

## 北海道演習林及び福岡演習林における降水，溪流水中の化学成分の特徴

智和，正明

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

井手，淳一郎

九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻

扇，大輔

九州大学農学部附属演習林北海道演習林

田代，直明

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

他

<https://doi.org/10.15017/15051>

---

出版情報：九州大学農学部演習林報告．88，pp.33-44，2007-03．九州大学農学部附属演習林  
バージョン：  
権利関係：

## 論文

北海道演習林及び福岡演習林における降水, 渓流水中の  
化学成分の特徴\*

智和正明\*\*・井手淳一郎\*\*\*・扇 大輔\*\*\*\*・田代直明\*\*・  
古賀信也\*\*・柴田英昭\*\*\*\*\*・佐藤冬樹\*\*\*\*\*・大槻恭一\*\*

## 抄 録

北海道演習林拓北流域及び福岡演習林御手洗水流域において, 2005年6月-2006年6月にかけて降水, 渓流水を採取・分析し, 各流域における大気質や基岩等の立地環境の違いが降水や渓流水の化学成分に及ぼす影響について検討した. 拓北流域では, 降水, バルク降水, 渓流水を採取し, 御手洗水流域では, バルク降水, 渓流水を採取した.

拓北流域では, バルク降水のpH値が降水と比べて高かった. 水素イオン以外のイオン成分濃度は, 降水と比べてバルク降水で上昇しており, 特に $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ の上昇が顕著であった. このイオン成分濃度の上昇の原因は, 無降雨期間におけるガス状, 粒子状物質のルート上への乾性沈着によるものと思われた. pH上昇の原因として, 乾性沈着によるアルカリ土類金属やアンモニアの溶解が考えられた.

バルク降水の $\text{NH}_4^+$ 濃度や $\text{NH}_4^+$ 沈着量は御手洗水流域と比べて拓北流域で高く,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 沈着量は拓北流域と比べて御手洗水流域で高い結果となり, 大気質による違いを反映していた. バルク降水のpHは, 御手洗水流域で4.5, 拓北流域で5.3であり, 御手洗水流域において顕著に低かった. その原因として, 御手洗水流域において大気汚染に由来する $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が高まっていること, 拓北流域ではバルク降水中の $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が御手洗水流域よりも高いためと考えられた.

渓流水の $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は, 拓北流域と比べて御手洗水流域において顕著に高い値を示した. その原因として, 御手洗水流域において $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 沈着量が拓北流域と比べて高いためと考えられた. また, 拓北流域では,  $\text{K}^+$ 濃度が高く, 御手洗水流域では, pH及び $\text{Mg}^{2+}$ 濃度が顕著に高かった. この違いは基岩の違いが反映していると考えられた. 御手洗水流域における渓流水のpHと $\text{Mg}^{2+}$ 濃度には有意な正の相関がみられた.

キーワード: 降水, 渓流水, 化学成分, 水質, 拓北流域, 御手洗水流域

\* CHIWA, M., IDE, J., OHGI, D., TASHIRO, N., KOGA, S., SHIBATA, H., SATOH, F. and OTSUKI, K.: Chemical characteristics of precipitation and streamwater at the Ashoro Research Forest and Kasuya Research Forest.

\*\* 九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座  
Division of Forest Ecosphere Science and Management, Department of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, Japan

\*\*\* 九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻  
Department of Forest and Forest Products Sciences, Graduate Schools of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka, 811-2415, Japan

\*\*\*\* 九州大学農学部附属演習林北海道演習林  
Ashoro Research Forest, Kyushu University, Ashoro, Hokkaido, 089-3705, Japan

\*\*\*\*\* 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター  
Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, 250 Tokuda, Nayoro 096-0071, Japan

## 1. はじめに

酸性雨に代表される大気沈着による森林衰退が1980年頃から欧州を中心に報告され始め(Blank, 1985; Schulze, 1989), 国内においても1985年に関東地方においてスギ枯損と酸性雨との関係が指摘された(関口ら, 1985). その後, 国内では, 酸性雨を含めた大気汚染による森林衰退の調査が国内各地で行われている(玉置, 1991; 原, 1997). 現在, 国内の合計約100地点において酸性雨を中心とした大気沈着に関する広域かつ長期的な調査が環境省や全国環境研によって行われている(環境省, 2002; 全国環境研協議会, 2003). さらに国内のみでなく, 周辺各国における酸性雨の現状や越境汚染等を調査するために, 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)が稼動している(原, 2004).

このように, 酸性雨などの大気沈着に関しては, 国内外の多地点で長期的観測が既に行われており, データが蓄積されている. しかし, 山間部・山岳地など森林地域の調査地点が少なく, さらに国内でも北海道東部の調査地点が少ないのが現状である. また, 酸性雨(大気沈着)影響に関わる森林流域における物質循環の観点から, 雨水等の大気沈着と溪流水を同時に採取した長期的観測を行っている地点は限られている.

全国大学演習林では, 国内の森林流域において溪流水を中心とした一斉調査が行われてきた(広瀬ら, 1998; 戸田ら, 2000; Shibata *et al.*, 2001). 九州大学演習林においては, 雨水等大気沈着に関わる調査が宮崎演習林大藪川理水試験地(井倉ら, 1994)や福岡演習林9林班(佐藤ら, 1997)において行われている. さらに, 溪流水の成分分析は, 福岡演習林の13-16林班(井倉および吉村, 1992)において行われている.

一般的に, 大気質などの立地条件の違いは, 雨水や溪流水中の成分濃度や沈着量に影響を及ぼすことが報告されている. 雨水に含まれる成分には, 窒素化合物やミネラルなど樹木成長に必要な栄養分も多く含まれているため(堤, 1987), 雨水中の成分濃度や沈着量の違いが樹木成長にも影響を及ぼすことが考えられる. このため, 森林動態を調査する際の基礎資料ともなりうる. また, 溪流水濃度は雨水の成分濃度や沈着量に影響される(日本化学会, 1992).

本研究の調査対象とした福岡演習林及び北海道演習林は, それぞれ特徴的な立地環境を有している. 福岡演習林は, 福岡都市圏近郊に位置しているため, 都市圏から排出された汚染物質の影響を大きく受けている可能性が高い. 一方, 北海道演習林は, そのような汚染物質の影響は比較的小さいと予想されるものの, 周辺の畜産活動による汚染物質の影響を受けている可能性がある.

現在, 九州大学演習林では, 森林流域における物質循環研究を遂行するために, 長期的視点に立った調査を行っている. 福岡演習林御手洗水流域では, 物質循環(Ide *et al.*, 2007)に加えて, 水循環(平松ら, 1987; 東ら, 2005; 藤山ら, 2005)の調査を行っている. また, 北海道演習林拓北流域では, 森林流域の河川水質および大気沈着長期モニタリングを行っている. しかし, 福岡演習林及び北海道演習林における雨水や溪流水の成分濃度を同時に検討した例は報告されていない.

そこで本研究では, 北海道演習林及び福岡演習林における雨水, 溪流水中の成分濃度や沈着量について解析し, 各演習林の立地環境の違いが雨水や溪流水の化学成分に及ぼす影響について検討することを目的とした.

## 2. 調査方法

### 2.1. 調査地及び試料採取方法

調査は，北海道演習林拓北流域及び福岡演習林御手洗水流域において行った（図1）．各調査地の概要を表1に示す．

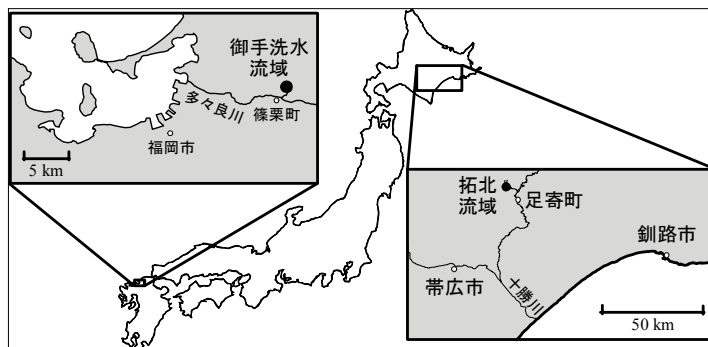


Figure 1 Location of Takuhoku Experimental Watershed (TEW) and Ochozu Experimental Watershed (OEW)

図1 拓北流域及び御手洗水流域の位置

表1調査地概況

Table 1 Study site

場所	福岡演習林	北海道演習林
観測流域	御手洗水流域	拓北流域
流域面積 (ha)	9.5	549
年平均気温* (°C)	16.3 (15.7-17.0)	5.7 (4.6-6.6)
年間降水量* (mm)	1662 (1249-2219)	718 (554-1057)
植生	ヒノキ人工林	落葉広葉樹林
基岩	三郡変性岩 (緑泥片岩, 蛇紋岩)	凝灰岩・頁岩 (火山灰が堆積)
表層土壌	黄褐色森林土	適潤性黒色土壌

\*気温・降水量はそれぞれ福岡演習林，北海道演習林における1995年-2004年の気象観測データ

北海道演習林拓北流域 (43° 20' N, 143° 31' E) は，道東部足寄町に位置した拓北一自然林保全区流域である．調査流域の植生は，ミズナラ，ヤチダモ，ハルニレ，イタヤカエデが優占する落葉広葉樹林である．本流域は，凝灰岩と頁岩の層の上に厚く（数十メートル）火山灰が堆積しており，表層土壌は主に適潤性黒色土壌である．

採取試料は，降水，バルク降水，渓流水である．降水は観測タワー上に設置した降水時間開放型捕集装置（小笠原計器，US-410）を用いて採取した．降水試料は，試料回収までの試料変質防止対策として，下端に設置された冷蔵庫内にて冷蔵保存した．バルク降水はロートを常時開放しているため，湿性沈着（降水）のみではなく，非降水時においてロー

ト上に沈着したガス状物質や粒子状物質（乾性沈着）も捕集している。降水及びバルク降水は2週間ごとに、渓流水は1ヵ月ごとに採取した。

## 2.2. 分析・解析方法

試料は採取後、実験室に持ち帰り、分析までの間冷蔵保存した。北海道演習林拓北流域で採取された試料については、福岡演習林へ冷蔵輸送した。各試料のpHを測定し、その後、孔径0.45  $\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターを用いてろ過し、陰イオン ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), 陽イオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) を測定した。pH はガラス電極法 (Horiba, F-21), 陰イオン・陽イオン成分はイオンクロマトグラフ法 (Dionex, DX-120) を用いた。イオンクロマトグラフの分析条件は表2のとおりである。

表2イオンクロマトグラフの分析条件  
Table 2 Analytical condition of ion chromatograph

	陰イオン	陽イオン
メインカラム	AS-14	CS-12A
ガードカラム	AG-14	CG-12A
サプレッサー	ASRS-ULTRA II	CSRS-ULTRA II
流量	1.0 ml min <sup>-1</sup>	1.0 ml min <sup>-1</sup>
溶離液	3.5 mmol l <sup>-1</sup> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 1.0 mmol l <sup>-1</sup> NaHCO <sub>3</sub>	20 mmol l <sup>-1</sup> メタンスルホン酸
検出	電気伝導度検出器	電気伝導度検出器
注入量	25 $\mu\text{l}$	100 $\mu\text{l}$

解析期間は、両地点ともに、2005年6月20日－2006年6月27日の1年間である。降水及びバルク降水の成分濃度は、雨量加重平均濃度を用いて求めた。年間沈着量は、雨量加重平均濃度と2005年6月20日－2006年6月27日における降水量を乗じて算出した。拓北流域における降水量は、約10 km離れた足寄 (43° 15' N, 143° 33' E) のアメダスデータを用いた。御手洗水流域における降水量は、尾根部において設置された転倒マス雨量計（竹田計器, TK-1, 気象庁検定）によるデータを用いた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 北海道演習林拓北流域における降水とバルク降水との比較

拓北流域における降水とバルク降水のpHは, それぞれ4.9, 5.3であり, バルク降水の方が高い値を示した (表3). 水素イオン濃度に換算すると, バルク降水の水素イオン濃度は, 降水の37%であった. 一方, 水素イオン以外のイオン成分濃度は, バルク降水の方が高かった. その上昇率は,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ が1.4倍程度,  $\text{NH}_4^+$ が2倍程度,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ が2.5倍程度,  $\text{Ca}^{2+}$ が4倍程度であり, 各成分で上昇率に差が見られた. バルク降水におけるpHの上昇 (水素イオン濃度の減少) やその他イオン成分濃度の上昇は, 大気質の異なる各地で観測されており, その原因は, 無降雨期間におけるガス状, 粒子状物質のロート上への沈着であるとされている (Aikawa *et al.*, 2003; Staelens *et al.*, 2005).

表3北海道演習林及び福岡演習林における降水, バルク降水, 渓流水のpH, イオン成分濃度 ( $\mu\text{mol/L}$ )

Table 3 pH and concentrations ( $\mu\text{mol/L}$ ) of major inorganic ions in precipitation, bulk precipitation, and streamwater at Ashoro Research Forest and Kasuya Research Forest

試料	場所	pH	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
降水	北海道 (n=13)	4.9 (4.6-5.9)*	13.3 (1.3-25.1)	21.7 (8.0-86.1)	15.7 (8.5-49.3)	17.0 (10.0-35.0)	17.9 (2.9-154.6)	43.8 (10.5-185.4)	6.1 (1.5-102.5)	2.0 (0.6-34.5)	5.0 (1.3-36.5)
	バルク降水										
バルク降水	北海道 (n=14)	5.3 (4.9-6.0)	4.7 (1.3-12.6)	54.6 (11.1-224.6)	21.7 (9.3-64.0)	23.0 (7.1-79.4)	44.0 (4.4-264.6)	81.8 (9.0-247.5)	15.7 (2.0-64.7)	5.0 (0.6-108.1)	18.6 (1.3-108.1)
	福岡 (n=25)	4.6 (4.0-6.4)	27.9 (0.4-100.0)	48.0 (2.5-496.5)	25.7 (6.4-103.7)	23.5 (5.7-86.0)	48.2 (11.1-445.6)	19.8 (1.2-84.2)	5.3 (1.3-16.6)	6.5 (0.1-49.2)	9.2 (0.5-90.6)
渓流水	北海道 (n=11)	6.6 (6.4-7.3)	0.2 (0.1-0.4)	67.4 (41.2-112.8)	23.4 (0.0-94.4)	21.7 (16.0-38.9)	222.0 (148.0-327.8)	0.1 (0.0-0.5)	99.6 (57.8-160.3)	40.9 (28.1-56.3)	45.8 (28.1-56.3)
	福岡 (n=54)	7.8 (7.4-8.2)	0.0 (0.01-0.04)	348.2 (123.4-493.2)	58.8 (27.3-116.5)	75.9 (49.2-96.3)	245.0 (146.8-311.0)	1.4 (0.0-12.0)	7.9 (3.2-12.9)	801.0 (378.5-1127)	80.4 (26.2-122.7)

\*カッコ内は最小値, 最大値

各成分の上昇率を国内外の大気質の異なる各地の報告例 (Aikawa *et al.*, 2003; Staelens *et al.*, 2005) と比較すると,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ については他地点で観測される平均的な値と同等であった. 一方,  $\text{NH}_4^+$ の上昇率は, 各地の報告例 (Aikawa *et al.*, 2003; Staelens *et al.*, 2005) と比較すると, 高い地点でも上昇率は1.6倍程度であるのに対して, 拓北流域では2倍程度であった. このことから, 拓北流域では, 大気中の $\text{NH}_3$ ガス及び粒子状の $\text{NH}_4^+$ 濃度が高いことが予想される. 新藤ら (2005) は, 国内におけるアンモニアの負荷量分布を肥料使用量, 肉類生産量などの統計データを用いて推定したところ, 関東などの都市圏に加えて, 畜産活動が盛んな北海道東部においても高い値を報告している. このことから, 拓北流域では, 畜産活動による影響で $\text{NH}_4^+$ の沈着量が高まっている可能性が高い. さらに,  $\text{Ca}^{2+}$ 上昇率も, 各地の報告例 (Aikawa *et al.*,

2003; Staelens *et al.*, 2005) と比較すると、高い地点で4倍程度であり、拓北流域においても4倍程度であったことから、拓北流域では、 $\text{Ca}^{2+}$ の乾性沈着の寄与がかなり多いことが示唆される。

バルク降水においてpHが上昇する原因として、アンモニアガスの溶解、アルカリ土類金属成分の溶解 (Staelens *et al.*, 2005) が報告されている。本研究においても、このような $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ を含む成分やアンモニアガスの溶解によるpH上昇が起きているものと思われる。

### 3.2 バルク降水の北海道演習林と福岡演習林との比較

バルク降水の $\text{NH}_4^+$ 濃度は御手洗水流域と比べて、拓北流域の方が4倍程度高かった (表3)。さらに、年間沈着量も拓北流域の方が2倍程度高かった (表4)。この原因として、拓北流域の周辺は畜産活動が活発であるために、 $\text{NH}_3$ 発生量が多いことが考えられる。 $\text{NH}_3$ 発生量が多いことは、前節で示したバルク降水の $\text{NH}_4^+$ 濃度が降水と比べて顕著に高いことから示されている。さらに、バルク降水の $\text{K}^+$ が濃度・沈着量ともに拓北流域において高い値を示した。これは、拓北流域における火山灰の影響が考えられる。

表4 北海道演習林及び福岡演習林における降水及びバルク降水のイオン成分年間沈着量 ( $\text{mmol m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ )

Table 4 Annual deposition via precipitation and bulk precipitation at Ashoro Research Forest and Kasuya Research Forest ( $\text{mmol m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ )

試料	場所	$\text{H}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
降水	北海道 ( $n=13$ )	13.4	21.6	15.7	16.9	17.8	43.6	6.1	3.1	4.9
バルク降水	北海道 ( $n=14$ )	4.9	54.4	21.6	23	43.8	81.5	15.6	5.6	18.5
	福岡 ( $n=25$ )	52.6	88.7	47.5	43.3	89	36.6	9.7	12	17

\*解析期間：2005年6月20日～2006年6月27日

一方、バルク降水の $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 成分濃度は、流域間で大きな違いはみられなかったが、沈着量は御手洗水流域の方が2倍程度高い値を示した。これは、御手洗水流域が都市近郊林であり、博多湾からも十数km程度しか離れていないため、人為起源として $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ の沈着量が、海塩起源として $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ の沈着量が拓北流域と比べて高くなるためと考えられる。

バルク降水のpHは、御手洗水流域で4.5、拓北流域で5.3であり、御手洗水流域において顕著に低く、水素イオン濃度に換算すると、6倍ほど御手洗水流域で高い結果となった。その原因として、拓北流域においてバルク降水中の $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が御手洗水流域よりも高いために、pHが上昇しているものと考えられる。

### 3.3 渓流水の北海道演習林と福岡演習林との比較

拓北流域では、バルク降水の $\text{NH}_4^+$ 濃度は高かったが、渓流水中には $\text{NH}_4^+$ はほとんど含

まれていなかった．御手洗水流域においても $\text{NH}_4^+$ 濃度は低かった．これは， $\text{NH}_4^+$ が樹木に利用されると同時に，土壤に吸着されているため（久馬，1997）であると思われる．  
 渓流水の $\text{NO}_3^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は，拓北流域に比べて御手洗水流域において顕著に高い値を示した．この原因として， $\text{NO}_3^-$ や $\text{SO}_4^{2-}$ の沈着量が御手洗水流域において多いことが考えられる．国内では，関東地域周辺において渓流水中の $\text{NO}_3^-$ 濃度が高く，その原因として大気沈着量が多いことが考えられている（伊藤ら，2004）．したがって，御手洗水流域においても渓流水中の $\text{NO}_3^-$ や $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が高いのは人為起源による大気沈着の影響である可能性が高い．

渓流水中の $\text{Mg}^{2+}$ 濃度は御手洗水流域において顕著に高く， $\text{K}^+$ 濃度は拓北流域において高かった．これは，御手洗水流域の基岩が三郡変成岩（緑泥片岩，蛇紋岩）で構成されており，蛇紋岩は超塩基性で $\text{Mg}^{2+}$ を多く含んでいること（Kitayama *et al.*, 1998），拓北流域の対象流域基岩が凝灰岩と頁岩であることから，両流域の基岩の違いを反映しているものと思われる．また，渓流水のpHが御手洗水流域で7.9，拓北流域で6.6と御手洗水流域において高かった．これについても，御手洗水流域の基岩が超塩基性の蛇紋岩（野地，1978）で構成されていることが主な原因と思われる．野地（1981）は，蛇紋岩地域における地下水，地表水のpHと $\text{Mg}^{2+}$ 濃度に有意な正の相関を見出しており，本研究においても同様に有意な相関関係（ $r = 0.80$ ;  $P < 0.01$ ）が見られた（図2）．これは，基岩からの溶出が多くなるとpHが高くなり，同時に蛇紋岩に多く含まれる $\text{Mg}^{2+}$ 濃度も高くなることを示していると思われる．

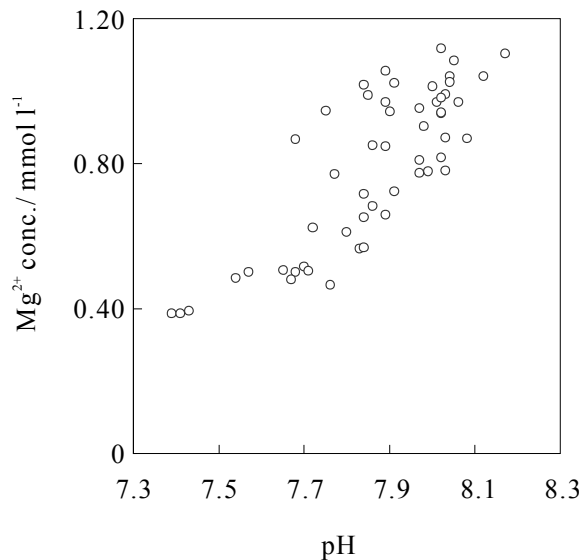


Figure 2 Relationship between pH and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations in streamwater at OEW

図2 御手洗水流域における渓流水のpHと $\text{Mg}^{2+}$ 濃度の関係

今回の調査では，拓北流域に量水堰が設置されていないため，流出量の解析は行わなかった．今後，渓流水量の測定を行うことにより，溪流として流出する物質量を計測することが必要である．



#### 4. まとめ

本研究では、北海道演習林拓北流域と福岡演習林御手洗水流域において、降水、バルク降水、渓流水のpH及び主要イオン成分を分析し、大気質や基岩などの立地条件の違いが化学成分に及ぼす影響について検討した。その結果、降水の成分濃度や沈着量に違いがみられた。御手洗水流域では、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 沈着量が、拓北流域では $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度や沈着量が高く、その結果、バルク降水pHは御手洗水流域において低かった。このような違いは、各地点における大気質の特徴を反映しているものと考えられた。また、渓流水の成分濃度に違いがみられた。御手洗水流域では、pHが高く、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度が顕著に高く、拓北流域では、 $\text{K}^+$ 濃度が高かった。このような違いは、雨水成分の濃度や沈着量の違いや基岩の違いが渓流水の成分濃度に反映していると考えられた。今後、渓流水量の測定を行うことにより、溪流として流出する物質量を計測し、物質収支を解析することが課題である。

#### 謝 辞

本研究は九州大学農学部附属演習林北海道演習林と北海道大学北方生物圏フィールド科学センター森林圏ステーション北管理部との共同研究として実施されたものである。本研究を遂行するにあたり、観測において様々なご協力をいただいた北海道演習林の職員の方々、観測・成分分析を行っていただいた宮野岳明氏、丸野亮子氏、小野澤郁佳氏をはじめとする流域環境制御学分野の学生・院生の皆様、北海道大学森林圏ステーション北管理部の石川尚子氏、小澤恵氏および北管理部技術班の方々に感謝いたします。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金No.17380096（代表：大槻恭一）、No.17780125（代表：智和正明）の助成を受けて行われた。

## 引用文献

- Aikawa M., Hirai T., Tamaki M. and Shoga M. (2003): Difference between filtering-type bulk and wet-only data sets based on site classification. *Atmos. Environ.* **37**: 2597-2603
- Blank L.W. (1985): A new type of forest decline in Germany. *Nature* **314**: 311-314
- 藤山洋介・廣瀬茂樹・大槻恭一・小川滋 (2005) : Granier法による樹液流測定も基づくヒノキ林における蒸発量の推定—御手洗水試験流域における観測例—。九大演報 **86**: 15-31
- 原 宏 (1997) : 日本の降水の化学. *日化誌* **1997**: 733-748
- 原 宏 (2004) : 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク. *大気環境学会* **40**: A1-A15
- 東 智洋・井手淳一郎・大槻恭一・小川 滋 (2005) : 斜面, ライパリアンゾーンの水分状態と流域スケールの流出の関係—御手洗水試験流域における観測例—。九大演報 **86**: 1-15
- 平松和昭・田中宏平・四ヶ所四男美・森 健 (1987) : 山腹斜面特性量の確立統計的特性. *九大農学芸誌* **41**: 35-45
- 広瀬 顕・岩坪五郎・堤 利夫 (1998) : 森林流出水の水質についての広域的考察 (1) . *京大演報* **60**: 162-173
- 伊藤優子・三浦 覚・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
- 井倉洋二・吉村和久 (1992) : 山地小流域における渇水期の流出特性と水質特性. *九大演報* **66**: 31-44
- 井倉洋二・吉村和久・久保田勝義・中尾登志雄・荒上和利 (1994) : 九州山地中央部における降水および樹幹流のpHと溶存成分. *九大演報* **71**: 1-12
- Ide J., Nagafuchi O., Chiwa M., Kume A., Otsuki K. and Ogawa S.(2007): Effects of discharge level on the load of dissolved and particulate components of stream nitrogen and phosphorus from a small afforested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Journal of Forest Research*, 12,45-56
- 環境省 (2002) : 第4次酸性雨対策調査取りまとめ. 62.pp.
- Kitayama K., Aiba S.I., Majalap-Lee N., and Ohsawa, M. (1998): Soil nitrogen mineralization rates of rainforests in a matrix of elevations and geological substrates on Mount Kinabalu, Borneo. *Eco. Res.* **13**: 301-312
- 久馬一剛 (1997) : 最新土壌学. 朝倉書店. 216.pp.
- 日本化学会 (編) (1992) : 季刊化学総説 陸水の化学. 学会出版センター.184.pp
- 野地正保 (1978) : 蛇紋岩と土木工事 (第1報) —蛇紋岩と蛇紋岩化作用—. 北海道開発局土木試験所月報 **303**: 10-19
- 野地正保 (1981) : 蛇紋岩と土木工事 (第2報) —蛇紋岩地帯の陸水の水質—. 北海道開発局土木試験所月報 **342**: 1-22
- 佐藤嘉展・井倉洋二・大崎 進・杉原真司・吉村和久・小川 滋 (1997) : 樹冠形態の異

- なる樹種における林内雨および樹幹流中の水質の比較. 九大演報 83: 15-29
- 関口恭一・原善彦・氏家淳雄 (1985) : 関東地方における酸性降水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
- Shibata, H., Kuraji, K., Toda, H. and Sasa, K. (2001): Regional comparison of nitrogen export to Japanese forest streams. *The Scientific World* 1: 572-580
- 新藤純子・木平英一・吉岡嵩仁・岡本勝男・川島博之 (2005) : 我が国の窒素負荷量分布と全国渓流水水質の推定. *環境科学会誌* 18: 455-463
- Staelens J., Schrijver AD., Avermaet PV., Genouw G. and Verhoest N. (2005): A comparison of bulk and wet-only deposition at two adjacent sites in Melle (Belgium) *Atmos. Environ.* 39: 7-15
- Schulze E.-D. (1989): Air pollution and forest decline. *Science* 244: 776-783
- 玉置元則 (1991) : 日本の酸性雨の化学. *日化* 1991: 667-674
- 戸田浩人・笹賀一郎・佐藤冬樹・柴田英昭・野村睦・市川一・藤戸永志・鷹西俊和・清和研二・塚原初男・飯田俊彰・谷口憲男・中田誠・桑原繁・内田武次・春田泰次・井上淳・八木久義・塚越剛史・蔵治光一郎・二田美穂・小野裕・鈴木道代・今泉保二・山口法雄・竹中千里・万木豊・川那辺三郎・安藤信・中西麻美・西村和雄・山崎理正・長山泰秀・土肥奈都子・片桐成夫・小藤隆一・新村義昭・井上章二・江崎次夫・河野修一・藤久正文・岩松功・今安清光・中村誠司・塚本次郎・野上寛五郎・榎木勉 (2000) : 全国大学演習林における渓流水質. *日林誌* 82: 308-312
- 堤 利夫 (1987) : 森林の物質循環. 東京大学出版会. 124.pp.
- 全国環境研協議会 (2003) : 第3次酸性雨全国調査報告書 (平成11~13年度まとめ). *全国環境研会誌* 28: 126-185

## Summary

The effects of air quality and bedrock on the characteristics of precipitation and streamwater chemistry at the Takuhoku Experimental Watershed (TEW), Ashoro Research Forest, and Ochozu Experimental Watershed (OEW), Kasuya Research Forest were investigated from June 2005 to June 2006. Precipitation, bulk precipitation, and streamwater were collected at TEW and bulk precipitation and streamwater were collected at OEW.

The results showed that the annual pH value of bulk precipitation was higher than that of the precipitation at TEW. Annual concentrations of major ions except for H<sup>+</sup>, especially Ca<sup>2+</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, in bulk precipitation were higher than those of precipitation due to gaseous and particulate dry deposition during non-precipitation. This result implies that alkaline earth metals and atmospheric ammonia are the major cause of the increase in pH value in bulk precipitation at TEW.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration and deposition of bulk participation were higher at TEW than those at OEW, whereas NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> deposition were higher at OEW than those at TEW, indicating the effect of air quality. The annual values of pH in bulk precipitation were 4.5 and 5.3 at OEW and TEW, respectively. The difference between the watersheds could be caused by the higher concentrations of atmospherically-derived NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in bulk precipitation at OEW and the higher concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> in bulk precipitation at TEW than those at OEW.

Concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in streamwater were considerably higher at OEW than those at TEW. This could be caused by the higher deposition of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> at OEW than those at TEW. As well, higher pH and Mg<sup>2+</sup> concentrations in streamwater were found at OEW than at TEW, whereas K<sup>+</sup> concentration was higher at TEW than at OEW. This could be due to the different bedrock type between TEW and OEW. A significant positive relationship was found between pH and Mg<sup>2+</sup> concentration in streamwater at OEW.

