

## 論文 (Original Article)

京都府南部の山城試験地 (YMS) 流域における  
2000–2004 年度の水質モニタリング

## —森林降水渓流水質データベースとの比較から明らかになった水質の特徴—

金子 真司<sup>1)</sup>、古澤 仁美<sup>2)</sup>、岡本 透<sup>1)\*</sup>、玉井 幸治<sup>3)</sup>、平野 恭弘<sup>4)</sup>

## 要旨

京都府南部の山城試験地 (YMS) において2000年4月～2005年1月の期間、降雨、林内雨、樹幹流、A0通過水、土壌浸透水、湧水、渓流水の水質を調査した。さらに調査結果を森林総合研究所の森林降水渓流水質データベースのデータと比較して、YMSの水質の特徴を明らかにした。YMSでは全国の観測地と同様の酸性度の降雨が降っており、溶存無機態窒素および非海塩性硫酸イオンの濃度は全国の平均的な値であった。また林内雨や樹幹流では他の観測地に比べてpHおよび全カチオンに占めるK<sup>+</sup>割合が高く、林内雨ではpHおよびK<sup>+</sup>濃度が着葉期に高く落葉期に低い季節変動が認められた。A0層通過水は酸性で溶存有機炭素 (DOC)、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高かった。土壌浸透水もDOC、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高かったが、土壌深度の増加にともなうDOC濃度の低下は認められなかった。渓流水では他の観測地に比べてECがやや高く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>やそのほかイオン濃度が全般に高かった。YMSでは温暖で降水量が少ないために蒸発散によって溶存成分が濃縮されていると推察した。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に関しては、流域内の枯損木から窒素の供給に加えて京阪神地域の人口密集地からの窒素化合物の流入が影響していると考えられた。

キーワード：水質モニタリング、酸性沈着、落葉広葉樹林、FASC-DB、生物地球化学

## 1. はじめに

硫黄酸化物による大気汚染が人の健康や環境に対して悪影響を及ぼすことは古くから知られており、19世紀後半には酸性雨という用語を初めて使用したスミス (Robert Angus Smith) による先駆的な研究もあった (Menz and Seip 2004) が、酸性雨 (酸性降下物) が注目されることになったのは、1968年にスウェーデン科学者のオデン (Svante Odén) の研究成果の新聞掲載がきっかけとなった (Grennfelt et al. 2020)。オデンはヨーロッパにおける降雨や陸水のネットワーク観測の結果に基づき、降雨および陸水のpHが過去10年間に著しく低下しており、そのことがヨーロッパにおける硫黄の排出増加と関係していることを明らかにした (Grennfelt et al. 2020)。1980年にはドイツ人科学者のウルリッヒ (Bernhard Ulrich) が、ゾーリン地区の森林における長期観測に基づき大気汚染物質の大量の沈着が土壌の化学的性質を変化させていることを明らかにするとともに、硫黄の沈着によってヨーロッパの森林が深刻な影響を受けていると警鐘を鳴らした (Ulrich et al. 1980, Ulrich 1984, Grennfelt et al. 2020)。その頃、チェコスロバキア、東ドイツ、ポーランドに囲まれたエリアの森林が硫黄濃度の高い褐炭の排ガスの影響で広範囲に枯れ、新聞紙面はその写真で埋めつくされた

(Grennfelt et al. 2020)。日本では高度成長期の1960年代から大気汚染が深刻になり、大気中の二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) 濃度は1967年には年平均値が58 ppbに達し、都市部における樹木衰退が報告された (山家 1973) が、硫黄酸化物排出に対する総量規制などの排出削減対策によって1974年には大気中のSO<sub>2</sub>濃度は20 ppbまで削減された (芳住 2009)。このため大気汚染の状況が改善したと思われていたが、1970年代に光化学スモッグによる健康被害が発生した (若松 2009)。こうした内外の情勢を踏まえて、環境省は全国規模での降雨水質の通年調査を1983年に5か年計画で開始した (Hara 1993)。1986～1988年度の全国29箇所の調査から降雨pHが4.5～5.2の範囲にあり平均で4.7と酸性の降雨が降っている実態が明らかとなった (Hara 1993)。この頃、関東地方の平野部においてスギが枯れる現象が幅広く認められ、その原因として酸性降下物や光化学オキシダントの影響が指摘された (関口ら 1985, Sekiguchi et al. 1986, Hara 1993)。日本各地の森林における梢端枯れや樹木の枯死についても、酸性降下物や光化学オキシダントの影響が疑われた (高橋ら 1986, 高橋ら 1991, 玉置・小山 1991)。これらを受けて、林野庁は1990年に全国約1000か所の森林を対象に生育状況や降雨水質を5年一巡で調べる酸性雨等森林被害モニタリング事業を開

原稿受付：令和5年1月12日 原稿受理：令和5年3月14日

1) 森林総合研究所 関西支所

2) 森林総合研究所 立地環境研究領域

3) 森林総合研究所 研究ディレクター

4) 名古屋大学大学院 環境学研究所

\* 森林総合研究所 関西支所 〒612-0855 京都市伏見区桃山町永井久太郎68、E-mail: okamoto@ffpri.affrc.go.jp

始した(玉置 1997, 高橋ら 2005, 高橋ら 2006)。森林総合研究所(以後、森林総研と略す)ではこの事業を補完するために、本支所に観測地を設けて森林状態の調査や、降雨や林内雨等の水質の通年観測を行う特定研究「酸性雨等モニタリングステーションの構築(1990~1994年)」を開始した(堀田 1995)。森林総研関西支所では近畿中国森林管理局安祥寺山国有林(京都市山科区御陵安祥寺)のスギ林(以下、安祥寺山スギ林)に試験地を設けて、落葉量と成長量の調査、林外雨、林内雨、樹幹流の流量および水質のモニタリングを行った(金子ら 2004)。森林総研のモニタリングは特定研究「酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング(1995~1999年)」に引き継がれた。2000年にモニタリング内容が見直しされて流出水(渓流水)の水質調査が加わり、「酸性雨等の森林・溪流への影響モニタリング(2000年:特定研究、2001~2004年:交付金プロジェクト)」と名称が変更された(松本・埴田 2005)。安祥寺山スギ林には調査地の近くに溪流が存在するが、流域面積が約200 haと広く、流域内にはスギ以外の広葉樹林やヒノキ林が存在するため、流入と流出の水質成分の対比に適していない。そこで森林総研関西支所では観測地を2000年に量水観測施設のある京都府南部の山城試験地(YMS)に移動した。2観測地の水質の違いを把握するために安祥寺山スギ林における水質観測は2002年12月まで続けた。

YMSは1987年に広葉樹二次林の水源かん養機能評価を目的に開設され(農林水産省農林水産技術会議事務局 1996)、水収支や蒸発散特性等の森林水文(阿部ら 1997, 玉井ら 1996)や土壌の保水特性(荒木ら 1997)が研究され、1999年からは乱流変動法による二酸化炭素フラック

ス観測が行われ、森林の炭素動態に関する様々な研究が精力的に行われている(例えばKominami et al. 2008)。YMS流域では毎木や枯死木の調査が定期的に行われ地上部現存量や純生産量が把握されている(後藤ら 2003, 後藤ら 2004)。本稿で紹介するYMSにおける2000~2004年の水質調査のうち、降雨、林内雨および渓流水の観測結果は森林総研の森林降水渓流水質データベース(FASC-DB)(森林総合研究所 2006)で公表され、窒素に焦点を当てた解析結果(Kaneko et al. 2007)および溶存有機物についての解析結果(Kaneko et al. 2022)も報告されている。しかしながら、A0層(堆積有機物層)通過水、土壌水、湧水のデータはFASC-DBで公表されておらず、多点で調査した渓流水もFASC-DBでは一か所しか公表していない。そこで本報告は2000年4月から2005年1月にかけてYMSで行ったすべての水質モニタリングの結果を報告することを目的とした。さらにFASC-DBのデータに関しては全観測地を対象とした比較検討は行われていないので、まず各観測地の水質データの平均を求めてFASC-DBのデータの特徴を明らかにした上で比較することによって、2000~2004年度の山城試験地流域における酸性化の進行程度や大気汚染の影響の程度を明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究方法

### 2.1 調査地

水質観測は森林総研山城試験地(YMS:京都府木津川市北谷国有林509林班、北緯34度47分20秒、東経135度50分23秒、標高180~255 m、流域面積1.6 ha)で行った(Fig. 1)。YMSおよびその周辺地域は過度の森林の利用によ

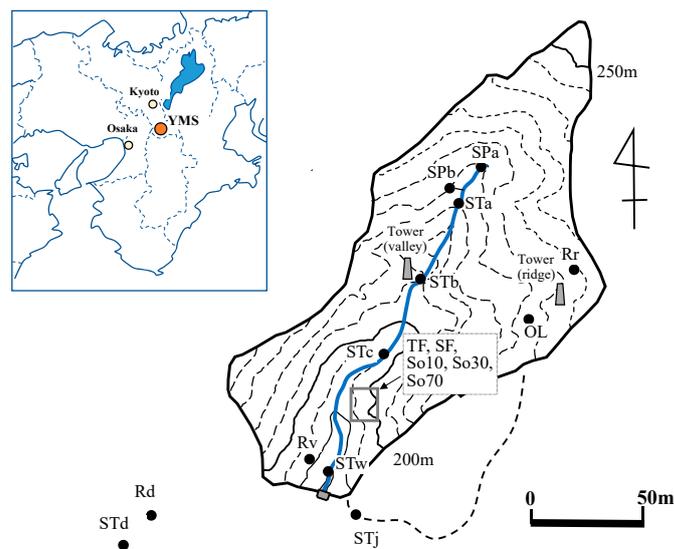


Fig.1. 山城試験地(YMS)における各試料の観測位置

The location of observatory items in Yamashiro experimental forest (YMS)

図中の略号は Table 2 に記載した試料タイプに対応。

The abbreviations in the figure correspond to the sample types listed in Table 2.

て表土が流亡し、明治の初期までは‘はげ山’の状態にあったが、明治政府によって治山・緑化事業が開始され、現在、コナラ、ソヨゴ、リョウブ、ヒサカキ、ネジキ、コバノミツバツツジなどの樹種が生育する森林が成立している(後藤ら 2003)。森林の樹種構成は近畿地方や中国地方のアカマツ林や広葉樹二次林に似ているが、それらと比べて上位の階層の発達が悪く現存量が小さい(後藤ら 2004)。流域の地質は20万分の1シームレス地質図V2(産総研地質調査総合センター 2022)によると、中生代白亜紀の花崗閃緑岩・トナル岩である。土壌はこれら花崗岩類の風化物を母材とし、過去の浸食の影響で土層厚が薄く、保水力が小さく養分量が乏しい褐色森林土あるいは未熟土である(荒木ら 1997, Kaneko et al. 2022)。

## 2.2 観測期間の気象状況

Fig. 2に2000年5月～2004年12月のYMSの月降水量と月流出量を示した。2000年は9月の月降水量が286.5 mmと多かったが、2001、2002年には月降水量が200 mmを超える月はなく全般的に降水量は少なく、2001、2002年の年降水量は1074、1012 mmであった。2003年以降は月降水量が増加し、2003、2004年の年降水量は1737、1684 mmと多かった。降水量の少なかった2001、2002年は流出量も少なく、両年の年流出量は466、272 mmであった。降水量の多かった2003、2004年は流出量も多く、両年の年流出量は946、714 mmであった。調査期間の気温に関して、YMSの北西8 kmの京田辺(北緯34度49分48秒、東経135度45分36秒、標高20 m)の年平均気温が2000～2003年は平年値(15.3°C)の±0.2°C以内であったが2004年は平

年値より0.7°C高かった(気象庁 2022)ことから、2000～2003年の年平均気温は過去の平均値(1994～2002年の平均15.5°C)(Kominami et al. 2008)とほぼ同じであり、2004年はやや高温であったと推察される。

## 2.3 試料の採取・分析方法

試料の採取および分析の方法はKaneko et al. (2007) およびKaneko et al. (2022) で説明したのでここでは概要を紹介する。YMS流域とその周辺で2000年4月から2005年1月にかけて降雨(林外雨)、林内雨、樹幹流、A0層通過水、土壌浸透水、湧水、渓流水の観測を行った(Fig. 1)。降雨は試験地流域の谷部(Rv)と尾根部(Rr)、および試験地流域外(Rd)で採取した。流域内の斜面下部の緩斜面で林内雨(TF)、樹幹流(SF)、土壌浸透水(So10:深さ10 cm、So30:深さ30 cm、So70:深さ70 cm)を採取した。A0層通過水(OL)は尾根付近の平坦な場所で採取した。湧水(SPa, SPb)は溪流最上流部2カ所で採取した。渓流水は流域内の4カ所(STa, STb, STc, STw)と流域下流(STd)およびYMS流域の隣接流域の溪流(STj)を採取した。STdは流域の下流350 mにある砂防堰堤(北緯34度47分11秒、東経135度50分16秒)の水抜口からの流出水であり、Rdはこの砂防堰堤上流側の堆砂地に採取装置を設置した。STjは流域面積が約0.2 haとYMS流域に比べて小さく、夏季には流水が途絶えて採水できない日もあった。各試料の採取装置の仕様をTable 1に示した。Table 2に試料採取装置の設置日、試料採取の開始日と終了日、補足電子資料との対応関係を示した。観測期間は観測対象によって異なり、Rv、Rr、SPb、STb、STc、STw、STjは全期間(2000

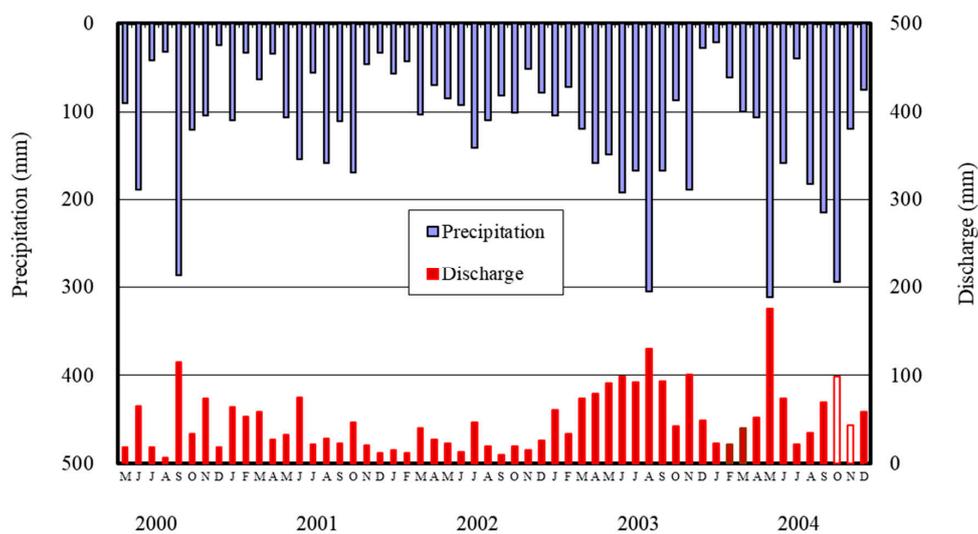


Fig.2. YMS 流域の観測期間の月降水量と月流出量

### Monthly precipitation and monthly discharge during the observation periods in the YMS watershed

2004年10月20日19時～11月16日13時の流量データは欠測。2004年10月、11月の流出量にこの期間のデータは含まれていない。

The discharge data from 19:00 on 20 October to 13:00 on 16 November in 2004 is missing, so the discharge of October and November 2004 do not include data for this period.

Table 1. 採取に用いた装置の仕様とサンプルサイズ

Specifications of the sampling devices and the number of repetitions for sampling			
試料タイプ Sample type	試料採取部 Sampling section	採取容器 Collection container	繰り返し数 Number of replication
降雨 (R) Rain	ポリロート polyethylene funnel (Diameter: 210 mm)	ポリエチレンボトル polyethylene bottle (10 L)	各地点とも N = 1 N = 1 for each site
林内雨 (TF) Throughfall	樹脂製雨樋 plastic trough (750 mm × 270 mm or 100 mm × 1800mm)	ポリエチレンボトル polyethylene bottle (10 L)	N = 3 (2000.7.26-2001.3.7) N = 6 (2001.3.16-2001.3.29) N = 5 (2001.4.13-2001.4.28)
樹幹流 (SF) Stemflow	樹脂製カラー plastic collar	ポリエチレンボトル polyethylene bottle(10 L)	N = 3
A0 層通過水 (OL) O layer leachate	樹脂プレート polyethylene plate (200 mm × 300 mm)	ポリエチレンボトル polyethylene bottle (10 L)	N = 6
土壌浸透水 (So) Soil percolating water	塩ビパイプ polyvinyl chloride pipe (30mm × 300mm)	ポリエチレンボトル polyethylene bottle (10 L)	各深さとも N = 5 N = 5 for each depth
湧水 (SP) Seepage water	手動サンプリング Manual sampling	ガラスびん glass tube (50 mL)	各地点とも N = 1 N = 1 for each site
渓流水 (ST) Stream water	手動サンプリング Manual sampling	ガラスびん glass tube (50 mL)	各地点とも N = 1 N = 1 for each site

年4月～2005年1月) にわたり観測したが、TF、SF、Rd、STd、SPa、STaは2～13か月遅れて観測を開始した。OL、So10、So30、So70は14～18か月遅れて観測を開始し、10か月早く観測を終了した。Rv、Rr、Rd、TF、SF、OL、So10、So30、So70は採取時に水量を測定した。また、SPa、SPb、STa、STb、STc、STd、STj、STwは採取時に水温を測定した。採取した試料のpHとECはpHメーターと電気伝導率計で、無機イオン ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{NH}_4^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ 、 $\text{NO}_2^{-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) はイオンクロマトグラフィー法 (横河アナリティカル、IC 7000S) で、溶存有機炭素・無機炭素 (DOC・IC) は燃焼酸化一赤外吸光法 (島津製作所、TOC5000) で、全窒素 (T-N) はアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解一紫外線吸光度法で測定した (都築・内野 1996)。溶存シリカ (Si) はモリブデン酸黄法で定量した (川村・後藤 1996)。さらに採取試料

の紫外部 (波長240 nmと260 nm) の光路長1 cmの吸光度を測定した。湧水・渓流水はpH7前後であることから、ICはすべて炭酸水素イオン ( $\text{HCO}_3^{-}$ ) の形態で存在するとみなした。T-Nと溶存無機窒素 ( $\text{DIN}$ :  $\text{NH}_4^{+}$ -Nと $\text{NO}_3^{-}$ -Nと $\text{NO}_2^{-}$ -Nの合計) の差を溶存有機窒素 (DON) とした。

## 2.4 データの集計・表記

### 2.4.1 水量計算

降雨 (Rv、Rr、Rd) はタンクに貯まった雨水 (mL) を採取部のロートの面積で除して雨量 (mm) を求めた。TFも同様にタンク内の林内雨 (mL) を採水部の雨樋の面積で除して林内雨量 (mm) とした。樹幹流量 (mm) は樹幹流量 (mL) を調査木の樹冠面積で除して求めた。北海道の広葉樹林において樹冠投影面積と胸高断面積との間に一次の関係が認められている (菊沢ら 1986) ことから、調査木3

Table 2. 各試料の調査期間と補足電子資料との対応  
Observation period of each sample and the correspondence with supplementary data

略号 Code	試料タイプ Sample type	装置設置日 Installation date	試料採取開始日 Date of first sample	試料採取終了日 Date of last sample	補足電子資料 Supplementary data
Rv	降雨 Rain	2000/4/18	2000/4/25	2005/1/19	Table S1
Rr		2000/4/18	2000/4/25	2005/1/19	Table S2
Rd		2000/10/3	2000/10/24	2004/12/21	Table S3
TF	林内雨 Throughfall	2000/6/29	2000/7/26	2005/1/19	Table S4
SF	樹幹流 Stemflow	2000/7/26	2000/8/10	2005/1/19	Table S5
OL	A0 層通過水 O layer leachate	2001/10/24	2001/11/8	2004/3/25	Table S6
So10	土壌浸透水 Soil percolating water	2001/6/13	2001/6/26	2004/3/25	Table S7
So30		2001/6/13	2001/6/26	2004/3/25	Table S8
So70		2001/6/13	2001/6/26	2004/3/25	Table S9
SPa	湧水 Seepage water		2001/5/29	2005/1/19	Table S10 & S11
SPb			2000/4/25	2005/1/19	Table S12 & S13
STa	渓流水 Stream water		2001/5/29	2005/1/19	Table S14 & S15
STb			2000/4/25	2005/1/19	Table S16 & S17
STc			2000/4/25	2005/1/19	Table S18 & S19
STw			2000/4/18	2005/1/19	Table S20 & S21
STd			2001/2/22	2005/1/19	Table S22 & S23
STj			2000/4/18	2003/3/20	Table S24 & S25

本の胸高断面積 (0.080 m<sup>2</sup>) とYMS流域の胸高断面積合計 (20.72 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) (後藤ら 2003) の比率から調査木3本の樹冠面積を38.69 m<sup>2</sup>と推定した。

#### 2.4.2 紫外線吸光特性

環境中の水は溶存有機物を含むために紫外域の光を吸収する性質があり、200～400 nm において光吸収は波長の減少にともなって単調に増加するパターンを示す (American Water Works Association 2017) ことから、本研究では波長240 nmと260 nmの吸光度 (UV<sub>240</sub>, UV<sub>260</sub>) を測定した。海外の研究では溶存有機物の濃度推定は波長254 nmで測定されることが多い (Inamdar et al. 2012) ので、次式①から1 cmの波長254 nmの吸光度 (UV<sub>254</sub>) を推定した。

$$UV_{254} = UV_{260} - (UV_{260} - UV_{240}) * (260 - 254) / (260 - 240) \cdots \textcircled{1}$$

さらにDOC濃度1 mg L<sup>-1</sup>あたりの紫外吸光度SUVA (Specific UV Absorption)はDOCの性質を示す指標となる (眞家 2009) ことから、SUVA<sub>254</sub>を計算した。

$$SUVA_{254} = UV_{254} / \text{DOC濃度 (mg L}^{-1}\text{)} \times 100 \cdots \textcircled{2}$$

SUVA<sub>254</sub>は光路長1 m、DOC濃度1 mg L<sup>-1</sup>あたりの254 nmにおける吸光度である (眞家 2009)。

#### 2.4.3 平均値の計算方法

Table S1～3 の降雨 (Rv、Rr、Rd)、Table S10～25の湧水 (SPa、SPb) と渓流水 (STa、STb、STc、STw、STd、STj) は測定値を掲載したが、Table S4～9のTF、SF、OL、So10、So30、So70は測定値を水量で重みづけして加重平均値を求めて掲載した。pHはH<sup>+</sup>濃度の加重平均値の逆数の常用対数を示した。Table 7～9に年度および全期間の平均を試料タイプごとに示した。湧水と渓流水 (Table 9) は単純平均を示し、それ以外 (Table 7、8) は水量重みづけ加重平均を示した。なお、ここでの年度は日本の会計年度のことで期間は4月1日から翌年の3月31日である。森林総合研究所の水質モニタリングの集計は年単位 (1-12月) で行うことになっているが、本報告では観測対象によっては調査期間が3年と短いことから、すべて年度の平均を算出した。

#### 2.4.4 FASC-DB公表データ

「はじめに」で述べたように、降雨 (Rv、Rr、Rd) とTF、渓流水のSTwの観測結果はFASC-DBに公表しているが、それ以外の観測結果は今回が初めての発表である。FASC-DBで公表している試料でも分析項目によっては今回初めて発表するものもある。そこで、FASC-DBで試料タイプごとにどの分析項目が公表されているかが分かるようにTable 3に示した。既報のものは○としたが、TFはFASC-DBでは単純平均であり今回は試料量で重みづけし

た加重平均値であるので△とした。

#### 2.5 他の観測地の水質との比較

FASC-DBに収録された他の観測地の水質データとの比較において、降雨データは本試験と観測時期がほぼ同じである水質モニタリング第3期 (2000～2004年度) の降雨データを対象に観測期間の加重平均値 (降水量で重みづけ) を計算し、Rv、Rr、Rdの平均 (Table 7) と比較した。採取方法の異なる「バルク (湿性+乾性)」と「湿性のみ」の2つデータがFASC-DBに収録されている九州支所構内の降雨については、「バルク」と「湿性のみ」のデータに大きな違いがなかったこととその他の観測地はすべてバルクのデータであったことから「バルク」のデータのみを比較に用いた。林内雨と樹幹流に関しては、第3期はほとんどの観測地で観測されていないので、第2期のデータ (1995～1999年度) を比較対象に用いた。第3期のデータがある観測地については第3期のデータも解析の対象に加えた。渓流水のデータは大半が第3期のものであるが、第2期のデータがある場合はそれらも含めて単純平均を計算して比較の対象とした。降雨中のNa<sup>+</sup>モル濃度に0.06028を乗じて海塩起源のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を推定し (原 1997)、それ以外を非海塩性の硫酸イオン (nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) とした。なお、比較したFASC-DBのデータ各観測地の降雨の測定期間、緯度・経度、標高をTable 4に示した。

### 3. 結果

#### 3.1 降雨水質

調査期間の降雨 (Rv、Rr、Rd) の観測期間の加重平均はpHが4.76～4.84と酸性でECは1.32～1.51 mS m<sup>-1</sup>と低かった (Table 5)。DOCとT-Nの平均濃度もそれぞれ1.37～1.91 mg C L<sup>-1</sup>、0.46～0.56 mg N L<sup>-1</sup>と低濃度であり、UV<sub>254</sub>も0.022～0.027と低く、SUVA<sub>254</sub>も0.81～1.33 L mg C<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>と低かった。イオンに関しては、カチオンではH<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が、アニオンではCl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が主なイオンであり、いずれも同程度含まれていた (Table 6)。各年度の年降水量は2000年度のRdを除くと3箇所 (Rv、Rr、Rd) はほぼ等しく、年度ごとに比較すると2001、2002年度は1200 mm以下と少なく、2003、2004年度は1350 mm以上と多かった (Fig. 3)。なお、2000年度のRdの降水量が他の地点に比べて少ないのは測定の開始が半年遅かったためである。降雨のpHについては3箇所の年平均が全期間を通して4.44～5.08の範囲にあり、2001年度が4.44～4.68とやや低く、2000、2002年度が4.86～4.92とやや高かった (Fig. 3、Table 7)。降雨のECは2000年度から2004年度にかけて低下傾向にあり、2004年度のECは0.91～1.17 mS m<sup>-1</sup>と最も低かった。nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やDINも2000から2004年度にかけて低下傾向にあり、2001年度はnss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、DINとも0.025～0.31 mg S L<sup>-1</sup>、0.12～0.28 mg N L<sup>-1</sup>と最も濃度が低かった。Rv、Rr、Rdの平均を森林総研の他の観測地の降雨水質と

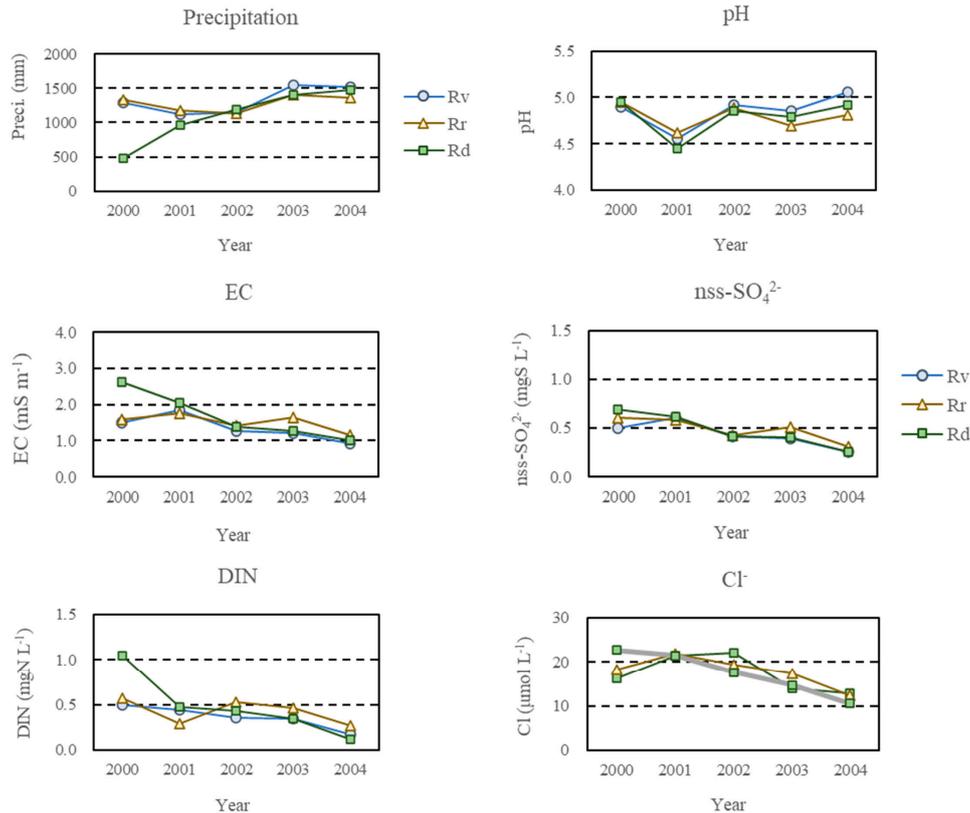


Fig. 3. 観測期間中の各年度の年降水量および降雨中主成分の年平均の変動  
Changes in the annual precipitation and yearly average of major constituents in the bulk rain on a fiscal year basis during the observation period

比較すると、pHは全国の観測地平均 (4.77) に近い値であり、ECもほぼ平均 (1.70 mS m<sup>-1</sup>) に近かった (Table 10)。イオン濃度に関してはNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>が観測地平均 (Na<sup>+</sup>: 31.0 μmol L<sup>-1</sup>, Cl<sup>-</sup>: 37.0 μmol L<sup>-1</sup>) に比べて低く、Ca<sup>2+</sup>が観測地平均 (7.6 μmol L<sup>-1</sup>) より高く、そのほかのイオンは概ね観測地平均に等しかった。nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とDINは観測地平均 (nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 0.44 mgS L<sup>-1</sup>, DIN: 0.44 mgN L<sup>-1</sup>) に近く、nss-SとDINの比 (nss-S/DIN) は観測地平均 (1.14) と同じであった。

### 3.2 林内雨と樹幹流

TFのpH、ECは観測期間の加重平均は5.48、2.50 mS m<sup>-1</sup>であり、いずれも降雨に比べて高く、DOCも6.05 mgC L<sup>-1</sup>と降雨より高濃度であった (Table 5)。H<sup>+</sup>以外のイオンの濃度も降雨に比べて全般に高く、特にMg<sup>2+</sup>とK<sup>+</sup>がそれぞれ12.0、73.9 μmol L<sup>-1</sup>と高かった (Table 6)。年度ごとに比較すると、林内雨量は降雨と同様に2000、2001年度が少なく、2003、2004年度が多かった (Table 8)。pHは2001年度がやや低かった以外ほぼ一定であったが、ECは2000年度から2001年度にかけて上昇し、その後2004年度にかけて低下した。イオンも多くが2000年度から2001年度にかけて上昇し、その後低下するECと同様の経年変化のパターンを示した。季節的には着葉期の4月後半から12月

初めまではpHが5.5以上の場合が多いのに対して、落葉期の12月後半から4月初めはpHが5.5以下の場合が多かった。着葉期のK<sup>+</sup>濃度は全般に高めであり、特に春と秋が高かった。それに対して1~3月は100 μmol L<sup>-1</sup>以下になる場合が多かった (Table S4)。森林総研の他の観測地のTFと比較すると、YMSのpHは観測地平均 (5.08) に比べて高く、全体でも北海道支所のエゾマツ林 (5.77) に次いで高かったが、ECは観測地平均 (3.03 mS m<sup>-1</sup>) よりやや低かった (Table 11)。イオン濃度 (単位μmol L<sup>-1</sup>) は、H<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>が全国平均 (H<sup>+</sup>: 9.9, Na<sup>+</sup>: 50.4, Cl<sup>-</sup>: 76.9) に比べて低く、K<sup>+</sup>は全国平均 (45.9) より高かった。SFに関しては、観測期間の加重平均のpH、ECがそれぞれ5.70、2.99 mS m<sup>-1</sup>と降雨に比べて高く、DOCも15.34 mgC L<sup>-1</sup>と高濃度であった (Table 4)。イオンはCa<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>がそれぞれ、42.7、82.0、44.5、35.0 μmol L<sup>-1</sup>と高濃度であった (Table 6)。年度間の変動をみると、樹幹流量は林内雨量と同様に2000、2001年度が少なく、2003、2004年度が多かった (Table 8)。ECとイオン濃度は2000年度から2001年度にかけて上昇し、その後2004年度にかけて低下した。森林総研のSFの観測値と比較すると、YMSのpHは全国平均 (4.59) より高く、ECは平均 (6.25 mS m<sup>-1</sup>) の半分程度と低かった (Table 12)。イオン濃度に関しては、H<sup>+</sup>は全国平均 (61.8 μmol L<sup>-1</sup>) に比べてかなり低く、Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>も全国

Table 3. 本論文のデータとFASC-DB<sup>a</sup>掲載データとの関係  
Relationships between the data in this study and the data in the FASC-DB<sup>a</sup>

Sample	Water amount	Water temp.	pH	EC	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cat.	Ani.	C/A	DOC	DON	DOC/DON	T-N	UV <sub>260</sub>	UV <sub>240</sub>	UV <sub>254</sub>	SUVA <sub>254</sub>	
Rv	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rr	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rd	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TF	○		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
SF	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
OL	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
So10	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
So30	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
So70	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SPa	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SPb	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STa	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STb	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STc	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STw	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
STd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STj	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> FASC-DB: 森林降水溪流水質データベース (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/fasc/index.html>). 表中の記号○: FASC-DB で公表、△: FASC-DB のデータは平均値の計算方法が異なる、—: FASC-DB: で未発表。

Forest atmospheric deposition and stream water chemistry data base (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/fasc/index.html>). ○: presented in the FASC-DB. △: presented in the FASC-DB but means were calculated differently. —: no presented in the FASC-DB.

平均 ( $\text{Na}^+$ :  $63.2 \mu\text{mol L}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^-$ :  $120.2 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) より低かったが、 $\text{K}^+$ はほぼ全国平均 ( $88.4 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) に近い値であった。

### 3.3 A0 層通過水と土壌浸透水

OLのpHは観測期間の加重平均が4.60と低く、ECとDOCはそれぞれ $8.65 \text{ mS m}^{-1}$ 、 $33.33 \text{ mgC L}^{-1}$ と高かった (Table 5)。イオンの平均濃度は全般に高く、特に $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ はそれぞれ199.0、177.2、163.4、 $315.7 \mu\text{mol L}^{-1}$ と高かった (Table 6)。年度ごとに比較すると、2003年度は2001、2002年度に比べてはpH、ECが低く、多くのイオンも2003年度の濃度が低かった (Table 8)。

土壌浸透水は、So10、So30、So70と土壌深度が増すにつれてpHとECの加重平均が上昇した (Table 5)。DOC平均濃度は $13.87 \sim 22.77 \text{ mgC L}^{-1}$ とOLよりやや低濃度であった。また土壌深度間の濃度の違いは明瞭ではなかった。イオン濃度は全般に高く $\text{Na}^+$ はOLとほぼ同程度の濃

度であった。土壌深度で比べると最下層のSo70は $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 濃度がSo10やSo30に比べて高かった (Table 6)。土壌浸透水はデータ数が少なく年度間の違いを見出すことは困難であった。

### 3.4 湧水と渓流水

観測期間の平均を比べると、湧水 (SPa、SPb) と渓流水 (STa、STb、STc、STw、STd、STj) のpHは6.91~7.13の範囲にあり地点間の差は少なかった (Table 5)。ECはSpa ( $7.49 \text{ mS m}^{-1}$ )、SPb ( $6.17 \text{ mS m}^{-1}$ ) と湧水2地点でやや異なり、渓流水ではSTa、STb、STc、STwと下流に向かうにつれて低下していき、流域下流のSTd ( $5.87 \text{ mS m}^{-1}$ ) が最も低かった。DOCの平均濃度は $0.98 \sim 1.01 \text{ mgC L}^{-1}$ と湧水で低く、渓流水は流域内では下流に向かって濃度が高まる傾向にあり、STwは $2.40 \text{ mgC L}^{-1}$ と最も高かったが、下流のSTdでは $1.53 \text{ mgC L}^{-1}$ とやや低かった。隣接流域のSTjはDOC平均濃度が $3.64 \text{ mgC L}^{-1}$ と調査した湧水・渓流水の中

Table 4. 比較に用いた FASC-DB のデータ

#### FASC-DB data used for the comparison

担当組織 Responsible organization	試料タイプ* Sample Type	観測地 (森林タイプ・樹種: 観測年月) Monitoring site (Forest type or Tree species: observation date)
北海道支所 Hokkaido R.C.	R	支所構内 R.C. premises (2000.1 ~ 2004.12)、定山溪試験地 Jozankei (2000.5 ~ 2000.12)
	TF	支所構内 R.C. premises (トドマツ林 sakhalin fir forest、エゾマツ林 yezo spruce forest : 1995.5 ~ 1999.12)、定山溪試験地 Jozankei (針広混交林 natural forest 2 sites : 2001.5 ~ 2004.12)
	SF	支所構内 R.C. premises (トドマツ <i>Picea jezoensis</i> 、エゾマツ <i>Abies sachalinensis</i> : 1995.5 ~ 1999.12)
	ST	定山溪試験地 Jozankei (2000.5 ~ 2004.12)
東北支所 Tohoku R.C.	R	姫神試験地 Himekami (2000.1 ~ 2004.12)
	TF	姫神試験地 Himekami (カラマツ林 larch forest : 1995.4 ~ 1999.12)
	SF	姫神試験地 Himekami (カラマツ <i>larix kaempferi</i> : 1995.4 ~ 1999.12)
	ST	釜淵試験地 Kamabuchi 2 sites (2000.1 ~ 2004.12)、姫神試験地 Himekami (2001.4 ~ 2004.12)
森林総合研究所本所 FFPRI H.C.	R	宝川試験地 Takaragawa (2000.8 ~ 2004.12)、桂試験地 Katsura (2000.6 ~ 2004.12)、本所構内 H.C. premises (2000.1 ~ 2004.12)
	ST	宝川試験地 Takaragawa (2000.5 ~ 2004.12)、桂試験地 Katsura (2000.6 ~ 2004.12)
木曾試験地 Kiso E.S.	R	田の原 Tanohara (2000.7 ~ 2004.12)、八海山荘 Hakkaisansou (2000.9 ~ 2004.12)、試験地構内 E.S. premises (2001.9 ~ 2004.12)、
	TF	田の原 Tanohara (トウヒ・コメツガ天然林 Natural forest : 1995.6 ~ 1999.11)
	SF	田の原 Tanohara (コメツガ <i>Tsuga diversifolia</i> 、シラビソ <i>Abies veitchii</i> 、ダケカンバ <i>Betula ermanii</i> 、トウヒ <i>Picea abies</i> : 1995.6 ~ 1999.11)
	ST	鈴ヶ沢 Suzugasawa (1996.8 ~ 1999.1)、南股 Minamimata (2003.4 ~ 2004.12)、中山沢 Nakayamazawa (2003.4 ~ 2004.12)、センミ沢 Senmisawa (2005.10 ~ 2008.12)、白川 Sirakawa (2005.10 ~ 2008.12)、瀬戸川 Setogawa (2005.10 ~ 2008.12)、東俣沢 Higashimatazawa (2005.10 ~ 2008.12)
関西支所 Kansai R.C.	R	安祥寺山国有林 Anshoji (2000.1 ~ 2002.12)、支所構内 R.C. premises (2000.1 ~ 2004.12)
	TF	安祥寺山国有林 Anshoji (スギ人工林 Sugi forest : 1995.1-2002.12)
	SF	安祥寺山国有林 Anshoji (スギ <i>Cryptomeria japonica</i> : 1995.1-2002.12)
	ST	安祥寺山国有林 Anshoji (1995.1 ~ 2003.1)
四国支所 Sikoku R.C.	R	支所構内 R.C. premises (2000.1 ~ 2004.12)
	TF	支所構内 R.C. premises (ヒノキ人工林 hinoki forest : 1995.1 ~)
	SF	支所構内 R.C. premises (ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i> : 1995.1 ~)
	ST	鷹取山国有林 Takatori 2 sites (2000.1 ~ 2004.12)
九州支所 Kyushu R.C.	R	支所構内 R.C. premises (2000.1 ~ 2004.12)
	TF	支所構内 R.C. premises (コジイ人工林 kojii forest : 1995.1 ~ 2004.12)、支所構内 R.C. premises (スギ人工林 sugi forest : 1995.1 ~ 1996.12)、支所構内 R.C. premises (ヒノキ人工林 hinoki forest : 1995.1 ~ 1996.7)
	SF	支所構内 R.C. premises (コジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> : 1995.1 ~ 2004.12)、支所構内 R.C. premises (スギ <i>C. japonica</i> : 1995.1 ~ 1996.12)、支所構内 R.C. premises (ヒノキ <i>C. obtusa</i> : 1995.1 ~ 1996.7)
	ST	鹿北試験地 Kahoku (2000.9 ~ 2004.12)

a R: rain, TF: throughfall, SF: stemflow, ST: stream water.

で最も高かった。T-NはSTdで低く、STjでやや高く、そのほかの湧水・渓流水は1.21~1.38 mgN L<sup>-1</sup>であった。湧水・渓流水のUV<sub>254</sub>はDOCの変動パターンに似てSPa、SPbで低く、下流になるほど高くなるが、STdでは低くSTjで

**Table 5. 山城試験地の試料タイプごとの水フラックス、水温・水質成分の観測期間平均**  
**Water flux, and average values of water temperature and chemical constituents of stream water for each sample type during the observation period in the YMS**

試料タイプ Sample type	水フラックス <sup>a</sup> Water flux (mm)	水温 <sup>b</sup> W.T.(°C)	pH <sup>c</sup>	EC <sup>d</sup> mS m <sup>-1</sup>	DOC <sup>d</sup> mgC L <sup>-1</sup>	DON <sup>d</sup> mgN L <sup>-1</sup>	DOC/DON <sup>d</sup>	T-N <sup>d</sup> mgN L <sup>-1</sup>	UV <sub>254</sub> <sup>d</sup>	SUVA <sub>254</sub> <sup>d</sup> L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	Si <sup>d</sup> mgSi L <sup>-1</sup>
Rv	6631.2	ND	4.84	1.32	1.37	0.04	21.1	0.46	0.027	1.26	ND
Rr	6460.8	ND	4.78	1.51	1.46	0.04	16.5	0.56	0.025	0.81	ND
Rd	5500.9	ND	4.76	1.48	1.91	0.05	23.6	0.49	0.022	1.33	ND
TF	4336.1	ND	5.48	2.50	6.05	0.20	46.9	0.91	0.150	2.77	ND
SF	155.4	ND	5.70	2.99	15.34	0.47	33.1	0.96	0.464	3.21	ND
OL	--	ND	4.60	8.65	33.33	1.40	26.0	5.75	1.257	3.85	ND
So10	--	ND	4.61	4.95	16.84	0.58	30.4	2.22	0.514	3.08	ND
So30	--	ND	4.95	5.06	13.87	0.59	26.6	2.52	0.362	2.64	ND
So70	--	ND	5.18	6.11	22.77	0.85	35.9	2.47	0.721	3.08	ND
SPa	--	15.2	6.93	7.49	1.01	--	--	1.36	0.035	3.81	12.8
SPb	--	14.5	7.09	6.17	0.98	--	--	1.38	0.033	3.68	12.2
STa	--	14.6	7.09	7.01	2.25	--	--	1.21	0.094	4.27	12.2
STb	--	14.6	7.13	6.76	1.82	--	--	1.36	0.071	4.09	12.2
STc	--	14.6	7.06	6.66	2.11	--	--	1.34	0.072	3.58	11.2
STw	--	15.2	7.12	6.45	2.40	--	--	1.23	0.091	3.84	11.1
STd	--	15.1	6.94	5.87	1.53	--	--	0.89	0.035	2.54	9.1
STj	--	15.0	6.91	6.27	3.64	--	--	2.04	0.124	3.26	10.1

a 水フラックスは試料の水量から推定した。b 水温の単純平均値。c 平均 pH は湧水と渓流水以外の試料 (Rv, Rr, Rd, TF, SF, OL, So10, So30, So70) ではプロトンの加重平均値から求め、湧水と渓流水 (SPa, SPb, STa, STb, STc, STw, STj, STd) ではプロトンの単純平均値から求めた。d pH 以外の成分は湧水と渓流水以外の試料では加重平均値、湧水と渓流水では単純平均値。

a Water flux was estimated by the water amount, b The values showed simple average of water temperature, c The pH values were obtained by the volume-weighted average of H<sup>+</sup> for the samples except seepage and stream waters (Rv, Rr, Rd, TF, SF, OL, So10, So30, So70), and those were obtained by the simple average for seepage and stream waters (SPa, SPb, STa, STb, STc, STw, STj, STd). d The values were the volume-weighted average for the samples except seepage and stream waters, those were simple average for seepage and stream waters.

**Table 6. 山城試験地の試料タイプごとの観測期間の平均イオン濃度**  
**Average ion concentrations during the observation period for each sample type in the YMS**

試料タイプ Sample type	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cations μeq L <sup>-1</sup>	Anions μeq L <sup>-1</sup>	C/A
Rv	14.6	13.8	8.4	11.1	9.9	2.8	17.0	14.1	0.4	0.2	14.0	ND	73.2	60.0	1.22
Rr	16.7	16.2	3.7	12.6	12.8	3.4	17.8	17.7	0.4	0.1	16.1	ND	81.7	68.5	1.19
Rd	17.6	13.0	3.8	13.5	11.6	2.6	16.1	14.2	0.5	0.2	14.1	ND	76.4	59.5	1.28
TF	3.3	17.0	73.9	26.0	24.8	12.0	39.7	27.7	1.3	0.2	25.5	ND	193.8	120.5	1.68
SF	2.0	22.9	82.0	12.2	42.7	26.4	44.5	25.1	0.7	0.3	35.0	ND	257.2	141.7	2.43
OL	25.0	58.2	177.2	34.8	199.0	87.1	163.4	315.7	1.9	0.8	63.0	ND	867.4	637.0	1.65
So10	24.3	61.1	27.0	17.5	97.4	17.3	69.0	128.8	1.1	0.1	42.1	ND	359.3	298.1	1.23
So30	11.2	78.5	24.5	14.9	86.3	17.2	59.0	126.7	0.7	0.6	39.8	ND	374.5	322.5	1.20
So70	6.7	156.8	14.1	8.6	153.0	30.8	138.6	137.6	0.9	4.6	53.8	ND	550.8	415.2	1.36
SPa	0.1	482.0	21.1	7.5	68.9	29.3	162.4	85.9	0.5	0.0	92.2	251.7	697.7	683.6	1.03
SPb	0.1	360.8	19.1	7.3	63.4	26.8	130.7	75.5	0.3	0.0	80.0	185.5	561.5	549.7	1.03
STa	0.1	390.8	25.8	6.6	78.0	34.3	155.3	67.1	0.4	0.0	84.7	235.4	639.3	626.7	1.03
STb	0.1	401.7	23.9	6.8	69.3	30.2	151.5	82.3	0.4	0.0	85.5	202.9	619.1	607.2	1.03
STc	0.1	344.2	28.1	6.1	81.5	38.8	145.2	76.6	1.2	0.0	81.4	212.1	612.3	597.1	1.04
STw	0.1	331.8	30.5	6.1	81.2	39.4	142.6	71.9	0.4	0.0	78.6	219.7	598.6	589.5	1.03
STd	0.1	276.2	22.4	5.2	83.8	34.4	122.5	49.8	0.5	0.0	68.8	224.7	540.4	536.3	1.01
STj	0.1	256.4	29.1	6.1	90.1	46.0	142.1	118.8	0.4	0.0	67.7	133.1	564.2	529.9	1.07

湧水と渓流水以外の試料 (Rv, Rr, Rd, TF, SF, OL, So10, So30, So70) のイオン濃度は加重平均値。湧水と渓流水 (SPa, SPb, STa, STb, STc, STw, STj, STd) のイオン濃度は単純平均値。

The values were the volume-weighted average for the samples except seepage and stream waters (Rv, Rr, Rd, TF, SF, OL, So10, So30 and So70), those were simple average for seepage and stream waters (SPa, SPb, STa, STb, STc, STw, STj and STd).

Table 7 山城試験地における降雨の各年度および全期間の平均水質  
Average water chemistry of bulk rain in the YMS by fiscal year of study and over all periods

Code	Fiscal year	Pre. mm	pH	EC mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cat. μeq L <sup>-1</sup>	Ani. μeq L <sup>-1</sup>	C/A	DOC mgC L <sup>-1</sup>	DON mgN L <sup>-1</sup>	DOC/DON	T-N mgN L <sup>-1</sup>	UV <sub>254</sub>	SUVA <sub>254</sub> L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	nss-S mgS L <sup>-1</sup>	N mgN L <sup>-1</sup>
Rv	2000	1294.9	4.90	1.50	12.6	16.7	9.0	18.4	12.4	3.4	16.4	0.4	17.2	0.2	16.6	88.1	67.7	1.31	2.11	0.00	0.0	0.00	0.040	4.94	0.50	0.50
	2001	1121.1	4.55	1.86	28.1	16.9	11.2	13.6	13.3	3.9	21.5	0.5	18.0	0.2	19.8	104.1	80.0	1.42	5.51	0.10	0.0	0.78	0.030	1.31	0.60	0.44
	2002	1151.7	4.92	1.28	11.9	15.9	9.3	9.5	10.5	3.2	22.1	0.5	16.0	0.0	13.8	74.1	66.4	1.10	1.16	0.08	20.5	0.48	0.020	1.51	0.41	0.36
	2003	1550.7	4.86	1.21	13.9	10.9	5.6	12.2	6.4	1.9	14.0	0.6	12.5	0.1	12.8	59.0	53.4	1.15	1.17	0.23	15.1	0.36	0.020	3.11	0.39	0.35
	2004	1512.9	5.06	0.93	8.8	10.0	8.4	3.3	8.2	1.9	12.9	0.1	9.0	0.4	8.6	50.9	40.3	1.28	0.00	0.00	0.0	0.00	0.020	ND	0.26	0.17
	2000-2004	6631.2	4.84	1.32	14.6	13.8	8.4	11.1	9.9	2.8	17.0	0.4	14.1	0.2	14.0	73.2	60.1	1.25	1.37	0.16	21.1	0.45	0.020	2.87	0.42	0.35
Rr	2000	1340.1	4.95	1.58	11.2	17.3	4.9	19.3	17.2	4.1	18.2	0.6	21.7	0.1	19.8	95.3	80.4	1.19	1.86	0.00	0.0	0.00	0.030	2.96	0.60	0.57
	2001	1176.8	4.62	1.78	23.9	18.9	5.9	9.4	16.0	4.7	21.9	0.4	11.8	0.2	19.3	99.5	73.1	2.47	4.38	0.08	0.0	0.51	0.040	1.15	0.58	0.30
	2002	1128.6	4.89	1.40	12.8	17.4	4.2	17.6	10.9	3.0	19.3	0.3	19.9	0.1	14.4	79.8	68.8	1.08	1.40	0.13	21.0	0.67	0.030	1.03	0.43	0.53
	2003	1401.1	4.69	1.64	20.4	15.7	2.7	12.7	7.1	2.1	17.3	0.6	20.0	0.0	16.8	69.9	72.0	1.00	1.26	0.08	18.5	0.47	0.010	1.09	0.51	0.46
	2004	1357.5	4.82	1.17	15.3	12.3	1.1	4.9	13.1	3.3	12.4	0.1	14.7	0.3	10.5	66.3	49.1	1.44	0.00	0.00	0.0	0.00	0.010	ND	0.31	0.27
	2000-2004	6404.2	4.77	1.52	16.9	16.4	3.7	12.8	12.9	3.4	17.9	0.4	17.9	0.1	16.2	82.5	69.2	1.43	1.46	0.10	19.5	0.56	0.020	1.31	0.49	0.43
Rd	2000	478.8	4.95	2.62	11.3	19.4	14.8	58.5	18.8	5.1	22.8	0.9	15.9	1.5	22.6	151.7	89.3	1.24	3.10	0.00	0.0	0.00	0.040	0.69	0.69	1.04
	2001	957.7	4.44	2.05	35.9	17.6	4.1	13.1	14.2	3.3	21.5	0.5	21.1	0.1	20.2	105.6	83.7	1.43	5.32	0.11	0.0	0.80	0.020	0.94	0.61	0.48
	2002	1191.8	4.86	1.38	13.8	14.0	3.8	13.7	12.5	2.7	17.7	0.6	17.3	0.0	13.9	75.6	63.5	1.18	1.50	0.14	18.3	0.59	0.020	1.29	0.42	0.44
	2003	1402.7	4.79	1.29	16.1	10.9	2.4	9.8	9.8	1.7	14.8	0.6	14.8	0.0	13.2	62.1	56.9	1.12	2.04	0.07	28.6	0.36	0.020	1.39	0.40	0.34
	2004	1469.9	4.92	1.00	12.1	9.0	1.6	2.7	8.6	2.3	10.5	0.1	6.1	0.0	8.5	47.2	33.6	1.33	0.00	0.00	0.0	0.00	0.020	ND	0.25	0.12
	2000-2004	4106.7	4.76	1.48	17.6	13.0	3.8	13.5	11.6	2.6	16.1	0.5	14.2	0.2	14.1	76.4	59.6	1.26	1.91	0.10	23.6	0.49	0.020	1.33	0.43	0.39

データがない項目はNDとした。

It was denoted as 'ND' for no measured value for any item.

Table 8. 山城試験地における林内雨 (TF)、樹幹流 (SF)、A0 通過水 (OL)、土壌浸透水 (So10, So30, So70) の各年度および全期間の平均水質  
Average water chemistry of throughfall, stemflow, O layer leachate, and soil-percolating water in the YMS by fiscal year of study and over all periods

Code	Fiscal year	Pre. mm	pH	EC mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cat. μeq L <sup>-1</sup>	Ani. μeq L <sup>-1</sup>	C/A	DOC mgC L <sup>-1</sup>	DON mgN L <sup>-1</sup>	DOC/DON	T-N mgN L <sup>-1</sup>	UV <sub>254</sub>	SUVA <sub>254</sub> L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
TF	2000	572.5	5.72	2.89	3.5	25.4	75.9	13.4	39.5	14.4	55.5	2.5	31.5	0.0	36.8	226.0	163.1	1.40	5.79	ND	ND	ND	0.189	4.52
	2001	694.9	5.30	3.64	5.0	21.8	114.8	42.1	31.0	17.7	56.9	1.9	33.3	0.2	39.3	281.1	171.2	1.65	11.52	0.25	13.8	0.88	0.257	3.20
	2002	833.6	5.86	2.70	3.7	17.9	77.4	36.8	24.4	13.0	39.9	1.5	34.3	0.3	24.7	210.7	125.9	1.61	6.31	0.22	14.9	1.11	0.194	3.04
	2003	1162.9	5.77	2.17	3.2	13.9	66.9	25.1	18.2	10.0	32.2	0.9	23.0	0.2	21.7	165.5	100.0	1.89	5.74	0.17	27.6	0.80	0.139	2.56
	2004	1072.2	5.80	1.76	1.7	11.8	51.1	14.8	20.0	8.3	28.3	0.6	21.8	0.4	15.5	135.9	82.8	1.68	ND	ND	ND	ND	0.110	ND
2000-2004	4336.1	5.48	2.50	3.3	17.0	74.0	26.0	24.8	12.0	39.8	1.3	27.7	0.2	25.6	193.8	120.7	1.68	6.05	0.2	26.8	0.93	0.168	2.96	
SF	2000	20.5	5.76	3.92	1.7	26.3	112.9	10.8	53.9	38.9	59.2	0.9	25.2	0.0	56.1	337.1	197.6	1.81	20.29	ND	ND	ND	0.540	3.73
	2001	26.6	5.58	4.25	2.6	35.7	113.2	14.5	63.8	41.3	79.6	0.8	40.4	1.2	62.3	376.2	249.1	1.81	34.48	0.37	21.7	1.27	0.593	2.95
	2002	36.0	5.62	3.12	2.4	22.9	79.0	13.8	41.1	24.6	42.8	0.6	28.7	0.0	29.1	249.3	131.4	2.39	15.48	0.50	30.6	1.10	0.499	3.26
	2003	39.3	5.77	2.29	1.7	20.9	66.8	12.8	34.1	19.9	32.5	0.8	19.7	0.0	25.9	210.3	106.5	2.82	13.66	0.48	38.7	0.73	0.401	3.09
	2004	33.0	5.81	2.08	1.5	12.8	59.2	8.9	30.8	16.4	23.2	0.5	15.3	0.2	17.1	176.6	73.8	2.88	ND	ND	ND	0.00	0.350	ND
2000-2004	155.4	5.70	2.99	2.0	22.9	82.0	12.2	42.7	26.4	44.5	0.7	25.1	0.3	35.0	257.2	141.7	2.43	15.34	0.47	31.1	0.96	0.464	3.21	
OL	2001	5.90	5.90	10.62	1.2	130.9	327.8	14.7	173.8	92.2	389.9	1.5	196.4	0.0	93.0	1005.3	773.8	1.54	35.43	1.24	20.8	3.68	1.197	3.40
	2002	5.54	5.54	11.83	2.9	66.3	252.7	58.9	296.1	132.4	180.5	2.4	500.9	0.5	83.6	1234.8	852.6	1.57	41.72	2.09	22.5	9.49	1.609	3.66
	2003	4.39	4.39	6.63	41.2	39.2	107.8	26.6	154.7	63.0	108.2	1.8	246.0	1.1	46.3	609.1	452.0	1.71	28.65	1.06	29.3	4.21	1.090	4.03
	2001-2003	4.60	4.60	8.65	25.0	58.2	177.2	34.8	199.0	87.1	163.4	1.9	315.7	0.8	63.0	842.4	609.6	1.65	33.33	1.76	22.4	6.82	1.257	3.85
	2001	4.55	4.55	5.08	28.1	93.4	27.2	10.0	113.6	26.2	97.7	0.7	87.1	0.0	67.4	410.3	320.4	1.28	16.43	0.53	28.9	1.70	0.450	2.63
So10	2002	4.59	4.59	5.19	26.0	55.4	39.2	23.9	91.2	19.9	77.1	1.3	128.4	0.2	45.8	340.7	298.9	1.14	16.86	0.41	25.1	1.59	0.510	3.03
	2003	4.63	4.63	4.54	23.5	57.3	20.4	20.8	87.0	12.5	50.4	1.2	128.9	0.1	33.0	297.6	246.8	1.26	16.93	0.63	29.8	2.54	0.530	3.15
	2001-2004	4.60	4.60	4.83	25.0	62.4	27.4	20.1	92.5	17.0	66.3	1.1	122.1	0.1	42.5	329.1	274.9	1.23	16.83	0.56	34.2	2.21	0.510	3.03
	2001	5.05	5.05	10.02	8.9	95.5	14.7	8.9	105.2	20.4	70.7	0.3	110.0	0.0	66.9	388.3	303.0	1.31	13.58	1.08	12.0	2.26	0.340	2.50
	2002	4.97	4.97	4.72	10.6	61.7	43.4	21.9	94.2	22.7	62.8	0.7	141.2	0.4	42.3	324.0	270.3	1.22	14.73	0.67	19.3	2.68	0.360	2.61
So30	2003	4.92	4.92	3.88	12.1	82.2	17.7	13.0	77.2	13.7	53.9	0.8	124.0	0.8	31.2	395.9	353.7	1.16	13.51	0.45	32.2	2.37	0.370	2.70
	2001-2004	4.95	4.95	5.06	11.2	78.5	24.5	14.9	86.3	17.2	59.0	0.7	126.7	0.6	39.8	374.5	322.5	1.20	13.87	0.59	26.62	2.44	0.360	2.64
	2001	4.70	4.70	5.16	19.9	87.8	24.6	16.6	107.5	24.1	90.7	1.9	111.5	0.0	55.4	412.2	335.5	1.23	11.87	0.50	27.8	2.30	0.349	2.96
	2002	5.22	5.22	6.86	6.1	143.5	16.1	9.5	185.5	38.9	124.7	1.3	216.1	3.4	54.7	624.0	486.2	1.31	25.43	1.10	37.5	3.60	0.755	3.03
	2003	5.24	5.24	5.60	5.7	175.4	11.3	7.0	131.0	24.8	155.3	0.4	75.4	6.2	52.9	511.0	367.7	1.41	22.87	0.30	41.4	0.80	0.734	3.14
2001-2004	5.18	5.18	6.11	6.7	156.8	14.1	8.6	153.0	30.8	138.6	0.9	137.6	4.6	53.8	553.7	416.5	1.40	23.34	0.85	35.9	2.47	0.721	3.08	

データがない項目は ND とした。

It was denoted as 'ND' for no measured value for any item.

Table 9. 山城試験地における湧水・渓流水の各年度および全期間の平均水質  
Average chemistry of seepage and stream waters in the YMS by fiscal year of study and over all periods

Code	Fiscal year	W.T. <sup>a</sup> °C	pH	EC mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μeq L <sup>-1</sup>	Cat. μeq L <sup>-1</sup>	Ani. μeq L <sup>-1</sup>	C/A	DOC mgC L <sup>-1</sup>	DON mgN L <sup>-1</sup>	DOC/ DON	T-N mgN L <sup>-1</sup>	UV <sub>254</sub> L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	SUVA <sub>254</sub> L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	Si mgSi L <sup>-1</sup>
SPa	2001	15.0	7.24	7.94	0.1	525.2	21.5	10.5	66.1	29.3	169.3	0.7	88.6	0.0	94.2	268.2	748.0	715.3	1.05	1.30	0.30	4.4	1.44	0.040	3.64	13.60
	2002	14.8	7.22	7.79	0.1	534.7	21.5	10.4	60.2	26.5	162.7	0.5	85.3	0.0	96.3	282.5	740.0	723.7	1.02	1.17	0.43	2.1	1.43	0.047	4.24	12.87
	2003	14.7	6.60	7.00	0.3	420.3	19.8	7.6	63.8	27.5	153.9	0.6	83.2	0.0	87.2	222.1	607.4	634.2	1.00	0.79	---	---	1.27	0.023	3.48	12.07
	2004	16.5	7.17	7.30	0.1	452.1	22.2	0.4	89.8	35.2	166.0	0.0	87.1	0.0	91.5	234.8	717.0	665.7	1.08	0.80	---	---	ND	0.031	3.91	12.54
2001-2004	15.2	6.93	7.49	0.1	482.0	21.1	7.5	68.9	29.3	162.4	0.5	85.9	0.0	92.2	251.7	697.7	683.6	1.03	1.01	0.33	4.0	1.43	0.035	3.81	12.75	
SPb	2000	13.6	7.08	6.03	0.1	367.2	19.4	7.3	61.0	26.7	128.8	0.1	78.0	0.0	79.8	182.2	569.3	539.2	1.07	1.10	---	---	ND	0.038	4.19	12.23
	2001	14.2	7.09	6.31	0.1	378.0	19.9	9.1	62.2	27.2	132.4	0.5	81.6	0.0	80.9	189.1	585.8	565.4	1.04	1.07	0.28	8.3	1.46	0.035	3.69	13.02
	2002	14.2	7.13	6.39	0.1	379.3	18.5	9.2	56.2	24.3	127.7	0.3	81.0	0.0	82.8	195.1	568.1	569.8	1.00	0.79	---	---	1.24	0.030	3.77	12.42
	2003	14.3	7.06	6.01	0.1	329.6	17.7	6.6	59.7	25.0	128.4	0.6	68.7	0.0	77.9	169.9	504.1	523.3	1.00	0.98	0.04	27.0	0.90	0.028	3.12	11.78
2004	16.4	7.10	6.11	0.1	352.0	20.6	3.8	81.3	31.8	137.3	0.0	67.7	0.0	78.8	193.3	596.1	550.9	1.08	0.98	---	---	ND	0.036	3.79	11.57	
2000-2004	14.5	7.09	6.17	0.1	360.8	19.1	7.3	63.4	26.8	130.7	0.3	75.5	0.0	80.0	185.5	561.5	549.7	1.03	0.98	0.26	10.2	1.38	0.033	3.68	12.23	
STa	2001	14.6	7.08	7.20	0.1	405.6	26.5	7.9	75.7	34.9	156.8	0.6	71.7	0.0	85.0	241.6	661.3	640.7	1.04	2.87	0.09	61.4	1.32	0.110	3.97	12.91
	2002	14.1	7.11	7.15	0.1	408.6	27.2	8.6	74.2	33.7	156.1	0.4	55.4	0.0	84.8	267.2	660.3	648.8	1.02	2.78	---	---	1.04	0.128	4.49	12.06
	2003	14.1	7.06	6.77	0.1	362.3	24.0	8.1	69.9	31.7	150.5	0.6	73.8	0.0	83.2	201.5	575.3	592.8	1.01	1.62	0.04	33.4	0.65	0.061	3.97	11.81
	2004	16.1	7.11	6.95	0.1	391.1	25.8	0.5	96.6	38.2	159.3	0.0	67.5	0.0	86.4	234.7	679.2	629.7	1.08	1.77	---	---	ND	0.079	4.71	12.18
2001-2004	14.6	7.09	7.01	0.1	390.8	25.8	6.6	78.0	34.3	155.3	0.4	67.1	0.0	84.7	235.4	639.3	626.7	1.03	2.25	0.08	57.9	1.21	0.094	4.27	12.21	
STb	2000	13.6	7.08	6.03	0.1	367.2	19.4	7.3	61.0	26.7	128.8	0.1	78.0	0.0	79.8	182.2	569.3	539.2	1.07	1.10	---	---	ND	0.070	4.14	12.05
	2001	14.2	7.09	6.31	0.1	378.0	19.9	9.1	62.2	27.2	132.4	0.5	81.6	0.0	80.9	189.1	585.8	565.4	1.04	1.07	0.28	8.3	1.46	0.083	3.99	12.76
	2002	14.5	7.16	6.81	0.1	343.5	29.6	7.1	82.3	39.7	144.9	0.4	61.7	0.0	81.6	235.4	624.1	605.5	1.03	2.28	---	---	1.15	0.086	3.79	10.95
	2003	14.1	7.05	6.47	0.1	325.1	25.7	7.4	72.3	34.2	142.6	4.2	76.7	0.0	81.3	183.1	550.2	569.1	1.01	1.88	0.02	68.7	1.07	0.062	3.42	11.00
2004	16.3	7.09	6.54	0.1	344.3	27.7	0.6	97.2	42.2	147.6	0.0	72.6	0.0	82.4	209.4	643.5	590.0	1.09	1.85	---	---	ND	0.071	3.88	11.43	
2000-2004	14.6	7.06	6.66	0.1	344.2	28.1	6.1	81.5	38.8	145.2	1.2	76.6	0.0	81.4	212.1	612.3	597.1	1.04	2.11	0.07	41.8	1.34	0.072	3.58	11.16	
STc	2000	13.7	6.93	6.52	0.1	346.9	28.2	6.5	77.0	38.9	142.2	0.2	96.6	0.0	79.4	199.9	613.7	597.8	1.03	2.16	---	---	ND	0.065	3.37	10.91
	2001	14.5	7.08	6.93	0.1	363.5	29.6	7.8	81.7	40.1	148.9	0.6	78.8	0.0	81.9	231.8	644.6	624.0	1.03	2.33	0.09	28.3	1.40	0.078	3.47	11.54
	2002	14.5	7.16	6.81	0.1	343.5	29.6	7.1	82.3	39.7	144.9	0.4	61.7	0.0	81.6	235.4	624.1	605.5	1.03	2.28	---	---	1.15	0.086	3.79	10.95
	2003	14.1	7.05	6.47	0.1	325.1	25.7	7.4	72.3	34.2	142.6	4.2	76.7	0.0	81.3	183.1	550.2	569.1	1.01	1.88	0.02	68.7	1.07	0.062	3.42	11.00
2004	16.3	7.09	6.54	0.1	344.3	27.7	0.6	97.2	42.2	147.6	0.0	72.6	0.0	82.4	209.4	643.5	590.0	1.09	1.85	---	---	ND	0.071	3.88	11.43	
2000-2004	14.6	7.06	6.66	0.1	344.2	28.1	6.1	81.5	38.8	145.2	1.2	76.6	0.0	81.4	212.1	612.3	597.1	1.04	2.11	0.07	41.8	1.34	0.072	3.58	11.16	
STw	2000	13.7	6.93	6.52	0.1	346.9	28.2	6.5	77.0	38.9	142.2	0.2	96.6	0.0	79.4	199.9	613.7	597.8	1.03	2.16	---	---	ND	0.074	3.65	10.92
	2001	14.5	7.08	6.93	0.1	363.5	29.6	7.8	81.7	40.1	148.9	0.6	78.8	0.0	81.9	231.8	644.6	624.0	1.03	2.33	0.09	28.3	1.40	0.106	3.83	11.40
	2002	14.5	7.16	6.81	0.1	343.5	29.6	7.1	82.3	39.7	144.9	0.4	61.7	0.0	81.6	235.4	624.1	605.5	1.03	2.28	---	---	1.15	0.106	3.70	10.68
	2003	14.1	7.05	6.47	0.1	325.1	25.7	7.4	72.3	34.2	142.6	4.2	76.7	0.0	81.3	183.1	550.2	569.1	1.01	1.88	0.02	68.7	1.07	0.069	3.36	10.97
2004	16.3	7.09	6.54	0.1	344.3	27.7	0.6	97.2	42.2	147.6	0.0	72.6	0.0	82.4	209.4	643.5	590.0	1.09	1.85	---	---	ND	0.103	4.89	11.35	
2000-2004	14.6	7.06	6.66	0.1	344.2	28.1	6.1	81.5	38.8	145.2	1.2	76.6	0.0	81.4	212.1	612.3	597.1	1.04	2.11	0.07	41.8	1.34	0.091	3.84	11.06	

a 水質は試料採取時に測定。データがない項目はNDとした。データが不足しているときは計算できないときは'-'とした。  
a water temperature at the sampling. It was denoted as 'ND' for no measured value for any item and it was denoted as '-' when calculation not possible due to lack of data.

Table 9. 山城試験地における湧水・渓流水の各年度および全期間の平均水質 (つづき)

Code		Average chemistry of seepage and stream waters in the YMS by fiscal year of study and over all periods (Continued)																									
year	Fiscal year	WT, °C	pH	EC, mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , μeq L <sup>-1</sup>	Cat., μeq L <sup>-1</sup>	Ani., μeq L <sup>-1</sup>	C/A	DOC, mgC L <sup>-1</sup>	DON, mgN L <sup>-1</sup>	DOC/DON	T-N, mgN L <sup>-1</sup>	UV <sub>254</sub> , L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	SUVA <sub>254</sub> , L mgC <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	Si, mgSi L <sup>-1</sup>	
STD	2000	6.9	6.42	5.32	0.4	268.5	15.7	5.4	69.1	30.4	123.9	0.0	53.8	0.0	76.0	194.9	488.9	524.6	0.93	0.67	---	---	ND	0.019	2.82	8.81	
	2001	14.3	7.00	6.11	0.1	291.3	22.6	6.9	85.6	36.1	125.2	0.9	57.3	0.0	69.8	243.0	564.3	566.0	1.00	1.92	0.11	46.1	0.97	0.028	1.99	9.25	
	2002	15.5	7.09	6.23	0.1	290.6	22.9	7.0	88.4	34.9	125.2	0.4	49.1	0.0	65.6	264.2	567.3	574.2	0.98	1.38	---	---	---	0.93	0.027	2.16	8.70
	2003	14.5	6.93	5.58	0.1	254.7	21.4	6.2	72.3	29.8	120.5	0.5	45.9	0.0	70.5	183.4	486.5	491.4	0.99	1.57	0.00	---	---	0.52	0.032	2.08	9.08
	2004	16.5	6.82	5.65	0.2	274.9	23.4	0.3	92.5	38.7	119.6	0.0	50.0	0.0	69.2	220.4	561.1	528.5	1.07	1.39	---	---	---	ND	0.053	3.95	9.44
	2000-2004	15.1	6.94	5.87	0.1	276.2	22.4	5.2	83.8	34.4	122.5	0.5	49.8	0.0	68.8	224.7	540.4	536.3	1.01	1.53	0.08	46.1	0.89	0.035	2.54	9.08	
STj	2000	14.5	6.91	6.09	0.6	262.0	27.3	6.4	83.4	44.0	143.4	0.1	116.5	0.0	65.6	122.8	551.2	514.1	1.07	3.34	---	---	---	0.56	0.102	3.37	10.40
	2001	15.4	6.92	6.61	0.1	266.8	31.8	7.4	91.8	49.1	142.7	0.6	132.1	0.0	67.9	144.9	587.9	556.2	1.06	4.37	0.13	36.0	2.30	0.155	3.34	10.35	
	2002	14.0	6.97	6.60	0.1	246.8	33.7	7.7	98.9	52.1	153.7	0.5	123.3	0.0	66.7	141.9	590.2	552.7	1.07	5.28	0.29	44.5	1.65	0.209	3.53	10.62	
	2003	14.5	6.98	6.07	0.1	251.8	25.3	7.2	79.3	41.1	138.1	0.6	110.0	0.0	69.7	114.8	525.1	502.9	1.05	2.48	0.02	---	---	1.31	0.075	3.08	10.88
	2004	17.0	6.96	5.88	0.1	251.8	27.0	0.3	100.8	43.8	131.6	0.0	108.8	0.0	68.6	143.0	568.5	520.5	1.10	2.63	---	---	---	ND	0.072	2.97	10.09
	2000-2004	15.0	6.94	6.27	0.2	256.4	29.1	6.1	90.1	46.0	142.1	0.4	118.8	0.0	67.7	133.1	564.2	529.9	1.07	3.64	0.15	37.7	2.04	0.124	3.26	10.12	

a 水温は試料採取時に測定。データがない項目はNDとした。データが不足している項目は計算できないときは'---'とした。  
 a water temperature at the sampling. It was denoted as 'ND' for no measured value for any item and it was denoted as '---' when calculation not possible due to lack of data.

Table 10. 森林総合研究所の酸性雨モニタリング観測地における降雨水質の平均値

地点名	Site	測定期間	緯度	経度	標高 (m)	A.S.L.	Average rain chemistry at each Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) monitoring station														
							Observation periods	pH	EC, mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , μmol L <sup>-1</sup>	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mgS L <sup>-1</sup>	DIN, mgN L <sup>-1</sup>	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /DIN
北海道支所	Hokkaido R.C.	2000/1/4	2004/12/29	N42°59'42"	E141°23'26"	150	4.73	2.18	18.6	67.2	3.5	9.7	8.3	6.8	77.9	13.7	17.5	17.5	0.43	0.33	1.32
定山溪	Jozankei	2000/5/1	2004/12/29	N42°58'34"	E141°09'44"	311	4.85	2.20	14.1	74.9	6.8	6.4	8.5	8.5	86.0	11.4	16.0	16.0	0.37	0.25	1.49
姫神	Himekami	2000/1/6	2004/12/24	N39°49'52"	E141°16'02"	770	4.96	1.36	10.8	18.4	4.2	18.9	7.7	2.9	20.3	13.7	14.3	0.42	0.46	0.93	
釜淵	Kamabuchi	2000/6/19	2004/12/15	N38°56'25"	E140°15'28"	162	4.67	3.34	21.1	122.5	5.3	12.7	9.9	13.0	141.3	16.9	23.5	0.52	0.41	1.24	
宝川	Takaragawa	2000/8/3	2004/12/1	N36°51'30"	E139°01'42"	800	4.53	2.33	29.3	16.4	5.3	34.2	4.1	4.1	22.6	32.1	17.9	0.54	0.93	0.58	
桂	Katsura	2000/6/30	2004/12/14	N36°31'32"	E140°18'38"	135	4.57	2.04	26.5	22.5	2.6	18.3	9.2	5.1	30.7	19.0	18.2	0.54	0.52	1.03	
森林総合研究所	FFPRI	2000/1/7	2004/12/13	N36°00'26"	E140°07'40"	22	4.66	1.36	21.6	27.2	3.7	24.3	8.0	5.1	38.0	25.5	19.9	0.59	0.70	0.84	
田の原	Tanohara	2000/7/13	2000/12/27	N35°52'11"	E137°30'24"	2,120	4.91	0.87	12.2	6.0	2.1	4.7	0.9	1.2	7.2	5.2	10.1	0.31	0.14	2.24	
八海山荘	Hakkaisansou	2001/9/19	2004/12/22	N35°51'44"	E137°31'55"	1,670	4.88	0.88	13.0	3.8	1.2	7.5	3.6	1.6	5.5	8.1	9.5	0.30	0.22	1.36	
木曾試験地	Kiso E.S.	2001/1/11	2004/12/29	N35°51'10"	E137°42'17"	780	4.93	0.91	11.5	4.3	1.5	8.2	5.1	2.1	6.1	10.3	10.0	0.31	0.26	1.20	
安祥寺山	Anshoji-san	2000/1/5	2002/12/26	N35°00'22"	E135°48'58"	160	4.74	1.65	17.8	17.4	6.8	16.2	13.4	4.5	19.9	16.8	17.3	0.52	0.46	1.13	
関西支所	Kansai R.C.	2000/1/5	2004/12/14	N34°56'28"	E135°46'25"	65	4.71	1.86	19.2	21.1	5.8	19.0	19.0	6.3	26.8	22.0	19.0	0.57	0.57	0.99	
山城 (YMS) <sup>a</sup>	Yamashiro (YMS) <sup>a</sup>	2000/4/25	2005/1/19	N34°47'23"	E135°50'25"	220	4.79	1.44	16.3	14.4	5.3	12.5	11.5	3.0	17.0	15.4	14.8	0.45	0.39	1.14	
四国支所	Sikoku R.C.	2000/1/7	2004/12/31	N33°32'20"	E133°28'45"	40	4.72	2.03	18.7	51.1	2.4	12.3	5.6	4.8	59.6	9.2	14.0	0.35	0.30	1.17	
藤取	Takatori	2000/1/6	2004/12/21	N33°20'03"	E132°57'36"	290	5.00	1.36	10.0	26.5	6.2	40.1	5.8	2.6	31.1	7.4	11.1	0.31	0.67	0.46	
鹿北	Kahoku	2000/10/3	2004/12/28	N33°08'13"	E130°42'34"	160	4.73	1.50	18.5	13.5	1.8	17.7	4.2	2.7	18.7	11.9	16.5	0.50	0.41	1.22	
九州支所	Kyushu R.C.	2000/1/6	2004/12/31	N32°49'22"	E130°43'58"	90	4.71	1.61	19.2	19.3	2.1	20.2	5.0	2.6	20.6	13.0	17.2	0.51	0.47	1.11	
平均	Mean			4.77	1.70	17.6	31.0	3.9	16.6	7.6	4.5	37.0	4.5	3.7	15.7	14.8	15.7	0.44	0.44	1.14	

a 山城 (YMS) のデータは本研究の結果 (Table 7)。  
 a Data of YMS is the result of this study (Table 7).

**Table 11. 森林総合研究所の酸性雨モニタリング観測地における林内雨水質の平均値  
Average throughfall chemistry at each FFPRI monitoring station**

地点名 <sup>a</sup>	Site <sup>a</sup>	測定期間 Observation periods	森林タイプ Forest type	pH	EC mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	
北海道支所	Hokkaido R.C.	1995/5/2	1999/12/1	Man-made Forest ( <i>Picea jezoensis</i> )	5.77	4.62	1.7	64.7	198.8	22.3	31.7	10.8	101.0	17.1	34.9
北海道支所	Hokkaido R.C.	1995/5/2	1999/12/1	Man-made Forest ( <i>Abies sachalinensis</i> )	5.23	4.25	5.8	76.7	132.6	24.1	27.2	14.3	122.8	19.2	36.1
定山溪	Jozankei	2001/5/18	2004/12/29	Natural Forest 1 (conifers and broad-leaf trees)	4.92	4.06	16.3	14.4	5.3	12.5	11.5	3.0	17.0	15.4	14.8
定山溪	Jozankei	2001/5/25	2004/12/29	Natural Forest 2 (conifers and broad-leaf trees)	4.98	3.60	10.3	123.2	56.4	12.2	20.5	17.5	153.3	15.2	26.0
定山溪	Jozankei	2001/5/25	2004/12/29	Natural Forest 3 (conifers and broad-leaf trees)	5.08	2.84	8.2	85.6	39.1	5.1	15.2	12.3	98.2	9.6	17.9
姫神	Himekami	1995/4/17	1999/11/3	Man-made Forest ( <i>Larix kaempferi</i> )	4.84	2.14	14.5	33.2	61.3	10.2	14.1	11.7	60.6	10.6	12.8
田の原	Tanohara	1995/6/4	1999/11/1	トウヒ・コマツガ天然林	5.27	0.73	5.3	7.0	17.1	10.8	4.6	1.5	10.7	2.7	6.9
安祥寺山	Anshoji-san	1995/1/11	2002/12/26	スギ人工林	4.94	3.18	11.4	37.5	45.9	24.4	37.7	15.3	71.8	48.6	29.9
山城 (YMS) <sup>b</sup>	<i>Yamashiro (YMS)</i> <sup>b</sup>	2000/7/26	2005/1/19	落葉広葉樹林	5.48	2.50	3.3	17.0	74.0	26.0	24.8	12.0	39.8	27.7	25.6
四国支所	Sikoku R.C.	1995/1/5	1999/12/2	ヒノキ人工林	4.68	2.32	20.7	46.5	11.5	12.4	12.8	7.3	69.4	16.9	18.3
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	2004/12/31	コジノ人工林	5.15	3.79	7.0	42.3	48.4	58.5	17.3	15.8	72.6	36.0	38.7
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	1996/12/26	スギ人工林	5.41	3.65	3.8	41.1	40.8	55.7	52.5	21.5	90.6	44.8	54.7
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	1996/7/27	ヒノキ人工林	5.02	3.63	9.5	73.0	25.8	72.6	22.9	14.8	109.2	41.9	43.8
平均	Mean				5.08	3.06	9.7	49.8	46.5	27.0	21.8	12.2	76.3	24.1	27.1

<sup>a</sup> 試験地の緯度・経度、標高は Table 10 と同じ。 <sup>b</sup> 山城 (YMS) のデータは本研究の結果 (Table 8)。

a The latitude, longitude and above sea level of each study site is the same in Table 6. b Data of YMS is the result of this study (Table 8).

**Table 12. 森林総合研究所の酸性雨モニタリング観測地における樹幹流水質の平均値  
Average stemflow chemistry at each FFPRI monitoring station**

地点名 <sup>a</sup>	Site <sup>a</sup>	測定期間 Observation periods	樹種 Species	pH	EC mS m <sup>-1</sup>	H <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> μmol L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μmol L <sup>-1</sup>	
北海道支所	Hokkaido R.C.	1995/5/2	1999/12/1	エゾマツ	5.76	8.82	1.7	115.8	337.6	24.0	95.5	23.9	208.7	26.5	120.9
北海道支所	Hokkaido R.C.	1995/5/2	1999/12/1	トドマツ	5.01	6.34	9.6	157.9	164.0	29.9	35.8	22.7	216.4	29.6	56.4
姫神	Himekami	1995/4/17	1999/12/3	カラマツ	4.15	5.25	69.7	81.1	116.5	7.5	28.4	21.3	114.2	1.1	18.7
田の原	Tanohara	1995/6/17	1999/11/14	コマツガ	4.42	2.34	37.7	8.6	27.5	16.0	21.0	4.1	13.4	3.6	13.7
田の原	Tanohara	1995/6/17	1999/11/14	シラビソ	4.92	0.95	11.9	6.1	17.1	7.2	6.6	2.4	9.3	1.3	6.1
田の原	Tanohara	1995/6/29	1999/11/14	ダケカンバ	4.92	0.84	11.9	5.3	9.7	13.6	3.9	0.9	9.3	2.3	6.0
田の原	Tanohara	1995/6/17	1999/11/14	トウヒ	4.45	2.13	35.4	9.2	35.9	12.6	10.6	3.0	13.6	3.4	10.9
安祥寺山	Anshoji-san	1995/1/11	2002/12/26	スギ	3.61	16.01	244.1	81.4	133.1	32.8	108.0	38.2	255.5	111.0	99.3
山城 (YMS) <sup>b</sup>	<i>Yamashiro (YMS)</i> <sup>b</sup>	2000/8/10	2005/1/19	コナラ	5.70	2.99	2.0	22.9	82.0	12.2	42.7	26.4	44.5	25.1	35.0
四国支所	Sikoku R.C.	1995/1/5	1999/12/2	ヒノキ	4.01	5.67	114.3	61.2	10.6	6.0	13.1	6.0	100.5	14.8	29.8
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	2004/12/31	コジノ	5.01	5.11	9.8	61.1	100.2	99.5	29.5	22.1	135.2	51.4	68.6
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	1996/12/26	スギ	3.79	12.51	162.2	63.7	63.3	66.4	64.4	34.1	177.0	98.3	136.8
九州支所	Kyushu R.C.	1995/1/6	1996/7/27	ヒノキ	3.96	12.33	109.5	146.2	42.2	225.8	43.9	22.9	257.3	99.5	134.0
平均	average				4.59	6.25	63.1	87.7	42.6	38.7	17.5	119.6	36.0	56.6	

<sup>a</sup> 試験地の緯度・経度、標高は Table 10 と同じ。 <sup>b</sup> 山城 (YMS) のデータは本研究の結果 (Table 8)。

a The latitude, longitude and above sea level of each study site is the same in Table 6. b Data of YMS is the result of this study (Table 8).

Table 13. 森林総合研究所の酸性雨モニタリング観測地における渓流水質の平均値  
Average stream water chemistry at each FFPRI monitoring station

地点名	Site	観測期間	緯度	経度	標高 (m)	pH	EC	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <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>-a</sup>
		Observation periods	Latitude	Longitude	A.S.L.		mS m <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>	μmol L <sup>-1</sup>
定山溪	Jozankei	2000/5/19	2004/12/29	N42°58'34"	E141°09'44"	311	6.99	6.78	0.1	191.5	28.5	0.4	123.9	78.6	159.8	65.3	331.4
姫神	Himekami	2001/4/25	2004/11/25	N39°49'52"	E141°16'02"	770	7.17	3.29	0.1	108.7	5.2	1.4	66.5	27.5	60.0	11.8	10.7
釜淵 1	Kamabuchi 1	2000/1/12	2004/12/29	N38°56'5"	E140°15'28"	162	6.59	6.51	0.3	286.0	35.2	2.1	62.4	35.4	247.6	13.9	78.9
釜淵 2	Kamabuchi 2	2000/1/12	2004/12/29	N38°56'23"	E140°15'27"	162	6.62	6.37	0.3	279.8	34.9	2.5	57.0	34.4	227.3	19.0	83.8
宝川	Takaragawa	2000/5/15	2004/12/1	N36°51'30"	E139°01'42"	800	6.51	2.57	0.6	56.1	7.1	1.1	32.6	54.4	33.7	16.5	37.7
桂	Katura	2000/6/30	2004/12/28	N36°31'32"	E140°18'38"	135	6.79	4.24	0.2	142.7	14.6	0.4	59.1	44.1	105.1	29.4	54.1
セシミ沢	Senmisawa	2005/10/27	2008/12/24	N36°01'17"	E137°46'39"	1155	7.65	5.39	0.0	79.2	9.1	0.6	155.4	51.6	10.8	8.0	40.7
南段	Minamimata	2003/4/28	2004/12/3	N35°55'32"	E137°32'49"	1350	7.03	2.41	0.1	75.3	22.1	0.2	48.8	19.5	10.5	2.1	37.1
中山沢	Nakayamazawa	2003/4/28	2004/12/3	N35°54'23"	E137°33'43"	1200	7.34	6.02	0.0	181.0	34.5	0.0	122.5	56.7	73.3	4.4	105.3
鈴ヶ沢	Suzugasawa	1996/8/20	1999/11/1	N35°52'15"	E137°29'44"	2100	5.33	0.72	5.6	16.2	3.6	7.6	6.0	2.4	8.8	1.8	12.2
白川	Sirakawa	2005/10/27	2008/12/24	N35°47'60"	E137°27'07"	1062	6.97	1.58	0.1	57.2	5.6	1.0	36.8	5.3	10.7	11.9	10.4
瀬戸川	Setogawa	2005/10/27	2008/12/24	N35°47'38"	E137°33'35"	905	7.22	2.38	0.1	50.4	4.7	0.8	63.9	16.0	11.6	8.6	15.7
東俣沢	Higasimatazawa	2005/10/27	2008/12/24	N35°46'28"	E137°33'59"	1040	7.22	2.27	0.1	57.1	6.6	0.2	55.1	16.5	13.5	6.5	15.3
安祥寺山	Anshojisan	1995/1/11	2003/1/15	N35°00'22"	E135°48'58"	160	7.06	6.66	0.1	344.2	28.1	6.1	81.5	38.8	145.2	76.6	81.4
山城 (YMS) <sup>b</sup>	YMS <sup>b</sup>	2000/4/18	2004/12/21	N34°47'23"	E135°50'23"	220	7.16	6.48	0.1	331.4	30.6	6.1	81.3	39.4	142.5	72.1	78.6
鷹取 N	Takatori B	2000/1/6	2004/12/21	N33°20'24"	E132°57'47"	290	7.61	7.49	0.0	194.7	16.4	0.4	182.6	53.7	95.1	23.3	75.6
鷹取 A	Takatori A	2000/1/6	2004/12/21	N33°20'03"	E132°57'36"	290	7.66	7.28	0.0	191.0	12.9	0.3	193.3	39.9	75.5	8.8	75.8
鹿北	Kahoku	2000/9/5	2004/12/28	N33°08'13"	E130°42'34"	160	6.99	3.87	0.1	179.4	8.6	0.3	67.1	31.1	61.7	6.6	31.9
平均	Mean						7.00	4.57	0.4	156.8	17.1	1.8	76.7	35.8	82.9	18.7	50.6

a ND: データなし。b 山城 (YMS) のデータは本研究の STw の結果 (Table 9)。

a ND: no data. b Data of ST w is the result of this study (Table 9).

は高かった。イオンに関してはカチオンでは $\text{Na}^+$ が $256.4 \sim 482.0 \mu\text{mol L}^{-1}$ と高濃度である一方で $\text{H}^+$ は $0.1 \mu\text{mol L}^{-1}$ ときわめて低濃度であり、アニオンでは $\text{HCO}_3^-$ が高濃度であった (Table 6)。各年度の湧水・渓流水のpH、ECの平均値は、2000、2003年度にpHがやや低い地点があり、ECも2000、2003年度にやや低い地点がみられたものの概ね安定していた (Table 9)。溶存成分に関しても、いずれの地点のどのイオン種もその多くが調査期間の平均濃度に対して $\pm 20\%$ 以内の変動に留まっており、濃度の変動は小さかった。YMSの渓流水 (STw) を森林総研の渓流水質モニタリングの観測結果 (平均) と比較すると、STwのpHは全観測地の平均 (7.00) に近い値であったがECは平均 ( $4.57 \text{ mS m}^{-1}$ ) よりやや高かった (Table 13)。STwは他の観測地に比べて濃度が高いイオンが多く、全観測地の平均を1とするとSTwの $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ はそれぞれ2.1、1.8、3.5、1.7、3.8、1.6倍の濃度であった。

#### 4. 考察

##### 4.1 降雨の水質

YMSの降雨の平均pHは森林総研の全観測地点の平均pH (4.77) とほぼ同じであり (Table 10)、環境省の平成15～20年度 (2003–2008年度) の全国酸性雨モニタリング (環境省 2009) における降雨 (湿性) pHの全国平均 (4.68) に近い値であった。降雨中の溶存成分の中で、酸性雨の原因物質である硫酸化物と窒素化合物の濃度を比較するために、Table 10に基づき森林総研各サイトの $\text{nss-SO}_4^{2-}$ -SとDIN ( $\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$ ) を計算して両者を比較した (Fig. 4)。 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ -SとDINはそれぞれ $0.30\text{--}0.59 \text{ mg S L}^{-1}$ 、 $0.14\text{--}0.93 \text{ mg N L}^{-1}$ の範囲にあり、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ -Sの増加にともなってDINは増加し、宝川と鷹取を除くと $\text{nss-SO}_4^{2-}$ -Sに対するDINの比率は概ね一定で、YMSの $\text{nss-SO}_4^{2-}$ -S ( $0.45 \text{ mg S L}^{-1}$ )、DIN ( $0.39 \text{ mg N L}^{-1}$ ) は全観測地の平均的な値であった。以上より、YMSの降雨の酸性および汚染はわが国の降雨として一般的なレベルにあるといえる。なお、分布が外れる2カ所のうち、鷹取については環境省の近接の観測地における測定値に比べて $\text{NH}_4^+$ 濃度が高いことから農業活動などが影響している可能性がある (酒井ら 2019)。

そのほかの溶存成分に関しては、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ 濃度が全国平均より低かった。 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ 濃度は日本海側の観測地 (北海道支所、定山溪、釜淵) や海に近い四国試験地で高い (Table 10) ことから、YMSは太平洋側に位置し海から離れているために $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ 濃度が低かったと考えられる。

YMSでは降雨中の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が他の観測地に比べて高かった。環境省の平成15～19年度酸性雨の全国モニタリングにおける $\text{nss-Ca}^{2+}$  (非海塩性カルシウム) 平均濃度が $0.8\text{--}11.0 \mu\text{mol L}^{-1}$  (平均 $3.3 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) である (環境省 2009)。YMSの $\text{Ca}^{2+}$ 濃度には海塩性カルシウムを含んでいるが、 $\text{Na}^+$ モル濃度から海塩由来の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は $0.31 \mu\text{mol L}^{-1}$ と推定され (原 1997)、全 $\text{Ca}^{2+}$  ( $11.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) に比べて海塩由来はわずかであり、YMSの $\text{Ca}^{2+}$ はほとんどが $\text{nss-Ca}^{2+}$

である。したがって、環境省のデータと比べてもYMSは $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が高いといえる。関西支所で測定したYMS以外の京都府内の2観測地 (関西支所、安祥寺山) も他の観測地に比べて $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が高い (Table 6) ことから、関西支所の測定では $\text{Ca}^{2+}$ が過大に定量されている可能性がある。降雨 (Rv、Rr、Rd) のイオンバランスを見るとカチオン総量がアニオン総量に比べて多い傾向があり (Table S1～3)、このことも $\text{Ca}^{2+}$ が過大に定量されていることを示唆する。しかしながら、湧水や渓流水ではイオンバランスがほぼとれている。湧水や渓流水の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は $2 \text{ mg L}^{-1}$ 以上であるのに対して、降雨中の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は $1 \text{ mg L}^{-1}$ 以下の低濃度の場合が多いことから、低濃度の定量に問題があったようである。測定に用いたイオンクロマトではイオンごとに標準液の濃度とピーク面積で検量線を作成し、試料のピーク面積から濃度を定量する。ピークの開始と終了は装置が自動で決定するが、測定後に確認して適宜修正した。この操作によってピーク面積を実際より大きくしてしまった可能性がある。今となつてはこの推論が正しいかどうか確認することはできないが、関西支所の降雨の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度は過大に推定されている可能性があり、データ利用するには注意する必要がある。

各年度のpHとECの平均は年度ごとにやや異なっていた。降雨のpHとECの長期トレンドに関して、他の観測地ではpHとECが経年的に増減の傾向がみられる場合 (小林ら 2018) と増減の傾向が見られない場合 (酒井ら 2019) が

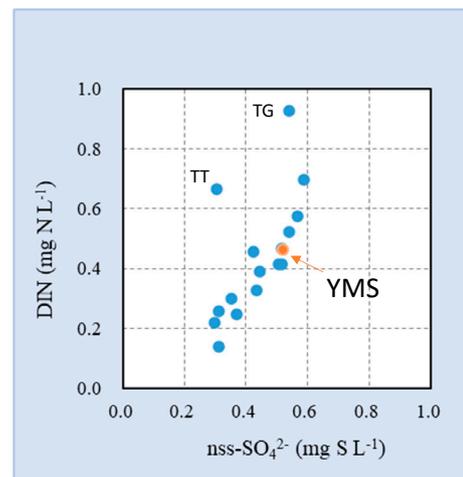


Fig.4. 森林降雨渓流水質データベース (FASC-DB) の観測地における降雨の非海塩性硫酸イオン ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) 濃度と溶存無機態窒素 (DIN) 濃度の関係

Relationship between non-sea-salt- $\text{SO}_4^{2-}$  and dissolved inorganic nitrogen concentrations in the bulk rain samples in the Forest Atmospheric Deposition and Stream Chemistry Database (FASC-DB)

TG: Takaragawa, TT: Takatori, YMS: Yamashiro.

ある。YMSでは現在も観測が続けられており、pHとECの増減の傾向は今後明らかになることが期待される。

#### 4.2 林内雨・樹幹流の水質

YMSではTFとSFは降雨に比べてpHとECが高く、DOCやイオン濃度も高かった(Table 5、Table 6)。TFの期間平均pHが高く、SFのpHも高かった。これは樹木に付着した乾性沈着物が洗い流される(山田ら 2004)ことや樹木からの成分の溶出によるものと考えられる。YMSでは樹木から溶出する成分のなかで特にK<sup>+</sup>の溶出量が多く、Table 11およびTable 12からカチオンに占めるK<sup>+</sup>の割合を計算すると、TFとSFはそれぞれ47.1、43.6%であった。カチオンに占めるK<sup>+</sup>の割合は森林総研の観測地の平均はTFとSFがそれぞれ26.5、28.3%であったが、TF、SFとも観測地間のばらつきが大きかった。北海道支所エゾマツ林とトドマツ林、姫神のカラマツ林のTFではYMSと同様に40%を超えていたが、定山溪の針広混交林1、四国支所のヒノキ林、九州支所のヒノキ林は12%未満であった。SFも同様に北海道支所エゾマツ林とトドマツ林、姫神試験地のカラマツ林、YMSでは35%を超えており、四国支所のヒノキ林、九州支所のヒノキ林では8%未満であった。TFとSFのK<sup>+</sup>割合が高かった観測地では、姫神のカラマツ林を除くとpHも高かった。このように樹種によってTFとSFのpHやK<sup>+</sup>割合に違いがみられたことから、YMSでTF、SFのpHとK<sup>+</sup>割合が高いのは落葉広葉樹に樹種特性によるものと考えられる。さらにYMSではTFのpHやK<sup>+</sup>濃度が4月下旬から12月初めにかけて高く、1~3月に低くなることが観測された。相澤ら(2004)も岩手県姫神のカラマツ林において、TFのpHが着葉期に林外雨より高い値を示すことを報告している。着葉期には樹冠からのK<sup>+</sup>の溶脱によってTFのpHが高まり、落葉期にはK<sup>+</sup>溶脱が減るためTFのpHは高くならないと推定される。

#### 4.3 A0層と土壌における水質変化

A0層では有機物分解にともなって多くの成分が供給されるためにOLではDOCを始め多くのイオン濃度がTFやSFに比べて高くなったと考えられる(Table 5、Table 6)。OLにおけるpHの低下とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の上昇はA0層で硝化が起きたことを示唆する。Ca<sup>2+</sup>濃度も多く上昇しているのので硝化の際にカルシウムの溶出が起きたと推定される。

既往の研究(Kalbitz et al. 2000, Michalzik et al. 2001, 川崎ら2002)では土壌深度とともに土壌水中のDOC濃度が低下していくことが報告されているが、本研究では土壌深度にともなうDOC濃度の低下は観測されなかった(Table 5)。このことには、土壌水の採取方法やYMS流域の土壌理化学性が関係していると考えられる(Kaneko et al. 2022)。土壌水の採取はテンションライシメータ(吸引法)で行うことが多いが、本研究ではテンションフリーライシメータで土壌水を採取した。テンションライシメータでは毛管移動水を採取するのに対して、テンションフ

リーライシメータでは重力水を採取する。重力水は浸透過程における土壌との接触時間が短いために、DOCの吸着が起こりにくく、土壌深度による濃度の変化が起こりにくかったといえる。このことに加えて、YMS流域は砂礫質の未熟土で遊離酸化物含量が少なく透水性が高い(Kaneko et al. 2022)こともDOC濃度が低下しなかったことに関係していると考えられる。しかしながら、湧水や渓流水のDOC濃度は極めて低かった(Table 5)ことから、土壌水中のDOCは風化層を通過する過程でその多くが分解や吸着されると推察される。

#### 4.4 渓流水質の特徴と水質形成

YMSの渓流水(STw)は全国の渓流水と同様に中性であったが、ECは平均よりやや高く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>等のイオン濃度も全国平均より高かった(Table 13)。吉永ら(2021)は四万十川源流域の渓流水を調査し、花崗岩が分布する流域ではpH、ECが低く、溶存成分濃度が全体として低い傾向があると報告している。彼らの調査地では平年の降水量が2550~3089 mmと多いのに対して、YMSの2001~2004年の年降水量は1012~1736 mmと少ない。そのためYMSでは蒸発散による濃縮を受けやすく、そのことがECや溶存成分濃度が高いことに関係していると推定される。

YMS流域における物質収支(Fig. 5)(Kaneko et al. 2022)をみると、すべての成分について降雨からの流入に比べ渓流への流出が多いことから、蒸発散による濃縮以外にも渓流水のECやイオン濃度が高い理由があると思われる。Cl<sup>-</sup>は植生や土壌による吸収や岩石から供給の影響がないといわれている(Likens and Bormann 1995)ので、降雨による流入と渓流への流出を比較すると、流入フラックス(22.36 mmol<sub>e</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)に比べて流出フラックス(95.4 mmol<sub>e</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)はるかに大きい。乾性沈着も含むとされるTF+SFによるCl<sup>-</sup>フラックス(36.2 mmol<sub>e</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)の場合も流出の方が多く、収支が合っていない。図5には示していないが、OLのCl<sup>-</sup>流入フラックスは105.4 mmol<sub>e</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>(Kaneko et al. 2022)であり、渓流水への流出フラックスに

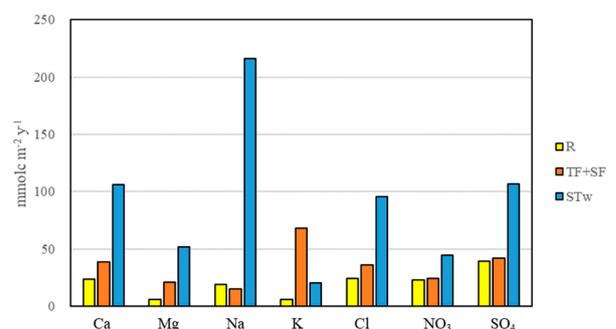


Fig. 5. 2002年7月~2004年12月のYMS流域における物質収支

Elemental budget in the YMS watershed from July 2002 to December 2004

original data : Kaneko et al. (2022) .

ほぼ等しい。このことから、樹冠に捕捉されずに林床に乾性沈着するCIがかなりあるものとみられる。森林流域のCI収支において、植生や土壌による吸収や放出が無視できないほど大きいという研究 (Lovett et al. 2005) もあるので、さらに詳しい調査が必要であろう。

YMSの渓流のNO<sub>3</sub>濃度は72.1 μmol L<sup>-1</sup>と森林総研の他の観測地に比べて高濃度である。YMSでは窒素の負荷量が降雨で5.1-6.3 kgN ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>、TFとSFの負荷量が7.5-8.2 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>と窒素飽和の閾値とされる10 kgN ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>に達していないにも関わらず、渓流への流出量は3.3-10.6 N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>と多かった (Kaneko et al. 2007)。この理由は、YMS流域には緑化時に植栽されたニセアカシアやヒメヤシヤブシなどの窒素含量が高い窒素固定植物が老齢枯死していることや、マツ材線虫病で枯損したマツ類が多く、それらの分解による窒素 (NO<sub>3</sub>) 供給量が多い上に、砂礫質の未熟土壌で透水性が高くNO<sub>3</sub>が土壌に留まりにくく流出しやすいためと説明されている (Kaneko et al. 2007)。伊藤ら (2004) は関東地方の平野部に面した山地渓流でNO<sub>3</sub>濃度が高い (最大136.3 μmol L<sup>-1</sup>) ことを報告している。吉永ら (2012) は茨城県南部地域で都市からの距離が近いほど山地渓流のNO<sub>3</sub>濃度が高く、その理由として乾性沈着の影響が大きいことを明らかにしており、Itoh et al.(2021)も関東地方周辺の森林において窒素流出が大きい原因を窒素の乾性沈着量が高いことに起因すると推定している。

京都市の安祥寺山の渓流においてもNO<sub>3</sub>濃度が76.6 μmol L<sup>-1</sup>と高い (Table 13) ことから、近畿地方でも都市周辺の森林では窒素化合物の乾性沈着量が多い可能性があり、そのこともNO<sub>3</sub>濃度が高い要因になっていると推察される。なお、窒素負荷量が窒素飽和の閾値に達していなかったことに関しては、CIの場合と同様に樹木に付着せずに林床に乾性沈着する窒素化合物の存在が考えられ、さらに詳しい調査を行って流域の物質収支を正しく評価する必要がある。

YMSの渓流水は全国の他の観測地の渓流に比べてNa<sup>+</sup>濃度が高く、流域の収支においてもNa<sup>+</sup>の流出量が非常に大きかった (Table 13)。YMS流域の花崗岩類 (土壌直下の風化した基岩) はNaをNa<sub>2</sub>Oとして3.26-3.54%含む (岡本未発表データ) ことから、湧水・渓流水のNa<sup>+</sup>濃度が高い理由は流域の岩石の化学風化によってもたらされたNa<sup>+</sup>によるものと考えられる。

K<sup>+</sup>は流域内の採取地点間で濃度が異なり、湧水に比べて渓流水で高く下流になるにつれて上昇した。この傾向はDOCも同じであり、高温期の夏季にはK<sup>+</sup>とDOCの濃度上昇が認められることから、渓床に堆積した落葉落枝からのK<sup>+</sup>の溶出が起きていると推定されている (Kaneko et al. 2022)。このことがYMSの渓流でK<sup>+</sup>濃度が高い理由と考えられる。

## 5. あとがき

2000～2004年度の京都府南部のYMS流域で行った水質

モニタリングの結果をとりまとめて、同時期の全国の水質モニタリングのデータと比較した結果、YMSでは全国の平均的な酸性の降雨が降っていたことやその汚染程度も平均的であったことが明らかとなった。一方、2000～2004年度の渓流水のNO<sub>3</sub>濃度は同時期の全国の他の観測地に比べて高く、流域内の枯死木からの供給に加えて京阪神人口密集地からの窒素化合物の流入も影響していたと推察された。YMS流域では本報告の期間以降も降雨と渓流水の水質モニタリングが継続されており、降雨と渓流水ともに水質の明確な変化は観測されていないが、湿性・乾性沈着の流入に加え地球温暖化による気象変動や流域の植生変化等によって水質が変化することが予想されるので、水質モニタリングの継続は重要であるといえる。

## 謝辞

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・渓流への影響モニタリング (2000～2004年度)」および農林水産省農林水産技術会議事務局委託プロジェクト「流域・沿岸域における水・農林水産生態系の自然共生型総合管理技術の開発 (2002～2006年度)」によって実施した。本研究を進めるにあたり、近畿中国森林管理局京都森林管理事務所、森林総合研究所立地環境研究領域、関西支所関係各位のご協力をいただいた。現地の観測・試料採取では近畿大学学生の秋枝紀子さん、内藤文哉さん、大嶋梨香さんにご協力していただいた。試料分析では山本由加利さん、高橋綾さんにご協力していただいた。以上のみなさまに感謝申し上げます。

## 引用文献

- 阿部 敏夫・服部 重昭・玉井 幸治・後藤 義明 (1997) 落葉広葉樹二次林の水収支特性. 森林応用研究, 6, 175-178.
- 相澤 州平・池田 重人・岡本 透・佐々 朋幸・後藤 和秋・長谷川 浩一・森 茂太・鈴木 和次郎・大住 克博・金指 達郎・中村 松三・小野寺 弘道・大原 偉樹・松岡 廣雄・齋藤 武史・庄司 次男・窪野 高德・佐橋 憲生・楨原 寛・山家 敏雄・鈴木 祥悟 (2004) 酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング—東北地方における降水と森林の調査—. 森林総合研究所研究報告, 3, 439-476.
- American Water Works Association (2017) 5910 UV-absorbing organic constituents. In Rice, E.W., Baird, R. B., Eaton, A. D. (eds.) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed". American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation: Washington, DC, USA, 71-74.
- 荒木 誠・鳥居 厚志・金子 真司・吉岡 二郎 (1997) 花崗岩山地小流域における保水容量と保水量の変動. 森林応用研究, 6, 49-52.

- 後藤 義明・小南 裕志・深山 貴文・玉井 幸治・金澤 洋一 (2003) 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量. 森林総合研究所研究報告, 2, 115–147.
- 後藤 義明・玉井 幸治・深山 貴文・小南 裕志 (2004) 京都府南部における広葉樹二次林の構造と5年間の林分動態. 日本生態学会誌, 54, 71–84.
- Grennfelt, P., Engleryd, A., Forsius, M., Hov, Ø., Rodhe, H. and Cowling, E. (2020) Acid Rain and Air Pollution: 50 Years of Progress in Environmental Science and Policy. *Ambio*, 49, 849–864. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>
- Hara, H. (1993) Acid Deposition Chemistry in Japan. *Bull. Inst. Public Health*, 42, 426–437.
- 原 宏 (1997) 日本の降水の化学, 日本化学会誌, 1997, 733–748. <https://doi.org/10.1246/nikkashi.1997.733>
- 堀田 庸 (1995) 酸性雨と森林衰退, 森林総合研究所90年のあゆみ. 森林総合研究所, 166–173.
- Inamdar, S., Finger, N., Singh, S., Mitchell, M., Levia, D., Bais, H., Scott, D., McHale, P. (2012) Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration and Quality in a Forested Mid-Atlantic Watershed, USA. *Biogeochemistry*, 108, 55–76. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9572-4>
- Itoh, Y., Kobayashi, M., Okamoto, T., Imai, A., Sakai, Y., Yoshinaga (2021) Influence of Chronic and Excessive Nitrogen Influx on Forest Ecosystems Connected to the Tokyo Metropolitan Area. *Ecological Indicators*, 127, 107771. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107771>
- 伊藤 優子・三浦 寛・加藤 正樹・吉永 秀一郎 (2004) 関東・中部地方の森林流域における渓流水中のNO<sub>3</sub>濃度の分布. 日林誌, 86, 275–278. [https://doi.org/10.11519/jjfs1953.86.3\\_275](https://doi.org/10.11519/jjfs1953.86.3_275)
- Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.H., Michalzik, B., Matzner, E. (2000) Controls on the Dynamics of Dissolved Organic Matter in Soils: A Review. *Soil Sci.*, 165, 277–304. <https://doi.org/10.1097/00010694-200004000-00001>
- Kaneko, S., Akieda, N., Naito, F., Tamai, K. and Hirano, Y. (2007) Nitrogen Budget of a Rehabilitated Forest on a Degraded Granitic Hill. *JFR*, 12, 38–44. <https://doi.org/10.1007/s10310-006-0248-1>
- 金子 真司・荒木 誠・古澤 仁美・後藤 義明・服部重昭・平野 恭弘・井鷲 裕司・伊東 宏樹・加茂 皓一・清野 嘉之・小林 忠一・小南 裕志・深山 貴文・南部 桂・西本 哲昭・竹内 郁雄・玉井 幸治・千葉 幸弘・鳥居 厚志・吉岡 二郎 (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下物—. 森林総合研究所研究報告, 3, 277–296.
- Kaneko, S., Furusawa, H., Okamoto, T. and Hirano, Y. (2022) Dissolved Organic Matter (DOM) in a Warm-Temperate Forested Watershed—A Possibility of Ultraviolet Absorbance as an Indicator of DOM. *Forests*, 13, 510. <https://doi.org/10.3390/f13040510>
- 環境省 (2009) 平成15～19年度酸性雨長期モニタリング報告書, 191pp.
- 川村 静夫・後藤 克己 (1996) ケイ酸：モリブデン酸黄法, 水の分析 (第4版). 化学同人, 京都, 181–184.
- 川崎 雅俊・大手 信人・南部 桂・保原 達・岡崎 亮太・勝山 正則・金 秀珍 (2002) 森林流域の水文過程における溶存有機態炭素の動態. 陸水学雑誌. 63, 31–45. <https://doi.org/10.3739/rikusui.63.31>
- 菊沢 喜八郎・水井 憲雄・清和 研二・浅井 達弘 (1986) 広葉樹の樹冠投影面積と直径生長：12年間の変化. 日本林学会北海道支部論文集, 34, 36–37. [https://doi.org/10.24494/jfshb.34.0\\_36](https://doi.org/10.24494/jfshb.34.0_36)
- 気象庁 (2022) “過去の気象データ検索”, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照 2022-10-27).
- 小林 政広・吉永 秀一郎・伊藤 優子・篠宮 佳樹・相澤 州平・岡本 透・釣田 竜也 (2018) 桂不動谷津流域における2001～2014年の降水と渓流水の水質. 森林総合研究所研究報告, 17, 333–373. [https://doi.org/10.20756/ffpri.17.4\\_333](https://doi.org/10.20756/ffpri.17.4_333)
- Kominami, Y., Jomura, M., Dannoura, M., Goto, Y., Tamai, K., Miyama, T., Kanazawa, Y., Kaneko, S., Okumura, M., Misawa, N., Hamada, S., Sasaki, T., Kimura, H. and Ohtani, Y. (2008) Biometric and Eddy-Covariance-Based Estimates of Carbon Balance for a Warm-Temperate Mixed Forest in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 723737. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.01.017>
- Likens, G. and Bormann, F. H. (1995) *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem* (2nd ed.). Springer-Verlag, New York, 159pp.
- Lovett, G.M., Likens, G.E., Buso, D.C., Driscoll, C.T. and Bailey, S.W. (2005) The biogeochemistry of chlorine at Hubbard Brook, New Hampshire, USA. *Biogeochemistry*, 72, 191–232. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0357-x>
- 眞家 永光 (2009) 水環境中の溶存有機物の光学的特性を用いた質のモニタリング. 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 52–53.
- 松本 陽介・埤田 宏 (2005) 酸性雨森林モニタリング. 森林総合研究所百年のあゆみ. 森林総合研究所, 279–283.
- Menz, F. C. and Seip, H. M. (2004) Acid Rain in Europe and the United States: An Update. *Environmental Science & Policy*, 7, 253–265. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.05.005>
- Michalzik, B., Kalbitz, K. and Matzner, E. (2001) Fluxes and Concentrations of Dissolved Organic Carbon and Nitrogen—A Synthesis for Temperate Forests.

- Biogeochemistry 52, 173–205. <https://doi.org/10.1023/A:1006441620810>
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (1996) プロジェクト研究成果シリーズ308:農林業における水保全・管理機能の高度化に関する総合研究, 216pp.
- 酒井 寿夫・山田 毅・鳥居 厚志・篠宮 佳樹・稲垣 善之・吉永 秀一郎・野口 享太郎・森下 智陽 (2019) 四万十川上流の森林流域における2000～2015年の降水と渓流水の水質モニタリング. 森林総合研究所研究報告, 18, 129–187. [https://doi.org/10.20756/ffpri.18.1\\_129](https://doi.org/10.20756/ffpri.18.1_129)
- 産総研地質調査総合センター (2022) “20万分の1シームレス地質図V2”, <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (参照 2022-10-27)
- 関口 恭一・原 喜彦・氏家 淳雄 (1985) 関東地方における酸性降下物とスギ枯れについて. 第26回大気汚染学会講演要旨集, 349.
- Sekiguchi, K., Hara, K. and Ujiye, A. (1986) Dieback of *Cryptomeria Japonica* and Distribution of Acid Deposition and Oxidant in Kanto District of Japan. *Environmental Technology Letters*, 7, 263–268. <https://doi.org/10.1080/09593338609384411>
- 森林総合研究所 (2006) “森林降水渓流水質データベース (FASC-DB)”, <https://www.affrc.go.jp/labs/fasc/index.html> (参照 2020-8-26)
- 高橋 啓二・梨本 真・植田 洋匡 (1991) 関西・瀬戸内地方におけるスギ衰退とオキシダント指数, 降雨量との関係. *環境科学会誌*, 4, 51–57.
- 高橋 啓二・沖津 進・植田 洋匡 (1986) 関東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性. *森林立地*, 28, 11–17.
- 高橋 正通・加藤 正樹・石塚 和裕 (2005) 日本の森林域における梅雨期の降水成分—1990年代における降水成分の全国分布と年変動—. 森林総合研究所研究報告, 4, 1–37.
- 高橋 正通・埴田 宏・稲垣 昌宏・石塚 和裕 (2006) 樹木の樹冠形状モニタリングによる1990年代の我が国の森林の衰退・被害状況. *FORMATH*, 5, 167–175.
- 玉井 幸治・服部 重昭・後藤 義明 (1996) 落葉広葉樹二次林における蒸発散量の季節変化. *水文・水資源学会誌*, 9, 351–357. <https://doi.org/10.3178/jjshwr.9.351>
- 玉置 元則 (1997) 日本の森林地域での酸性雨調査の現状—酸性雨と森林枯損解明の研究を支えてきた人々—. *環境技術*, 26, 623–632.
- 玉置 元則・小山 功 (1991) 地上から見た日本の酸性雨—酸性雨調査・研究で得られた成果と今後の課題—. *大気汚染学会誌*, 26, 1–22.
- 都築 敏文・内野 栄治 (1996) アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解—紫外線吸光光度法, 水の分析 (第4版). 化学同人, 京都. 266–269.
- Ulrich, B. (1984) Effects of air pollution on forest ecosystems and water - the principles demonstrated at a case study in central Europe-. *Atmos. Environ* 18, 621–628. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(84\)90182-3](https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90182-3)
- Ulrich, B., Mayer, R. and Khanna, P.K. (1980) Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in Central Europe. *Soil Science*, 130, 193–199.
- 若松 伸司 (2009) 2.3有害化学物質やVOCへの取り組みの進展 (1) 光化学大気汚染とVOC調査の進展. *大気環境学会誌*, 44, 316–319. <https://doi.org/10.11298/taiki.44.316>
- 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—四国ヒノキ林における降水および林分の調査—. 森林総合研究所研究報告, 3, 365–407.
- 山家 義人 (1973) 東京都内における樹木衰退の実態. *林試研報*, 257, 101–107.
- 吉永 秀一郎・伊藤 優子・相澤 州平・釣田 竜也 (2012) 関東平野北東部の森林流域における渓流水のNO<sub>3</sub>濃度分布と東京都心からの距離との関係. *日林誌*, 94, 84–91. <https://doi.org/10.4005/jjfs.94.84>
- 吉永 秀一郎・山田 毅・稲垣 善之・三浦 覚・篠宮 佳樹 (2021) 四万十川源流域の渓流水質の特徴—1999年から2000年にかけて実施した調査結果—. 森林総合研究所研究報告, 20, 101–120. [https://doi.org/10.20756/ffpri.20.2\\_101](https://doi.org/10.20756/ffpri.20.2_101)
- 芳住 邦雄 (2009) 2.2従来型汚染物質の排出の変遷と大気環境 (1) 都市環境における大気質の新たな動態—. *大気環境学会誌*, 44, 306–309. <https://doi.org/10.11298/taiki.44.306>

## 補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/466/index.html>

**Table S1. 山城試験地の谷サイト (Rv) における降雨の水質**  
Water chemistry of bulk rain at the valley site (Rv) in the YMS

**Table S2. 山城試験地の尾根サイト (Rr) における降雨の水質**  
Water chemistry of bulk rain at the ridge site (Rr) in the YMS

**Table S3. 山城試験地の流域外サイト (Rd) における降雨の水質**  
Water chemistry of bulk rain outside the watershed (Rd) in the YMS

**Table S4. 山城試験地の林内雨 (TF) の水質**  
Water chemistry of throughfall (TF) in the YMS

**Table S5. 山城試験地の樹幹流 (SF) の水質**  
Water chemistry of stemflow (SF) in the YMS

**Table S6. 山城試験地のA0通過水 (OL) の水質**  
Water chemistry of O layer leachate (OL) in the YMS

**Table S7. 山城試験地の土壌10cm深における土壌浸透水 (So10) の水質**  
Water chemistry of soil-percolating water at 10 cm depth (So10) in the YMS

**Table S8. 山城試験地の土壌30cm深における土壌浸透水 (So30) の水質**  
Water chemistry of soil-percolating water at 30 cm depth (So30) in the YMS

**Table S9. 山城試験地の土壌70cm深における土壌浸透水 (So70) の水質**  
Water chemistry of soil-percolating water at 70 cm depth (So70) in the YMS

**Table S10. 山城試験地のSPaの湧水の水質 1**  
Water chemistry 1 of seepage water at SPa in the YMS

**Table S11. 山城試験地のSPaの湧水の水質 2**  
Water chemistry 2 of seepage water at SPa in the YMS

**Table S12. 山城試験地のSPbの湧水の水質 1**  
Water chemistry 1 of seepage water at SPb in the YMS

**Table S13. 山城試験地のSPbの湧水の水質 2**  
Water chemistry 2 of seepage water at SPb in the YMS

**Table S14. 山城試験地のSTaサイトの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STa in the YMS

**Table S15. 山城試験地のSTaの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STa in the YMS

**Table S16. 山城試験地のSTbの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STb in the YMS

**Table S17. 山城試験地のSTbの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STb in the YMS

**Table S18. 山城試験地のSTcの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STc in the YMS

**Table S19. 山城試験地のSTcの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STc in the YMS

**Table S20. 山城試験地のSTwの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STw in the YMS

**Table S21. 山城試験地のSTwの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STw in the YMS

**Table S22. 山城試験地のSTdサイトの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STd in the YMS

**Table S23. 山城試験地のSTdの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STd in the YMS

**Table S24. 山城試験地のSTjの渓流水の水質 1**  
Water chemistry 1 of stream water at STj in the YMS

**Table S25. 山城試験地のSTjの渓流水の水質 2**  
Water chemistry 2 of stream water at STj in the YMS

**Monitoring water chemistry from FY 2000 to 2004  
in the Yamashiro Experimental Forest (YMS) watershed,  
southern Kyoto Prefecture, Japan  
—The characteristics of the water chemistry of the YMS  
revealed by comparison with the Forest Atmospheric Deposition  
and Stream Chemistry Database in FFPRI—**

Shinji KANEKO<sup>1)</sup>, Hitomi FURUSAWA<sup>2)</sup>, Toru OKAMOTO<sup>1)\*</sup>,  
Koji TAMAI<sup>3)</sup> and Yasuhiro HIRANO<sup>4)</sup>

**Abstract**

From April 2000 to January 2005, we monitored the chemistry of rainfall, throughfall, stemflow, O layer leachate, soil-percolating water, seepage water, and stream water in the Yamashiro Experimental Forest (YMS) in southern Kyoto Prefecture, Japan. To clarify the characteristics of YMS water quality, comparison was made with the data in the Forest Atmospheric Deposition and Stream Chemistry Database (FASC-DB) of the Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI). Rainfall acidity, and inorganic nitrogen and non-sea salt sulfate levels in precipitation were the same in the YMS as those at monitoring sites nationwide. However, throughfall and stemflow had a higher pH and percentage of K<sup>+</sup> in total cations at the YMS compared to other monitoring sites. Seasonal variations in pH and K<sup>+</sup> concentration were observed in the throughfall; both were high during the foliated period and low during the defoliated period. The O layer leachate was acidic and had high concentrations of dissolved organic carbon (DOC), Ca<sup>2+</sup>, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Their concentrations were also high in the soil-percolating waters, and no decrease in DOC concentration with depth was observed. Compared to the other monitoring sites in the FFPRI, the stream water in the YMS had slightly higher electrical conductivity, and higher concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and other ions. We speculate that the dissolved constituents are concentrated by evapotranspiration in the YMS watershed due to its warm, low-precipitation climate. The high NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration may be related to the large supply of nitrogen compounds from the densely populated areas in the Kyoto–Osaka area, in addition to the supply of nitrogen from dead trees in the watershed.

**Key words :** water chemistry monitoring, acidic deposition, deciduous forest, FASC-DB, biogeochemistry

---

Received 12 January 2023, Accepted 14 March 2023

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

2) Department of Forest Soils, FFPRI

3) Principal Research Director, FFPRI

4) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

\* Kansai Research Center, FFPRI, 68 Nagaikyutaro, Momoyama, Fushimi, Kyoto, 612-0855 JAPAN; E-mail: okamoto@ffpri.affrc.go.jp