出壺の清水を源流



図-1 鵜川水系と調査地点

部として大沢入山系の谷川を集める清水谷川がある。

また、中流域の左岸野田地内において米山山塊東端部を源流部とする田屋川が弘川に合流後に、右岸古町地域において黒姫山地の北部丘陵地域を源流とする芋川が流入する。さらに下流域右岸では、水田地帯の排水を集水する横山川と鵜川段丘丘陵地域を源流部とする軽井川がそれぞれ流入している。

鵜川の左岸に広がる米山山塊は主峰を米山(標高993m)とし、山体は深いV字谷地形を呈している。米山山塊の周辺は標高200-300mの丘陵地帯や段丘によって形成されている。

鵜川上流右岸に広がる黒姫山地は、主峰を黒姫山(標高890m)とし、北東-南西方向の

主稜線を持つ山地であり、南西側の鷹の巣山から北東側の黒姫山まで約10kmの稜線が続いている。

### 3. 方法

#### 3.1 鵜川水系の地質と調査地点の選定

鵜川水系の地質を、地質調査所編「地域地質研究報告・岡野町地域の地質」<sup>2)</sup>にしたがって概観するとともに渓流水・湧水調査地点付近の概要を記述する。これらの位置関係を図-2に示す。

米山山塊東端部は、下位より新第三紀・中新世に属する小菅層及び鮮新世に属する米山層が重なっている。小菅層は最も下位に位置し、米山山塊地域の南部では広範囲に露出しているが、北部の谷根地域と本調査対象河川の前川源流部ではわずかに露出しているに過ぎない。小菅層は黒色泥岩砂岩層からなり凝灰岩を挟在する。米山層は米山山塊を構成する主要な地層であり主に安山岩からなる。本研究対象の払川と前川はこの米山層を主に源流部及び河床としており、払川渓流水調査地点「払川」は野田地区の畑地直前点である。前川は主に米山層と一部小菅層及びそれらの氾濫原堆積物内を流下した後に川内ダムに流入しており、調査地点「前川」は川内ダム流入直前の砂防ダム上流地点である。また、これらの渓流水と対比するために採水した「川内清水」は川内ダム下流の川内部落内の中心部付近の湧水である。また、「おんめ清水」は米山山塊の田屋川沿いの坂又地区の湧水である。



図-2 鵜川水系の地質と調査地点

一方、鵜川右岸に広がる黒姫山地の山稜には黒姫層の火砕岩類が分布する。黒姫山地東側には下位から新第三紀・鮮新世に属する田麦川層、黒姫層、阿相島層、鮮新世一更新世前期の駒の間層が順に堆積している。田麦川層は主に砂岩泥岩層からなり、黒姫層は米山層と同時代で一連の火山活動の産物で主に安山岩火砕岩からなる。一方、阿相島層は主に礫岩・砂岩・泥岩・石灰質砂岩からなる。この上方に層序する駒の間層は泥岩・砂岩・礫岩のほか安山岩火砕岩を伴っている。

荒又川は鵜川源流であり、源流部において田麦川層及び兜巾山を形成する黒姫層を流れるが、中流部からは左岸が米山層、右岸が駒の間層からなる氾濫原堆積物内を流下して女谷地内の水田地帯を通過して阿相島川と合流する。荒又川の調査地点「荒又川」は、この水田地帯の上流部に位置する。阿相島川は、鷹の巣山・大達間山系及び兜巾山系の黒姫層を源流部とし、その後阿相島層及び荒又川（鵜川）合流直前には駒の間層を河床としている。阿相島川の調査地点「阿相島川」は、鵜川合流地点より上流 1.5 km 地点の阿相島層露頭部であり、付近の湧水「治三郎清水」は同合流地点直前の段丘崖上から阿相島川に流下している。

清水谷川は黒姫山の西斜面北部の「出壺の清水」を源流部として西北西に流れ鵜川本流に合流している。清水谷川は黒姫層を源流部とし菅沼層（塊状泥岩）、阿相島層及び駒の間層、鵜川合流前には氾濫原堆積物内を流下している。清水谷川の調査地点である「清水谷」は清水谷川が鵜川に合流する直前点に位置する。

芋川は菅沼層が分布する桜峠付近を源流部とするが、その後黒姫層、駒の間層、久米礫層を流下した後、水上地内では扇状地堆積物（礫及び砂）内を流れ、水田地帯内を蛇行した後鵜川に合流している。芋川の調査地点「芋川」は水上地内に流入する直前点である。

なお、前川は鵜川水系には属さないが米山山塊北東斜面を源流部とする小河川として調査対象に含めた。

鵜川水系の調査地点は上記の地質の特徴を踏まえ、①「弘川」、②「荒又川」、③「阿相島川」、④「清水谷川」、⑤「芋川源流部」とした。これらに加えて、前述したように鵜川水系ではないが米山山地東部を流れ柏崎市の水源の一部として利用されている前川の渓流水を前川の上流部、川内ダム流入直前地点で採水した（⑥「前川」）。また、これらの河川水質と対比するため、鵜川水系の湧水として、弘川・田屋川流域の⑦「おんめ清水」、阿相島川流域の⑧「治三郎清水」、清水谷川源流の⑨「出壺の清水」から、また前川流域の湧水である⑩「川内清水」から採水した。

### 3.2 大気降水物の調査地点

大気降水物は降水と重力沈下した大気浮遊粉じんから構成される。大気降水物の試料は鵜川下流域地域に位置する柏崎市藤橋の新潟工科大学北棟屋上でろ過式捕集法<sup>[3]</sup>により捕集した。

### 3.3 測定項目及び測定方法

#### 3.3.1 測定項目

大気降水物の測定項目は、pH (H<sup>+</sup>)、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>であり、渓流水及び湧水の測定項目はアルカリ度、pH、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>である。

#### 3.3.2 測定方法

大気降水物、渓流水及び湧水中の Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はイオンクロマト分析法<sup>[4,5]</sup>により、pH はガラス電極法により測定した。また、アルカリ度はメチルオレンジ-メチルレッドを指示薬とし0.01規定硫酸を用いた滴定法<sup>[5]</sup>により測定した。

### 3.4 測定値の精度管理

大気降水物試料、渓流水及び湧水試料の測定値の精度管理はアルカリ度をすべて重炭酸イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) として試料水の陽イオンと陰イオンの分析値のイオンバランスが7%以内であることを精度管理の目安とした<sup>[4,5]</sup>。7%を超える場合は再度測定した。

### 3.5 調査期間

大気降水物試料は2009年2月21日から2010年2月22日までの間、週毎に捕集し測定に供した。また、渓流水及び湧水試料のうち「おんめ清水」、「治三郎清水」及び「川内清水」は2009年6月から12月の間毎月1回、「出壺の清水」はこの間3回採水した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 大気降水物濃度

表-1 に河川水質の調査期間を含む2009年2月21日から2010年2月22日における大気降水物中の主要成分測定値の降水量重み付け平均値を示す。

表-1 大気降水物の降水量重み付け平均値(柏崎市藤橋, 2009.2.21-2010.2.22)

|       | 降水量  | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | H <sup>+</sup> | pH   |
|-------|------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|----------------|------|
| 単位    | mm   | mg/L            | mg/L                         | mg/L                          | mg/L            | mg/L           | mg/L             | mg/L             | mg/L                         | mg/L           |      |
| 柏崎・藤橋 | 2809 | 7.34            | 1.17                         | 3.14                          | 4.11            | 0.21           | 0.51             | 0.35             | 0.28                         | 0.038          | 4.42 |
| 長岡*   | 2335 | -               | 1.31                         | 3.25                          | -               | -              | -                | 0.40             | 0.42                         | 0.026          | 4.58 |
| 新潟巻*  | 1329 | 7.53            | 1.15                         | 2.72                          | 4.14            | 0.17           | 0.51             | 0.34             | 0.30                         | 0.027          | 4.57 |

\*環境省・新潟県調査 (2009.4~2010.3) <sup>[6,7]</sup>

環境省及び新潟県調査による 2009 年度の新潟巻測定局及び長岡の調査結果と比べると、pH は 4.42 と長岡と新潟に比較してやや低い値となっている。これは同一の調査期間でないことにより、柏崎の降水量が両地点と比較して多く、特に pH が低くなる冬季の降水量が多かったためと考えられる。他の成分濃度は新潟巻及び長岡の値と同程度である。

#### 4.2 渓流水及び湧水の平均濃度

表-2 に渓流水・湧水の平均濃度を大気降下物濃度（再掲）とともに示す。大気降下物の pH は 4.42 であるのに対し、渓流水及び湧水の pH は 7.0 以上となっている。これは、大気降下物中の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及び  $\text{K}^{+}$  が、それぞれ、0.35、0.51 及び 0.21 mg/L であるのに対して、渓流水・湧中のこれらの成分濃度は数倍以上の値を示しており、集水域の岩石風化物由来の塩基性成分の溶け出しによるものと考えられる。これに伴い、大気降下物のアルカリ度は 0.0 meq/L であるのに対して、渓流水及び湧水のアルカリ度は 0.3~0.8 meq/L を示しており河川水の酸性化に対して地質からの緩衝作用<sup>[8]</sup>が現れたものと考えられる。

一方、陰イオン成分の  $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  は、大気降下物と渓流水はほぼ同程度の濃度となっている。しかし、地点によって異なり、各イオンとも渓流水・湧水濃度が大気降下物濃度よりも高い地点と低い地点がある。 $\text{Cl}^{-}$  は海水中に含まれており、海塩粒子として降水とともに湿性沈着及び乾性沈着する。「前川」のように海岸に近い地点では、4.5km 程度内陸部に位置する藤橋で測定された大気降下物濃度よりも  $\text{Cl}^{-}$  濃度は高くなるものと考えられる。 $\text{NH}_4^{+}$  は、大気降下物濃度よりも湧水・渓流水中の濃度がはるかに低い値となっており、大気中のアンモニアガスあるいはアンモニウム塩が湿性あるいは乾性沈着により地表面に到達後、栄養成分として植物や土壤微生物による取込みや硝酸イオンに酸化された後、生物活動による脱窒<sup>[9-13]</sup>などにより濃度減少が大きい成分と考えられる。

#### 4.3 大気降下物成分濃度に対する渓流水・湧水濃度比

大気降下物成分濃度に対する渓流水・湧水濃度比を表-3 に示す。大気降下物濃度が 0.0 meq/L であるアルカリ度を除いたとき、（渓流水・湧水濃度/大気降下物濃度）比の平均値は、 $\text{Ca}^{2+}$ （（渓流水・湧水濃度/大気降下物濃度）比=21.4, 以下同じ）、 $\text{K}^{+}$  (8.25)、 $\text{Mg}^{2+}$  (4.54)、 $\text{Na}^{+}$  (1.67)、 $\text{SO}_4^{2-}$  (1.57)、 $\text{Cl}^{-}$  (1.22)、 $\text{NO}_3^{-}$  (0.96)、 $\text{NH}_4^{+}$  (0.05) となっている。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  が大気降下物に比べ渓流水中濃度が大きく、大気降下物以外の影響、すなわち岩石風化物（地質）の影響が大きい成分といえることができる。また、 $\text{NO}_3^{-}$  (0.96) と  $\text{NH}_4^{+}$  (0.05) はこの比が 1.0 より小さく、前述したように降水から土壤に供給された後に土壤中の微生物による取込みや脱窒により、（渓流水・湧水濃度/大気降下物濃度）比が 1 よりも小さな値となると考えられる。なお、H<sup>+</sup> は表-2 からわかるように、大気降下物及び渓流水の pH が、それぞれ、4.42、7.1 以上であることから、（渓流水・湧水濃度/大気降下物濃度）比は、0.002 未満と小さな値となっている。

Cl<sup>-</sup>とNa<sup>+</sup>は0海塩の主要な成分であり海岸線から離れると指数関数的に低下することが知られており<sup>[14]</sup>，大気降水物捕集地点の新潟工科大学が立地する藤橋よりも海岸線に近い調査地点では大気降水物中濃度が高い可能性が高く，他方，藤橋よりも内陸では低濃度である可能性が高い．また，Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>を比較するとNa<sup>+</sup>はCl<sup>-</sup>よりもこの比が大きくなりNa<sup>+</sup>は岩石からの溶出が考えられる．NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は，(渓流水・湧水濃度/大気降水物濃度)比の平均値で0.96であるが，治三郎清水の0.27から弘川の1.24まで広く分布した．こうした違いが出る原因については土壌中の窒素成分と微生物活動に依存する<sup>[12]</sup>ものと考えられるが詳細は今後の課題である．

表-2 渓流水・湧水・大気降水物の平均濃度

|        | pH   | アルカリ度<br>meq/L | Cl <sup>-</sup><br>mg/L | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>mg/L | Na <sup>+</sup><br>mg/L | K <sup>+</sup><br>mg/L | Mg <sup>2+</sup><br>mg/L | Ca <sup>2+</sup><br>mg/L | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>mg/L |
|--------|------|----------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| ①弘川    | 7.42 | 0.375          | 8.05                    | 1.45                                 | 2.14                                  | 5.92                    | 1.13                   | 1.40                     | 4.90                     | 0.01                                 |
| ②荒又川   | 7.47 | 0.395          | 7.42                    | 0.98                                 | 4.81                                  | 5.55                    | 1.28                   | 1.77                     | 5.57                     | 0.02                                 |
| ③阿相島川  | 7.65 | 0.557          | 7.47                    | 0.94                                 | 8.07                                  | 6.63                    | 1.59                   | 2.46                     | 8.28                     | 0.02                                 |
| ④清水谷川  | 7.58 | 0.579          | 7.67                    | 1.33                                 | 6.77                                  | 6.13                    | 1.91                   | 2.59                     | 8.49                     | 0.01                                 |
| ⑤芋川源流部 | 7.43 | 0.430          | 8.70                    | 0.92                                 | 5.45                                  | 6.61                    | 1.39                   | 1.95                     | 5.84                     | 0.01                                 |
| ⑥前川    | 7.37 | 0.451          | 11.50                   | 1.58                                 | 2.80                                  | 7.98                    | 1.56                   | 1.98                     | 5.86                     | 0.02                                 |
| ⑦おんめ清水 | 7.16 | 0.485          | 9.74                    | 1.17                                 | 1.99                                  | 7.02                    | 1.54                   | 1.70                     | 6.48                     | 0.01                                 |
| ⑧治三郎清水 | 7.74 | 0.825          | 7.10                    | 0.32                                 | 5.52                                  | 6.33                    | 2.84                   | 3.47                     | 10.7                     | 0.02                                 |
| ⑨出壺の清水 | 7.72 | 0.720          | 9.15                    | 1.33                                 | 4.82                                  | 7.23                    | 2.17                   | 2.75                     | 9.88                     | 0.01                                 |
| ⑩川内清水  | 7.24 | 0.604          | 15.76                   | 0.75                                 | 4.85                                  | 11.43                   | 2.61                   | 3.03                     | 7.98                     | 0.01                                 |
| 大気降水物  | 4.42 | 0.0            | 7.34                    | 1.17                                 | 3.14                                  | 4.11                    | 0.21                   | 0.51                     | 0.35                     | 0.28                                 |

#### 4.4 渓流水・湧水水質と地質

表-2及び，表-3に示す(渓流水・湧水濃度/大気降水物濃度)比から，岩石風化物からの溶出の影響が最も大きいCa<sup>2+</sup>に着目すると，渓流水では「阿相島川」と「清水谷川」の，湧水では「治三郎清水」と「出壺の清水」でこの値が大きくなっている．同様な傾向はMg<sup>2+</sup>，K<sup>+</sup>，Na<sup>+</sup>及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>においても見られる．「阿相島川」と「清水谷川」の源流部もしくは河床は，礫岩・砂岩・泥岩・石灰質砂岩からなる堆積岩系の阿相島層と駒の間層が分布しており岩石風化物からの溶出が強く示唆される．一方，米山山系を源流部とする鵜川左岸の「弘川」，「荒又川」，「前川」，湧水では「おんめ清水」でこれらの成分濃度が相対的に低いという特徴がある．米山山系は安山岩系の溶岩・火砕岩から構成されておりCa<sup>2+</sup>をはじめMg<sup>2+</sup>，K<sup>+</sup>，Na<sup>+</sup>などの塩基性成分の溶出は相対的に少ないものと考えられる．このうちNa<sup>+</sup>は湧水や渓流水で大きな違いは見られないが，海岸に近い「川内清水」や「前川」におけ

る濃度は塩化物イオン濃度とともに高い値となっており、海塩成分の影響が他の湧水や渓流水よりも大きいものと考えられる。また、 $\text{Na}^+$ の値は $\text{Cl}^-$ よりも大きく前述したように $\text{Na}^+$ は岩石からの溶出が考えられる。

表-3 大気降水濃度との比（渓流水・湧水濃度/大気降水濃度）

|         | $\text{Cl}^-$ | $\text{NO}_3^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Na}^+$ | $\text{K}^+$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{NH}_4^+$ |
|---------|---------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|
| ① 払川    | 1.10          | 1.24            | 0.68               | 1.44          | 5.42         | 2.76             | 14.2             | 0.05            |
| ② 荒又川   | 1.01          | 0.84            | 1.53               | 1.35          | 6.12         | 3.51             | 16.1             | 0.06            |
| ③ 阿相島川  | 1.02          | 0.81            | 2.58               | 1.61          | 7.63         | 4.86             | 24.0             | 0.09            |
| ④ 清水谷川  | 1.04          | 1.14            | 2.16               | 1.49          | 9.14         | 5.12             | 24.6             | 0.03            |
| ⑤ 芋川源流部 | 1.19          | 0.79            | 1.74               | 1.61          | 6.67         | 3.86             | 16.9             | 0.05            |
| ⑥ 前川    | 1.57          | 1.35            | 0.89               | 1.94          | 7.45         | 3.91             | 17.0             | 0.07            |
| ⑦ おんめ清水 | 1.33          | 1.00            | 0.64               | 1.71          | 7.36         | 3.36             | 18.8             | 0.04            |
| ⑧ 治三郎清水 | 0.97          | 0.27            | 1.76               | 1.54          | 13.60        | 6.85             | 31.0             | 0.06            |
| ⑨ 出壺の清水 | 1.25          | 1.14            | 1.54               | 1.76          | 10.39        | 5.44             | 28.6             | 0.05            |
| ⑩ 川内清水  | 2.15          | 0.65            | 1.55               | 2.78          | 12.49        | 5.98             | 23.1             | 0.02            |
| 平均値     | 1.22          | 0.96            | 1.57               | 1.67          | 8.25         | 4.54             | 21.4             | 0.05            |

## 5. まとめ

鶴川水系渓流水水質の形成過程と地質との関連性を調べる目的で、大気降水試料は2009年2月21日から2010年2月22日までの間週毎で、渓流水及び湧水試料は2009年6月から12月の間概ね月1回採水し、主要な溶存成分とアルカリ度を測定した。測定値の（渓流水・湧水濃度/大気降水濃度）比から、 $\text{Ca}^{2+}$ が最も地質の影響を受けており、渓流水では石灰質砂岩等から構成される堆積岩系の阿相島層と駒の間層が分布する「阿相島川」と「清水谷川」でこの値が大きく、安山岩系の米山山系を源流部とする鶴川左岸の「払川」や湧水の「おんめ清水」では $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が相対的に低いという特徴があることが判明した。

## 文献

- [1] 一國雅巳：陸水の化学；学会出版センター，1-3，1992.
- [2] 小林巖雄，立石雅昭，黒川勝己，吉村尚久，加藤禎一：岡野町地域の地質，地質調査所編 地域地質研究報告，pp.1-58，1992.
- [3] 環境庁大気保全局：酸性雨等調査マニュアル，1994.

- [4] 環境省地球環境局環境保全対策課・酸性雨研究センター：湿性沈着モニタリング手引書第2版，2001.
- [5] 環境省地球環境局環境保全対策課・酸性雨研究センター：陸水モニタリング手引書（初版），2005.
- [6] 環境省：平成21年度酸性雨調査結果，  
[www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/h20/index.html](http://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/h20/index.html).
- [7] 新潟県：平成21年度 新潟県の環境（資料編），2000.
- [8] 小倉紀雄，一國雅巳：環境化学，裳華房，pp.132，2004.
- [9] 小倉紀雄：河川における物質代謝と物質循環，陸水の化学，日本化学会編，学会出版センター，1992，pp.34-44.
- [10] 楊 宗興：森林の窒素飽和と化学分析，酸性雨研究と環境試料分析，佐竹研一編，愛智出版，2000，pp.220-233.
- [11] 対馬孝治，上田眞吾，小倉紀雄：多摩川永田地区河川敷地下水における無機態窒素の動態，地球化学，36(1)，15-22(2002).
- [12] 柴田英昭，戸田浩人，稲垣善之，館野隆之輔，木庭啓介，福澤加里部：森林源流域における窒素の生物地球化学過程と渓流水質の形成，地球環境，15(2)，133-143，2010.
- [13] 新藤純子，木平英一，吉岡崇仁，岡本勝男，川島博之：我が国の窒素負荷量分布と全国渓流水水質の推定，環境科学会誌，18(4)，455-463，2005.
- [14] 角皆静男，品川高儀：冬季モンスーンによって輸送される化学成分；地球化学，11(1)，1-8，1977.