

## 研究資料 (Research record)

### 四万十川上流の森林流域における 2000～2015年の降水と溪流水の水質モニタリング

酒井 寿夫<sup>1)\*</sup>、山田 毅<sup>2)</sup>、鳥居 厚志<sup>3)</sup>、篠宮 佳樹<sup>4)</sup>、稲垣 善之<sup>1)</sup>、吉永 秀一郎<sup>5)</sup>、  
野口 享太郎<sup>6)</sup>、森下 智陽<sup>6)</sup>

#### 要旨

2000年以降、四国の四万十川上流域に位置する高知県高岡郡梼原町の森林において降水と溪流水の水質モニタリングを行ってきた。降水は1カ所で、溪流水は7つの森林流域で採取した。本報告では、2000年から2015年のデータを用い、降水や溪流水成分への降水量の影響について解析し、それらの経年変化の傾向について概観した。降水については、期間降水量が少ないほどECが高く、pHの変動範囲が大きかった。長期的にみると、降水のpH、ECの年平均値および各成分の年流入量には増加減少などの方向性をもった変化は見られなかった。溪流水については、採取日前14日間の積算降水量が増えたと明らかにECが低くなった。また、積算降水量は溪流水のpHに大きく影響することはなかった。長期的にも溪流水のpHの年平均値は安定的に推移していた。一方、溪流水の溶存成分濃度については、2007～2015年にかけて、7つの森林流域すべてにおいて、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度が低下する傾向にあり、 $\text{Cl}^-$ と $\text{SO}_4^{2-}$ については明らかな濃度の低下が見られた。この濃度の低下傾向が今後もしばらく続くかどうか注視する必要がある。

キーワード：降水、溪流水、溶存成分濃度、長期的変化

#### 1. はじめに

森林総合研究所では1990年に全国8カ所で酸性雨モニタリングステーションを設置し、1999年までの10年間にわたって降水(林外雨)、林内雨、樹幹流のpH、EC、溶存成分濃度のモニタリングを行ってきた(Matsuura et al. 2001, Yamada et al. 2001, 相澤ら 2003, 酒井ら 2003, 2004, 伊藤・加藤 2004, 金子ら 2004, 山田ら 2004)。しかし、これらの観測地の多くは都市近郊の研究所の構内を利用しているために、分析値は都市の影響を受けたものを含んでおり、都市からより離れた森林域で起きている実態を観測するのに必ずしも最適とはいえなかった。さらに、酸性雨等が森林生態系に及ぼす影響を評価するには、森林から流出する溪流水の水質を明らかにすることも必要であることから、2000年以降は都市からより離れた森林域において降水と溪流水の水質モニタリングを行っていく方針となった。

四国支所では、年降水量の平年値が2500 mmを超える多雨地域としての特徴をもつ四万十川上流(高知県高岡郡梼原町)の森林流域に観測地点を設け、2000年から降水と溪流水の水質モニタリングを行ってきた。現在、

2008年までの降水と溪流水(7地点のうち2地点)の水質データについては森林総合研究所のホームページ内の「森林降水溪流水データベース(FASC-DB)」に公開されている(稲垣ら 2008)。本稿では、未公開となっている地点のデータを含め、2000～2015年までの水質モニタリングデータの概要について報告する。

#### 2. 調査地と方法

##### 2.1 調査地

溪流水の採取は、高知県高岡郡梼原町の下鷹取山および鷹取山国有林(四万十森林管理署管内4048林班および4049林班)の天然林流域(N1～4)、人工林流域(A1～3)で行った(Fig. 1)。四万十川の支流である北川川(M)においても採水を行った。降水については上記の試験流域から約1.3km離れた梼原町中平地区(R)で採取を行った。各流域の面積と森林タイプについてはTable 1に示した。流域面積は5m DEM(国土地理院 2018)とSAGA-GIS ver. 4.1.0(Conrad et al. 2015)を利用して算出した。天然林流域(N1～4)は1990年に植物群落保護林に指定されている林分で(高知営林局 1996)、林冠はモミ(*Abies firma*)が

原稿受付：平成30年10月4日 原稿受理：平成30年11月30日

1) 森林総合研究所 四国支所

2) 森林総合研究所 企画部

3) 森林総合研究所 関西支所

4) 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点

5) 森林総合研究所 多摩森林科学園

6) 森林総合研究所 東北支所

\* 森林総合研究所 四国支所 〒780-8077 高知県高知市朝倉西町2-915

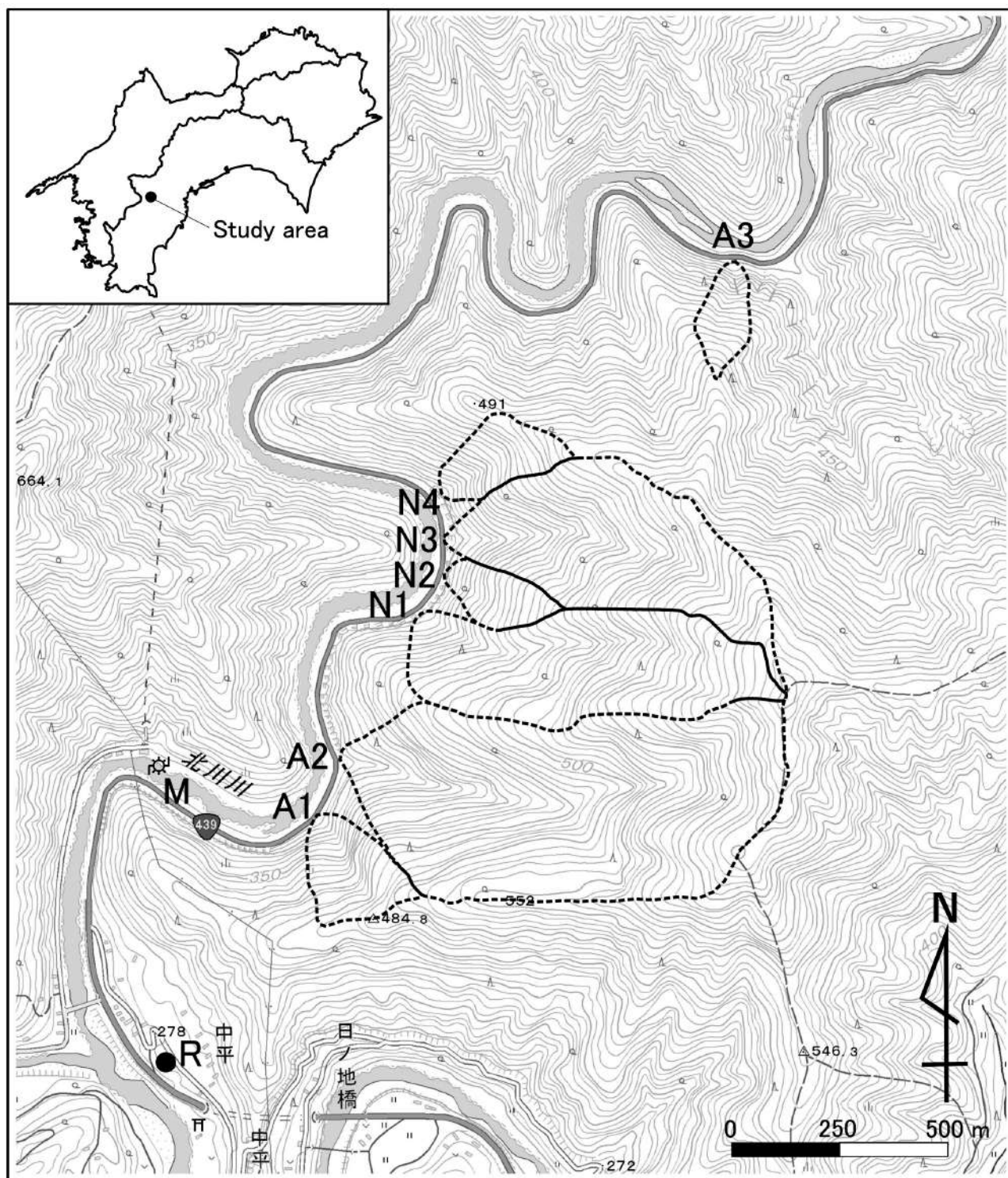


Fig. 1. 降水と渓流水の採水地点

地形図は国土地理院の基本測量成果を利用した。

#### Rainwater and streamwater sampling locations

Geospatial Information Authority of Japan standard map was used

優占し、それに常緑樹主体の広葉樹が混生する森林である。人工林流域のうち A1、A3 は、全域がスギ (*Cryptomeria japonica*) もしくはヒノキ (*Chamaecyparis obtuse*) の常緑針葉樹林だが、A2 は下流域が常緑針葉樹林、上流域がクヌギ (*Quercus acutissima*) の落葉広葉樹人工林である。試験流域の土壌は褐色森林土で (土じょう部 1976)、地質

は四万十帯に属し、白亜紀の約 1 億 4600 万～8000 万年前に海溝で複雑に変形した地層 (付加体) に由来している (産業技術総合研究所地質調査総合センター 2015)。最寄りの栲原観測所 (栲原町西路、北緯 33°23.4′ 東経 132°55.3′、海拔高 415 m) の年平均気温と年降水量の平年値はそれぞれ 13.3℃、2550 mm であった (気象庁 2018)。

Table 1. 鷹取山国有林における調査対象流域の集水面積と森林タイプ

Catchment area and forest types within the research watersheds in the Takatoriyama National forest

| サンプリング地点<br>Sampling location | 集水面積*<br>Catchment area<br>(ha) | 森林タイプ (樹種)<br>Forest type (Tree species)                                                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1                            | 4.5                             | Planted forest ( <i>Cryptomeria japonica</i> , <i>Chamaecyparis obtusa</i> )                             |
| A2                            | 39.3                            | Planted forest ( <i>Cryptomeria japonica</i> , <i>Chamaecyparis obtusa</i> , <i>Quercus acutissima</i> ) |
| A3                            | 2.3                             | Planted forest ( <i>Cryptomeria japonica</i> , <i>Chamaecyparis obtusa</i> )                             |
| N1                            | 18.5                            | Natural temperate forest mixed with <i>Abies firma</i> and evergreen broad-leaved trees                  |
| N2                            | 2.7                             | Natural temperate forest mixed with <i>Abies firma</i> and evergreen broad-leaved trees                  |
| N3                            | 18.7                            | Natural temperate forest mixed with <i>Abies firma</i> and evergreen broad-leaved trees                  |
| N4                            | 3.6                             | Natural temperate forest mixed with <i>Abies firma</i> and evergreen broad-leaved trees                  |

\*集水面積は 5m の数値標高モデル (国土地理院 2018) と SAGA ver. 4.1.0 (Conrad et al. 2015) を用いて評価した。Catchment area was estimated using 5m DEM (Geographical Survey Institute of Japan 2018) and SAGA ver. 4.1.0 (Conrad et al. 2015) .

## 2.2 降水と渓流水の採取方法

降水および渓流水の採取は、2000 年 3 月～2009 年 12 月の期間は 2 週間に一度、2010 年 1 月以降は約 3 週間に一度の頻度で行った。渓流水の採取については、各採水地点においてポリエチレン製の 250 mL ボトル (ニッコー J ボトル) を用いて採取した。降水の採水方法は直径 21 cm (2005 年 10 月までは直径 24cm) のポリエチレン製の漏斗 (ニッコー ポリロート ジョイント式) を使い、シリコン栓 (アズワン シリコン栓)、ガラス管 (IWAKI ガラス管)、シリコンチューブ (アズワン ラボランシリコンチューブ) を用いて容量 10 L のポリタンク (ニッコー 平角缶) に連結して貯留した。これらの器具は降雨の採取毎にすべて交換した。なお、2011 年 6 月以降の降水採取については、サンプルに虫の混入を防ぐためナイロン製の網 (NBC メッシュテック 目開き 200  $\mu$ m) をロートと柄の結合部に装着して行った。さらに、日光によるタンク内での極端な水温上昇と藻類の発生を抑えるため、キャンプ用の銀マット (厚さ 6 mm) をタンクに巻き付け、ポリタンクの上部にはアルミシールを貼って遮光した。

## 2.3 分析方法および $\text{HCO}_3^-$ 濃度の推定方法について

研究室に持ち帰った降水および渓流水は、pH と電気伝導率 (EC) を測定し、残りの試料は 0.45  $\mu$ m のメンブレンフィルター (ADVANTEC C045A047A) でろ過した後、成分分析に供した。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  の濃度についてはイオンクロマトグラフ法、DIC (溶存無機炭素)、DOC (溶存有機炭素) 濃度については燃焼法または光触媒  $\text{TiO}_2$  酸化法で分析した。pH の測定には東亜ディーケーケー社製の HM-26S (2000～2009 年)、HM-30G (2010～2013 年)、HM-30R (2014 年～) を使い、EC の測定には同社製の CM-40V (2000～2009 年)、CM-25R (2010 年～) を用いた。イオンクロマトグラフ法による溶存イオン濃度の測定には、横河アナリティカルシステムズ IC-7000D (2000～2001

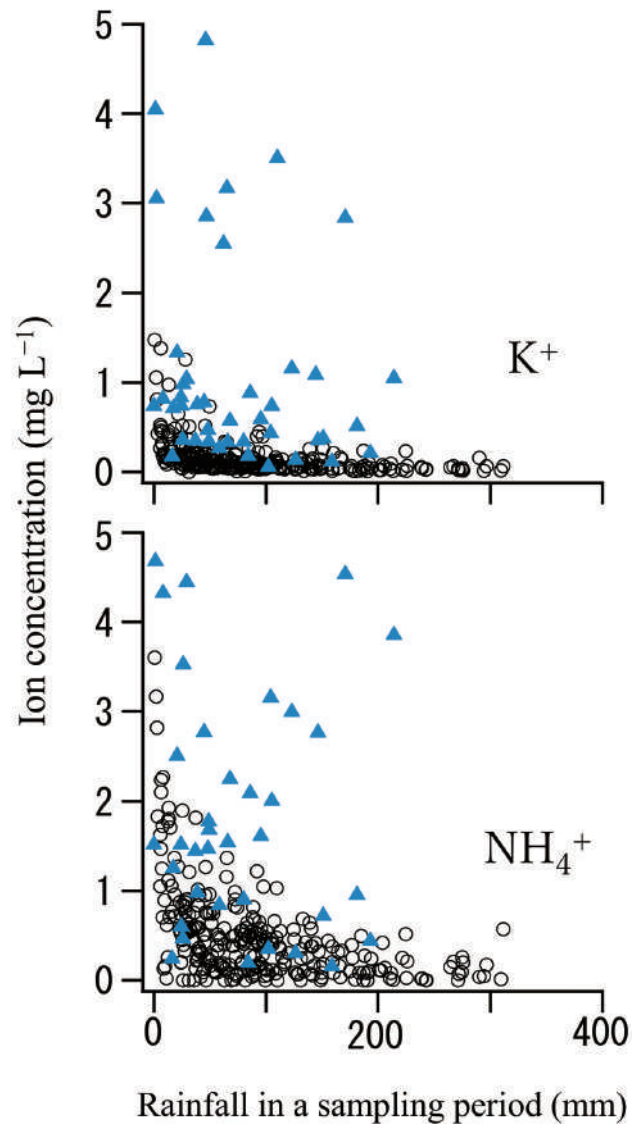


Fig. 2. 降水中の  $\text{K}^+$  と  $\text{NH}_4^+$  の濃度について降水中に  $\text{PO}_4^{3-}$  が検出される場合 (▲) と検出されない場合 (○)  
 $\text{K}^+$  and  $\text{NH}_4^+$  concentrations in rainwater  
 Data are labeled to show the presence (▲) or absence (○) of rainwater  $\text{PO}_4^{3-}$

Table 2. R1 と R2 の計算に用いた各イオンのモル質量、換算係数および当量伝導率

Molar mass, conversion factor and equivalent conductivity for ions used in the calculation of R1 and R2

| Ion                           | Molar mass <sup>*1</sup><br>(g mol <sup>-1</sup> ) | Conversion factor <sup>*1</sup><br>from mg L <sup>-1</sup> to meq L <sup>-1</sup> | equivalent conductivity <sup>*2</sup><br>(S cm <sup>2</sup> eq <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| H <sup>+</sup>                | 1.008                                              | 0.9921                                                                            | 349.81                                                                         |
| Na <sup>+</sup>               | 22.990                                             | 0.04350                                                                           | 50.10                                                                          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 18.039                                             | 0.05544                                                                           | 73.55                                                                          |
| K <sup>+</sup>                | 39.098                                             | 0.02558                                                                           | 73.50                                                                          |
| Ca <sup>2+</sup>              | 40.078                                             | 0.04990                                                                           | 59.50                                                                          |
| Mg <sup>2+</sup>              | 24.305                                             | 0.08229                                                                           | 53.05                                                                          |
| Cl <sup>-</sup>               | 35.453                                             | 0.02821                                                                           | 76.35                                                                          |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 62.005                                             | 0.01613                                                                           | 71.46                                                                          |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 96.064                                             | 0.02082                                                                           | 80.02                                                                          |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 94.971                                             | 0.03159                                                                           | 92.80                                                                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 61.017                                             | 0.01639                                                                           | 44.50                                                                          |

\*<sup>1</sup> 出典は日本水道協会 (1993)。換算係数は、1991 年の原子量表に基づくモル質量とイオン価数 (イオン価数/モル質量) から算出されている。この表のモル質量については小数点以下第 4 位を四捨五入して示した。Japan Water Works Association (1993) . The conversion factors (CF) are calculated from the molar mass based on the Standard Atomic Weights 1991 and ionic valency (CF = ionic valency / molar mass) . The molar masses in Table 2 are rounded off to the third decimal places.

\*<sup>2</sup> PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> の当量伝導率については EANET (2010a, b) から、それ以外は日本化学会編 (1966) から引用した。The equivalent conductivity of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> was cited from EANET (2010a, b) , and the others were quoted from the Chemical Society of Japan (1966) .

年)、ダイオネクス DX-320 (2002～2012 年)、サーモフィッシュャーサイエンティフィック ICS-1600-cation/2100-anion (2013 年～) を使用した。全有機炭素と無機炭素の測定には島津 SUMIGRAPH GCT-12N (2000～2004 年、燃焼法)、平沼産業 TOC-2000 (2005 年～、TiO<sub>2</sub> 酸化法) を使用した。

2009 年 1 月以降の渓流水および pH5.0 を超える降水についてはアルカリ度 (pH4.8) を測定し、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度を求めた (EANET 2010a, b)。また、2000～2008 年の降水および渓流水の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度 (mg L<sup>-1</sup>) については、上記 DIC (mg L<sup>-1</sup>) の分析値と猿橋 (1955) が示した水中の炭酸物質の平衡濃度比と pH の関係を用いて HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度 (mg L<sup>-1</sup>) を推定した (半谷・小倉 1995)。

## 2.4 分析データの QA/QC について

水質モニタリングにおける QA/QC (精度保証/精度管理) のプログラムは、おもに試料採取から分析に至る過程で生じる問題点を改善し、質の高いデータを維持するために行うもので、これにより、過去から現在に至る長期データの比較や他地域とのデータ比較が適切に行えるようになる (EANET 2016)。本報告では、降水 (R)、渓流水 (N1～4, A1～3)、および北川川本流 (M) の各分析値については電気的中性の原理に基づく陽イオン当量濃度の合計 (C) と陰イオン当量濃度の合計 (A) の比較 (R1) と EC の測定値 (ECobs) と当量伝導率による EC の計算値 (ECcal) の比較 (R2) を、次に示す式 (2.4.1) と (2.4.2) により行った (EANET 2010a, b)。Table 2 には R1 と R2 を算出する際に用いたイオンのモル質量 (g mol<sup>-1</sup>)、

Table 3. 各濃度範囲における R1 と R2 の許容範囲

Allowable R1 and R2 ranges within each concentration range

| Cation + Anion<br>(meq L <sup>-1</sup> ) | R1<br>(%) | ECobs<br>(mS m <sup>-1</sup> ) | R2<br>(%) |
|------------------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| <0.05                                    | ± 30      | <0.5                           | ± 20      |
| 0.05-0.1                                 | ± 15      | 0.5-3                          | ± 13      |
| > 0.1                                    | ± 8       | >3                             | ± 9       |

換算係数および当量伝導率 (S cm<sup>2</sup> eq<sup>-1</sup>) を示した。

$$R1 = (C - A) / (C + A) \times 100 \quad (2.4.1)$$

$$R2 = (ECcal - ECobs) / (ECcal + ECobs) \times 100 \quad (2.4.2)$$

これら R1 と R2 の値がサンプルの濃度により定められた許容範囲 (Table 3) から外れた場合は再分析を行い、改善されない場合は Appendix の QC の欄にそれぞれ R1、R2 と記入した。

また、採取された降水からは PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出されることがあった。とくにロートに鳥の糞が付着していた場合に高い濃度の PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出され、Fig. 2 に示したように、降水から PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出されなかった場合の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup> の濃度は、期間降水量が増えるほど低くなる双曲線的な分布となったが、採取した降水から PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出された場合は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup> の濃度が明らかに高くなっている場合が多かった。このように、降水に PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出される場合は、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> も含めて降水に由来しない成分 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>) の付加が疑われ、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> が検出された降水のデータ (≥ 0.01mg L<sup>-1</sup>) については、Appendix の QC の欄に P と記入した。

## 2.5 採水タンク容量を超えた場合の分析値と期間降水量の取扱いについて

台風など大雨の時にはポリタンクの容量を超えてしまうこと (overflow) があった。このようなケースでは採取できた分について分析を行った。また、そのときの期間降水量については実際に降ったと推定される量に補正し、これを年平均値 (加重平均) や年間流入量の算出に用いた。2000～2009年の期間降水量の補正值については、降水採取タンクの近くに設置した転倒ます型の降雨記録計のデータを用いた。また、2010年以降については、気象庁の梶原観測所 (梶原町西路, 北緯33°23.4′ 東経132°55.3′) と観測地点Rにおける期間降水量がほぼ同程度となることから、梶原観測所のデータをそのまま用いて補間した (気象庁2018)。

## 2.6 降水中の非海塩由来の成分濃度の計算方法について

降水中の  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  については各採水期間ごとに  $\text{Na}^+$  との重量比から非海塩由来 (non-sea-salt) の成分濃度を求め、それぞれ  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$  と表記した。重量比はそれぞれ  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ : 0.038、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ : 0.251 を用いた (酸性雨調査法研究会1993)。

## 2.7 降水と渓流水の pH、EC、溶存成分濃度の年平均値の計算方法について

降水については、2.4節に記した QA/QC の観点から、(a) EANET が推奨する R1、R2 の許容範囲から外れたデータ、および、(b)  $\text{PO}_4^{3-}$  が検出されたデータについては、年平均値の計算から除外することがある (釣田ら2017)。しかし、この方法を本報告に適用した場合、2010年以前のデータに除外しなければならないものが多くなり (Table 4)、年平均値として妥当な観測数が得られなくなるため、本報告では、降水について pH、EC および溶存成分の年平均値を算出する場合に限り上記 (a) の許容範囲を緩め、 $\text{PO}_4^{3-}$  が検出されなければ、どんな溶存成分濃度 ( $\text{meq L}^{-1}$ ) であっても、 $\text{R1} \leq \pm 30\%$ 、かつ  $\text{R2} \leq \pm 20\%$  を満たしていれば、年平均値の算出に用いた (Table 4)。なお、降水 pH の年平均値を算出する際は、一旦、pH を  $\text{H}^+$  濃度に換算してから加重平均値を算出し、それを再び pH に換算する方法で行った (玉置・平木1986a, b)。

渓流水については、2.4節で述べた R1 と R2 の許容範囲、すなわち EANET (2010a) が示す許容範囲内にあるデータを用いて算術平均値を算出した (Table 5)。

## 2.8 降水による主要な各成分の年間流入量の計算方法

2.6節で算出した降水の各溶存成分濃度の加重平均値と年間の総雨量 (2.5節で示した overflow 時の補正を含めて

**Table 4. 降水の pH、EC および溶存成分濃度の年加重平均値**  
Annual weighted pH and EC averages plus dissolved rainwater ion concentrations

| year                 | Rainfall<br>mm | pH   | EC <sub>obs</sub><br>mS m <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup>    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | nss-Ca <sup>2+</sup> | nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | N <sub>S</sub> <sup>*1</sup> | N <sub>EP</sub> <sup>*2</sup> | N <sub>T</sub> <sup>*3</sup> |
|----------------------|----------------|------|-----------------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                      |                |      |                                         | mg L <sup>-1</sup> |                              |                |                  |                  |                 |                              |                               |                               |      |                      |                                   |                              |                               |                              |
| 2000                 | 2846           | 4.70 | 1.43                                    | 0.56               | 0.05                         | 0.11           | 0.11             | 0.04             | 1.19            | 0.49                         | 1.42                          | 0.00                          | 0.76 | 0.09                 | 1.28                              | 5                            | 4                             | 25                           |
| 2001                 | 2196           | 4.93 | 1.09                                    | 0.31               | 0.11                         | 0.14           | 0.39             | 0.05             | 0.77            | 0.67                         | 1.37                          | 0.05                          | 1.48 | 0.38                 | 1.29                              | 16                           | 15                            | 24                           |
| 2002                 | 2277           | 4.82 | 1.67                                    | 0.78               | 0.37                         | 0.08           | 0.34             | 0.09             | 1.38            | 0.75                         | 1.44                          | 0.00                          | 1.42 | 0.31                 | 1.25                              | 18                           | 11                            | 24                           |
| 2003                 | 2756           | 4.82 | 1.25                                    | 0.50               | 0.18                         | 0.08           | 0.10             | 0.03             | 0.82            | 0.42                         | 0.92                          | 0.00                          | 1.25 | 0.08                 | 0.80                              | 22                           | 19                            | 24                           |
| 2004                 | 2854           | 5.02 | 1.01                                    | 0.60               | 0.13                         | 0.10           | 0.22             | 0.04             | 1.00            | 0.32                         | 0.66                          | 0.13                          | 0.98 | 0.20                 | 0.51                              | 21                           | 12                            | 24                           |
| 2005                 | 1665           | 4.79 | 1.61                                    | 0.74               | 0.42                         | 0.16           | 0.36             | 0.07             | 1.24            | 0.65                         | 1.22                          | 0.32                          | 1.70 | 0.34                 | 1.04                              | 17                           | 6                             | 24                           |
| 2006                 | 3359           | 4.96 | 1.23                                    | 0.51               | 0.32                         | 0.16           | 0.36             | 0.05             | 0.84            | 0.48                         | 1.05                          | 0.29                          | 1.38 | 0.34                 | 0.92                              | 21                           | 14                            | 24                           |
| 2007                 | 2394           | 4.99 | 1.17                                    | 0.58               | 0.41                         | 0.08           | 0.27             | 0.06             | 0.96            | 0.42                         | 0.94                          | 0.43                          | 1.55 | 0.24                 | 0.79                              | 22                           | 8                             | 23                           |
| 2008                 | 2106           | 4.85 | 1.20                                    | 0.38               | 0.39                         | 0.09           | 0.28             | 0.04             | 0.62            | 0.53                         | 0.96                          | 0.15                          | 1.44 | 0.26                 | 0.87                              | 23                           | 6                             | 25                           |
| 2009                 | 2167           | 4.87 | 1.20                                    | 0.44               | 0.40                         | 0.06           | 0.16             | 0.05             | 0.72            | 0.46                         | 0.84                          | 0.71                          | 1.23 | 0.15                 | 0.73                              | 18                           | 7                             | 25                           |
| 2010                 | 2497           | 5.10 | 1.09                                    | 0.31               | 0.63                         | 0.17           | 0.20             | 0.04             | 0.50            | 0.43                         | 0.91                          | 1.06                          | 1.19 | 0.19                 | 0.83                              | 13                           | 8                             | 18                           |
| 2011                 | 3492           | 5.15 | 0.96                                    | 0.39               | 0.20                         | 0.04           | 0.16             | 0.05             | 0.62            | 0.31                         | 0.60                          | 0.68                          | 0.47 | 0.14                 | 0.50                              | 18                           | 16                            | 20                           |
| 2012                 | 2927           | 4.97 | 1.33                                    | 0.56               | 0.27                         | 0.07           | 0.20             | 0.07             | 0.91            | 0.49                         | 0.93                          | 0.66                          | 0.65 | 0.18                 | 0.79                              | 18                           | 18                            | 18                           |
| 2013                 | 2185           | 4.95 | 1.13                                    | 0.40               | 0.19                         | 0.08           | 0.18             | 0.06             | 0.59            | 0.48                         | 0.85                          | 0.51                          | 0.75 | 0.16                 | 0.75                              | 19                           | 16                            | 19                           |
| 2014                 | 3656           | 4.93 | 1.11                                    | 0.45               | 0.12                         | 0.05           | 0.12             | 0.06             | 0.74            | 0.38                         | 0.77                          | 0.52                          | 0.65 | 0.10                 | 0.66                              | 18                           | 18                            | 19                           |
| 2015                 | 2911           | 4.93 | 1.09                                    | 0.39               | 0.18                         | 0.11           | 0.13             | 0.06             | 0.62            | 0.37                         | 0.79                          | 0.45                          | 0.72 | 0.11                 | 0.70                              | 18                           | 16                            | 18                           |
| Average              | 2643           | 4.93 | 1.19                                    | 0.48               | 0.26                         | 0.09           | 0.21             | 0.05             | 0.80            | 0.45                         | 0.91                          | 0.41                          | 1.03 | 0.19                 | 0.79                              |                              |                               |                              |
| CV <sup>*4</sup> (%) |                | 2.2  | 15.7                                    | 27.0               | 54.8                         | 38.8           | 42.6             | 26.2             | 29.2            | 24.9                         | 25.5                          | 80.7                          | 34.2 | 45.8                 | 27.9                              |                              |                               |                              |

\*<sup>1</sup> N<sub>S</sub>: 本報告用に緩和した R1 と R2 の許容範囲内にある降水のサンプル数 (すべての濃度範囲において  $\text{R1} \leq \pm 30\%$  と  $\text{R2} \leq \pm 20\%$  の条件を満たすサンプルの数)。N<sub>S</sub>: Number of rainwater samples within the mitigated allowable ranges in this report ( $\text{R1} \leq \pm 30\%$  and  $\text{R2} \leq \pm 20\%$  in all concentration ranges) .

\*<sup>2</sup> N<sub>EP</sub>: EANET (2010b) が推奨する R1 と R2 の許容範囲を満たし、かつ、 $\text{PO}_4^{3-} < 0.01 \text{ mg L}^{-1}$  を満たすサンプルの数。N<sub>EP</sub>: Number of samples within the allowable ranges for all of R1, R2 (EANET 2010b) and P ( $\text{PO}_4^{3-} < 0.01 \text{ mg L}^{-1}$ ) .

\*<sup>3</sup> N<sub>T</sub>: 年間の全サンプル数。N<sub>T</sub>: Total number of samples per year.

\*<sup>4</sup> CV: 変動係数。CV: coefficient of variation.

算出)の積から降水による主要な各成分の年間流入量を算出した (Table 6)。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 降水の成分特性と年流入量の経年変化

観測地点 R における 2000～2015 年の降水の pH 測定値の範囲は 3.86～6.51、EC の範囲は 0.2～19.1 mS m<sup>-1</sup>であった (EANET が推奨する許容範囲内のデータのみを使用)。とくに期間降水量が 100mm 未満の場合、pH の値は広い範囲となり、期間降水量が多くなるほどその範囲は小さくなった (Fig. 3a)。そして、期間降水量が少ない場合は EC が高くなり (Fig. 3b)、EC が高いほど pH が低

くなるという関係が見られた (Fig. 3c)。このように、降水の pH と EC は採取期間ごとにさまざまな値を示した。一方、年単位で加重平均した降水の pH および EC については、変動係数がそれぞれ 2.2%、15.7%で、それほど大きく変動することなく推移しており、この 16 年の間に上昇または低下といった方向性を持った変化は見られなかった (Table 4)。降水成分の年流入量については、とくに NH<sub>4</sub><sup>+</sup> の変動が大きいことが特徴であったが、いずれの成分についてもこの 16 年の間に増加減少といった明らかな方向性は見られなかった (Fig. 4)。降水中に含まれる非海塩由来の硫酸イオン (nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) や無機態窒素 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) の量は大気汚染物質の指標として用いられ

Table 5. 降水による溶存成分の年流入量

Annual input of dissolved rainwater ions

| Year                                | Rainfall<br>mm | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | nss-Ca <sup>2+</sup> | nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|----------------------|-----------------------------------|
| kg ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> |                |                 |                                 |                |                  |                  |                 |                                 |                               |                               |      |                      |                                   |
| 2000                                | 2846           | 16.1            | 1.0                             | 3.1            | 3.3              | 1.1              | 33.8            | 3.2                             | 40.4                          | 0.0                           | 21.5 | 2.6                  | 36.4                              |
| 2001                                | 2196           | 6.9             | 1.9                             | 3.1            | 8.6              | 1.2              | 16.8            | 3.3                             | 30.1                          | 1.1                           | 32.5 | 8.3                  | 28.4                              |
| 2002                                | 2277           | 17.7            | 6.6                             | 1.8            | 7.7              | 2.1              | 31.4            | 3.9                             | 32.8                          | 0.0                           | 32.4 | 7.1                  | 28.4                              |
| 2003                                | 2756           | 13.7            | 3.9                             | 2.3            | 2.7              | 0.9              | 22.7            | 2.6                             | 25.4                          | 0.0                           | 34.4 | 2.2                  | 21.9                              |
| 2004                                | 2854           | 17.2            | 2.9                             | 3.0            | 6.3              | 1.2              | 28.4            | 2.1                             | 18.7                          | 3.7                           | 28.1 | 5.7                  | 14.4                              |
| 2005                                | 1665           | 12.3            | 5.4                             | 2.6            | 6.1              | 1.2              | 20.7            | 2.4                             | 20.3                          | 5.3                           | 28.3 | 5.6                  | 17.2                              |
| 2006                                | 3359           | 17.0            | 8.3                             | 5.3            | 12.2             | 1.5              | 28.1            | 3.7                             | 35.2                          | 9.6                           | 46.4 | 11.5                 | 30.9                              |
| 2007                                | 2394           | 14.0            | 7.7                             | 1.8            | 6.4              | 1.4              | 23.0            | 2.3                             | 22.5                          | 10.3                          | 37.2 | 5.9                  | 19.0                              |
| 2008                                | 2106           | 8.1             | 6.4                             | 1.8            | 5.8              | 0.9              | 13.0            | 2.5                             | 20.3                          | 3.2                           | 30.4 | 5.5                  | 18.3                              |
| 2009                                | 2167           | 9.5             | 6.8                             | 1.3            | 3.6              | 1.1              | 15.5            | 2.3                             | 18.1                          | 15.3                          | 26.6 | 3.2                  | 15.7                              |
| 2010                                | 2497           | 7.6             | 12.2                            | 4.2            | 5.0              | 1.1              | 12.5            | 2.4                             | 22.6                          | 26.4                          | 29.7 | 4.7                  | 20.7                              |
| 2011                                | 3492           | 13.5            | 5.4                             | 1.5            | 5.4              | 1.7              | 21.6            | 2.5                             | 20.9                          | 23.7                          | 16.2 | 4.9                  | 17.5                              |
| 2012                                | 2927           | 16.5            | 6.2                             | 2.1            | 5.8              | 2.0              | 26.6            | 3.2                             | 27.4                          | 19.3                          | 19.0 | 5.1                  | 23.2                              |
| 2013                                | 2185           | 8.8             | 3.2                             | 1.7            | 3.9              | 1.4              | 12.8            | 2.3                             | 18.5                          | 11.1                          | 16.5 | 3.6                  | 16.3                              |
| 2014                                | 3656           | 16.5            | 3.5                             | 1.7            | 4.4              | 2.1              | 27.1            | 3.1                             | 28.2                          | 19.0                          | 23.8 | 3.8                  | 24.1                              |
| 2015                                | 2911           | 11.3            | 4.1                             | 3.3            | 3.7              | 1.6              | 18.1            | 2.4                             | 23.1                          | 13.1                          | 20.9 | 3.2                  | 20.3                              |
| Average                             | 2643           | 12.7            | 5.4                             | 2.5            | 5.6              | 1.4              | 21.2            | 2.7                             | 24.2                          | 10.8                          | 27.1 | 5.1                  | 21.0                              |
| CV (%)                              |                | 28.3            | 50.2                            | 41.0           | 40.5             | 26.8             | 29.9            | 19.3                            | 25.1                          | 84.1                          | 28.2 | 43.9                 | 27.1                              |

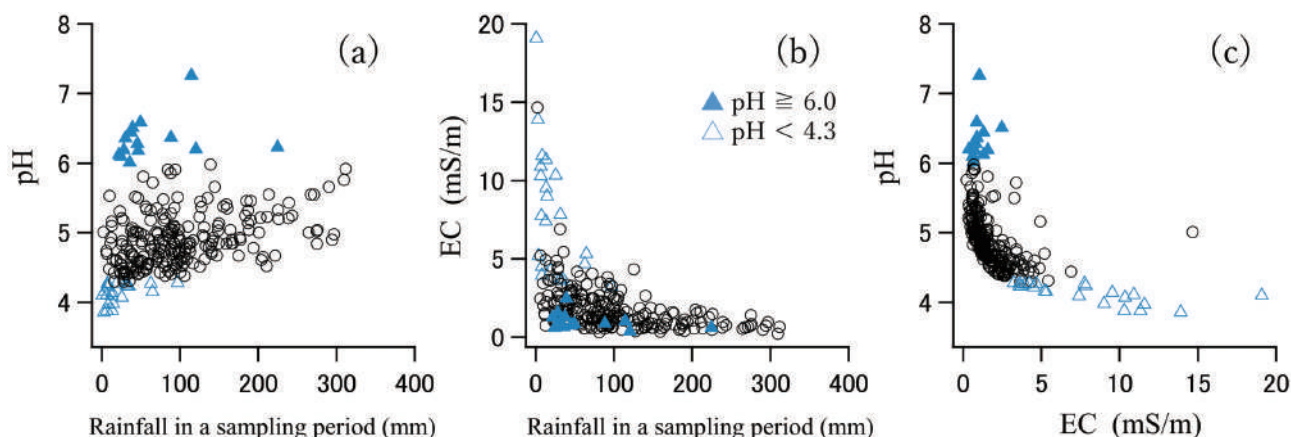


Fig. 3. 降水量が降水の pH、EC に及ぼす影響 (a, b) と降水の pH と EC の関係 (c)

オーバーフローのデータは除外して図示した。

Effects of rainfall quantity on rainwater pH and EC (a, b) , and the relationship between rainwater pH and EC (c)

Overflow data were excluded.

るが、環境省(2014)が公表している全国31カ所における2008～2012年の地点別の5年平均値によると、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ の年流入量は最大値、最小値、中央値の順にそれぞれ43.1、5.5、20.0  $\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -Nはそれぞれ7.3、0.7、3.6  $\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+$ -Nはそれぞれ6.4、1.0、3.2  $\text{kg ha}^{-1}$ であった。観測地点Rにおける2008～2012年の $\text{nss-SO}_4^{2-}$ の年流入量は15.7～23.2  $\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -Nの年流入量は2.3～3.2  $\text{kg ha}^{-1}$ であり、全国31地点の中央値付近のレベルであったが、 $\text{NH}_4^+$ -Nの年流入量は5.4～12.2  $\text{kg ha}^{-1}$ であり、全国31地点の5年平均値の最大値を超える年があった(Table 5)。なお、環境省の全国31地点の一つには梶原(北緯33°22′46″東経132°56′06″、海拔高790 m)

があり、観測地点Rから直線距離にして約6 km離れた場所(山地頂上付近の森林を切開した造成地)で降水成分の観測が行われている。ここでの2008～2012年の年流入量の5年平均値(最小値～最大値)は、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ : 21.4 (17.6～25.6)  $\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N: 2.6 (2.2～3.3)  $\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+$ -N: 2.3 (1.9～3.0)  $\text{kg ha}^{-1}$ であり(環境省2014)、観測地点Rと比べて $\text{nss-SO}_4^{2-}$ と $\text{NO}_3^-$ -Nは同程度だったが、 $\text{NH}_4^+$ -Nについては観測地点Rで明らかに高かった。窒素は森林の物質収支を評価する上で重要な成分であり、 $\text{NH}_4^+$ -Nの年流入量については近隣の発生源(例えば農業活動など)の影響も考慮し(野口・山口2010)、適切に評価していく必要があるだろう。

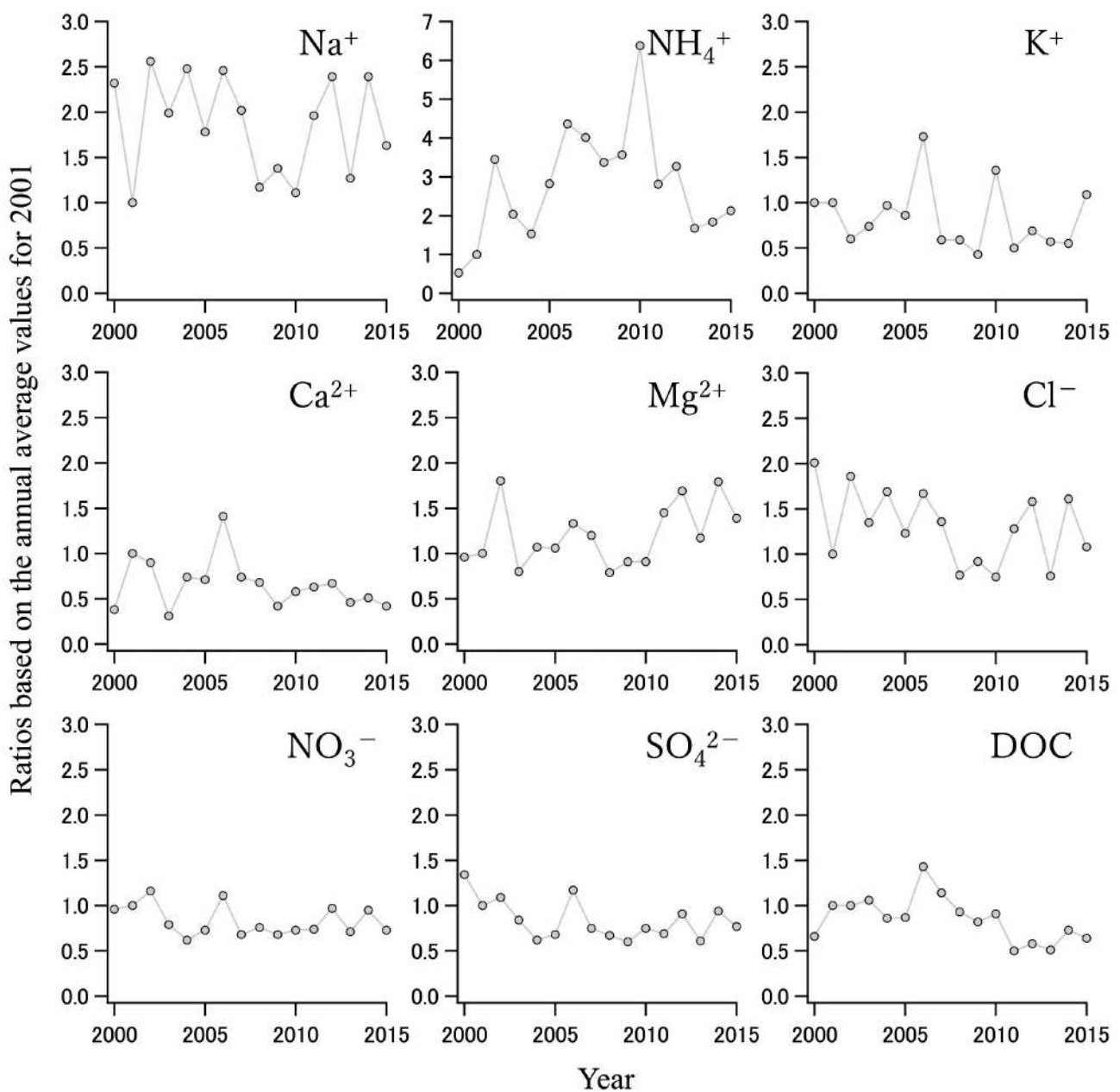


Fig. 4. 2000～2015年における降水成分の年流入量の相対的な変化  
Relative changes in annual input of dissolved ions in rainwater from 2000 to 2015.

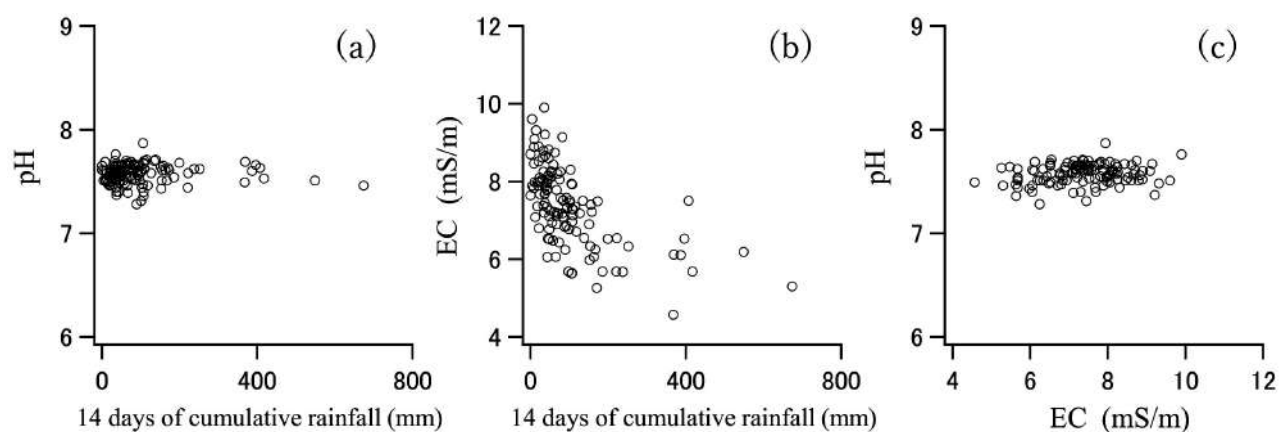


Fig. 5. 降水量が溪流水の pH、EC に及ぼす影響 (a, b) と溪流水の pH と EC の関係 (c)  
 Effect of 14 days of cumulative rainfall before the sampling day on streamwater pH and EC (a, b) , and the relationship between streamwater pH and EC (c) .

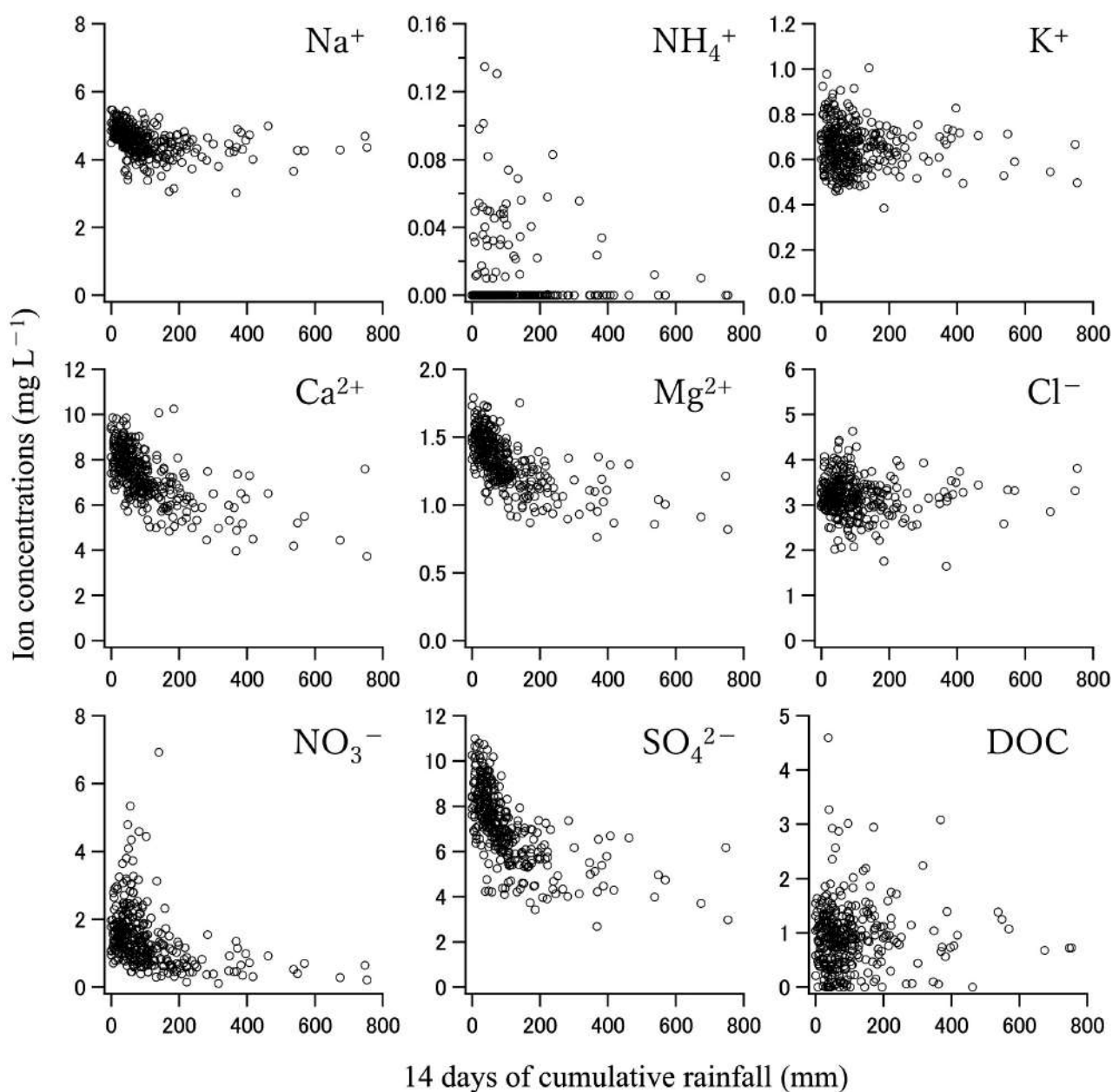


Fig. 6. サンプル日前 14 日間の積算降水量が溪流水の成分濃度に及ぼす影響  
 Effects of 14 days of cumulative rainfall before the sampling day on ion concentration

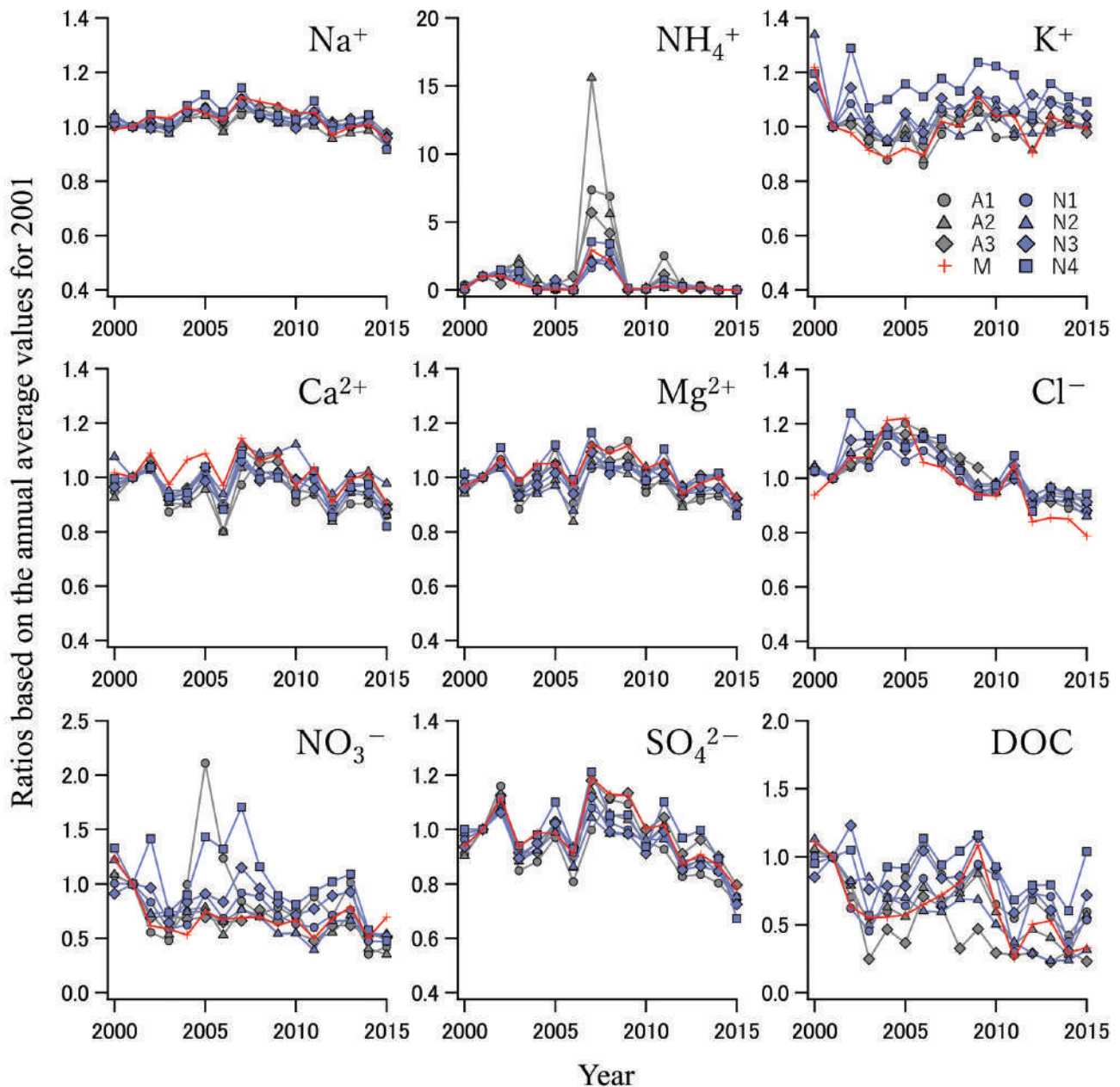


Fig. 7. 2000 ~ 2015 年の7つの森林流域における渓流水質と北川川の水質の経年変化

Relative changes in annual average of ions in streamwater in seven forest watersheds and the Kitagawa River from 2000 to 2015

### 3.2 渓流水の溶存成分濃度の年平均値の変化

N3における渓流水の個々のサンプルについて、Fig. 5にpH、EC、降水量の相互関係について、Fig. 6に同サンプルの各成分濃度と降水量の関係について示した。7つの森林流域における各分析値と降水量の関係については傾向が似ていたため、この報告ではN3のデータを用いた図のみ示した。なお、図中の「14日積算降水量」は採取日を起算日として14日間の積算降水量を梶原観測所の日降水量データを用いて算出した（気象庁 2018）。積算日数については3、7、10、14日間で検討し、10日以上になると積算降水量とECの関係が明瞭に分離することから、この報告においては14日間を用いること

にした。

渓流水（N3）については積算降水量の増加がpHに及ぼす影響はあまり明瞭ではなかった（Fig. 5a）。また、降水の場合とは異なり降水量の増加によりECの値が変化しても渓流水のpHの値はあまり変化しなかった（Fig. 5c）。渓流水のECの値は降水量が増加するほど明らかに小さくなった（Fig. 5b）。これは降水量の増加により渓流水の成分濃度が薄まることを示している。しかし、その薄まり方は成分の種類によって異なり、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ のように積算降水量が0～300mmの範囲において濃度の減少が明瞭な成分と $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ のように濃度の減少があまり明瞭ではない成分があることがわかった（Fig. 6）。

また、 $\text{NO}_3^-$ は、基本的には積算降水量の増加とともに濃度の減少が見られるタイプのイオンと考えられるが、積算降水量が100mm前後となる時に $4 \text{ mg L}^{-1}$ 以上の高濃度で検出される場合があり、篠宮ら(2007)が同地点の経時観測において示したように、まとまった雨があるときに $\text{NO}_3^-$ が生態系から大きく流出する現象をとらえていると考えられた。DOCと積算降水量の間に明瞭な関係は見られなかったものの、濃度の変動幅は大きかった。

Fig. 7には鷹取山における7つの森林流域(A1~3、N1~4)と北川川(M)で採取した渓流水の2000~2015年における成分濃度の経年変化を2001年を1としたときの比率で示した。特徴的だったのは、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ の年平均値の相対的な変化の傾向が7つの森林流域すべてにおいて似ており、しかも、それが本流である北川川(M)とも連動していることであった。 $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ については一部の森林流域(とくにN4)で連動していなかったものの、それ以外の森林流域ではおおむね相対的な変化の傾向は似ていた。DOCの変化パターンは森林流域によって異なっていた。 $\text{NH}_4^+$ は2007~2008年に人工林の流域で相対的に高い濃度の流出が見られたが、原因については不明である。一方、この16年間の長期的な濃度変化については、2007年以降、7つの森林流域すべてにおいて $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の濃度に低下傾向がみられ、とくに $\text{Cl}^-$ と $\text{SO}_4^{2-}$ については濃度の低下が顕著であった(Fig. 7)。こうした傾向が今後どのように推移していくのか、現在継続中のモニタリングにより確認できるであろう。また長期的な観測を続けることにより、降水や渓流水の水質の変動要因がより明らかになることに期待したい。

## 謝 辞

鷹取山国有林におけるモニタリングの継続に際し、四国森林管理局、四万十森林管理署、梶原森林事務所、高知県須崎土木事務所ならびに森林総合研究所立地環境研究領域、四国支所の皆様にご協力いただいた。試料の分析では、森林総合研究所四国支所非常勤職員として勤務していた桑野雅子氏、金城倫子氏にご協力いただいた。これらの方々に深謝する。本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「酸性雨等の森林・溪流への影響モニタリング(2000~2004年)」、「森林流域の水質モニタリングとフラックスの広域評価(2005~2008年)」および森林総合研究所基盤事業「森林における降雨・渓流水質モニタリング(事業番号キ108)」によって行われた。

## 引用文献

相澤 州平・岡本 透・池田 重人(2003) 東北地方内陸部森林地帯における降水中の溶存成分濃度の季節変化および溶存成分負荷量. 森林総合研究所研究報告, 2, 157-164.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E.,

Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. (2015) System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 8, 1991-2007.

土じょう部(1976) 林野土壌の分類 1975. 林業試験場研究報告, 280, 1-28.

EANET (2016) Quality assurance/Quality control (QA/QC) Guidebook for Acid Deposition Monitoring Network in East Asia. Acid Deposition and Oxidant Research Center (ADORC), 103pp, Niigata, Japan.

EANET (2010a) Technical Manual for Monitoring on Island Aquatic Environment in East Asia. Acid Deposition and Oxidant Research Center (ADORC), 126pp, Niigata, Japan.

EANET (2010b) Technical Manual for Wet Deposition Monitoring in East Asia. Acid Deposition and Oxidant Research Center (ADORC), 113pp, Niigata, Japan.

半谷 高久・小倉 紀雄(1985) 水質調査法, 第2版. 丸善, 265-270.

稲垣 昌宏・池田 重人・金子 真司・高橋 正通(2008) 森林降水渓流水水質データベース(FASC-DB)の構築. 森林科学, 54, 53-55.

伊藤 優子・加藤 正樹(2004) 酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング—森林総合研究所(つくば市)における降水の調査—. 森林総合研究所研究報告, 3, 267-275.

金子 真司・荒木 誠・古澤 仁美(2004) 酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング—関西スギ林における酸性降水—. 森林総合研究所研究報告, 3, 277-296.

環境省(2014) 越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書(平成20~24年度), 137-238, <https://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/rep3.html>.

気象庁(2018) “過去の気象データ検索”, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>.

高知営林局(1996) 保護林への誘い—生きた植物図鑑—, 高知営林局, 59pp.

国土地理院(2018) “基盤地図情報サイト”, <http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>.

Matsuura, Y., Sanada, M., Takahashi, M., Sakai, Y. and Tanaka, N. (2001) Long-term monitoring study on rain, throughfall, and stemflow chemistry in evergreen coniferous forests in Hokkaido, northern Japan. Water, Air, and Soil Pollution, 130, 1661-1666.

日本化学会編(1966) 化学便覧 基礎編 II. 丸善, 1042.

日本水道協会(1993) 上水試験方法, 1993年版. 厚生省生活衛生局水道環境部監修, 日本水道協会, 770.

野口 泉・山口 高志(2010) 大気からの窒素成分沈着. 地球環境, 15 (2), 111-120.

酒井 寿夫・仙石 鐵也・原 光好・森 澤猛・埴田 宏・岩本 宏二郎・荒井 國幸・小澤 孝弘(2004) 酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング—木曾御

- 岳山の亜高山帯針葉樹林における降水の調査一. 森林総合研究所研究報告, 3, 297-317.
- 酒井 寿夫・森澤 猛・仙石 鐵也 (2003) 御岳山における 7 年間の降雨・降雪の pH, EC と溶存成分の特性. 森林立地 45 (1), 21-27.
- 酸性雨調査法研究会 (1993) 酸性雨調査法. ぎょうせい, 267-268.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 猿橋 勝子 (1955) 天然水中の物質代謝の研究 (第 2 報) 水中の炭酸物質の平衡濃度比について. 日本化学雑誌, 76, 1294-1308.
- 篠宮 佳樹・山田 毅・鳥居 厚志 (2007) 四万十川源流部の森林流域における降雨イベント時の溪流水質変動と L-Q 法への適合度. 森林立地, 49 (2), 133-144.
- 玉置 元則・平木 隆年 (1986a) わが国各地における雨水 pH の年平均値 (1). 環境技術, 15, 188-192.
- 玉置 元則・平木 隆年 (1986b) わが国各地における雨水 pH の年平均値 (2). 環境技術, 15, 215-220.
- 釣田 竜也・大貫 靖浩 (2017) 九州の鹿北流域試験地 3 号沢における 2001 ~ 2014 年の雨水と溪流水の水質. 森林総合研究所研究報告, 16, 29-60.
- 山田 毅・森貞 和仁・酒井 敦・吉永 秀一郎・平井 敬三・加藤 正樹・吉田 桂子・岩川 雄幸・三浦 覚・稲垣 善之・篠宮 佳樹・竹内 郁雄・田淵 隆一・酒井 武・倉本 恵生・森 茂太・大黒 正・川崎 達郎・松村 直人・小谷 英司・吉田 実・宮本 知子・都築 伸行・山田 茂樹・今富 裕樹・峰尾 一彦・山崎 三郎・井上 大成・田端 雅進・阿部 恭久・弘田 孝行・門田 春夫 (2004) 酸性雨等の森林生態系への影響モニタリングー四国ヒノキ林における降水および林分の調査一. 森林総合研究所研究報告, 3, 365-407.
- Yamada, T., Yoshinaga, S., Morisada, K. and Hirai, K. (2001) Sulfate and nitrate loads on forest ecosystem in Kochi in southwest of Japan. Water, Air, and Soil Pollution, 130, 1115-1120.

Table 6a. 渓流水の pH、EC および溶存成分の年平均値 (単純平均)

Annual simple averages of pH, EC, and dissolved ion concentrations in streamwater

| Sampling location | Year    | pH   | EC <sub>obs</sub>  | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup>   | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | N <sub>E</sub> <sup>*1</sup> | N <sub>T</sub> <sup>*2</sup> |
|-------------------|---------|------|--------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|
|                   |         |      | mS m <sup>-1</sup> |                 |                              |                |                  | mg L <sup>-1</sup> |                 |                              |                               |                               |      |                              |                              |
| A1                | 2000    | 7.67 | 6.93               | 4.37            | 0.00                         | 0.58           | 7.58             | 0.93               | 2.57            | 0.77                         | 6.88                          | 24.40                         | 0.79 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.65 | 7.28               | 4.37            | 0.00                         | 0.51           | 8.00             | 0.98               | 2.52            | 0.72                         | 7.55                          | 25.94                         | 0.77 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 7.72 | 8.04               | 4.43            | 0.01                         | 0.52           | 8.52             | 1.04               | 2.62            | 0.40                         | 8.75                          | 27.92                         | 0.54 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.61 | 6.92               | 4.29            | 0.01                         | 0.48           | 6.99             | 0.87               | 2.72            | 0.34                         | 6.41                          | 24.16                         | 0.43 | 23                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.63 | 7.25               | 4.53            | 0.00                         | 0.45           | 7.28             | 0.95               | 2.93            | 0.72                         | 6.66                          | 30.28                         | 0.46 | 14                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.64 | 7.80               | 4.62            | 0.00                         | 0.53           | 8.10             | 1.09               | 3.03            | 1.52                         | 7.33                          | 31.66                         | 0.65 | 15                           | 23                           |
|                   | 2006    | 7.63 | 6.90               | 4.35            | 0.00                         | 0.44           | 6.42             | 0.89               | 2.94            | 0.89                         | 6.10                          | 25.80                         | 0.83 | 12                           | 21                           |
|                   | 2007    | 7.67 | 7.36               | 4.56            | 0.03                         | 0.50           | 7.79             | 1.01               | 2.70            | 0.61                         | 7.54                          | 28.38                         | 0.66 | 18                           | 19                           |
|                   | 2008    | 7.69 | 7.91               | 4.66            | 0.03                         | 0.53           | 8.59             | 1.08               | 2.67            | 0.52                         | 8.38                          | 29.75                         | 0.57 | 24                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.68 | 7.96               | 4.55            | 0.00                         | 0.55           | 8.73             | 1.11               | 2.44            | 0.56                         | 8.26                          | 30.75                         | 0.71 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.58 | 6.88               | 4.35            | 0.00                         | 0.49           | 7.28             | 0.93               | 2.44            | 0.50                         | 7.21                          | 26.07                         | 0.50 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.58 | 7.10               | 4.44            | 0.01                         | 0.49           | 7.50             | 0.98               | 2.56            | 0.63                         | 7.00                          | 27.33                         | 0.42 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.53 | 6.71               | 4.44            | 0.00                         | 0.54           | 6.75             | 0.88               | 2.36            | 0.51                         | 6.24                          | 26.67                         | 0.52 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.56 | 6.75               | 4.36            | 0.00                         | 0.51           | 7.22             | 0.90               | 2.31            | 0.73                         | 6.30                          | 25.73                         | 0.43 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.67 | 6.66               | 4.39            | 0.00                         | 0.52           | 7.23             | 0.91               | 2.24            | 0.25                         | 6.07                          | 26.67                         | 0.32 | 18                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.65 | 6.36               | 4.21            | 0.00                         | 0.51           | 6.88             | 0.87               | 2.20            | 0.30                         | 5.51                          | 25.64                         | 0.46 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.64 | 7.22               | 4.43            | 0.01                         | 0.51           | 7.64             | 0.97               | 2.56            | 0.60                         | 7.12                          | 27.30                         | 0.57 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 0.7  | 6.9                | 2.7             | 165.4                        | 7.0            | 8.7              | 8.2                | 9.3             | 46.3                         | 12.7                          | 8.0                           | 26.2 |                              |                              |
| A2                | 2000    | 7.68 | 8.25               | 4.67            | 0.00                         | 0.69           | 9.42             | 1.33               | 2.46            | 1.13                         | 8.27                          | 30.56                         | 0.99 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.71 | 8.85               | 4.68            | 0.00                         | 0.60           | 10.18            | 1.41               | 2.35            | 1.04                         | 9.15                          | 33.58                         | 0.93 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 7.70 | 9.43               | 4.63            | 0.00                         | 0.62           | 10.43            | 1.47               | 2.48            | 0.76                         | 10.13                         | 33.77                         | 0.73 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.69 | 8.47               | 4.55            | 0.01                         | 0.59           | 9.24             | 1.30               | 2.50            | 0.56                         | 8.21                          | 31.48                         | 0.47 | 23                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.67 | 8.57               | 4.81            | 0.00                         | 0.57           | 9.17             | 1.34               | 2.73            | 0.80                         | 8.41                          | 37.74                         | 0.59 | 19                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.72 | 9.05               | 4.87            | 0.00                         | 0.60           | 9.72             | 1.39               | 2.67            | 0.82                         | 9.29                          | 38.61                         | 0.52 | 21                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.68 | 8.12               | 4.59            | 0.00                         | 0.53           | 8.13             | 1.18               | 2.70            | 0.55                         | 7.87                          | 32.30                         | 0.72 | 20                           | 24                           |
|                   | 2007    | 7.72 | 9.43               | 4.98            | 0.05                         | 0.63           | 10.53            | 1.49               | 2.54            | 0.80                         | 10.43                         | 36.74                         | 0.64 | 23                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.72 | 9.24               | 4.87            | 0.02                         | 0.61           | 10.44            | 1.45               | 2.49            | 0.74                         | 9.68                          | 35.67                         | 0.68 | 23                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.71 | 8.98               | 4.73            | 0.00                         | 0.63           | 10.20            | 1.42               | 2.25            | 0.57                         | 9.48                          | 35.17                         | 0.81 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.65 | 8.55               | 4.66            | 0.00                         | 0.62           | 9.72             | 1.36               | 2.23            | 0.57                         | 8.72                          | 34.26                         | 0.55 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.64 | 8.34               | 4.69            | 0.00                         | 0.60           | 9.59             | 1.39               | 2.33            | 0.51                         | 9.30                          | 33.95                         | 0.33 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.57 | 7.83               | 4.47            | 0.00                         | 0.55           | 8.52             | 1.25               | 2.14            | 0.58                         | 7.79                          | 32.08                         | 0.43 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.60 | 8.07               | 4.56            | 0.00                         | 0.63           | 9.61             | 1.32               | 2.23            | 0.74                         | 8.16                          | 32.69                         | 0.38 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.65 | 8.01               | 4.61            | 0.00                         | 0.61           | 9.48             | 1.32               | 2.20            | 0.42                         | 7.75                          | 33.44                         | 0.26 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.67 | 7.59               | 4.35            | 0.00                         | 0.60           | 8.76             | 1.22               | 2.13            | 0.37                         | 6.86                          | 31.62                         | 0.53 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.68 | 8.60               | 4.68            | 0.01                         | 0.61           | 9.62             | 1.36               | 2.41            | 0.69                         | 8.80                          | 34.05                         | 0.61 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 0.6  | 6.4                | 3.3             | 217.9                        | 6.0            | 7.1              | 6.3                | 8.0             | 29.7                         | 10.8                          | 6.6                           | 33.5 |                              |                              |
| A3                | 2001    | 7.75 | 9.59               | 4.18            | 0.01                         | 0.48           | 12.23            | 1.32               | 2.42            | 0.94                         | 9.81                          | 37.16                         | 0.56 | 19                           | 19                           |
|                   | 2002    | 7.78 | 10.32              | 4.25            | 0.00                         | 0.48           | 12.76            | 1.38               | 2.55            | 0.64                         | 11.04                         | 38.20                         | 0.46 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.72 | 9.43               | 4.19            | 0.01                         | 0.45           | 11.37            | 1.26               | 2.64            | 0.66                         | 8.97                          | 35.63                         | 0.14 | 21                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.72 | 9.64               | 4.39            | 0.00                         | 0.45           | 11.75            | 1.33               | 2.84            | 0.63                         | 8.99                          | 43.20                         | 0.26 | 19                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.77 | 10.28              | 4.45            | 0.00                         | 0.46           | 12.68            | 1.39               | 2.82            | 0.65                         | 10.10                         | 46.13                         | 0.21 | 23                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.74 | 9.46               | 4.26            | 0.01                         | 0.44           | 11.00            | 1.27               | 2.80            | 0.61                         | 8.86                          | 39.72                         | 0.40 | 21                           | 24                           |
|                   | 2007    | 7.75 | 10.64              | 4.61            | 0.03                         | 0.50           | 13.51            | 1.47               | 2.71            | 0.62                         | 11.57                         | 43.58                         | 0.35 | 24                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.76 | 10.26              | 4.47            | 0.02                         | 0.49           | 12.88            | 1.40               | 2.61            | 0.71                         | 10.97                         | 40.02                         | 0.18 | 24                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.73 | 10.31              | 4.47            | 0.00                         | 0.51           | 12.96            | 1.42               | 2.52            | 0.61                         | 11.12                         | 40.38                         | 0.26 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.72 | 9.64               | 4.35            | 0.00                         | 0.50           | 12.15            | 1.35               | 2.38            | 0.70                         | 9.80                          | 38.98                         | 0.16 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.71 | 9.49               | 4.40            | 0.01                         | 0.50           | 12.23            | 1.39               | 2.42            | 0.45                         | 10.24                         | 40.12                         | 0.16 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.63 | 8.89               | 4.24            | 0.00                         | 0.49           | 11.04            | 1.28               | 2.22            | 0.58                         | 8.93                          | 37.87                         | 0.16 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.63 | 9.08               | 4.30            | 0.00                         | 0.48           | 12.28            | 1.33               | 2.21            | 0.58                         | 9.43                          | 39.13                         | 0.13 | 19                           | 19                           |
|                   | 2014    | 7.63 | 9.17               | 4.32            | 0.00                         | 0.49           | 12.20            | 1.33               | 2.23            | 0.49                         | 8.83                          | 39.09                         | 0.17 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.65 | 8.66               | 4.07            | 0.00                         | 0.47           | 11.04            | 1.22               | 2.14            | 0.48                         | 7.81                          | 36.34                         | 0.13 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.72 | 9.71               | 4.34            | 0.01                         | 0.48           | 12.20            | 1.35               | 2.52            | 0.63                         | 9.86                          | 39.83                         | 0.25 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 0.7  | 5.9                | 3.1             | 152.7                        | 4.0            | 6.1              | 4.9                | 9.1             | 18.0                         | 10.6                          | 6.8                           | 52.0 |                              |                              |
| N1                | 2000    | 7.81 | 9.59               | 5.30            | 0.00                         | 0.77           | 11.04            | 1.55               | 3.38            | 1.46                         | 8.82                          | 35.12                         | 1.11 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.79 | 9.83               | 5.28            | 0.01                         | 0.67           | 11.29            | 1.57               | 3.28            | 1.45                         | 9.15                          | 36.85                         | 1.11 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 7.78 | 10.53              | 5.37            | 0.01                         | 0.73           | 11.65            | 1.66               | 3.57            | 1.21                         | 10.01                         | 38.49                         | 0.69 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.75 | 9.49               | 5.16            | 0.01                         | 0.66           | 10.38            | 1.48               | 3.41            | 0.85                         | 8.30                          | 35.54                         | 0.50 | 22                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.74 | 9.81               | 5.56            | 0.00                         | 0.64           | 10.64            | 1.57               | 3.67            | 0.90                         | 8.68                          | 43.48                         | 0.78 | 18                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.80 | 10.46              | 5.66            | 0.00                         | 0.70           | 11.52            | 1.65               | 3.48            | 1.31                         | 9.35                          | 45.88                         | 0.71 | 22                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.78 | 9.65               | 5.38            | 0.00                         | 0.64           | 10.00            | 1.48               | 3.61            | 0.99                         | 8.37                          | 39.16                         | 0.93 | 21                           | 24                           |
|                   | 2007    | 7.81 | 10.62              | 5.82            | 0.02                         | 0.72           | 11.92            | 1.71               | 3.47            | 1.33                         | 9.88                          | 42.91                         | 0.71 | 22                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.75 | 10.19              | 5.44            | 0.04                         | 0.72           | 11.48            | 1.63               | 3.25            | 1.28                         | 9.38                          | 39.53                         | 0.87 | 24                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.76 | 10.16              | 5.42            | 0.00                         | 0.75           | 11.52            | 1.64               | 3.09            | 1.02                         | 9.14                          | 40.48                         | 1.05 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.74 | 9.72               | 5.34            | 0.00                         | 0.74           | 11.15            | 1.59               | 3.11            | 0.92                         | 8.69                          | 39.77                         | 0.95 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.71 | 9.67               | 5.57            | 0.01                         | 0.71           | 11.19            | 1.64               | 3.27            | 0.87                         | 9.23                          | 40.55                         | 0.33 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.66 | 8.97               | 5.19            | 0.00                         | 0.69           | 9.97             | 1.52               | 2.98            | 1.03                         | 7.91                          | 37.29                         | 0.81 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.65 | 9.22               | 5.30            | 0.00                         | 0.74           | 11.01            | 1.56               | 3.07            | 1.10                         | 8.11                          | 38.33                         | 0.78 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.71 | 9.25               | 5.41            | 0.00                         | 0.72           | 11.01            | 1.58               | 3.05            | 0.69                         | 7.99                          | 39.64                         | 0.42 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.73 | 8.78               | 4.99            | 0.00                         | 0.70           | 10.04            | 1.45               | 2.89            | 0.68                         | 6.89                          | 36.44                         | 0.59 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.75 | 9.79               | 5.39            | 0.01                         | 0.71           | 11.03            | 1.58               | 3.29            | 1.08                         | 8.81                          | 39.37                         | 0.78 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 0.6  | 5.4                | 3.6             | 140.5                        | 5.2            | 5.4              | 4.5                | 7.1             | 22.5                         | 8.9                           | 7.2                           | 29.2 |                              |                              |

\*<sup>1</sup> N<sub>E</sub>: EANET (2010a) が推奨する R1 と R2 の許容範囲内にある渓流水のサンプル数。N<sub>E</sub>: Number of streamwater samples within the allowable ranges for R1, R2 (EANET 2010a).

\*<sup>2</sup> N<sub>T</sub>: 年間の全サンプル数。N<sub>T</sub>: Total number of samples per year.

Table 6b. 渓流水の pH、EC および溶存成分の年平均値 (単純平均)

Annual simple averages of pH, EC, and dissolved ion concentrations in streamwater

| Sampling location | Year    | pH   | EC <sub>obs</sub><br>mS m <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | N <sub>E</sub> <sup>*1</sup> | N <sub>T</sub> <sup>*2</sup> |
|-------------------|---------|------|-----------------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|
| N2                | 2000    | 7.38 | 6.07                                    | 4.47            | 0.00                         | 0.55           | 5.42             | 1.09             | 3.09            | 0.66                         | 5.70                          | 19.64                         | 0.92 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.42 | 5.89                                    | 4.28            | 0.01                         | 0.41           | 5.03             | 1.08             | 2.95            | 0.54                         | 5.78                          | 18.68                         | 0.81 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 7.44 | 6.22                                    | 4.30            | 0.02                         | 0.42           | 5.16             | 1.11             | 3.23            | 0.39                         | 6.22                          | 19.45                         | 0.67 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.39 | 5.86                                    | 4.28            | 0.02                         | 0.42           | 4.79             | 1.01             | 3.32            | 0.41                         | 5.10                          | 18.26                         | 0.69 | 23                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.45 | 5.95                                    | 4.51            | 0.00                         | 0.39           | 4.80             | 1.01             | 3.50            | 0.40                         | 5.33                          | 22.17                         | 0.57 | 19                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.56 | 6.22                                    | 4.59            | 0.00                         | 0.39           | 5.18             | 1.04             | 3.32            | 0.41                         | 5.72                          | 24.18                         | 0.57 | 23                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.37 | 6.01                                    | 4.44            | 0.00                         | 0.41           | 4.73             | 0.94             | 3.37            | 0.36                         | 4.99                          | 21.23                         | 0.49 | 17                           | 20                           |
|                   | 2007    | 7.25 | 6.39                                    | 4.67            | 0.03                         | 0.41           | 5.65             | 1.12             | 3.21            | 0.42                         | 6.02                          | 22.70                         | 0.48 | 24                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.32 | 6.31                                    | 4.49            | 0.03                         | 0.40           | 5.47             | 1.11             | 3.05            | 0.38                         | 5.68                          | 21.53                         | 0.56 | 24                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.27 | 6.27                                    | 4.43            | 0.00                         | 0.41           | 5.50             | 1.13             | 2.89            | 0.30                         | 5.68                          | 22.39                         | 0.56 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.46 | 6.10                                    | 4.41            | 0.00                         | 0.44           | 5.64             | 1.12             | 2.89            | 0.30                         | 5.56                          | 22.42                         | 0.41 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.58 | 5.72                                    | 4.41            | 0.00                         | 0.40           | 5.13             | 1.07             | 2.98            | 0.21                         | 5.57                          | 21.31                         | 0.30 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.50 | 5.61                                    | 4.33            | 0.00                         | 0.40           | 4.72             | 1.01             | 2.73            | 0.36                         | 5.11                          | 21.16                         | 0.23 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.51 | 5.58                                    | 4.30            | 0.00                         | 0.40           | 5.09             | 1.02             | 2.73            | 0.36                         | 5.16                          | 20.58                         | 0.19 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.39 | 5.56                                    | 4.37            | 0.00                         | 0.41           | 5.14             | 1.03             | 2.68            | 0.29                         | 4.89                          | 21.24                         | 0.19 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.26 | 5.59                                    | 4.14            | 0.00                         | 0.41           | 4.92             | 1.00             | 2.54            | 0.29                         | 4.36                          | 20.83                         | 0.26 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.41 | 5.98                                    | 4.40            | 0.01                         | 0.42           | 5.17             | 1.06             | 3.04            | 0.38                         | 5.47                          | 21.10                         | 0.51 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 1.3  | 4.6                                     | 2.9             | 135.0                        | 8.7            | 5.9              | 5.0              | 8.9             | 27.1                         | 8.4                           | 7.1                           | 43.0 |                              |                              |
| N3                | 2000    | 7.61 | 7.26                                    | 4.50            | 0.00                         | 0.71           | 7.33             | 1.28             | 3.18            | 1.54                         | 7.04                          | 23.61                         | 0.92 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.64 | 7.53                                    | 4.45            | 0.01                         | 0.62           | 7.59             | 1.33             | 3.07            | 1.69                         | 7.52                          | 24.93                         | 1.08 | 25                           | 25                           |
|                   | 2002    | 7.64 | 8.00                                    | 4.43            | 0.01                         | 0.71           | 7.85             | 1.40             | 3.50            | 1.63                         | 7.98                          | 25.42                         | 1.33 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.59 | 7.32                                    | 4.44            | 0.01                         | 0.61           | 6.97             | 1.24             | 3.51            | 1.09                         | 6.73                          | 22.96                         | 0.82 | 23                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.58 | 7.50                                    | 4.69            | 0.00                         | 0.59           | 7.01             | 1.30             | 3.63            | 1.41                         | 7.14                          | 28.36                         | 0.85 | 19                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.64 | 7.97                                    | 4.75            | 0.01                         | 0.65           | 7.49             | 1.35             | 3.38            | 1.53                         | 7.69                          | 30.68                         | 0.85 | 23                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.59 | 7.55                                    | 4.60            | 0.00                         | 0.61           | 6.75             | 1.25             | 3.53            | 1.41                         | 7.02                          | 26.38                         | 1.13 | 18                           | 24                           |
|                   | 2007    | 7.59 | 8.14                                    | 4.82            | 0.02                         | 0.68           | 8.05             | 1.46             | 3.31            | 1.94                         | 8.42                          | 28.21                         | 0.91 | 24                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.62 | 7.73                                    | 4.62            | 0.02                         | 0.65           | 7.50             | 1.35             | 3.17            | 1.62                         | 7.46                          | 26.63                         | 0.92 | 24                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.58 | 7.76                                    | 4.55            | 0.00                         | 0.70           | 7.72             | 1.40             | 2.93            | 1.40                         | 7.40                          | 27.75                         | 1.24 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.55 | 7.29                                    | 4.43            | 0.00                         | 0.65           | 7.51             | 1.32             | 2.94            | 1.21                         | 6.85                          | 27.29                         | 0.99 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.45 | 7.18                                    | 4.55            | 0.00                         | 0.66           | 7.27             | 1.35             | 3.21            | 1.30                         | 7.45                          | 26.59                         | 0.64 | 20                           | 20                           |
|                   | 2012    | 7.44 | 6.78                                    | 4.48            | 0.00                         | 0.69           | 6.58             | 1.25             | 2.87            | 1.51                         | 6.41                          | 25.89                         | 0.82 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.47 | 6.94                                    | 4.47            | 0.00                         | 0.67           | 7.24             | 1.28             | 2.96            | 1.57                         | 6.51                          | 25.46                         | 0.66 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.50 | 6.81                                    | 4.51            | 0.00                         | 0.65           | 7.16             | 1.28             | 2.91            | 0.94                         | 6.36                          | 26.10                         | 0.33 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.51 | 6.62                                    | 4.27            | 0.00                         | 0.64           | 6.71             | 1.20             | 2.80            | 0.88                         | 5.45                          | 25.14                         | 0.78 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.57 | 7.44                                    | 4.54            | 0.01                         | 0.66           | 7.33             | 1.32             | 3.19            | 1.43                         | 7.15                          | 26.37                         | 0.91 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 0.9  | 6.0                                     | 2.9             | 128.0                        | 5.4            | 5.6              | 5.0              | 8.2             | 19.1                         | 9.8                           | 7.0                           | 26.3 |                              |                              |
| N4                | 2000    | 7.88 | 11.85                                   | 5.23            | 0.00                         | 0.83           | 15.04            | 1.92             | 3.64            | 1.44                         | 13.59                         | 42.55                         | 1.44 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 7.87 | 11.87                                   | 5.07            | 0.01                         | 0.69           | 15.12            | 1.90             | 3.55            | 1.08                         | 13.57                         | 43.25                         | 1.52 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 7.85 | 12.97                                   | 5.29            | 0.01                         | 0.90           | 15.68            | 2.11             | 4.40            | 1.53                         | 15.15                         | 43.48                         | 1.60 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 7.82 | 11.67                                   | 5.14            | 0.01                         | 0.74           | 14.01            | 1.87             | 4.11            | 0.80                         | 12.76                         | 40.78                         | 0.86 | 23                           | 24                           |
|                   | 2004    | 7.84 | 11.95                                   | 5.47            | 0.00                         | 0.76           | 14.27            | 1.97             | 4.11            | 0.97                         | 13.31                         | 50.42                         | 1.40 | 24                           | 24                           |
|                   | 2005    | 7.90 | 13.07                                   | 5.66            | 0.00                         | 0.80           | 15.71            | 2.13             | 3.96            | 1.55                         | 14.95                         | 54.57                         | 1.39 | 23                           | 24                           |
|                   | 2006    | 7.85 | 11.73                                   | 5.35            | 0.00                         | 0.77           | 13.33            | 1.88             | 4.10            | 1.43                         | 12.62                         | 45.00                         | 1.72 | 19                           | 24                           |
|                   | 2007    | 7.88 | 13.42                                   | 5.79            | 0.03                         | 0.82           | 16.41            | 2.21             | 4.06            | 1.85                         | 16.44                         | 49.63                         | 1.43 | 22                           | 24                           |
|                   | 2008    | 7.83 | 12.31                                   | 5.30            | 0.03                         | 0.79           | 15.03            | 1.98             | 3.65            | 1.25                         | 14.27                         | 45.23                         | 1.58 | 23                           | 24                           |
|                   | 2009    | 7.85 | 12.18                                   | 5.28            | 0.00                         | 0.86           | 15.10            | 1.97             | 3.32            | 0.96                         | 14.30                         | 45.79                         | 1.76 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.72 | 11.34                                   | 5.20            | 0.00                         | 0.85           | 14.18            | 1.88             | 3.46            | 0.88                         | 12.72                         | 44.09                         | 1.40 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.76 | 12.20                                   | 5.55            | 0.00                         | 0.83           | 15.49            | 2.10             | 3.84            | 1.01                         | 14.96                         | 47.63                         | 1.04 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.65 | 10.47                                   | 4.99            | 0.00                         | 0.72           | 12.93            | 1.80             | 3.12            | 1.10                         | 13.15                         | 42.89                         | 1.20 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.64 | 11.23                                   | 5.18            | 0.00                         | 0.81           | 14.58            | 1.89             | 3.42            | 1.18                         | 13.55                         | 43.28                         | 1.20 | 18                           | 18                           |
|                   | 2014    | 7.68 | 11.14                                   | 5.29            | 0.00                         | 0.77           | 14.73            | 1.93             | 3.34            | 0.62                         | 12.14                         | 45.80                         | 0.91 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.72 | 9.99                                    | 4.64            | 0.00                         | 0.76           | 12.39            | 1.63             | 3.35            | 0.52                         | 9.14                          | 40.17                         | 1.58 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 7.80 | 11.90                                   | 5.29            | 0.01                         | 0.79           | 14.69            | 1.96             | 3.73            | 1.15                         | 13.63                         | 45.44                         | 1.39 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 1.1  | 7.4                                     | 4.9             | 149.6                        | 6.4            | 7.1              | 6.9              | 9.8             | 30.6                         | 11.7                          | 8.0                           | 18.8 |                              |                              |
| M                 | 2000    | 8.29 | 8.61                                    | 3.23            | 0.00                         | 0.49           | 12.28            | 1.14             | 2.11            | 0.91                         | 5.37                          | 38.98                         | 1.01 | 19                           | 19                           |
|                   | 2001    | 8.09 | 8.73                                    | 3.26            | 0.02                         | 0.40           | 12.08            | 1.18             | 2.25            | 0.74                         | 5.71                          | 39.16                         | 0.91 | 24                           | 24                           |
|                   | 2002    | 8.04 | 9.69                                    | 3.38            | 0.02                         | 0.40           | 13.16            | 1.26             | 2.42            | 0.45                         | 6.37                          | 42.35                         | 0.58 | 24                           | 24                           |
|                   | 2003    | 8.02 | 8.79                                    | 3.36            | 0.01                         | 0.37           | 11.76            | 1.16             | 2.43            | 0.43                         | 5.35                          | 38.88                         | 0.50 | 22                           | 24                           |
|                   | 2004    | 8.06 | 9.49                                    | 3.49            | 0.00                         | 0.36           | 12.86            | 1.24             | 2.73            | 0.39                         | 5.65                          | 49.59                         | 0.51 | 14                           | 24                           |
|                   | 2005    | 8.02 | 9.75                                    | 3.42            | 0.00                         | 0.37           | 13.15            | 1.24             | 2.75            | 0.55                         | 5.64                          | 49.50                         | 0.52 | 18                           | 24                           |
|                   | 2006    | 8.08 | 8.96                                    | 3.33            | 0.00                         | 0.36           | 11.72            | 1.15             | 2.39            | 0.50                         | 5.21                          | 43.54                         | 0.59 | 16                           | 24                           |
|                   | 2007    | 8.18 | 9.95                                    | 3.61            | 0.06                         | 0.41           | 13.81            | 1.32             | 2.34            | 0.51                         | 6.80                          | 47.60                         | 0.65 | 19                           | 24                           |
|                   | 2008    | 8.12 | 9.40                                    | 3.56            | 0.04                         | 0.40           | 12.80            | 1.28             | 2.22            | 0.51                         | 6.46                          | 42.99                         | 0.74 | 23                           | 24                           |
|                   | 2009    | 8.13 | 9.50                                    | 3.52            | 0.00                         | 0.45           | 13.10            | 1.31             | 2.12            | 0.46                         | 6.42                          | 43.48                         | 0.99 | 24                           | 24                           |
|                   | 2010    | 7.89 | 8.69                                    | 3.42            | 0.00                         | 0.42           | 11.70            | 1.22             | 2.11            | 0.49                         | 5.73                          | 39.86                         | 0.58 | 19                           | 19                           |
|                   | 2011    | 7.76 | 8.80                                    | 3.43            | 0.01                         | 0.42           | 12.53            | 1.25             | 2.36            | 0.37                         | 5.81                          | 42.22                         | 0.23 | 19                           | 19                           |
|                   | 2012    | 7.70 | 8.01                                    | 3.15            | 0.00                         | 0.37           | 11.02            | 1.11             | 1.89            | 0.50                         | 4.99                          | 39.39                         | 0.46 | 18                           | 18                           |
|                   | 2013    | 7.79 | 8.37                                    | 3.25            | 0.00                         | 0.42           | 11.97            | 1.15             | 1.92            | 0.58                         | 5.19                          | 39.81                         | 0.48 | 19                           | 19                           |
|                   | 2014    | 7.91 | 8.34                                    | 3.28            | 0.00                         | 0.41           | 12.29            | 1.18             | 1.92            | 0.37                         | 4.96                          | 41.19                         | 0.27 | 19                           | 19                           |
|                   | 2015    | 7.86 | 7.88                                    | 3.12            | 0.00                         | 0.40           | 10.94            | 1.09             | 1.77            | 0.51                         | 4.49                          | 37.42                         | 0.30 | 18                           | 18                           |
|                   | Average | 8.00 | 8.95                                    | 3.37            | 0.01                         | 0.41           | 12.35            | 1.21             | 2.23            | 0.52                         | 5.68                          | 42.07                         | 0.60 |                              |                              |
|                   | CV (%)  | 2.0  | 6.9                                     | 4.1             | 156.6                        | 8.4            | 6.3              | 5.7              | 12.3            | 25.7                         | 10.8                          | 8.7                           | 39.0 |                              |                              |

\*<sup>1</sup> N<sub>E</sub>: EANET (2010a) が推奨する R1 と R2 の許容範囲内にある渓流水のサンプル数。N<sub>E</sub>: Number of streamwater samples within the allowable ranges for R1, R2 (EANET 2010a) .

\*<sup>2</sup> N<sub>T</sub>: 年間の全サンプル数。N<sub>T</sub>: Total number of samples per year.



















## Appendix 2e. 四万十川上流域の採水地点 A1 における渓流水分析データ

## Analytical data of streamwater at sampling location A1 in the upper reaches of the Shimanto River

| Date       | pH   | ECobs<br>mS m <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup>    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | Cation<br>μeq L <sup>-1</sup> | Anion<br>μeq L <sup>-1</sup> | EC <sub>cal</sub><br>mS m <sup>-1</sup> | R1   | R2   | QC* |
|------------|------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|------|------|-----|
|            |      |                             |                 |                              |                |                  |                  | mg L <sup>-1</sup> |                              |                               |                               |                               |      |                               |                              |                                         |      |      |     |
| 2012/12/7  | 7.64 | 7.56                        | 4.52            | n.d.                         | 0.41           | 8.41             | 1.02             | 2.34               | 1.75                         | n.d.                          | 7.76                          | 28.46                         | 0.69 | 0.71                          | 0.72                         | 8.08                                    | -0.8 | 3.3  |     |
| 2012/12/26 | 7.50 | 7.09                        | 4.40            | n.d.                         | 0.39           | 7.67             | 0.92             | 2.36               | 0.62                         | n.d.                          | 7.39                          | 27.05                         | 0.00 | 0.66                          | 0.67                         | 7.50                                    | -1.1 | 2.8  |     |
| 2013/1/18  | 7.61 | 6.56                        | 4.10            | n.d.                         | 0.38           | 6.91             | 0.83             | 2.31               | 0.56                         | n.d.                          | 6.28                          | 25.10                         | 0.00 | 0.60                          | 0.62                         | 6.82                                    | -1.3 | 1.9  |     |
| 2013/2/8   | 7.53 | 5.56                        | 3.71            | n.d.                         | 0.39           | 5.62             | 0.70             | 2.32               | 0.50                         | n.d.                          | 5.08                          | 20.50                         | 0.00 | 0.51                          | 0.52                         | 5.75                                    | -0.6 | 1.7  |     |
| 2013/2/25  | 7.76 | 5.94                        | 3.99            | n.d.                         | 0.42           | 6.15             | 0.78             | 2.36               | 0.27                         | n.d.                          | 5.69                          | 23.09                         | 0.59 | 0.56                          | 0.57                         | 6.29                                    | -1.1 | 2.8  |     |
| 2013/3/15  | 7.65 | 6.69                        | 4.34            | n.d.                         | 0.46           | 7.51             | 0.94             | 2.30               | 0.21                         | n.d.                          | 6.80                          | 26.78                         | 0.00 | 0.65                          | 0.65                         | 7.28                                    | 0.3  | 4.2  |     |
| 2013/4/5   | 7.48 | 7.28                        | 4.46            | 0.01                         | 0.51           | 7.86             | 0.98             | 2.33               | 0.42                         | n.d.                          | 7.72                          | 27.48                         | 0.00 | 0.68                          | 0.68                         | 7.67                                    | -0.2 | 2.6  |     |
| 2013/4/25  | 7.57 | 5.74                        | 3.57            | n.d.                         | 0.43           | 5.37             | 0.68             | 2.34               | 0.56                         | n.d.                          | 4.94                          | 19.43                         | 0.00 | 0.49                          | 0.50                         | 5.56                                    | -0.6 | -1.6 |     |
| 2013/6/5   | 7.67 | 8.48                        | 4.95            | 0.01                         | 0.58           | 9.78             | 1.19             | 2.27               | 0.66                         | n.d.                          | 9.52                          | 32.57                         | 1.03 | 0.82                          | 0.81                         | 9.14                                    | 0.6  | 3.8  |     |
| 2013/6/27  | 7.41 | 4.95                        | 3.72            | n.d.                         | 0.44           | 5.08             | 0.64             | 2.33               | 0.24                         | n.d.                          | 4.28                          | 18.67                         | 0.09 | 0.48                          | 0.46                         | 5.29                                    | 1.6  | 3.3  |     |
| 2013/7/17  | 7.57 | 7.06                        | 4.53            | n.d.                         | 0.52           | 7.85             | 0.94             | 2.32               | 0.64                         | n.d.                          | 7.16                          | 28.06                         | 0.75 | 0.68                          | 0.68                         | 7.64                                    | -0.4 | 3.9  |     |
| 2013/8/9   | 7.56 | 8.87                        | 5.24            | n.d.                         | 0.84           | 9.75             | 1.18             | 2.29               | 2.43                         | n.d.                          | 8.07                          | 32.39                         | 0.62 | 0.83                          | 0.80                         | 9.19                                    | 1.8  | 1.8  |     |
| 2013/8/27  | 7.57 | 9.19                        | 5.21            | n.d.                         | 0.67           | 10.47            | 1.27             | 2.25               | 4.30                         | n.d.                          | 8.79                          | 32.03                         | 1.26 | 0.87                          | 0.84                         | 9.71                                    | 1.8  | 2.7  |     |
| 2013/9/6   | 7.50 | 5.72                        | 4.15            | n.d.                         | 0.47           | 5.58             | 0.72             | 2.59               | 0.30                         | n.d.                          | 4.87                          | 21.05                         | 1.29 | 0.53                          | 0.52                         | 5.90                                    | 0.6  | 1.6  |     |
| 2013/9/17  | 7.36 | 6.80                        | 4.42            | n.d.                         | 0.50           | 7.25             | 0.91             | 2.30               | 0.48                         | n.d.                          | 6.83                          | 26.23                         | 0.09 | 0.64                          | 0.64                         | 7.21                                    | -0.3 | 2.9  |     |
| 2013/10/10 | 7.53 | 5.27                        | 3.79            | n.d.                         | 0.44           | 5.06             | 0.64             | 2.15               | 0.24                         | n.d.                          | 3.27                          | 20.50                         | 0.36 | 0.48                          | 0.47                         | 5.23                                    | 1.4  | -0.4 |     |
| 2013/10/22 | 7.60 | 6.75                        | 4.45            | n.d.                         | 0.50           | 7.18             | 0.89             | 2.32               | 0.41                         | n.d.                          | 5.91                          | 26.23                         | 0.11 | 0.64                          | 0.63                         | 7.03                                    | 1.0  | 2.0  |     |
| 2013/10/30 | 7.65 | 6.30                        | 4.50            | n.d.                         | 0.50           | 6.32             | 0.81             | 2.43               | 0.13                         | n.d.                          | 4.86                          | 24.86                         | 0.02 | 0.59                          | 0.58                         | 6.47                                    | 1.0  | 1.3  |     |
| 2013/11/18 | 7.52 | 6.84                        | 4.64            | n.d.                         | 0.53           | 7.87             | 0.99             | 2.13               | 0.31                         | n.d.                          | 6.38                          | 28.98                         | 1.10 | 0.69                          | 0.67                         | 7.55                                    | 1.3  | 5.0  |     |
| 2013/12/13 | 7.48 | 7.50                        | 4.66            | n.d.                         | 0.50           | 8.40             | 1.06             | 2.26               | 0.44                         | n.d.                          | 7.04                          | 29.13                         | 0.45 | 0.72                          | 0.69                         | 7.91                                    | 2.0  | 2.6  |     |
| 2014/1/7   | 7.59 | 7.55                        | 4.52            | n.d.                         | 0.50           | 8.25             | 1.03             | 2.57               | 0.26                         | n.d.                          | 5.50                          | 28.98                         | 0.46 | 0.71                          | 0.67                         | 7.59                                    | 2.9  | 0.3  |     |
| 2014/1/27  | 7.65 | 8.13                        | 4.83            | n.d.                         | 0.50           | 9.38             | 1.18             | 2.63               | 0.59                         | n.d.                          | 6.51                          | 24.46                         | 0.20 | 0.79                          | 0.62                         | 7.95                                    | 11.9 | -1.1 | R1  |
| 2014/2/20  | 7.62 | 6.38                        | 4.22            | n.d.                         | 0.47           | 7.18             | 0.90             | 2.65               | 0.48                         | n.d.                          | 4.60                          | 24.86                         | 0.41 | 0.63                          | 0.59                         | 6.74                                    | 3.5  | 2.7  |     |
| 2014/3/14  | 7.50 | 5.81                        | 3.79            | n.d.                         | 0.45           | 6.04             | 0.74             | 2.37               | 0.36                         | n.d.                          | 5.92                          | 21.66                         | 0.43 | 0.54                          | 0.55                         | 6.14                                    | -1.1 | 2.8  |     |
| 2014/4/3   | 7.42 | 5.85                        | 3.93            | n.d.                         | 0.45           | 5.99             | 0.73             | 2.34               | 0.24                         | n.d.                          | 5.59                          | 22.27                         | 0.46 | 0.54                          | 0.55                         | 6.13                                    | -0.9 | 2.3  |     |
| 2014/4/23  | 7.72 | 6.82                        | 4.18            | n.d.                         | 0.50           | 7.26             | 0.90             | 2.30               | 0.33                         | n.d.                          | 6.96                          | 26.08                         | 0.58 | 0.63                          | 0.64                         | 7.15                                    | -0.9 | 2.3  |     |
| 2014/5/9   | 7.71 | 7.82                        | 4.81            | n.d.                         | 0.59           | 9.09             | 1.12             | 2.32               | 0.24                         | n.d.                          | 8.89                          | 31.11                         | 0.25 | 0.77                          | 0.76                         | 8.63                                    | 0.4  | 4.9  |     |
| 2014/5/27  | 7.74 | 7.03                        | 4.27            | n.d.                         | 0.49           | 7.61             | 0.91             | 2.25               | 0.47                         | n.d.                          | 7.09                          | 27.15                         | 0.29 | 0.65                          | 0.66                         | 7.38                                    | -0.8 | 2.4  |     |
| 2014/6/17  | 7.65 | 6.61                        | 4.29            | n.d.                         | 0.50           | 7.33             | 0.88             | 2.31               | 0.24                         | n.d.                          | 6.36                          | 26.99                         | 0.31 | 0.64                          | 0.64                         | 7.14                                    | -0.5 | 3.9  |     |
| 2014/7/9   | 7.61 | 5.70                        | 4.00            | n.d.                         | 0.48           | 5.98             | 0.72             | 2.36               | 0.17                         | n.d.                          | 5.10                          | 22.72                         | 0.08 | 0.54                          | 0.55                         | 6.09                                    | -0.3 | 3.3  |     |
| 2014/7/24  | 7.65 | 6.66                        | 4.64            | n.d.                         | 0.54           | 7.43             | 0.90             | 2.36               | 0.33                         | n.d.                          | 6.55                          | 26.38                         | 0.37 | 0.66                          | 0.64                         | 7.27                                    | 1.5  | 4.4  |     |
| 2014/8/12  | 7.73 | 5.26                        | 4.37            | n.d.                         | 0.46           | 4.73             | 0.65             | 2.19               | 0.04                         | n.d.                          | 3.16                          | 21.50                         | 0.46 | 0.49                          | 0.48                         | 5.30                                    | 1.2  | 0.4  |     |
| 2014/8/27  | 7.70 | 5.80                        | 4.39            | n.d.                         | 0.50           | 5.92             | 0.77             | 2.14               | 0.10                         | n.d.                          | 3.83                          | 24.46                         | 0.07 | 0.56                          | 0.54                         | 6.04                                    | 1.8  | 2.0  |     |
| 2014/9/18  | 7.60 | 6.52                        | 4.49            | n.d.                         | 0.55           | 6.74             | 0.87             | 2.06               | 0.10                         | n.d.                          | 5.42                          | 25.93                         | 0.22 | 0.62                          | 0.60                         | 6.71                                    | 1.6  | 1.5  |     |
| 2014/10/9  | 7.70 | 7.10                        | 4.73            | n.d.                         | 0.64           | 8.04             | 1.06             | 2.08               | 0.30                         | n.d.                          | 7.10                          | 29.65                         | 0.42 | 0.71                          | 0.70                         | 7.83                                    | 0.9  | 4.9  |     |
| 2014/10/30 | 7.72 | 7.29                        | 4.59            | n.d.                         | 0.58           | 7.65             | 1.01             | 1.87               | 0.20                         | n.d.                          | 5.88                          | 29.59                         | 0.22 | 0.68                          | 0.66                         | 7.39                                    | 1.2  | 0.7  |     |
| 2014/11/20 | 7.76 | 7.12                        | 4.54            | n.d.                         | 0.54           | 8.24             | 1.07             | 1.79               | 0.21                         | n.d.                          | 6.50                          | 31.57                         | 0.13 | 0.71                          | 0.71                         | 7.80                                    | 0.3  | 4.6  |     |
| 2014/12/2  | 7.87 | 7.95                        | 5.06            | n.d.                         | 0.62           | 9.41             | 1.22             | 2.14               | 0.30                         | n.d.                          | 8.39                          | 32.94                         | 0.25 | 0.81                          | 0.78                         | 8.84                                    | 1.7  | 5.3  |     |
| 2014/12/22 | 7.69 | 6.52                        | 4.27            | n.d.                         | 0.52           | 7.28             | 0.93             | 2.21               | 0.21                         | n.d.                          | 6.33                          | 26.23                         | 0.44 | 0.64                          | 0.63                         | 7.06                                    | 0.9  | 4.0  |     |
| 2015/1/15  | 7.86 | 7.16                        | 4.41            | n.d.                         | 0.53           | 8.08             | 1.03             | 2.47               | 0.57                         | n.d.                          | 6.28                          | 28.37                         | 0.05 | 0.69                          | 0.67                         | 7.62                                    | 1.4  | 3.1  |     |
| 2015/2/6   | 7.89 | 6.90                        | 4.33            | n.d.                         | 0.52           | 7.52             | 0.96             | 2.23               | 0.31                         | n.d.                          | 6.72                          | 27.15                         | 0.16 | 0.66                          | 0.65                         | 7.31                                    | 0.3  | 2.9  |     |
| 2015/2/27  | 7.81 | 8.05                        | 4.61            | n.d.                         | 0.59           | 9.31             | 1.26             | 2.39               | 0.33                         | n.d.                          | 8.50                          | 31.32                         | 0.65 | 0.78                          | 0.76                         | 8.68                                    | 1.3  | 3.8  |     |
| 2015/3/20  | 7.57 | 4.90                        | 3.72            | n.d.                         | 0.50           | 5.28             | 0.69             | 2.29               | 0.27                         | n.d.                          | 4.49                          | 19.49                         | 0.62 | 0.50                          | 0.48                         | 5.47                                    | 1.4  | 5.5  |     |
| 2015/4/8   | 7.75 | 6.00                        | 3.99            | n.d.                         | 0.49           | 6.55             | 0.82             | 2.24               | 0.17                         | n.d.                          | 5.64                          | 24.16                         | 0.47 | 0.58                          | 0.58                         | 6.47                                    | 0.1  | 3.8  |     |
| 2015/4/30  | 7.67 | 6.79                        | 4.42            | n.d.                         | 0.56           | 7.57             | 0.93             | 2.19               | 0.28                         | n.d.                          | 6.38                          | 27.15                         | 0.85 | 0.66                          | 0.64                         | 7.27                                    | 1.3  | 3.4  |     |
| 2015/5/20  | 7.66 | 6.62                        | 4.23            | n.d.                         | 0.53           | 7.39             | 0.90             | 2.25               | 0.36                         | n.d.                          | 6.24                          | 26.69                         | 0.72 | 0.64                          | 0.64                         | 7.12                                    | 0.3  | 3.6  |     |
| 2015/6/8   | 7.61 | 6.22                        | 4.02            | n.d.                         | 0.48           | 6.96             | 0.85             | 2.21               | 0.32                         | n.d.                          | 5.60                          | 25.62                         | 0.09 | 0.60                          | 0.60                         | 6.72                                    | 0.0  | 3.9  |     |
| 2015/7/2   | 7.43 | 5.03                        | 3.57            | n.d.                         | 0.43           | 4.62             | 0.58             | 2.19               | 0.12                         | n.d.                          | 3.55                          | 19.06                         | 1.09 | 0.45                          | 0.45                         | 4.95                                    | -0.5 | -0.8 |     |
| 2015/7/24  | 7.59 | 5.10                        | 3.90            | n.d.                         | 0.45           | 5.32             | 0.67             | 2.21               | 0.22                         | n.d.                          | 3.80                          | 21.50                         | 0.00 | 0.50                          | 0.50                         | 5.51                                    | 0.4  | 3.9  |     |
| 2015/8/11  | 7.61 | 6.75                        | 4.60            | n.d.                         | 0.57           | 7.43             | 0.92             | 2.16               | 0.24                         | n.d.                          | 6.15                          | 27.76                         | 0.14 | 0.66                          | 0.65                         | 7.26                                    | 1.0  | 3.6  |     |
| 2015/8/26  | 7.65 | 5.95                        | 3.95            | n.d.                         | 0.49           | 5.92             | 0.75             | 2.14               | 0.37                         | n.d.                          | 4.17                          | 22.97                         | 0.12 | 0.54                          | 0.53                         | 5.91                                    | 1.1  | -0.3 |     |
| 2015/9/25  | 7.44 | 5.62                        | 3.82            | n.d.                         | 0.44           | 4.64             | 0.60             | 2.18               | 0.12                         | n.d.                          | 2.91                          | 20.74                         | 0.28 | 0.46                          | 0.46                         | 5.04                                    | -0.6 | -5.5 |     |
| 2015/10/15 | 7.67 | 6.54                        | 4.50            | n.d.                         | 0.50           | 7.25             | 0.91             | 2.12               | 0.17                         | n.d.                          | 5.45                          | 28.21                         | 0.22 | 0.64                          | 0.64                         | 7.06                                    | 0.5  | 3.9  |     |
| 2015/11/4  | 7.65 | 7.24                        | 4.63            | n.d.                         | 0.52           | 8.14             | 1.02             | 2.10               | 0.52                         | n.d.                          | 6.75                          | 29.59                         | 0.55 | 0.71                          | 0.69                         | 7.77                                    | 0.9  | 3.5  |     |
| 2015/11/18 | 7.60 | 6.74                        | 4.27            | n.d.                         | 0.57           | 7.46             | 0.93             | 1.98               | 0.57                         | n.d.                          | 5.19                          | 27.76                         | 1.36 | 0.65                          | 0.63                         | 7.04                                    | 1.7  | 2.2  |     |
| 2015/12/8  | 7.69 | 6.27                        | 4.31            | n.d.                         | 0.49           | 7.15             | 0.90             | 2.13               | 0.30                         | n.d.                          | 5.74                          | 26.54                         | 0.42 | 0.63                          | 0.62                         | 6.93                                    | 0.9  | 5.0  |     |
| 2015/12/24 | 7.59 | 6.58                        | 4.49            | n.d.                         | 0.52           | 7.33             | 0.92             | 2.18               | 0.19                         | n.d.                          | 5.68                          | 27.45                         | 0.38 | 0.65                          | 0.63                         | 7.10                                    | 1.4  | 3.8  |     |

\* 分析値の品質管理: R1 はイオンバランス、R2 は電気伝導率比較が EANET (2010a) の推奨する許容範囲から外れていることを示す。Data quality control abbreviations: R1 and R2 indicate an analytical value that is outside the allowable range for respective R1 (ion balance) and R2 (comparison of electric conductivity) recommendations (EANET 2010a).

表中の n.d. は検出限界以下、n/a は欠測値を示す。Table abbreviations: n.d. indicates that it is below the detection limit; n/a indicates a missing value.



















## Appendix 4e. 四万十川上流域の採水地点 A3 における渓流水分析データ

## Analytical data of streamwater at sampling location A3 in the upper reaches of the Shimanto River

| Date       | pH   | ECobs<br>mS m <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup>    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | Cation<br>μeq L <sup>-1</sup> | Anion<br>μeq L <sup>-1</sup> | EC <sub>cal</sub><br>mS m <sup>-1</sup> | R1   | R2  | QC* |
|------------|------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|------|-----|-----|
|            |      |                             |                 |                              |                |                  |                  | mg L <sup>-1</sup> |                              |                               |                               |                               |      |                               |                              |                                         |      |     |     |
| 2013/9/17  | 7.57 | 9.50                        | 4.41            | n.d.                         | 0.50           | 12.77            | 1.38             | 2.25               | 0.71                         | n.d.                          | 10.42                         | 39.77                         | 0.00 | 0.96                          | 0.94                         | 10.65                                   | 0.6  | 5.7 |     |
| 2013/10/10 | 7.47 | 7.37                        | 3.91            | n.d.                         | 0.47           | 9.40             | 1.14             | 2.04               | 0.75                         | n.d.                          | 5.72                          | 32.33                         | 0.00 | 0.74                          | 0.72                         | 8.07                                    | 1.8  | 4.5 |     |
| 2013/10/22 | 7.48 | 9.25                        | 4.42            | n.d.                         | 0.51           | 12.50            | 1.40             | 2.25               | 0.58                         | n.d.                          | 9.47                          | 39.65                         | 0.09 | 0.94                          | 0.92                         | 10.40                                   | 1.3  | 5.9 |     |
| 2013/10/30 | 7.53 | 7.86                        | 4.13            | n.d.                         | 0.48           | 9.97             | 1.25             | 2.34               | 0.56                         | n.d.                          | 6.77                          | 33.73                         | 0.00 | 0.79                          | 0.77                         | 8.65                                    | 1.5  | 4.8 |     |
| 2013/11/18 | 7.51 | 9.22                        | 4.42            | n.d.                         | 0.53           | 12.92            | 1.39             | 2.16               | 0.52                         | n.d.                          | 9.30                          | 41.42                         | 0.00 | 0.96                          | 0.94                         | 10.60                                   | 1.2  | 7.0 |     |
| 2013/12/13 | 7.56 | 10.21                       | 4.47            | 0.01                         | 0.51           | 13.19            | 1.43             | 2.20               | 0.51                         | n.d.                          | 9.92                          | 41.97                         | 0.48 | 0.98                          | 0.96                         | 10.86                                   | 1.0  | 3.1 |     |
| 2014/1/7   | 7.63 | 10.48                       | 4.56            | n.d.                         | 0.51           | 13.68            | 1.45             | 2.55               | 0.51                         | n.d.                          | 7.92                          | 43.19                         | 0.21 | 1.01                          | 0.95                         | 10.86                                   | 3.1  | 1.8 |     |
| 2014/1/27  | 7.62 | 10.25                       | 4.71            | n.d.                         | 0.53           | 14.60            | 1.52             | 2.60               | 0.47                         | n.d.                          | 8.51                          | 44.47                         | 0.59 | 1.07                          | 0.99                         | 11.40                                   | 4.1  | 5.3 |     |
| 2014/2/20  | 7.53 | 9.71                        | 4.54            | n.d.                         | 0.52           | 13.64            | 1.43             | 2.60               | 0.67                         | n.d.                          | 7.83                          | 40.93                         | 0.49 | 1.01                          | 0.92                         | 10.69                                   | 4.7  | 4.8 |     |
| 2014/3/14  | 7.48 | 8.22                        | 3.93            | n.d.                         | 0.44           | 10.84            | 1.15             | 2.28               | 0.75                         | n.d.                          | 8.77                          | 34.16                         | 0.30 | 0.82                          | 0.82                         | 9.19                                    | 0.0  | 5.6 |     |
| 2014/4/3   | 7.47 | 9.26                        | 4.23            | n.d.                         | 0.48           | 12.16            | 1.29             | 2.22               | 0.56                         | n.d.                          | 9.89                          | 38.39                         | 0.11 | 0.91                          | 0.91                         | 10.18                                   | 0.1  | 4.7 |     |
| 2014/4/23  | 7.79 | 10.13                       | 4.42            | n.d.                         | 0.50           | 13.27            | 1.40             | 2.25               | 0.56                         | n.d.                          | 11.13                         | 41.48                         | 0.34 | 0.98                          | 0.98                         | 11.04                                   | -0.1 | 4.3 |     |
| 2014/5/9   | 7.75 | 10.02                       | 4.61            | n.d.                         | 0.53           | 14.25            | 1.49             | 2.30               | 0.49                         | n.d.                          | 11.94                         | 43.62                         | 0.21 | 1.05                          | 1.04                         | 11.71                                   | 0.5  | 7.8 |     |
| 2014/5/27  | 7.79 | 10.20                       | 4.43            | n.d.                         | 0.49           | 13.49            | 1.38             | 2.24               | 0.64                         | n.d.                          | 11.27                         | 41.97                         | 0.00 | 0.99                          | 1.00                         | 11.16                                   | -0.2 | 4.5 |     |
| 2014/6/17  | 7.66 | 8.99                        | 4.30            | n.d.                         | 0.47           | 12.33            | 1.32             | 2.25               | 0.60                         | n.d.                          | 9.89                          | 39.65                         | 0.00 | 0.92                          | 0.93                         | 10.36                                   | -0.3 | 7.1 |     |
| 2014/7/9   | 7.56 | 8.11                        | 4.12            | n.d.                         | 0.48           | 10.85            | 1.21             | 2.22               | 0.68                         | n.d.                          | 7.79                          | 34.57                         | 0.00 | 0.83                          | 0.80                         | 9.11                                    | 1.8  | 5.8 |     |
| 2014/7/24  | 7.57 | 9.15                        | 4.46            | n.d.                         | 0.51           | 12.55            | 1.37             | 2.38               | 0.59                         | n.d.                          | 9.44                          | 39.45                         | 0.06 | 0.95                          | 0.92                         | 10.42                                   | 1.4  | 6.5 |     |
| 2014/8/12  | 7.71 | 6.89                        | 3.79            | n.d.                         | 0.46           | 7.89             | 1.06             | 2.05               | 0.35                         | n.d.                          | 4.55                          | 29.22                         | 0.32 | 0.66                          | 0.64                         | 7.09                                    | 1.6  | 1.4 |     |
| 2014/8/27  | 7.52 | 7.65                        | 3.99            | n.d.                         | 0.48           | 9.70             | 1.17             | 2.03               | 0.36                         | n.d.                          | 5.58                          | 33.67                         | 0.15 | 0.77                          | 0.73                         | 8.22                                    | 2.3  | 3.6 |     |
| 2014/9/18  | 7.46 | 8.52                        | 4.14            | n.d.                         | 0.49           | 10.63            | 1.29             | 2.03               | 0.28                         | n.d.                          | 7.23                          | 37.52                         | 0.18 | 0.83                          | 0.83                         | 9.13                                    | 0.1  | 3.4 |     |
| 2014/10/9  | 7.59 | 8.93                        | 4.33            | n.d.                         | 0.51           | 12.13            | 1.33             | 2.14               | 0.50                         | n.d.                          | 8.80                          | 39.71                         | 0.00 | 0.92                          | 0.90                         | 10.10                                   | 0.7  | 6.2 |     |
| 2014/10/30 | 7.68 | 9.15                        | 4.25            | n.d.                         | 0.49           | 11.77            | 1.30             | 1.94               | 0.35                         | n.d.                          | 8.10                          | 39.61                         | 0.01 | 0.89                          | 0.88                         | 9.78                                    | 0.8  | 3.3 |     |
| 2014/11/20 | 7.68 | 9.26                        | 4.37            | n.d.                         | 0.48           | 12.57            | 1.40             | 1.95               | 0.23                         | n.d.                          | 9.20                          | 41.48                         | 0.06 | 0.94                          | 0.93                         | 10.39                                   | 0.8  | 5.8 |     |
| 2014/12/2  | 7.74 | 9.94                        | 4.71            | n.d.                         | 0.54           | 13.84            | 1.48             | 2.21               | 0.30                         | n.d.                          | 10.79                         | 42.40                         | 0.12 | 1.03                          | 0.99                         | 11.29                                   | 2.2  | 6.3 |     |
| 2014/12/22 | 7.65 | 9.30                        | 4.19            | n.d.                         | 0.48           | 11.54            | 1.25             | 2.17               | 0.50                         | n.d.                          | 9.14                          | 37.27                         | 0.09 | 0.87                          | 0.87                         | 9.74                                    | 0.2  | 2.3 |     |
| 2015/1/15  | 7.65 | 8.62                        | 3.95            | n.d.                         | 0.46           | 11.11            | 1.18             | 2.52               | 0.73                         | n.d.                          | 7.92                          | 34.83                         | 0.00 | 0.83                          | 0.82                         | 9.25                                    | 1.0  | 3.5 |     |
| 2015/2/6   | 7.68 | 8.97                        | 4.37            | n.d.                         | 0.49           | 12.64            | 1.36             | 2.11               | 0.35                         | n.d.                          | 9.90                          | 40.26                         | 0.05 | 0.95                          | 0.93                         | 10.47                                   | 0.7  | 7.7 |     |
| 2015/2/27  | 7.74 | 9.92                        | 4.39            | n.d.                         | 0.49           | 12.72            | 1.36             | 2.30               | 0.33                         | n.d.                          | 9.95                          | 40.14                         | 0.00 | 0.95                          | 0.94                         | 10.54                                   | 0.8  | 3.0 |     |
| 2015/3/20  | 7.66 | 7.78                        | 3.80            | n.d.                         | 0.45           | 9.57             | 1.08             | 2.17               | 0.50                         | n.d.                          | 6.75                          | 31.11                         | 0.02 | 0.74                          | 0.72                         | 8.15                                    | 1.6  | 2.3 |     |
| 2015/4/8   | 7.68 | 8.82                        | 4.09            | n.d.                         | 0.45           | 11.43            | 1.24             | 2.09               | 0.54                         | n.d.                          | 8.35                          | 37.21                         | 0.00 | 0.86                          | 0.85                         | 9.53                                    | 0.6  | 3.9 |     |
| 2015/4/30  | 7.64 | 9.38                        | 4.19            | n.d.                         | 0.47           | 12.03            | 1.31             | 2.05               | 0.42                         | n.d.                          | 8.90                          | 39.22                         | 0.43 | 0.90                          | 0.89                         | 9.98                                    | 0.5  | 3.1 |     |
| 2015/5/20  | 7.71 | 9.22                        | 4.18            | n.d.                         | 0.46           | 12.12            | 1.29             | 2.17               | 0.52                         | n.d.                          | 9.03                          | 38.86                         | 0.55 | 0.90                          | 0.89                         | 10.02                                   | 0.6  | 4.2 |     |
| 2015/6/8   | 7.65 | 8.86                        | 4.11            | n.d.                         | 0.46           | 11.89            | 1.27             | 2.11               | 0.56                         | n.d.                          | 8.92                          | 37.88                         | 0.07 | 0.89                          | 0.88                         | 9.84                                    | 0.7  | 5.2 |     |
| 2015/7/2   | 7.53 | 7.13                        | 3.59            | n.d.                         | 0.42           | 8.16             | 0.99             | 2.02               | 0.43                         | n.d.                          | 5.53                          | 28.67                         | 0.48 | 0.66                          | 0.65                         | 7.21                                    | 0.5  | 0.6 |     |
| 2015/7/24  | 7.60 | 7.55                        | 3.78            | n.d.                         | 0.45           | 9.11             | 1.07             | 2.11               | 0.45                         | n.d.                          | 5.57                          | 32.03                         | 0.09 | 0.72                          | 0.71                         | 7.85                                    | 0.8  | 1.9 |     |
| 2015/8/11  | 7.66 | 9.46                        | 4.27            | n.d.                         | 0.50           | 11.99            | 1.32             | 2.15               | 0.30                         | n.d.                          | 8.47                          | 39.96                         | 0.14 | 0.90                          | 0.90                         | 9.98                                    | 0.5  | 2.7 |     |
| 2015/8/26  | 7.47 | 7.45                        | 3.67            | n.d.                         | 0.44           | 8.65             | 1.00             | 2.00               | 0.73                         | n.d.                          | 5.50                          | 29.34                         | 0.07 | 0.69                          | 0.66                         | 7.46                                    | 1.6  | 0.1 |     |
| 2015/9/25  | 7.44 | 7.03                        | 3.72            | n.d.                         | 0.43           | 7.84             | 1.02             | 2.01               | 0.44                         | n.d.                          | 4.49                          | 29.83                         | 0.00 | 0.65                          | 0.65                         | 7.07                                    | 0.1  | 0.3 |     |
| 2015/10/15 | 7.72 | 9.24                        | 4.27            | n.d.                         | 0.47           | 11.80            | 1.30             | 2.14               | 0.38                         | n.d.                          | 8.04                          | 39.59                         | 0.14 | 0.89                          | 0.88                         | 9.82                                    | 0.6  | 3.1 |     |
| 2015/11/4  | 7.73 | 9.96                        | 4.45            | n.d.                         | 0.52           | 12.94            | 1.39             | 2.22               | 0.34                         | n.d.                          | 9.48                          | 42.09                         | 0.06 | 0.97                          | 0.96                         | 10.68                                   | 0.6  | 3.5 |     |
| 2015/11/18 | 7.58 | 8.29                        | 3.86            | n.d.                         | 0.45           | 10.53            | 1.13             | 2.03               | 0.64                         | n.d.                          | 6.65                          | 34.65                         | 0.01 | 0.80                          | 0.77                         | 8.69                                    | 1.5  | 2.4 |     |
| 2015/12/8  | 7.76 | 9.38                        | 4.36            | n.d.                         | 0.50           | 12.48            | 1.34             | 2.12               | 0.42                         | n.d.                          | 9.02                          | 40.32                         | 0.00 | 0.94                          | 0.92                         | 10.28                                   | 1.1  | 4.6 |     |
| 2015/12/24 | 7.75 | 8.86                        | 4.24            | n.d.                         | 0.49           | 11.67            | 1.28             | 2.14               | 0.48                         | n.d.                          | 8.05                          | 38.13                         | 0.22 | 0.89                          | 0.86                         | 9.68                                    | 1.4  | 4.4 |     |

\* 分析値の品質管理：R1 はイオンバランス、R2 は電気伝導率比較が EANET (2010a) の推奨する許容範囲から外れていることを示す。Data quality control abbreviations: R1 and R2 indicate an analytical value that is outside the allowable range for respective R1 (ion balance) and R2 (comparison of electric conductivity) recommendations (EANET 2010a).  
 表中の n.d. は検出限界以下、n/a は欠測値を示す。Table abbreviations: n.d. indicates that it is below the detection limit; n/a indicates a missing value.



















## Appendix 6e. 四万十川上流域の採水地点 N2 における渓流水分析データ

## Analytical data of streamwater at sampling location N2 in the upper reaches of the Shimanto River

| Date       | pH   | ECobs<br>mS m <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup>    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | DOC  | Cation<br>μeq L <sup>-1</sup> | Anion<br>μeq L <sup>-1</sup> | EC <sub>cal</sub><br>mS m <sup>-1</sup> | R1   | R2   | QC* |
|------------|------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|------|------|-----|
|            |      |                             |                 |                              |                |                  |                  | mg L <sup>-1</sup> |                              |                               |                               |                               |      |                               |                              |                                         |      |      |     |
| 2012/8/23  | 7.56 | 6.26                        | 4.64            | n.d.                         | 0.51           | 5.66             | 1.25             | 2.15               | 0.73                         | n.d.                          | 3.84                          | 28.30                         | 0.00 | 0.60                          | 0.62                         | 6.59                                    | -1.3 | 2.5  |     |
| 2012/9/12  | 7.55 | 6.01                        | 4.57            | n.d.                         | 0.51           | 5.04             | 1.14             | 2.46               | 0.28                         | n.d.                          | 3.90                          | 25.62                         | 0.61 | 0.56                          | 0.58                         | 6.17                                    | -1.6 | 1.3  |     |
| 2012/10/9  | 7.60 | 5.95                        | 4.65            | n.d.                         | 0.44           | 4.98             | 1.10             | 2.73               | 0.37                         | n.d.                          | 4.65                          | 23.85                         | 0.56 | 0.55                          | 0.57                         | 6.20                                    | -1.6 | 2.1  |     |
| 2012/10/29 | 7.56 | 5.83                        | 4.47            | n.d.                         | 0.37           | 5.28             | 1.00             | 2.66               | 0.48                         | n.d.                          | 5.66                          | 22.77                         | 0.00 | 0.55                          | 0.57                         | 6.28                                    | -2.2 | 3.7  |     |
| 2012/11/12 | 7.67 | 5.52                        | 4.47            | n.d.                         | 0.35           | 5.20             | 0.98             | 2.81               | 0.62                         | n.d.                          | 6.06                          | 21.35                         | 0.00 | 0.54                          | 0.57                         | 6.26                                    | -1.9 | 6.3  |     |
| 2012/12/7  | 7.52 | 5.39                        | 4.19            | n.d.                         | 0.33           | 4.69             | 0.90             | 2.86               | 0.60                         | n.d.                          | 6.51                          | 17.89                         | 0.04 | 0.50                          | 0.52                         | 5.84                                    | -2.0 | 4.0  |     |
| 2012/12/26 | 7.41 | 4.92                        | 4.03            | n.d.                         | 0.30           | 4.61             | 0.88             | 2.84               | 0.51                         | n.d.                          | 6.33                          | 17.45                         | 0.34 | 0.49                          | 0.51                         | 5.69                                    | -2.1 | 7.2  |     |
| 2013/1/18  | 7.54 | 5.07                        | 3.84            | n.d.                         | 0.30           | 4.46             | 0.87             | 2.74               | 0.45                         | n.d.                          | 5.62                          | 16.96                         | 0.00 | 0.47                          | 0.48                         | 5.41                                    | -1.1 | 3.2  |     |
| 2013/2/8   | 7.38 | 4.67                        | 3.74            | n.d.                         | 0.32           | 4.34             | 0.87             | 2.73               | 0.40                         | n.d.                          | 5.23                          | 16.96                         | 0.09 | 0.46                          | 0.47                         | 5.29                                    | -1.1 | 6.2  |     |
| 2013/2/25  | 7.68 | 4.77                        | 3.80            | n.d.                         | 0.33           | 4.40             | 0.89             | 2.72               | 0.25                         | n.d.                          | 5.26                          | 16.88                         | 0.26 | 0.47                          | 0.47                         | 5.31                                    | 0.0  | 5.3  |     |
| 2013/3/15  | 7.67 | 5.30                        | 4.06            | n.d.                         | 0.35           | 4.87             | 0.97             | 2.75               | 0.37                         | n.d.                          | 5.96                          | 18.71                         | 0.07 | 0.51                          | 0.51                         | 5.81                                    | -0.5 | 4.6  |     |
| 2013/4/5   | 7.43 | 6.08                        | 4.23            | n.d.                         | 0.37           | 5.30             | 1.06             | 2.71               | 0.40                         | n.d.                          | 5.94                          | 20.80                         | 0.00 | 0.55                          | 0.55                         | 6.17                                    | -0.2 | 0.7  |     |
| 2013/4/25  | 7.20 | 4.56                        | 3.71            | 0.01                         | 0.40           | 4.34             | 0.89             | 2.76               | 0.51                         | n.d.                          | 4.49                          | 17.14                         | 0.11 | 0.46                          | 0.46                         | 5.22                                    | 0.2  | 6.7  |     |
| 2013/6/5   | 7.30 | 6.59                        | 4.88            | n.d.                         | 0.42           | 6.63             | 1.31             | 2.57               | 0.44                         | n.d.                          | 5.78                          | 26.90                         | 0.00 | 0.66                          | 0.64                         | 7.21                                    | 1.6  | 4.5  |     |
| 2013/6/27  | 7.55 | 4.26                        | 3.73            | n.d.                         | 0.43           | 3.97             | 0.82             | 2.68               | 0.20                         | n.d.                          | 3.45                          | 16.47                         | 0.00 | 0.44                          | 0.42                         | 4.81                                    | 2.1  | 6.1  |     |
| 2013/7/17  | 7.52 | 6.73                        | 4.66            | n.d.                         | 0.45           | 6.02             | 1.19             | 2.66               | 0.41                         | n.d.                          | 5.18                          | 25.25                         | 0.74 | 0.61                          | 0.60                         | 6.74                                    | 0.8  | 0.1  |     |
| 2013/8/9   | 7.56 | 7.06                        | 5.09            | n.d.                         | 0.47           | 6.58             | 1.30             | 2.76               | 0.60                         | n.d.                          | 6.27                          | 26.78                         | 0.36 | 0.67                          | 0.66                         | 7.38                                    | 0.9  | 2.2  |     |
| 2013/8/27  | 7.57 | 7.00                        | 5.28            | n.d.                         | 0.48           | 6.98             | 1.37             | 2.74               | 0.76                         | n.d.                          | 6.36                          | 28.18                         | 0.07 | 0.70                          | 0.68                         | 7.71                                    | 1.4  | 4.8  |     |
| 2013/9/6   | 7.51 | 5.22                        | 4.10            | n.d.                         | 0.43           | 4.17             | 0.86             | 2.83               | 0.25                         | n.d.                          | 4.24                          | 18.06                         | 0.73 | 0.47                          | 0.47                         | 5.25                                    | 0.0  | 0.3  |     |
| 2013/9/17  | 7.72 | 5.88                        | 4.58            | 0.01                         | 0.41           | 5.53             | 1.10             | 2.74               | 0.28                         | n.d.                          | 5.75                          | 22.81                         | 0.00 | 0.58                          | 0.58                         | 6.45                                    | 0.1  | 4.6  |     |
| 2013/10/10 | 7.44 | 4.97                        | 4.11            | n.d.                         | 0.44           | 4.25             | 0.88             | 2.76               | 0.17                         | n.d.                          | 3.28                          | 19.03                         | 0.63 | 0.47                          | 0.46                         | 5.17                                    | 1.5  | 2.0  |     |
| 2013/10/22 | 7.44 | 5.99                        | 4.67            | n.d.                         | 0.44           | 5.65             | 1.12             | 2.79               | 0.25                         | n.d.                          | 5.12                          | 23.36                         | 0.00 | 0.59                          | 0.57                         | 6.45                                    | 1.4  | 3.7  |     |
| 2013/10/30 | 7.54 | 5.18                        | 4.28            | n.d.                         | 0.42           | 4.40             | 0.89             | 2.91               | 0.14                         | n.d.                          | 4.38                          | 18.50                         | 0.17 | 0.49                          | 0.48                         | 5.43                                    | 1.2  | 2.4  |     |
| 2013/11/18 | 7.62 | 5.61                        | 4.44            | n.d.                         | 0.39           | 4.99             | 1.00             | 2.62               | 0.30                         | n.d.                          | 5.30                          | 19.95                         | 0.02 | 0.53                          | 0.52                         | 5.89                                    | 1.7  | 2.5  |     |
| 2013/12/13 | 7.54 | 5.57                        | 4.18            | n.d.                         | 0.37           | 4.72             | 0.94             | 2.67               | 0.31                         | n.d.                          | 5.36                          | 17.69                         | 0.18 | 0.50                          | 0.48                         | 5.59                                    | 2.3  | 0.2  |     |
| 2014/1/7   | 7.59 | 5.71                        | 4.17            | n.d.                         | 0.35           | 4.90             | 0.98             | 3.06               | 0.20                         | n.d.                          | 4.48                          | 18.38                         | 0.45 | 0.52                          | 0.48                         | 5.63                                    | 3.2  | -0.7 |     |
| 2014/1/27  | 7.73 | 5.56                        | 4.35            | n.d.                         | 0.36           | 5.14             | 1.04             | 3.13               | 0.19                         | n.d.                          | 4.84                          | 18.91                         | 0.30 | 0.54                          | 0.50                         | 5.88                                    | 3.7  | 2.8  |     |
| 2014/2/20  | 7.62 | 5.08                        | 4.05            | n.d.                         | 0.37           | 4.84             | 0.98             | 3.01               | 0.31                         | n.d.                          | 4.05                          | 17.89                         | 0.63 | 0.51                          | 0.47                         | 5.48                                    | 4.2  | 3.8  |     |
| 2014/3/14  | 7.58 | 4.38                        | 3.57            | n.d.                         | 0.34           | 3.89             | 0.80             | 2.76               | 0.35                         | n.d.                          | 4.73                          | 15.19                         | 0.30 | 0.42                          | 0.43                         | 4.88                                    | -0.8 | 5.4  |     |
| 2014/4/3   | 7.58 | 5.33                        | 3.97            | n.d.                         | 0.35           | 4.69             | 0.94             | 2.75               | 0.26                         | n.d.                          | 5.25                          | 18.91                         | 0.24 | 0.49                          | 0.50                         | 5.61                                    | -0.8 | 2.6  |     |
| 2014/4/23  | 7.40 | 5.40                        | 4.25            | n.d.                         | 0.39           | 5.32             | 1.07             | 2.66               | 0.23                         | n.d.                          | 5.62                          | 21.55                         | 0.44 | 0.55                          | 0.55                         | 6.16                                    | 0.0  | 6.6  |     |
| 2014/5/9   | 7.32 | 5.43                        | 4.54            | n.d.                         | 0.41           | 5.73             | 1.15             | 2.55               | 0.20                         | n.d.                          | 6.04                          | 23.18                         | 0.09 | 0.59                          | 0.58                         | 6.54                                    | 0.7  | 9.3  |     |
| 2014/5/27  | 7.30 | 5.79                        | 4.30            | n.d.                         | 0.37           | 5.47             | 1.09             | 2.46               | 0.34                         | n.d.                          | 5.28                          | 23.59                         | 0.05 | 0.56                          | 0.57                         | 6.28                                    | -1.1 | 4.0  |     |
| 2014/6/17  | 7.13 | 5.16                        | 4.46            | n.d.                         | 0.41           | 5.69             | 1.13             | 2.69               | 0.20                         | n.d.                          | 5.30                          | 25.07                         | 0.06 | 0.58                          | 0.60                         | 6.55                                    | -1.6 | 11.9 |     |
| 2014/7/9   | 7.04 | 5.43                        | 4.28            | n.d.                         | 0.45           | 4.99             | 1.02             | 2.79               | 0.20                         | n.d.                          | 4.18                          | 21.35                         | 0.01 | 0.53                          | 0.52                         | 5.82                                    | 1.1  | 3.5  |     |
| 2014/7/24  | 7.23 | 6.12                        | 4.87            | n.d.                         | 0.46           | 6.13             | 1.22             | 2.81               | 0.44                         | n.d.                          | 5.29                          | 25.01                         | 0.08 | 0.63                          | 0.61                         | 6.86                                    | 1.9  | 5.7  |     |
| 2014/8/12  | 7.32 | 5.17                        | 4.32            | n.d.                         | 0.49           | 3.99             | 0.81             | 2.51               | 0.10                         | n.d.                          | 3.44                          | 18.91                         | 0.41 | 0.47                          | 0.45                         | 5.08                                    | 1.4  | -0.9 |     |
| 2014/8/27  | 7.11 | 5.69                        | 4.66            | n.d.                         | 0.51           | 5.30             | 1.07             | 2.51               | 0.14                         | n.d.                          | 3.76                          | 23.99                         | 0.00 | 0.57                          | 0.54                         | 6.09                                    | 2.2  | 3.4  |     |
| 2014/9/18  | 7.17 | 6.45                        | 4.78            | n.d.                         | 0.49           | 5.88             | 1.18             | 2.53               | 0.26                         | n.d.                          | 4.38                          | 26.57                         | 0.20 | 0.61                          | 0.60                         | 6.64                                    | 0.7  | 1.4  |     |
| 2014/10/9  | 7.15 | 6.18                        | 4.81            | n.d.                         | 0.49           | 6.00             | 1.20             | 2.42               | 0.33                         | n.d.                          | 4.58                          | 26.84                         | 0.31 | 0.62                          | 0.61                         | 6.73                                    | 0.9  | 4.3  |     |
| 2014/10/30 | 7.39 | 5.81                        | 4.50            | n.d.                         | 0.42           | 5.10             | 1.02             | 2.43               | 0.24                         | n.d.                          | 4.92                          | 22.02                         | 0.00 | 0.54                          | 0.54                         | 6.00                                    | 0.8  | 1.6  |     |
| 2014/11/20 | 7.48 | 5.59                        | 4.43            | n.d.                         | 0.38           | 4.83             | 0.97             | 2.42               | 0.41                         | n.d.                          | 5.41                          | 18.91                         | 0.00 | 0.52                          | 0.50                         | 5.75                                    | 2.5  | 1.4  |     |
| 2014/12/2  | 7.53 | 5.71                        | 4.68            | n.d.                         | 0.40           | 5.28             | 1.06             | 2.74               | 0.59                         | n.d.                          | 5.86                          | 19.93                         | 0.10 | 0.56                          | 0.54                         | 6.22                                    | 2.6  | 4.2  |     |
| 2014/12/22 | 7.67 | 5.69                        | 3.97            | n.d.                         | 0.36           | 4.47             | 0.90             | 2.69               | 0.51                         | n.d.                          | 5.40                          | 17.28                         | 0.03 | 0.48                          | 0.48                         | 5.45                                    | 0.0  | -2.1 |     |
| 2015/1/15  | 7.45 | 4.94                        | 3.96            | n.d.                         | 0.36           | 4.67             | 0.96             | 3.11               | 0.99                         | n.d.                          | 4.31                          | 17.14                         | 0.48 | 0.49                          | 0.47                         | 5.49                                    | 2.0  | 5.3  |     |
| 2015/2/6   | 7.55 | 5.23                        | 4.01            | n.d.                         | 0.34           | 4.61             | 0.94             | 2.63               | 0.19                         | n.d.                          | 5.50                          | 18.24                         | 0.03 | 0.49                          | 0.49                         | 5.55                                    | 0.0  | 3.0  |     |
| 2015/2/27  | 7.26 | 5.77                        | 4.12            | n.d.                         | 0.34           | 5.02             | 1.02             | 2.80               | 0.50                         | n.d.                          | 5.30                          | 19.11                         | 0.33 | 0.52                          | 0.51                         | 5.84                                    | 1.1  | 0.6  |     |
| 2015/3/20  | 7.37 | 4.92                        | 3.74            | n.d.                         | 0.40           | 3.89             | 0.81             | 2.57               | 0.22                         | n.d.                          | 3.93                          | 17.08                         | 0.09 | 0.43                          | 0.44                         | 4.88                                    | -0.5 | -0.4 |     |
| 2015/4/8   | 7.40 | 5.21                        | 3.99            | n.d.                         | 0.38           | 4.68             | 0.95             | 2.52               | 0.31                         | n.d.                          | 4.71                          | 19.22                         | 0.37 | 0.50                          | 0.49                         | 5.51                                    | 0.6  | 2.8  |     |
| 2015/4/30  | 7.18 | 6.21                        | 4.34            | n.d.                         | 0.41           | 5.68             | 1.15             | 2.56               | 0.28                         | n.d.                          | 4.94                          | 23.85                         | 0.25 | 0.58                          | 0.57                         | 6.36                                    | 0.6  | 1.2  |     |
| 2015/5/20  | 7.24 | 5.84                        | 4.16            | n.d.                         | 0.41           | 5.23             | 1.06             | 2.44               | 0.36                         | n.d.                          | 4.57                          | 22.45                         | 0.25 | 0.54                          | 0.54                         | 5.97                                    | 0.2  | 1.1  |     |
| 2015/6/8   | 7.09 | 5.92                        | 4.21            | n.d.                         | 0.43           | 5.45             | 1.11             | 2.39               | 0.28                         | n.d.                          | 4.36                          | 23.22                         | 0.33 | 0.56                          | 0.54                         | 6.07                                    | 1.2  | 1.3  |     |
| 2015/7/2   | 7.15 | 4.82                        | 3.68            | n.d.                         | 0.44           | 3.88             | 0.80             | 2.48               | 0.13                         | n.d.                          | 3.08                          | 17.93                         | 0.28 | 0.43                          | 0.43                         | 4.76                                    | 0.1  | -0.6 |     |
| 2015/7/24  | 7.10 | 5.40                        | 4.02            | n.d.                         | 0.47           | 4.57             | 0.94             | 2.44               | 0.14                         | n.d.                          | 3.35                          | 20.74                         | 0.10 | 0.49                          | 0.48                         | 5.35                                    | 1.2  | -0.5 |     |
| 2015/8/11  | 7.16 | 6.74                        | 4.80            | n.d.                         | 0.50           | 6.31             | 1.26             | 2.43               | 0.27                         | n.d.                          | 4.77                          | 27.45                         | 0.05 | 0.64                          | 0.62                         | 6.92                                    | 1.4  | 1.3  |     |
| 2015/8/26  | 7.16 | 5.49                        | 4.03            | n.d.                         | 0.47           | 4.62             | 0.94             | 2.45               | 0.23                         | n.d.                          | 3.31                          | 20.74                         | 0.68 | 0.50                          | 0.48                         | 5.37                                    | 1.4  | -1.1 |     |
| 2015/9/25  | 7.05 | 5.09                        | 3.98            | n.d.                         | 0.46           | 4.15             | 0.85             | 2.49               | 0.09                         | n.d.                          | 2.84                          | 19.68                         | 0.76 | 0.46                          | 0.45                         | 5.01                                    | 1.0  | -0.7 |     |
| 2015/10/15 | 7.31 | 6.00                        | 4.43            | n.d.                         | 0.41           | 5.25             | 1.05             | 2.50               | 0.18                         | n.d.                          | 4.75                          | 22.57                         | 0.00 | 0.55                          | 0.54                         | 6.06                                    | 0.8  | 0.5  |     |
| 2015/11/4  | 7.33 | 5.98                        | 4.46            | n.d.                         | 0.38           | 5.23             | 1.04             | 2.52               | 0.30                         | n.d.                          | 5.44                          | 21.35                         | 0.04 | 0.55                          | 0.54                         | 6.09                                    | 1.0  | 0.9  |     |
| 2015/11/18 | 7.08 | 5.96                        | 4.34            | n.d.                         | 0.46           | 5.71             | 1.16             | 2.40               | 0.38                         | n.d.                          | 3.82                          | 25.01                         | 0.27 | 0.58                          | 0.56                         | 6.26                                    | 1.6  | 2.4  |     |
| 2015/12/8  | 7.40 | 5.44                        | 4.10            | n.d.                         | 0.38           | 4.75             | 0.96             | 2.46               | 0.23                         | n.d.                          | 4.88                          | 19.15                         | 0.28 | 0.50                          | 0.49                         | 5.56                                    | 1.5  | 1.1  |     |
| 2015/12/24 | 7.39 | 5.57                        | 4.14            | n.d.                         | 0.39           | 4.85             | 0.98             | 2.50               | 0.20                         | n.d.                          | 4.56                          | 19.93                         | 0.02 | 0.51                          | 0.50                         | 5.62                                    | 1.7  | 0.5  |     |

\* 分析値の品質管理: R1 はイオンバランス、R2 は電気伝導率比較が EANET (2010a) の推奨する許容範囲から外れていることを示す。Data quality control abbreviations: R1 and R2 indicate an analytical value that is outside the allowable range for respective R1 (ion balance) and R2 (comparison of electric conductivity) recommendations (EANET 2010a).

表中の n.d. は検出限界以下、n/a は欠測値を示す。Table abbreviations: n.d. indicates that it is below the detection limit; n/a indicates a missing value.































# Monitoring of rainwater and streamwater chemistry from 2000 to 2015 in forested catchments in the upper reaches of the Shimanto River, Shikoku Island, Japan

Hisao SAKAI<sup>1)\*</sup>, Tsuyoshi YAMADA<sup>2)</sup>, Atsushi TORII<sup>3)</sup>, Yoshiki SHINOMIYA<sup>4)</sup>,  
Yoshiyuki INAGAKI<sup>1)</sup>, Shuichiro YOSHINAGA<sup>5)</sup>, Kyotaro NOGUCHI<sup>6)</sup>  
and Tomoaki MORISHITA<sup>6)</sup>

## Abstract

We have been monitoring rainwater and streamwater chemistry in forests located in the upper reaches of the Shimanto River within Yusuhara-cho, Takaoka-gun, Kochi Prefecture, since 2000. The rainwater was collected at one location, whereas streamwater was sampled at run-off points of seven forested catchment basins. In this study, we analyzed data collected from 2000 to 2015 to examine changes in rainwater and streamwater chemistry. In particular, we investigated the effects of the volume of rainfall on water chemistry and the long-term changes. During periods with lower total rainfall, electrical conductivity (EC) was higher and variation in the range of pH was greater. In addition, no long-term trend was observed for rainwater pH, EC (annual average), and annual input of various ions. Although streamwater EC decreased with the increase in cumulative rainfall for 14 days before the sampling day, only a little effect on pH was observed. No long-term change in streamwater pH was found. However, the concentration of dissolved ions such as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{Mg}^{2+}$  tended to decrease in all seven forest watersheds from 2007 to 2015; the decrease in  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  was distinct. We recommend continuous monitoring of these decreasing trends to determine how long they continue.

**Key words :** rainwater chemistry, streamwater chemistry, dissolved ion concentration, long-term changes

---

Received 4 October 2018, Accepted 30 November 2018

1) Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Research Planning and Coordination Department, FFPRI

3) Kansai Research Center, FFPRI

4) Center for Forest Restoration and Radioecology, FFPRI

5) Tama Forest Science Garden, FFPRI

6) Tohoku Research Center, FFPRI

\* Shikoku Research Center, FFPRI, 2-915 Asakuranishi, Kochi, Kochi, 780-8077 JAPAN; e-mail: sakai03@ffpri.affrc.go.jp